

BeLight™

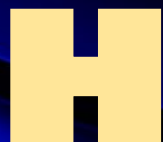
NYCU AI Semiconductor

悅讀AI半導體

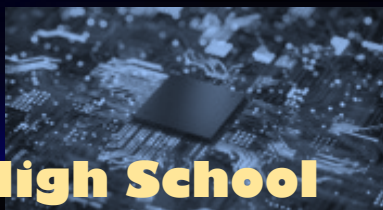
Rabboni 的AI半導體世界



Rabboni
AI semiconductor



High School



編輯 溫瓊岸

國立陽明交通大學電子研究所教授

國立陽明交通大學半導體學院合聘教授

國立陽明交通大學/社會責任推動辦公室執行長



著作權人國立陽明交通大學。禁止拷貝及非學校教學利用。

引用圖形部分各著作權人有著作權。禁止拷貝或其他方式利用。

BeLight AI Semiconductor為國立陽明交通大學註冊商標。

感謝矽譜科技股份有限公司提供Rabboni編製教材。Rabboni為矽譜科技股份有限公司註冊商標。

感謝Massachusetts Institute of Technology提供Scratch使用權限，線上實作本教材。Scratch為Massachusetts Institute of Technology註冊商標。

感謝台灣積體電路製造股份有限公司提供SDG贊助，編製本教材。

Copyright Holder: National Yang Ming Chiao Tung University:

Copying and Non-School Teaching Use Prohibited.

Copyright for the graphical parts belongs to the respective copyright holders. Copying or other forms of use are prohibited.

BeLight AI Semiconductor is a registered trademark of National Yang Ming Chiao Tung University.

Thanks to SIPP Technology Corporation for providing materials for the Rabboni textbook. Rabboni is a registered trademark of SIPP Technology Corporation.

Thanks to the Massachusetts Institute of Technology for granting permission to use Scratch for online implementation of this textbook. Scratch is a registered trademark of the Massachusetts Institute of Technology.

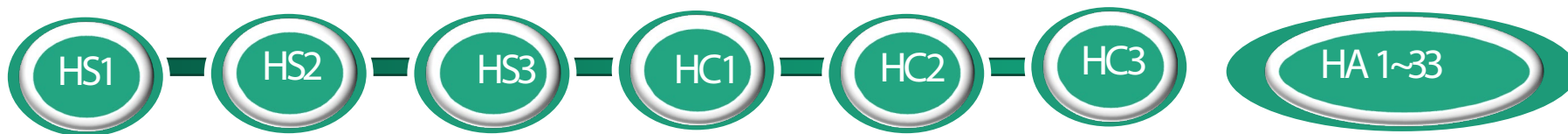
Thanks to Taiwan Semiconductor Manufacturing Company for providing SDG sponsorship for the preparation of this textbook.



課程地圖

課程建議順序，請教師依學習狀況調整

可平行進行，請依學習狀況調整



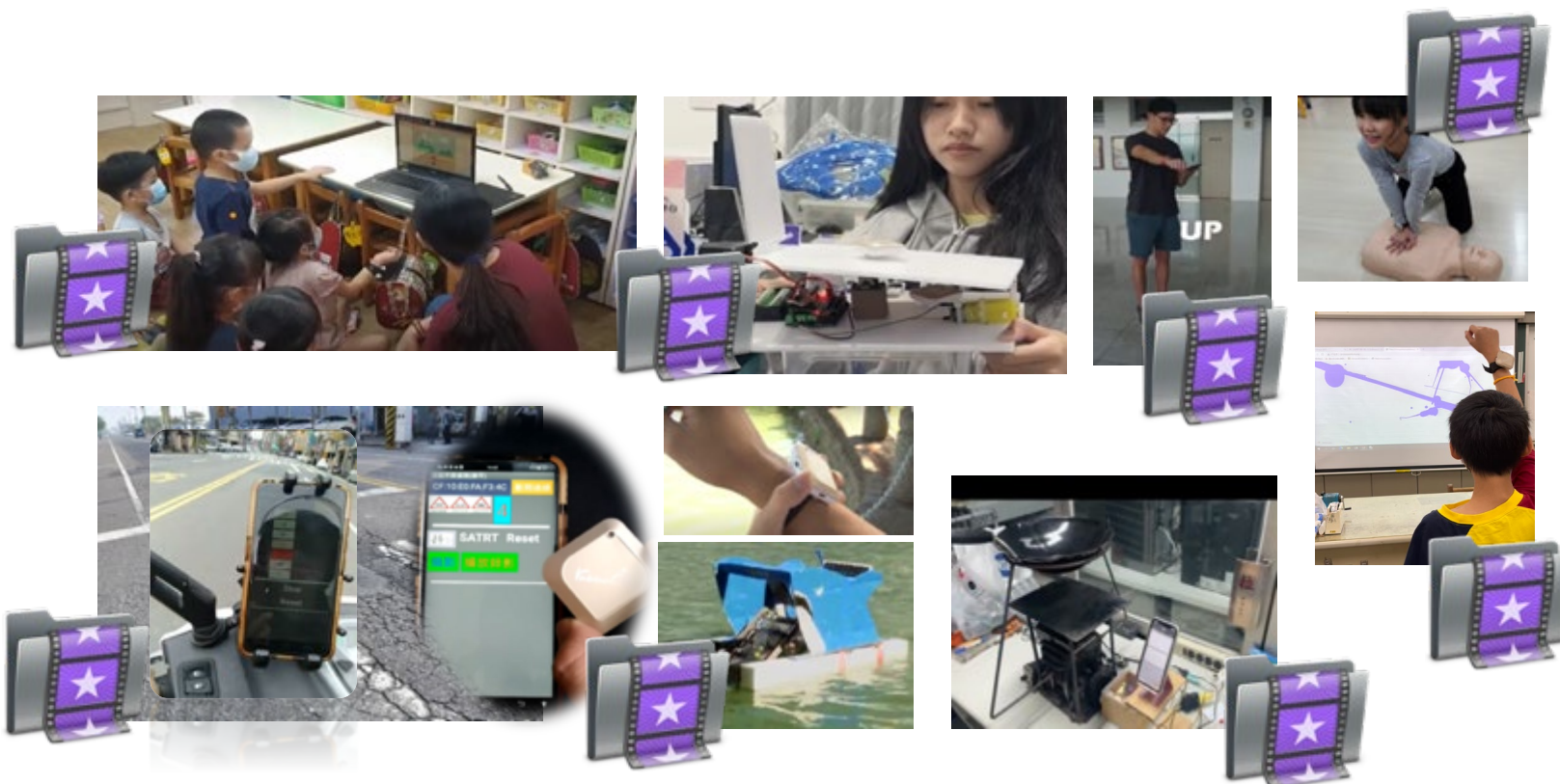
		G 5/G6	CODE	G7/G8/G9	CODE	G10/G11/G12	COD E
半導體	材料	P 型半導體/N 型半導體是甚麼	PS1	半導體材料	JS1	新一代半導體材料	HS1
	元件	二極體 Diode 是甚麼	PS2	半導體元件	JS2	新一代半導體元件 FINFET GAA	HS2
	製程	半導體的奇幻工廠	PS3	IC沙子到半導體 用樂高做場效電晶體(Option)	JS3	3D 製程封裝技術	HS3
IC	邏輯閘	神奇的積體電路世界	PC1	數位積體電路-0與1的奧秘	JC1	邏輯閘：數位世界的積木	HC1
	EDA			邏輯閘：數位世界的積木	JC2	設計流程	HC2
	IC/xPU					CPU/GPU/MPU	HC3
AI	生活中的AI	拆解 Rabboni AI半導體互動遊戲介紹	PA1	半導體感測器+AI	JA1	半導體感測器+AI	HA1
	認識AI **					「啟發 AI 的六堂課」	HA2
產業	產業	AI 半導體創新路	PI	產業分工	JI	AI 半導體產業與展望	HI
	實作與成果展	Rabboni AI半導體互動遊戲設計 (Gamification) 悅讀AI 半導體強調於愉悅，輕鬆接觸半導體，深入探討仍須循序建立基礎					ES

** 需有 EXCEL，Scratch 及 RABBONI 使用基礎，若無，建議以六小時分享



Rabboni
Al semiconductor

背景說明-1/2





Rabboni
AI semiconductor

背景說明-2/2

Lecture notes by college students



認識半導體-材料篇



應用半導體-元件篇



認識半導體-電晶體製程



認識半導體-認識矽晶體電路及數位邏輯



想像半導體-產業篇



半導體應用-RABONI示範



Lecture notes by high school students.



矽晶體製程



數位篇/認識數位邏輯



Most sophisticated sculpture in the world-the making of semiconductor



半導體食譜大全



Using IC process creating Infinite and Comprehensive universe



半導體不會絆倒你



電流的守門員-如何製造電晶體



電路與數位邏輯



晶粒所製，電晶體製成機



English Lecture by High School Girl Student.





近日教育部政次葉丙成在「因材施教：成就每個孩子」國際研討會中表示，「因材施教」仍太權威，宜改成「因趣導學」，讓孩子有自主學習能力。教育部官員到教育的研討會批評題目不好、要改，恐怕是史上頭一遭吧？

<https://udn.com/news/story/7314/8369051>



「Light」有幾個主要的意思：

1. 光：指可見的光線或照明，例如太陽光、燈光等。
2. 輕的：形容物體的重量不重，例如「這個箱子很輕」。
3. 輕鬆的：形容某事物不嚴肅或不困難，例如「這是一個輕鬆的話題」。
4. 啟發或明亮的：在比喻意義上，指某種理解或啟發，例如「她的話讓我豁然開朗」。



Scratch + Rabboni= Playful Learning

r1_Rabboni book outline to K12

Empowering Young Learners: Game-Based Technology Education for Taiwan's K12 Students – A Collaboration with NYCU, TSMC, and MIT

or

Building Future Innovators: Game-Based Learning and Technology Education in Taiwan's K12 Schools – A NYCU, TSMC, and MIT Collaborative Project

Chair of tsmc charity foundation:

<https://reurl.cc/kyDjrK>

Semiconductor related samples:

Scratch + Rabboni:

1. Catch the semiconductor materials

<https://www.youtube.com/watch?v=G E7I8K0NPNk>

2. Electron Racing

<https://www.youtube.com/watch?v=n Feq2wqyd5I>

3. Electron find hole

<https://www.youtube.com/watch?v=A ZYomvJMt4M>

4. Environmental protection

<https://reurl.cc/WNIZoL>

5. Kits semiconductor camp

<https://reurl.cc/QEzKx9>

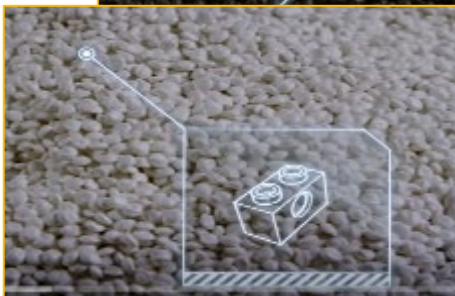


NYCU USR (University Society Responsibility program) with hundreds of teaching materials to facilitate the Playful teaching

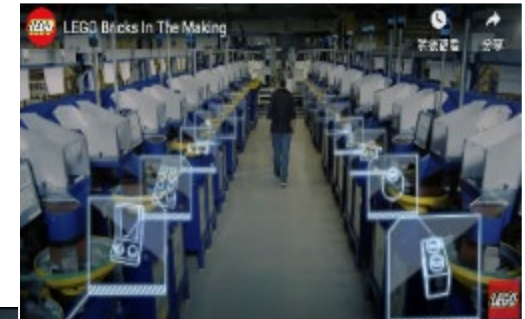
<https://12u10.lab.nycu.edu.tw/portfolio/>

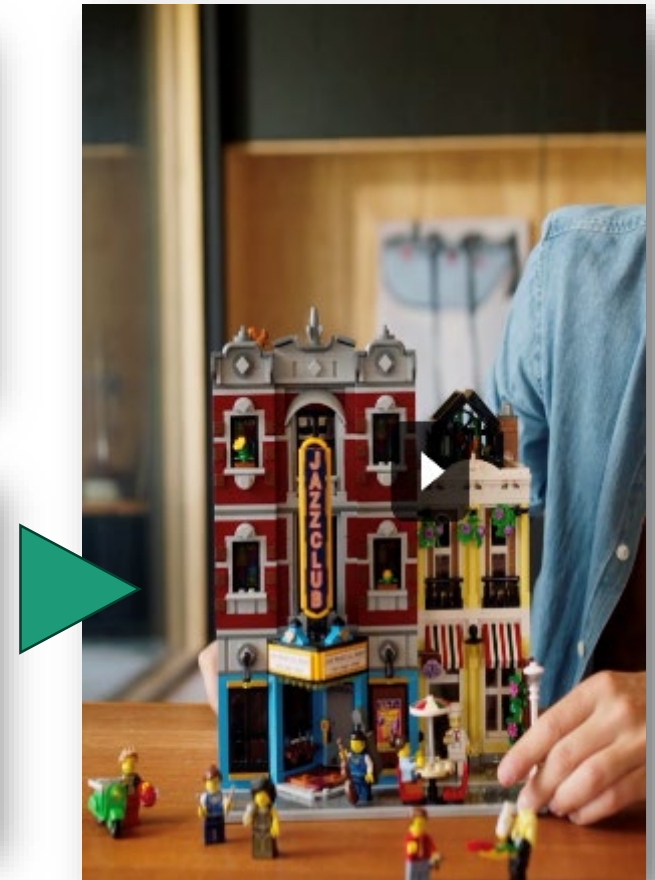
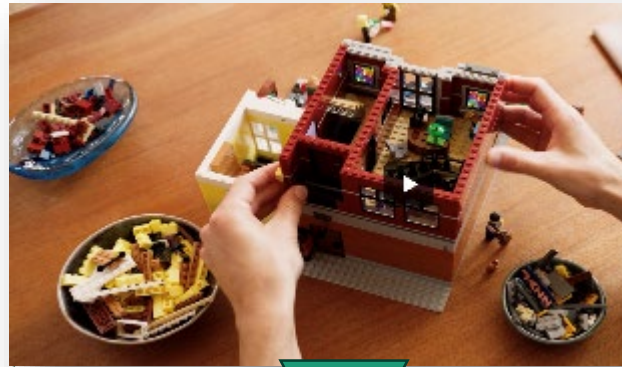


From 半導體 to Integrated Circuit: 以 Lego 為例



Lego bricks in making





HS1



大師第一講： 新一代半導體材料 HS1

大師出場

- Rabboni 是希伯來文「大師」的意思
- 它採用台積電製作的積體電路
- 它有台灣半導體產業鏈完成的電路板，人機界面，應用軟體設計製造
- 請「大師」繼續來說半導體＋積體電路





第三代半導體材料

第三代半導體材料正引領電子科技的新革命。這些先進材料憑藉卓越的物理特性，為多個產業帶來突破性創新。

讓我們一同探索這些改變未來的尖端材料。





半導體材料的演進

1

第一代

矽 (Si) 與鍺 (Ge)

1950年代發展，成為電子產業基礎

2

第二代

砷化鎵 (GaAs) 與磷化銦 (InP)

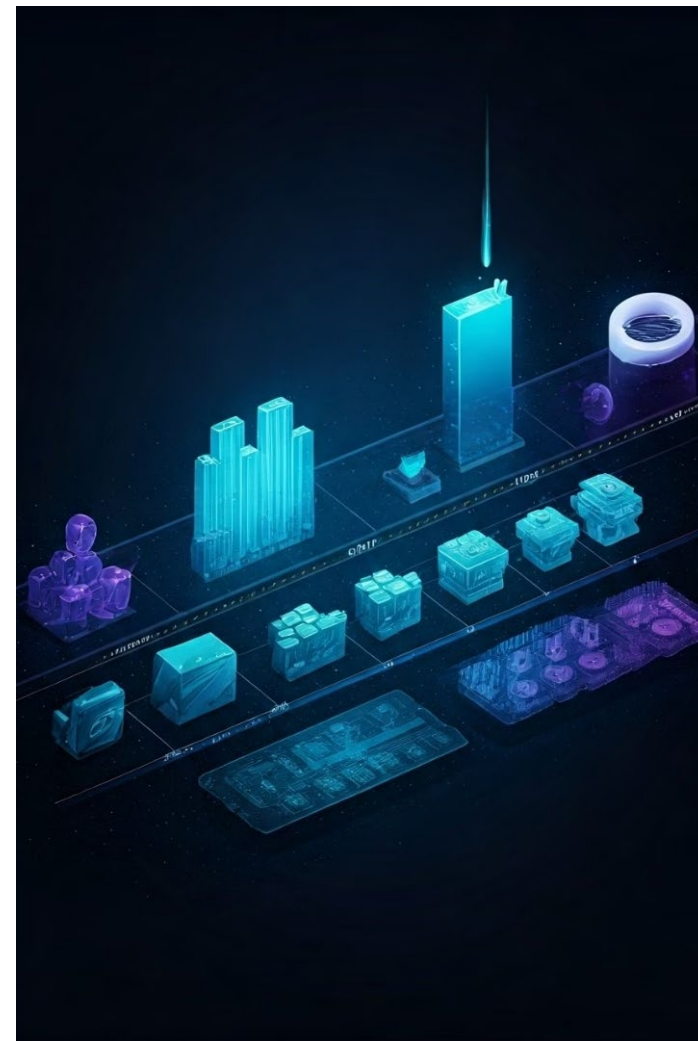
1970年代發展，提高了頻率響應

3

第三代

碳化矽 (SiC) 與氮化鎵 (GaN)

2000年代發展，擁有突破性的寬禁帶特性





第三代半導體的特性



寬禁帶

能量帶隙顯著大於矽，使其能在更高溫下工作。



高擊穿電場

能承受更高電壓，適合高功率應用。



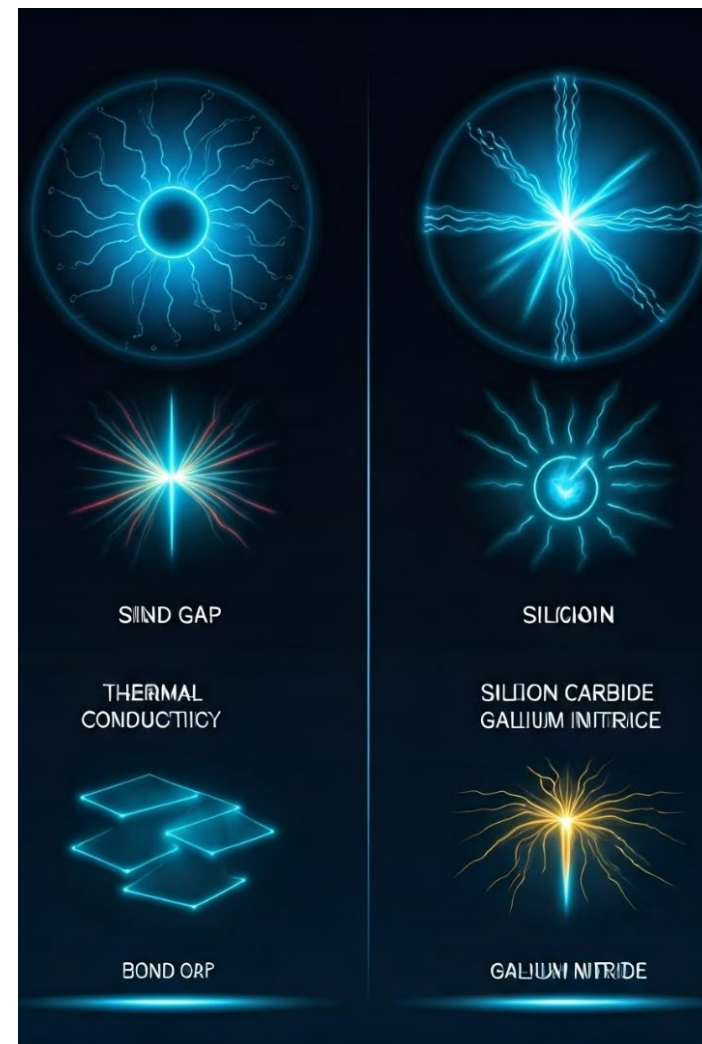
高熱導率

有效散熱，提高器件可靠性。



高電子飽和漂移速率

實現更高頻率運作，提升開關效率。

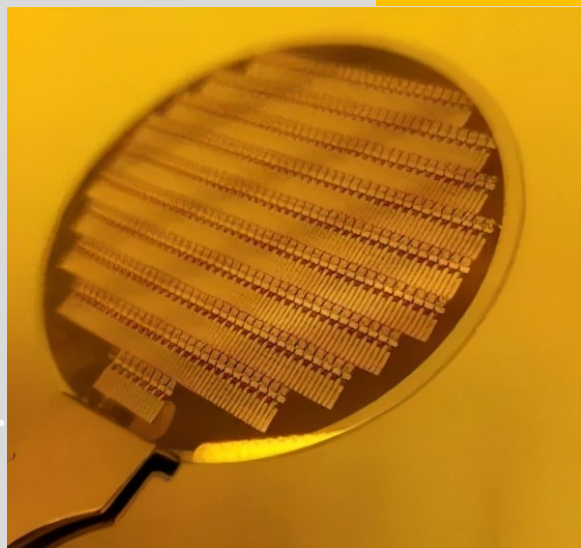


第一代半導體-元素半導體(Si/Ge)

放 週期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 氫																	2 He 氦
2	3 Li 鋰	4 Be 鈹											5 B 硼	6 C 碳	7 N 氮	8 O 氧	9 F 氟	10 Ne 氖
3	11 Na 鈉	12 Mg 鎂											13 Al 鋁	14 Si 矽	15 P 磷	16 S 硫	17 Cl 氯	18 Ar 氬
4	19 K 鉀	20 Ca 鈣	21 Sc 釷	22 Ti 鈦	23 V 釩	24 Cr 鉻	25 Mn 錳	26 Fe 鐵	27 Co 鈷	28 Ni 鎳	29 Cu 銅	30 Zn 鋅	31 Ga 鎵	32 Ge 鍺	33 As 砷	34 Se 硒	35 Br 溴	36 Kr 氪
5	37 Rb 鉀	38 Sr 銣	39 Y 釷	40 Zr 鈦	41 Nb 鈮	42 Mo 鉬	43 Tc 錳	44 Ru 鈷	45 Rh 銠	46 Pd 鈀	47 Ag 銀	48 Cd 鎘	49 In 銦	50 Sn 錫	51 Sb 銻	52 Te 碲	53 I 碘	54 Xe 氙
6	55 Cs 銫	56 Ba 鋇	鐳系	72 Hf 鈦	73 Ta 鉭	74 W 鎨	75 Re 錳	76 Os 銱	77 Ir 銥	78 Pt 鉑	79 Au 金	80 Hg 汞	81 Tl 鉍	82 Pb 鉛	83 Bi 鉍	84 Po 鉈	85 At 砒	86 Rn 氡
7	87 Fr 銣	88 Ra 鐳	錒系	104 Rf 鈦	105 Db 鈮	106 Sg 鉬	107 Bh 錳	108 Hs 銱	109 Mt 銥	110 Ds 鉑	111 Rg 銠	112 Cn 鈀	113 Nh 鉍	114 Fl 鉛	115 Mc 鉍	116 Lv 鉈	117 Ts 砒	118 Og 鉈

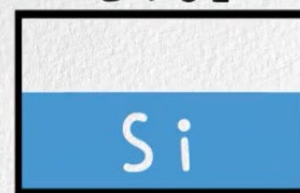
鐳系元素	57 La 鐳	58 Ce 鈰	59 Pr 鐮	60 Nd 釹	61 Pm 鉕	62 Sm 釷	63 Eu 鈰	64 Gd 釷	65 Tb 鐮	66 Dy 鐮	67 Ho 鈰	68 Er 鈰	69 Tm 鈰	70 Yb 鈰	71 Lu 鈰
錒系元素	89 Ac 錒	90 Th 釷	91 Pa 鐳	92 U 鈾	93 Np 釷	94 Pu 鈾	95 Am 鈾	96 Cm 鈾	97 Bk 鈾	98 Cf 鈾	99 Es 鈾	100 Fm 鈾	101 Md 鈾	102 No 鈾	103 Lr 鈾

第一代半導體-元素半導體(Si/Ge)

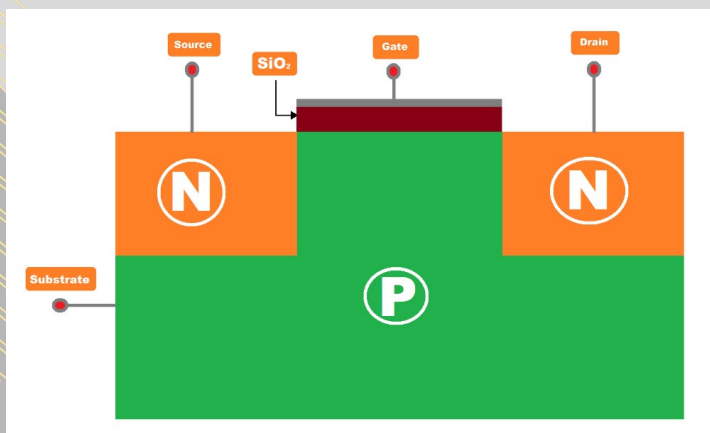


氧化
製程

SiO_2 優異的絕緣材料



← 相對優異的界面
(缺陷少)



- Si氧化後成 SiO_2 ，為最緻密的絕緣體



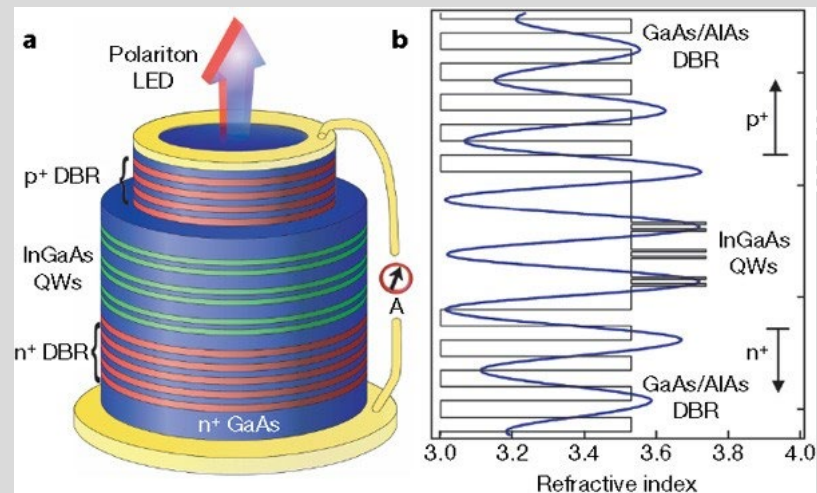
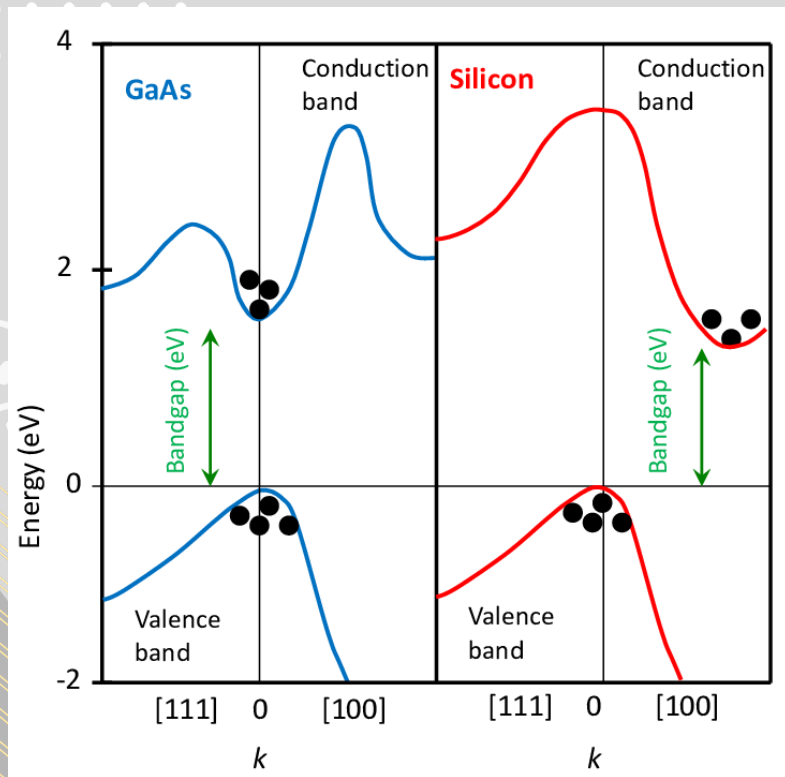
第二代半導體-半導體(GaAs/InP)

砷化鎵 (GaAs) 與 磷化銦 (InP) 整理與比較

項目	GaAs 砷化鎵	InP 磷化銦
功率密度(W/mm) (註 1)	0.5	1.8
作用溫度	攝氏 350 度	攝氏 300 度
電子遷移率(cm ² /V·s) (註 2)	8,500	5,400
能隙 (註 3)	1.42 eV	1.3 eV
主要應用領域	高功率傳輸、LED領域	光通訊傳輸、射頻領域

當今砷化鎵的終端應用主要有「2大1小」共三個領域 — 射頻 (RF) 應用約 47%、發光二極體 (LED) 應用約 42%、激光二極體 (LD) 應用約佔 10%。

第二代半導體-半導體(GaAs/InP)



第二代半導體的材料特性為直接能隙(Direct Bandgap)，散發能量會以光的形式，因此是一種會發光的材料。



第三代半導體-化合物半導體(SiC/GaN)

名稱	能隙	功率器件	特性	應用領域
碳化矽 (SiC)	3.2 eV	高壓電 電壓 > 1,200 V	高壓電、高功率、 高效率	高功率應用，如電動 車充電基礎設施，及 其他電動車相關應用
氮化鎵 (GaN)	3.4 eV	高壓電 電壓 < 900 V	耐高溫、高頻操作、 高效率	5G射頻設備、軍用雷 達、資料中心、工業 電源、中低功率應用， 如LED、快充

第三類半導體材料則是以其高功率、高電壓、散熱佳等優點



第三代半導體-化合物半導體(SiC/GaN)



能隙越高代表電子脫離束縛需要越高的能量，也就是可以承受更高的能量。
電動車(30~350kW)以及能源產業(5kW~1MW)



Summary

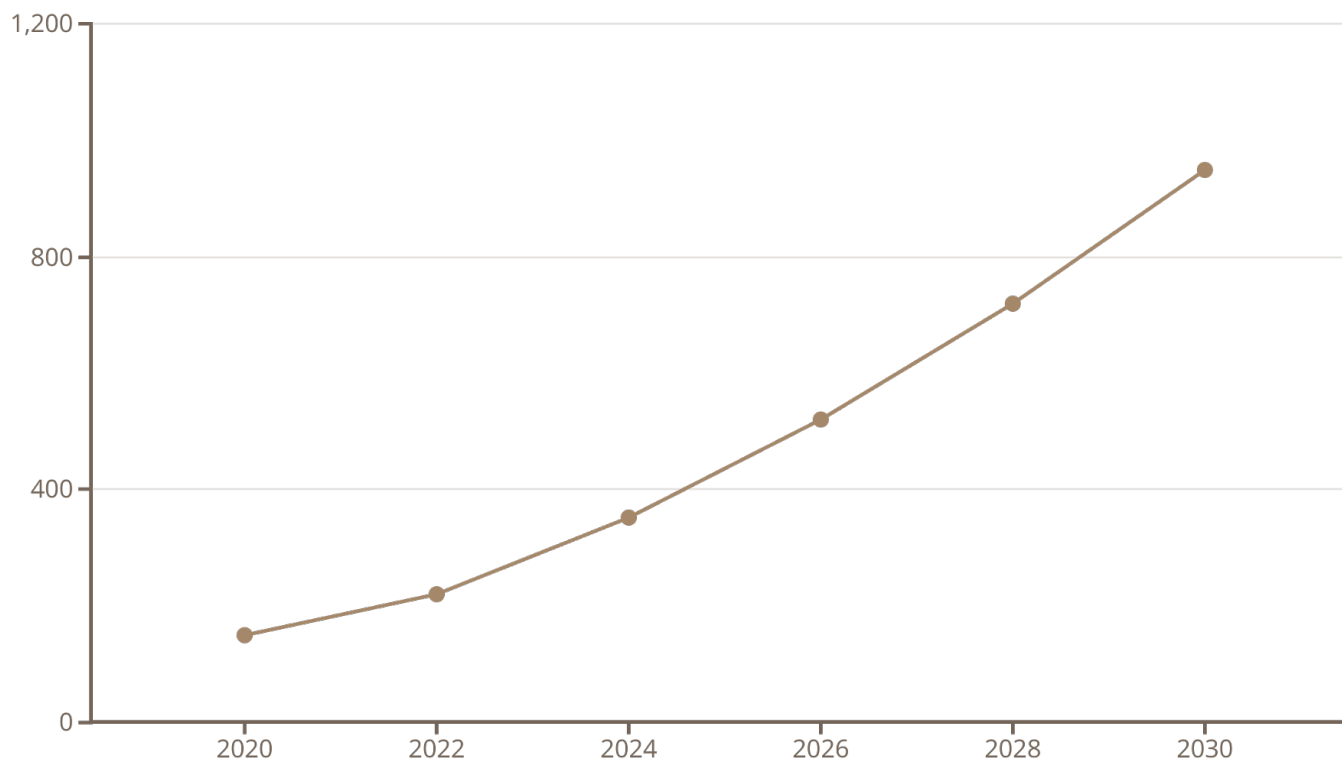
類型	材料	特性	應用
第一代半導體	矽 (Si) 鍺 (Ge)	材料來源充足、 長晶、元件設計、製作容 易、成本優勢	低電壓、太陽能電池、低頻功率 電子元件、 邏輯IC、記憶體 IC、微元件 IC 及類比 IC等
第二代半導體	砷化鎵 (GaAs) 磷 化銦 (InP)	低功耗、高導熱、抗輻射、 高電子遷移率	射頻、3D感測、手機和基地台功 率放大器 (PA)、雷射 (VCSEL)、光纖傳輸等
化合物(第三代) 半導體	碳化矽 (SiC) 氮化鎵 (GaN)	耐高溫/高壓、散熱/開關 速度快、高功率、轉換效 率高	能源車用電子、射頻、高壓機電 系統、光達、車用二極體、衛星 通訊功率放大器 (PA)、馬達控 制器、快充、基地台、風力發電 之控制系統等

Info from Stanford Advanced Materials	1st generation semiconductor	2nd generation semiconductor	3rd generation semiconductor
Materials	Silicon [Si] and germanium [Ge] materials	Compound semiconductor [GaAs, InSb], ternary compound [GaAsAl, GaAsP], some solid solution [Ge-Si, GaAs- GaP]; glass semiconductor, organic semiconductors, and etc.	Silicon carbide [SiC], gallium nitride [GaN], zinc oxide [ZnO], diamond, and aluminum nitride [AlN]
Applications	Used in more than 95% of semiconductor devices and more than 99% of integrated circuits.	Used in high-speed, high-frequency, high-power and light-emitting electronic devices.	Used for making high temperature, high frequency, radiation-resistant and high power devices.
Advantages	High-temperature resistance, high radiation resistance, high purity, good insulation performance, high stability and reliability.	High electron mobility, higher efficiency, better heat and moisture resistance, high breakdown voltages.	Wide bandgap, high breakdown electric field, high thermal conductivity, high electron saturation rate and higher radiation resistance.
Disadvantages	Use in optoelectronic and high-frequency, high power devices is limited.	GaAs and InP materials are scarce and therefore expensive; In addition, they are toxic and can pollute the environment.	Still in their infancy, and did not replace the former two generations of semiconductor materials

For more information,
please visit www.sputtertargets.net



第三代半導體的市場前景



預測顯示市場將從2020年的150億美元增長至2030年的950億美元。年複合增長率約為20%。



應用領域：新能源汽車

提高續航里程

SiC逆變器可提升電能轉換效率達10%

降低總成本

雖然元件價格較高，但系統成本更低



縮短充電時間

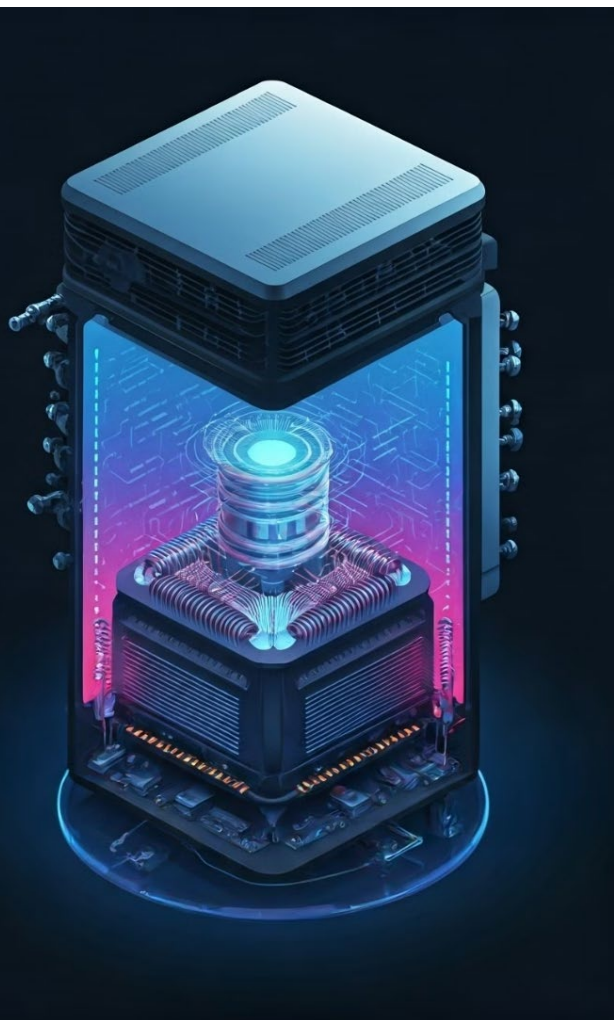
高效電源管理系統加速能量傳輸

減少散熱需求

降低冷卻系統體積與重量



應用領域：5G通訊



高頻性能

GaN支持28GHz以上的毫米波頻段



高功率輸出

基站發射功率提高50%



能效提升

功率放大器效率可達45%

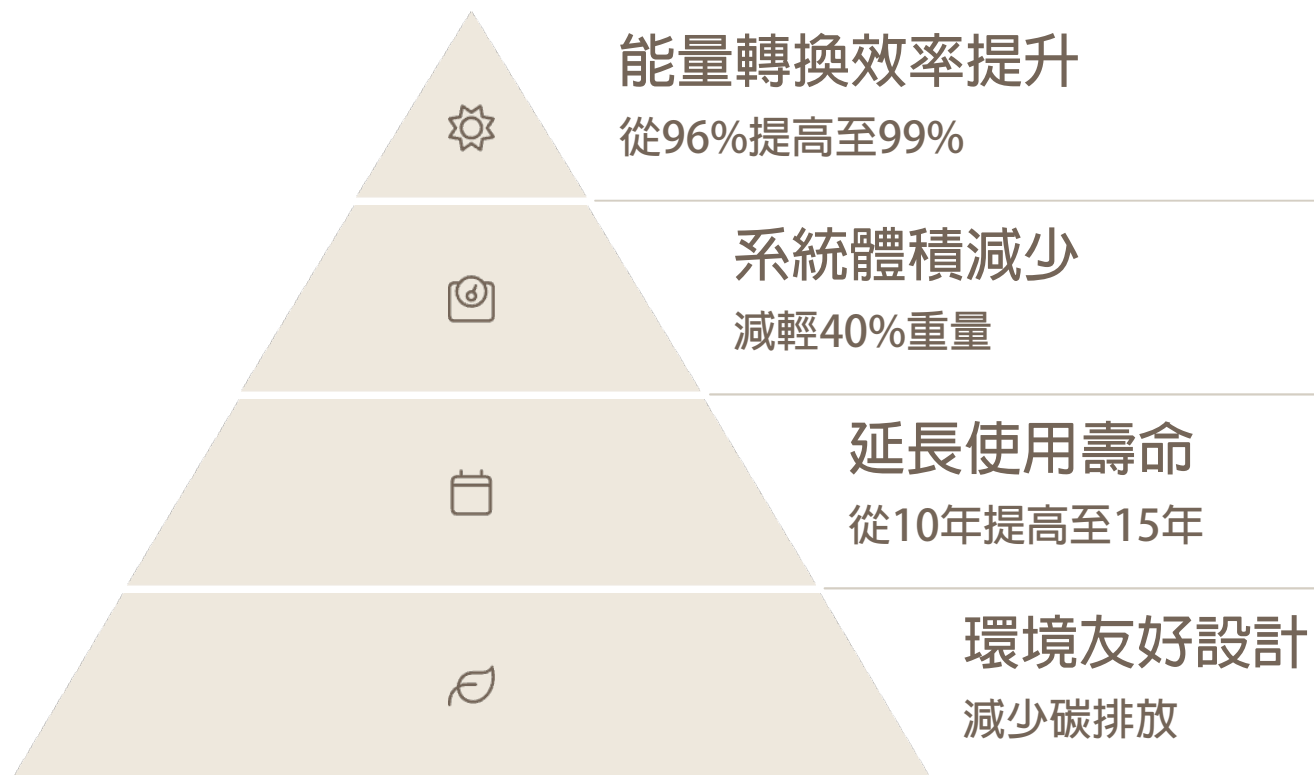


小型化設計

基站體積減少30%



應用領域：光伏和儲能





應用領域：消費電子

3x

充電速度

比傳統充電器快三倍

40%

體積減少

顯著小型化設計

92%

能源效率

比傳統矽基充電器高

GaN充電器已成為高端智能手機和筆記本電腦的標配。市場滲透率每年提高15%。





第三代半導體產業鏈

原材料供應

高純度碳化矽粉末、氮化鎵晶體生長

關鍵企業：科銳、賽普拉斯

晶圓製造

4-8英寸晶圓生產技術

關鍵企業：英飛凌、意法半導體

器件設計和製造

功率器件、射頻器件、光電器件

關鍵企業：安森美、威世

封裝測試

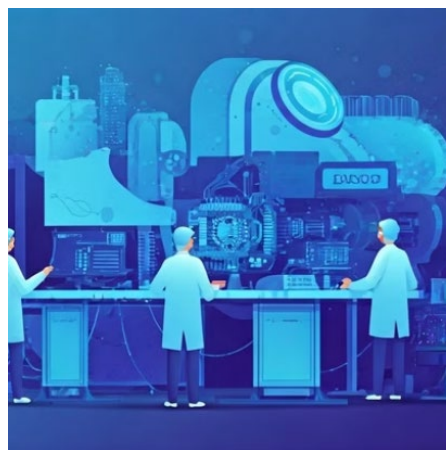
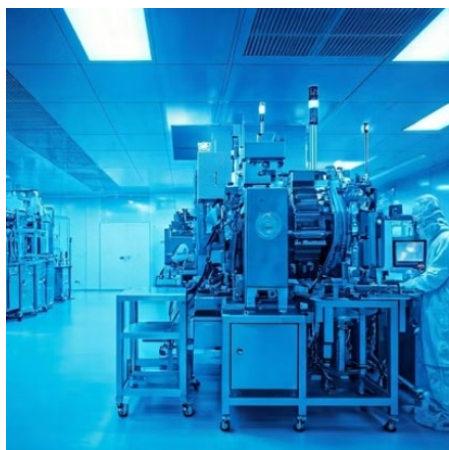
高功率密度封裝、可靠性測試

關鍵企業：安靠、日月光





全球第三代半導體競爭格局



美國、歐洲、日本和中國在第三代半導體領域展開激烈競爭。各國政府均提供大量補貼和政策支持。



技術挑戰與發展方向



提高良品率

碳化矽晶圓缺陷密度需從3個/cm²降至1個/cm²以下。氮化鎵外延層均勻性需提高30%。



大尺寸晶圓

碳化矽從6英寸擴展至8英寸。氮化鎵從4英寸擴展至6英寸。
。降低單位面積成本。
。



新型生長方法

高溫化學氣相沉積技術改進。改善晶體品質和生產效率。降低製造能耗和環境影響。
。



第三代半導體的未來展望



新能源汽車

2030年滲透率達80%



6G通訊

2035年成為標準



人工智能硬件

2028年大規模應用



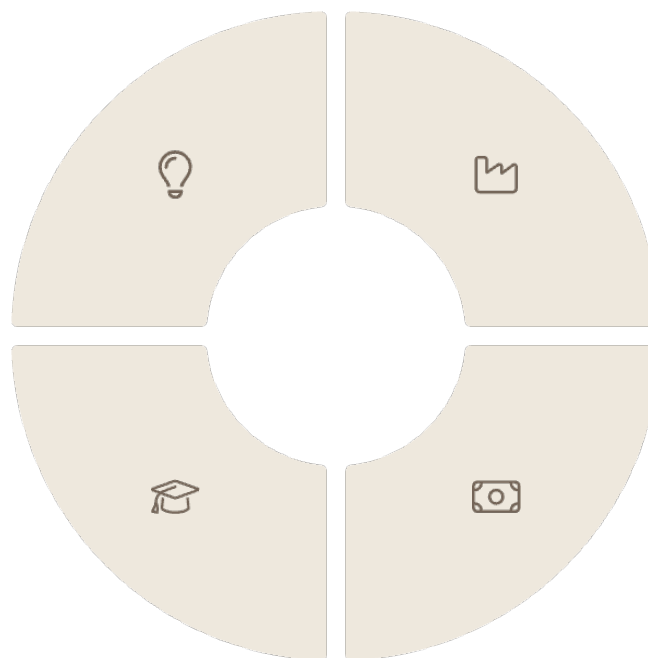
先進機器人

2032年突破性發展



結論：第三代半導體的機遇與挑戰

技術創新
材料性能持續突破，
新型器件不斷湧現



產業升級

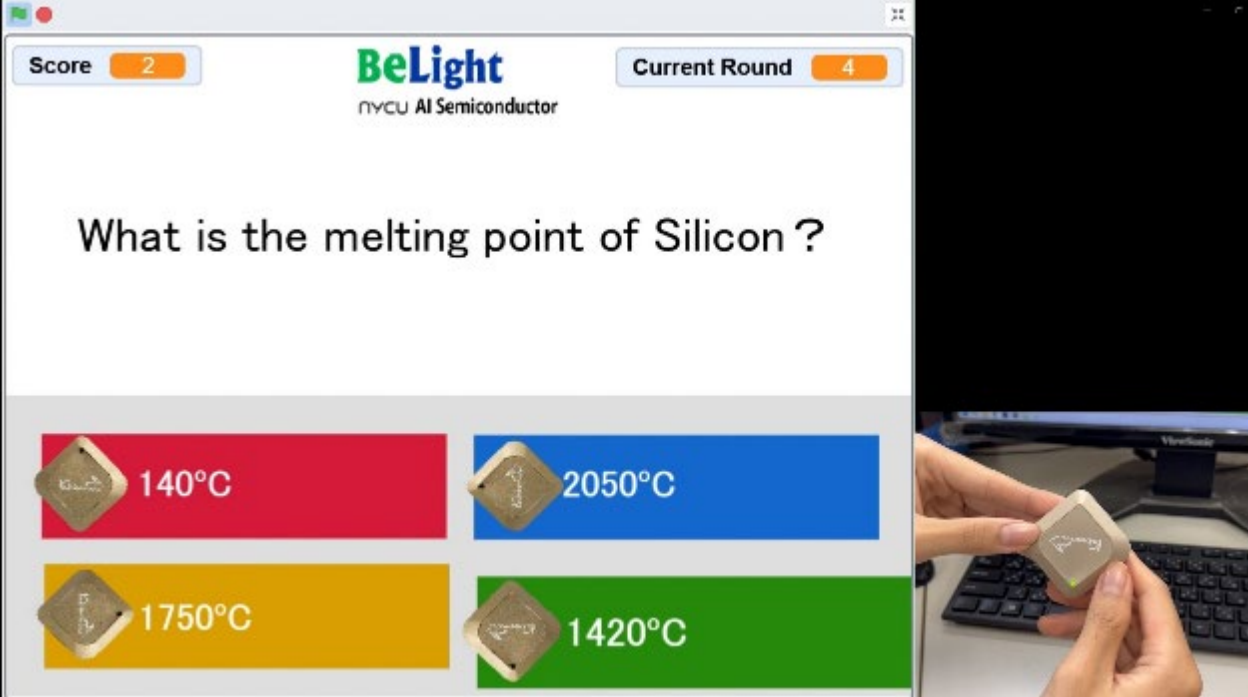
驅動電子產業鏈整體轉型，
創造高價值機會

人才需求

跨學科專業人才短缺，需加強培養

成本挑戰

降低生產成本是大規模應用的關鍵



想一想，學了什麼？怎麼做一個遊戲教弟弟妹妹，爺爺奶奶，什麼是 半導體材料？

要正確，要互動，要有創意，最好用上半導體裝置，最好有 AioT 智慧聯網，酷拉！

- 可以用 Rabboni or ...
- vu可以用 Scratch or ...
- OR ...





