

Chapter 0

Overview to Integrated Circuits



闕志達

台灣大學電機系

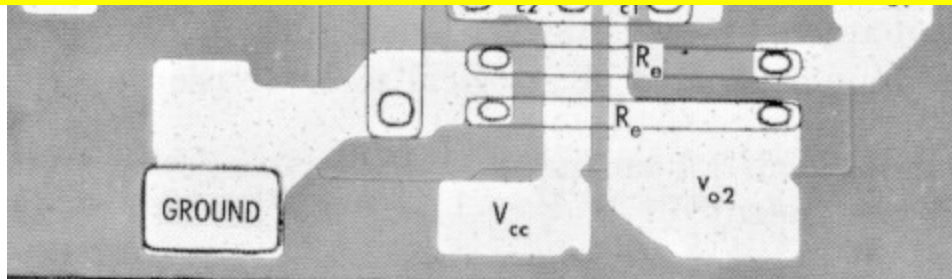
電晶體的發明

1956諾貝爾物理獎，Shockley,
Bardeen, Brattain
"for their researches on
semiconductors and their discovery
of the transistor effect"

第一個積體電路(IC)

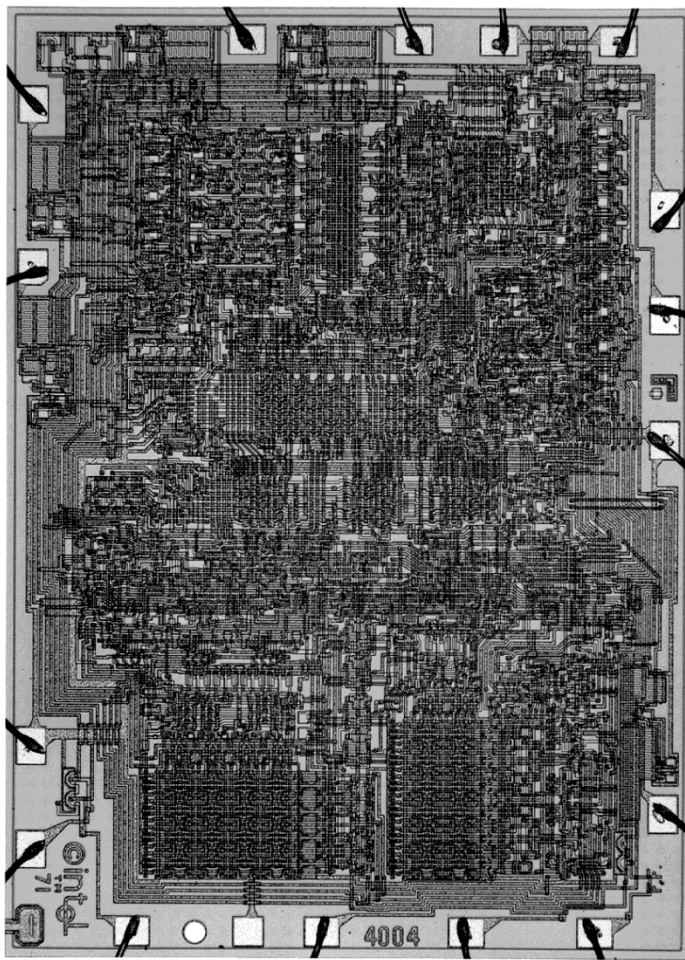
諾貝爾物理獎 2000 Jack Kilby

"for his part in the invention of the integrated circuit"



ECL 3-input Gate
Motorola 1966

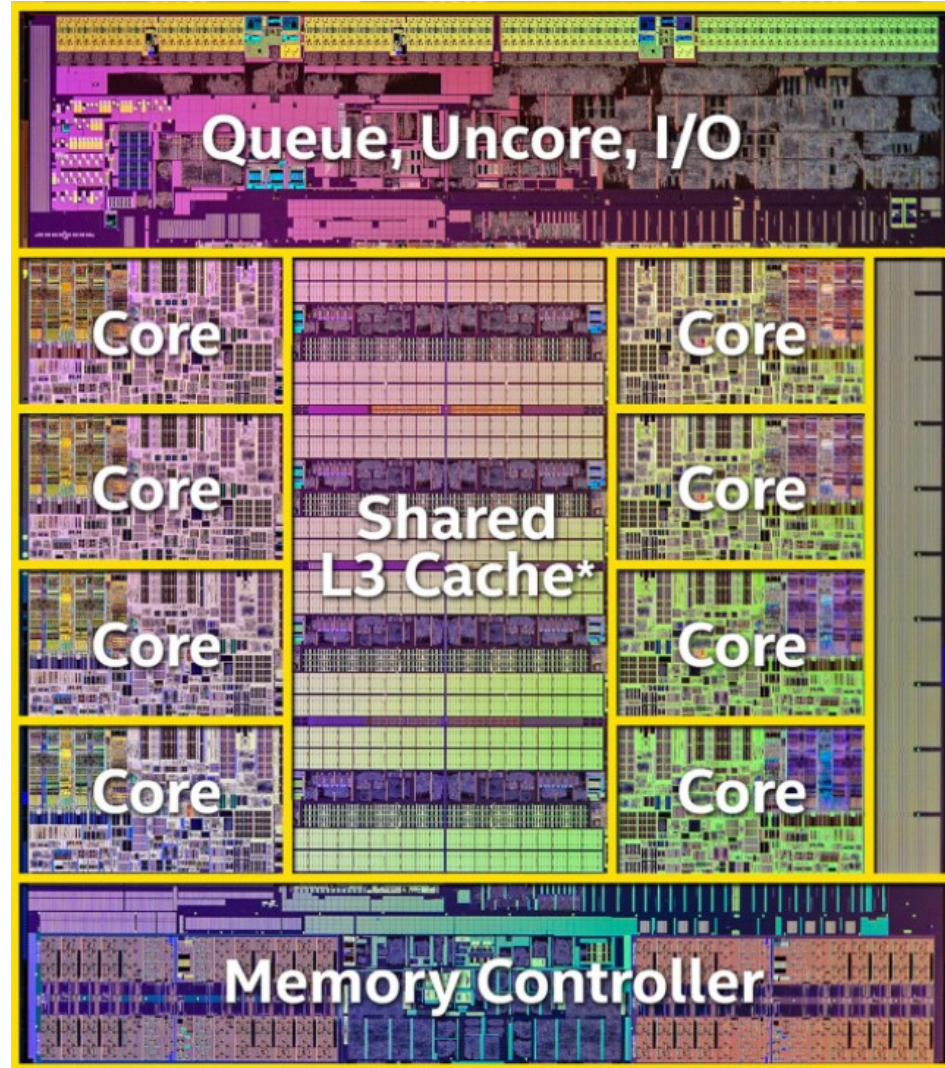
Intel 4004 微處理器 (1971)



1000 電晶體
1 MHz 操作速度

Intel 八核微處理器 (2014)

- **2014**, Core i7, 5960X Haswell :
26億電晶體, **22奈米** 製程, 晶片
面積 355 mm², 時脈速度
3.5GHz, 20MB 記憶體.
- 八核心



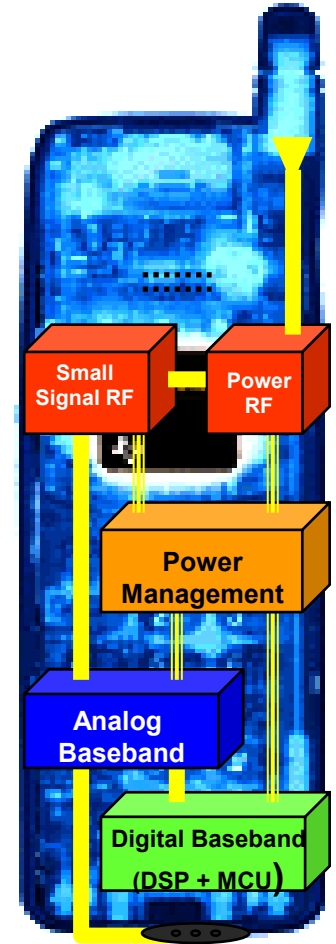
不只是電腦內的微處理器

全球歷年手機銷售量

	2000	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Units	435M	1177M	1130M	1391M	1546M	1738M	1822M

1004M
smartphones

Source: IDC Worldwide Mobile Phone Tracker, Jan. 27, 2014.