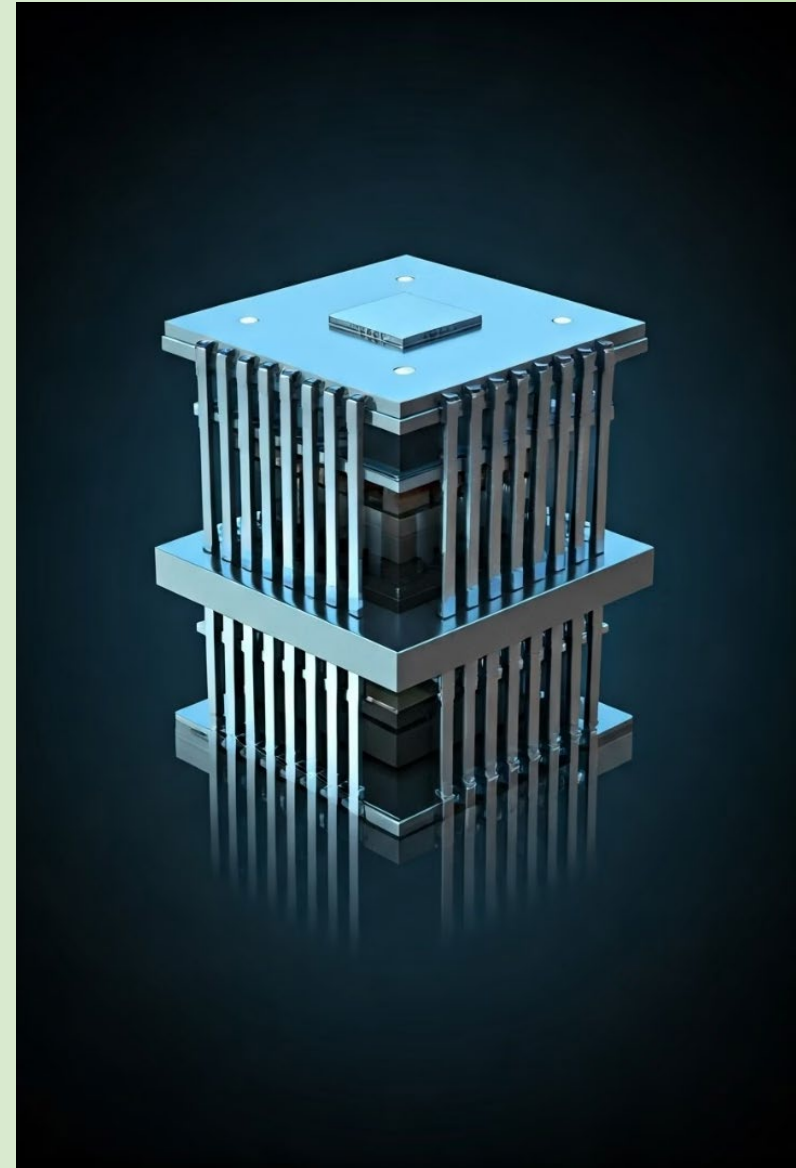
WS2

大師第二講：

■ 新一代半導體元件

第三代電晶體結構： FinFET 與 GAA FET

半導體技術不斷推進，第三代電晶體結構代表了現代晶片製造的尖端技術。本簡報將深入探討 FinFET 與 GAA FET 的關鍵特性與發展。



電晶體發展歷程

1

平面電晶體

傳統二維結構，主導半導體產業數十年。控制能力有限。

2

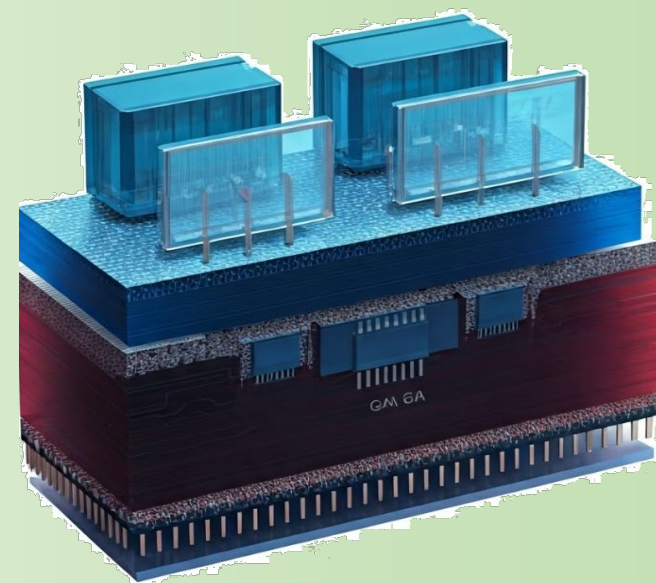
FinFET

三維鰭狀結構，大幅提升閘極控制能力。適用於 7-5nm 製程。

3

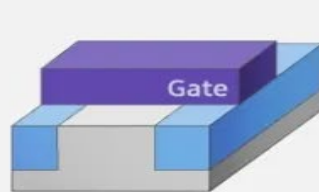
GAA FET

閘極全環結構，提供極致電流控制。應用於 3nm 以下製程。

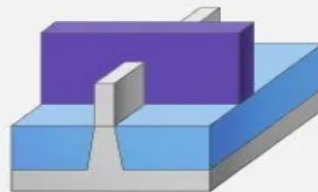




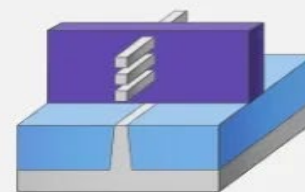
- 平面式電晶體 Planar FET
- 鰭式電晶體 FinFET
- 環繞式閘極電晶體 GAA



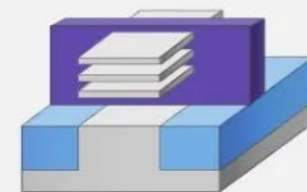
Planar FET



FinFET



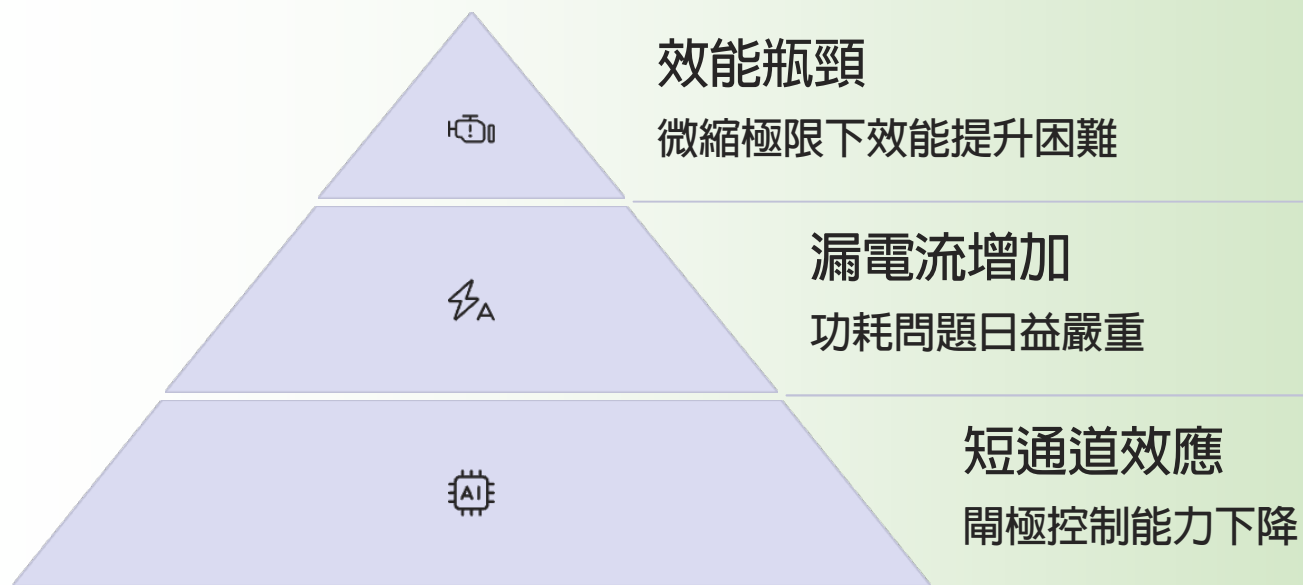
GAAFET
(Nanowire)



MBCFET™
(Nanosheet)



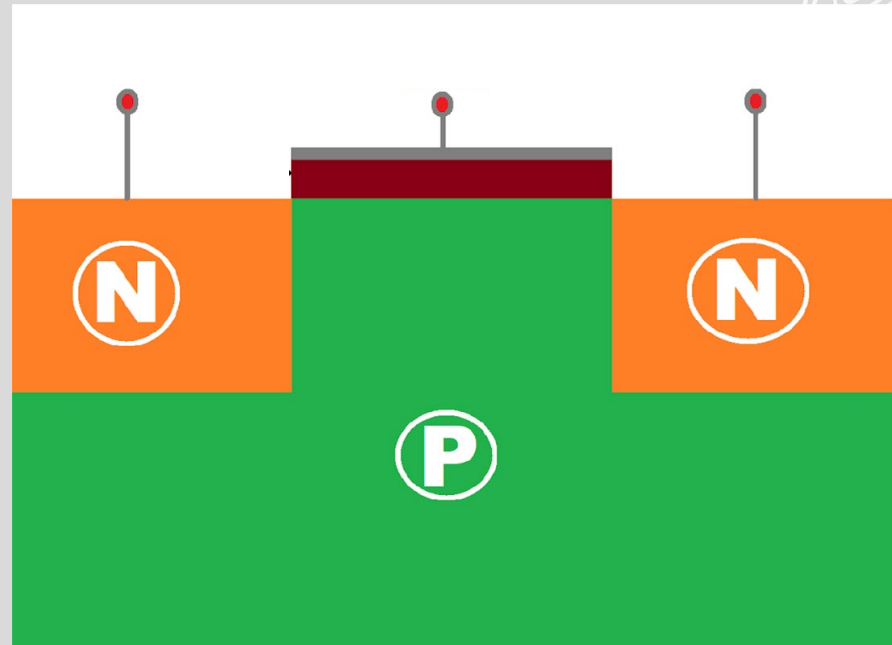
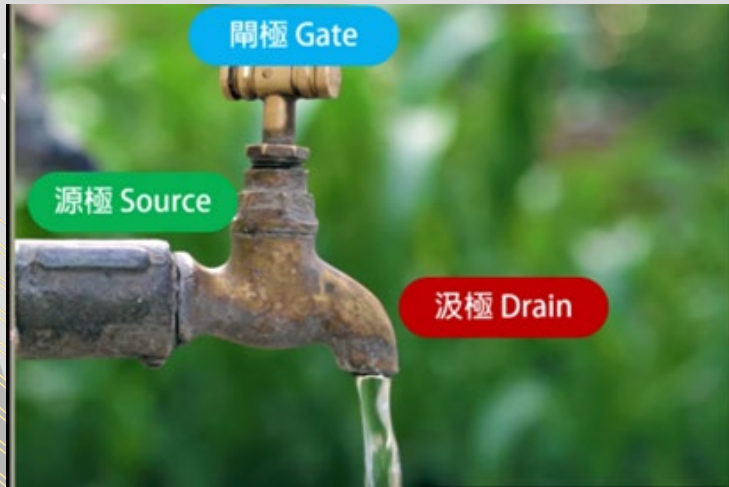
傳統平面電晶體的限制





平面式電晶體 Planar FET

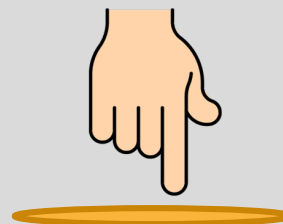
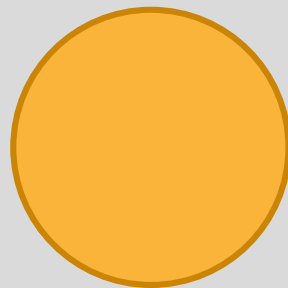
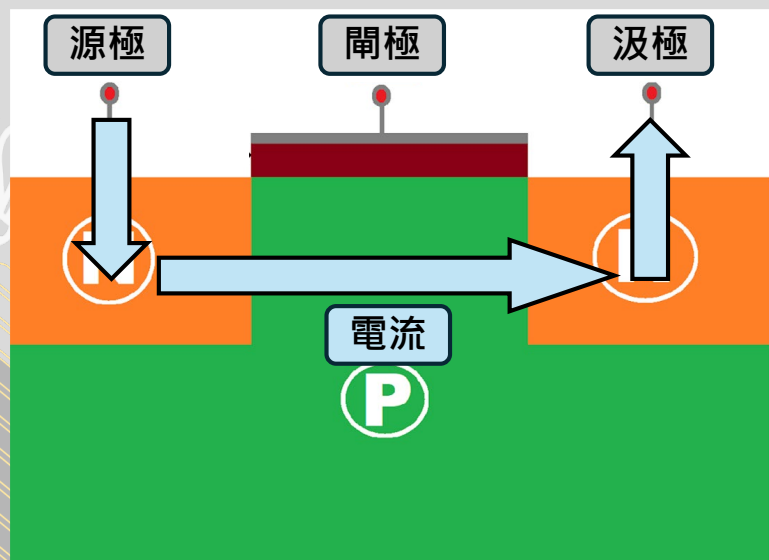
- 經過無數科學家的研究，發明**電晶體**來做為前面提到的「開關」
- 電晶體可以想成是一個水龍頭，由閘門（**閘極**）來控制水流（**電流**）是否通過





平面式電晶體 Planar FET

- 如果用水管來舉例，原先**平面閘極**的電晶體就好比用一根手指頭壓住水管
- 電晶體尺寸夠大時，一根手指頭就可以將其關好



FinFET 技術簡介



鰭式場效電晶體

通道呈垂直鰭狀結構，
閘極環繞三面。



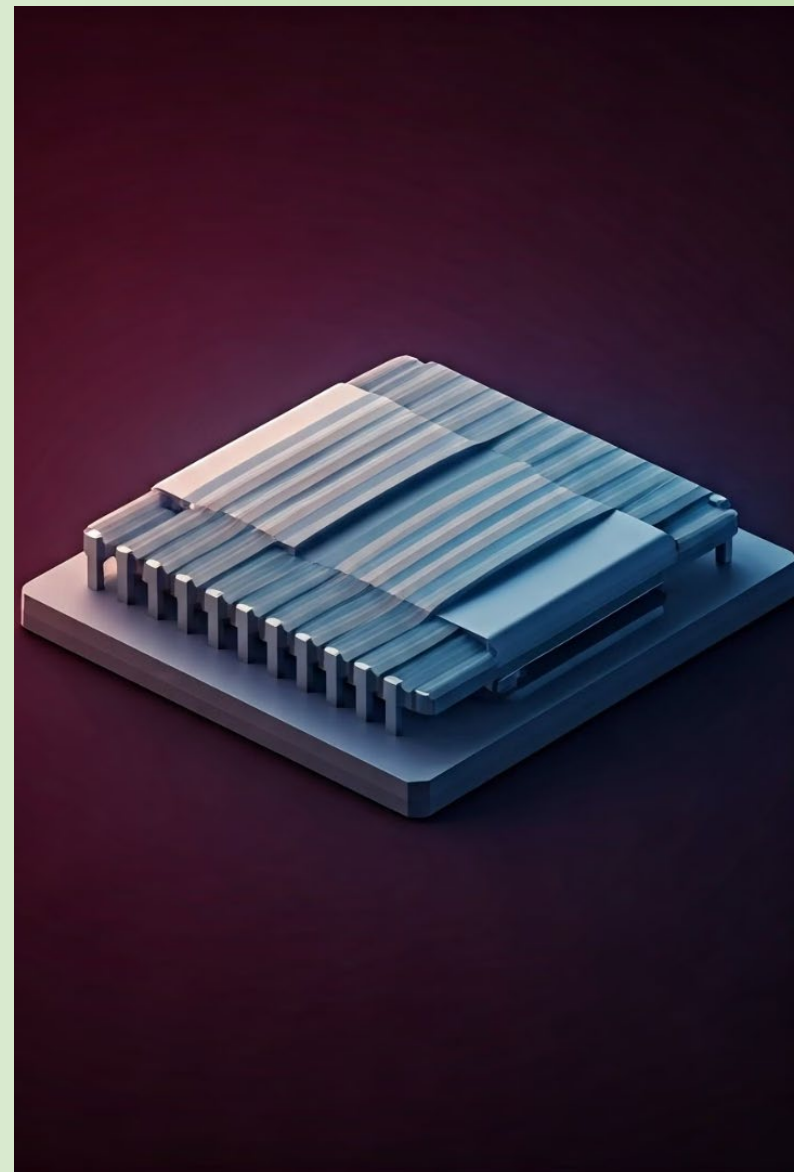
技術里程碑

Intel 於 2011 年在
22nm 製程首次商業化
量產。



產業革命

開啟三維電晶體時代，解決平面電晶體瓶頸。



FinFET 結構特點

三面閘極控制

閘極材料包覆硅鰭三面，增強電流控制。
相比平面結構，提供更強的靜電控制能力。

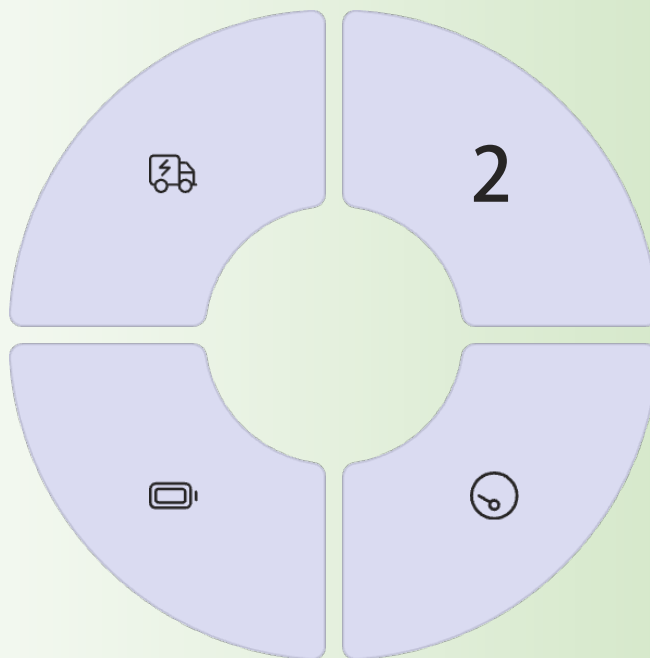
垂直排列多鰭片

單個電晶體可包含多個平行鰭片。
增加有效通道寬度，提升驅動電流能力。

FinFET 優勢

降低漏電流
比平面電晶體
減少 50% 以上漏電

優化功耗
工作電壓可降低，
功耗效率提高



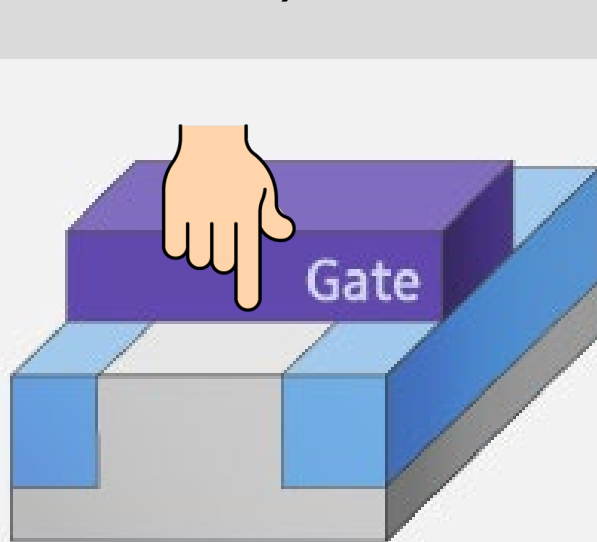
更好閘極控制
三面控制顯著減少短通道效應

提高驅動電流
相同面積下驅動能力提升 30%

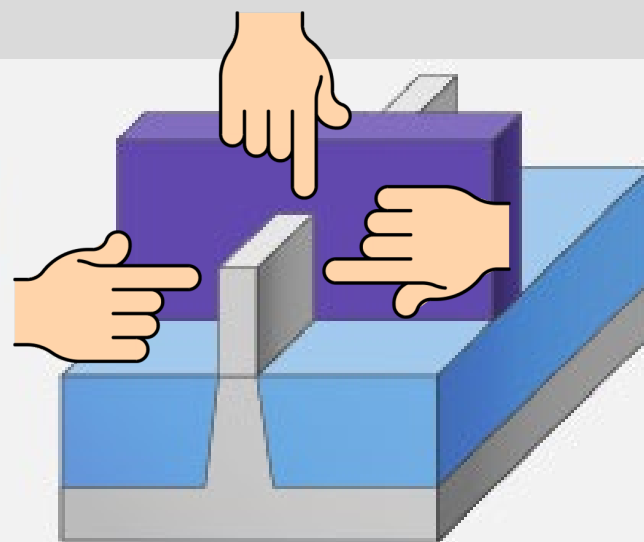


鰭式電晶體 FinFET

- 當電晶體尺寸太小，水壓太強，一根手指頭無法關好，因此轉為**立體閘極**（3根手指捏著）



Planar FET



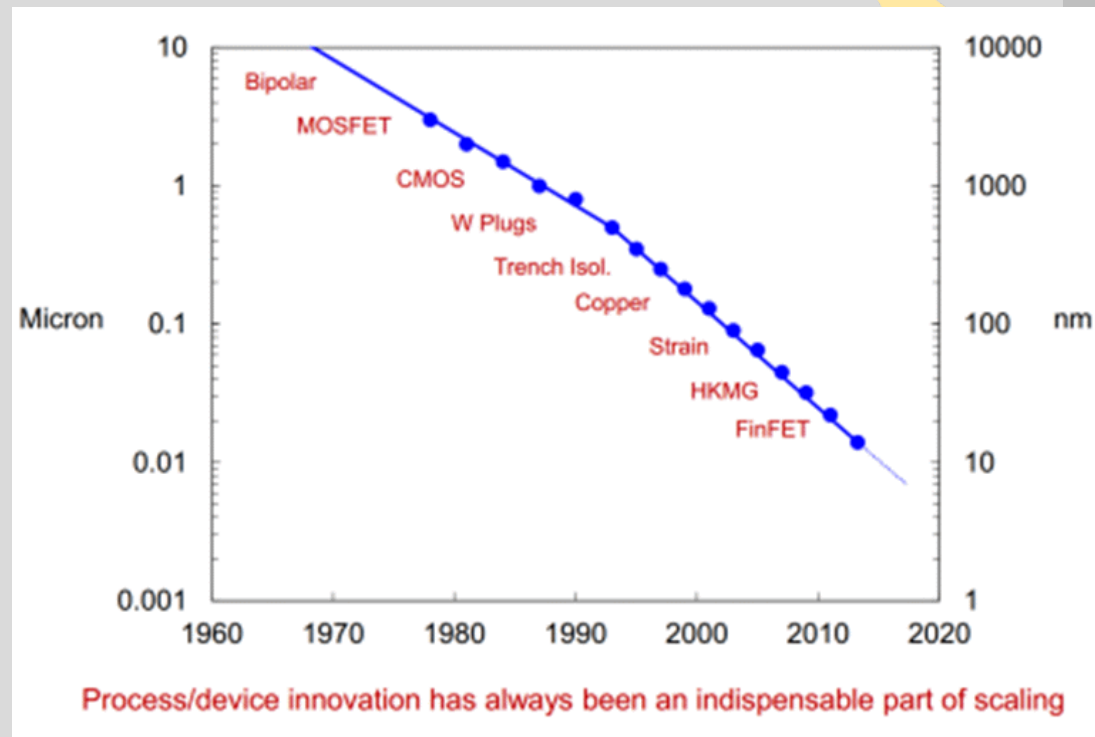
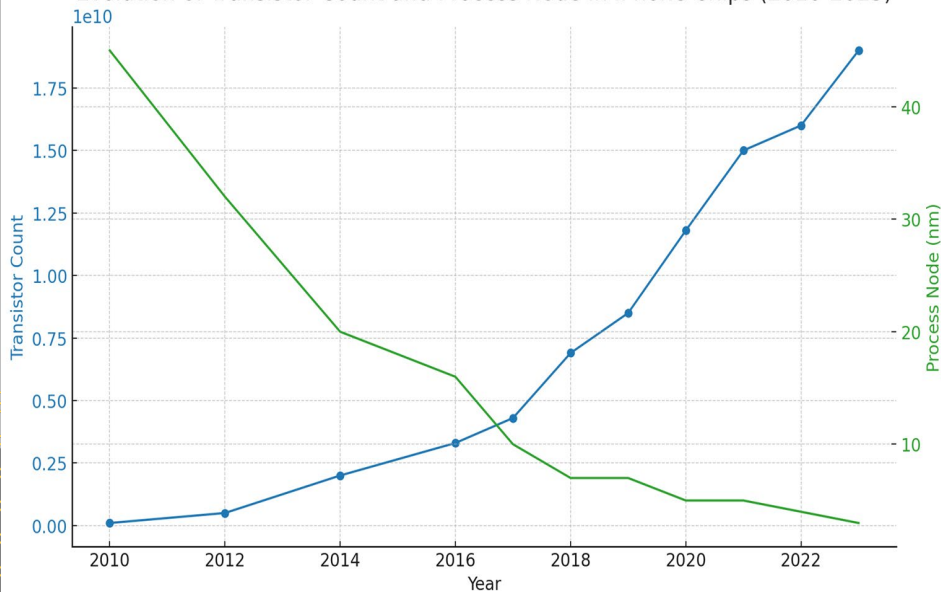
FinFET



鰭式電晶體 FinFET

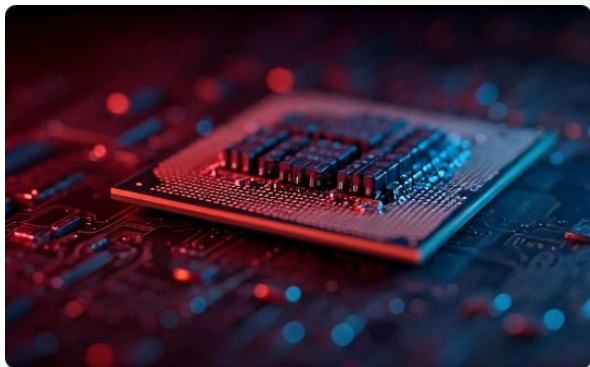
摩爾定律(Moore's law)

Evolution of Transistor Count and Process Node in iPhone Chips (2010-2023)



英特爾共同創辦人摩爾發表的「摩爾定律」，預示了積體電路上可容納的電晶體數目，每隔兩年會增加一倍。

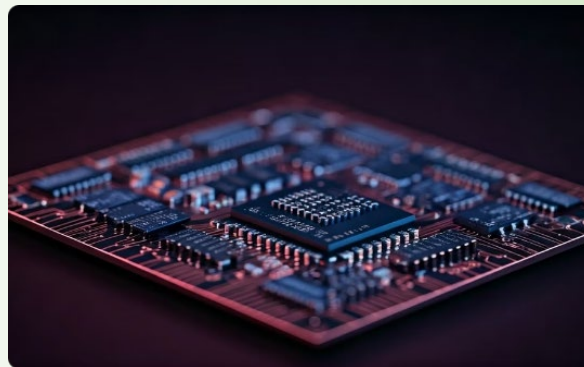
FinFET 在產業中的應用



高效能處理器

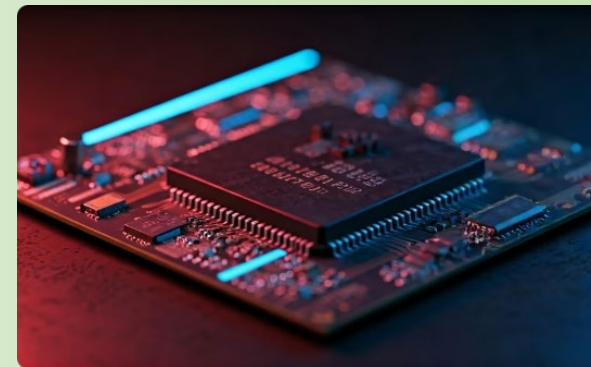
Intel、AMD、蘋果等高端 CPU/GPU 廣泛採用 FinFET 技術。

。



行動處理器

智慧手機 SoC 應用於 7nm 至 5nm 製程節點。



高效能 FPGA

可程式化邏輯晶片和 AI 加速器採用 FinFET 結構。



FinFET 的技術挑戰

鰭片高寬比控制

高深寬比結構製造難度大，均勻性控制挑戰高。

多重圖案技術需求

需要複雜的多重曝光和圖案技術，製程成本提高。

寄生電容問題

三維結構導致寄生電容增加，影響高頻性能和切換

應力工程複雜化

三維結構下應力控制更加困難，對材料和製程要求更高

GAA FET 技術簡介

閘極全環電晶體

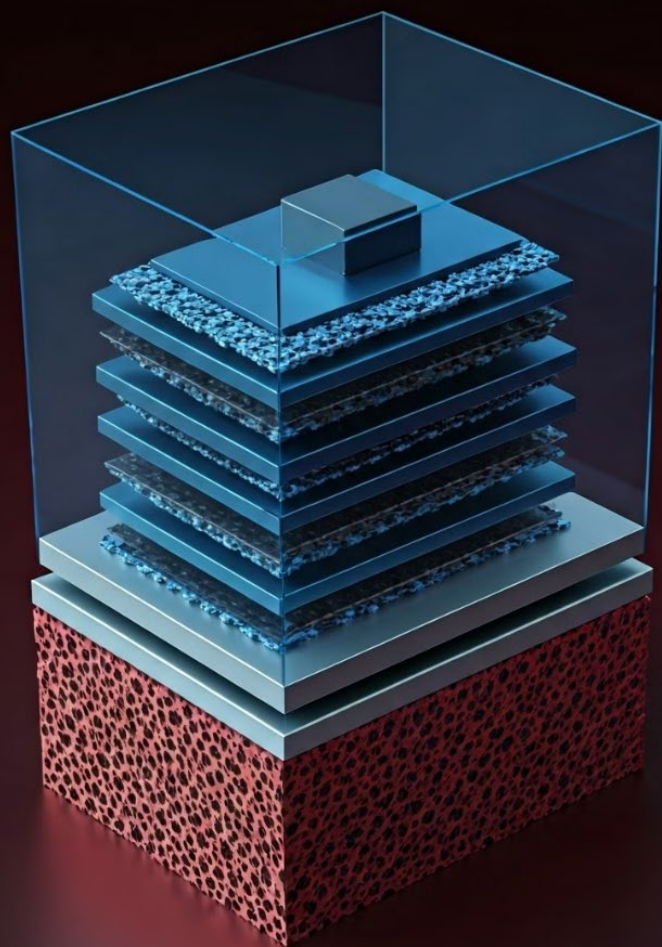
閘極材料完全環繞通道，提供最佳電流控制。

比 FinFET 進一步減少漏電，提升性能。

製程節點

三星於 2022 年宣布 3nm GAA 量產。

台積電計劃於 2nm 節點採用 GAA 技術。



GAA FET 結構特點



奈米片設計

多層水平Nano片通道，厚度僅數Nano。



閘極全環包覆

閘極材料 360° 環繞每個Nano片或Nano線。

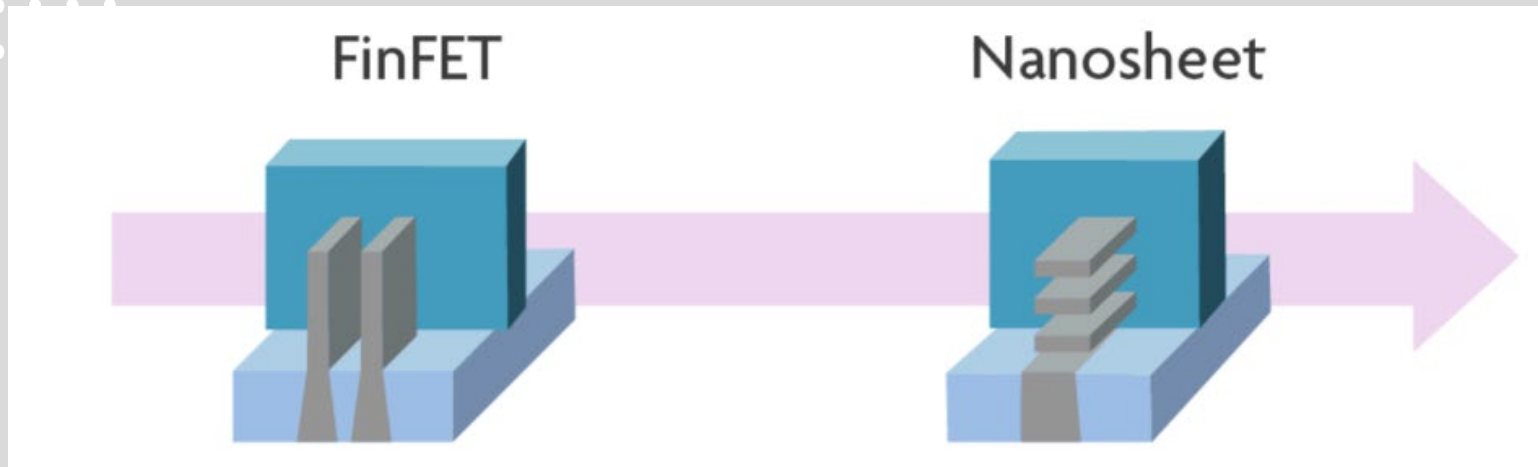


垂直堆疊結構

多層通道垂直堆疊，提高單位面積密度。



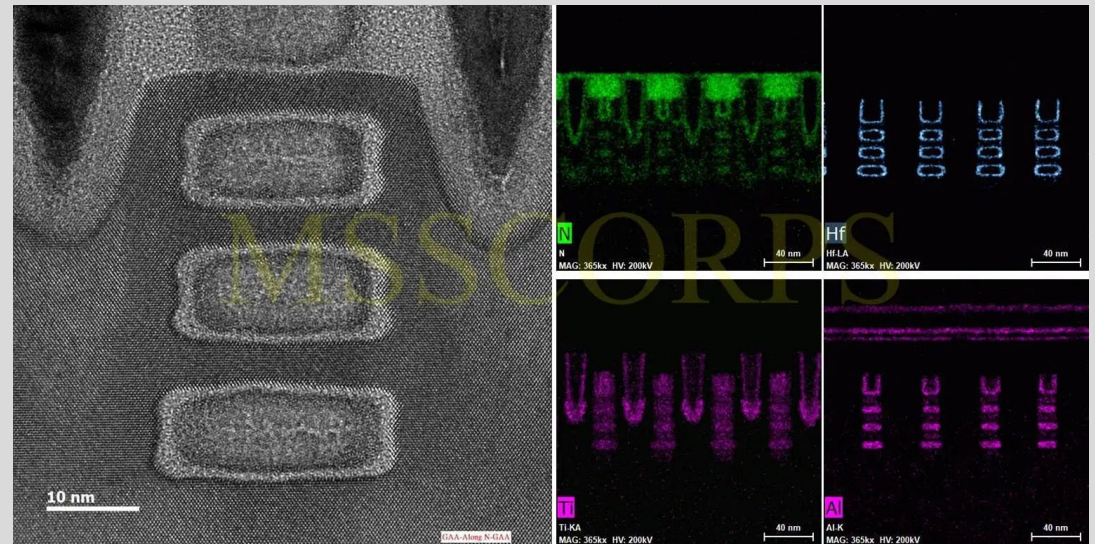
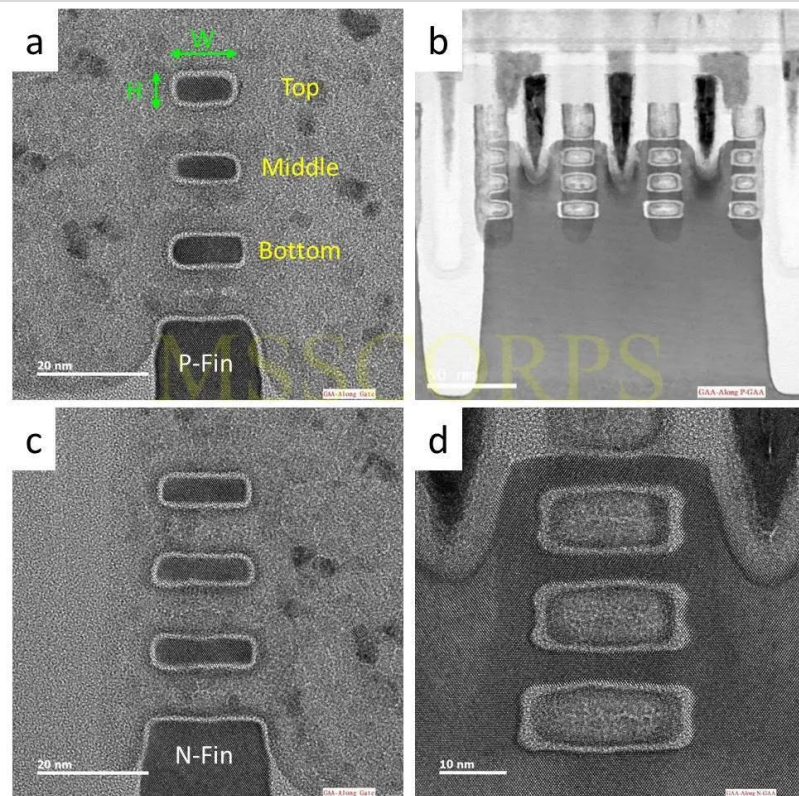
環繞式閘極電晶體 GAA



GAA電晶體的四個側邊都被閘極包圍著



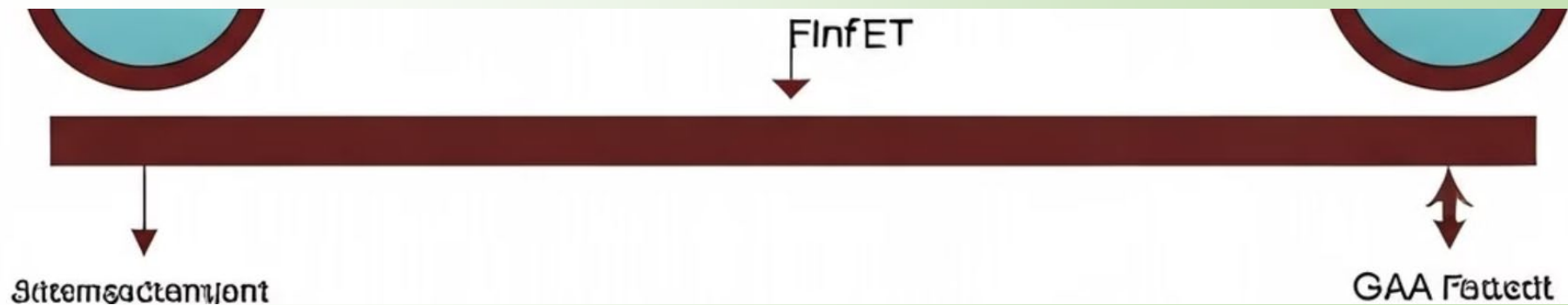
環繞式閘極電晶體 GAA





Summary





GAA FET 優勢

360°

閘極控制

完全環繞通道，提供最佳靜電控制。

45%

晶片面積縮減

相比 FinFET 更高的集成度。

50%

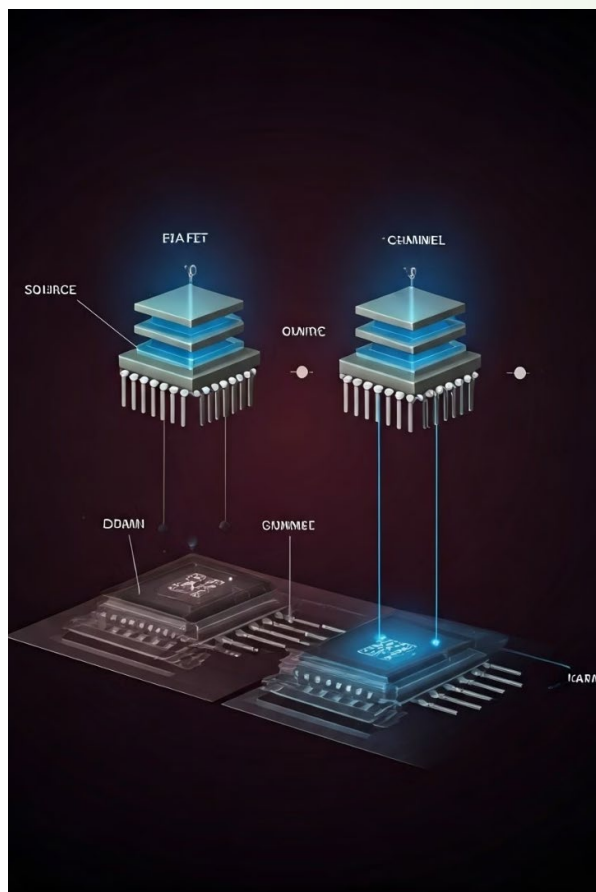
漏電流降低

大幅減少靜態功耗。

30%

效能提升

在相同功耗下速度提升顯著。



GAA FET 與 FinFET 比較

特性	FinFET	GAA FET
閘極控制	三面控制	全面環繞控制
短通道效應	良好抑制	極佳抑制
通道寬度調整	有限彈性	高度可調
製程複雜度	中等	高
適用節點	7-5nm	3nm 以下

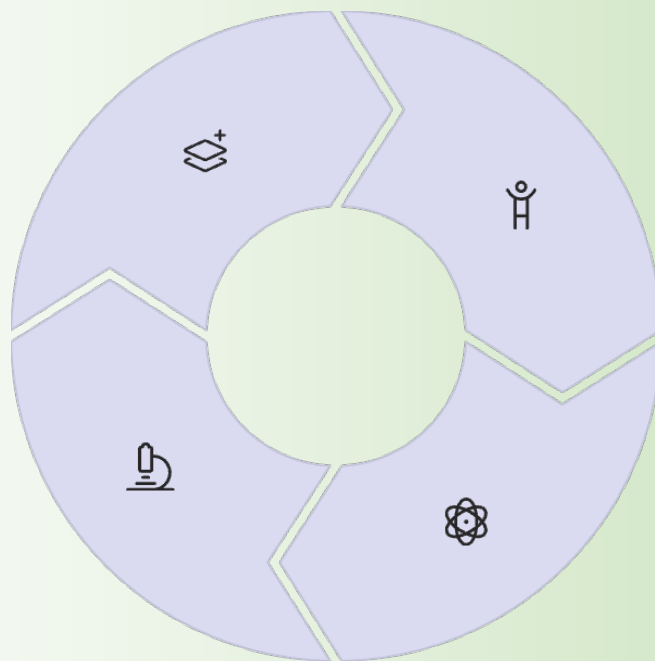
GAA FET 製程挑戰

堆疊結構製造

精確控制多層間距與均勻性

檢測與分析

複雜三維結構的檢測與良率提升



選擇性蝕刻

複雜的犧牲層和選擇性蝕刻工藝

內應力管理

Nano尺度下的應力管理與缺陷控制

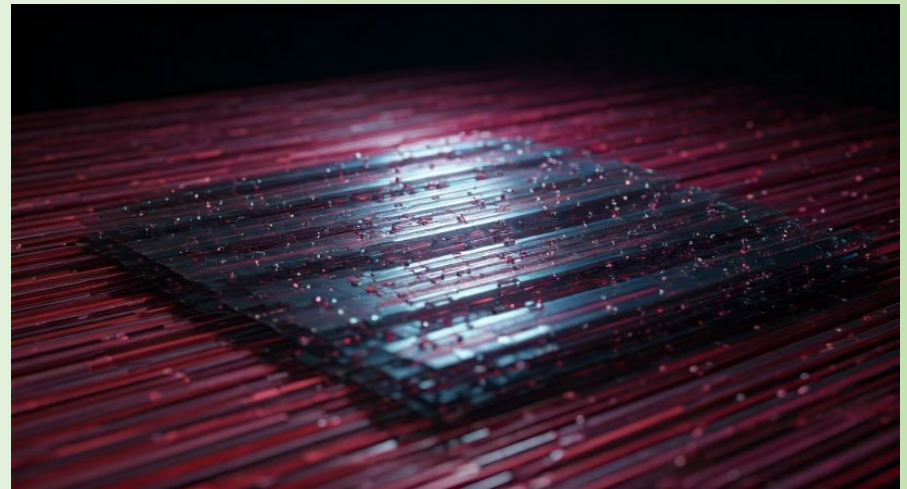
Nano Sheet 技術

通道寬度設計優勢

寬度可依據需求調整，彈性更高。

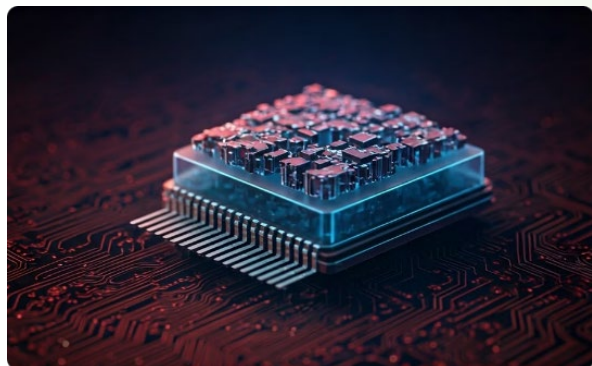
可平衡高性能或低功耗需求，設計自由度大。

相較 Nano Wire 具有更高的電流驅動能力。



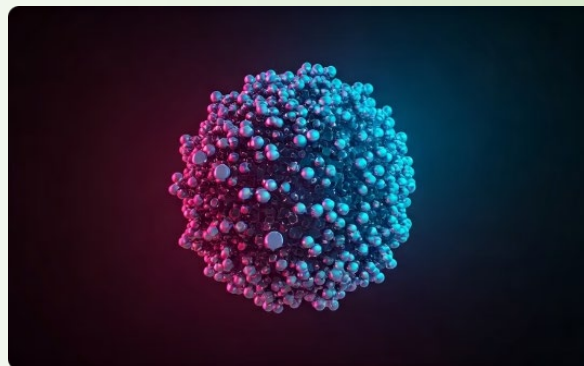
Nano片橫截面可達數十Nano寬，厚度僅幾Nano。
多層堆疊通道提供更大等效寬度。