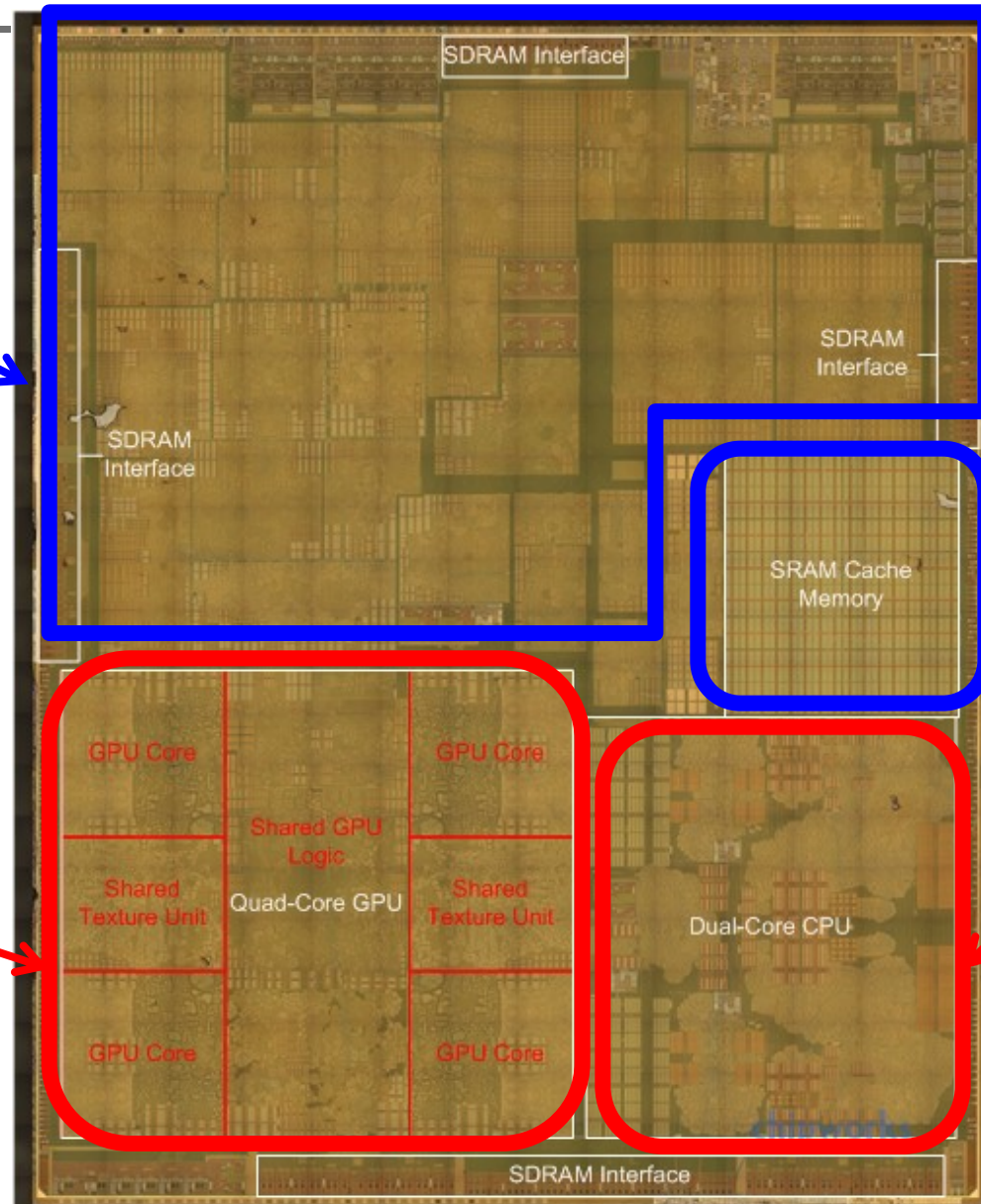
Apple A8 Processor

其他通訊與多媒體處理電路

圖形運算處理器 (GPU)

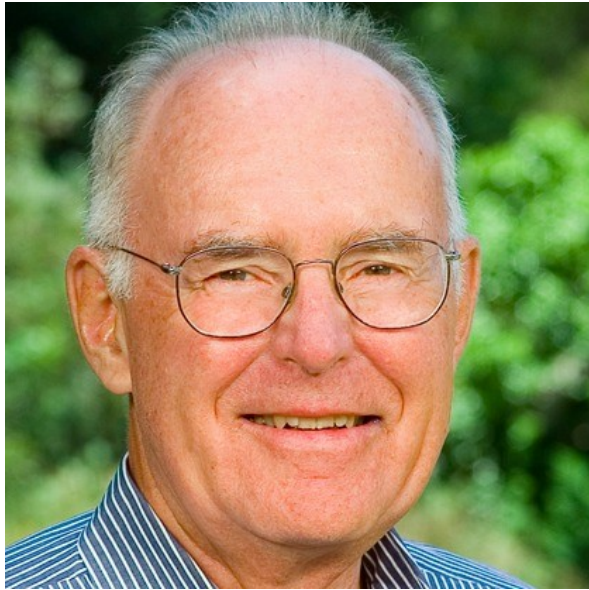
記憶體

雙核處理器 (CPU)



摩爾定律

Moore's Law



- 生於 1929 年
- Intel 創辦人
- PhD, Caltech, 1954 年
- 身價 67 億美金



摩爾定律

- 在1965年，Moore 發現一個IC(晶片)中的電晶體總數每18到24個月會加倍。
- 於是他提出一個預測說IC製程技術會以這個速率持續的進步，也就是說最尖端的IC效能會每18個月翻一倍。

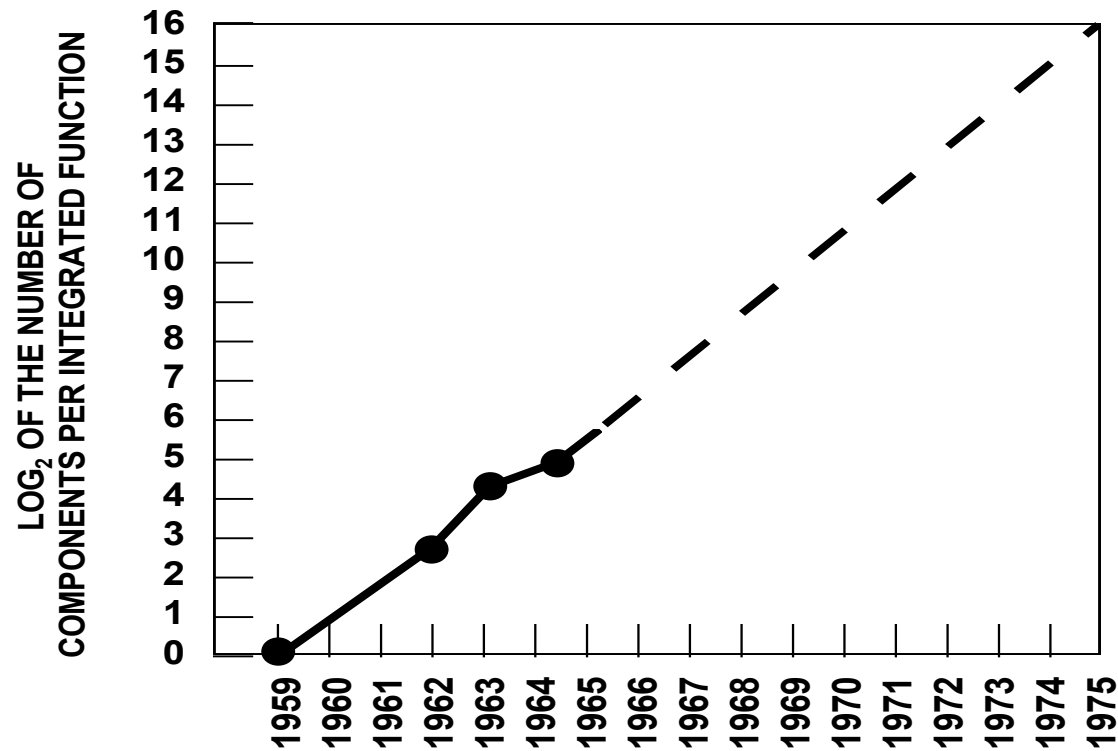


IC製程的發展

- 製程的命名是以該製程中所能製作元件的精度為基礎，目前主要是以製程中最細的元件的寬度為主，又稱feature size (特徵尺度)
- 過去數十年來已經從5微米(um, micron)逐漸進步
- 0.13 um -> 90nm -> 65nm -> 45nm (40nm)
- 現在28nm/22nm/14nm 是最尖端製程。
- 10nm製程也快要推出了。

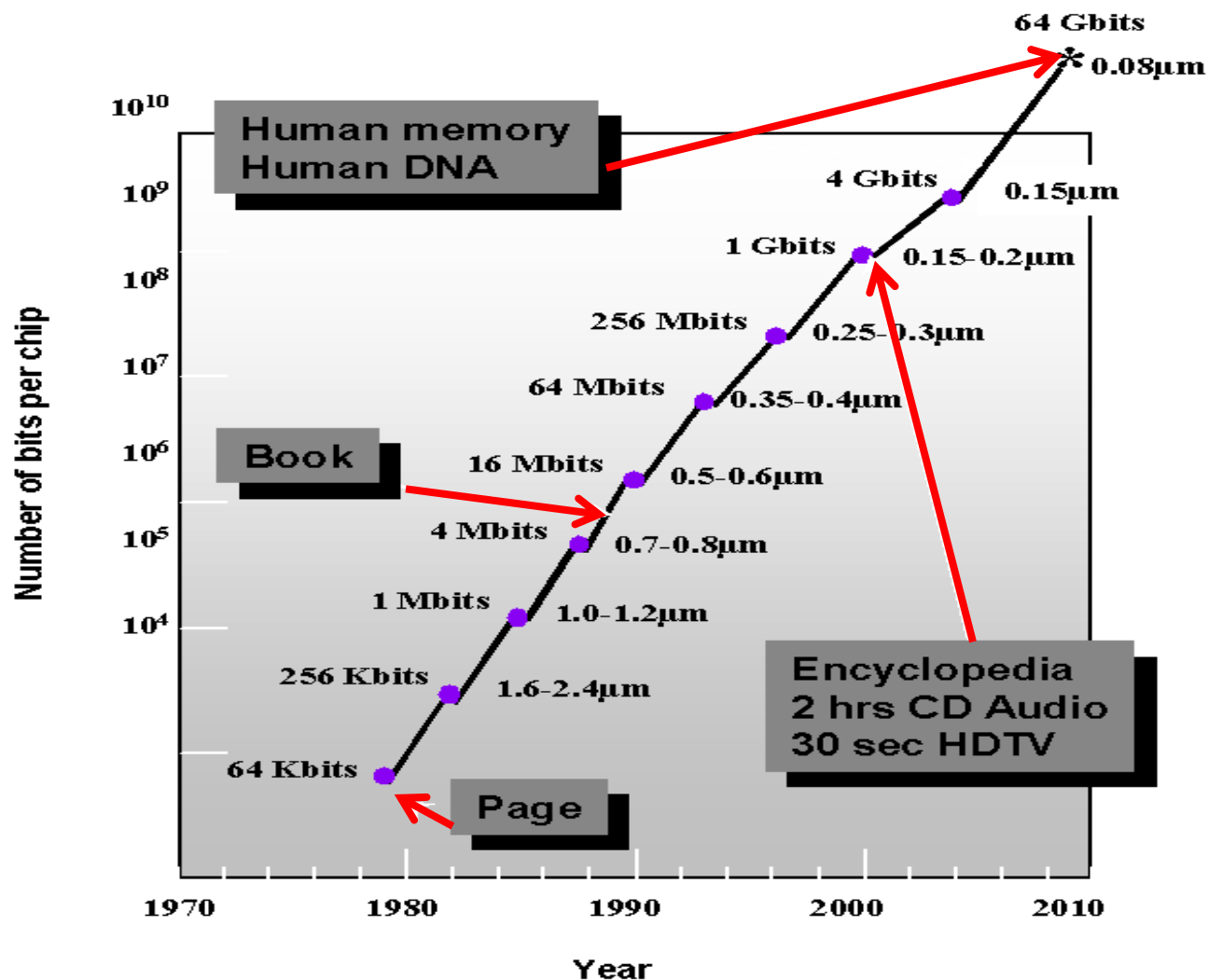
nm 是nanometer，是1公尺的十億分之一($1/1,000,000,000$)