高移動度通道材料



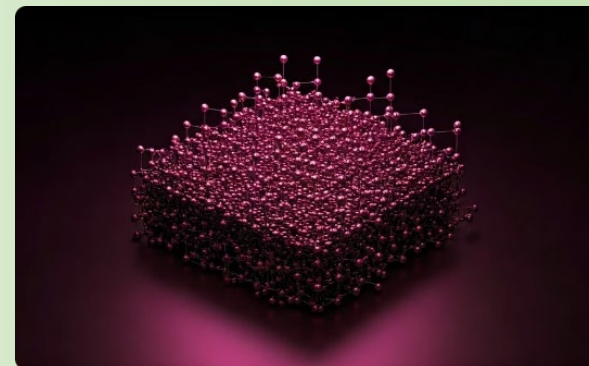
矽通道

傳統材料，製程成熟，成本較低，主要用於 NMOS。



矽鍺合金

提高空穴移動度，適用於 PMOS，性能提升 25%。



鍺通道

高移動度材料，PMOS 性能提升顯著，整合難度高。

先進閘極介電層



高介電常數材料應用

HfO_2 、 ZrO_2 等替代 SiO_2 ，提高閘極電容。



等效氧化層厚度縮減

維持物理厚度同時降低電學厚度，控制能力增強。



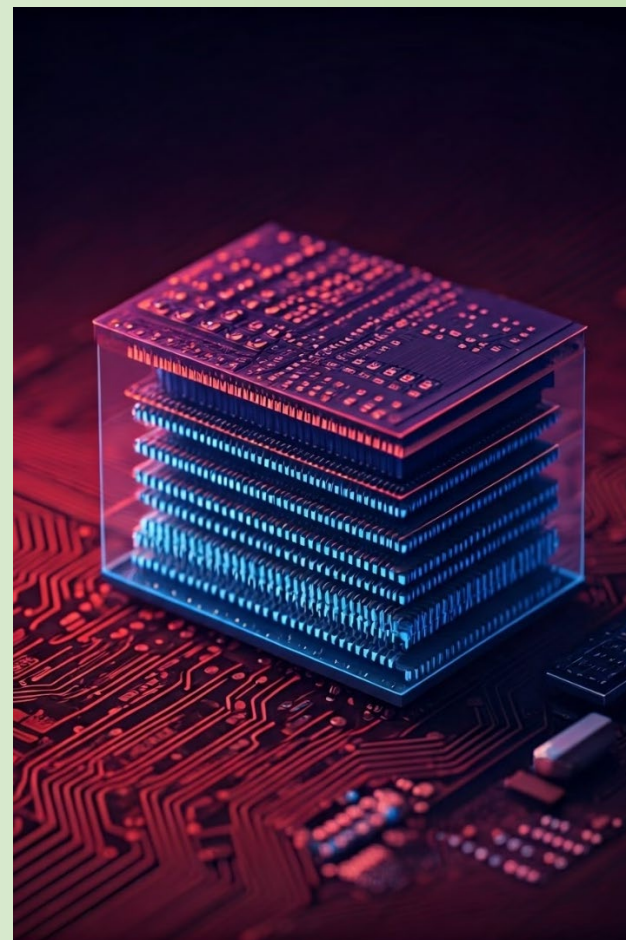
閘極漏電控制

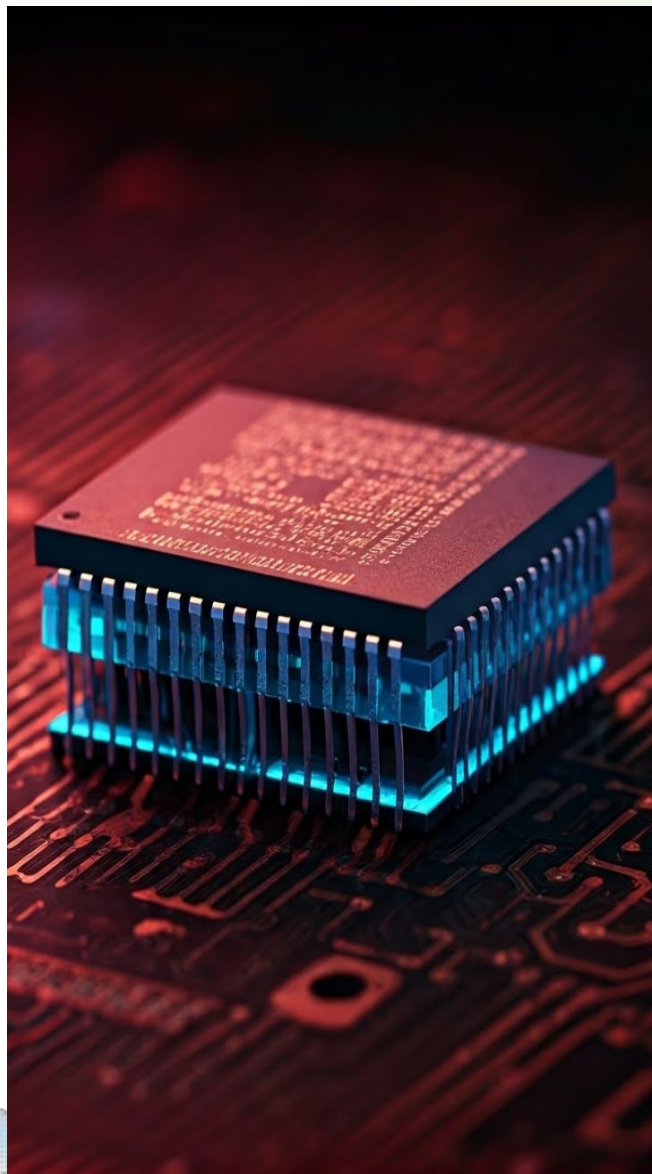
降低直接隧穿電流，兼顧低漏電與高性能。



多層閘極堆疊

工作函數金屬與高介電常數材料結合，閾值電壓調控精準。





自對準接觸技術

❖

縮小接觸尺寸

源漏極與閘極自對準，減少間距。

2

降低接觸電阻

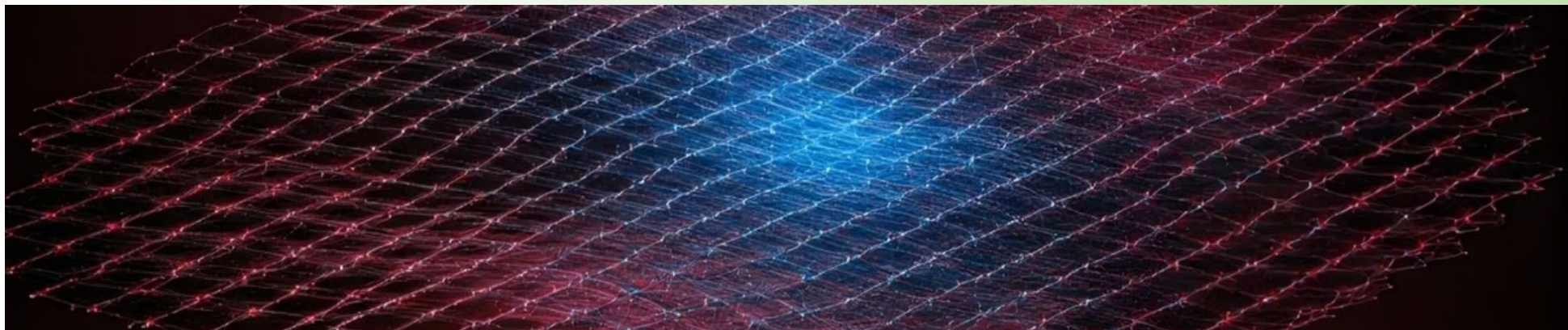
特殊金屬矽化物形成，接觸電阻下降。

⌚

提高驅動能力

更有效的電流傳輸，性能提升。





應變工程在 GAA 中的應用

通道應變技術

透過材料晶格匹配差異引入應變，提高載子遷移率。

壓應變提升電子移動度，拉應變提升空穴移動度。

源漏區應變優化

選擇性外延生長引入應變，優化能帶結構。

降低接觸電阻，提高載流子注入效率。

三維結構應變控制

Nano片堆疊結構中的應變傳遞與管理。

精確控制不同層次應變效應，性能優化。

EUV 光刻技術與 GAA

極紫外光刻

13.5nm 波長
光源，分辨率
大幅提升，支
持 3nm 以下
製程。



減少多重圖案

簡化製程步驟
，降低對準誤
差，良率提升
。

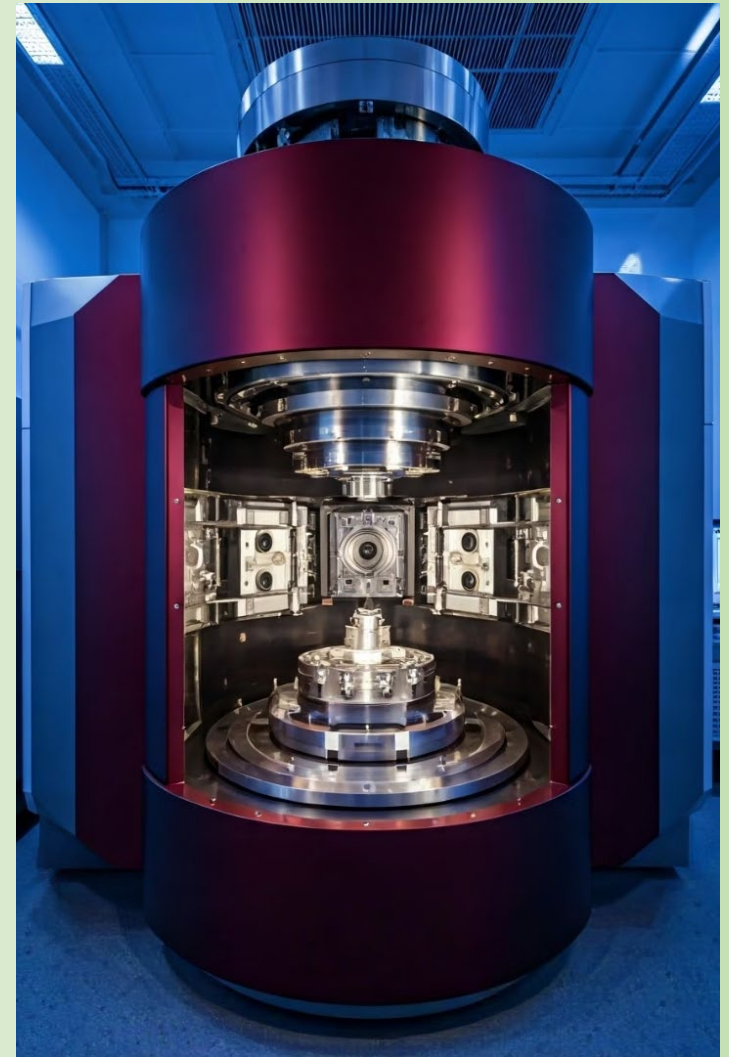
精細圖形實現

支持 Nano 片
間精確蝕刻，
GAA 結構製
造關鍵。

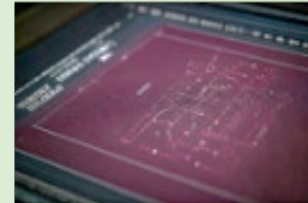


成本與良 率平衡

雖然單次曝光
成本高，但整
體製程簡化，
長期優勢明顯
。



全自動設計工具與 IP



針對 GAA 結構的 EDA 工具支持自動化設計流程。標準單元庫經過優化，確保利用 GAA 優勢。物理驗證工具更新，支持新結構的設計規則檢查。

封裝技術與 GAA 的協同

先進 2.5D 封裝

矽中介層上整合多晶片，提高系統密度。

3D 堆疊封裝

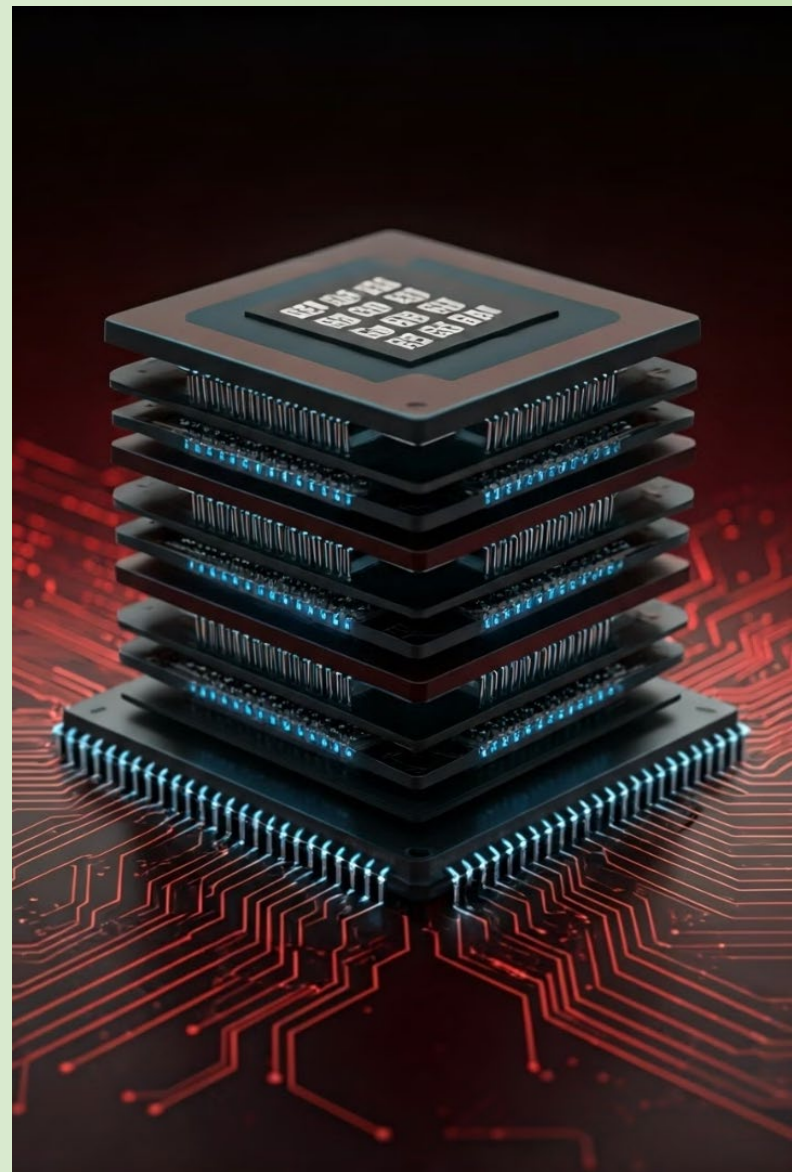
透過 TSV 垂直互連晶片，提升系統性能。

混合異質整合

GAA 邏輯電路與其他功能晶片組合，發揮各自優勢。

系統級封裝

整合 GAA 邏輯、記憶體與類比電路，完整系統解決方案。



GAA 在 AIIC 中的應用

性能提升

AI 運算需要高速處理器，GAA 電晶體提供更高頻率。

向量運算和矩陣計算效率顯著提升。

功耗優化

推論工作負載需高能效比，GAA 可降低功耗。

邊緣 AI 設備電池續航時間延長，熱管理更輕鬆。

集成度提升

GAA 結構允許更多神經網絡處理單元在同一晶片上集成。

片上記憶體容量增加，減少外部存取延遲。

GAA 在 5G/6G 通訊中的角色



高頻性能優化

GAA 結構減少寄生電容，射頻性能提升。



功耗控制優勢

通訊設備功耗降低 40%，熱管理更容易。



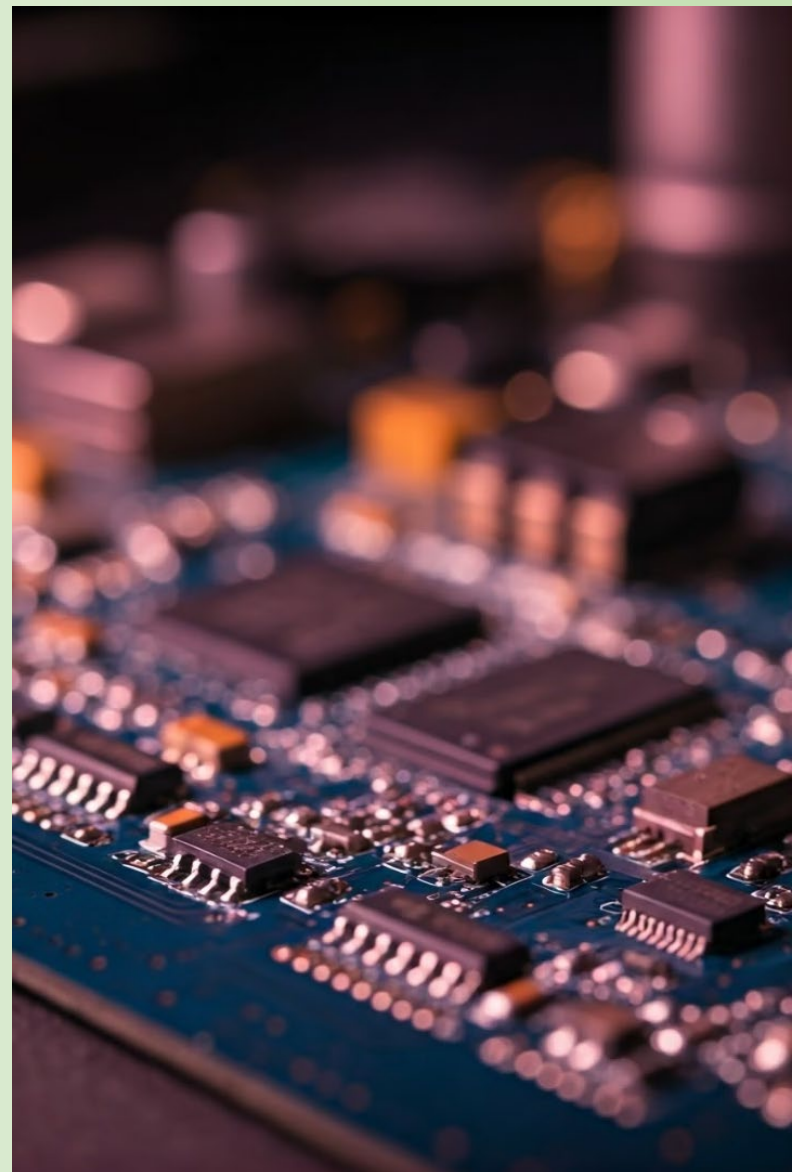
射頻前端集成

支持更複雜的射頻前端設計，頻段支持增加。



基站設備小型化

晶片面積縮小，通訊設備體積可減少 30%。



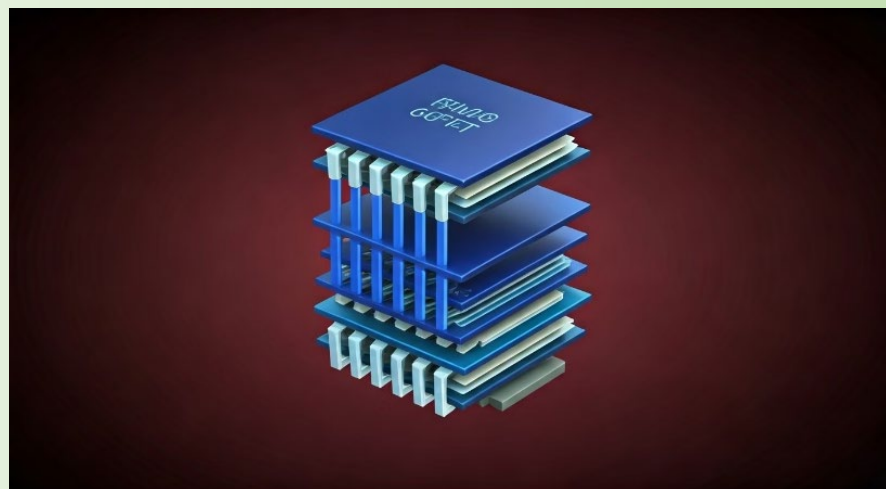
未來發展趨勢：CFET

互補式堆疊電晶體

PMOS 和 NMOS 垂直堆疊，而非並排放置。

單個標準單元面積減少近 50%，密度大幅提升。

PMOS 和 NMOS 共用源極和漏極，互連複雜度降低。



預計在 2nm 以下節點實現，可能成為 GAA 的下一代演進技術。

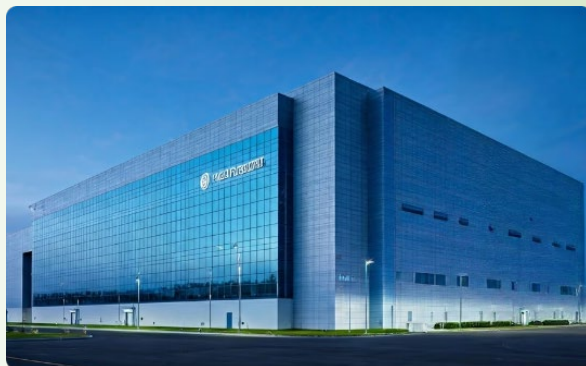
整合 Nano 片技術與垂直堆疊架構，進一步推動摩爾定律

產業布局與競爭格局



台積電

計劃於 2025 年 2nm 節點採用奈米片 GAA 技術。主導先進製程代工市場。



三星

率先量產 3nm MBCFET 技術。強調 GAA 帶來的功耗優勢與密度提升。



英特爾

發展 RibbonFET 技術，計劃於 18A 製程節點應用。強調美國本土生產。



結論：第三代電晶體的未來展望

1

GAA 關鍵地位

第三代電晶體是摩爾定律延續的關鍵。

2

產業轉型

推動全球半導體產業升級與創新。



應用擴展

支持 AI、5G/6G 等新興應用快速發展。



技術融合

促進異質集成與量子計算等技術融合。



Rabboni 小老師時間



想一想，學了什麼？怎麼做一個遊戲教弟弟妹妹，爺爺奶奶，什麼是 半導體**元件**？
要正確，要互動，要有創意，最好用上半導體裝置，最好有 AioT 智慧聯網，酷拉！

- 可以用 Rabboni or ...
- vu可以用 Scratch or ...
- OR ...

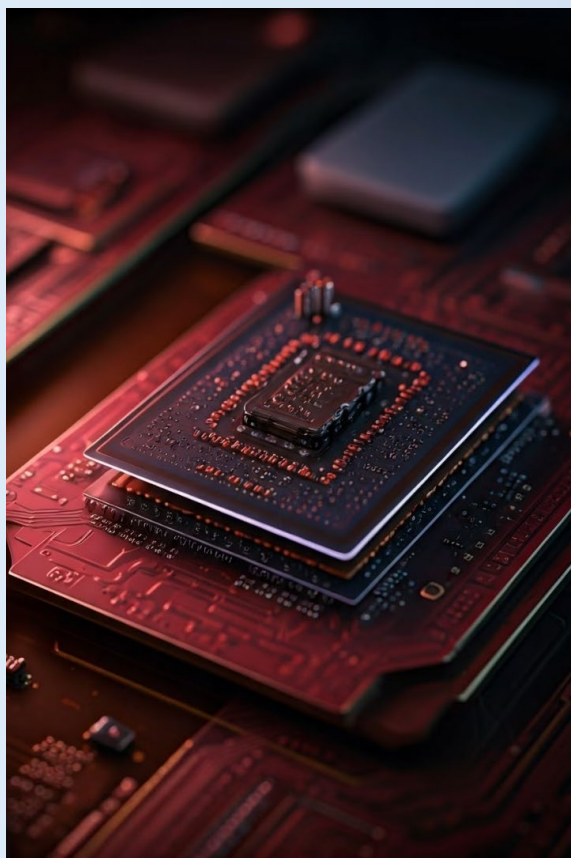




WS3

大師第三講：

■ **3D製程封裝**



什麼是半導體封裝？



保護晶片

封裝提供物理保護層，防止晶片受到環境損害與污染。



連接外部電路

提供電氣連接介面，使晶片能與外部系統進行通訊。



散熱功能

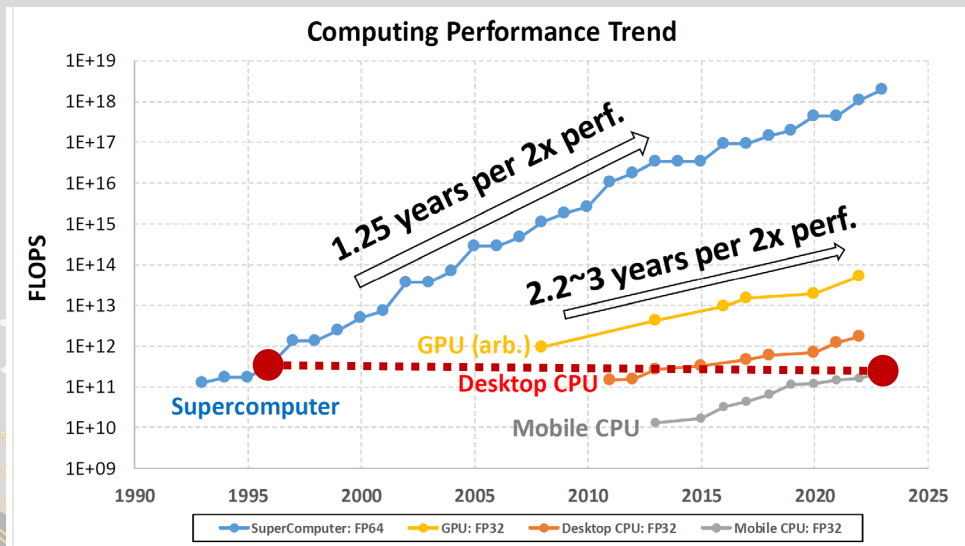
幫助散發晶片運作過程中產生的熱量，確保穩定運作。





封裝背景概述

電腦運算效能



超級電腦 (Supercomputer) : 每 1.25 年 性能提升 2 倍。
GPU/桌上型CPU/行動裝置 : 每 2.2~3 年 性能提升 2 倍。

1995年的 超級電腦



Numerical Wind Tunnel超級電腦:

- 該系統於1993年投入運營
- 從1993年到1995年，世界第一
- 運算效能為 2.358×10^{11} Flop/s
- 計算複雜物理化學等.....
- 造價：貴貴貴

iPhone 16 pro



iPhone 16 pro :

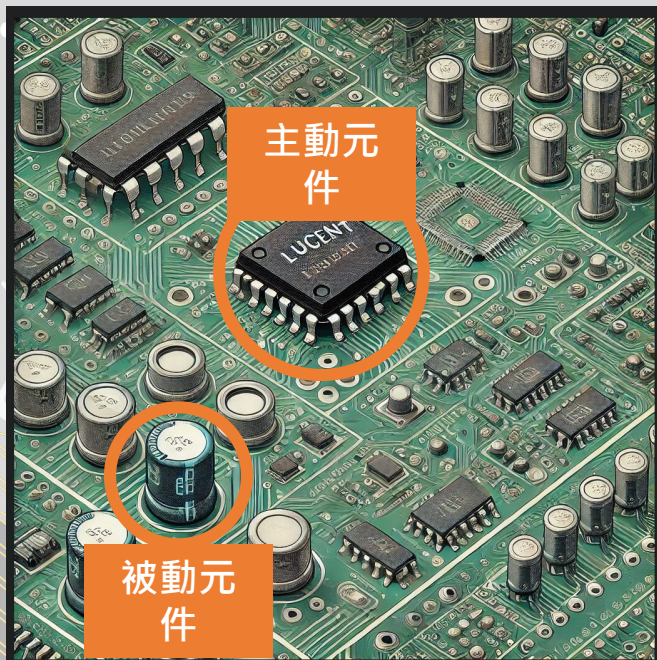
- 整合拍照、喇叭、通訊等功能
- 運算效能為 2.289×10^{11} Flop/s
- 售價為36,900台幣

現今個人裝置運算能力已媲美1995 年的超級電腦，而且更便宜，體積更小，功能越多。



電子產品組成

印刷電路板



主動元件 (Active Components) :

透過外部供電或控制信號，主動調節或放大電路中的電壓、電流或訊號。

- 電晶體 (Transistor) : 如雙極性電晶體(BJT)、場效電晶體(MOSFET)等，應用於放大、開關、驅動。
 - 積體電路 (IC) : 如放大器、微處理器、微控制器等，涵蓋各種複雜功能。
- 用途：放大訊號、邏輯運算、控制電流等，在電路中扮演關鍵的動態調節角色。

被動元件 (Passive Components) 特性 :

本身不具備主動放大或驅動功能，僅能消耗、儲存或釋放電能，或改變電路特性。

- 電阻 (Resistor) : 限制或分壓電流，將能量以熱能形式消耗。
- 電容 (Capacitor) : 儲存電荷、濾波、退耦等。
- 電感 (Inductor) : 儲存磁能、濾波、振盪電路的關鍵元件。
- 變壓器 (Transformer) : 雖然其工作原理涉及磁耦合，但本質上屬於能量轉換的被動裝置。

用途：調節電路阻抗、濾波雜訊、儲存或釋放能量，使電路運作穩定並達到所需頻率響應等。

晶片封裝:

將半導體晶片以封裝材料**保護**、**連接**並整合主被動元件到電路系統中的技術，並確保其可靠性。



3rd Generation Semiconductor Packaging

This presentation explores advanced packaging technologies for third-generation semiconductors that are revolutionizing power electronics.

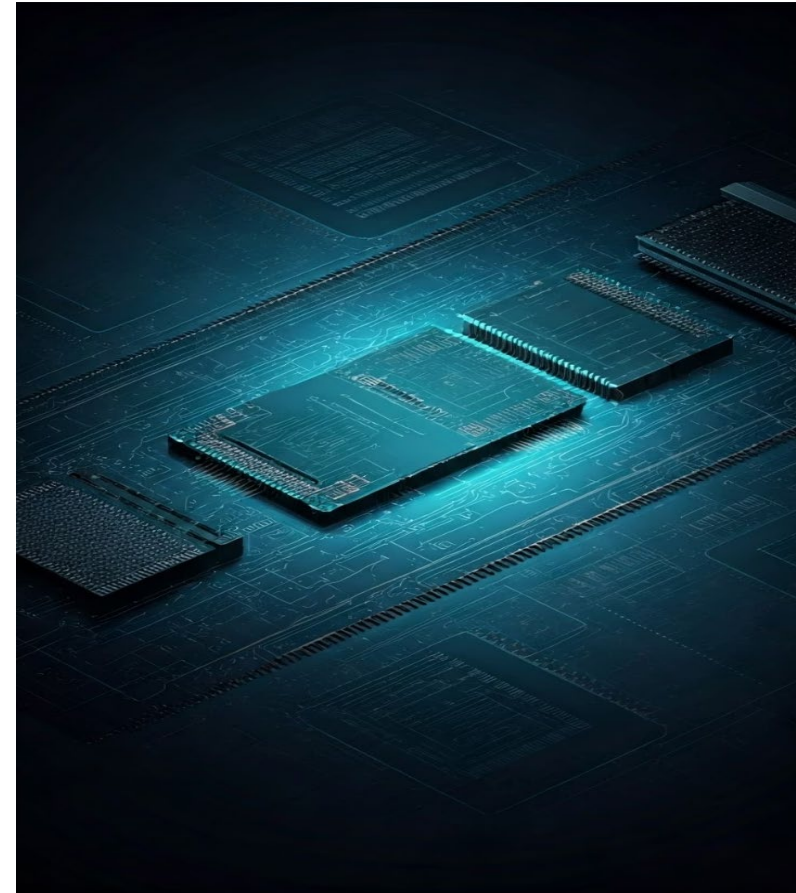
We'll examine market trends, key materials, innovative packaging approaches, and real-world applications transforming multiple industries.



Traditional Packaging Evolution

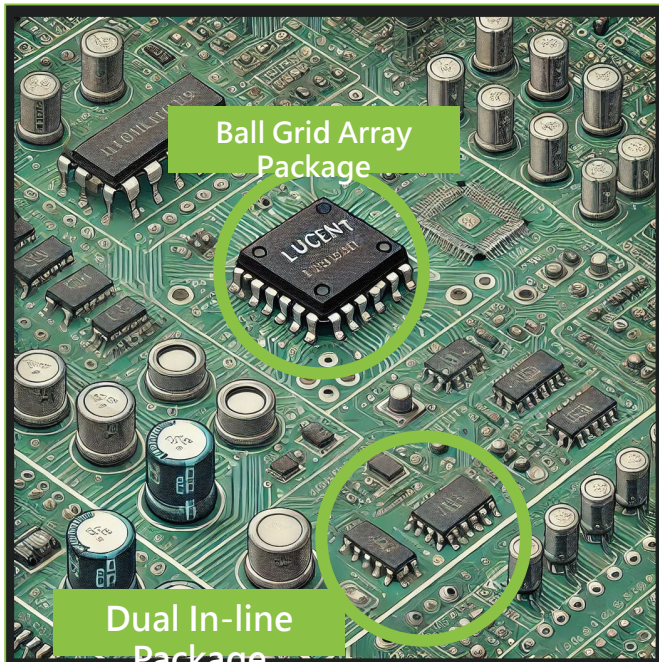
-  **1970s-80s: DIP/QFP**
Through-hole and peripheral leaded packages dominated early electronics.
-  **1990s: BGA**
Ball grid arrays enabled higher pin counts in smaller footprints.
-  **2000s: CSP/QFN**
Chip-scale packages reduced size to near-chip dimensions.
-  **2010s: SiP/3D**
System-in-package and 3D integration increased density and functionality.

Traditional silicon packaging reached thermal and electrical limitations. New materials require new approaches.

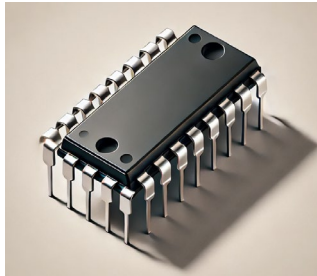


Traditional Packaging Technology

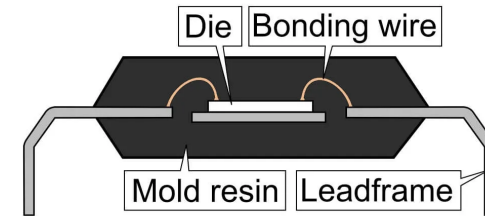
Printed Circuit Board



Dual In-line Package

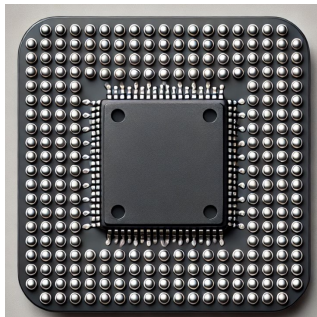


DIP

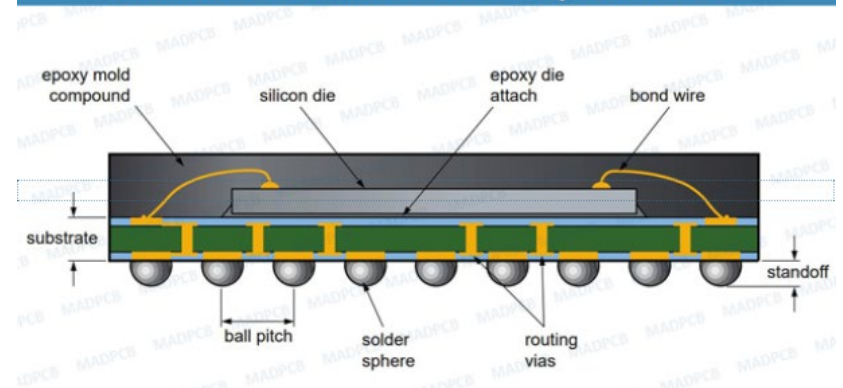


<https://www.tech-sparks.com/dip-package/>

MAPBGA Cross-section with 2-layer Substrate



MAPBGA Cross-section with 2-layer Substrate



<https://madpcb.com/glossary/map-bga/>

MAPBGA Cross-section with 2-layer Substrate



3rd Gen Semiconductor Packaging Requirements

Extreme Temperature Handling

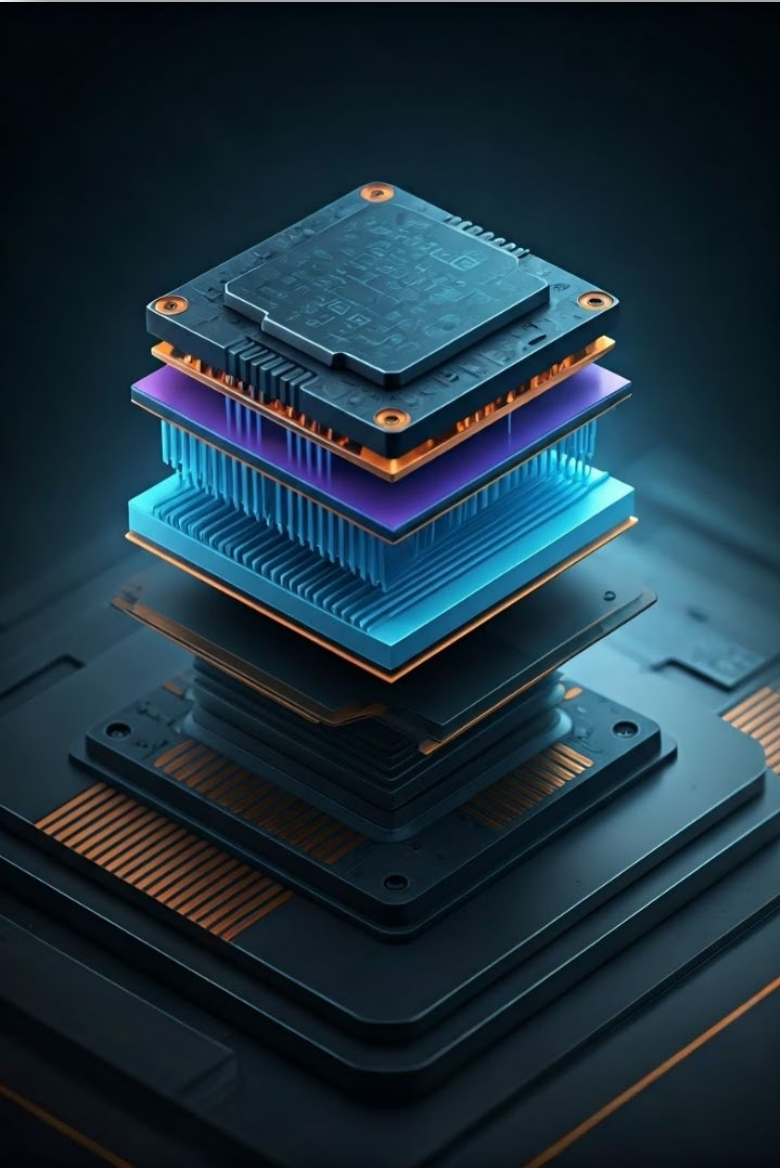
- Operating temperatures up to 300° C
- Thermal cycling resistance
- Low thermal expansion mismatch

High Voltage Management

- Breakdown voltage >1200V
- Enhanced isolation properties
- Partial discharge resistance

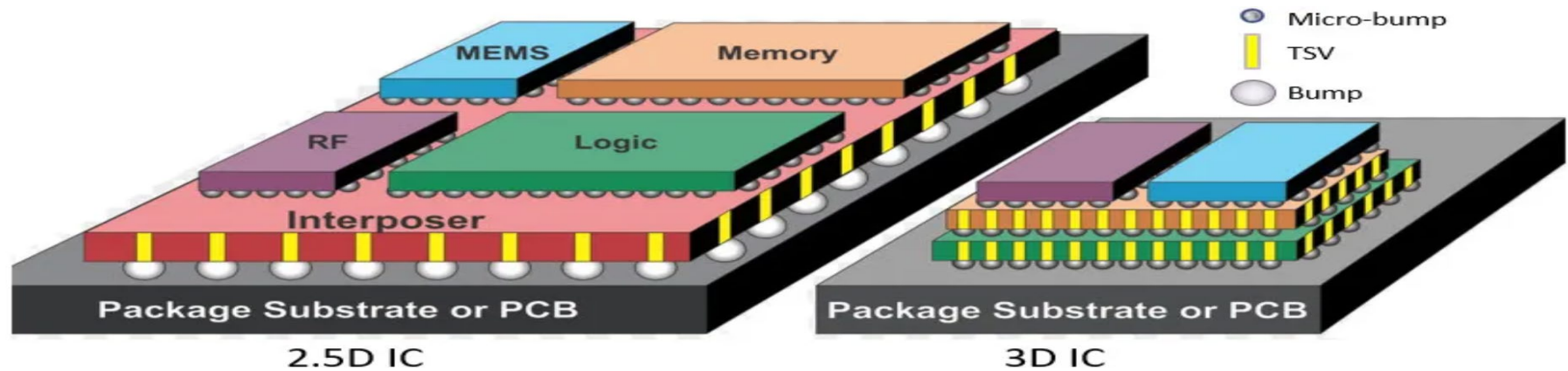
Reliability Requirements

- 15+ year operational lifetime
- Power cycling >100,000 cycles
- High vibration tolerance



Overview of Advanced Packaging Technology

2.5D Advanced Packaging / 3D IC



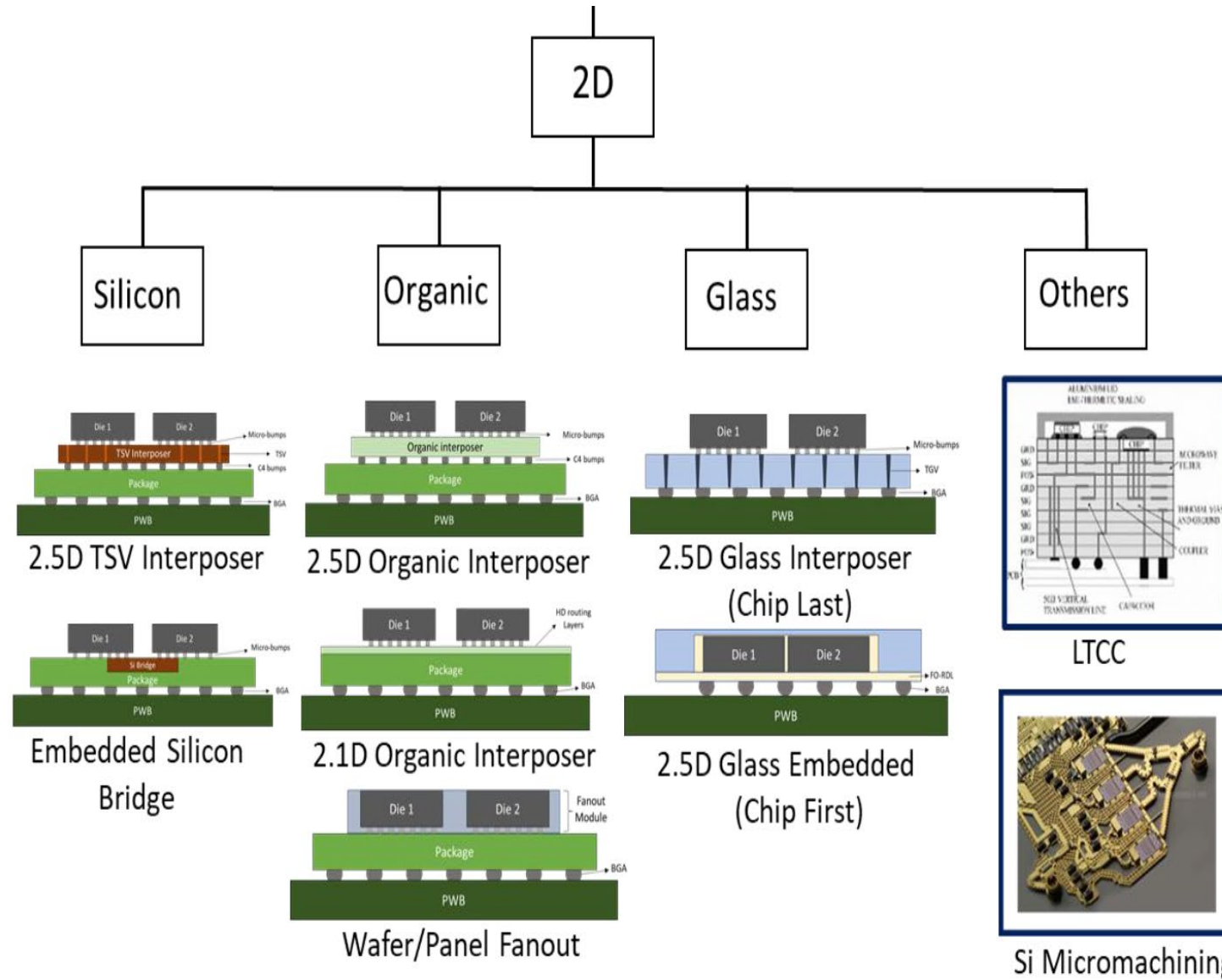
2.5D先進封裝：

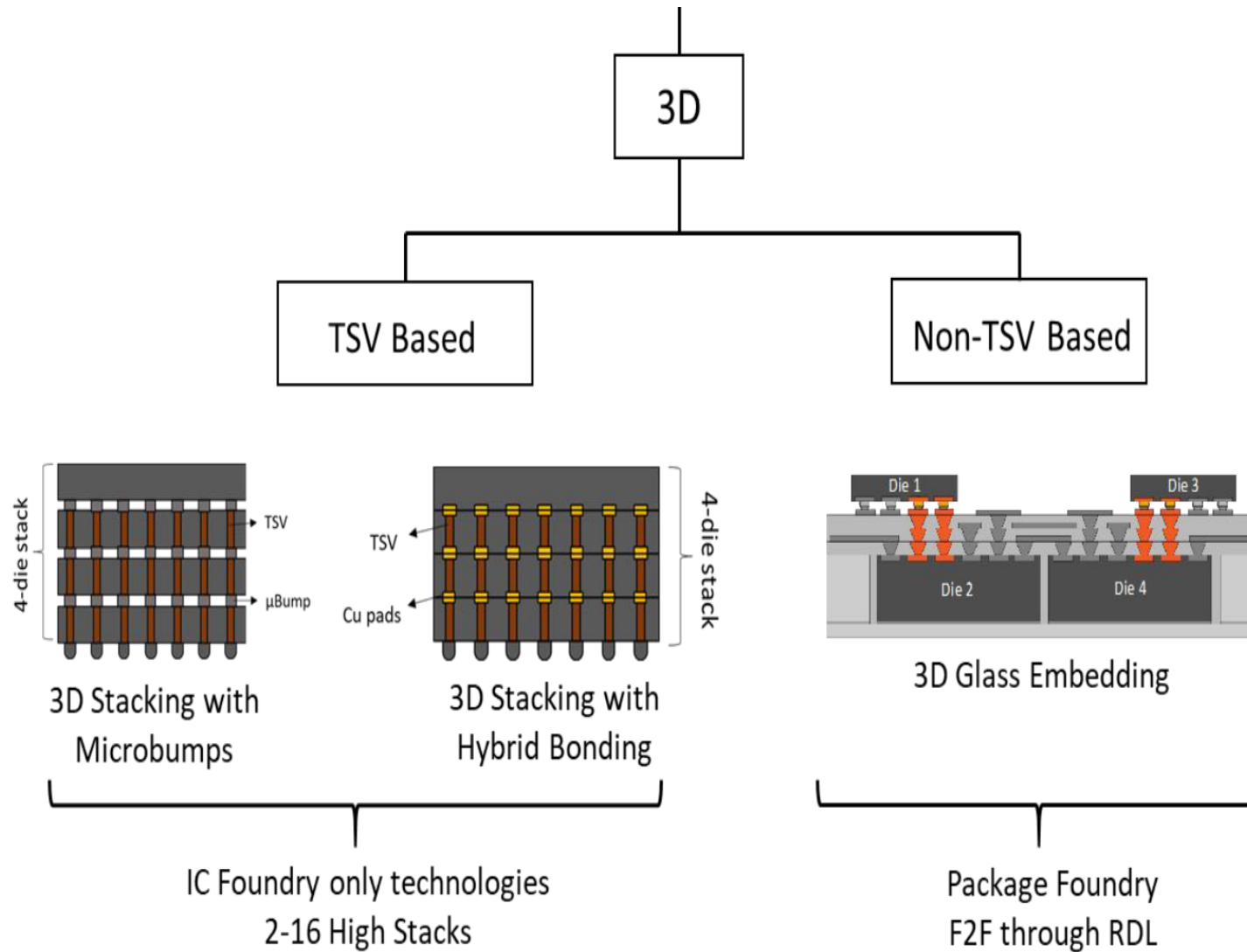
- 透過中介板(interposer)將相鄰晶片放更靠近
- 中介板(interposer):矽基板/玻璃基板/有機高分子
- 目前主流先進封裝架構
- 技術成熟已經大量量產
- ex: tsmc CoWoS, Intel EMIB.....

3D IC:

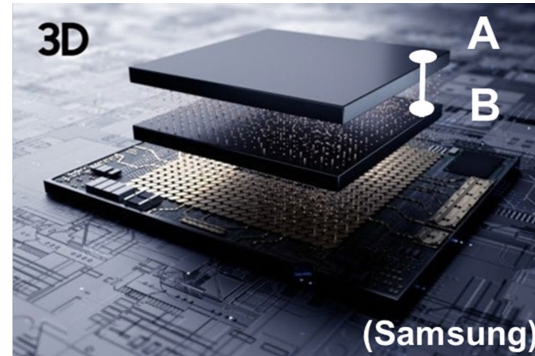
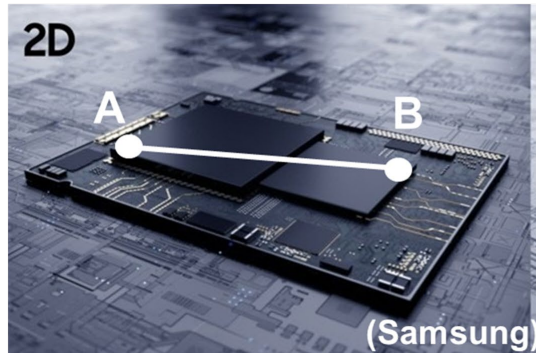
- 透過3DIC技術將晶片垂直堆疊
- 極大化I/O數量
- 部分產品少量使用
- ex: HBM(高頻寬記憶體), tsmc SoIC

先進封裝: 將多個半導體晶片以單一電子封裝的一系列製造程序。





Advantages of Advanced Packaging



先進封裝優點:

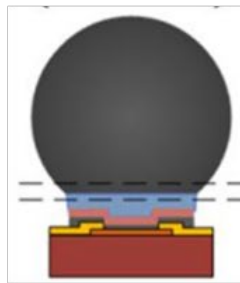
1. 封裝後晶片體積小
2. 低能耗且RC delay小
3. 有效提高晶片效能
4. 整合不同功能之晶片
5. 使用 Chiplet 技術
(降低先進製程比例)

關鍵技術:

1. 接合技術(錫球, 銅對銅接合)
2. 矽穿孔技術(TSV)
3. 晶片對位技術
4. 晶圓磨薄技術(Wafer thinning)
5. 晶圓乘載技術(Wafer handling)

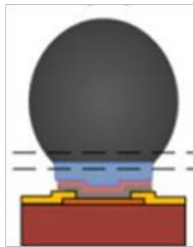
常見接合技術: Common joining technologies:

Standard C4 bump



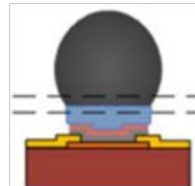
Bump : 100 μm
Pitch : 150~200 μm

Fine pitch C4 bump



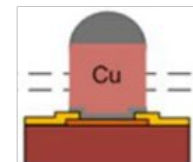
Bump : 50 μm
Pitch : 100 μm

μ C4 bump

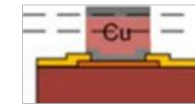


Bump : 20~30 μm
Pitch : 30~60 μm

Cu pillar bump Flat Cu pillar



Bump : 15~20 μm
Pitch : 20~40 μm



Bump : 10 μm
Pitch : 20 μm

Bump-less

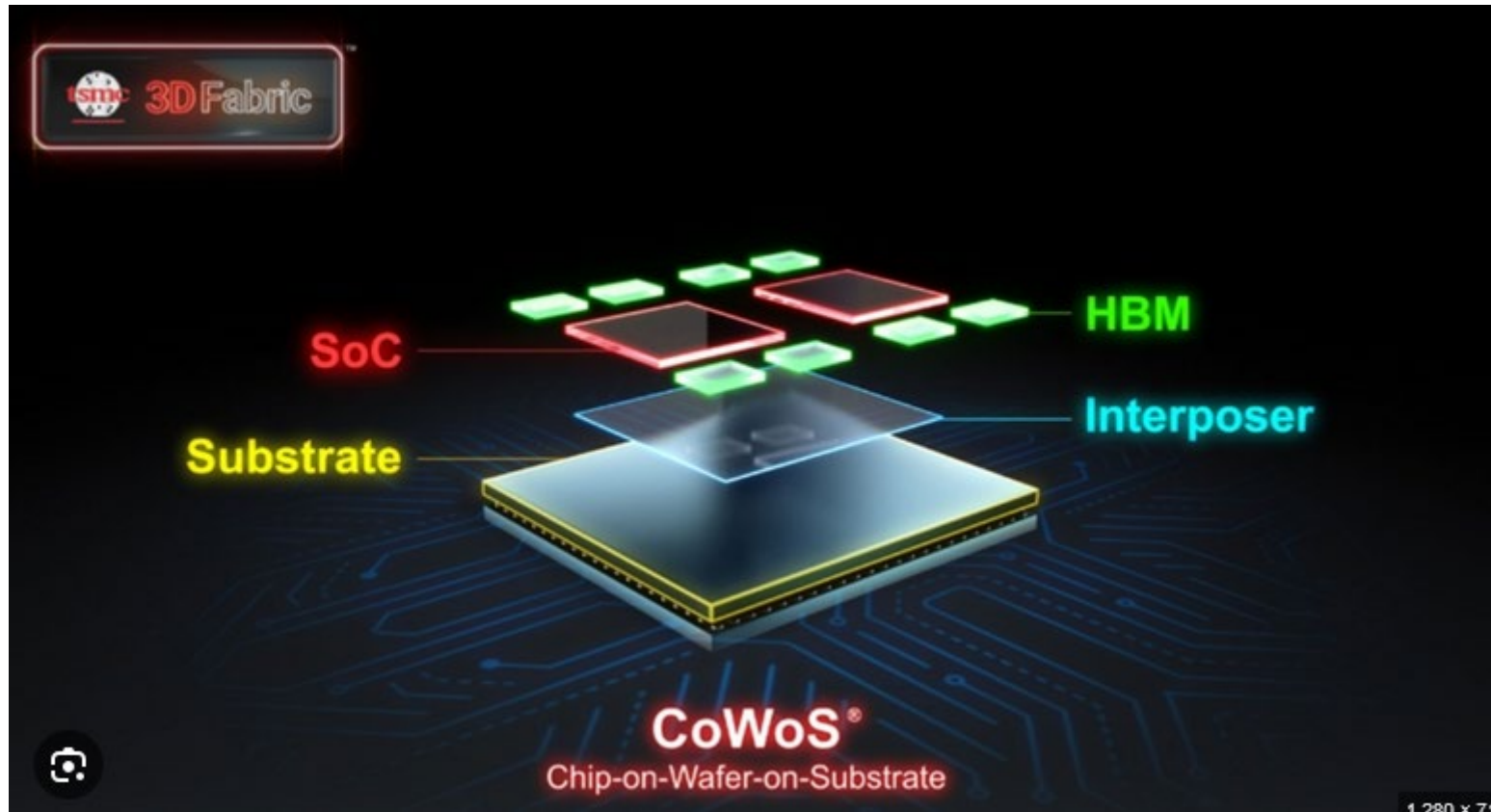


Bump : 5 μm
Pitch : 10 μm

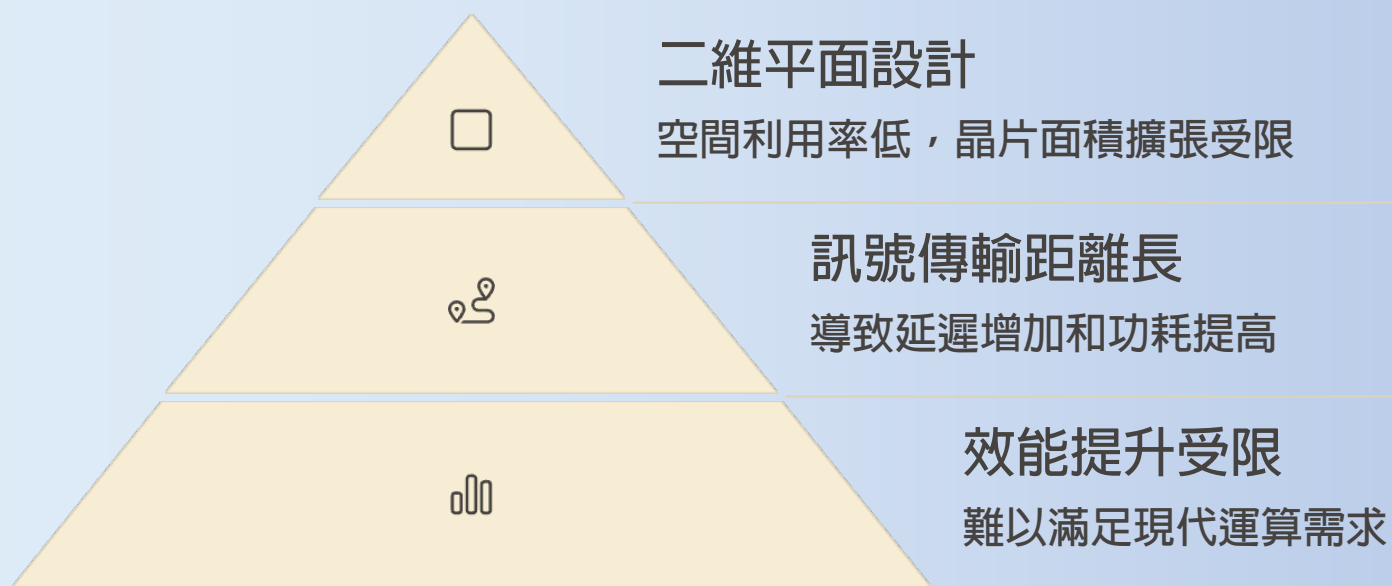
(XILINX)

CoWoS process steps:

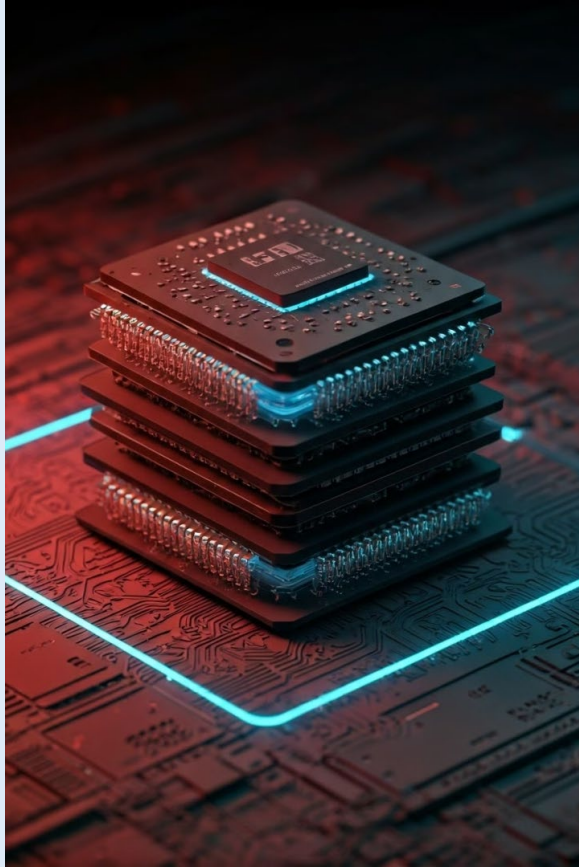
<https://technews.tw/2023/08/09/what-is-cowos-and-advanced-packaging/>



傳統封裝技術的限制



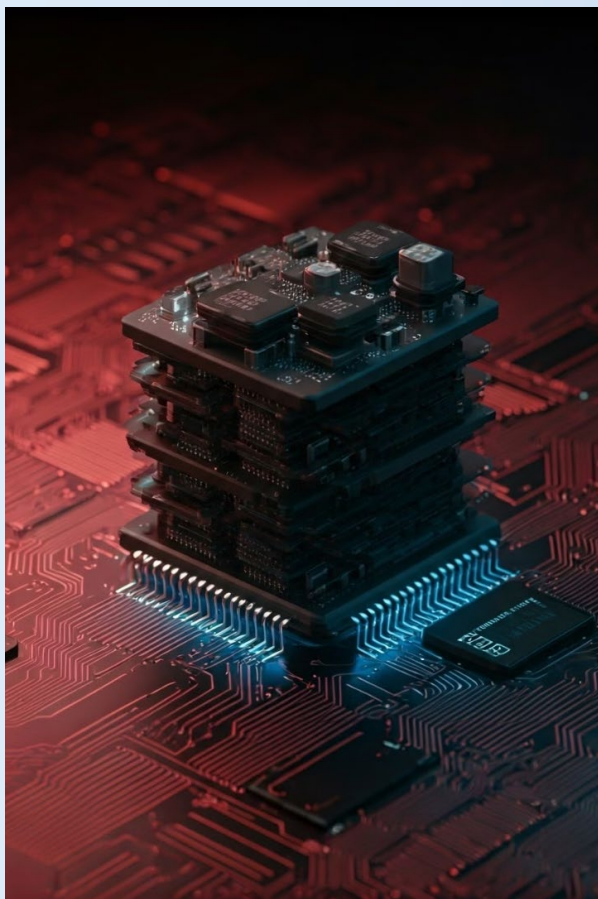
這些限制使傳統封裝技術難以支持下一代高效能運算需求，成為產業瓶頸。



3D 製程封裝技術

半導體產業正面臨突破性的變革，3D 製程封裝技術為晶片效能帶來全新可能。本簡報將深入探討這項革命性技術的原理、應用與未來發展。





3D 封裝技術的興起



突破摩爾定律限制

當晶體管微縮面臨物理極限，垂直堆疊提供新出路。



提高晶片整合度

垂直維度的應用讓更多元件能整合於同一封裝中。

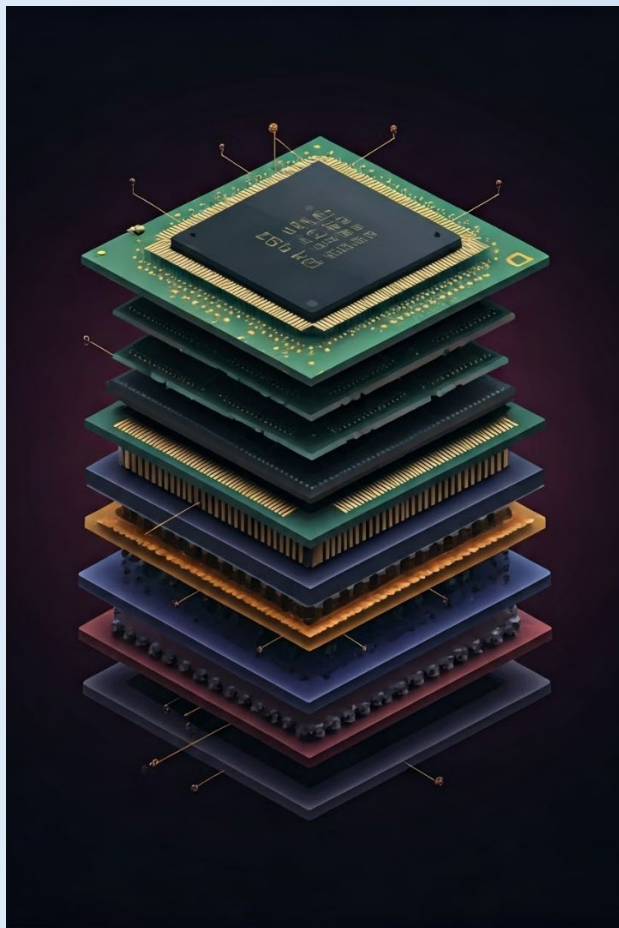


改善效能與功耗

縮短訊號傳輸路徑，大幅提升效能同時降低功耗。



3D 封裝技術的類型



晶片堆疊 (Chip Stacking)

將多個裸晶片直接垂直堆疊，透過特殊互連結構連接。

適用於記憶體與邏輯晶片整合，可大幅提升記憶體頻寬。

封裝堆疊 (Package Stacking)

將已封裝好的晶片進行堆疊，製程較為簡單。

常見於行動裝置，如 PoP (Package-on-Package) 技術。

晶圓級封裝 (Wafer Level Packaging)

在晶圓階段即進行封裝處理，成本更低。

可實現更小的封裝尺寸，適合消費性電子產品應用。



矽穿孔技術 (TSV)

定義與原理

TSV 是貫穿矽晶片的垂直電連接通道，直徑通常在 5-50 微米之間。

通過蝕刻、絕緣和金屬填充等步驟製成，能實現晶片間的垂直電氣連接。

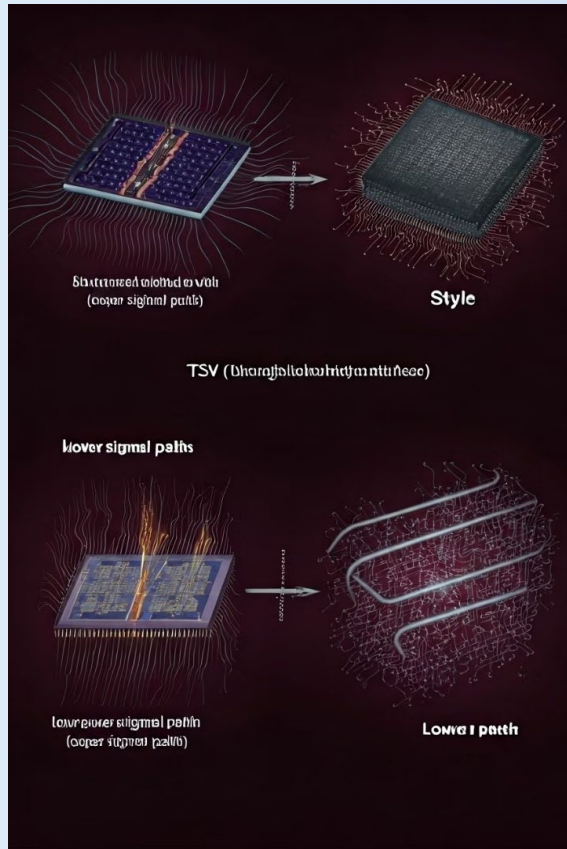
在 3D 封裝中的應用

作為不同層晶片間的關鍵互連結構，取代傳統的打線連接。

能夠支持高密度的 I/O 連接，是實現真正 3D 整合的核心技術。

廣泛應用於高頻寬記憶體、圖像感測器和異質整合系統。

TSV 技術的優勢



縮短訊號傳輸距離

與傳統封裝相比，TSV 可將信號路徑縮短 50-1000 倍。極短的連接距離顯著降低訊號延遲，提升系統響應速度。



提高頻寬

支援更高密度的 I/O 連接，每平方毫米可達上千個連接點。

能實現 TB/s 級別的資料傳輸速率，適合高效能運算應用。



降低功耗

短路徑減少電阻損耗，使系統耗電量降低 20-30%。更高效的電源傳輸提升整體系統能源效率。



3D 封裝製程流程



晶圓薄化

將標準晶圓厚度從 700-800 μm 減薄至 50-100 μm 。



TSV 製作

形成垂直互連通道，包含蝕刻、絕緣與金屬填充步驟。



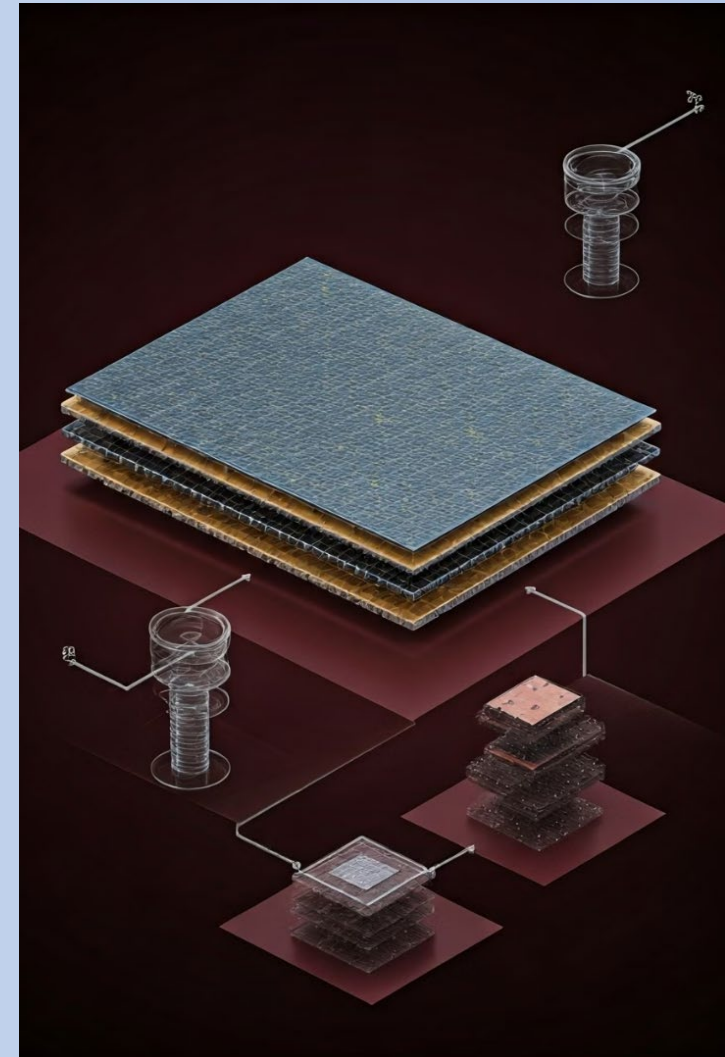
晶片堆疊

使用微凸塊等技術將多個晶片精確對準並結合。



封裝與測試

進行模塑封裝並執行電性與可靠度測試。



晶圓薄化技術

背面研磨

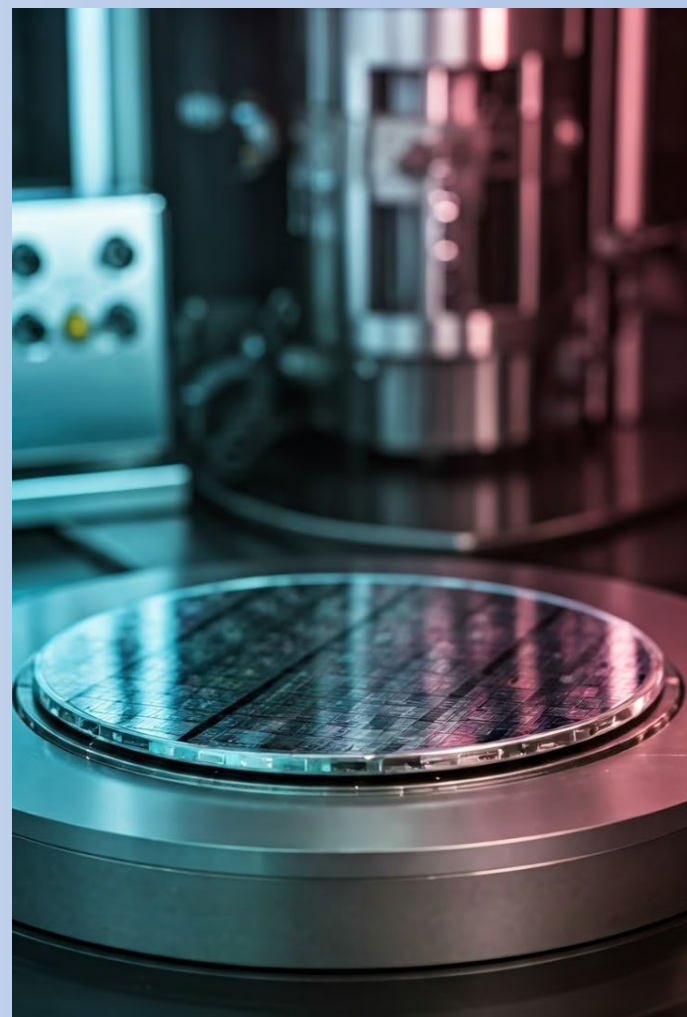
使用精密研磨設備移除晶圓背面材料，達到初步薄化目標。
精度可達微米級，但會產生一定的機械應力。

化學機械拋光（CMP）

結合化學腐蝕與機械研磨，進一步薄化並提供高品質表面。
可去除研磨造成的表面損傷層，表面粗糙度控制在奈米級。

薄化後的晶圓處理

採用特殊載具和處理技術防止超薄晶圓變形或破裂。
應用臨時接合技術提供機械支撐，確保後續製程安全。



晶片堆疊技術



銅柱凸塊（Copper Pillar）

高度約 30-100 微米的微型銅柱結構，取代傳統錫球凸塊。
提供更精確的間距控制和更佳的電氣性能。



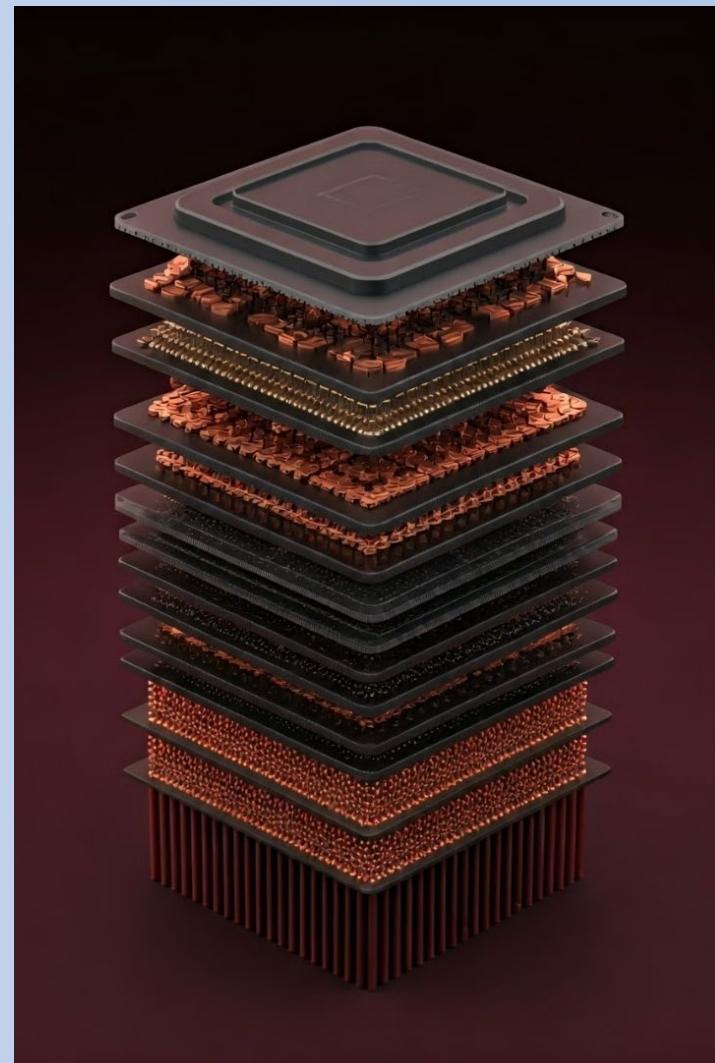
微凸塊（Micro Bump）

直徑小於 50 微米的超微型互連結構，實現超高密度連接。
典型應用於 HBM 等高頻寬記憶體與處理器的連接。



直接銅對銅接合

無需焊料，直接實現銅與銅的原子級鍵結。
具有極佳的導電性和機械強度，但對表面清潔度要求極高。



封裝與測試

模塑封裝

使用特殊環氧樹脂材料包覆晶片堆疊，提供物理保護。

採用低應力配方，避免對薄晶片和互連結構造成損傷。

- 壓模封裝 (Molded Underfill)
- 液態封裝 (Liquid Encapsulation)

電性測試

測試各項電氣參數，確保功能正常

- 接合測試 (Joint Testing)
- 信號完整性測試
- 功能性測試

可靠度測試

模擬各種環境條件，評估產品長期可靠性。

- 溫度循環測試
- 濕度測試
- 振動與衝擊測試

CoWoS 技術介紹



Chip on Wafer on Substrate

創新的晶片級封裝技術



台積電開發的先進封裝技術

領先業界的 2.5D 整合方案



使用矽中介層整合多晶片

實現異質晶片高效互連

CoWoS 是台積電的旗艦級封裝技術，採用矽中介層將多個晶片整合於單一封裝中。這種 2.5D 封裝方式提供近乎 3D 堆疊的效能優勢，同時降低製程複雜度。



半導體

Semiconductor



CoWoS 技術特點

高頻寬記憶體整合

能直接整合 HBM 等高頻寬記憶體，頻寬高達數 TB/s。

異質晶片整合

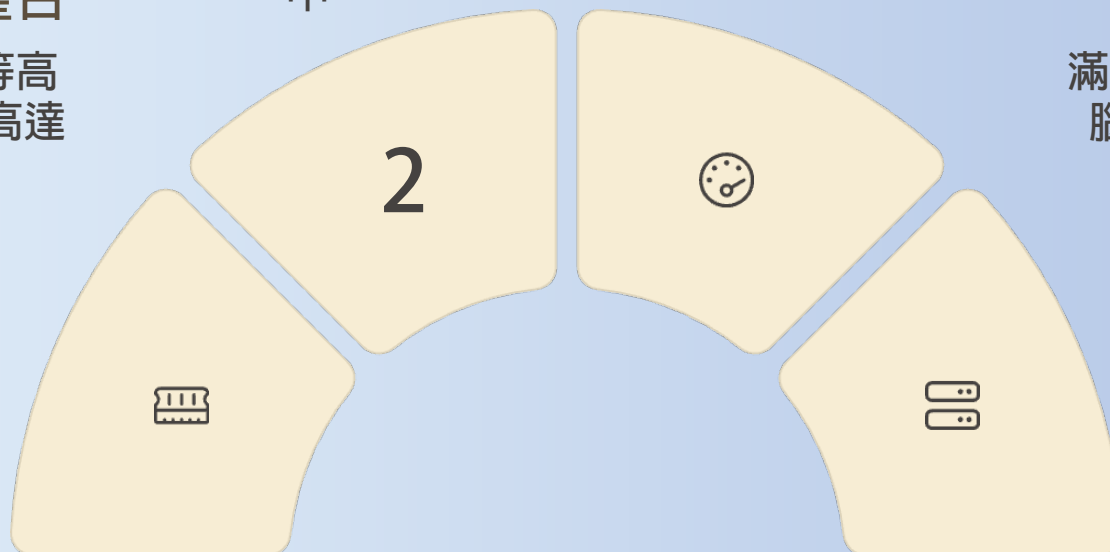
可結合不同製程、不同功能的晶片於同一封裝中。

超高速互連

透過矽中介層提供數千個微米級互連通道。

適用於 AI 與高效能運算

滿足資料中心和超級電腦的極高效能需求。



InFO 技術介紹



Integrated Fan-Out

先進的扇外型晶圓級封裝技術，無需基板即可實現高密度互連。晶片直接嵌入模塑化合物中，周圍區域用於佈線層擴展。

技術優勢

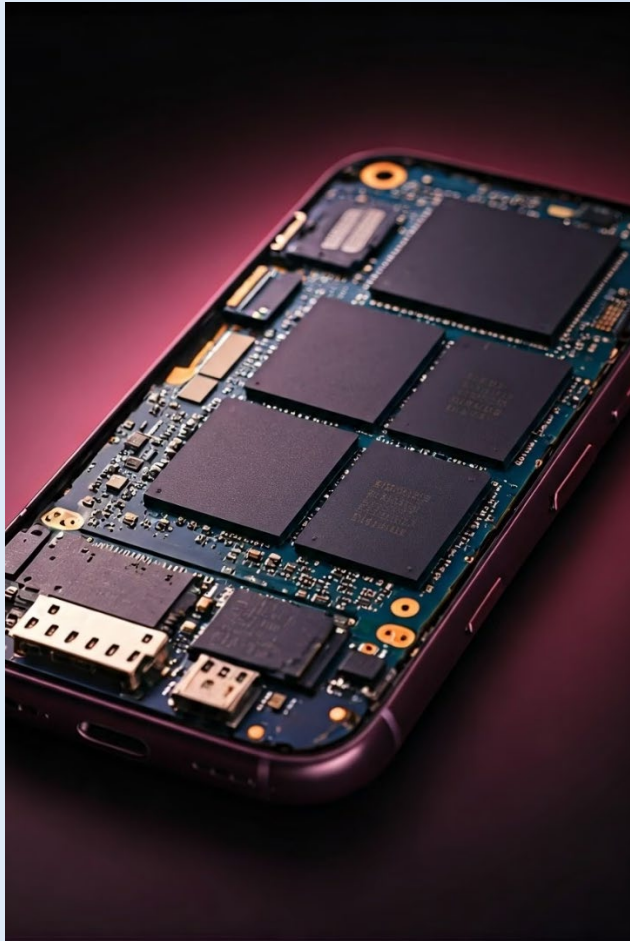
- 更薄的封裝厚度，最薄可達 0.8mm 以下
- 較傳統封裝尺寸減少 20-50%
- 改善電氣效能與散熱性能

製程特色

- 晶圓級製程，大批量生產效益高
- 無需基板，簡化供應鏈
- 可實現更細間距的 I/O 連接



InFO 技術應用



30%

效能提升

相較傳統封裝，訊號傳輸速度
提高約 30%

20%

面積縮減

封裝尺寸減少約 20%，有利於
行動裝置輕薄化

15%

功耗降低

更短的互連路徑使功耗降低約 15%

InFO 技術廣泛應用於蘋果 A 系列處理器、5G 射頻模組等行動裝置關鍵元件。其輕薄特性和優異電氣效能使其成為行動運算領域的理想封裝選擇。



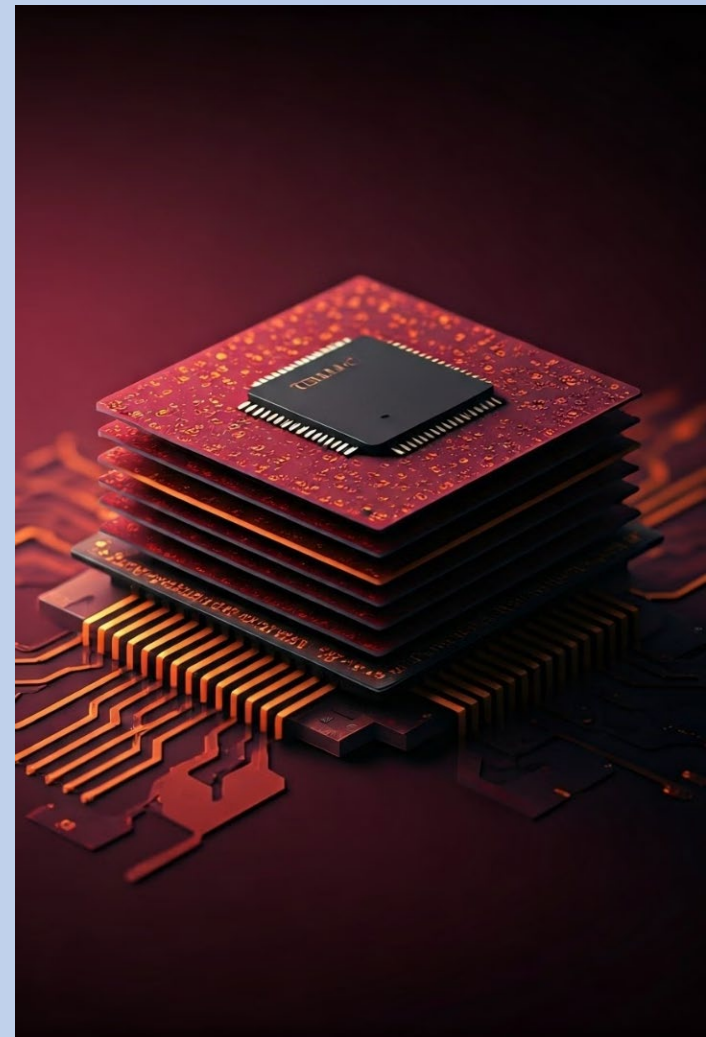
半導體

Semiconductor



SoIC 技術介紹

全名	System on Integrated Chips
技術類型	真正 3D 晶片堆疊技術
開發公司	台積電 (TSMC)
互連類型	微凸塊銅對銅直接接合
凸塊間距	小於 10 微米
主要應用	高效能運算、AI 加速器



SoIC 技術優勢



超高密度整合

微凸塊間距可達 9 微米以下，密度為傳統封裝技術的百倍。

每平方毫米可容納上萬個互連點，實現前所未有的整合度。



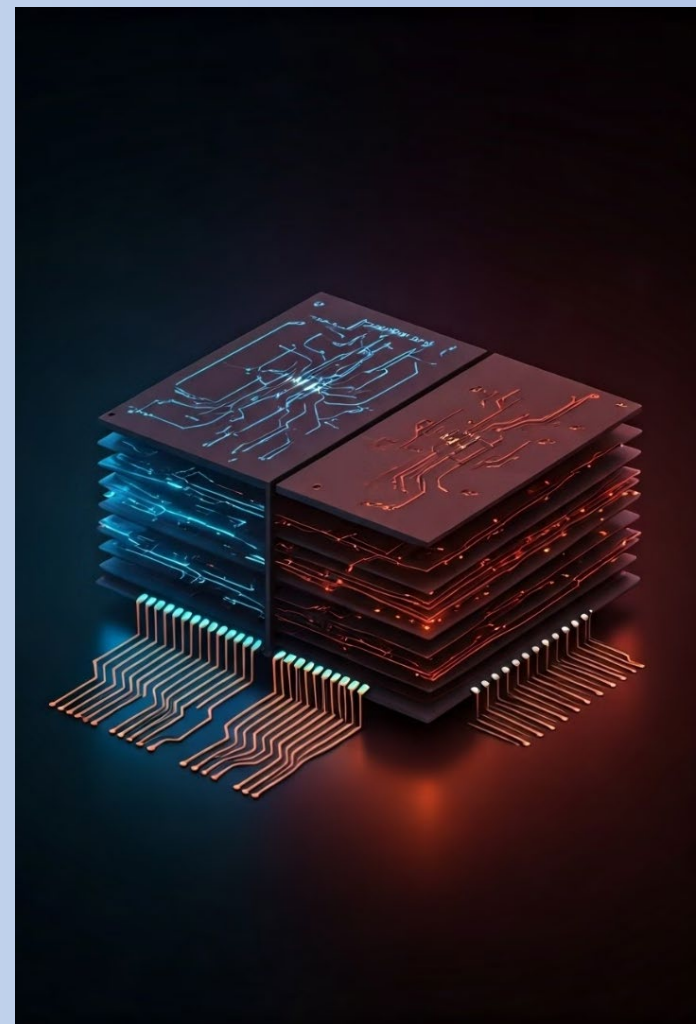
極短訊號路徑

晶片間距離僅為微米級，訊號延遲降至最低。電氣性能接近單一晶片水平，傳輸效率提升 50% 以上。



異質晶片整合

可堆疊不同製程、不同功能的晶片，如邏輯與記憶體。實現「系統級晶片」的終極目標，功能整合更完善。



3D 封裝技術的挑戰

熱管理問題

晶片堆疊後散熱路徑受阻，
溫度控制難度增加

成本控制

製程複雜導致成本提高，需
平衡效能與經濟性



應力管理

不同材料熱膨脹係數差異導
致機械應力積累

良率控制

多晶片堆疊使整體良率呈指數下降



散熱解決方案

熱界面材料優化

開發高導熱係數的界面材料，提升熱傳導效率。

- 金屬基導熱膠
- 相變材料 (PCM)
- 石墨烯複合材料

導熱係數可達 $5-15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，較傳統材料提升 3-5 倍。

主動散熱設計

整合微通道液冷系統，直接帶走晶片內部熱量。

- 矽微通道冷卻
- 二相流冷卻
- 噴霧冷卻技術

冷卻效率可提升 5-10 倍，支持高功率密度應用。

散熱通道規劃

在晶片堆疊結構中預留專用散熱路徑

- 熱通道 TSV
- 金屬柱散熱結構
- 嵌入式散熱層

能將熱量直接引導至封裝表面，提高散熱效率。

應力管理技術



材料選擇與優化

採用低應力環氧樹脂和匹配熱膨脹係數的材料。



結構設計考量

應用應力緩衝層和優化晶片排列方式。



模擬分析工具應用

使用有限元分析預測應力分佈並優化設計。

應力管理是 3D 封裝技術可靠性的關鍵。不同材料間的熱膨脹係數差異可達 10-15 ppm/° C，在溫度變化時產生顯著應力。透過材料、結構和製程優化，可將界面應力降低 30-50%。

良率提升策略

製程優化

精確控制關鍵製程參數，提高各步驟的一致性和穩定性。

建立嚴格的製程視窗，確保每一步驟都在最佳條件下進行。

缺陷檢測技術

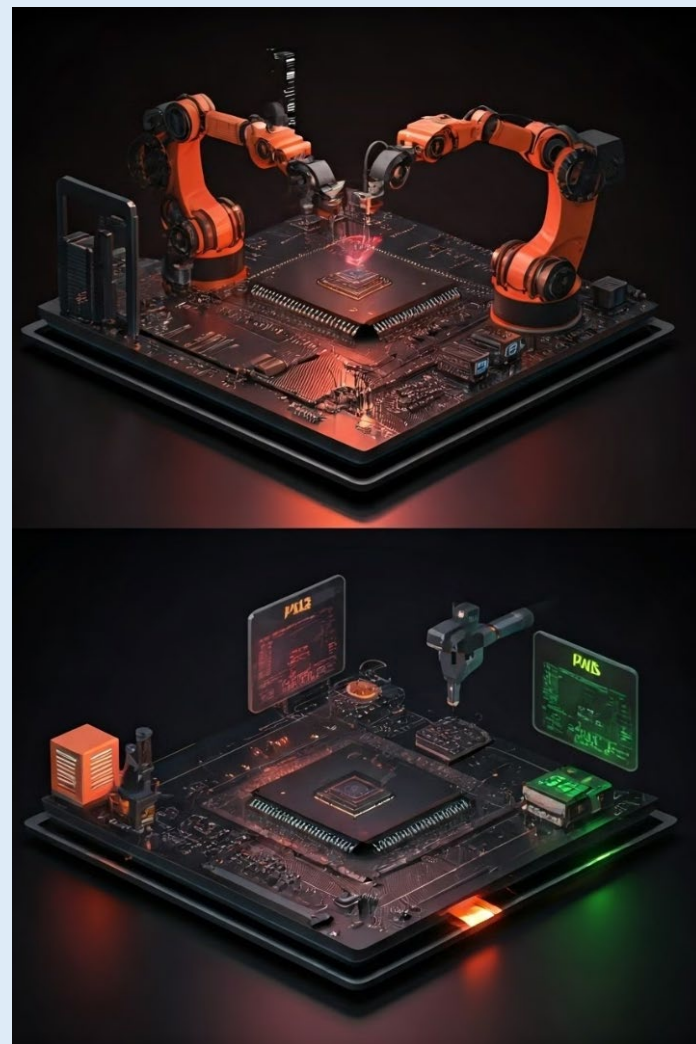
應用先進的非破壞性檢測方法，及早發現潛在問題。

使用紅外線顯微鏡、聲學顯微鏡和 X 光檢測等多種技術。

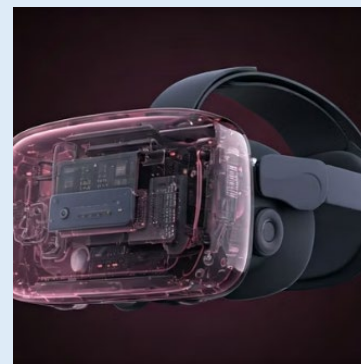
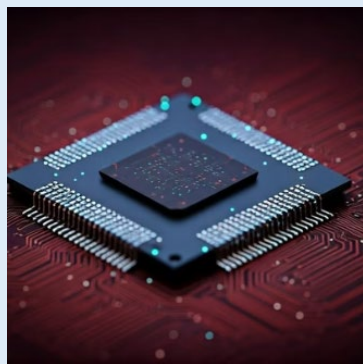
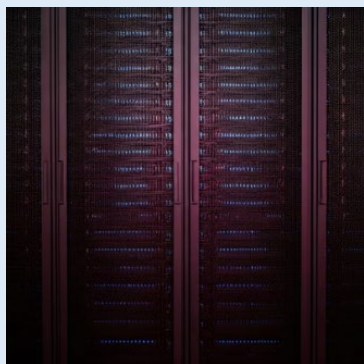
Known Good Die (KGD) 篩選

採用更嚴格的晶片篩選標準，確保堆疊前每顆晶片都是良品。

開發專用的成品級測試方法，提高篩選效率和準確性。

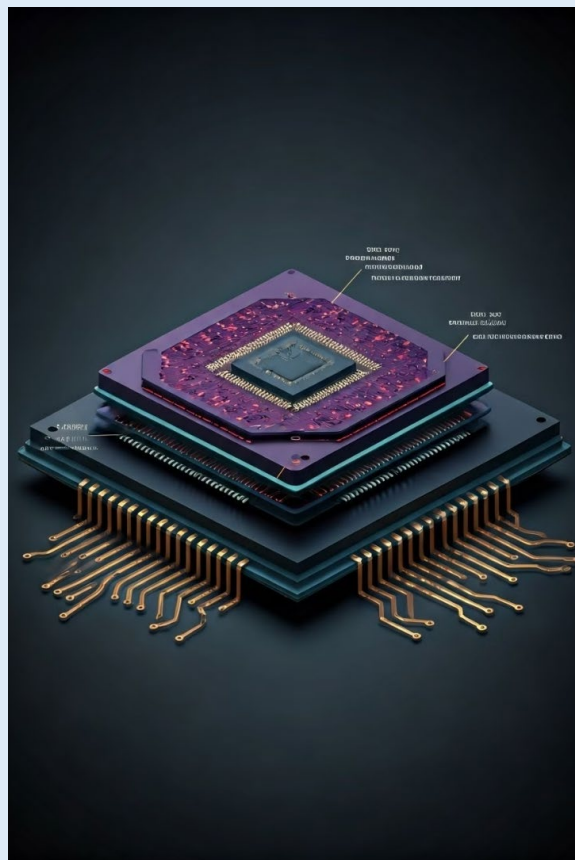


3D 封裝技術的應用領域



3D 封裝技術已廣泛應用於高效能運算、人工智慧加速器、5G 通訊模組、自動駕駛系統及擴增實境裝置等前沿領域，成為驅動新一代電子產品創新的關鍵技術。

3D 封裝在 AI 晶片中的應用



高頻寬記憶體整合

AI 加速器透過 3D 封裝直接整合 HBM 記憶體。

記憶體頻寬可達 2-3 TB/s，有效解決 AI 訓練的記憶體瓶頸。

異質晶片整合

整合 AI 核心、SRAM、控制器等不同功能晶片。

各功能模組可採用最適合的製程技術，優化整體效能。

功耗優化

縮短信號傳輸距離，大幅降低 AI 晶片功耗。

功耗效率提升可達 40%，使大規模 AI 模型訓練更經濟。



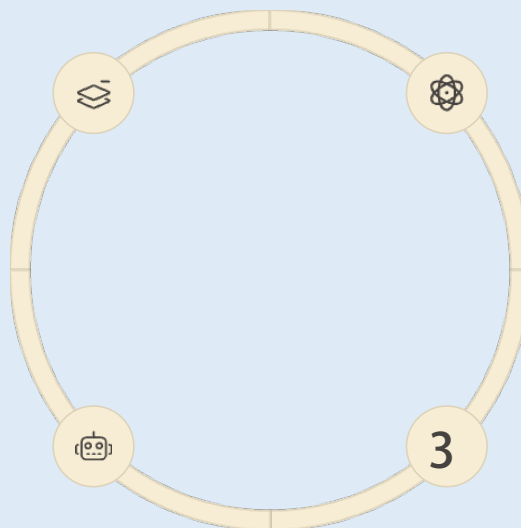
3D 封裝技術的未來趨勢

更高密度整合

互連間距進一步縮小至 5 微米以下，堆疊層數增加至 8-12 層。

智能製造整合

AI 輔助設計和製程控制提升良率和生產效率。



新材料應用

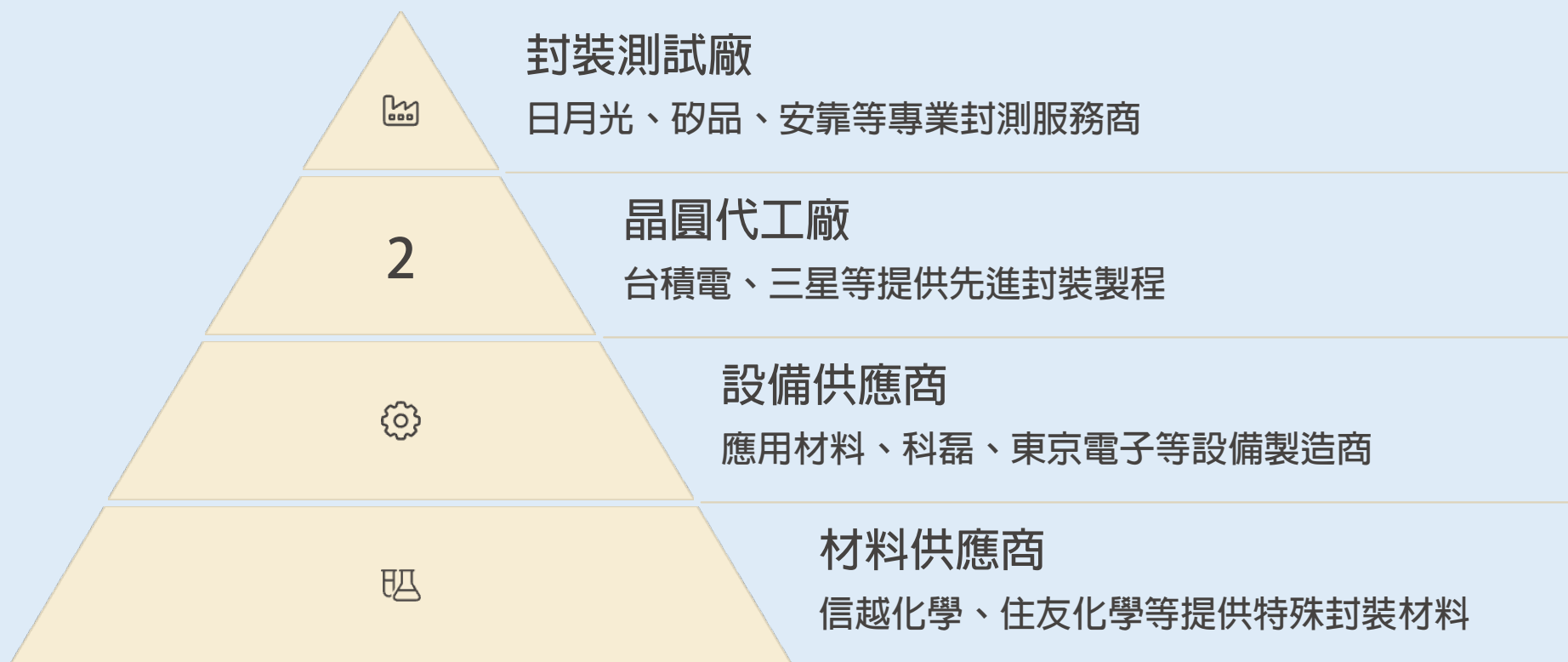
石墨烯、碳Nano管等新材料將提升散熱和電氣性能。

異質整合深化

光電、射頻、感測器等更多元件類型整合於單一封裝。



3D 封裝產業鏈



台灣在 3D 封裝產業的優勢



完整產業鏈

從設計、晶圓製造到封裝測試的完整生態系統。

供應鏈緊密整合，縮短產品開發週期。



技術研發實力

台積電、工研院等持續投入先進封裝技術研發。

擁有大量專利和技術專利，引領產業創新。



與國際大廠合作

與蘋果、英特爾、輝達等國際大廠緊密合作，掌握全球高階市場需求，加速技術商業化。



339 packaginala



半導體

Semiconductor

結論：3D 封裝技術的重要性

1

推動半導體產業進步

突破傳統製程極限，開創整合新方向

2

實現更強大的運算能力

支持 AI、高效能運算等前沿應用



開創新應用可能性

促進各領域技術革新與產業升級

3D 封裝技術已成為半導體產業下一階段發展的核心驅動力，將持續引領電子產品向更小型化、更高性能和更節能的方向演進。企業需積極布局相關技術，以把握未來成長機會。



半導體

Semiconductor





Rabboni 小老師時間



想一想，學了什麼？怎麼做一個遊戲教弟弟妹妹，爺爺奶奶，什麼是 半導體製程？
要正確，要互動，要有創意，最好用上半導體裝置，最好有 AioT 智慧聯網，酷拉！

- 可以用 Rabboni or ...
- vu可以用 Scratch or ...
- OR ...





大師第四講

二進位與邏輯閘/數位世界的積木

國立陽明交通大學電機工程學系 許配慈

<https://www.youtube.com/watch?v=2gtMJ0sSods>

邏輯閘：數位世界的積木

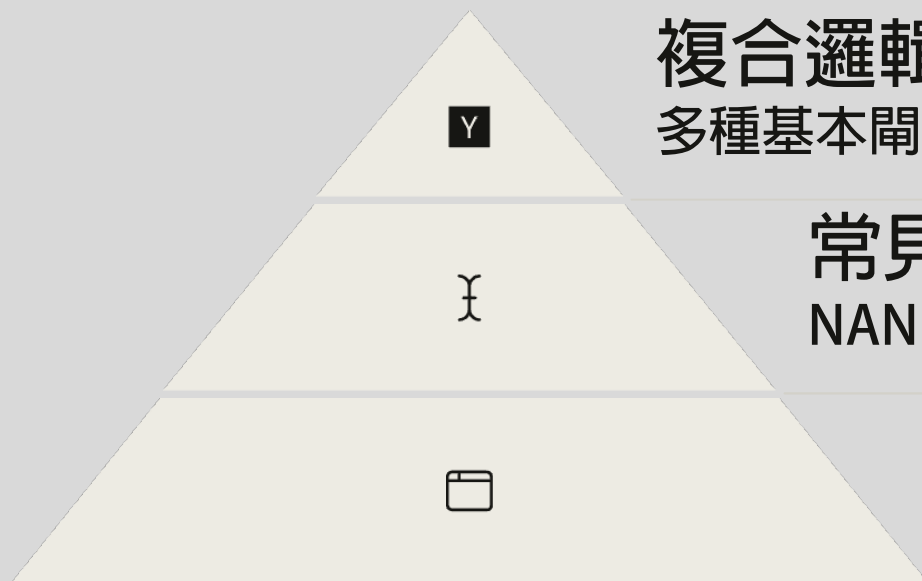
功能
執行基本邏輯運算
構成更複雜電路的基礎



結構
由電晶體組成
可組合成更大的功能單元

種類
AND（與）閘
OR（或）閘
NOT（反）閘

組合邏輯閘



複合邏輯閘
多種基本閘的組合

常見種類
NAND（與非）、NOR（或非）、XOR（互斥或）

應用範圍
可實現更複雜的邏輯功能，構建各種電路

真值表：邏輯閘的說明書



表格形式

清晰展示輸入和輸出的對應關係



完整列出

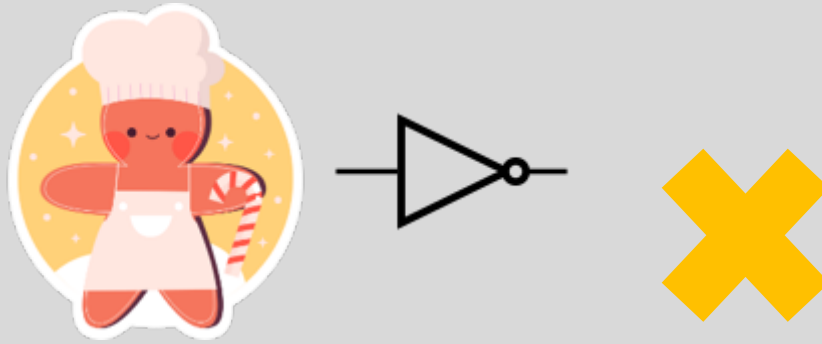
包含所有可能的輸入組合



明確結果

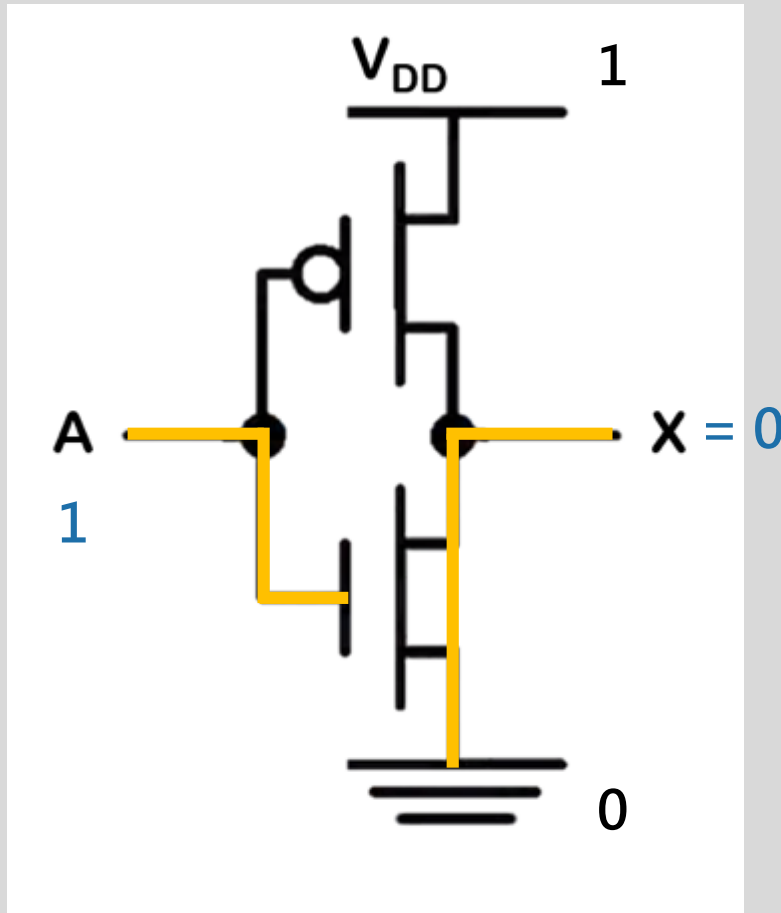
每種輸入組合的輸出都清楚定義

NOT

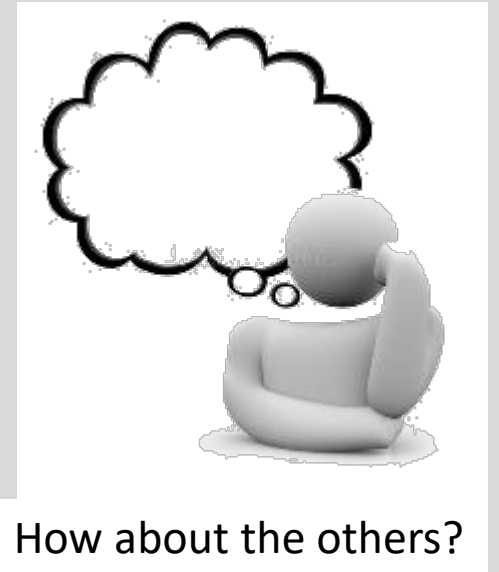
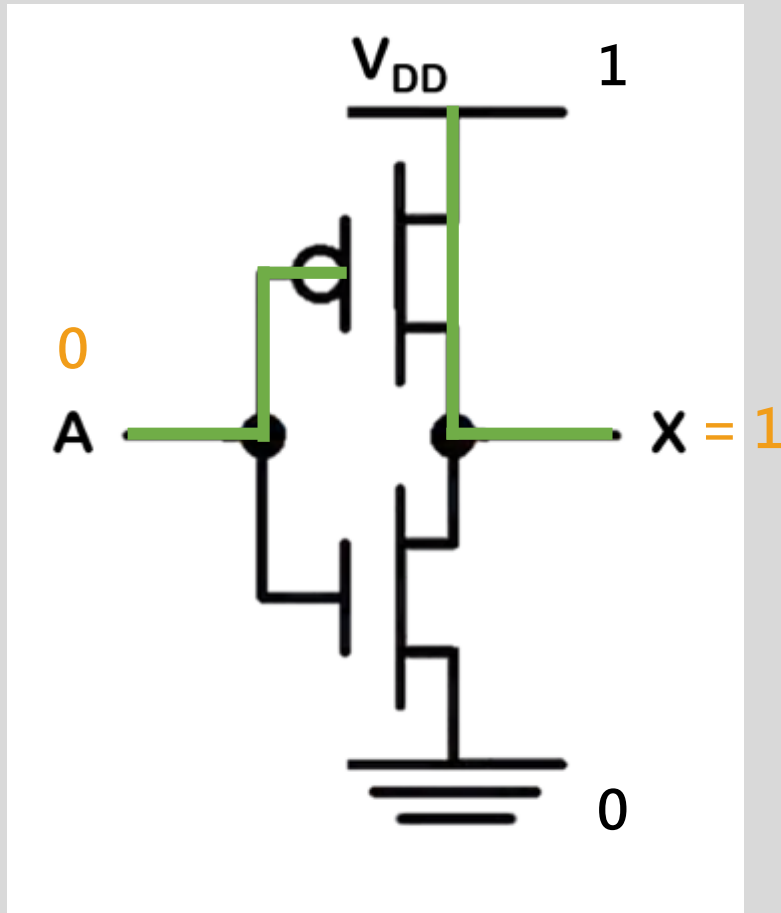


輸入	輸出
[A]	[NOT A]
0	1
1	0

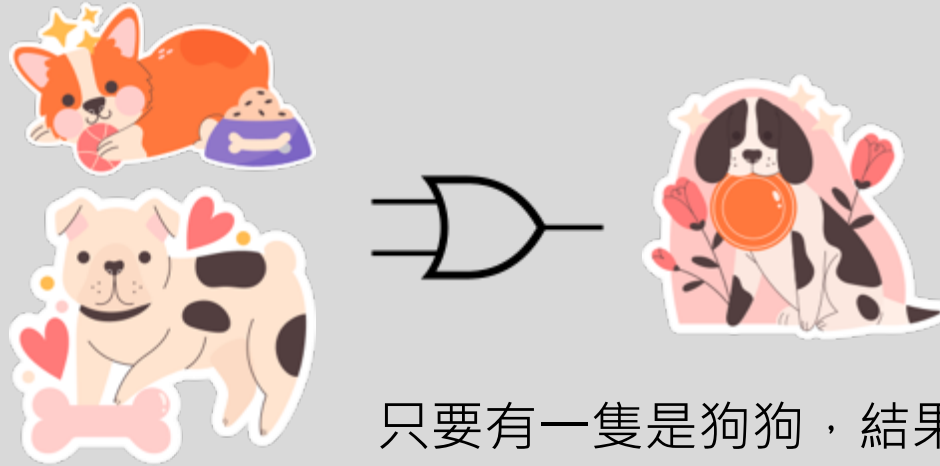
NOT Gate



NOT Gate



OR



只要有一隻是狗狗，結果就是狗狗

輸入		輸出
[A]	[B]	[A OR B]
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

AND



輸入		輸出
[A]	[B]	[A AND B]
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

XOR

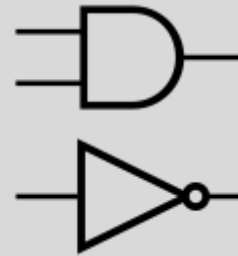


要有兩個不同的物件，才能過聖誕節

輸入		輸出
[A]	[B]	[A XOR B]
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NAND

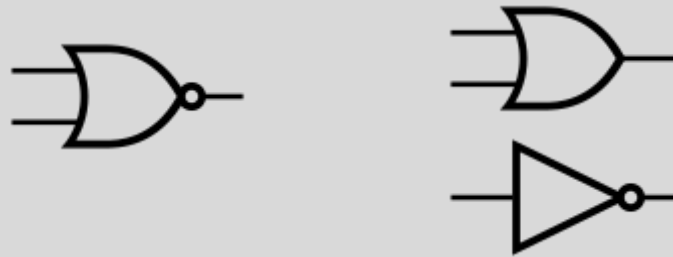
小提示：



輸入		輸出
[A]	[B]	[A NAND B]
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NOR

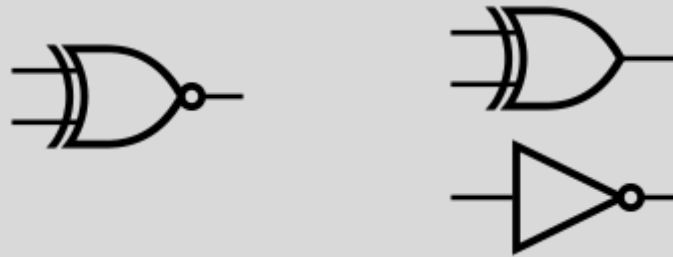
小提示：



輸入		輸出
[A]	[B]	[A NOR B]
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

XNOR

小提示：



輸入		輸出
[A]	[B]	[A XNOR B]
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

數位積體電路的製作過程

設計階段

工程師使用專業軟體設計電路。
進行仿真測試確保設計無誤。

光罩製作

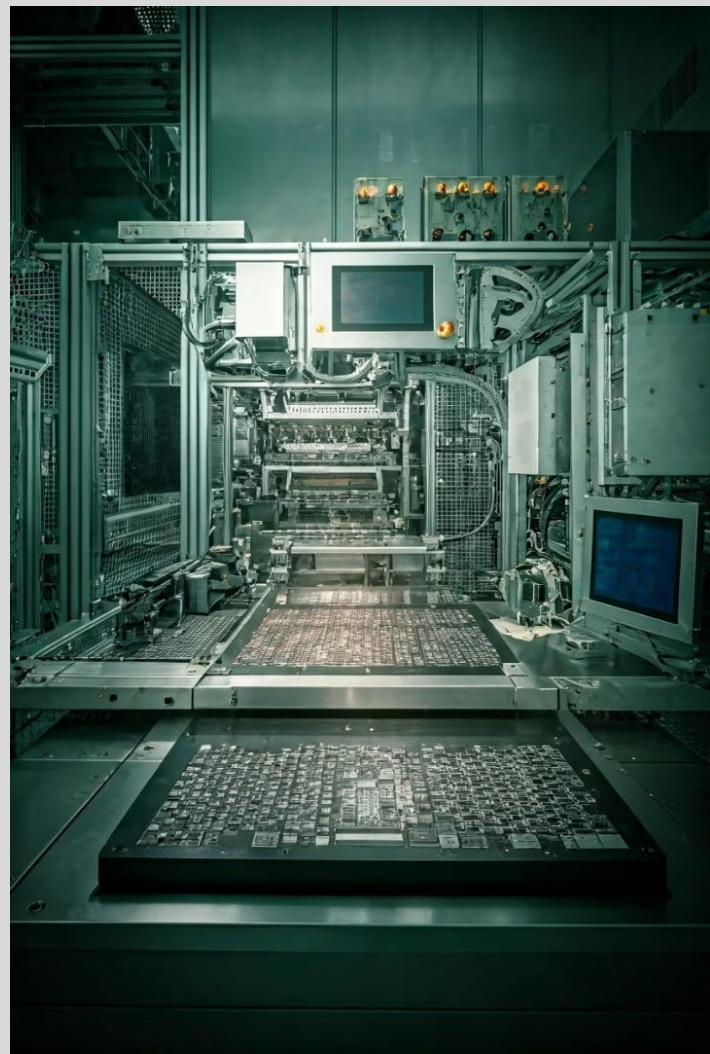
將設計轉化為光罩。
光罩作為晶圓製造的模板。

晶圓製造

使用光罩在矽晶圓上曝光。
通過複雜工藝形成電路結構。

封裝測試

切割晶圓，封裝單個晶片。
進行功能測試確保品質。



4-bit 加法器實作

二進制的加法

和小時候學的直式加法差不多!!

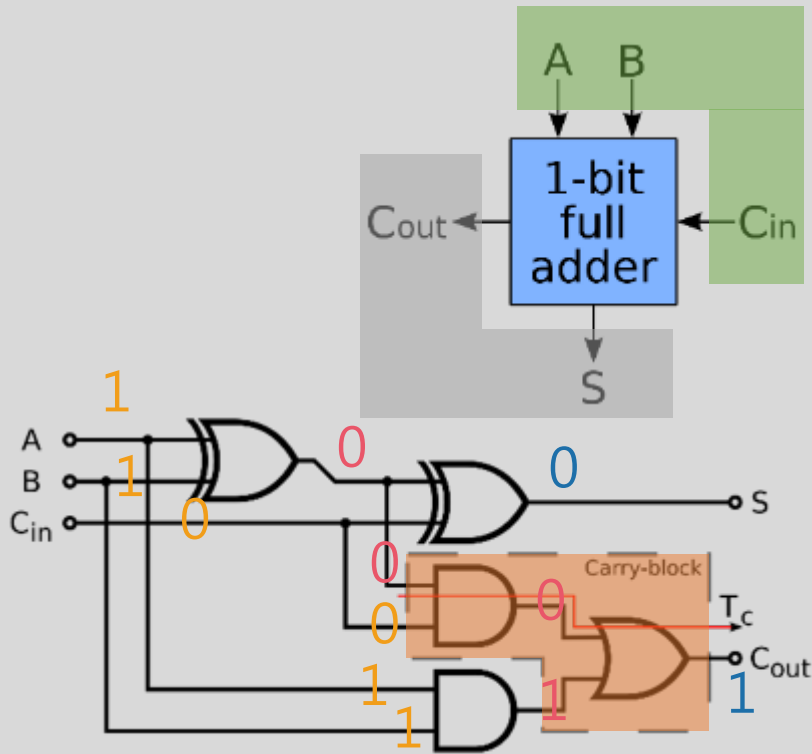
$$00011010 + 00001100 = ?$$

The diagram illustrates the binary addition of 00011010 and 00001100. The 5th bit from the right (the first '1' in the second number) is highlighted with a green box. Arrows point from this box to the 'Carry (C)' and 'Sum (S)' labels. The 'Carry (C)' label shows the calculation 11 → 1. The 'Sum (S)' label shows the calculation 00/11 → 0 and 01/10 → 1. The 'AND!' label is also present.

				1	1					Carry (C)
	0	0	0	1	1	0	1	0		11 → 1
+	0	0	0	0	1	1	0	0		00/01/10 → 0
										AND!
	0	0	1	0	0	1	1	0		
										Sum (S)
										00/11 → 0
										01/10 → 1

XOR!