摩爾定律圖解

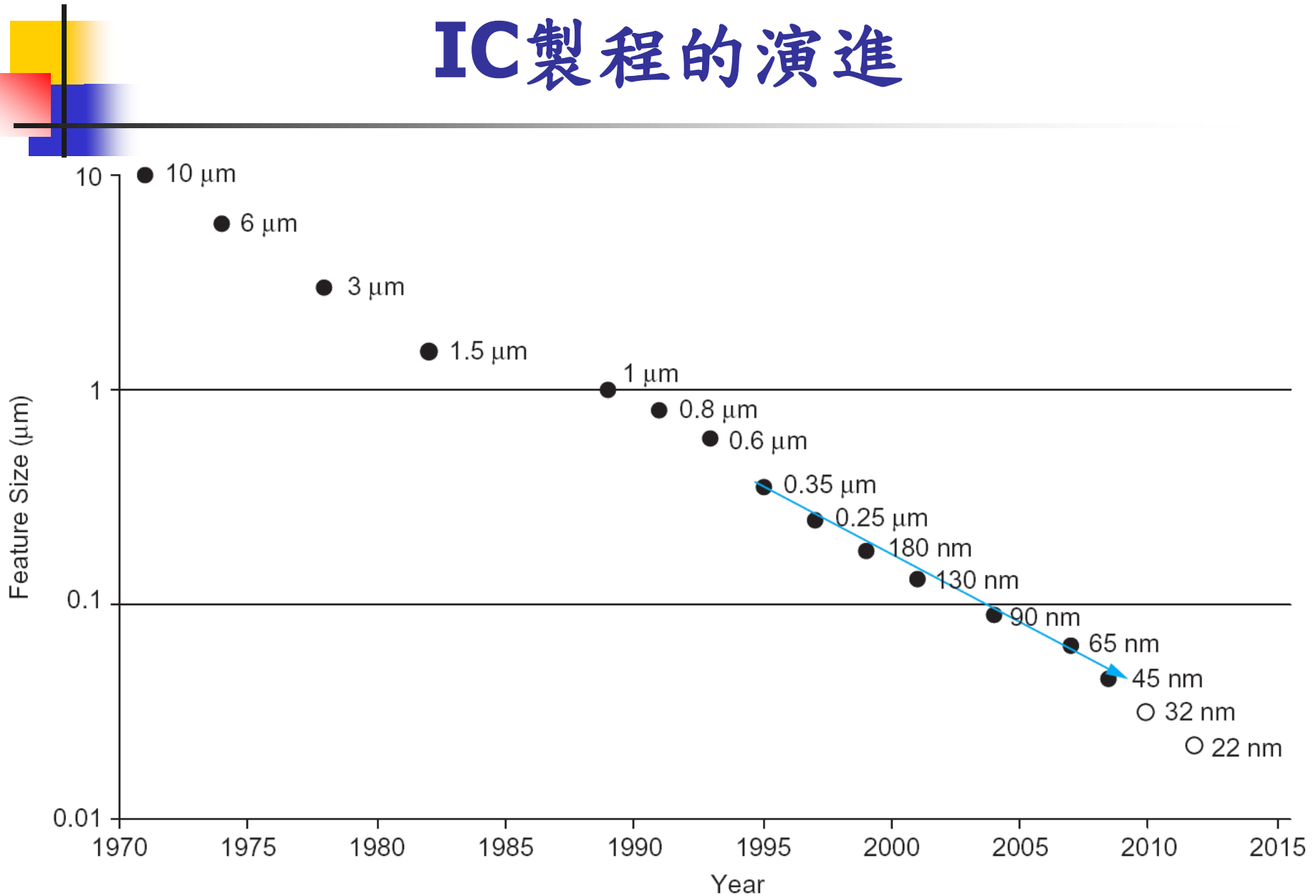


Electronics, April 19, 1965.