關於 1-bit 全加法器

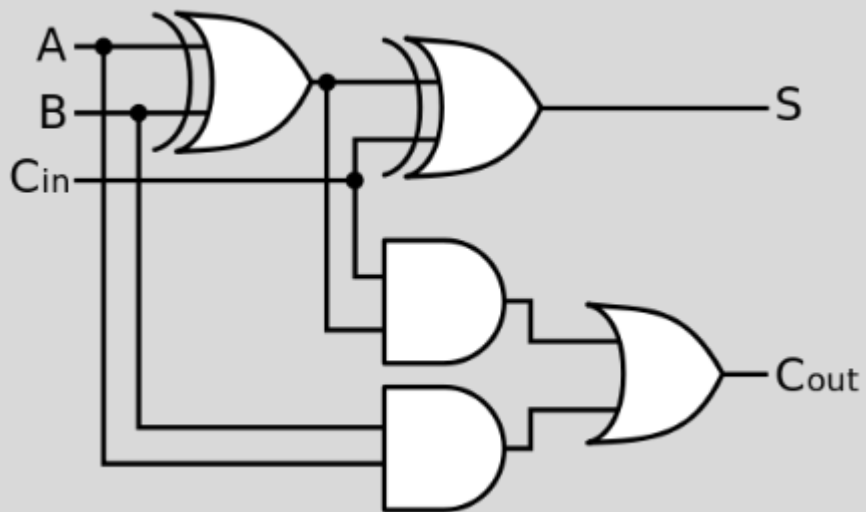
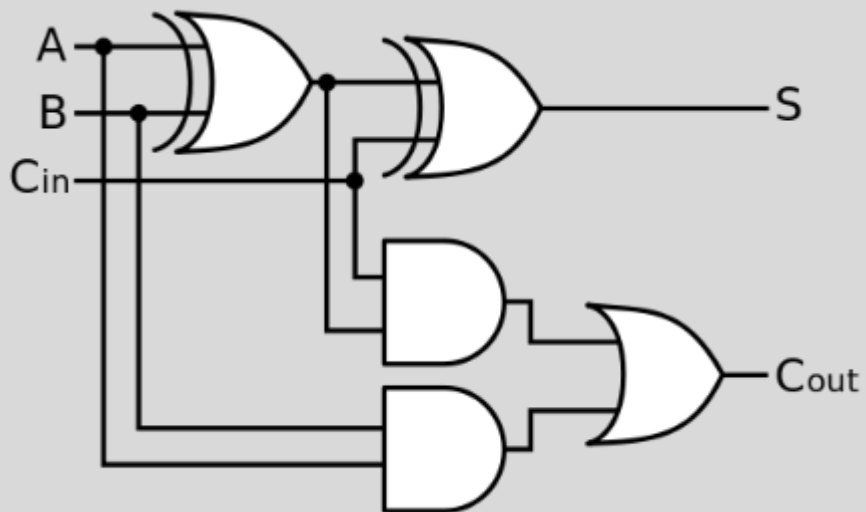


符號

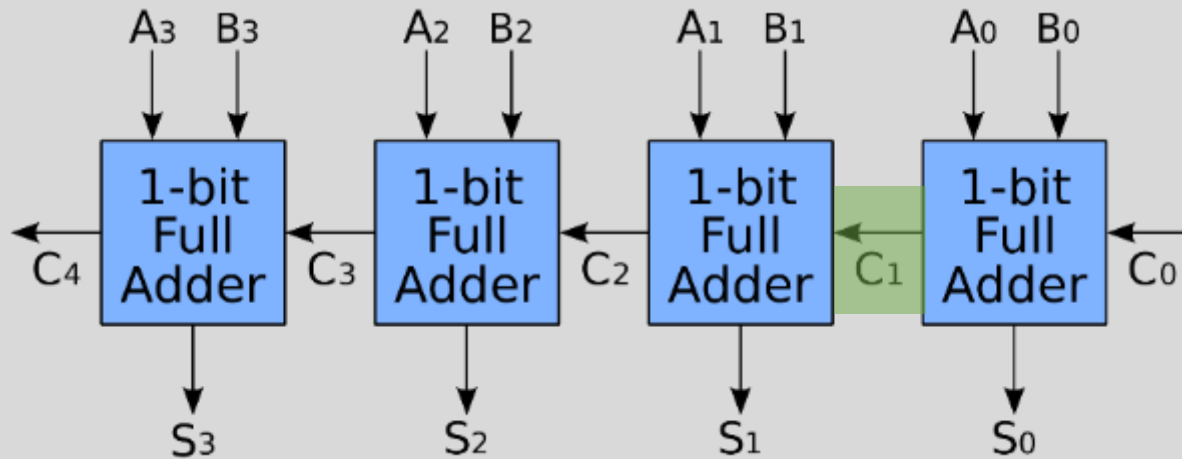
輸入			輸出	
A	B	C_{in}	C_{out}	S
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
1	1	0	1	0
0	0	1	0	1
1	0	1	1	0
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1

真值表

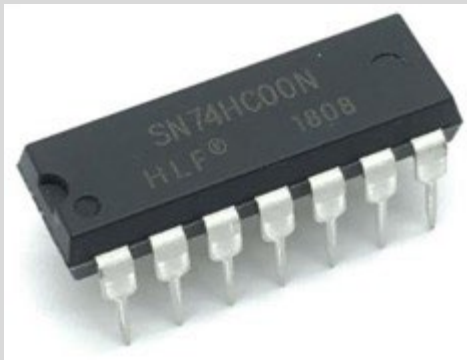
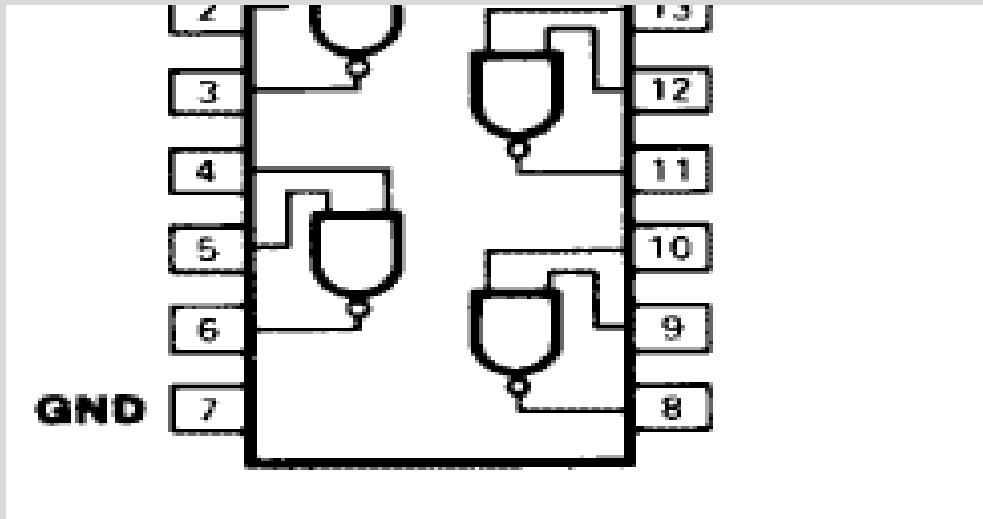
練習用



那 4-bit 全加法器呢？

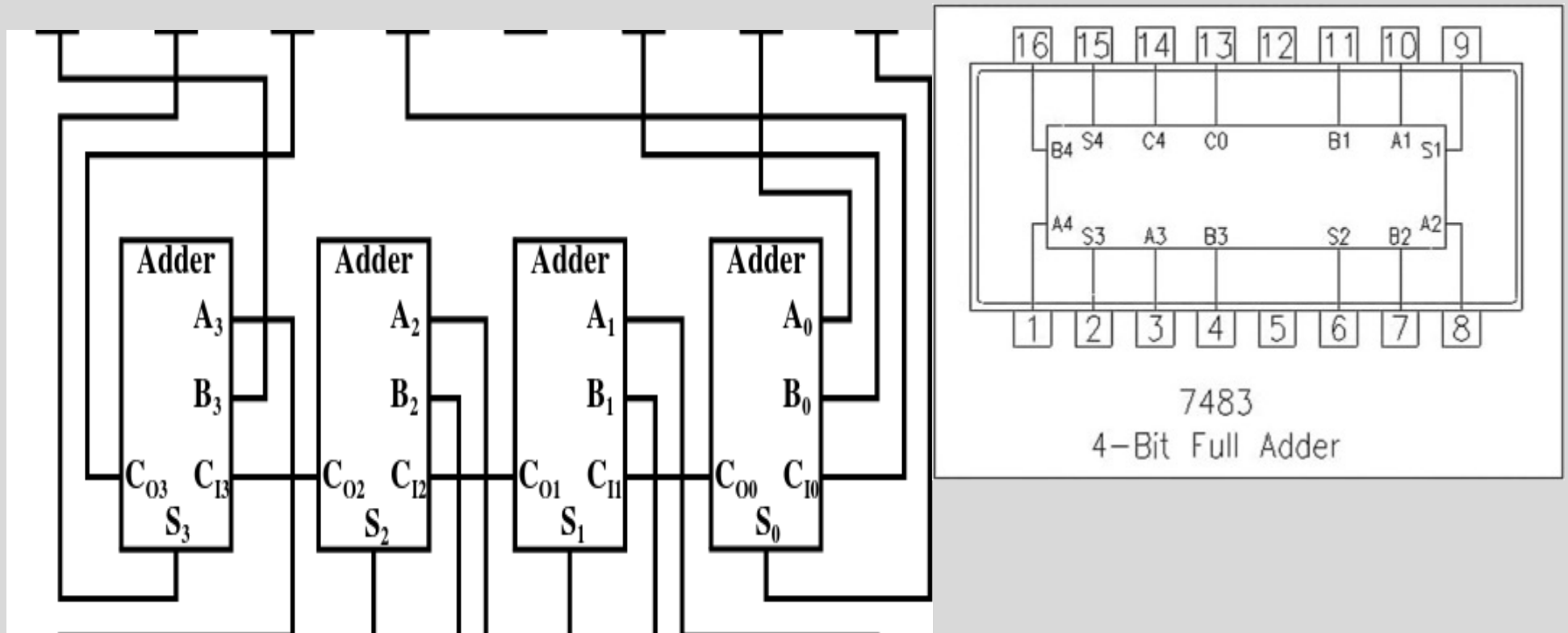


一顆 7400 的 IC

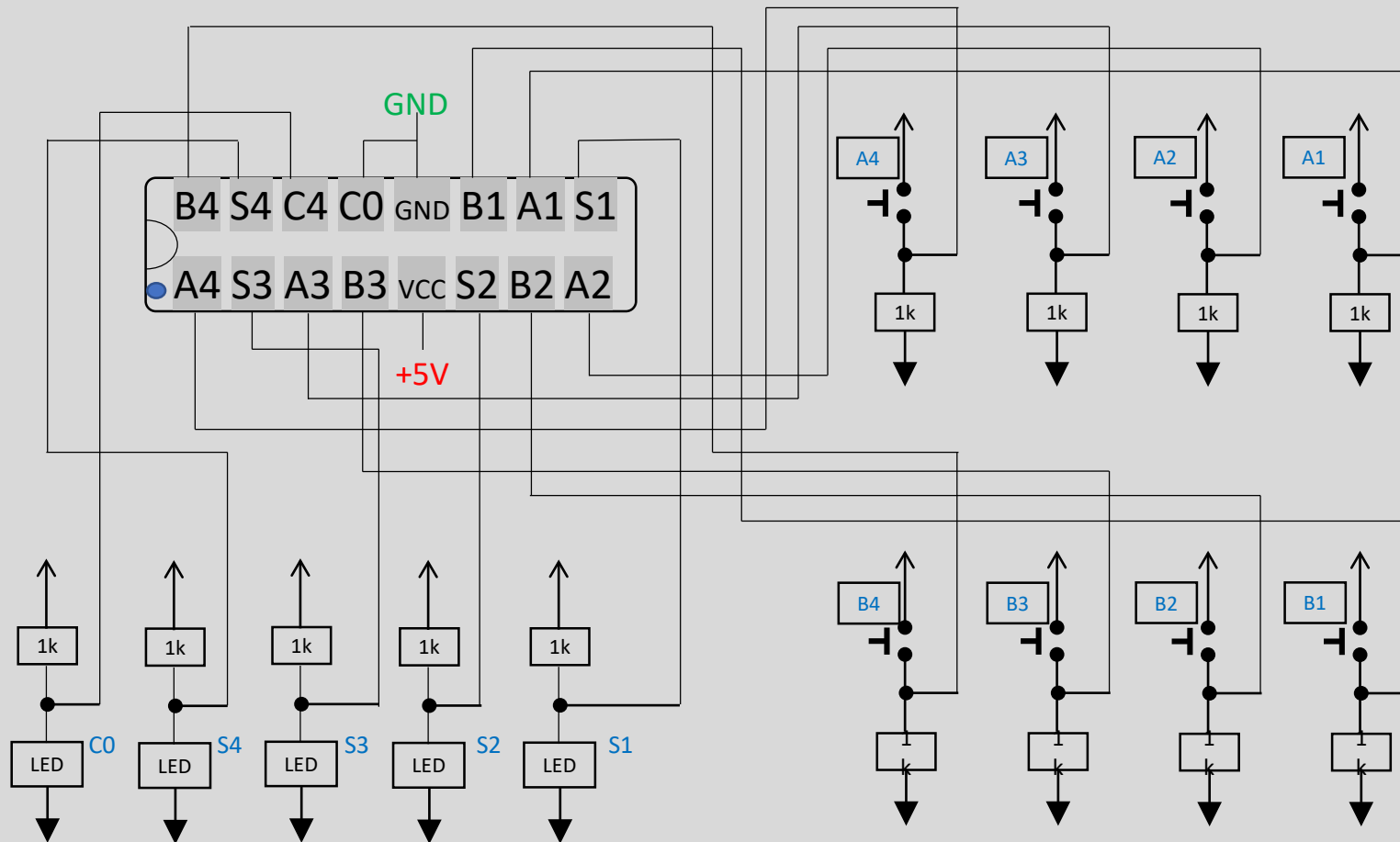


這顆 7400 的 IC 裡有四個
NAND gates
我們可以自由查看給予兩個輸入
時，輸出的變化。

本次實驗的 IC – 7483



4-bit 全加法器接線圖



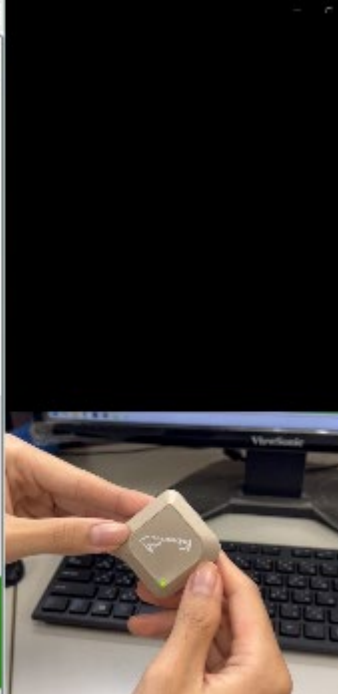
4-bit Adder 真值表 (I)

輸入									輸出					
A_4	A_3	A_2	A_1	B_4	B_3	B_2	B_1	C_i	S_4	S_3	S_2	S_1	C_o	10 進位
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	4
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	6
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	8
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	10
0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	10
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	2+16

4-bit Adder 真值表 (II)

輸入									輸出					
A_4	A_3	A_2	A_1	B_4	B_3	B_2	B_1	C_i	S_4	S_3	S_2	S_1	C_o	10 進位
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	4+16
1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	4+16
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	7+16
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	14+16
0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	3
1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0+16
1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0+16
1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	8+16





想一想，學了什麼？怎麼做一個遊戲教弟弟妹妹，爺爺奶奶，什麼是邏輯閘？

要正確，要互動，要有創意，最好用上半導體裝置，最好有 AioT 智慧聯網，酷拉！



- 可以用 Rabboni or ...
- vu可以用 Scratch or ...
- OR ...



WC2

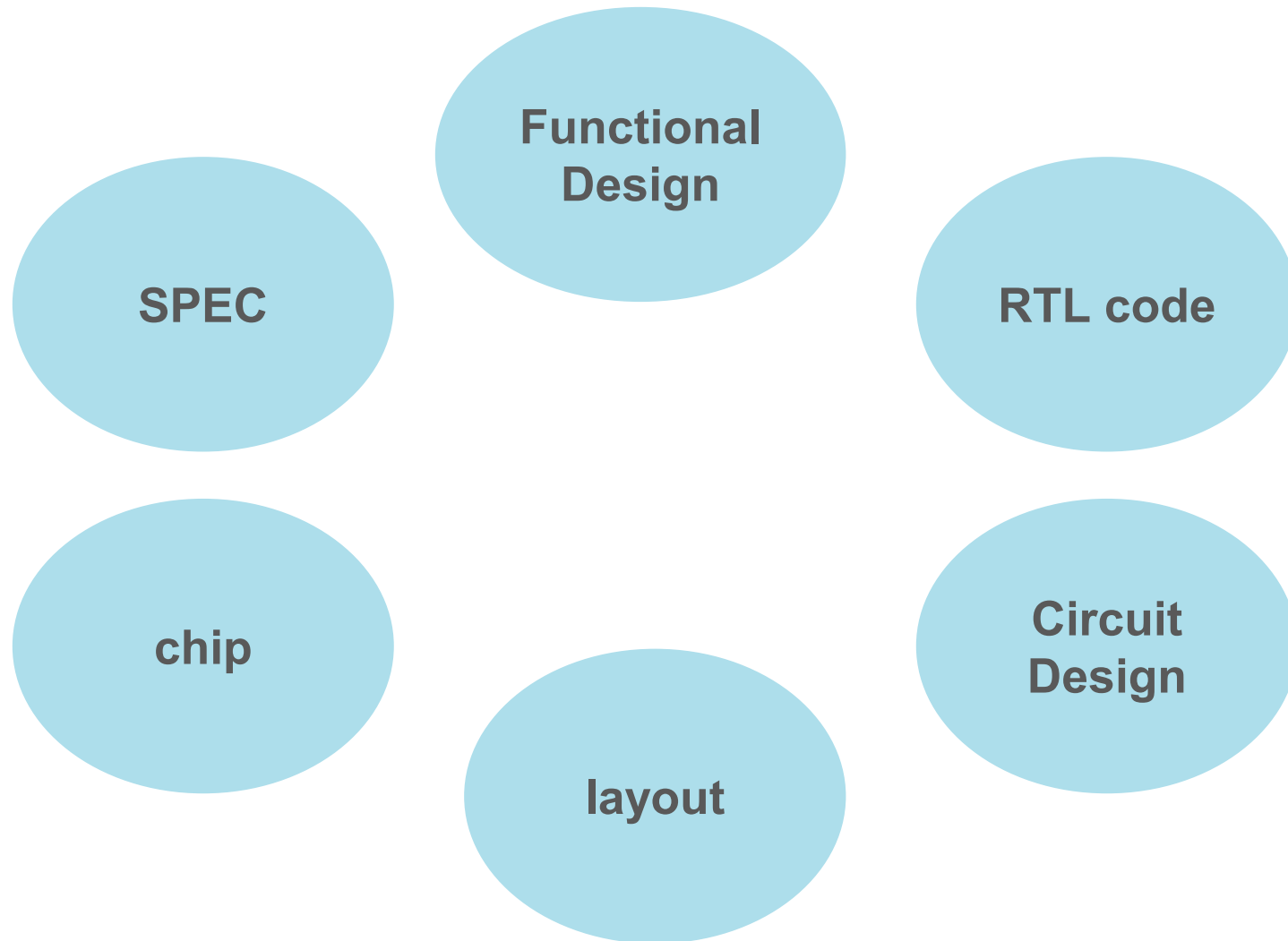
大師第五講：

■ 積體電路設計流程



走近EDA：積體電路設計流程

國立陽明交通大學 電機系
林亞倫

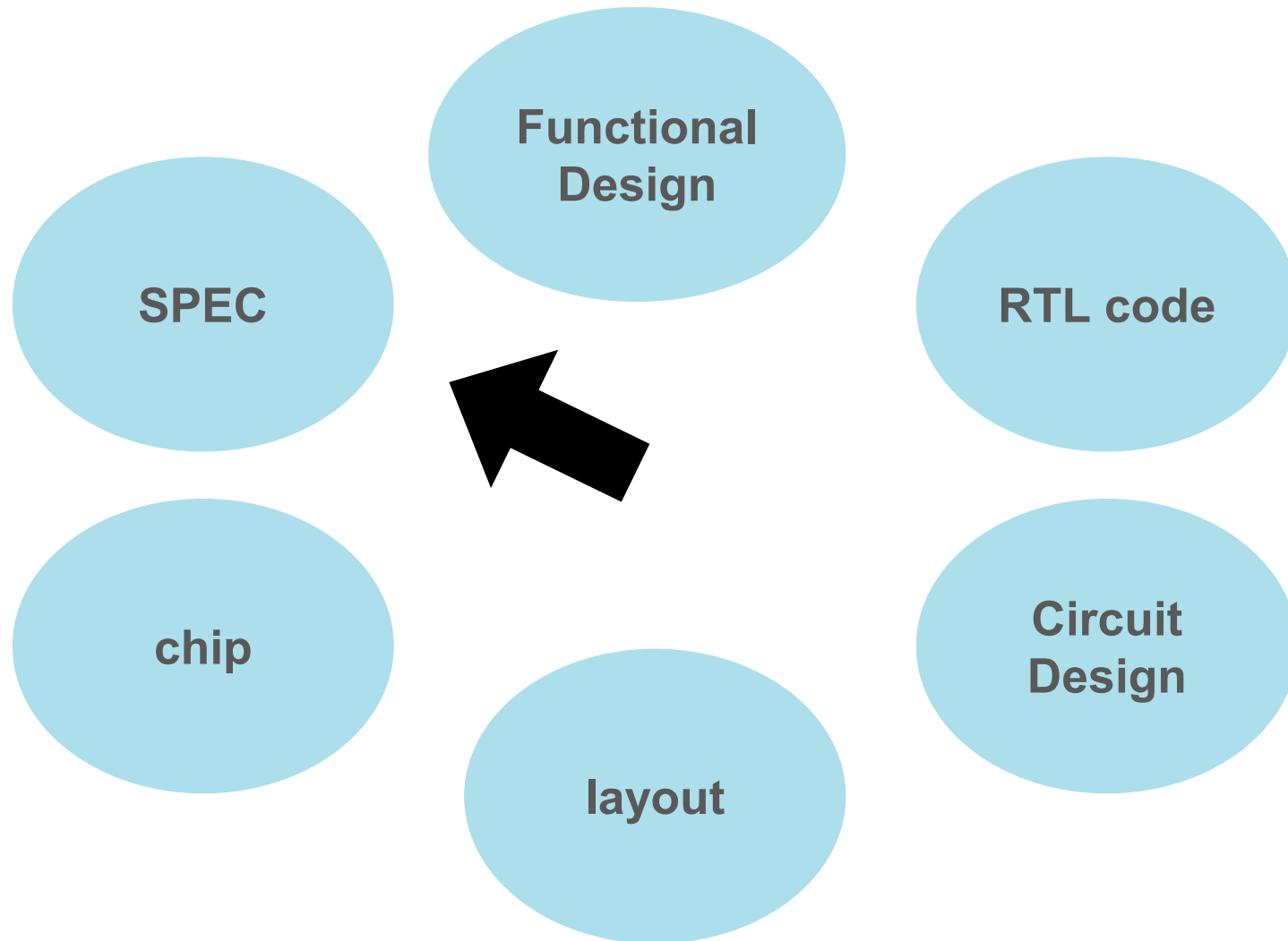






會蓋房子就會IC設計

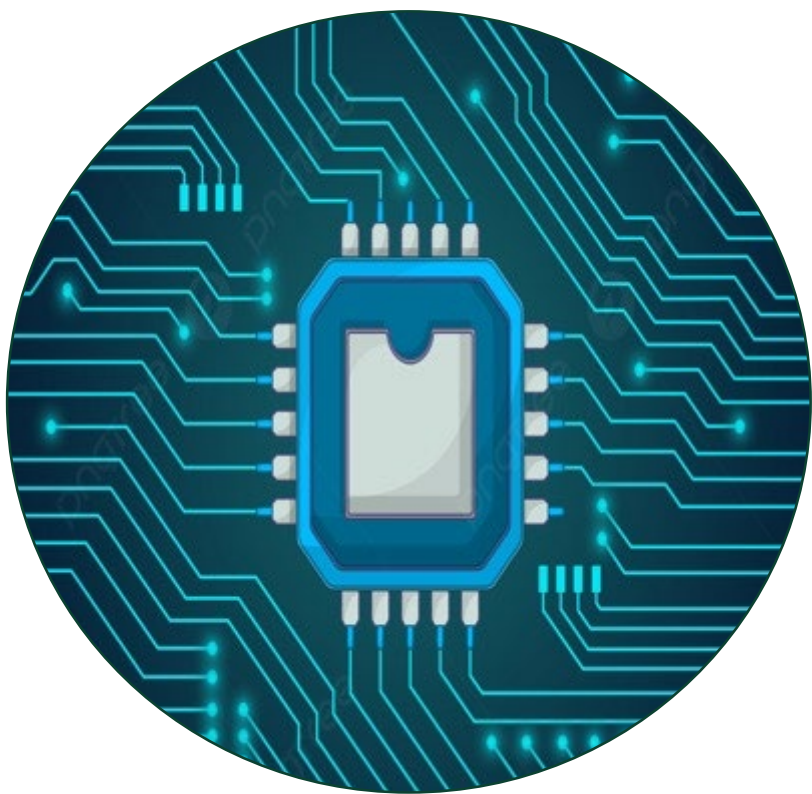






SPEC

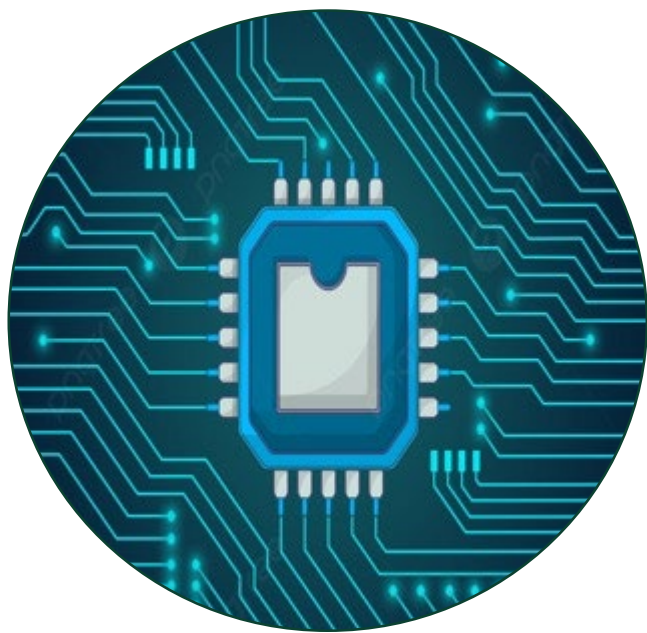
系統層級的需求





SPEC

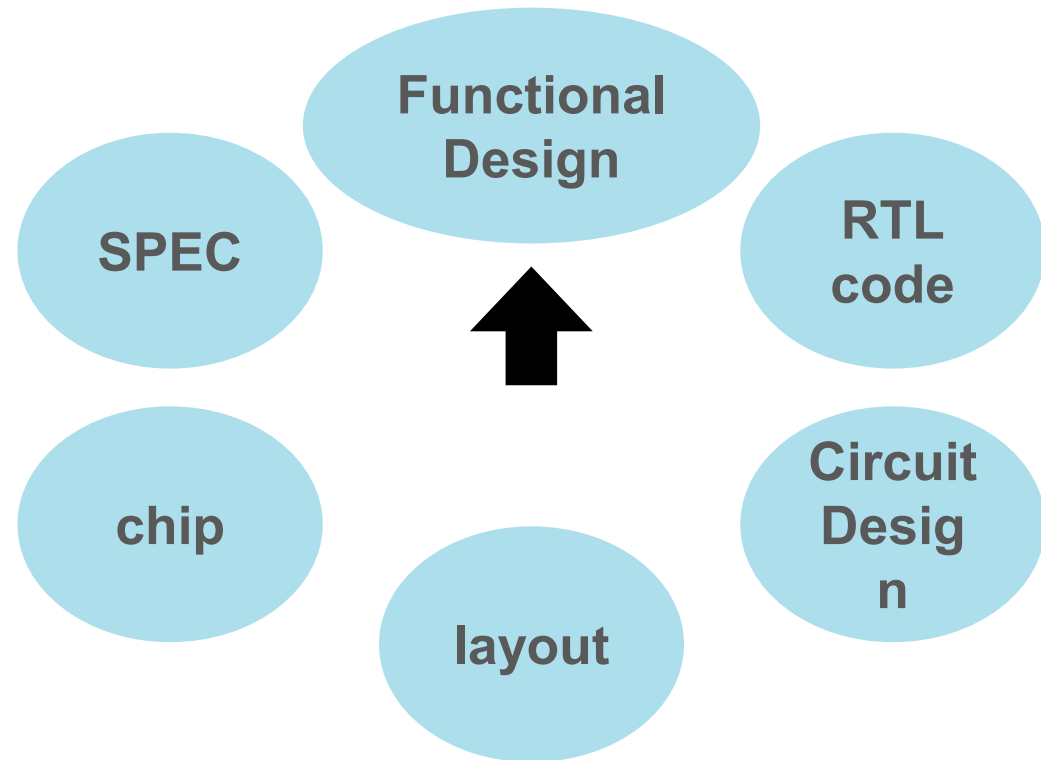
你想要做甚麼 ?-?



計算機IC



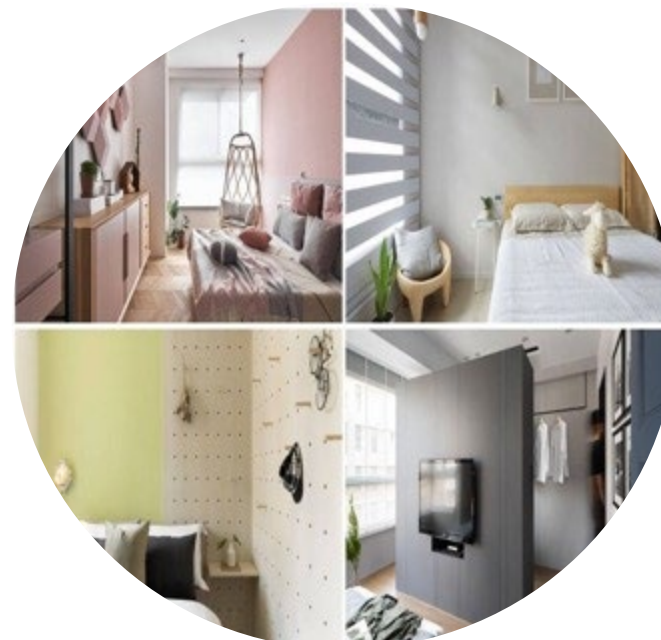
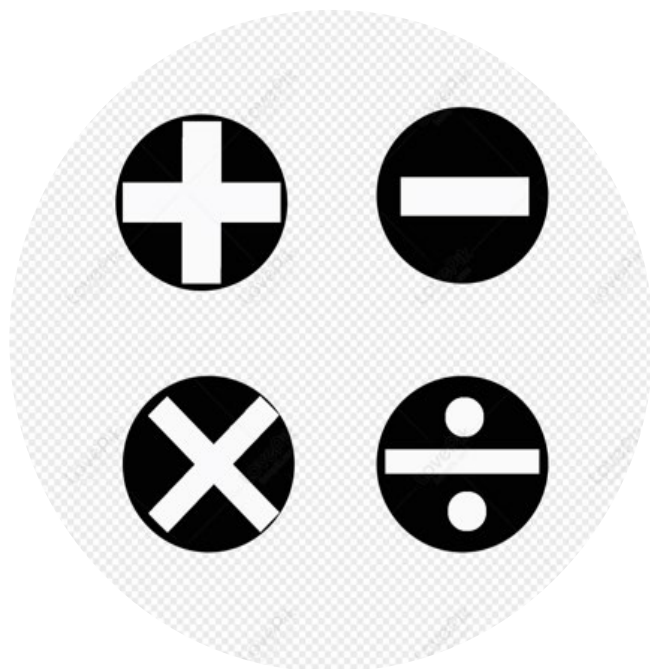
透天厝



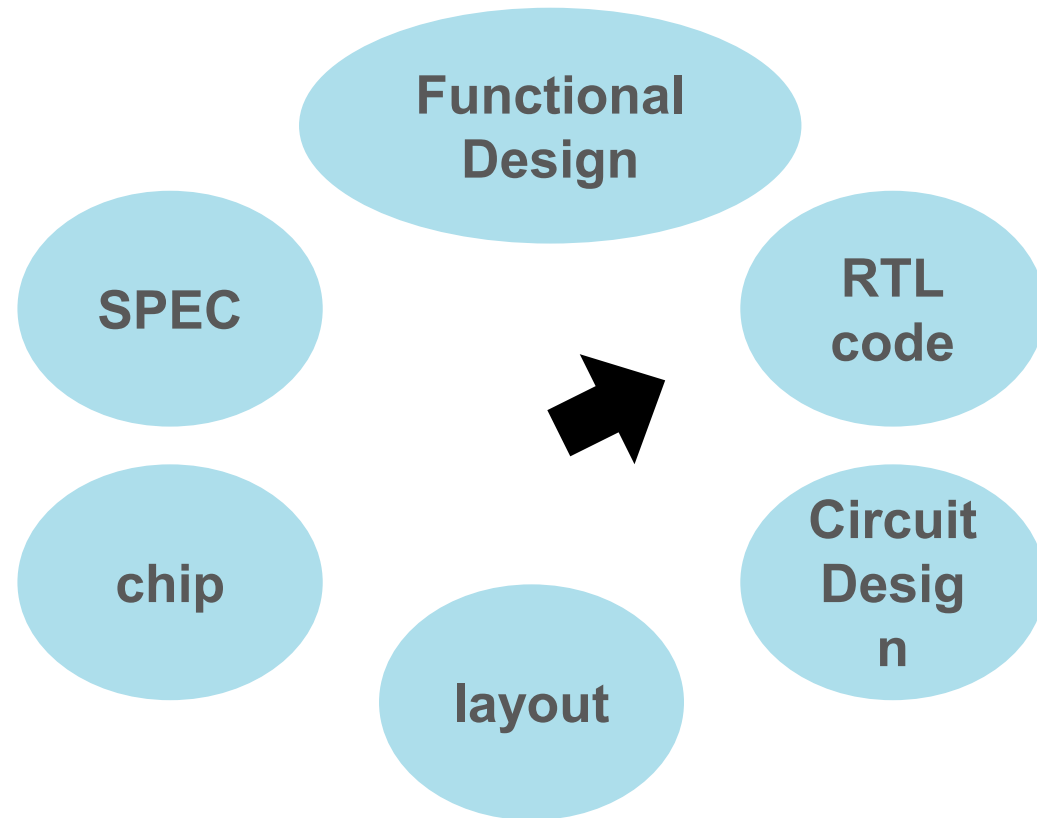
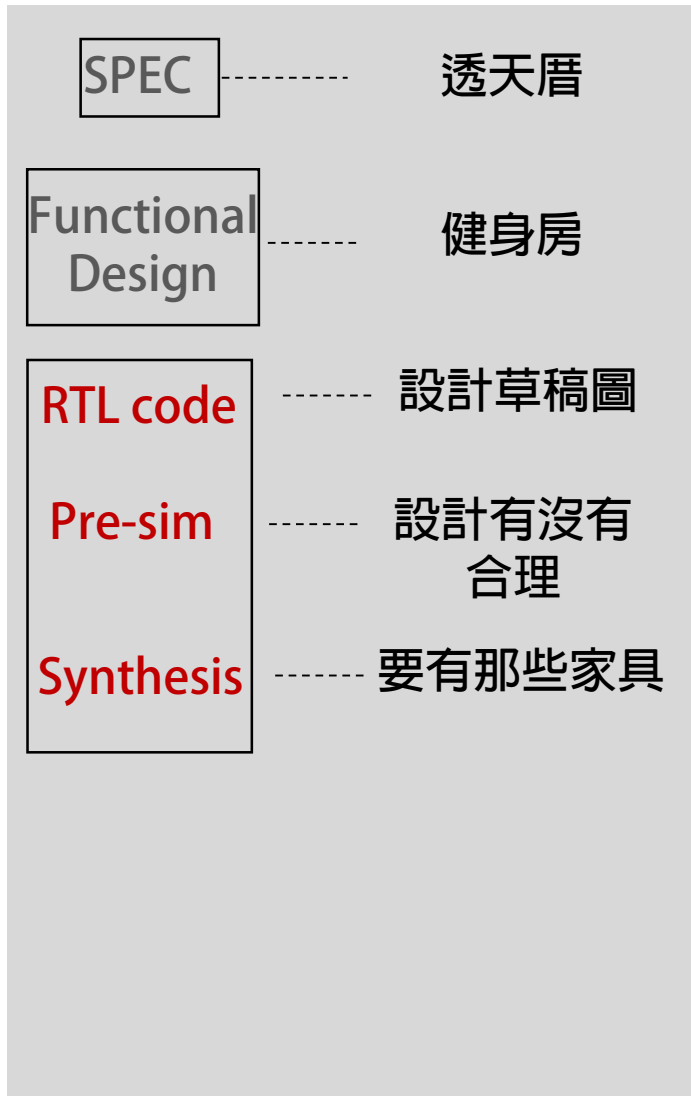


Functional Design

功能設計



要有健身房、書房
、廚房、和室



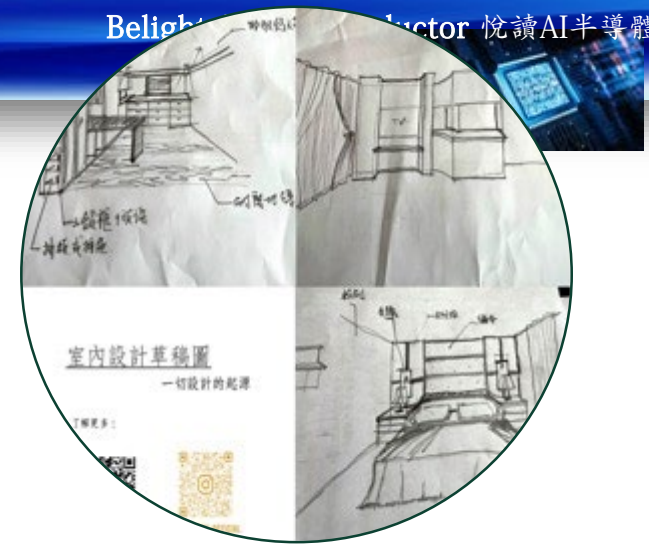


RTL
code

使用程式語言(Verilog)模擬出結果

Pre-sim : 要確定是結果是符合預期的
(比如說 : $1+1=2$)

Synthesis : 用元件兜成想要的電路
(比如說 : 可能會用到電阻、電容)



設計草稿圖

```
1 ns / 1 ns
HDL_Counter
(
  clk,
  reset,
  clk_enable,
  enab,
  reset_1,
  ce_out,
  count
);

input  clk;
input  reset;
input  clk_enable;
input  enab;
input  reset_1;
input  ce_out;
output [4:0] count; // ufix5

wire enb;
wire [7:0] HDL_Counter_out1; // ufix8
reg [7:0] HDL_Counter_step_reg; // ufix8
reg [7:0] HDL_Counter_stepreg; // ufix8
reg [7:0] HDL_Counter_count; // ufix8
wire [4:0] Data_Type_Conversion_out1; // ufix5

assign enb = clk_enable;

// Count limited, Unsigned Counter
initial value = 0
step value = 1
count to value = 26
@(posedge clk or posedge reset)
: HDL_Counter_step_process
set == 1'b1) begin
counter_step_reg <=
```

程式碼



RTL
code

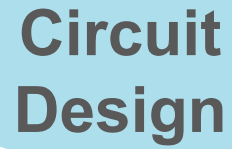
看看設計草稿圖模擬出來結果

Pre-sim : 確定總坪數沒有超過
、不會有房間坪數太小的問題

Synthesis : 去Ikea買家具布置



Ikea 鯊鯊



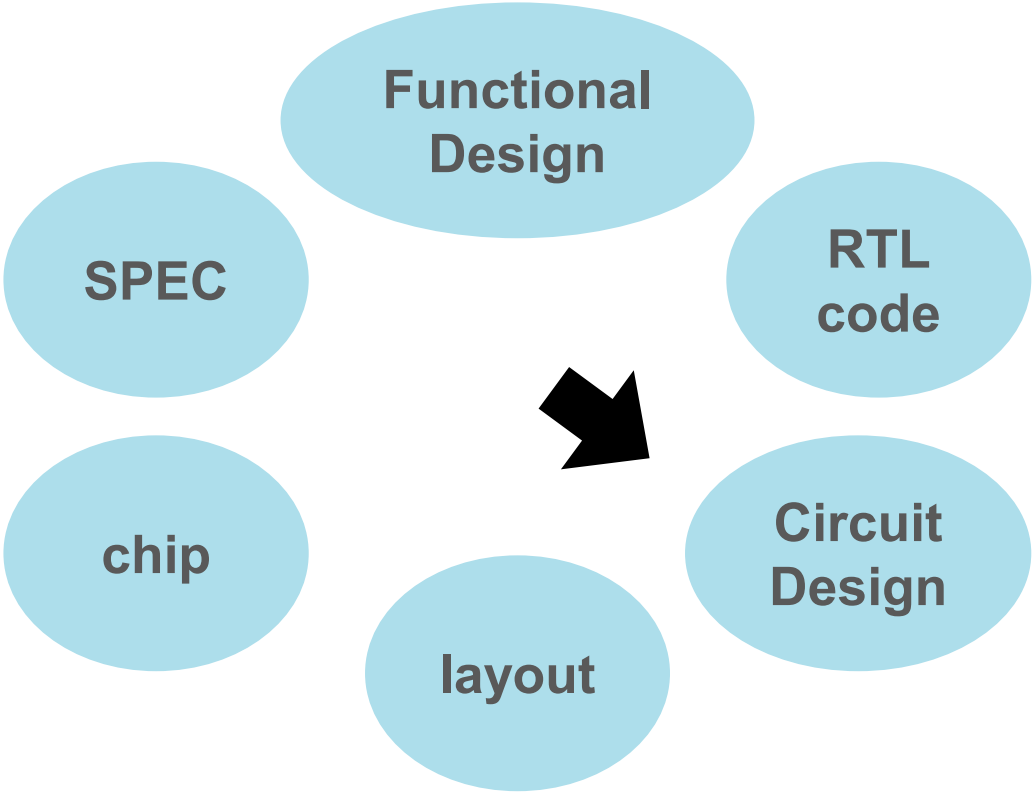
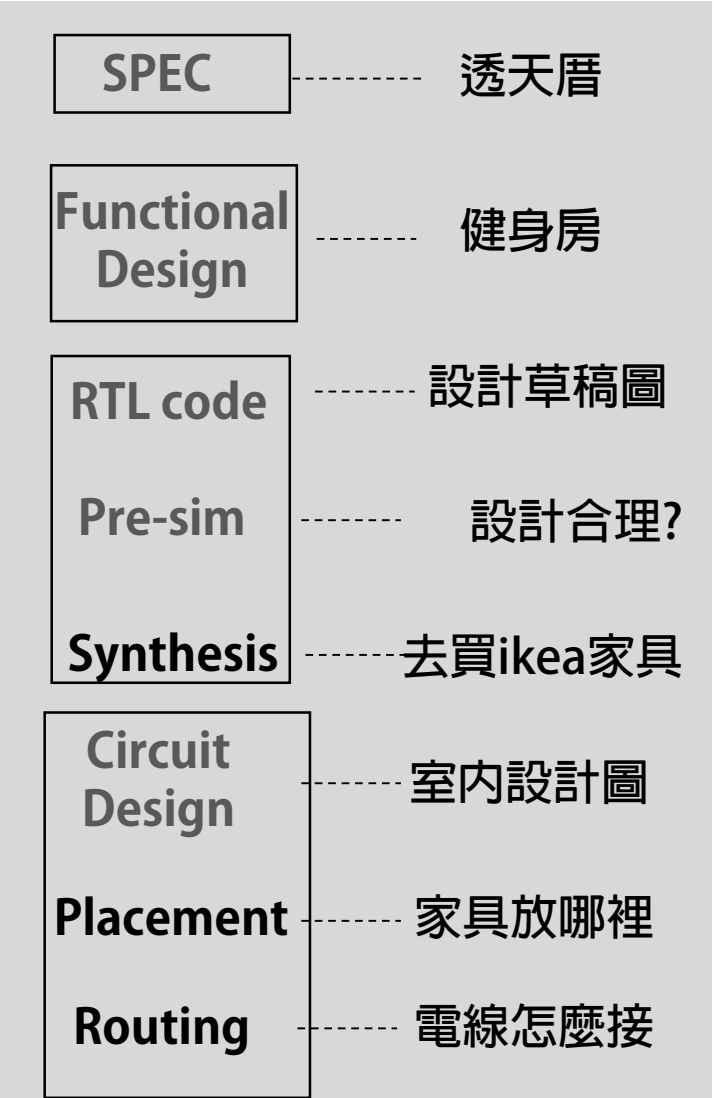
程式碼轉成電路圖，以元件符號表示

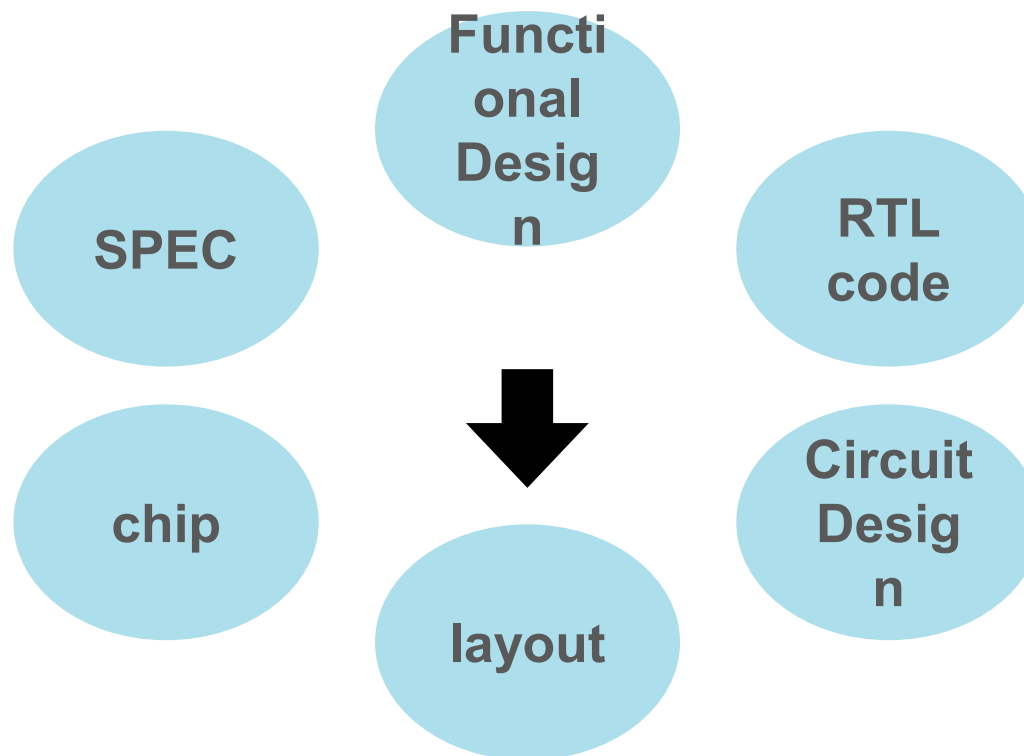
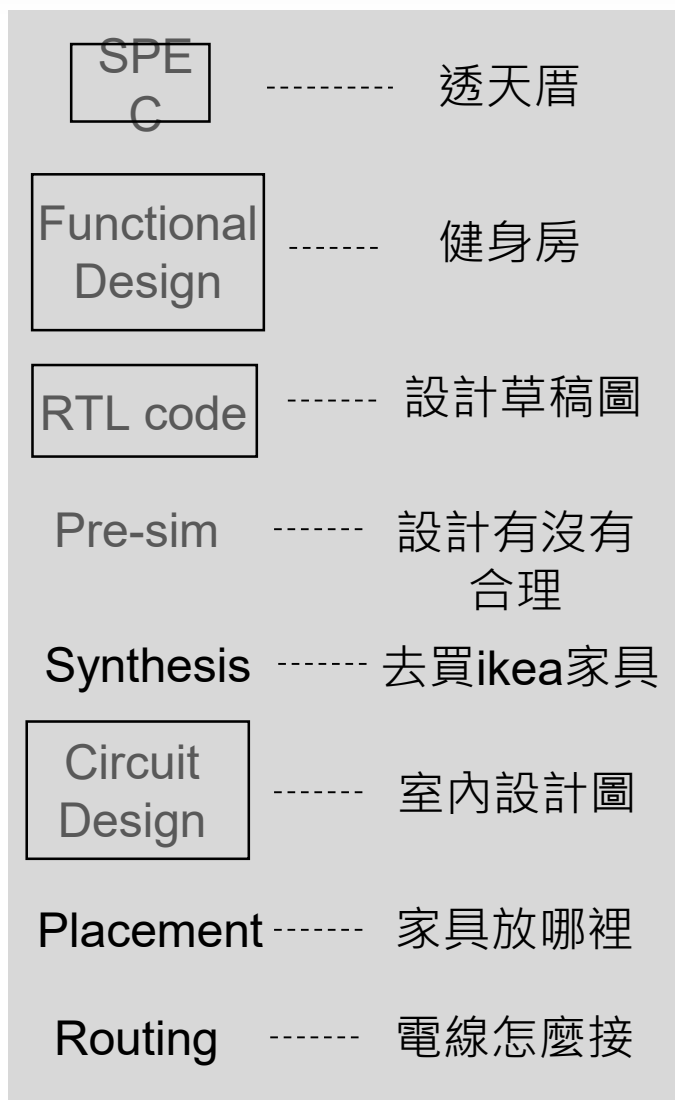