記憶晶片 (ROM) 容量的演進



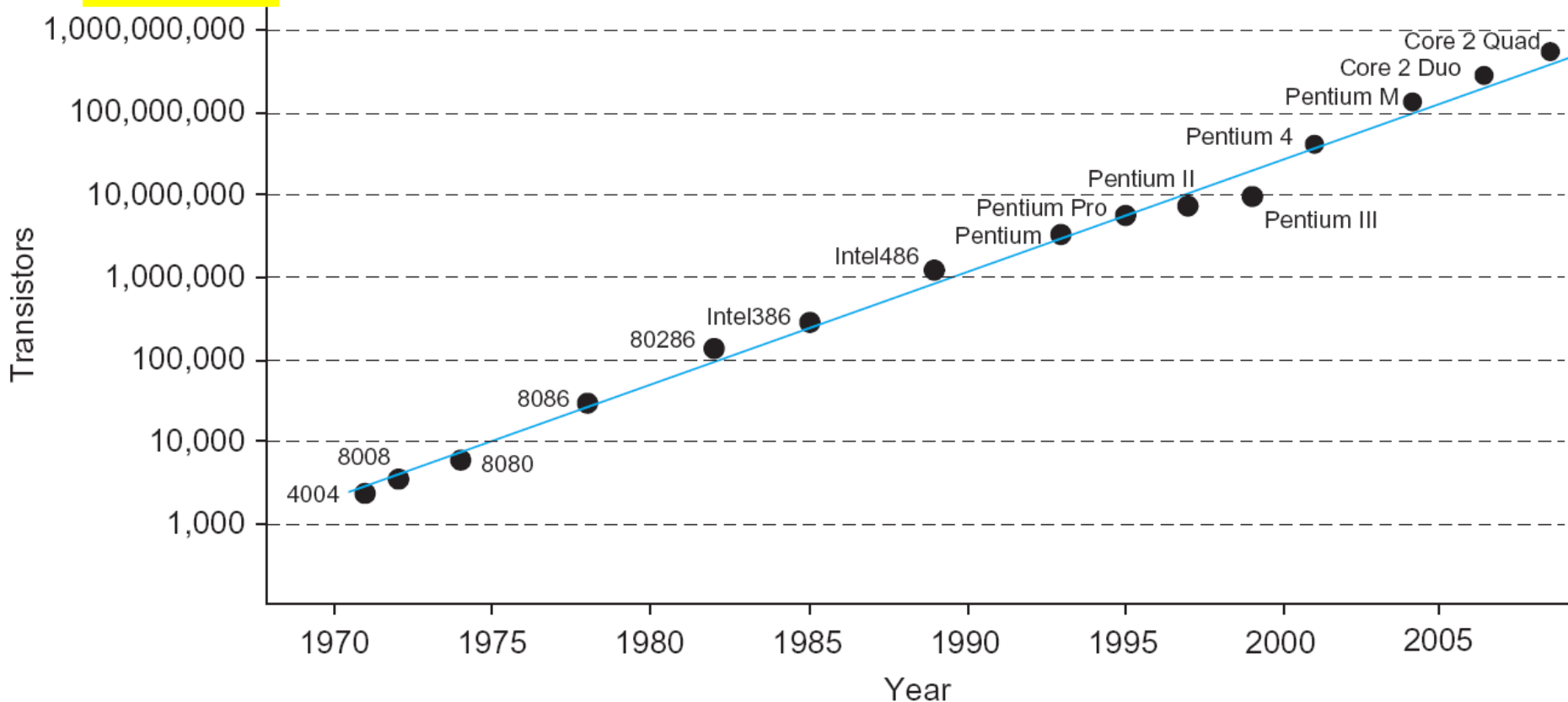
IC製程的演進



Source: SIA 2007

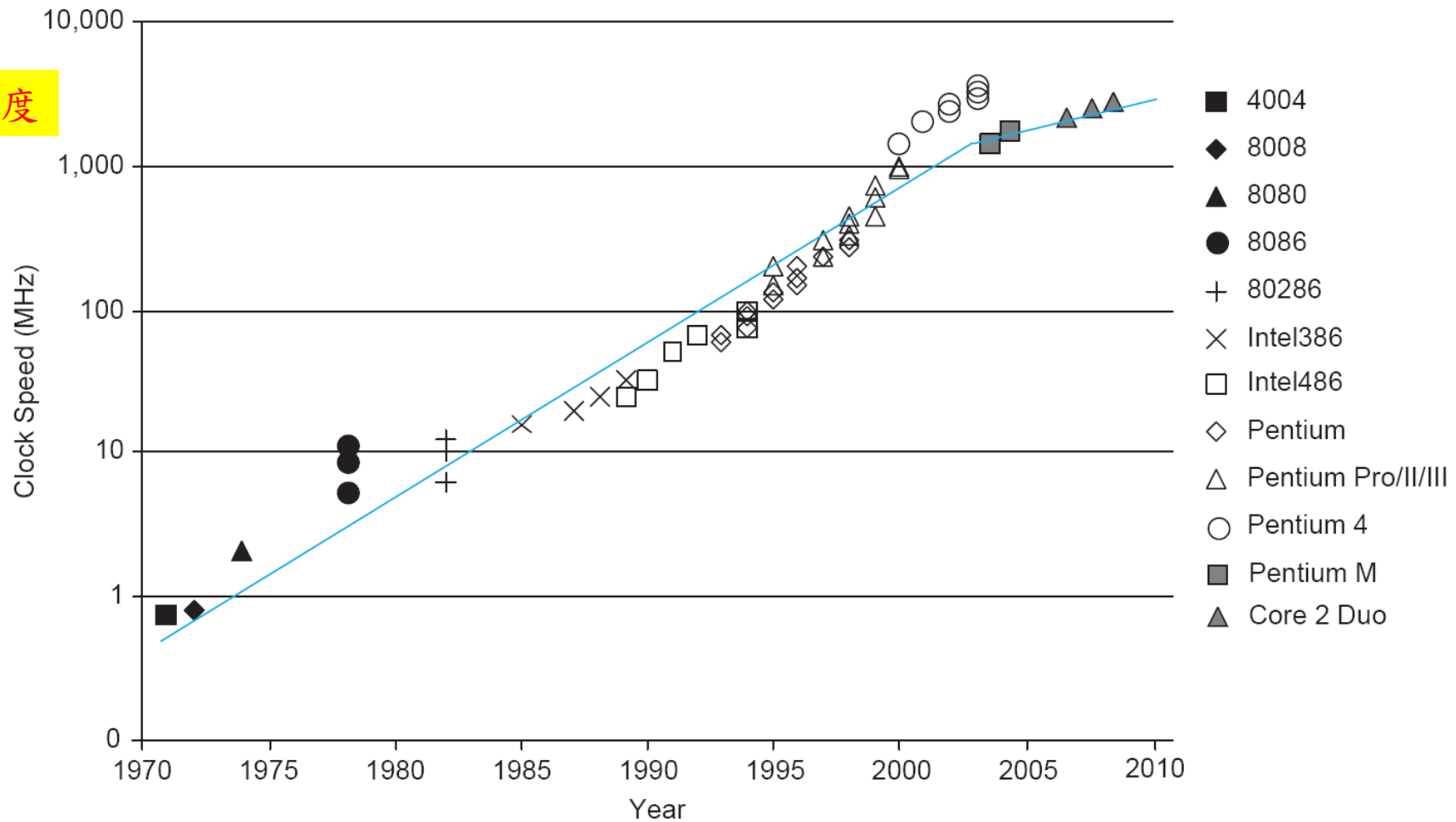
微處理器 (CPU) 的摩爾定律

電晶體數



最先進的微處理器中的電晶體數每兩年倍增

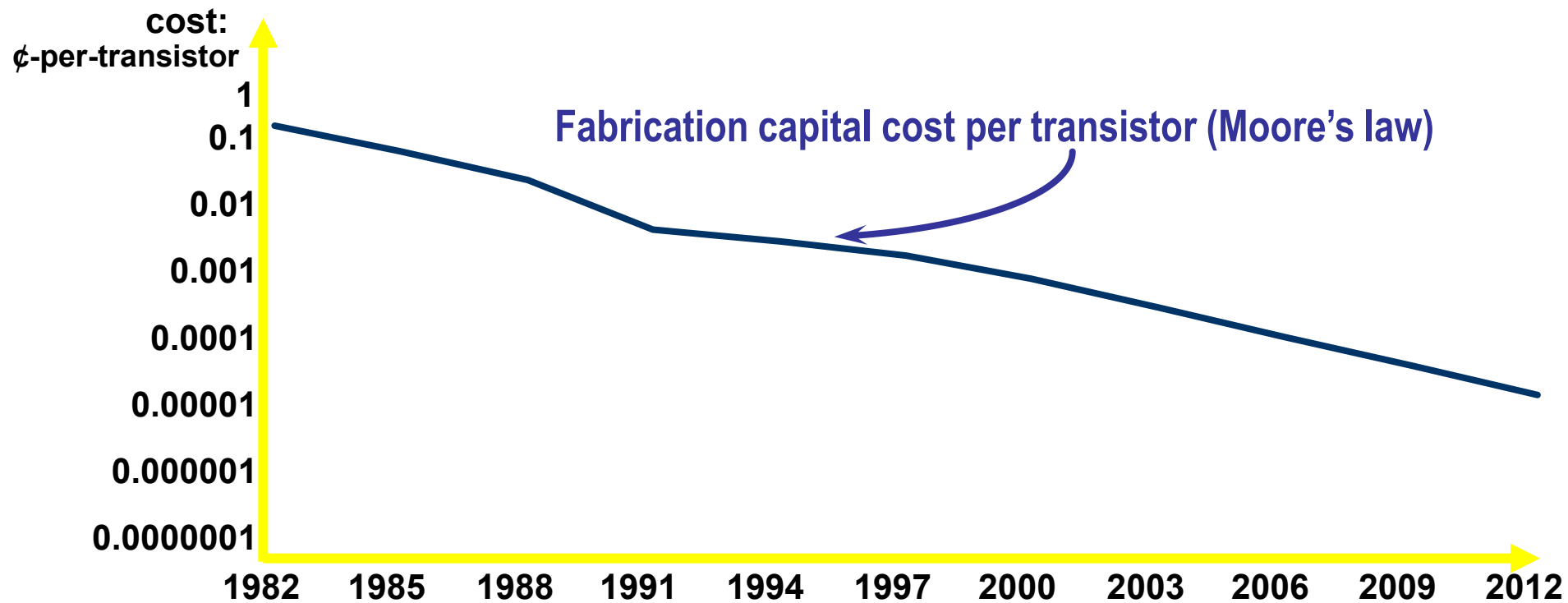
晶片速度的摩爾定律



最先進的微處理器速度每兩年倍增

電晶體的單位製造成本

製造成本

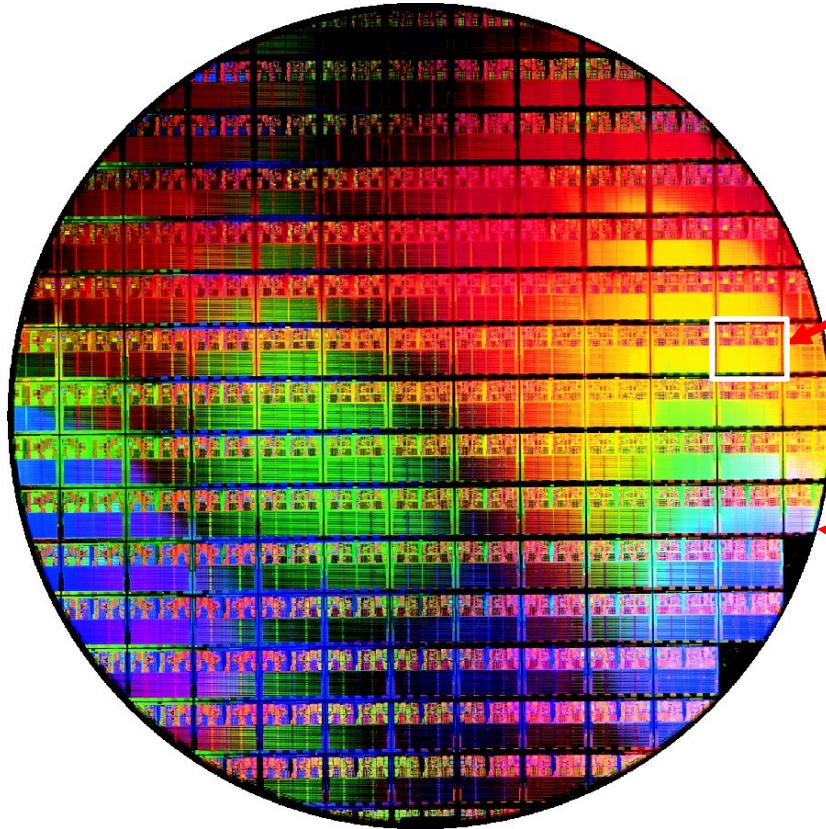




IC 製程

[https://www.youtube.com/watch?
v=JDROPMoNZpk](https://www.youtube.com/watch?v=JDROPMoNZpk)

Silicon Wafer

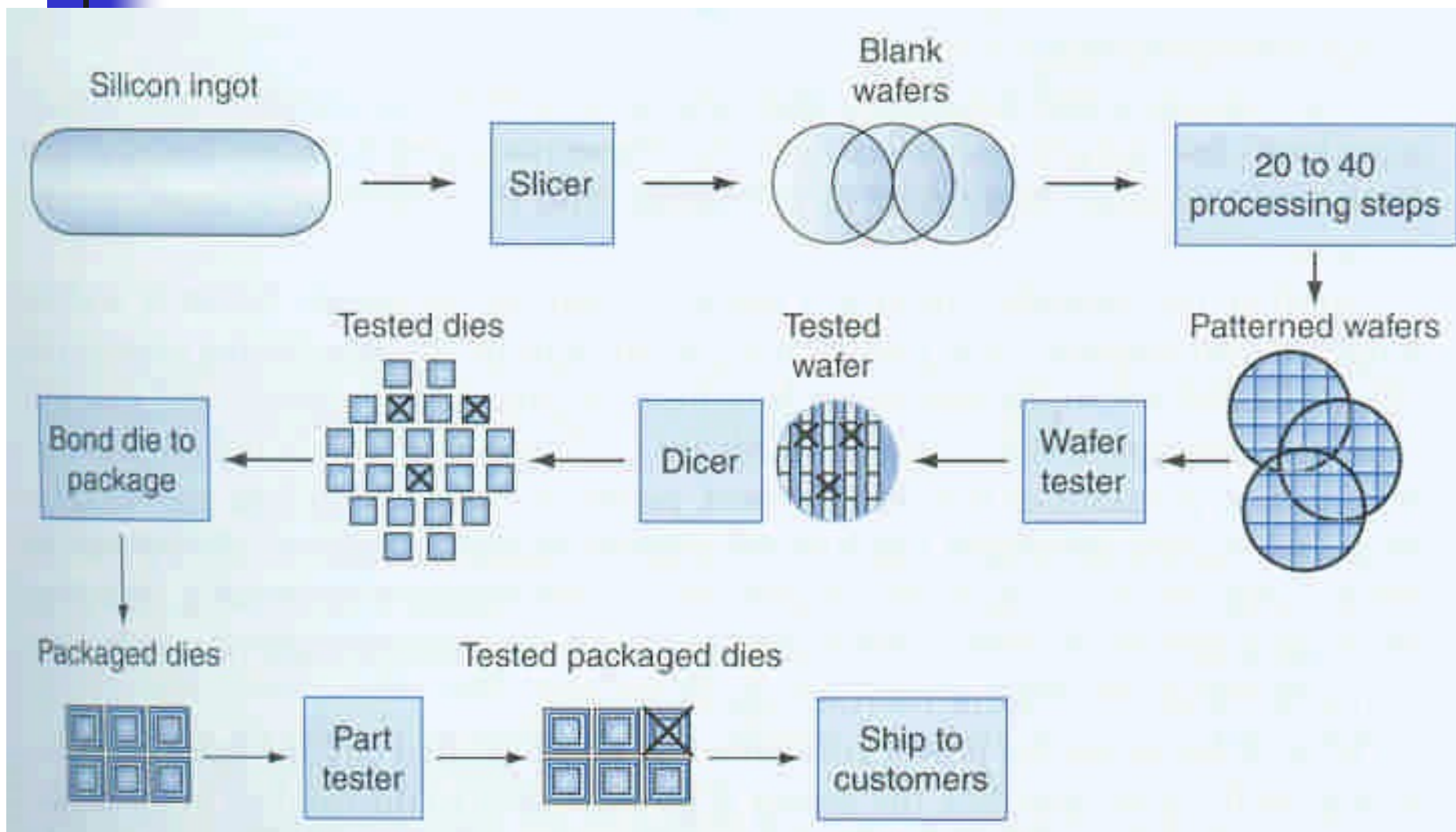


未封裝前晶片

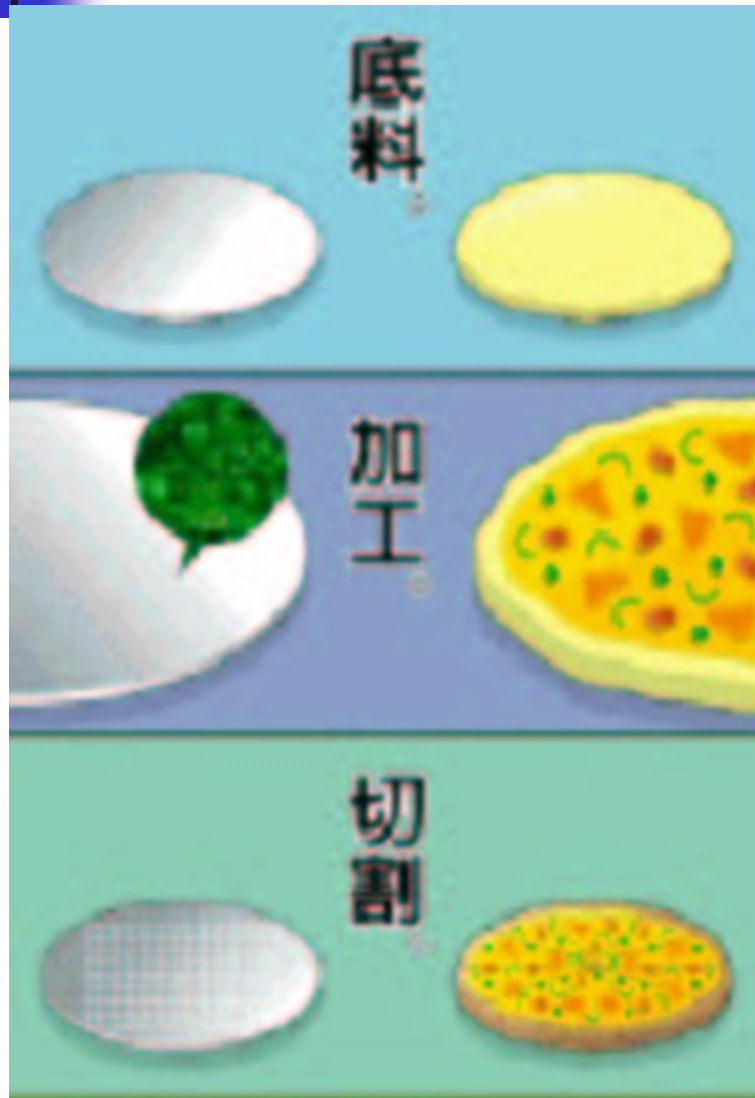
晶圓

最大可達直徑12" (30cm)

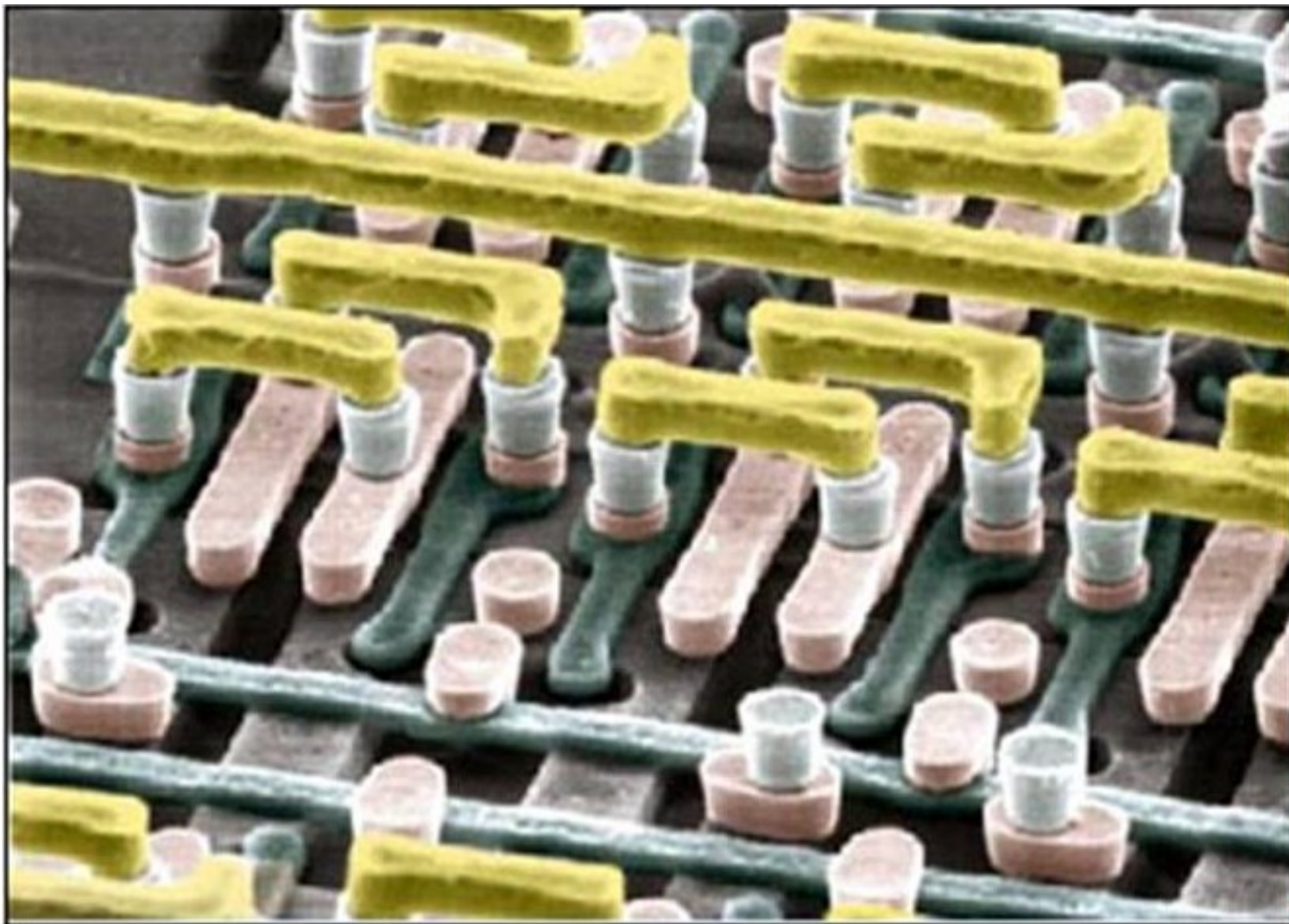
IC 製造程序 (製程)