室內設計圖

Placement：決定元件在晶片上的位置

Routing：決定元件間的連線在晶片上的位置

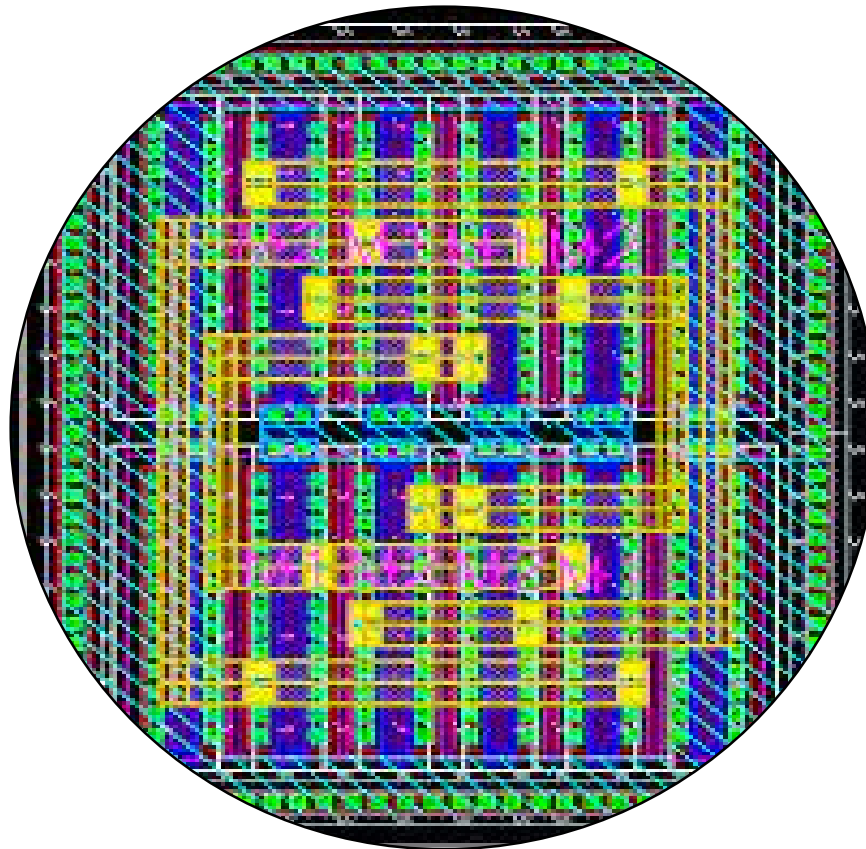






layout

一個超詳細的IC設計圖





layout

一個超詳細的IC設計圖

Verification & Post-sim

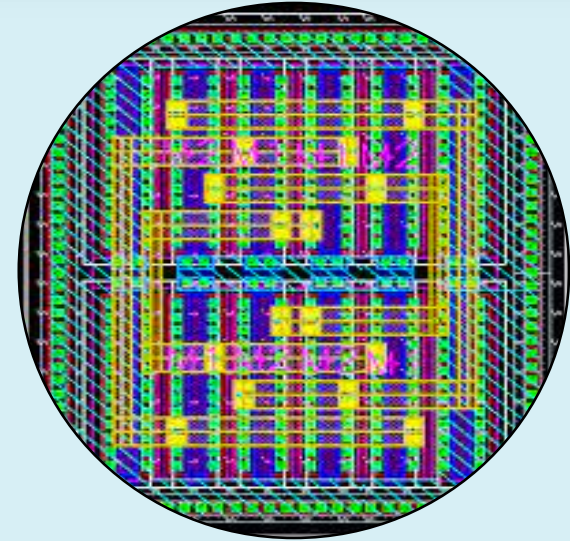
：要驗證IC真的有計算機的功能

Tape-out

：將沒有問題的IC設計圖(layout)
交給IC製造公司製作

Fabrication：開始製造晶片摟

Packaging&Test：檢測晶片是否
可運行

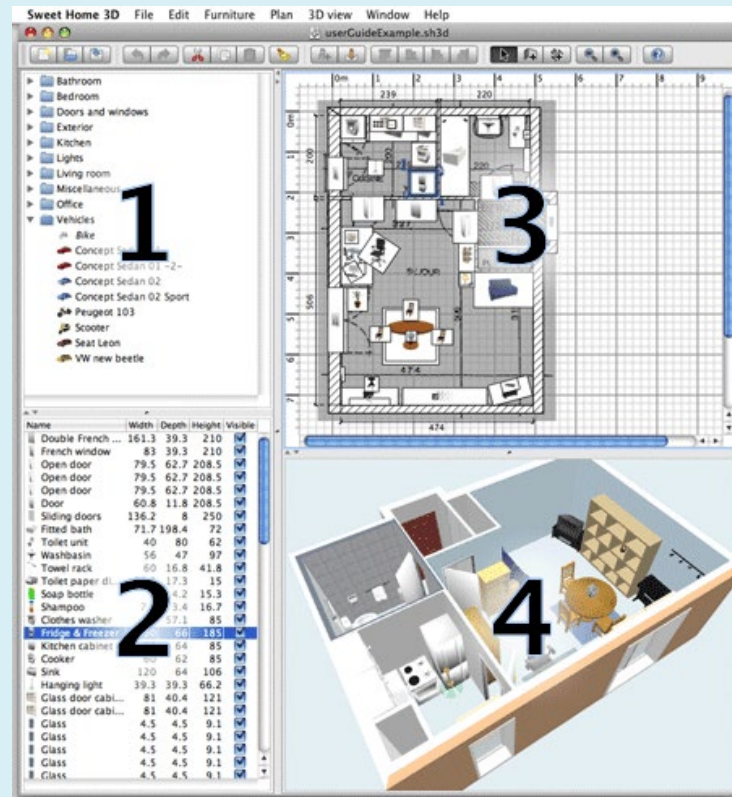


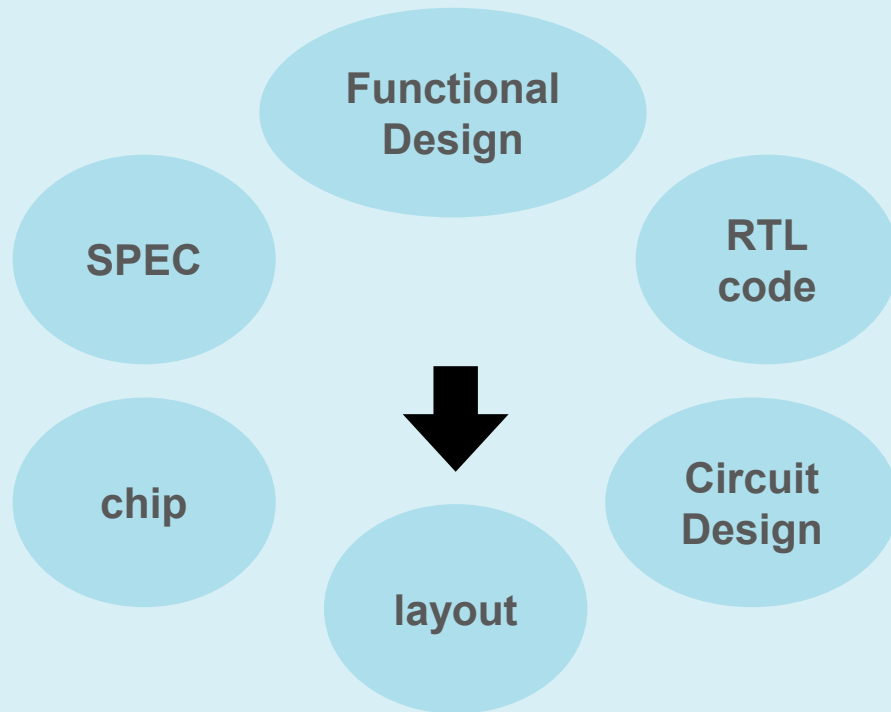
我想住的房子



layout

一個超詳細的室內設計圖(3D模擬圖)

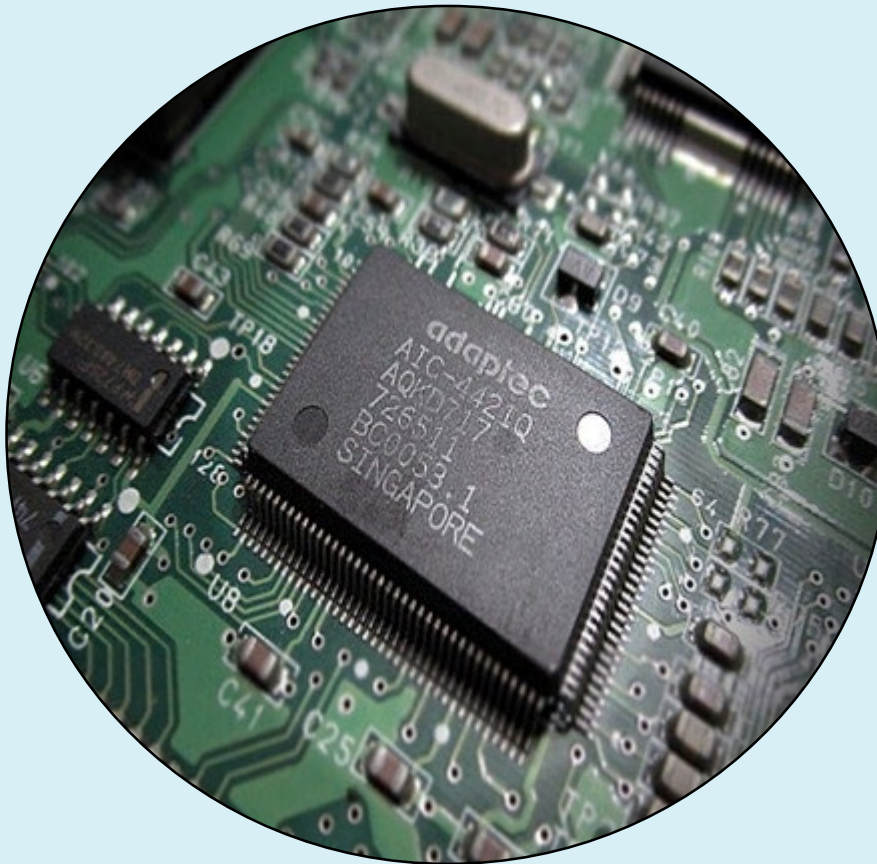






chip

晶片完成摟



SPEC

Functional
Design

RTL
code

Circuit
Design

layout

chip



chip

晶片完成摟



IC



這是我家



人家想要这个

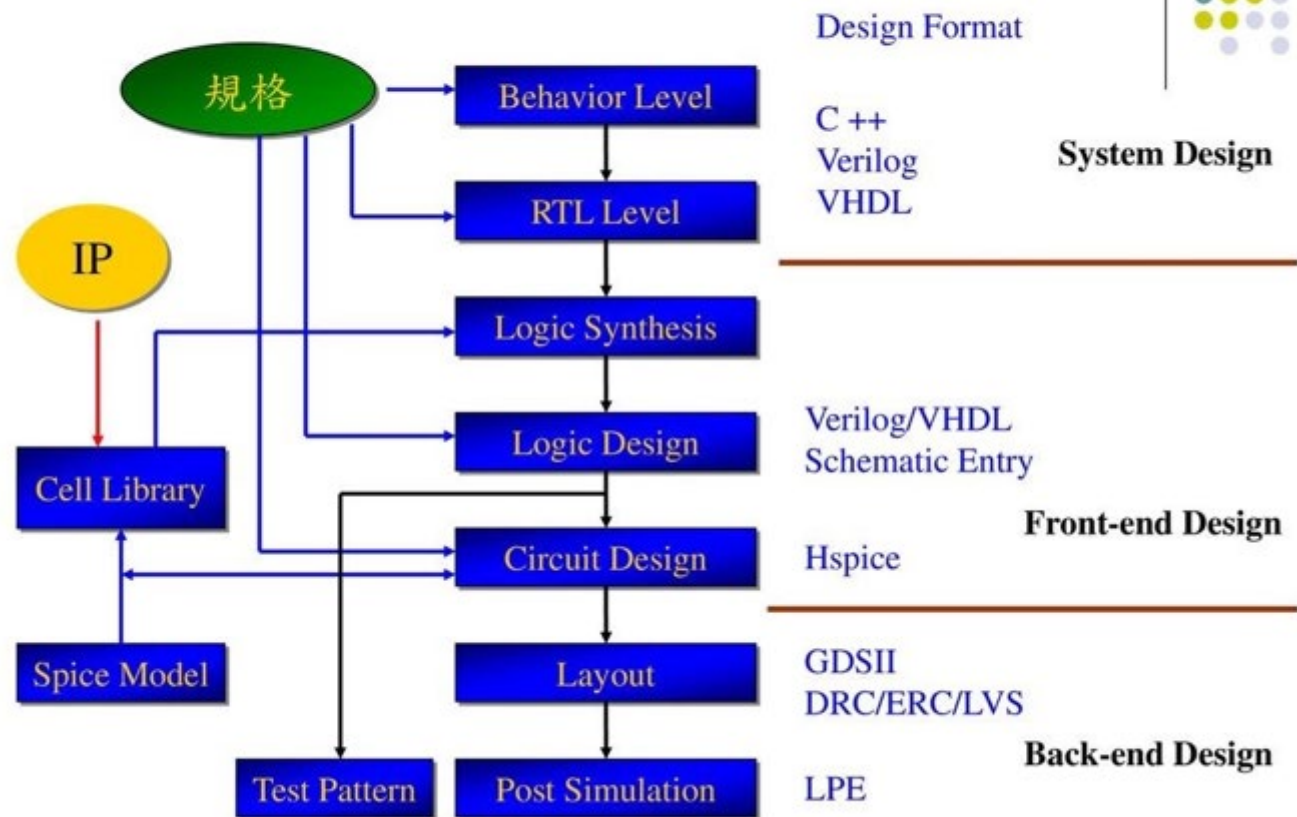




IC 設計工具



從規格到成形-積體電路的設計之路





Verilog：硬體描述語言(HDL)

verilog

程式結構(half_adder.v)

EX : $3 + 7 = 10$

$$\begin{array}{r} 001\mathbf{1} \\ + 011\mathbf{1} \\ \hline 1010 \end{array}$$

Sum(加總，但不看進位) = 0

Carry(進位) = 1

A	B	Carry	Sum
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0



verilog

程式結構(half_adder.v)

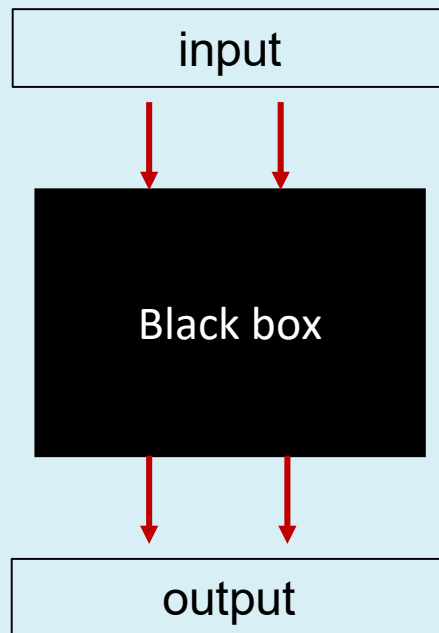
```
1  module half_adder (  
2      ports  
3  );  
4      ...  
5  endmodule
```

Module 名稱



verilog

程式結構(half_adder.v)



```
1  module half_adder (  
2      input A,  
3      input B,  
4      output S,  
5      output C  
6  );  
7      ...  
8  endmodule
```

Module
的輸入和
輸出



verilog

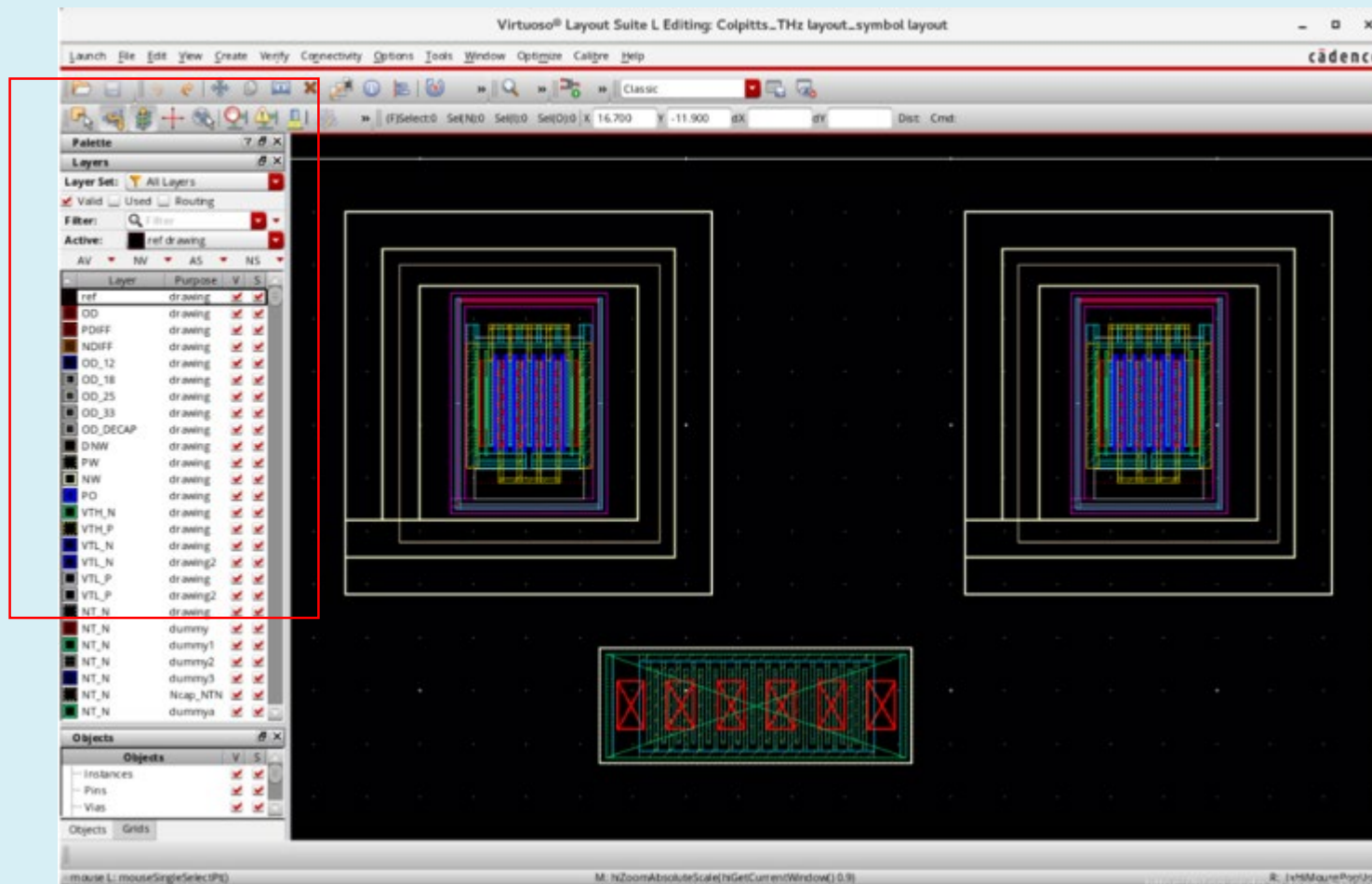
程式結構(half_adder.v)

```
1  module half_adder (  
2      input A,  
3      input B,  
4      output S,  
5      output C  
6  );  
7      assign S = A ^ B;  
8      assign C = A & B;  
9  endmodule
```

Module
的行為描
述



Virtuoso : layout 平台

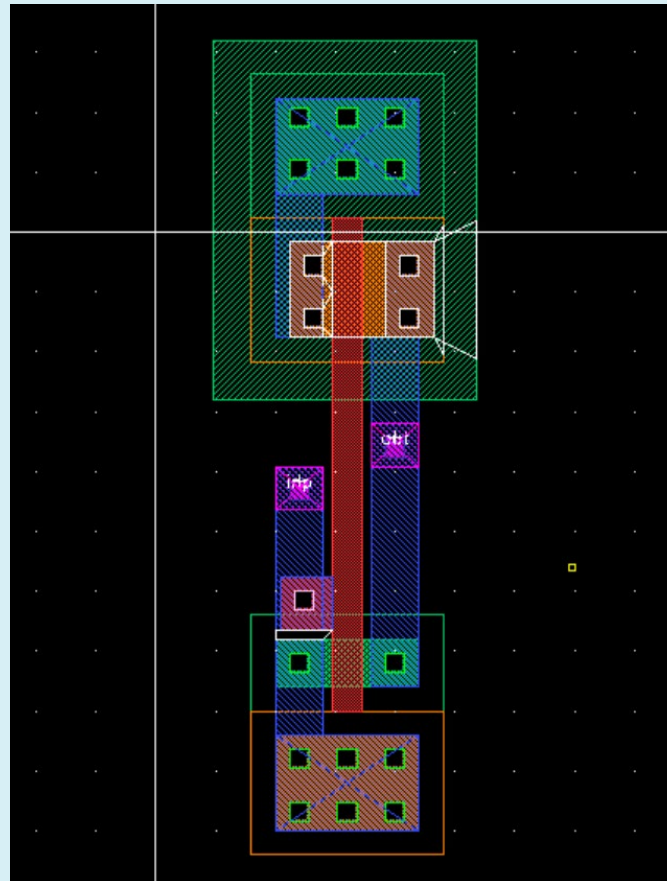




DRC / LVS : 驗證工具

DRC

Design **R**ule **C**heck





DRC

Design Rule Check

The screenshot displays two windows from the Calibre software interface. The left window, titled "DRC Summary Report - inv.drc.summary", shows a detailed log of the DRC execution. The right window, titled "Calibre - RVE v2013.3_39.24 : inv.drc.results", shows a summary table of the results.

DRC Summary Report - inv.drc.summary

```
==== CALIBRE: DRC-H SUMMARY REPORT
====
Execution Date/Time:      Sat Sep 25 15:21:09 2021
Calibre Version:          v2013.3_39.24   Thu Sep 2
Rule File Pathname:      /home/train/digital_cmos/d
Rule File Title:         inv
Layout System:           ODS
Layout Path(s):          inv.calibre.db
Layout Primary Cell:     inv
Current Directory:        /home/train/digital_cmos/d
User Name:               train
Maximum Results/RuleCheck: 1000
Maximum Result Vertices: 4096
DRC Results Database:    inv.drc.results (ASCII)
Layout Depth:            ALL
Text Depth:              PRIMARY
Summary Report File:     inv.drc.summary (REPLACE)
Geometry Flagging:       ACUTE = NO SKEW = NO ANG
                        NONSIMPLE POLYGON = NO NO
Excluded Cells:          COMMENT TEXT + RULE FILE
CheckText Mapping:       MEMORY-BASED
Layers:                  YES
Keep Empty Checks:       YES
==== RUNTIME WARNINGS
====
```

Calibre - RVE v2013.3_39.24 : inv.drc.results

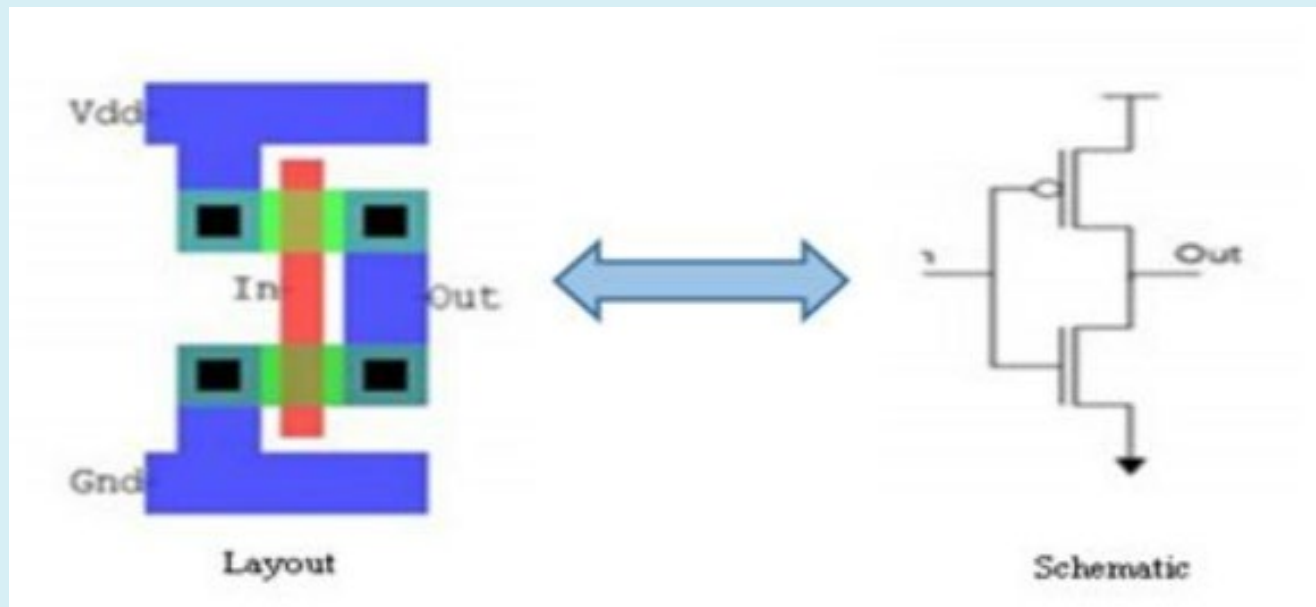
Check / Cell	Result	1	2	3	4
✓ Check Well.1	0				
✓ Check Well.2	0				
✓ Check Well.4	0				
✓ Check Poly.1	0				
✓ Check Poly.2	0				
✓ Check Poly.3	0				
✓ Check Poly.4	0				
✗ Check Poly.5	1				
✓ Check Poly.6	0				
✓ Check Active.1	0				
✓ Check Active.2	0				
✗ Check Active.3	1				
✓ Check Active.4	0				
✓ Check Implant.1	0				
✓ Check Implant.2	0				

Multiple items selected in the tree



LVS

Layout Versus Schematic

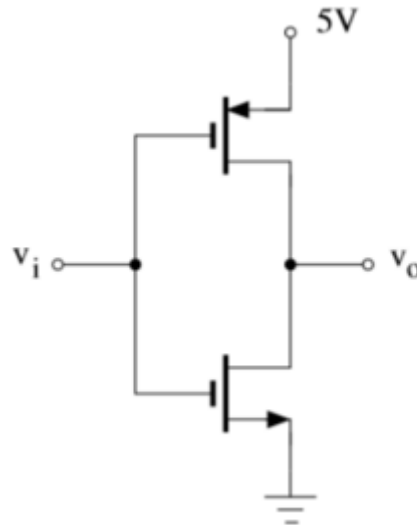




HSPICE：模擬電路

HSPICE

範例：inv_exp.sp



```
1 .subckt inv_exp input output vdd gnd
2 m1 output input vdd vdd p_18 l=0.18u w=0.5u
3 m2 output input gnd gnd n_18 l=0.18u w=0.25u
4 .ends
```



數位積體電路相關職業



IC 設計工程師

設計晶片功能與結構。

需要扎實的電子學與程式設計知識需要材料與化學專業知識。



半導體製程工程師

負責晶片製造工藝。



電子產品開發工程師

將晶片整合到實際產品中。

綜合運用各種工程知識。



數位積體電路與創新

啟發創意思維

了解數位世界的運作原理。

培養邏輯思考與問題解決能力。

解決實際問題

將抽象概念轉化為具體應用。

開發改善生活的創新產品。

改變生活方式

創造更便捷的數位體驗。

促進社會進步與發展。

未來無限可能

探索新興技術的潛力。

參與下一代創新的浪潮。





結語： 0 與 1 構建的數位未來



改變世界的力量

數位積體電路已深刻
改變我們的生活方式

從通訊到醫療，從教
育到娛樂，無處不在
。



創新永不止步

技術發展仍在加速前進。
更多突破等待被發現。

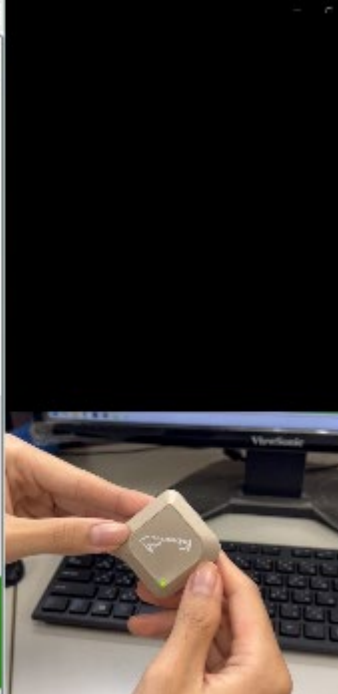


你的角色

每個人都可以成為數位創新者。

從學習基礎知識開始，未來由你創造！





想一想，學了什麼？怎麼做一個遊戲教弟弟妹妹，爺爺奶奶，什麼是**EDA**？

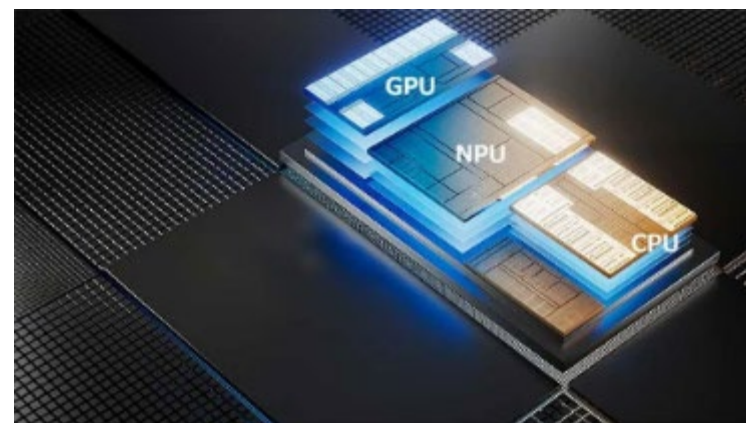
要正確，要互動，要有創意，最好用上半導體裝置，最好有 AioT 智慧聯網，酷拉！



- 可以用 Rabboni or ...
- vu可以用 Scratch or ...
- OR ...



HC3



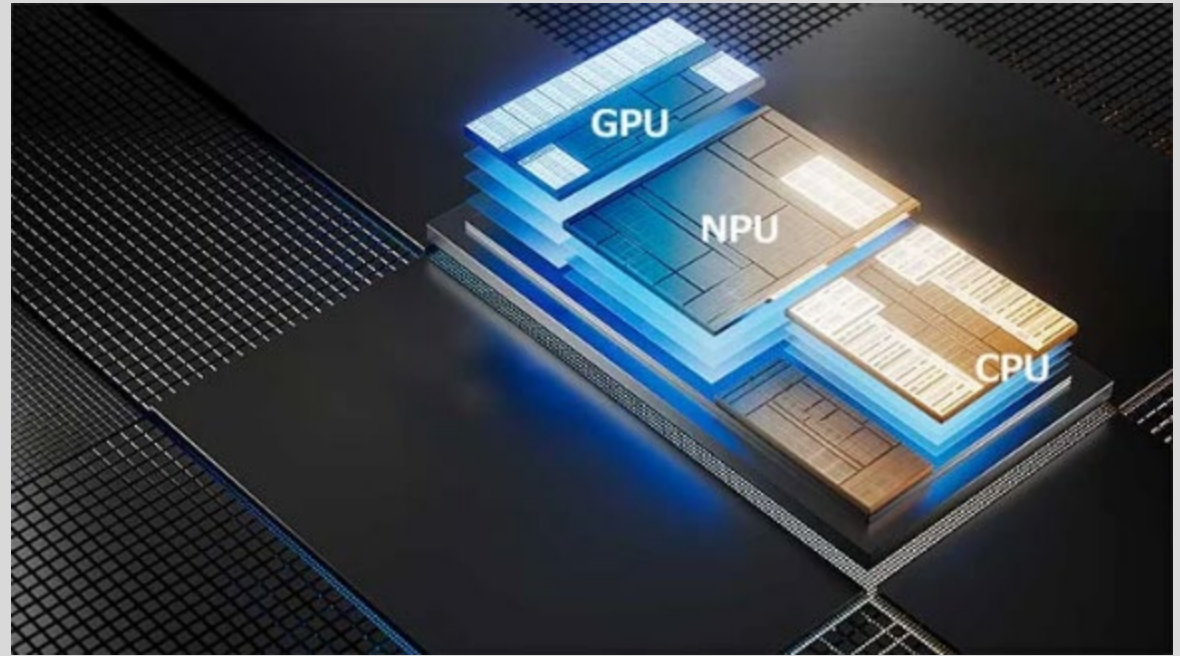
大師第六講：

■ 應用半導體-處理器 CPU/GPU/NPU篇

什麼是

處理器

Processor



<https://wizardkuo.com/difference-between-cpu-gpu-npu-sharing/>

日常生活中...



日常生活中...



中央處理器 CPU



圖形處理器 GPU

Ref.

[GeForce.com Official Site: RTX Graphics Cards, VR, Gaming, Laptops \(nvidia.com\)](https://www.nvidia.com)

[Intel computer processor in selective color photography photo](#) - [Free Motherboard Image on Unsplash](#)

什麼是 CPU？

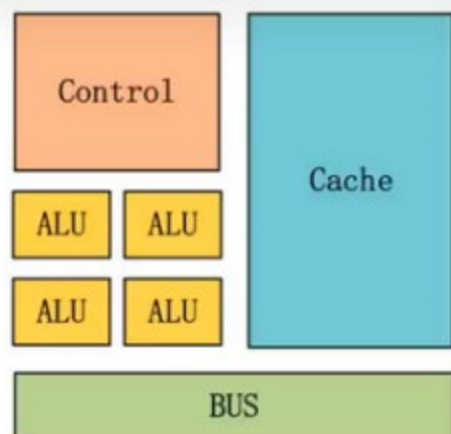
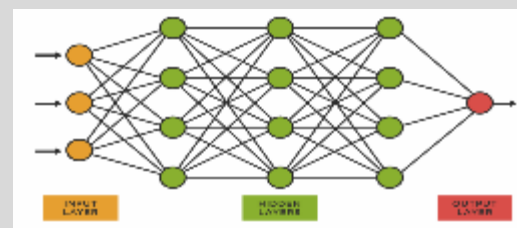
CPU 的全名叫做 **Central Process Unit 中央處理器**，最初是電腦的重要硬體元件，可以把它想像成電腦「大腦」，負責處理所有的指令和運算。不過現在也延伸應用在智慧型手機、平板和伺服器上，可謂是現代科技不可或缺的重要元件。

GPU 的全名叫做 **Graphic Process Unit 圖形處理器**，GPU 就是弱化版的 CPU。大家可以把 CPU 想像成一個碩士畢業的高知識分子，而 GPU 的程度可能連國小一二年級都不如，碩士生可以做很多很多小學生做不到的事，所以 CPU 的功能比較廣泛，可以處理較複雜的任務；

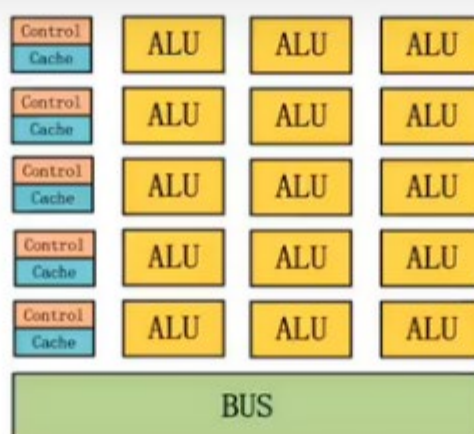
而身為小學生的 GPU，只能做簡單的加減乘除（運算任務），最初 GPU 也是為了增強電腦遊戲的視覺效果而被開發出來，主要是輔助的角色。

什麼是 NPU？

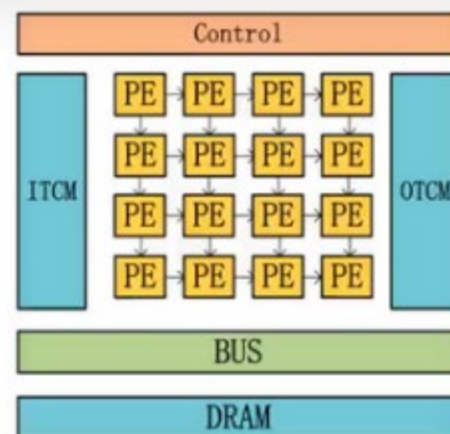
最後要來提一個大家相對比較不熟悉的處理器：NPU，全名 **Neural Process Unit 神經處理單元**。簡單來說，它是一種專門用來做深度運算的處理器，以神經網路為架構量身打造，為的就是它更好的去做和 AI 相關的運算。



CPU



GPU

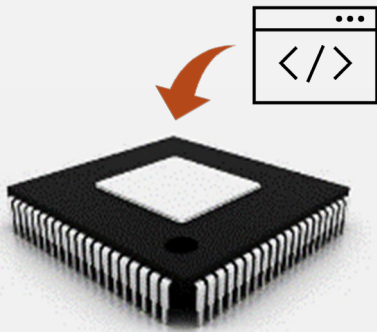


NPU

类型	CPU	GPU	NPU
功耗	中	高	低
成本	高	高	低
算力	低	中	高

CSDN @AHAIya_

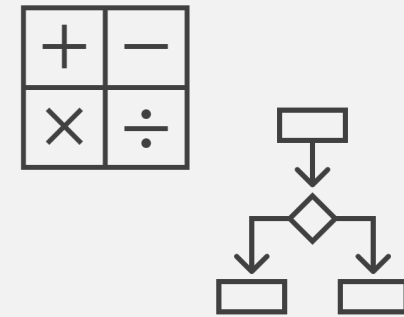
按一下以編輯母片 標題樣式



可程式化的特殊IC

1010
1010

資料以二進位形式
進行運算或儲存

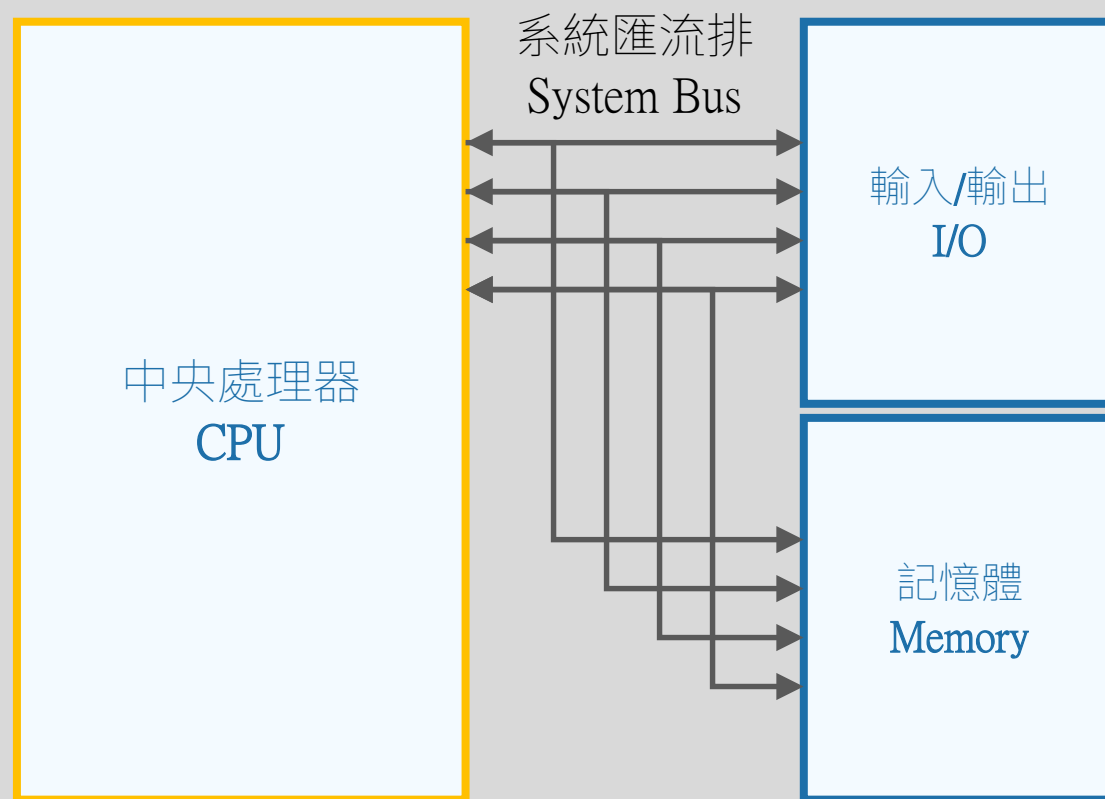


包含輸入輸出
運算、邏輯、控制
等功能

按一下以編輯母片 標題樣式

指令是給處理器下命令的基本單位
而程式由多道指令組成

CPU 處理器 基本架構



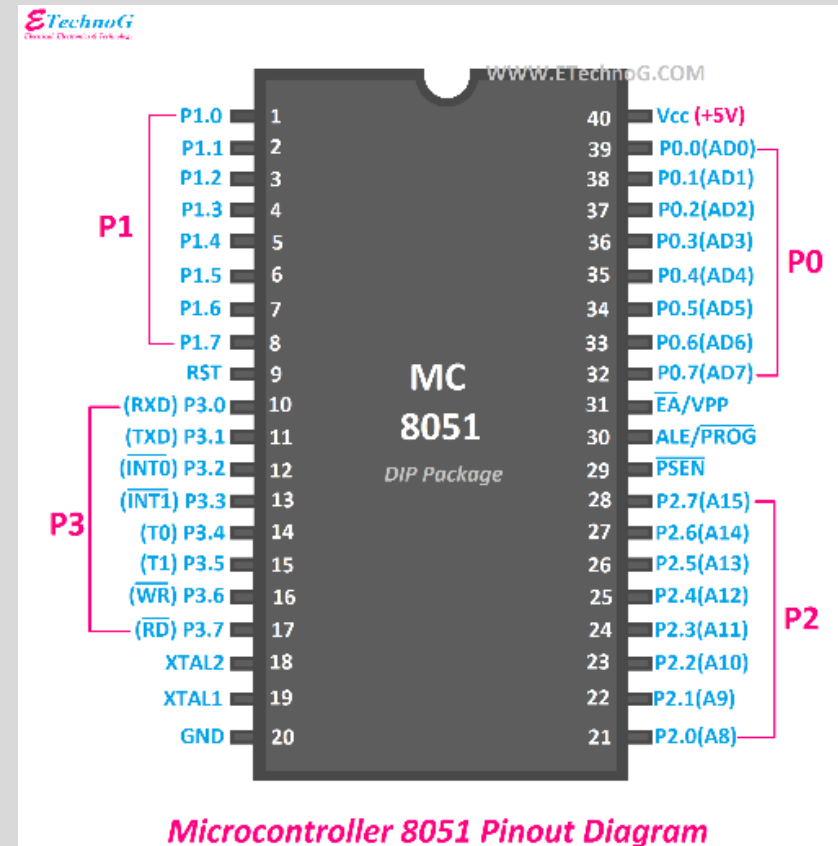
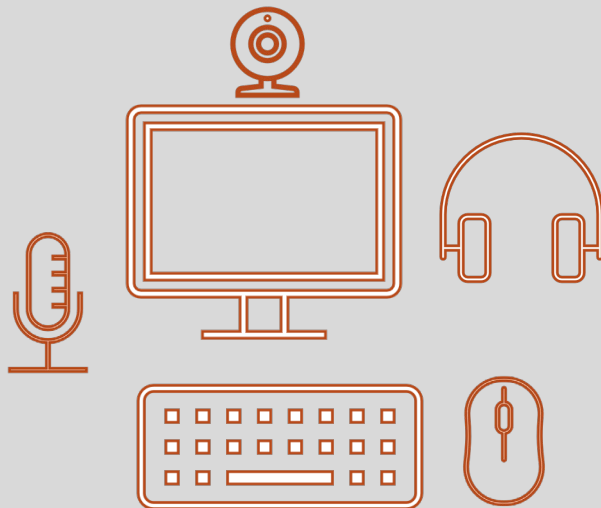
微處理器 輸入/輸出 I/O Input/Output

中央處理器
CPU

輸入/輸出
I/O

記憶體
Memory

接收訊息
回傳處理完的結果



微處理器 記憶體 Memory



儲存指令、資料等
包含位址 **Address**
與資料 **Data** 兩部分
有內建或外接兩種



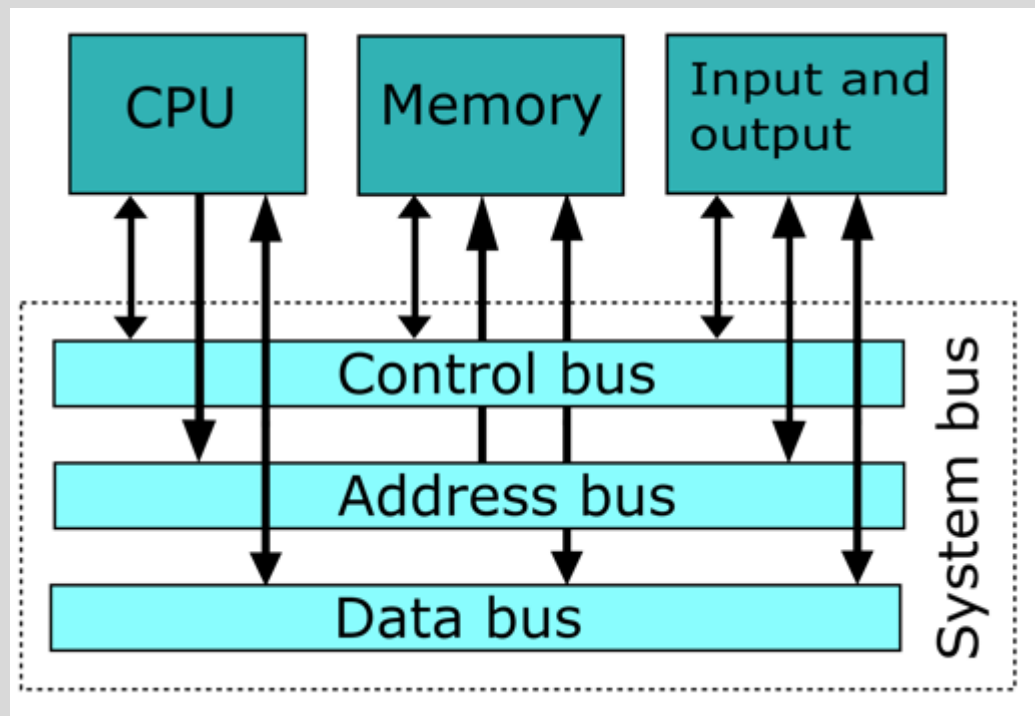
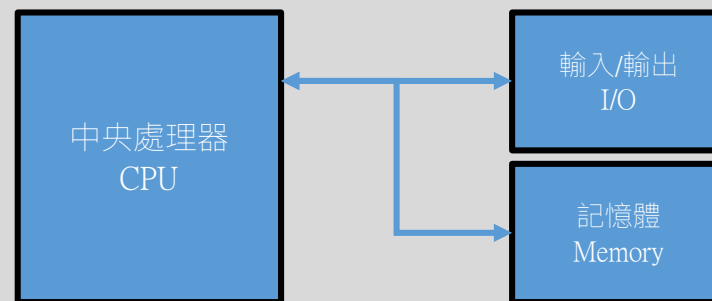
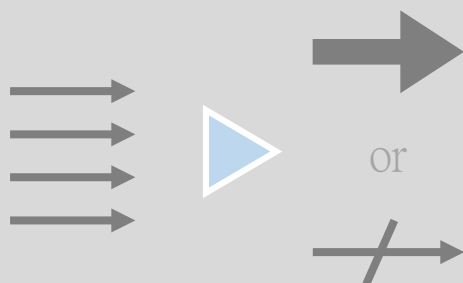
位址	資料	意義
0000	...	...
0001	10010001	指令A
0002	01010101	資料X
0003	00010001	指令B
...	...	...

微處理器

系統匯流排

System Bus

並聯多條線路
以傳輸資訊與控制

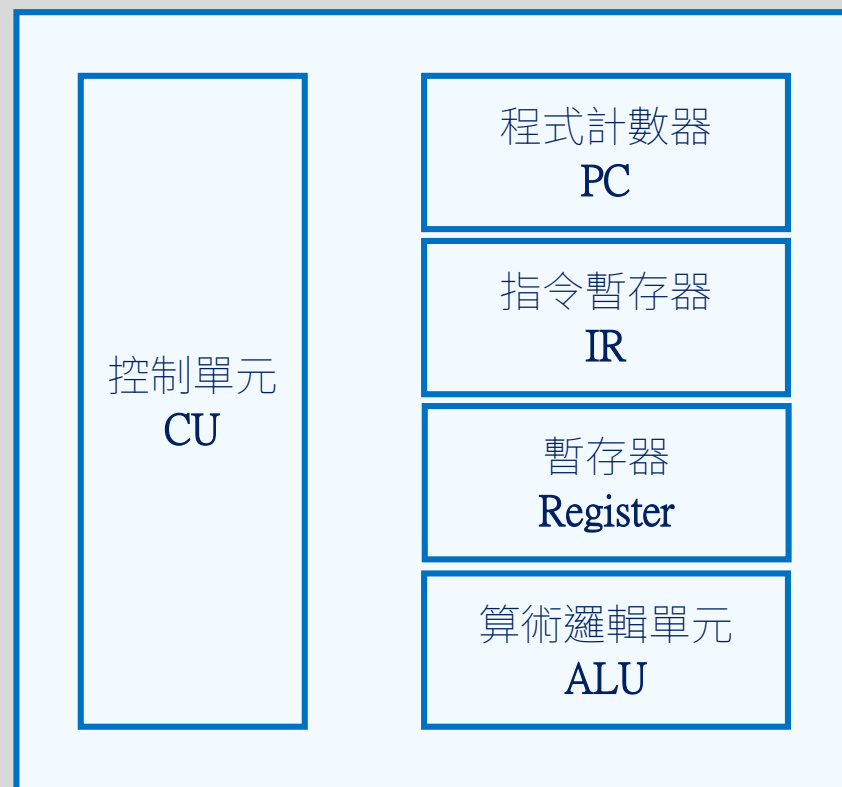
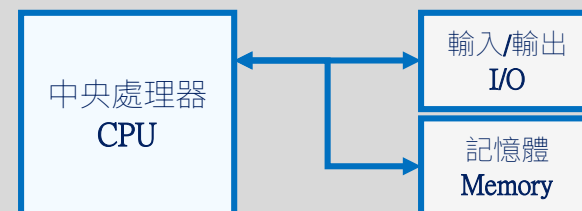


微處理器

中央處理器 CPU

Central Processing Unit

存取指令、資料
並進行運算

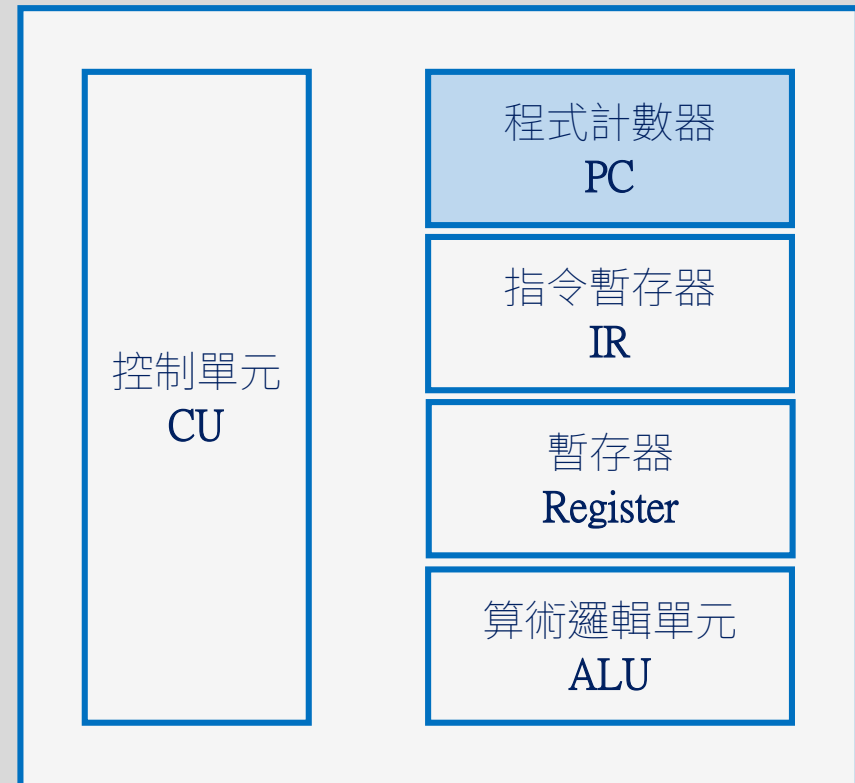
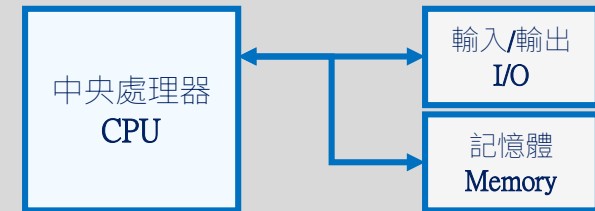


微處理器

程式計數器 PC

Program Counter

儲存下一個的指令的
記憶體位址
(叫號功能)

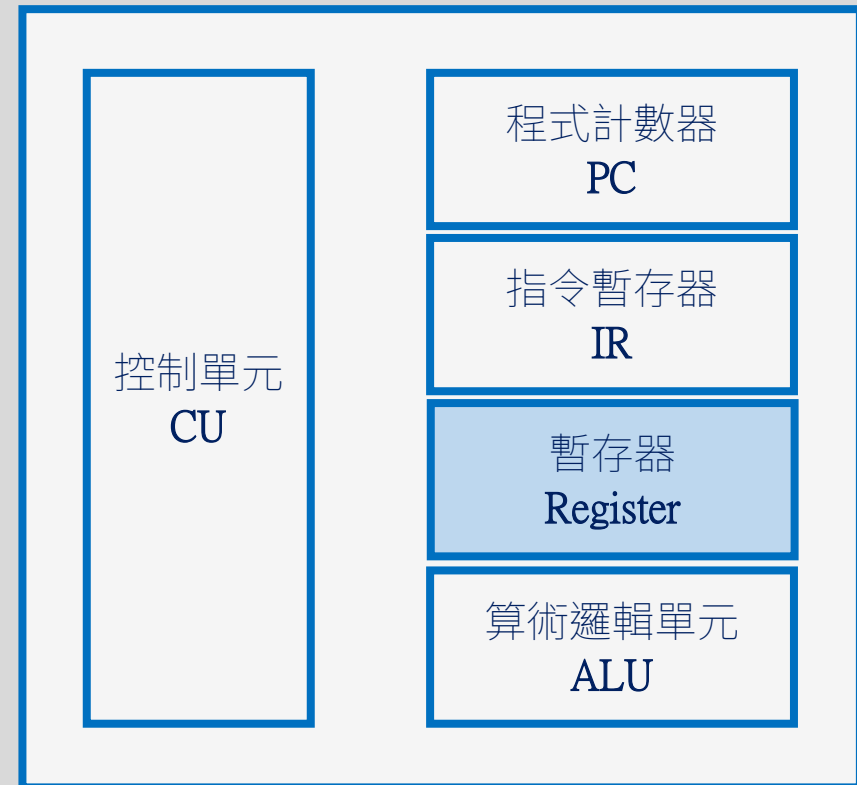
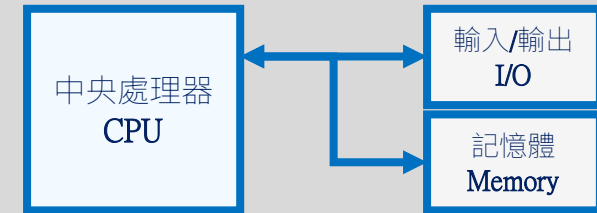


微處理器

暫存器

Register

暫時儲存指令及資料的
電腦記憶體
容量不大但存取速度快

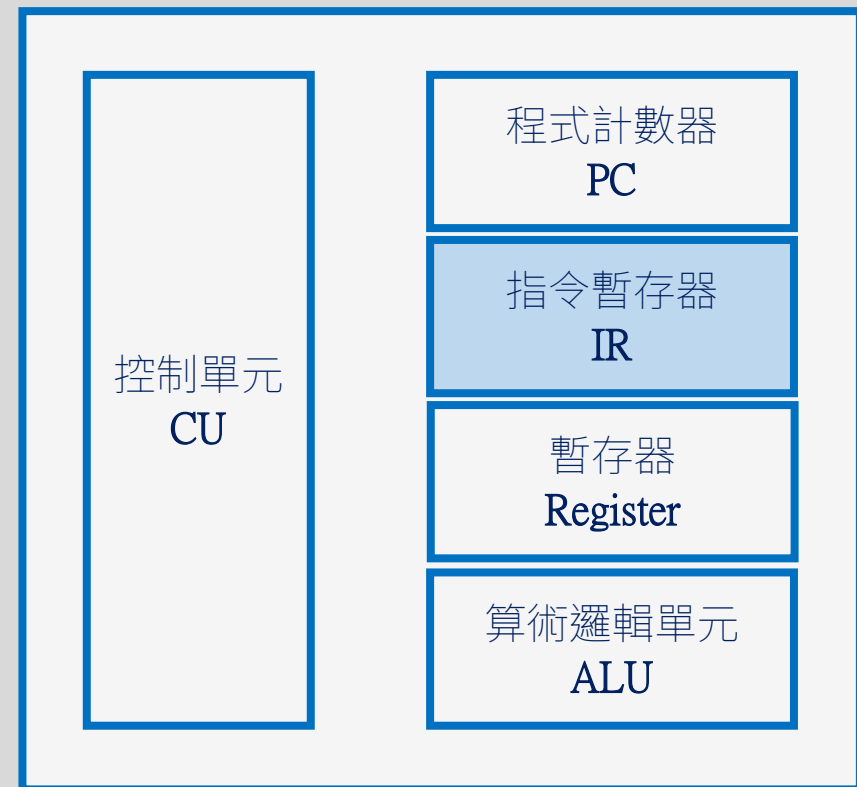
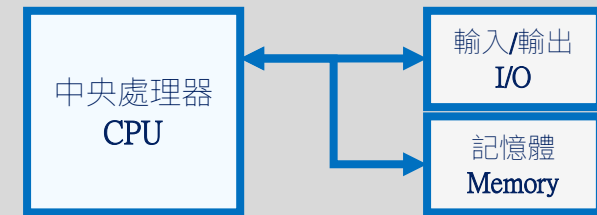


微處理器

指令暫存器 IR

Instruction Register

儲存執行中或即將
被執行的指令
(候位區)

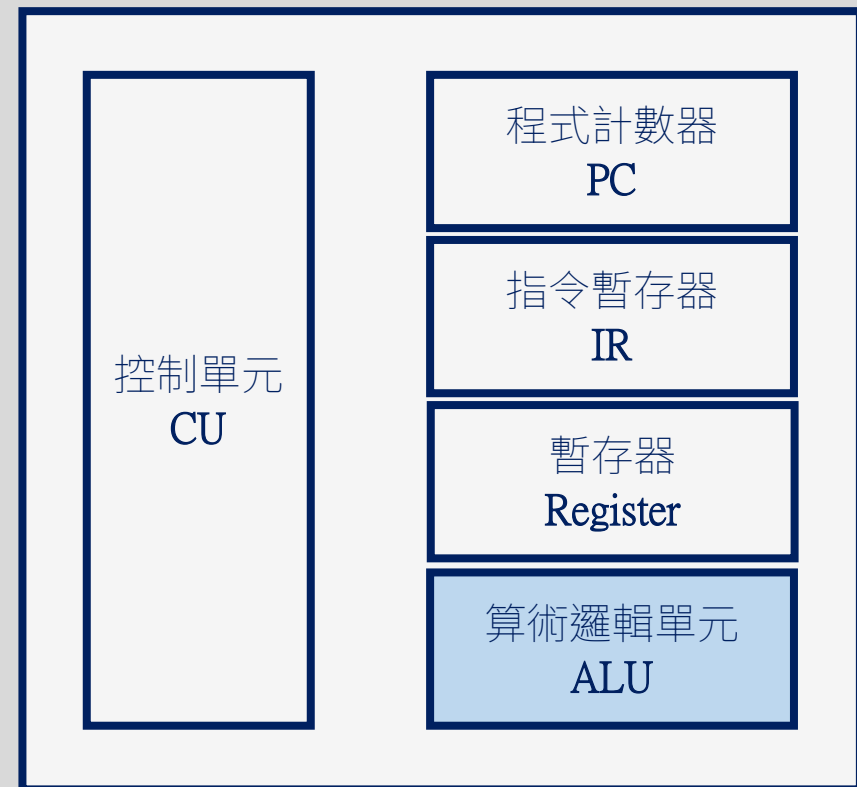
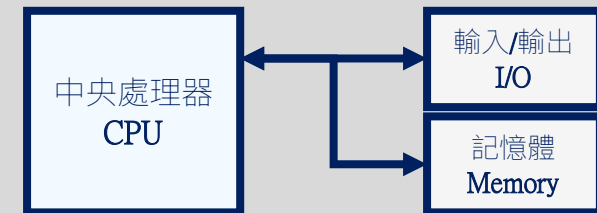
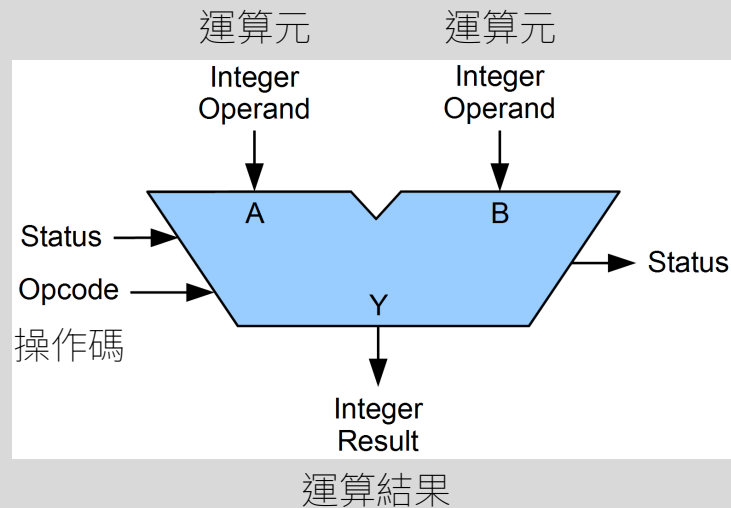


微處理器

算術邏輯單元 ALU

Arithmetic Logic Unit

算術運算 ($+$ $-$ $\times$ $\div$)
邏輯運算 (AND, OR, ...)