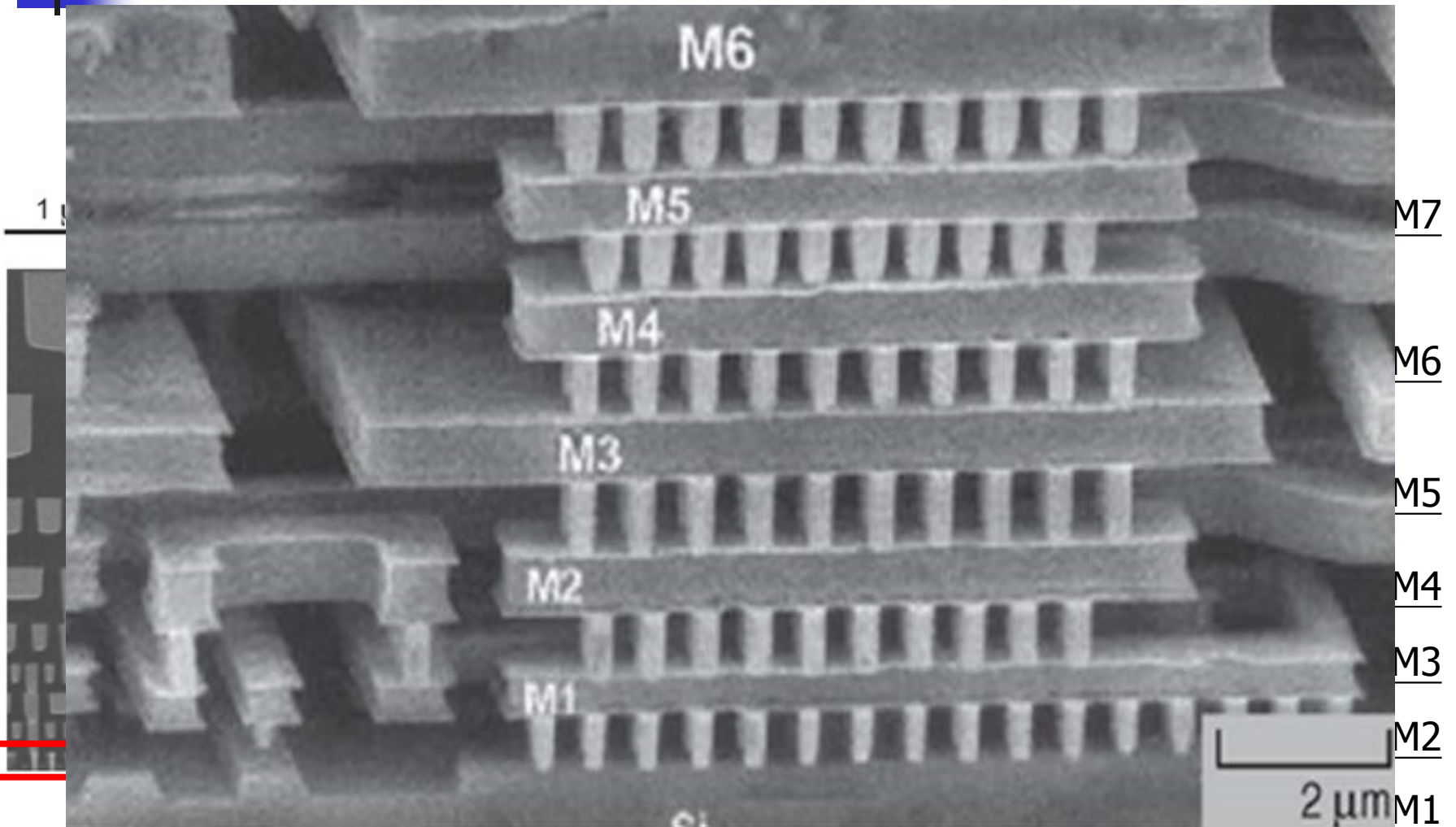
製造IC像在做Pizza



IC局部放大相片



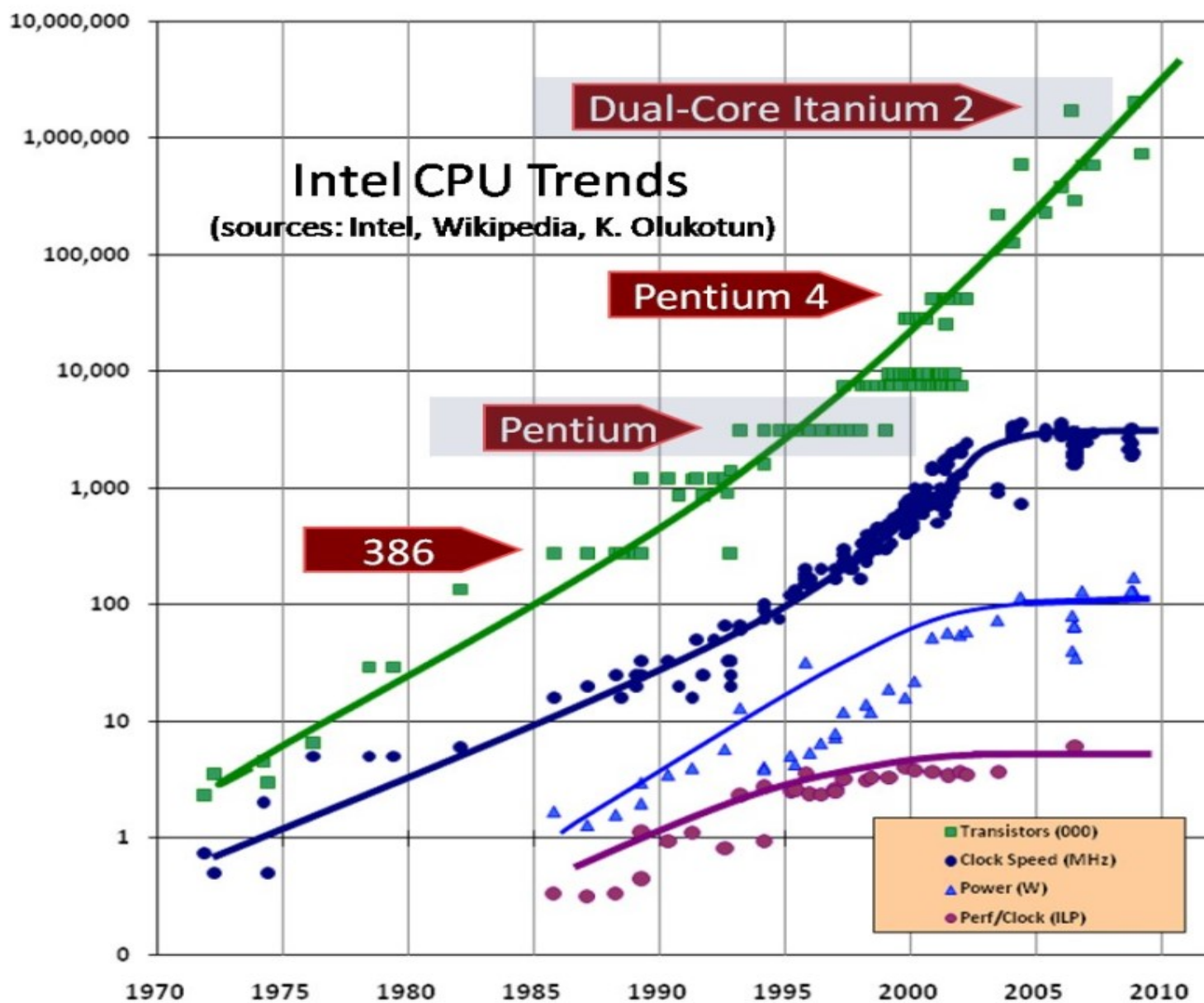
IC 側視放大照片



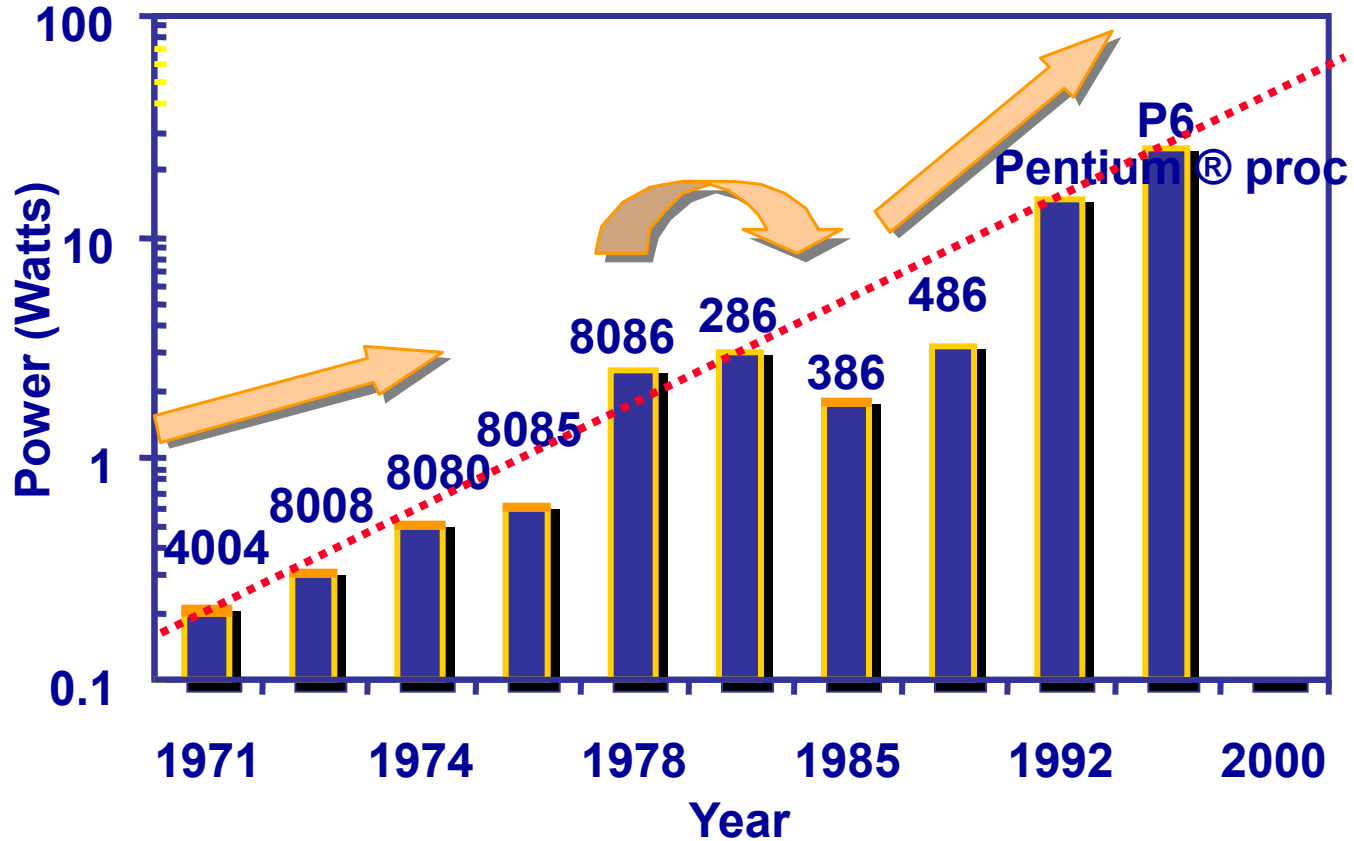


IC 進步有限制嗎？

Intel CPU 的趨勢



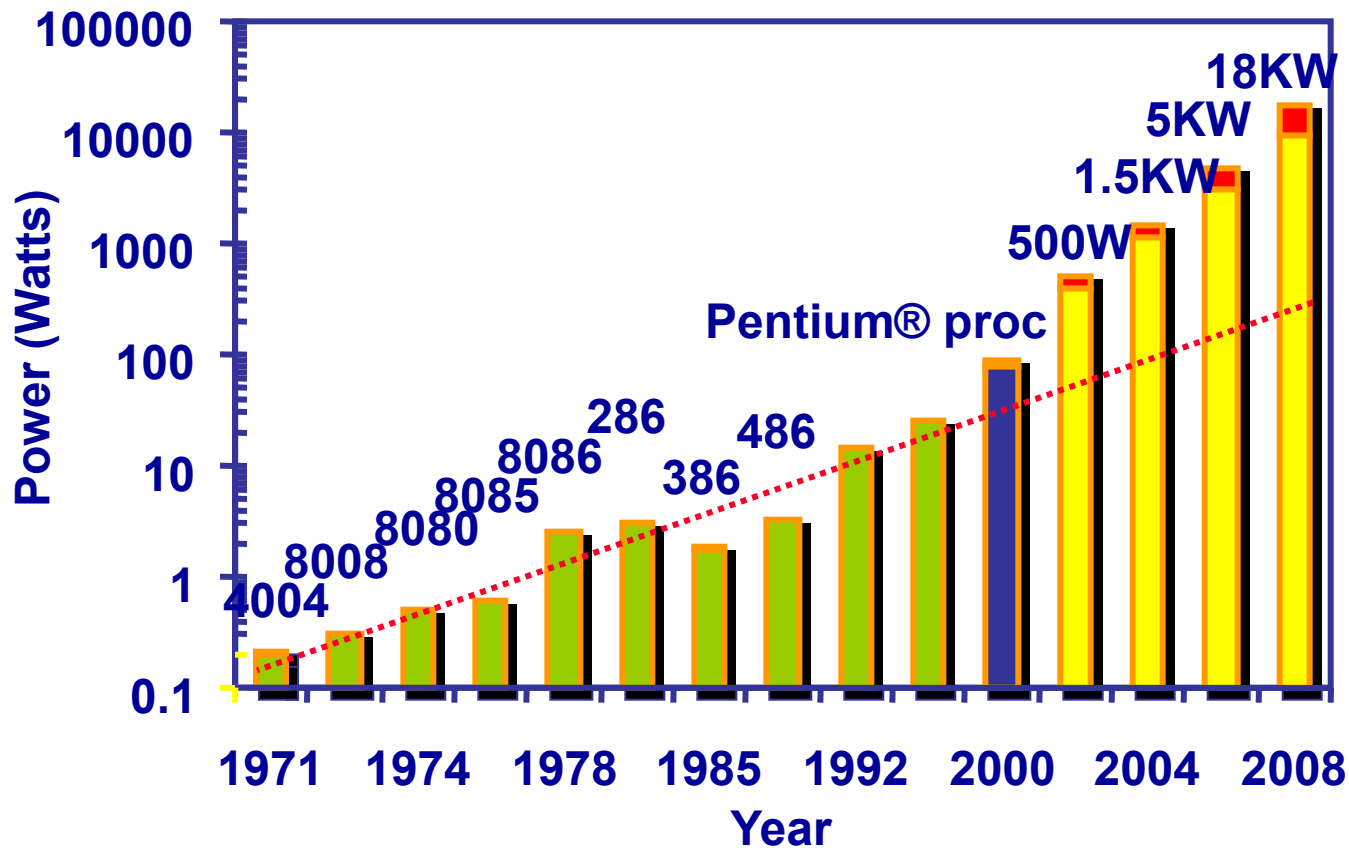
微處理器消耗的功率



微處理器功率一直增加

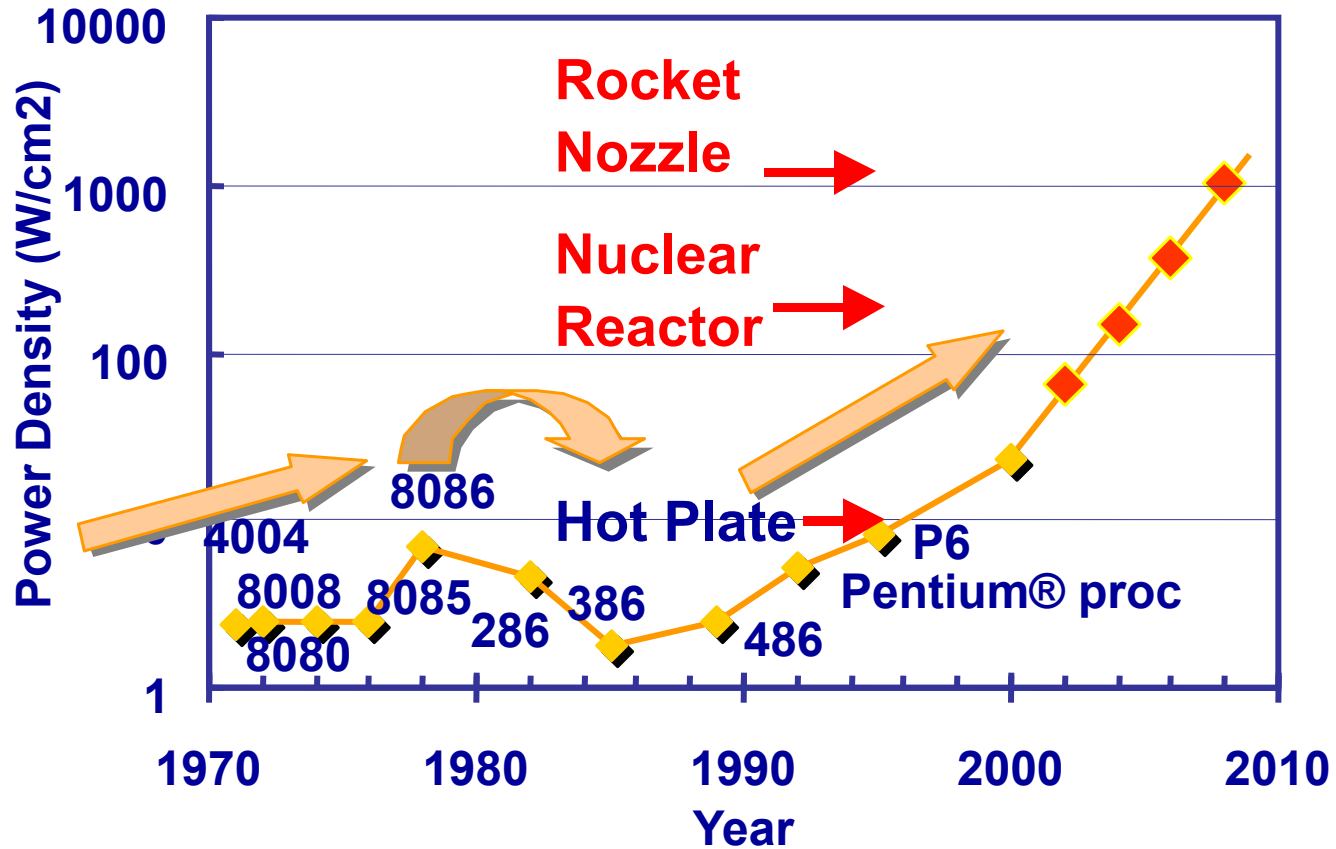
Source: Intel

IC消耗功率太高是一大問題



Source: Intel

功率密度



Source: Intel



走向多核

- 在一個晶片上製作多個處理器
- 每一個處理器用較慢的速度來執行，耗能較低
- 16核心，64核心，甚至上千核心。



五十歲的摩爾定律 玩完了嗎？

1965 – 2015?

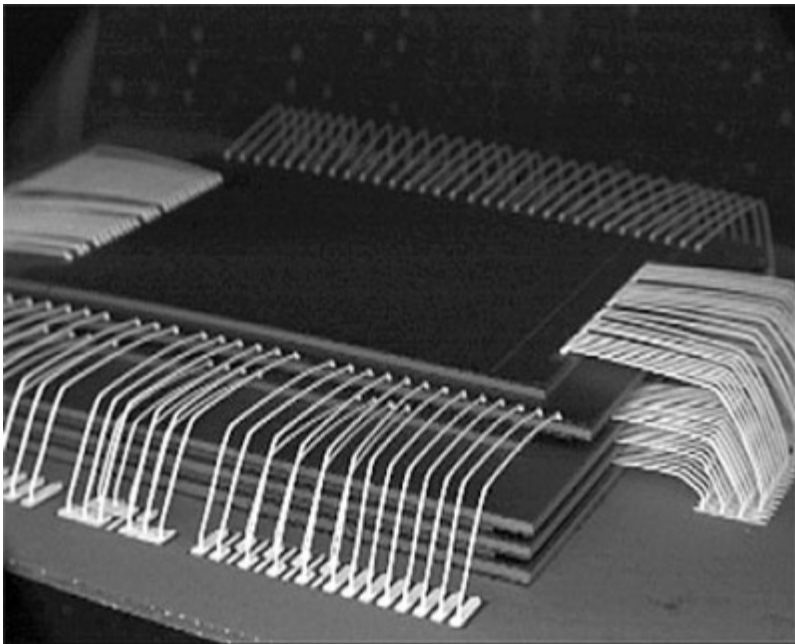


摩爾定律的未來

- 持續微縮至10nm, 5nm，甚至以下。
- 到達原子尺寸極限以前，會走向立體化。
- 立體化(3D)有幾種方法，可以只採用一種或採用多種
 - 3D電晶體 (鰭式電晶體， FinFET)
 - 堆疊晶片 (3D IC)
 - 堆疊電晶體層 (Monolithic 3D IC)