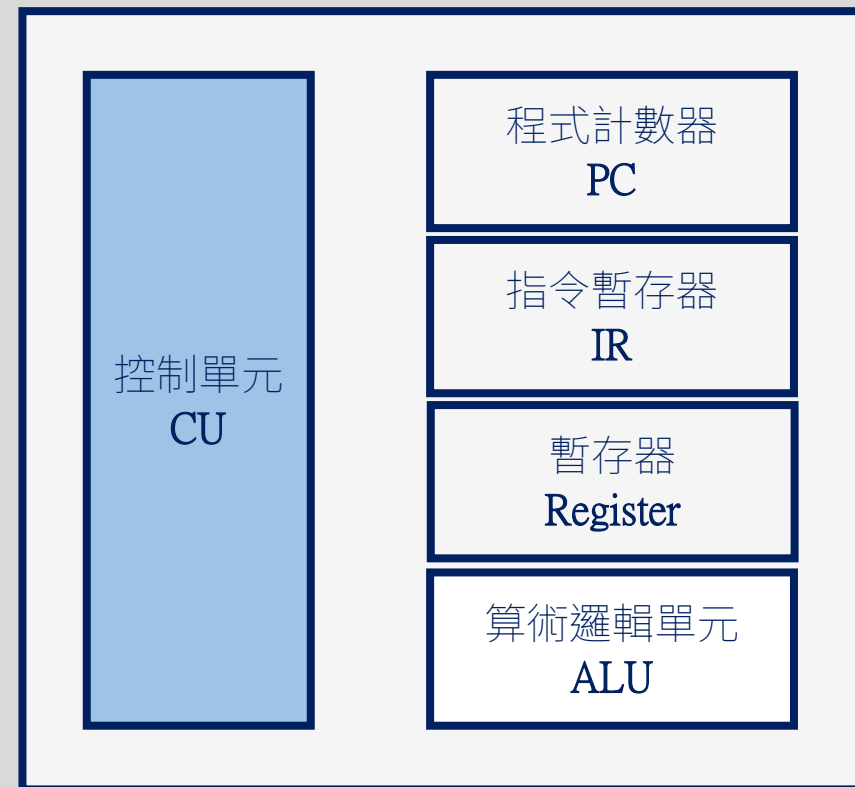
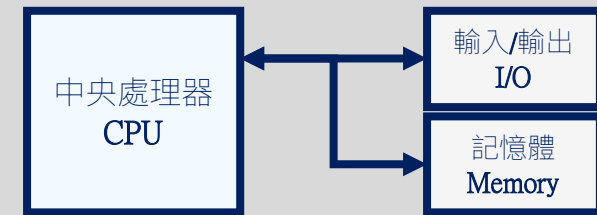


微處理器

控制單元 CU

Control Unit

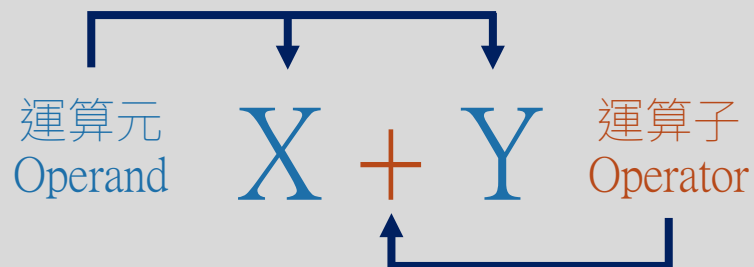
控制微處理器中
各單元的運作
以及資料流動
(指揮交通)



指令週期

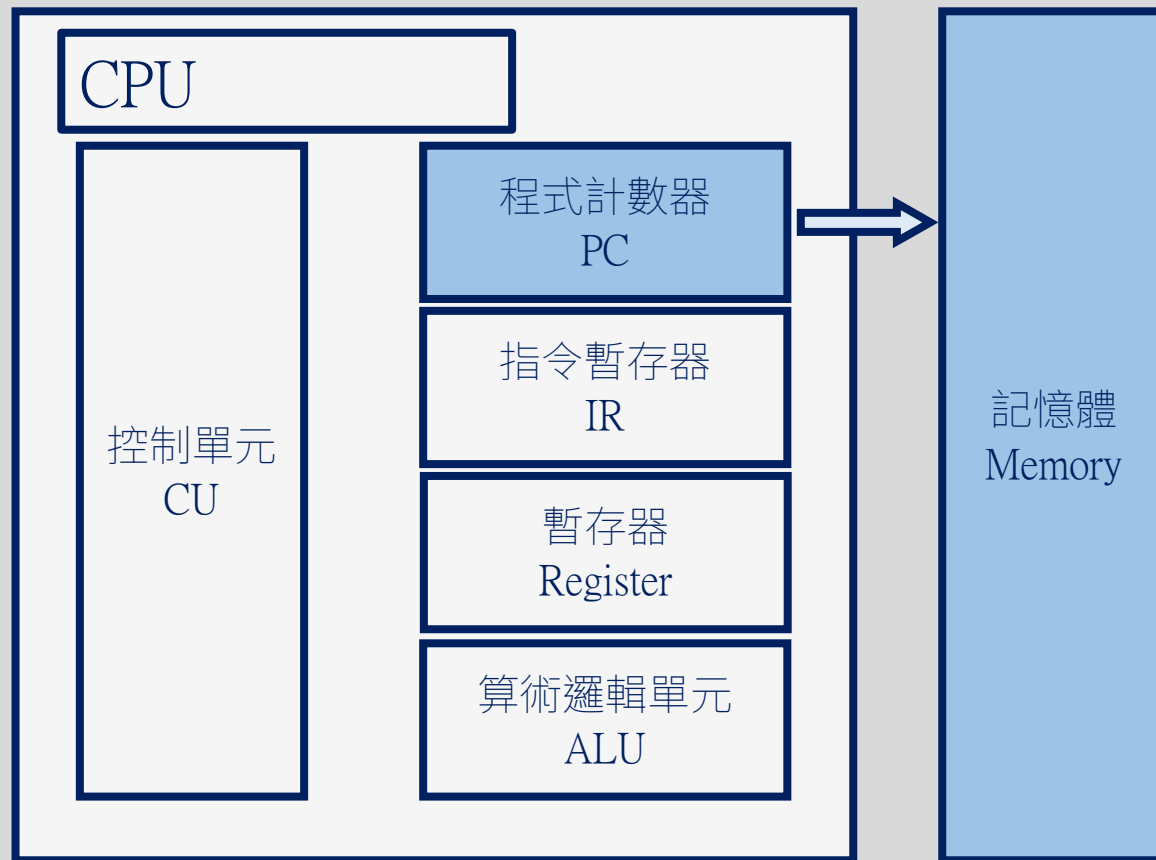
Instruction Cycle

指令週期
指令週期
Instruction Cycle



指令週期
取得指令
Instruction Fetch

根據 PC 紀錄的位址
從記憶體讀出指令
並存在 IR 中

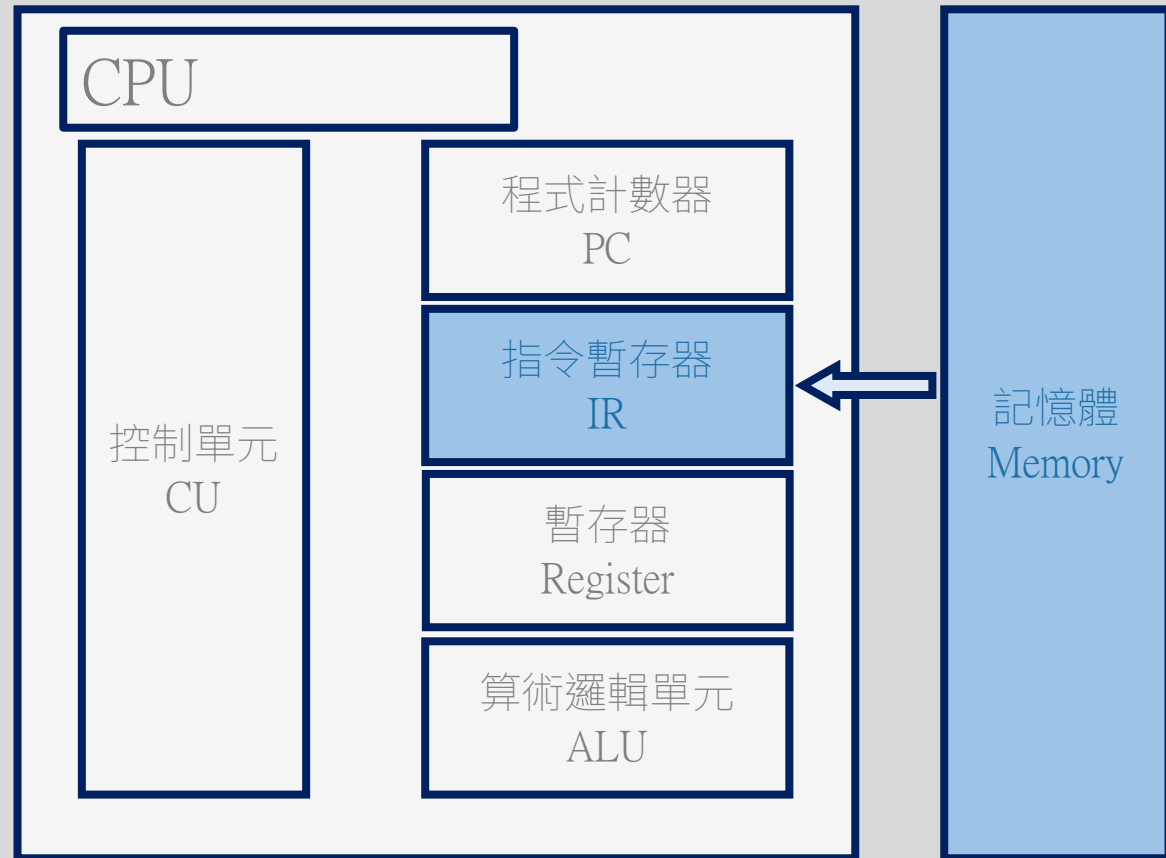


指令週期

取得指令

Instruction Fetch

根據 PC 紀錄的位址
從記憶體讀出指令
並存在 IR 中

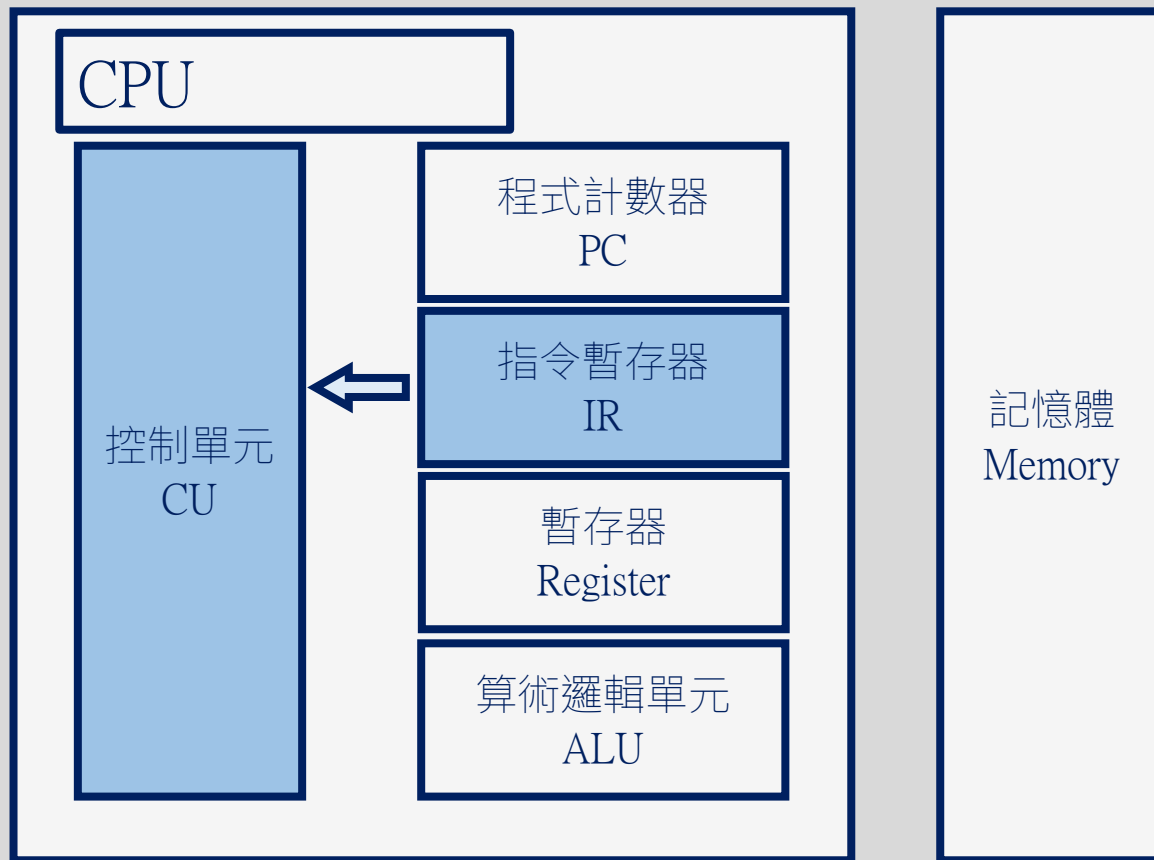


指令週期

指令解碼

Instruction Decode

控制單元解析指令
並發出對應控制訊號

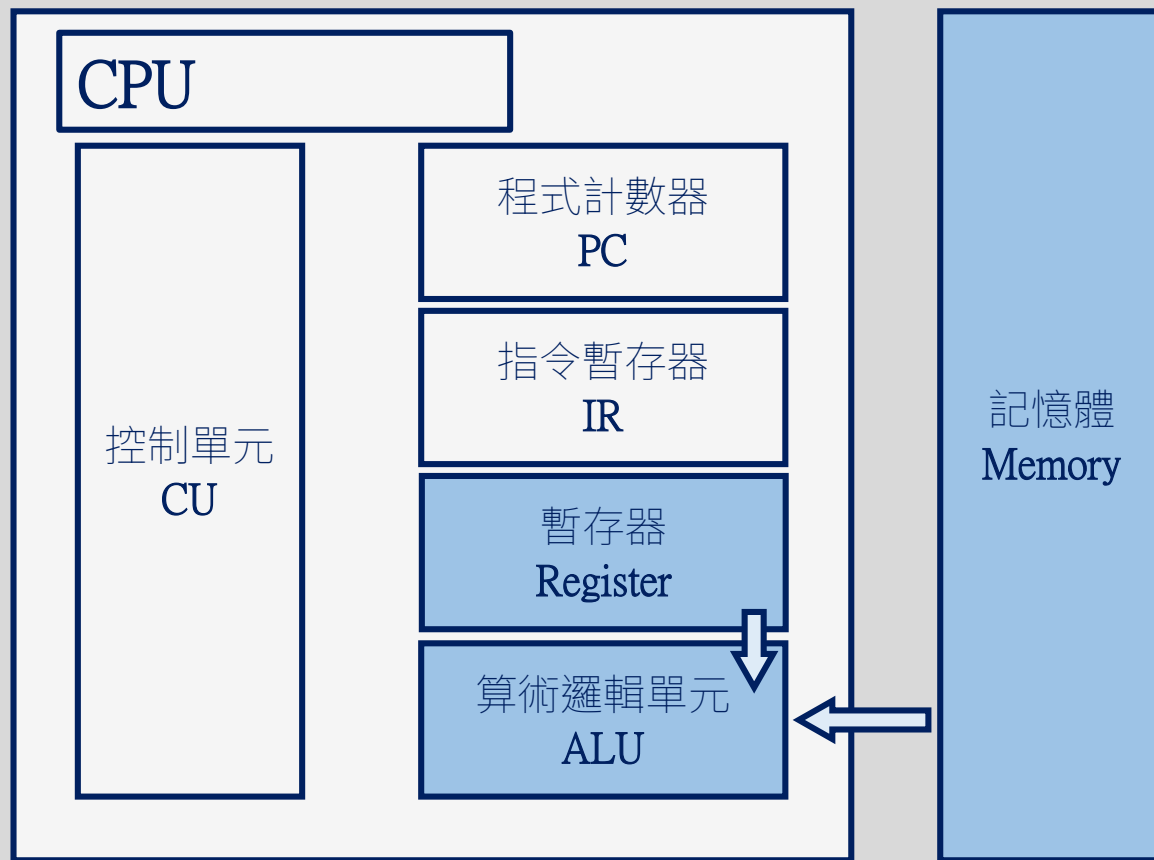


指令週期

取得運算元

Operand Fetch

從記憶體或暫存器
讀出運算元的值



指令週期

執行指令

Execute

根據控制訊號
執行對應的運算

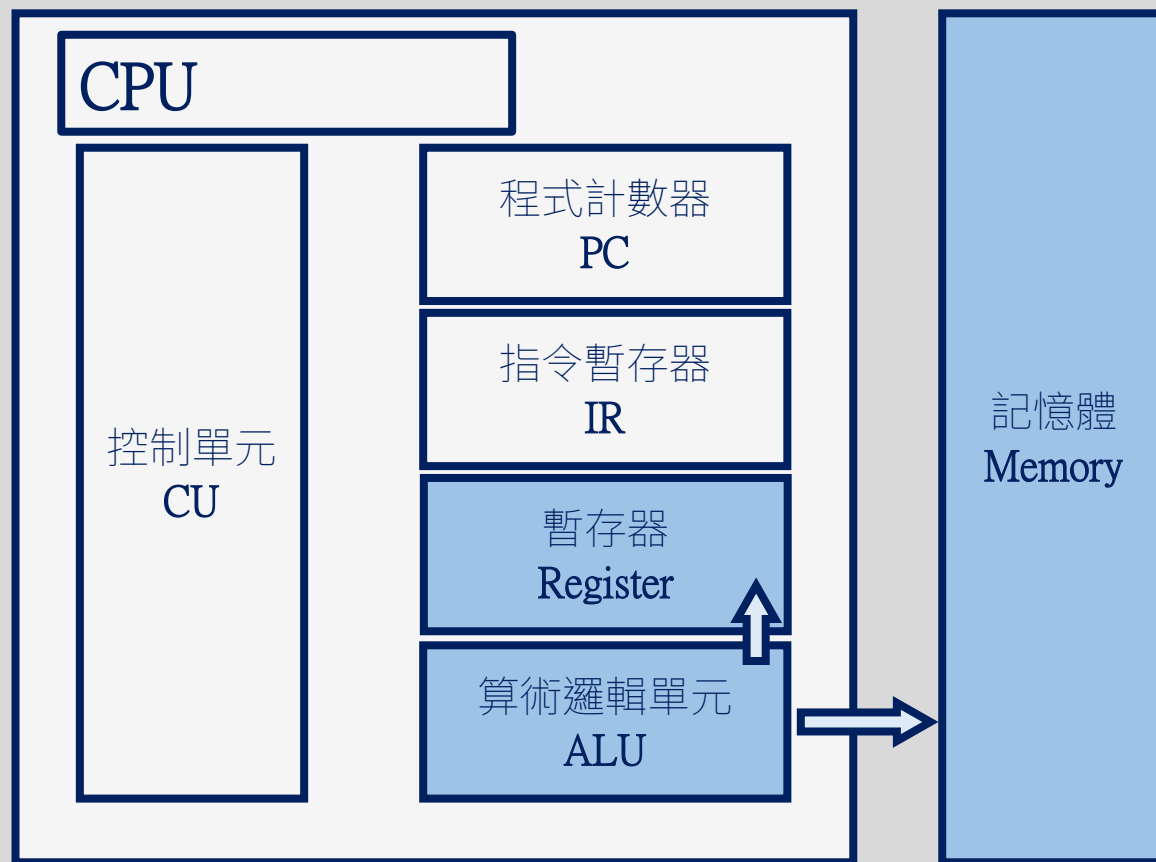


指令週期

儲存結果

Write Back

從記憶體或暫存器
讀出運算元的值



指令集

I S A

怕大家等等看到一堆英文跟數字
就很緊張所以先暴雷一下 □□

C++ 程式碼

```
#include <iostream>
using namespace std;

// 函數: 計算 A + B
double add(double a, double b) {
    return a + b;
}

int main() {
    double A, B;
    cout << "請輸入 A 的值: ";
    cin >> A;
    cout << "請輸入 B 的值: ";
    cin >> B;
```

Python 程式碼

```
# Python 程式碼: 計算 A + B
def add(a, b):
    return a + b

# 主程式
if __name__ == "__main__":
    A = float(input("請輸入 A 的值: "))
    B = float(input("請輸入 B 的值: "))
    result = add(A, B)
    print(f"A + B = {result}")
```

```
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class Calculator : MonoBehaviour
{
    public InputField InputA; // 用於輸入 A 的 InputField
    public InputField InputB; // 用於輸入 B 的 InputField
    public Text resultText; // 用於顯示結果的 Text

    // 按鈕點擊事件
    public void OnCalculateButtonClick()
    {
        // 讀取 A 和 B 的值
        float A = float.Parse(InputA.text);
        float B = float.Parse(InputB.text);

        // 計算 A + B
        float result = A + B;

        // 顯示結果
        resultText.text = "A + B = " + result.ToString();
    }
}
```

Scratch



按一下以編輯母片 標題樣式

電腦架構中與程式設計有關的部分，可想成一套規範。
描述控制器可以執行的任務。
設計硬體的人必須設計出符合規範的裝置。
而程式設計師則必須遵照提供的功能來寫程式。

按一下以編輯母片 標題樣式

精簡指令集 RISC

一個指令一個動作
指令比較少
指令比較短

MIPS, RISC-V

複雜指令集 CISC

一個指令多個動作
指令有超多
指令長短不一

x86

按一下以編輯母片 標題樣式

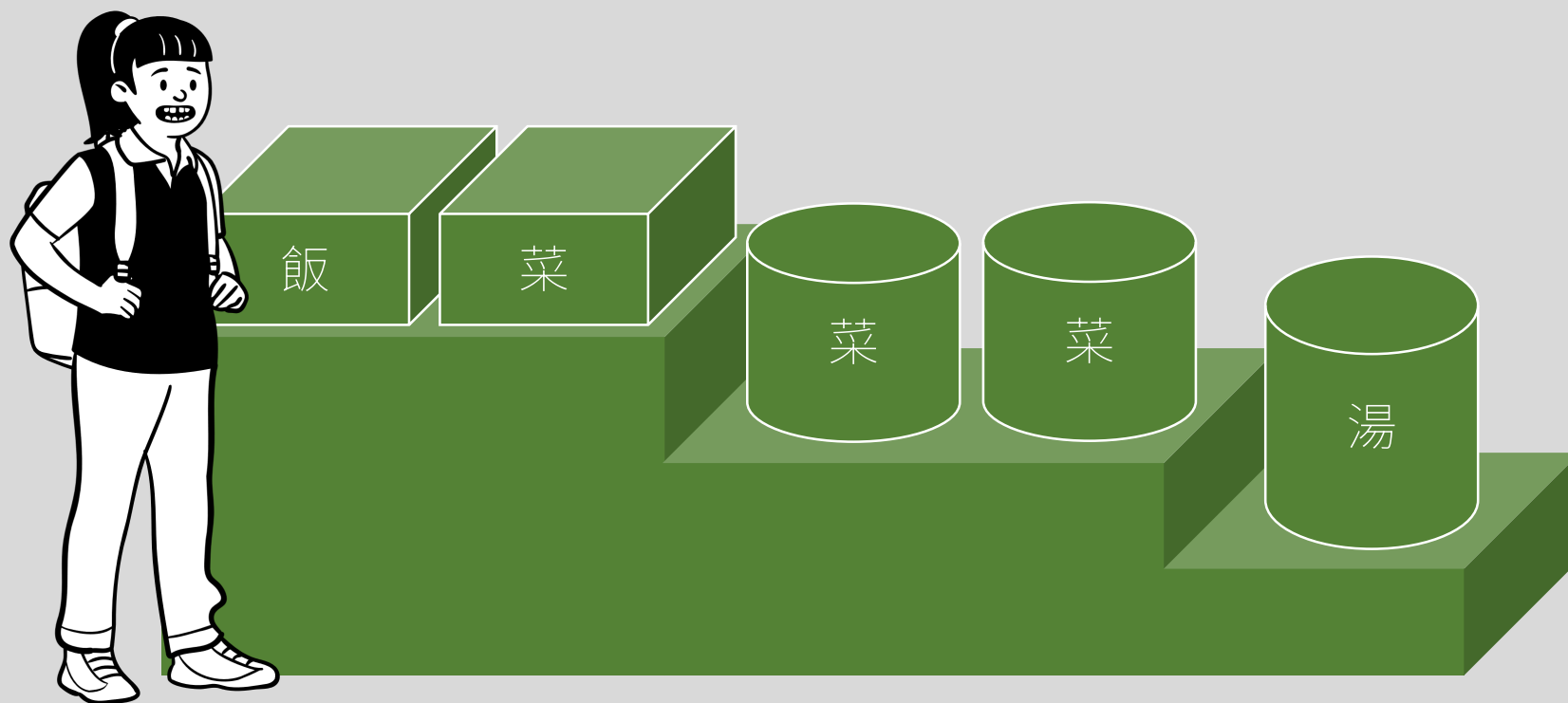
精簡指令集 RISC

一個指令一個動作
指令沒那麼多種
指令比較短

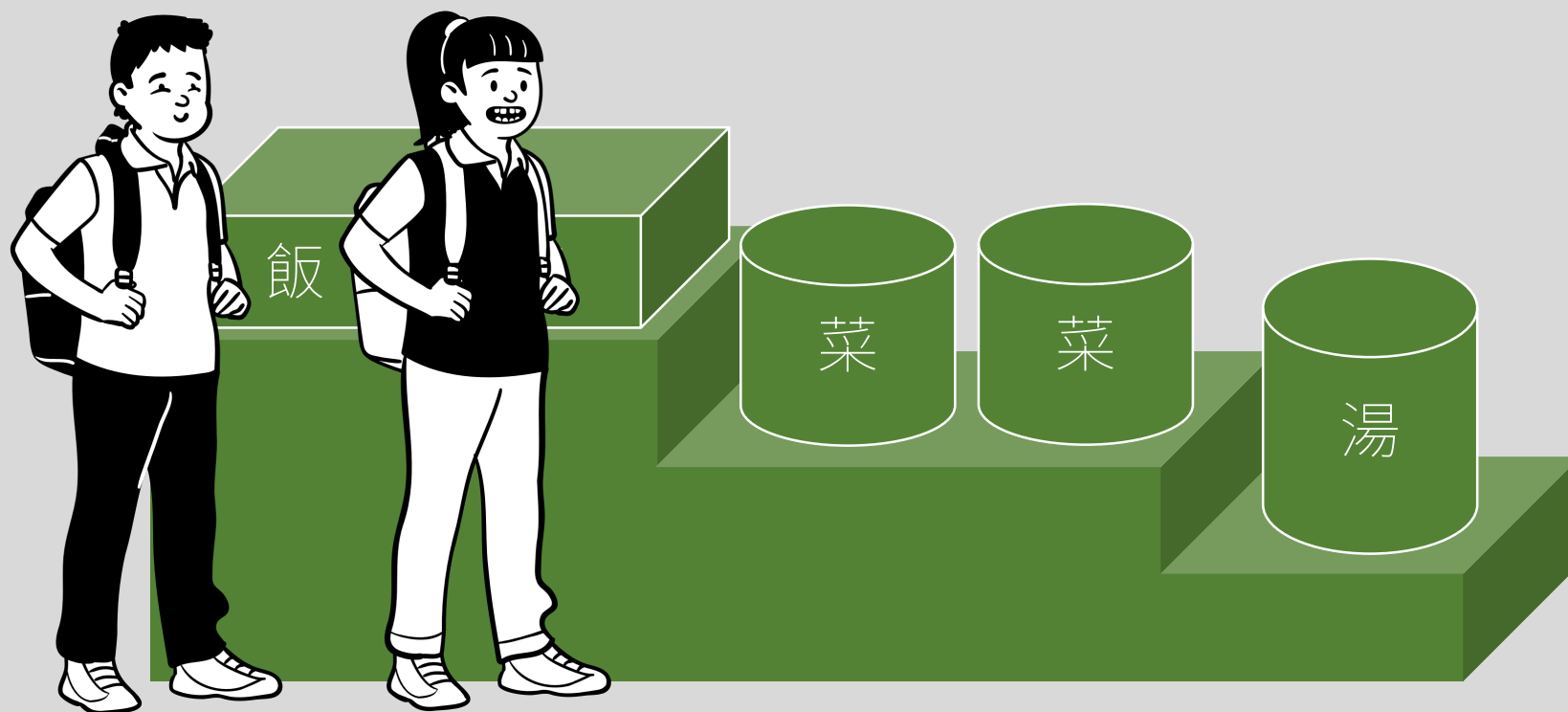
複雜指令集 CISC

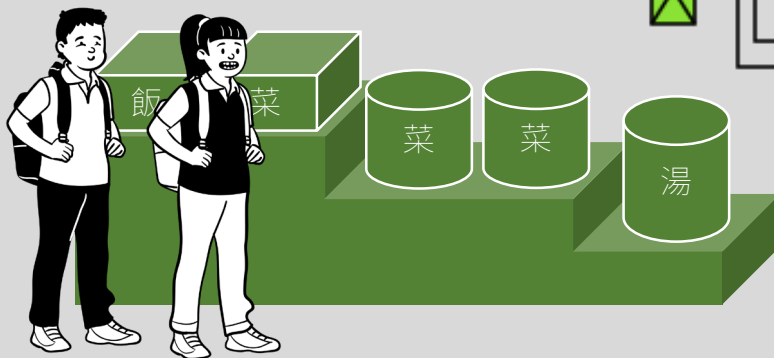
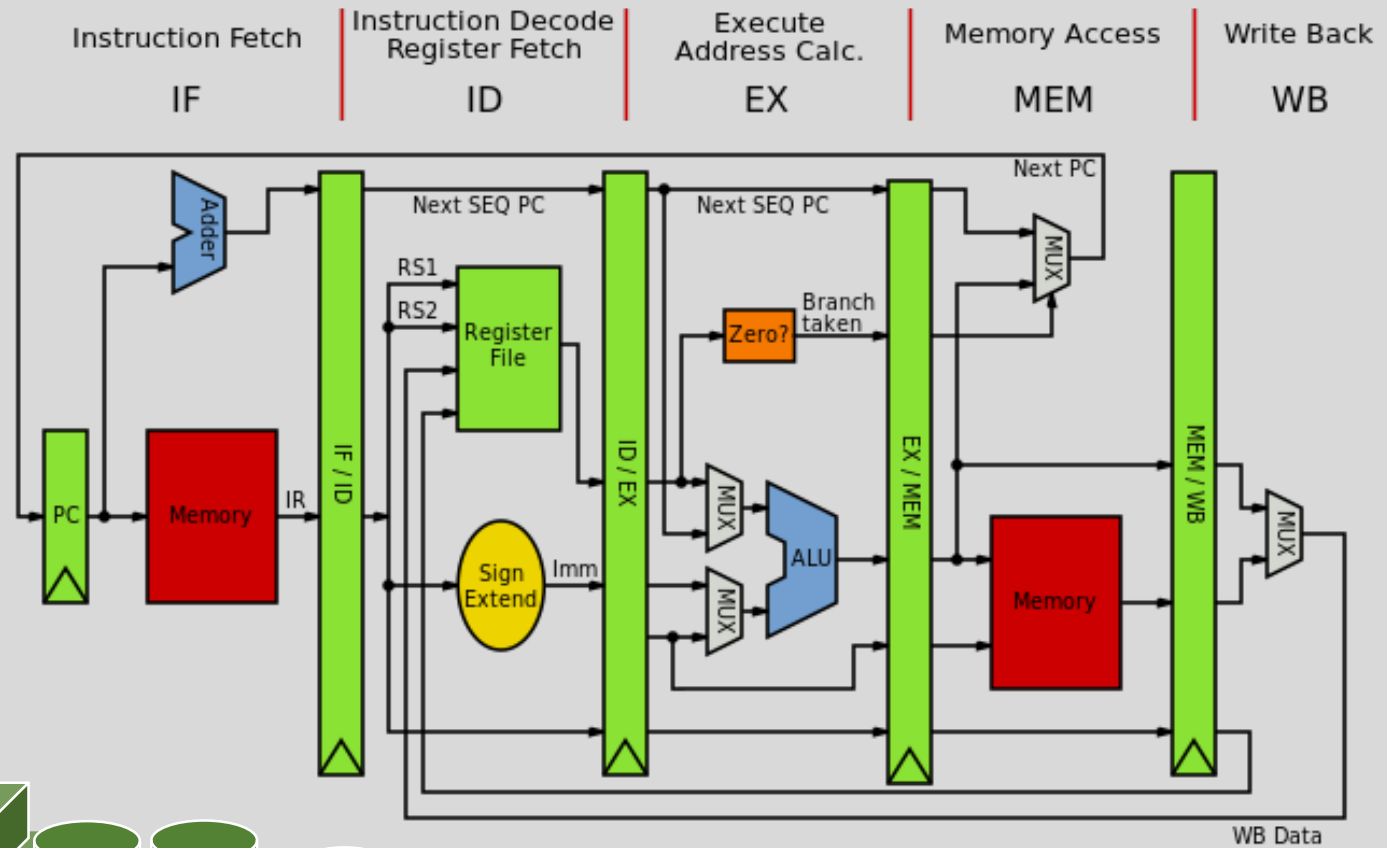
一個指令多個動作
指令超級多種
指令長短不一

因為後來大家發現複雜指令集很多指令都用不到
而且目前精簡指令集實際執行起來會比較快 (pipeline)



因為後來大家發現複雜指令集很多指令都用不到
而且目前精簡指令集實際執行起來會比較快 (pipeline)

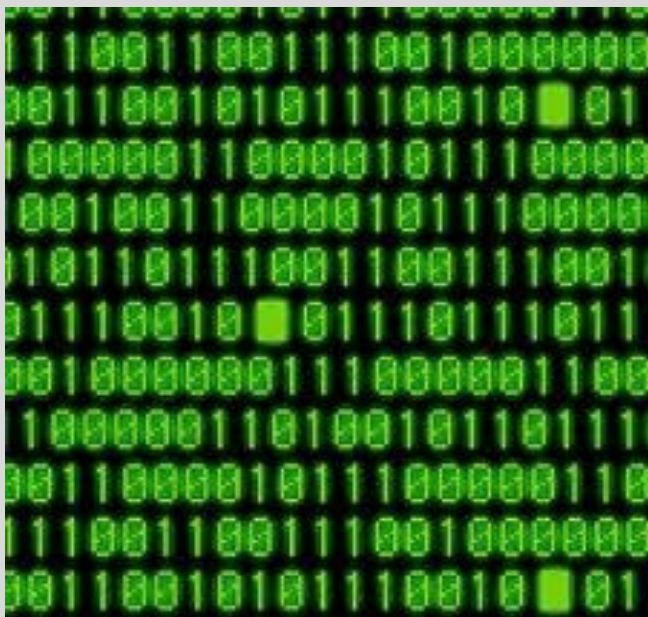




指令集

機器語言

Machine Language



00101000

加 法

MIPS32Add Immediate Instruction

001000 00001 00010 0000000101011110

Equivalent mnemonic:

addi \$r1, \$r2, 350

按一下以編輯母片 標題樣式

例如：MIPS, RISC-V

```
LOOP:
    MOV    A,P1
    RR     A
    MOV    P1,A
    MOV    A,P0
    INC    A
    ACALL  DELAY
    AJMP   LOOP
```

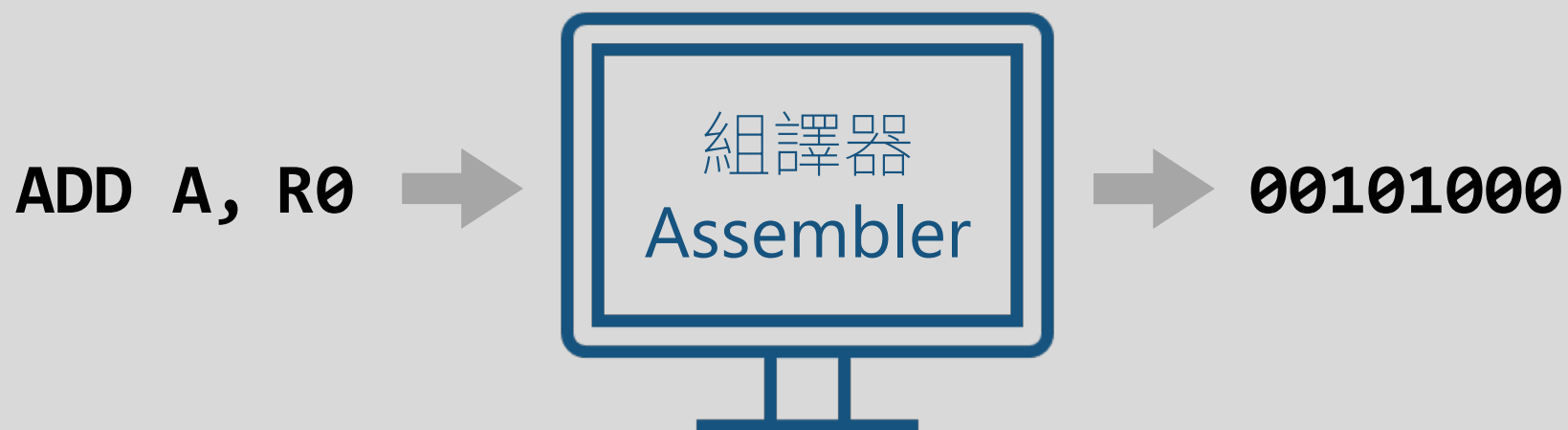
ADD A, R0

MIPS32Add Immediate Instruction

001000 00001 00010 0000000101011110

Equivalent mnemonic: **addi** \$r1, \$r2, 350

按一下以編輯母片 標題樣式



指令集

高階語言

High-level programming language

例如：C/C++, C#, Python, Java

```
while (l <= r) {  
    m = (l + r) / 2;  
    if (a[m][0] < val)  
        l = m + 1;  
    else if (a[m][0] > val)  
        r = m - 1;  
    else  
        return a[m][1];  
}
```

$$A = B + 1$$

指令集

高階語言

High-level programming language

A = B + 1



00101000

指令集

高階語言

High-level programming language

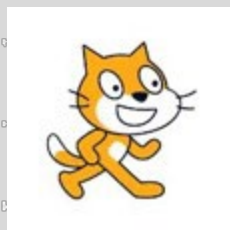


即時翻譯，編翻譯編執行

指令集

視覺化程式設計語言

Visual programming language



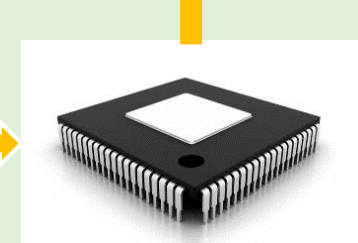
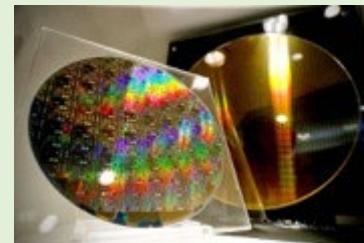
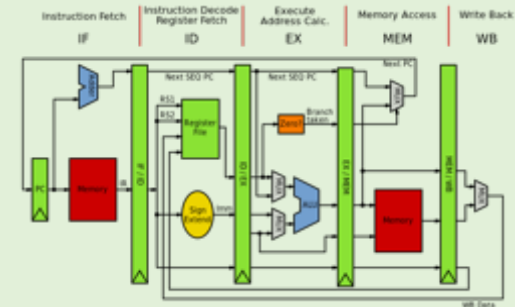
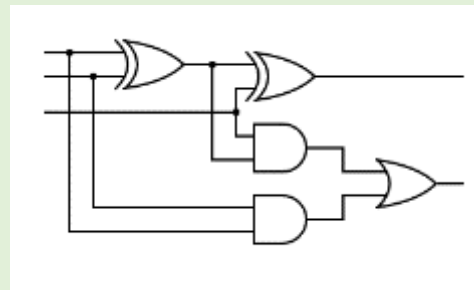
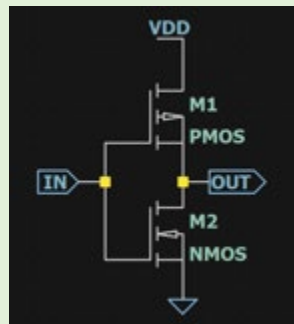
會玩積木
會造樣造句就行



```
while (l <= r) {
  m = (l + r) / 2;
  if (a[m][0] < val)
    l = m + 1;
  else if (a[m][0] > val)
    r = m - 1;
  else
    return a[m][1];
}
```

```
LOOP:
  MOV  A,P1
  RR   A
  MOV  P1,A
  MOV  A,P0
  INC  A
  ACALL DELAY
  AJMP LOOP
```

1010
1010





Rabboni 小老師時間



想一想，學了什麼？怎麼做一個遊戲教弟弟妹妹，爺爺奶奶，什麼是 半導體**元件**？
要正確，要互動，要有創意，最好用上半導體裝置，最好有 AioT 智慧聯網，酷拉！

- 可以用 Rabboni or ...
- vu可以用 Scratch or ...
- OR ...



HA1



大師第七講

■ 半導體感測器+AI

Semiconductor 把 AIOT 實現了！
電學與力學的結合

什麼是微機電系統？

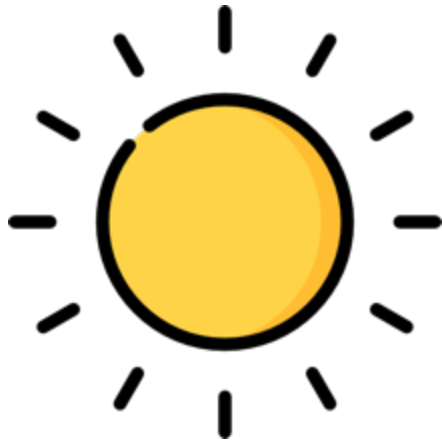
微米 + 機械 + 電子 → 系統

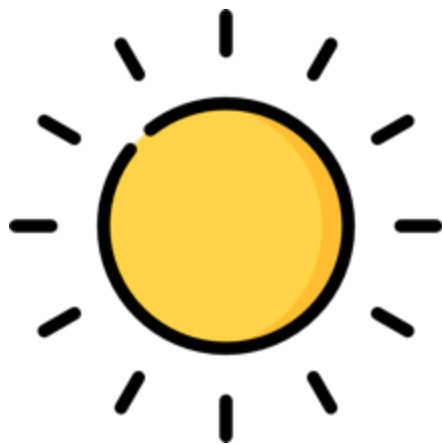
好的，所以這跟我有什麼關係？
想像一個沒有微機電系統的世界.....



起床沒鬧鐘

Waking up without an alarm clock



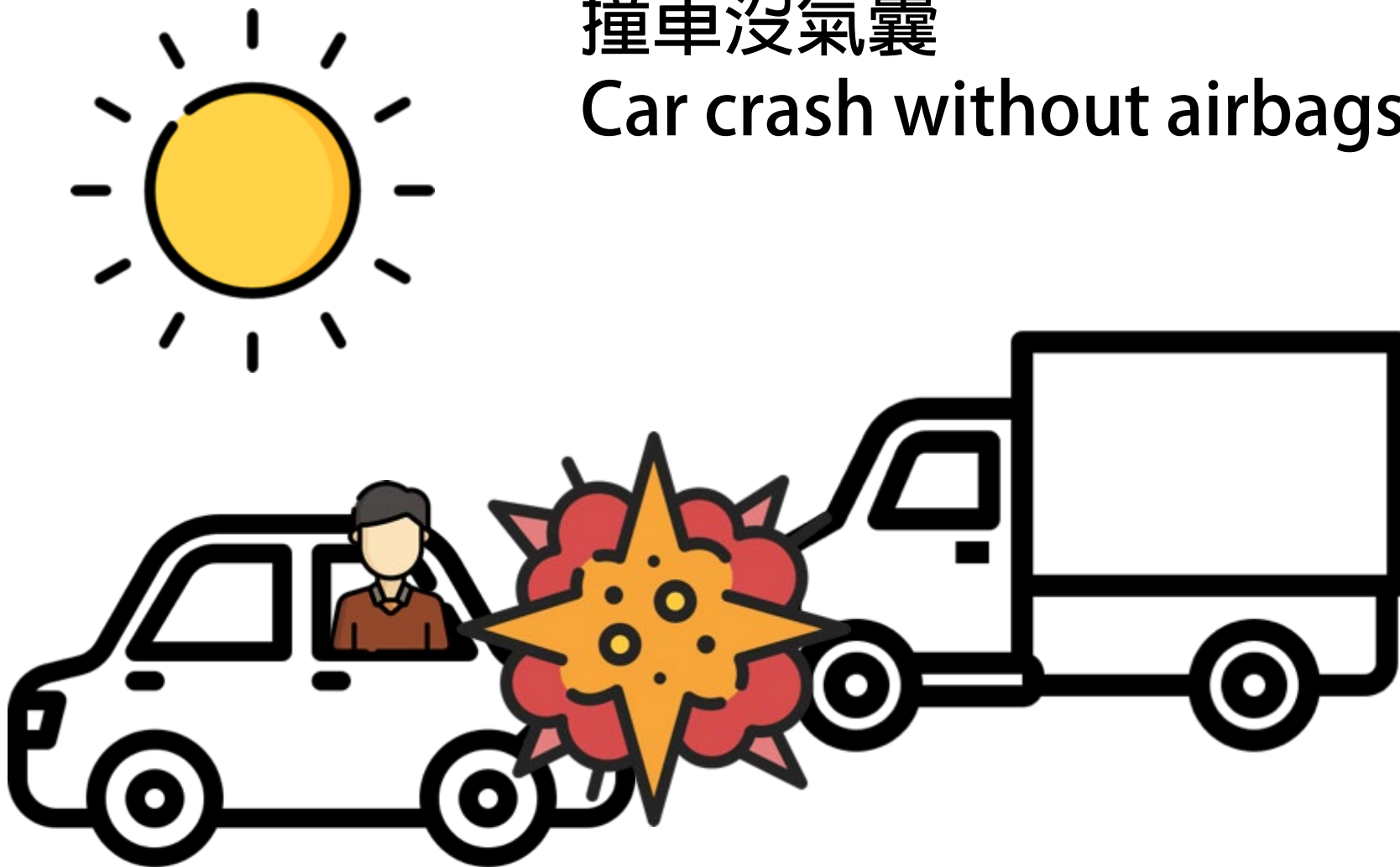


開車沒導航
Drive without GPS!



撞車沒氣囊

Car crash without airbags!