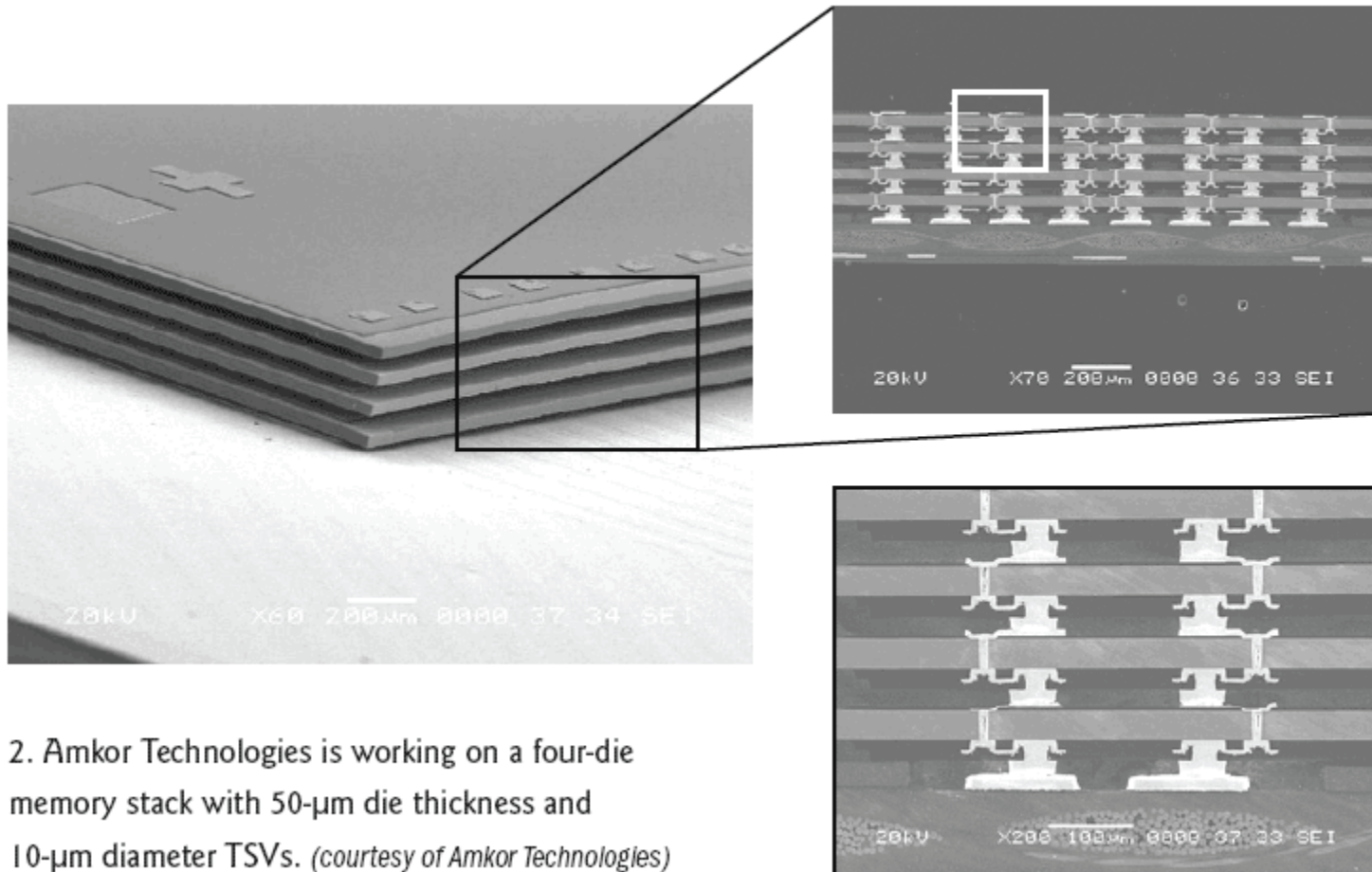
3D IC --- 晶片堆疊

- 垂直方向堆疊多個晶片 (13, 32甚至更多)
- 利用金屬線來連結晶片之間的訊號



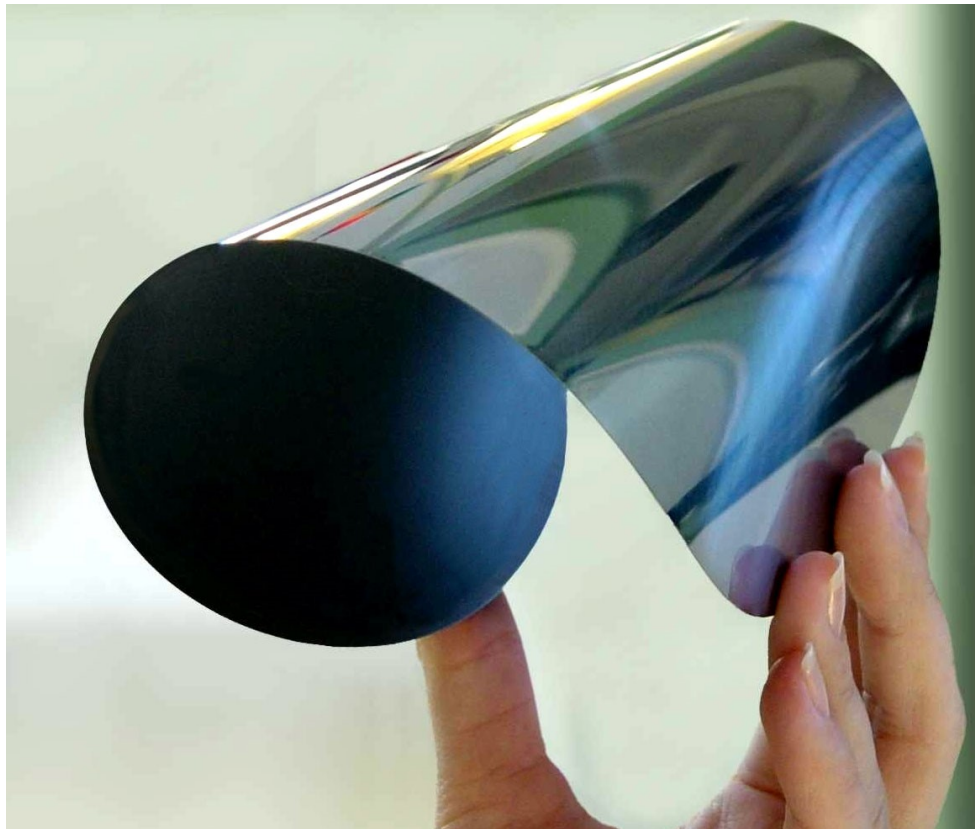
3D IC --- 穿矽連結 (TSV)

■ Through-silicon Via (TSV) 技術



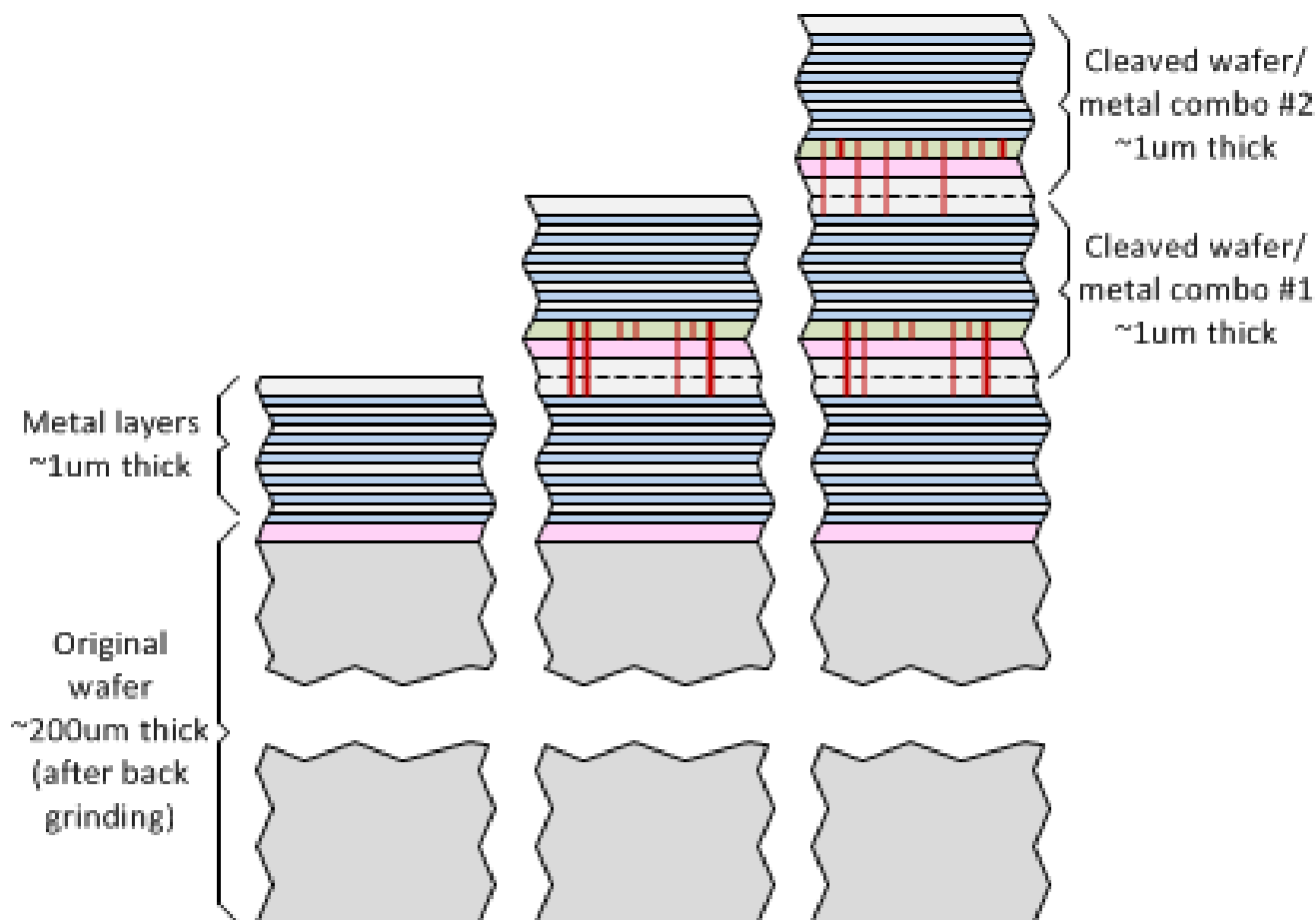
晶圓磨薄

- 晶圓堆疊之前要先磨薄
- 從 $300\mu\text{m}$ 磨成 $30\mu\text{m}$.



Monolithic (單晶) 3D IC

- 一層一層的電晶體與連結直接堆疊





總結

- IC設計與製造技術在過去半個世紀來促成了電子科技爆炸性的成長。
- 影響了所有人類的各個生活層面：通訊，能源，醫療，科學，農業，工業，運輸，娛樂等等。
- 展望未來，摩爾定律還會持續。
- 工程師們也會持續do this good job，為人類的福祉與更好的生活品質創造出更多的創新產品與技術。