微米？Micro Machining

微米： 10^{-6} 公尺，單位為 μm

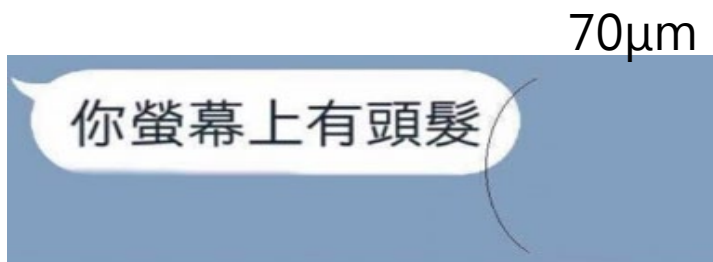
奈米： 10^{-9} 公尺，單位為 nm



90 μm



700 μm



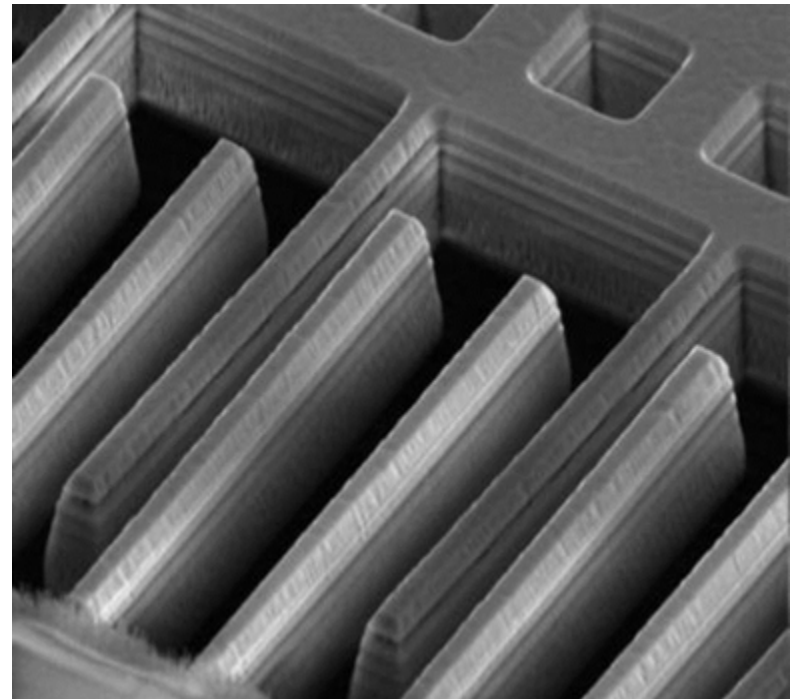
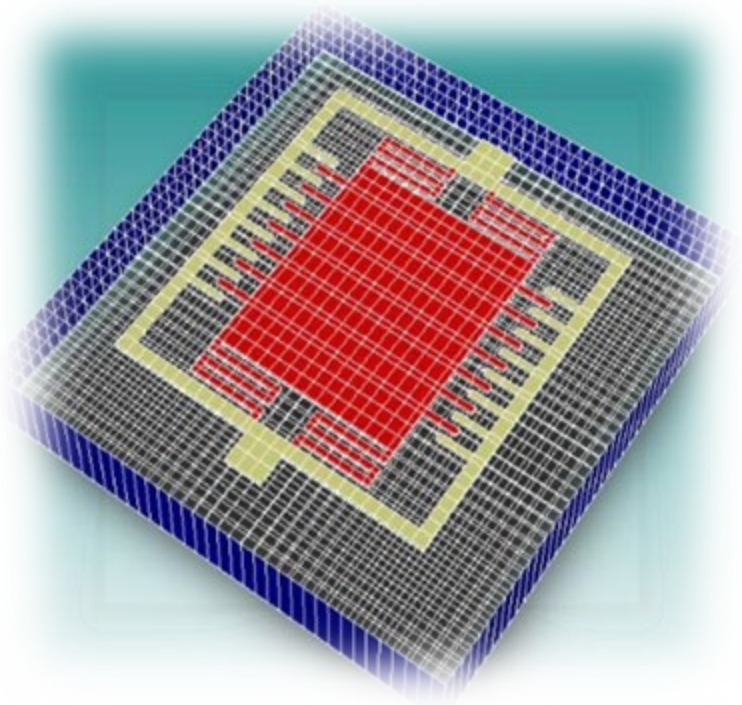
70 μm

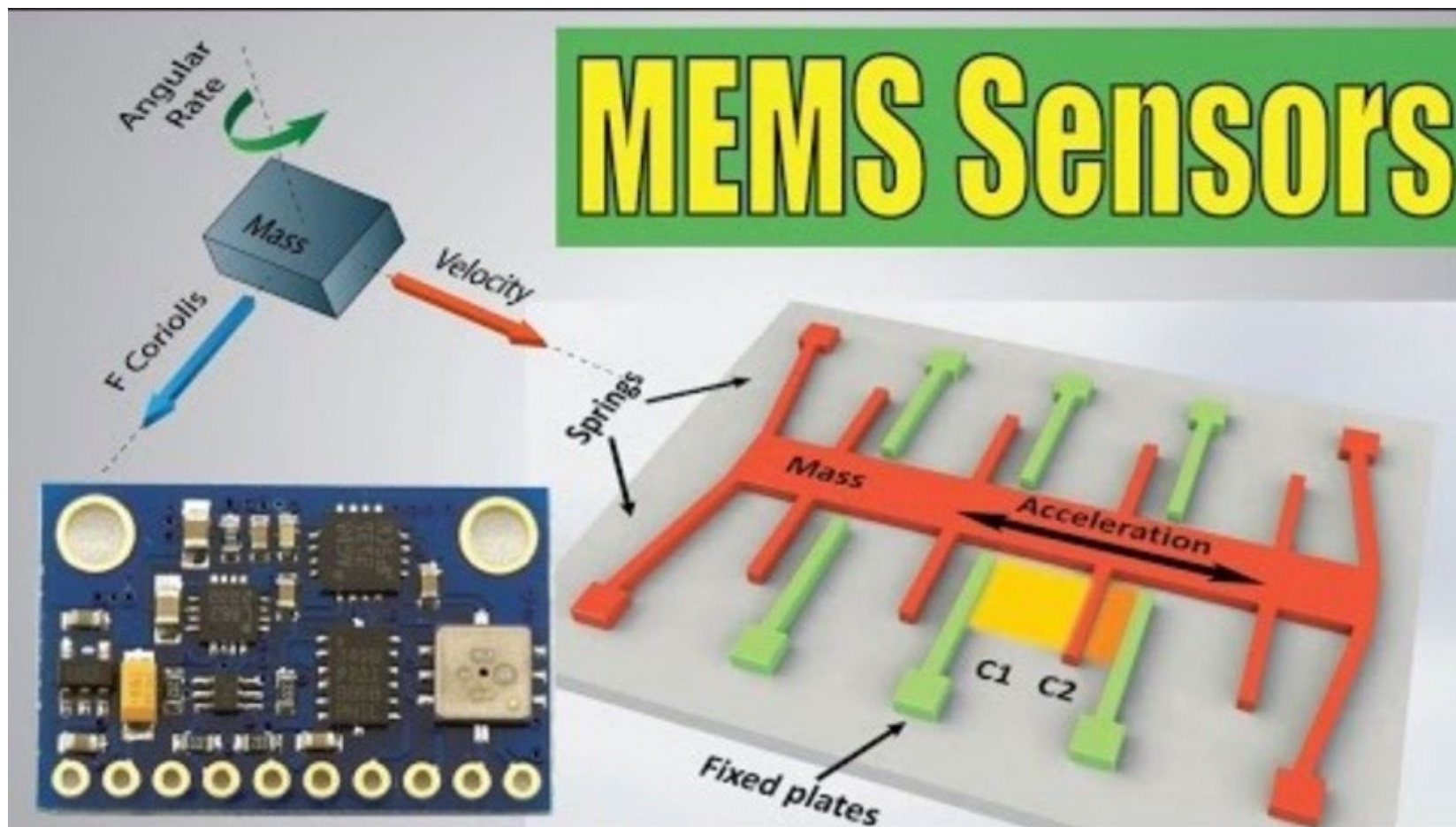


2.5 μm

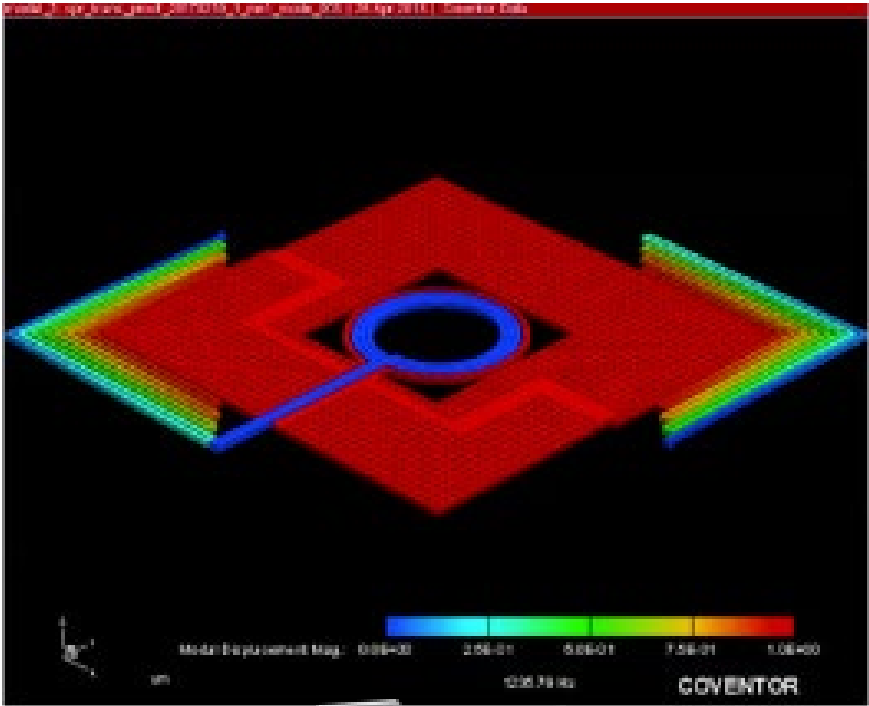
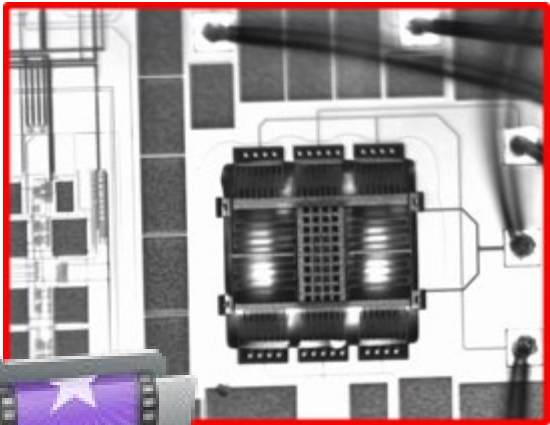
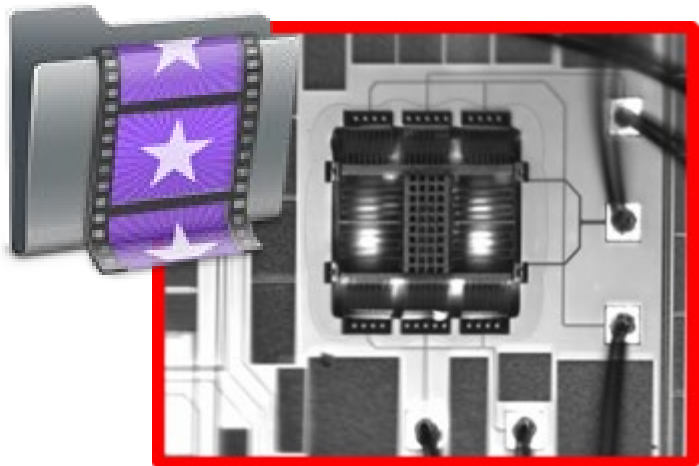
CMOS MEMS 加速度計/陀螺儀

Micro-Electro-Mechanical Systems

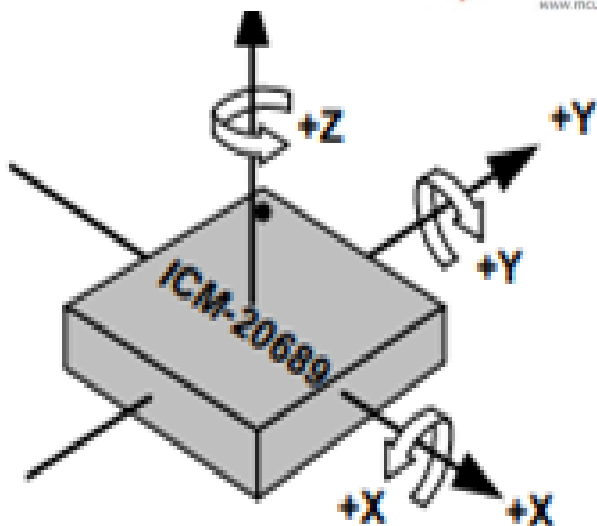
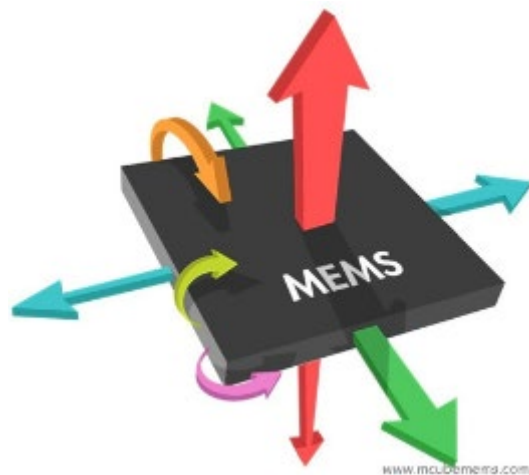




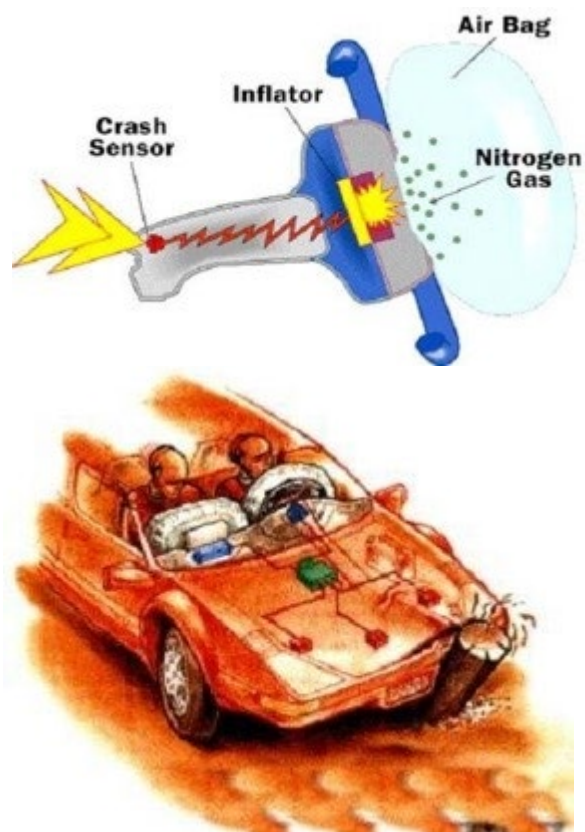
Source:
<https://youtu.be/cqZgxP6oRio>



Rabboni has MEMS sensor inside.



安全氣囊



微型振動器

- 懸浮的彈簧系統
- 激發電流使其振動

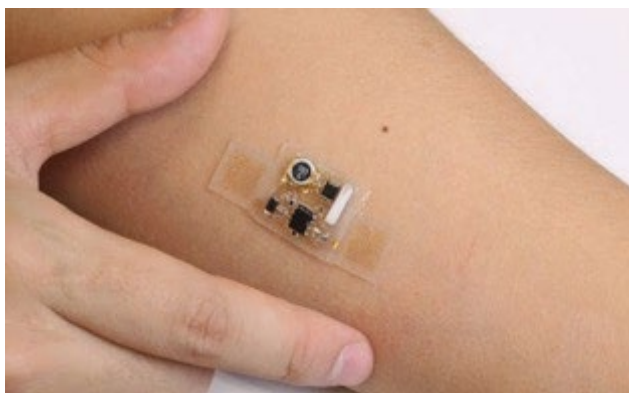


微形鏡片

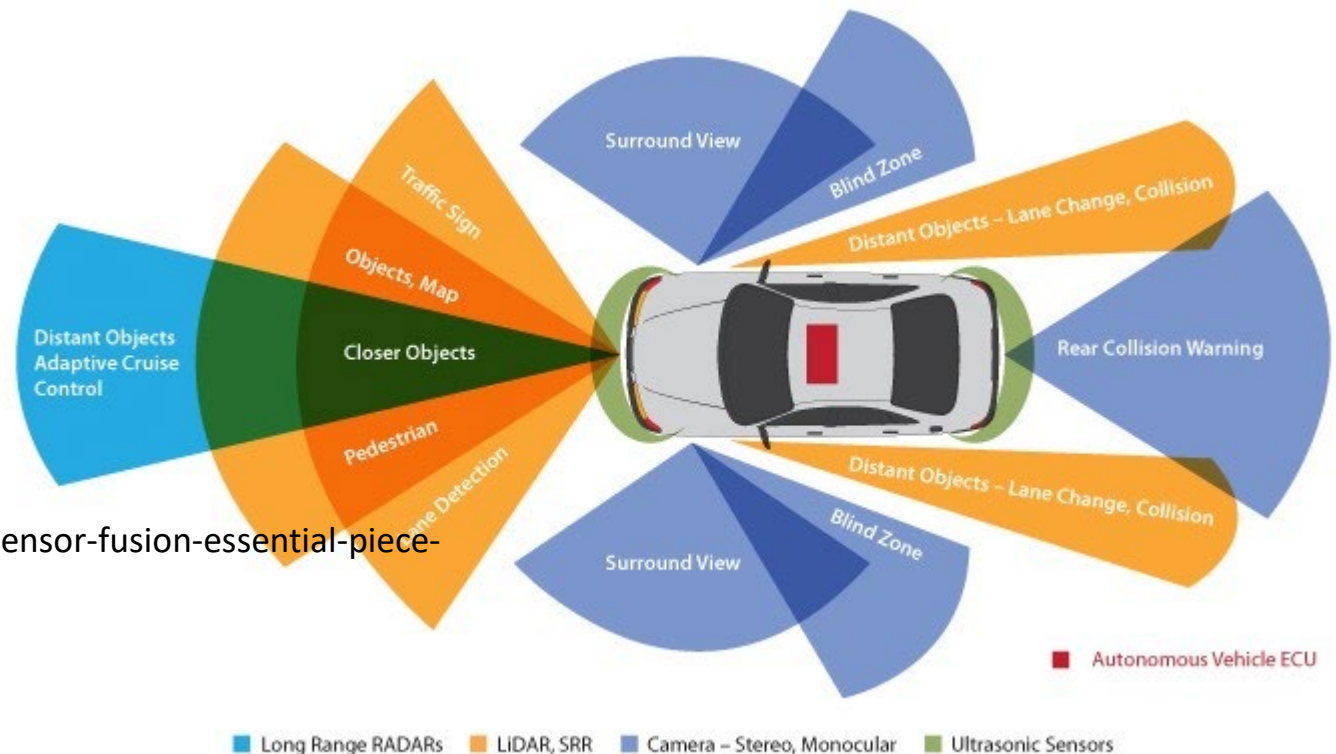
- 微小的透鏡
- 改變光的焦距或方向



穿戴式技術與健康監測

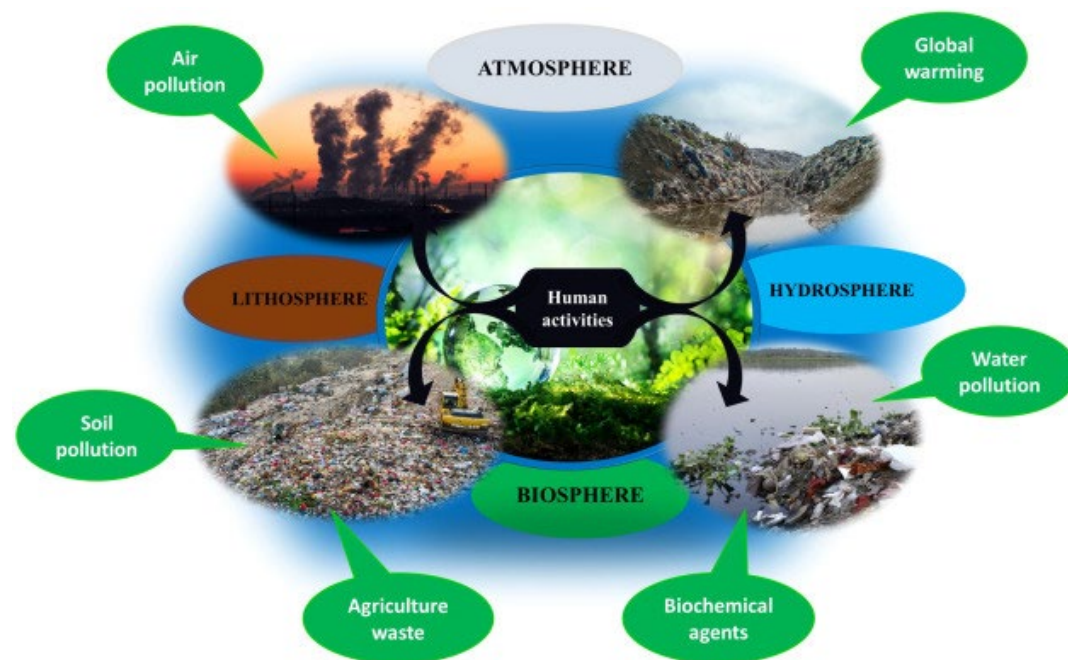
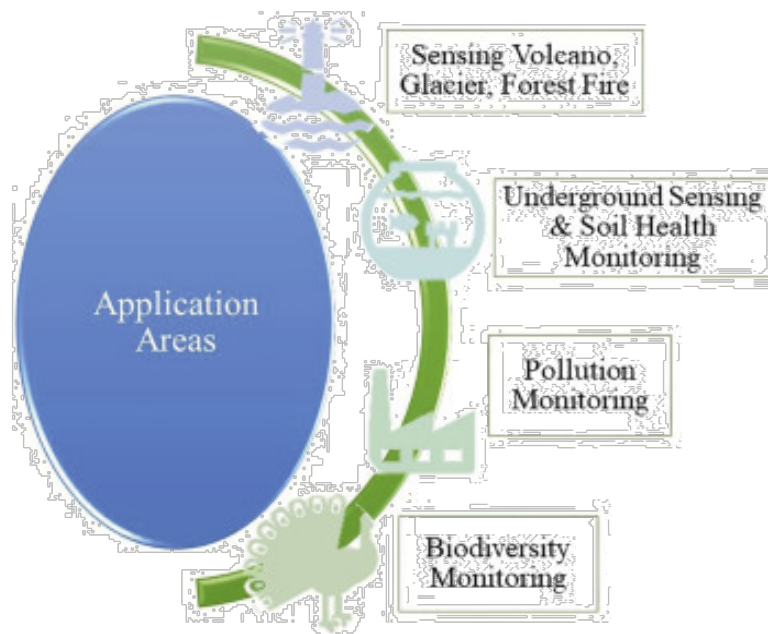


Sensors in autonomous driving and Internet of Vehicles



<https://www.linkedin.com/pulse/sensor-fusion-essential-piece-autonomy-nakul-maan>

Sensors for Environmental detection and climate change

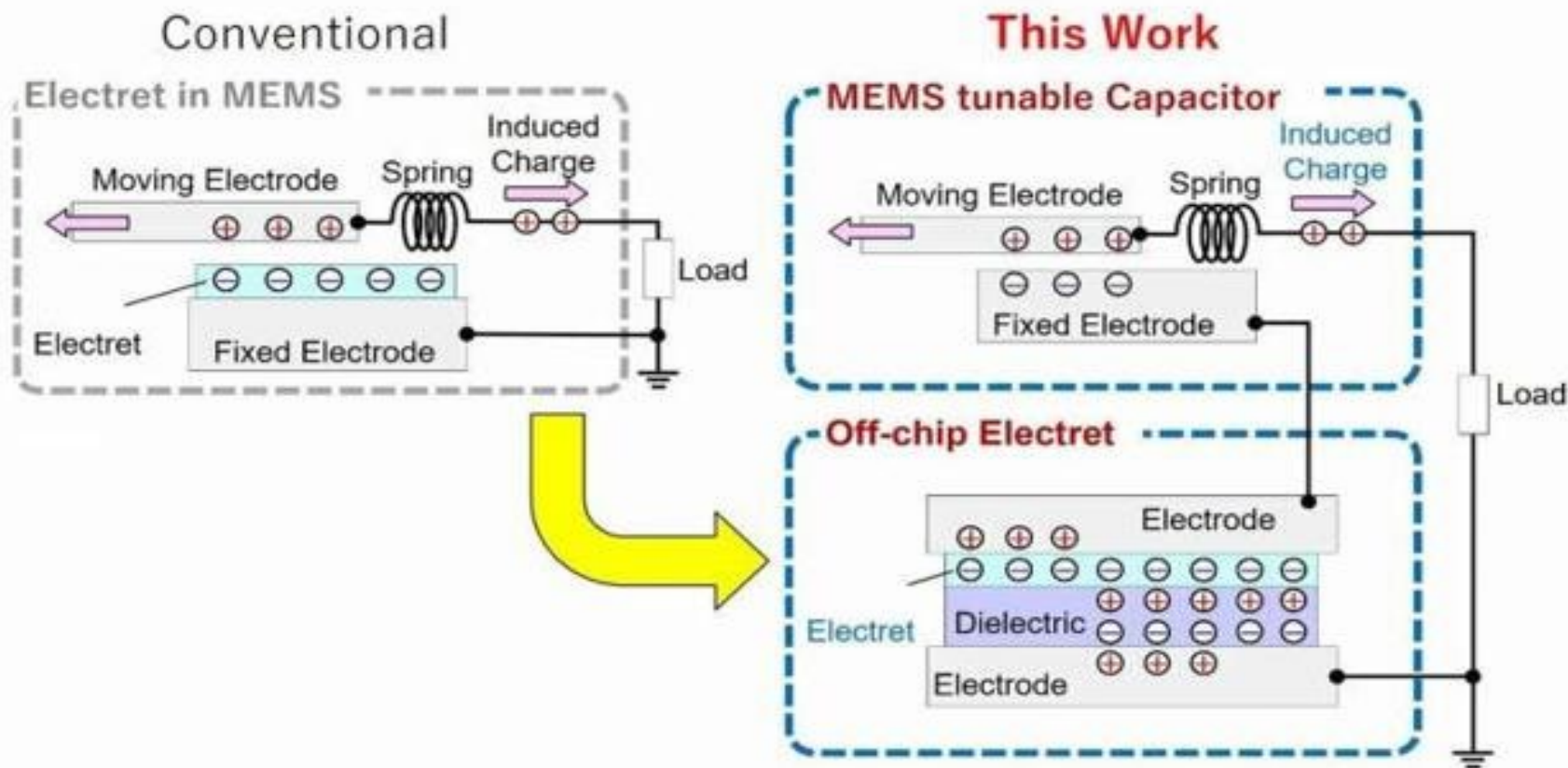


<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/environmental-sensor#recommended-publications>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780443138607000136>

新型能源技術

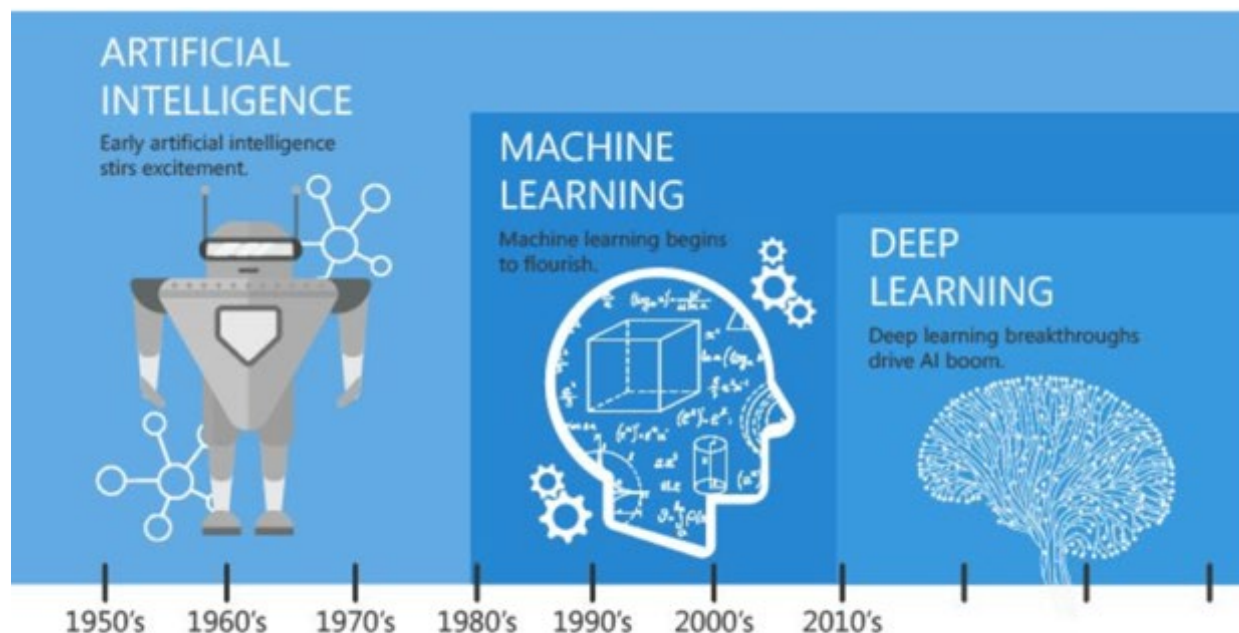
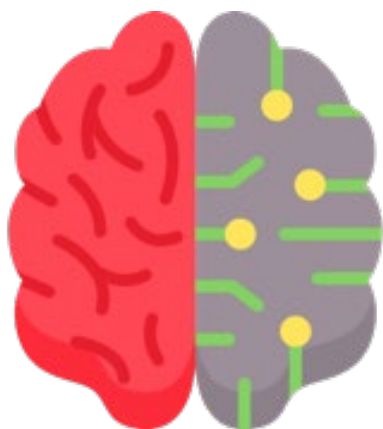
MEMS Vibratory Electret Energy Harvester



聊一下AI

- 模擬人類智慧
- 代替人類做決定、工作

AI: 資料收集- 建立模型（教AI知識）- AI 幫忙判別



Since an early flush of optimism in the 1950's, smaller subsets of artificial intelligence - first machine learning, then deep learning, a subset of machine learning - have created ever larger disruptions.

AI 用強大**積體電路**做圖像辨識



貓咪

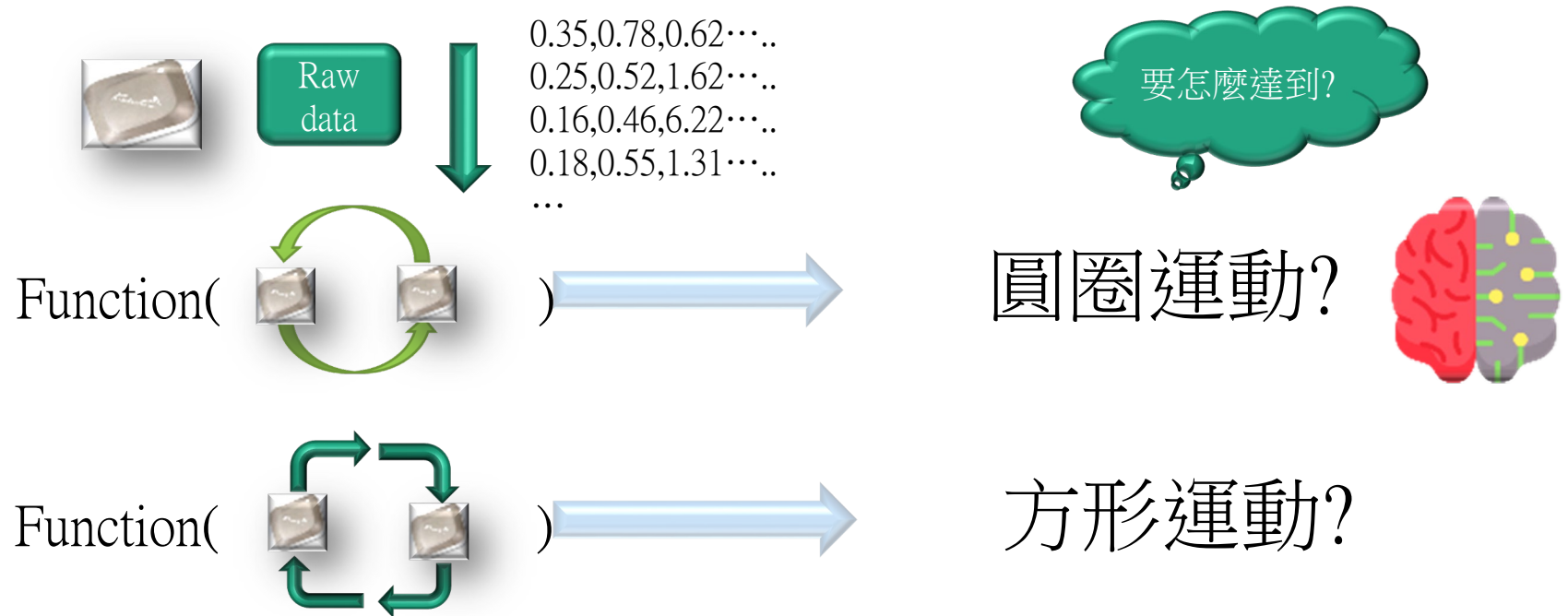


狗



Rabboni 用強大感測積體電路做動作辨識

- Sensor 將加速度與 角加速度原始資料(raw data) 給AI判斷動作



請用 Rabbon + AI 分別手勢

Rabboni vs AIOT

大家用Rabboni 做的創意，都是 AI, IOT ，也是靠**積體電路**完成喔



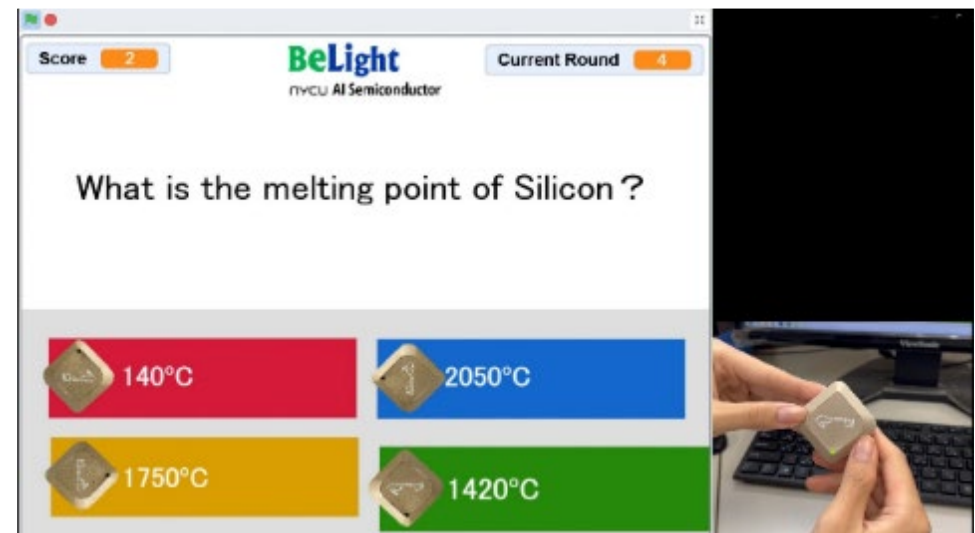


Rabboni 小老師時間

想一想，學了什麼？怎麼做一個遊戲教弟弟妹妹，爺爺奶奶，什麼是邏輯閘？

要正確，要互動，要有創意，最好用上半導體裝置，最好有 AioT 智慧聯網，酷拉！

- 可以用 Rabboni or ...
- vu可以用 Scratch or ...
- OR ...





大師第八講

「啟發 AI 的六堂課」！

** 需有 EXCEL，Scratch 及 RABBONI 使用基礎，若無，建議以六小時分享

啟發 AI — with Rabboni

歡迎來到「啟發 AI」！這堂課將帶領您踏入人工智慧的世界，並學習如何使用資料的力量來解決問題。無論您是初學者還是對資料科學有基本了解，都能從中受益。

從數據到洞察力

踏入人工智慧的奇妙世界，探索它如何改變我們的世界，從自動駕駛汽車到醫療保健，從金融交易到藝術創作。這趟旅程將引導您了解人工智慧背後的機制，以及它如何為各行各業帶來革命性的變革。



Note: Rabboni 是希伯來文大師之意，也是國產 IMU 感測模組，附註課程中可親自體驗之資料處理

[Active Learning + Edtech]

1. 資料蒐集- 運用 Rabboni 蒐集 2~4 種動作，取得 6x DATA 檔案 (.xls, .csv)

Option: 介紹資料的來源，包括結構化和非結構化資料的收集方法。討論如何使用網路爬蟲、API、問卷調查等工具來獲取資料

2. 資料預處理- 運用智慧將特異資料處理或用Excel 處理雜訊

Option: 講解資料清理的重要性，包括處理缺失值、異常值、重複資料等。

介紹資料轉換和標準化的技術。使用Pandas等工具進行資料清理的實作。

3. 資料分析- 運用智慧將蒐集 2~4 種動作與動作關聯

Option: 介紹如何從資料中提取有意義的資訊。包括描述性統計、探索性資料分析和 Matplotlib和Seaborn 等可視化技術。

4. 特徵工程-運用智慧，找出動作之間的分類特徵

Option: 講解特徵選擇和特徵提取的概念，如何將原始資料轉換為模型可用的特徵。介紹常用的特徵工程技術。

i.e. Scikit-learn

5. 模型建立- 運用 Scratch 設計人工智慧分類程式

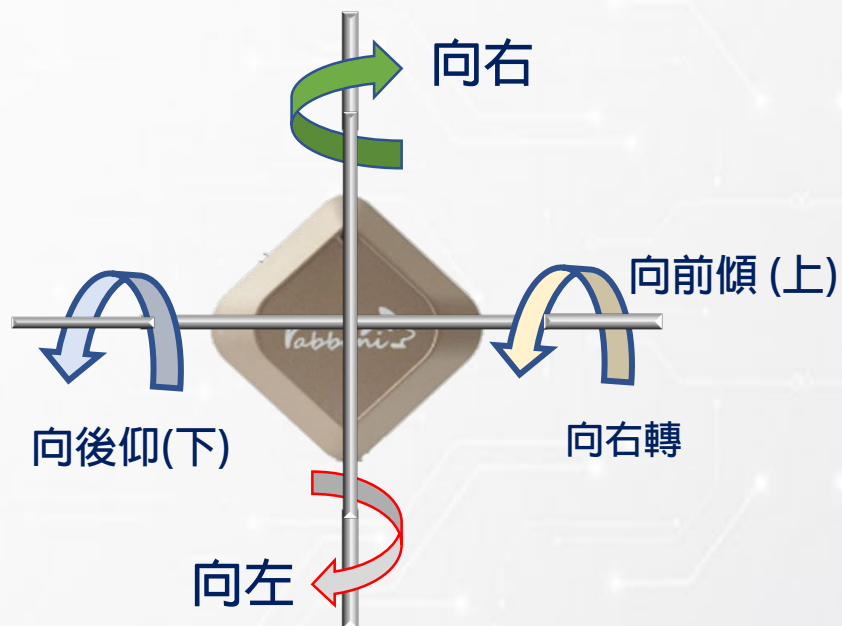
Option: 介紹機器學習的基本概念，包括監督學習和非監督學習。講解常見的模型（如回歸、決策樹、隨機森林等）及其適用情境。使用Scikit-learn建立和訓練簡單的機器學習模型。

6. 模型評估與優化- 運用人工智慧與智慧比較

Option: 講解模型評估的指標（如準確率、精確率、召回率等），以及如何進行模型的調參和優化。介紹交叉驗證和過擬合的概念。

Lesson 1. Data Collection

數據收集：



1

感測器安裝

首先，我們需要將加速度計和陀螺儀感測器安裝在運動員身上，確保感測器牢固地固定，並在運動員動作時能準確地收集數據。

2

數據採集

當開始動作時，感測器會持續地收集數據，記錄動作過程中身體的運動狀態，例如速度、方向和旋轉。

3

數據儲存

收集到的數據會被儲存在電腦或其他設備中，以供後續的分析和研究。

介紹感測器：數據收集的工具

感測器是什麼？

感測器就像我們身體的感官，可以偵測周遭環境的變化，並將這些變化轉換成數據。例如，我們的眼睛能感知光線，耳朵能感知聲音，而感測器則能感知溫度、壓力、運動等各種不同的物理量。

常見的感測器

今天我們將使用兩種主要的感測器：加速計和陀螺儀。
加速計可以測量物體的加速度，也就是速度變化的速率。
陀螺儀則可以測量物體的旋轉速度和方向。

深入了解加速計數據

加速計測量什麼？

加速計測量物體的速度變化速率，也就是物體加速或減速的程度。當你動作時，加速計會記錄你身體在不同時間點的加速度，讓我們可以了解動作過程中速度的變化。

如何解讀加速計數據？

加速計數據包含兩個重要信息：加速度的大小和方向。加速度的大小表示速度變化的快慢，方向則表示速度變化的方向。例如，當你向上動作時，加速計會記錄到正向的加速度，表示你的速度正在增加。



收集動作數據的步驟

1

準備就緒

首先，你需要穿上配備了感測器的衣服或設備。

2

開始動作

然後，盡情動作！感測器會記錄你的動作。

3

數據分析

最後，我們會分析感測器收集的數據，揭示動作的秘密。

■Rabboni 連線

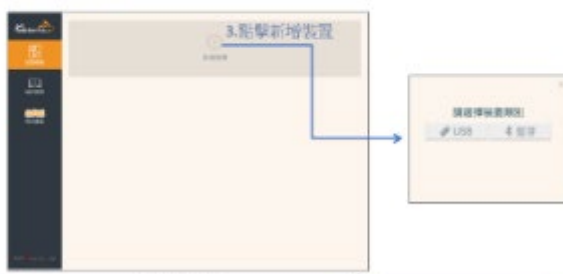
■資料蒐集

親自取得資料摸得到的 AI

Semiconductor & AIOT Coding Part 1/2

Scratch桌面板多連使用說明-USB連線

- 解壓縮後，打開資料夾，點擊應用程式開啟
- 應用程式開啟後，打開資料夾，點擊應用程式開啟
- 點擊新增裝置
- 出現選擇連線方式視窗，可以選擇USB或藍芽連線
注意!!!USB最多只能連線一個rabboni，藍芽最多同時4個裝置



圖本課程完場人學學會資料蒐集計畫



可視化觀察

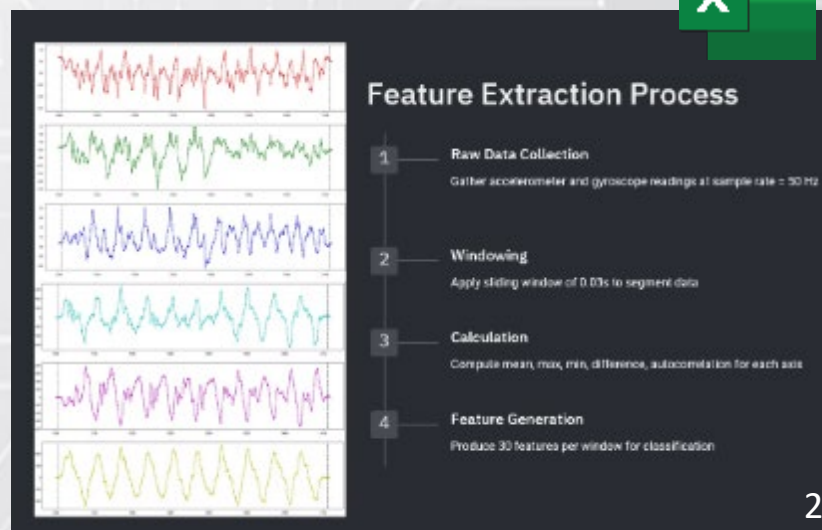
AIOT Coding

Scratch桌面板多連使用說明-藍芽連線

- 連結藍芽dongle到電腦(若電腦沒有藍牙，並要有藍牙功能的，請確認藍牙在4.0以上5.0以下)
- 25秒後有提示音，開始藍芽連線，連線成功後，請將藍牙連線到手機，會自動於30秒後停止連線。
- 點擊「藍牙」的選項
- 選擇裝置
- 選擇欲連結rabboni裝置的MAC碼
- 選擇「確認」



圖本課程完場人學學會資料蒐集計畫





實作：手機下載 Rabboni App



For Android



App Store : Rabboni



點擊[跳過]



進入搜尋藍芽裝置畫面，點
[搜尋]可繼續尋找。



點擊裝置 RABBONI，可觀察
MAC 碼，確認裝置。



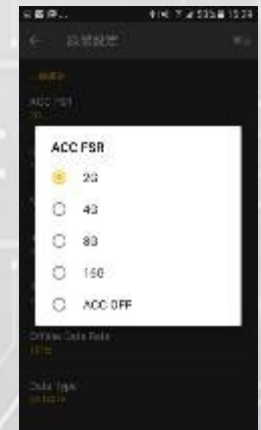
連線配對成功



状態設定

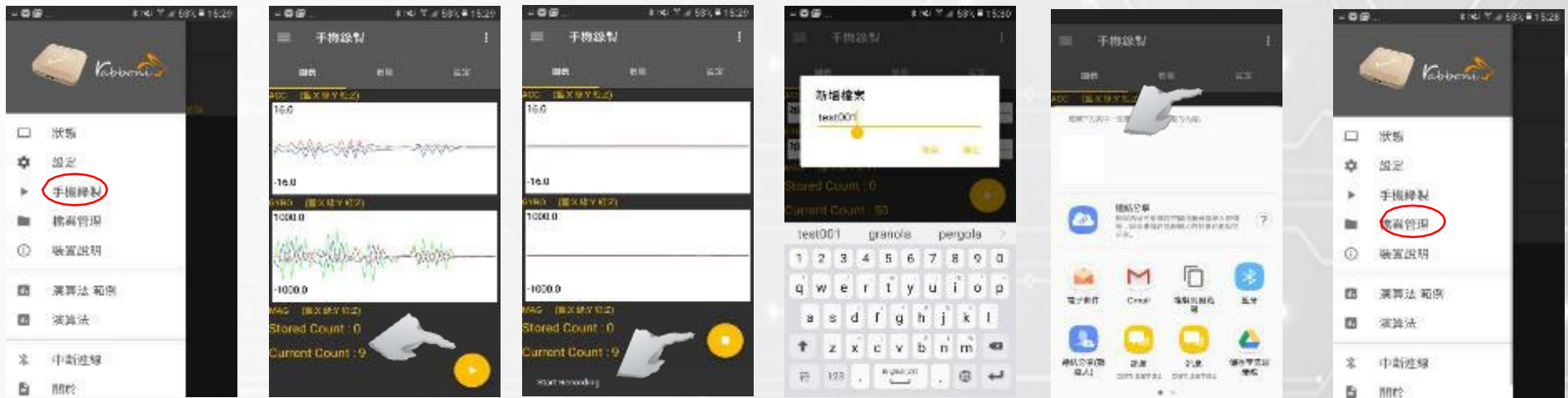
- 手機錄製—裝置即時
回傳資
料，並
同時在
手機上
監視以
及錄影

檔案管理—管理錄製
檔案





實作：錄製



點擊[≡]開啟側拉目錄
選擇[手機錄製]

選擇[▶]開始錄製

選擇[◻]停止錄製

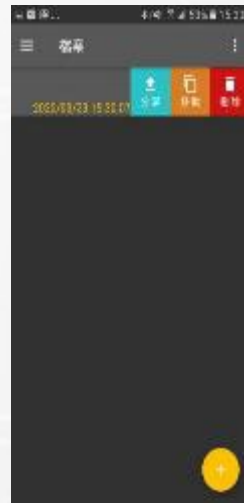
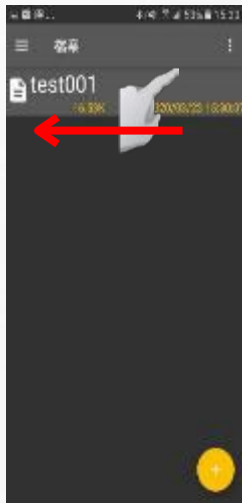
點選檔名提示視窗，
輸入檔名。按下[確定]

跳出上傳雲端選項，
若沒有需求可略過

點擊[≡]開啟側拉目錄
選擇[檔案管理]



實作：資料檔案傳出並轉存



8	ACC FSR:8G				
9	GYRO FSR:1000				
10	Interrupt Threshold:0112				
11	Data Rate:10Hz				
12	Data Type:6X DATA				
13	Feature:6X_LP_QUAT				
14	Gyro Cal:YES				
15	Gyro Data:RAW				
16	Acc Data:NO_RAW				
17	===== CONFIGURATION END =====				
18	accx	accy	accz	gyrox	gyroy
19	===== DATA START =====				
20	-0.01343	0.023438	0.919678	-5.7373	29.54102
21	0.022949	-0.01855	0.936035	-16.0522	-11.1694
22	0.027832	-0.01514	0.963867	0.274658	70.95337
23	0.026123	0.018311	0.92749	-16.9983	28.22876

剛即時手機錄製的資料，按住檔案往左滑

可以[複製]、[分享]至雲端或[刪除]。

選[中斷連線]可離開 APP 並斷線

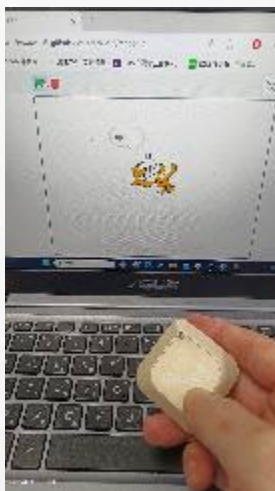
可將 txt 副檔名改成 csv，即可利用 excel 開啟檔案



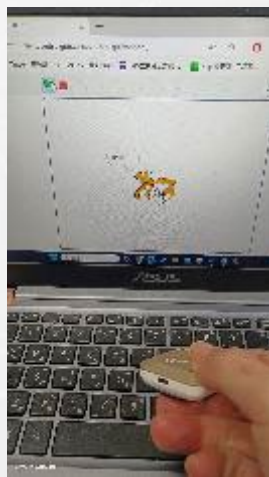
實作：動作-平、上、下、左、右



水平



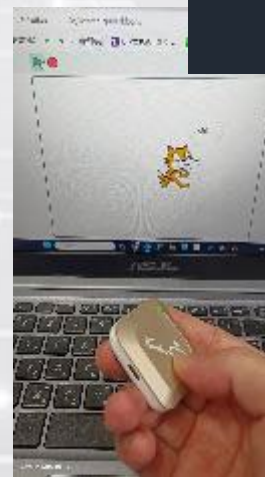
上up
(持平後向前轉)



下down
(持平後向後轉)



左left



右right

Lesson 2. 資料預處理

處理缺失值、異常值、重複資料等

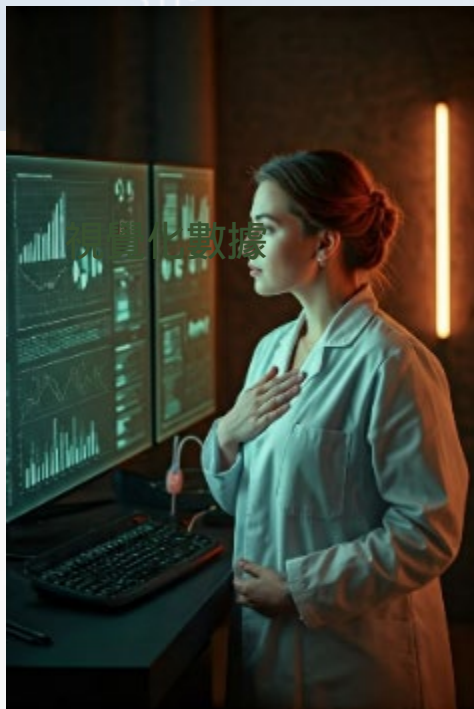
動作數據分析：

歡迎來數據分析的世界！我們將利用各種數據分析技術來解開這些奧秘。準備好學習如何從數據中提取寶貴的資訊吧！

首先，我們需要將數據視覺化，以便更清楚地了解數據的特性，例如數據的分布、趨勢和潛在的異常值。

分析數據

透過視覺化數據，我們可以分析數據的模式、識別數據中的噪音和異常值，並尋找可能影響動作性能的因素。



數據可視化：讓數據說話



散佈圖

散佈圖可以顯示兩個變數之間的關係，例如動作高度和時間。



直方圖

直方圖可以顯示單一變數的分布，例如動作速度的頻率。



箱型圖

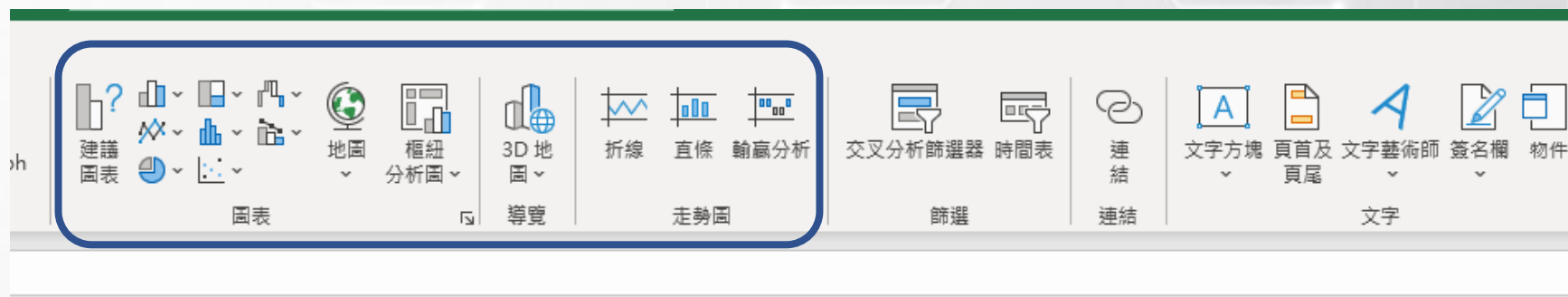
箱型圖可以顯示數據的分布，並識別可能的異常值。



視覺化

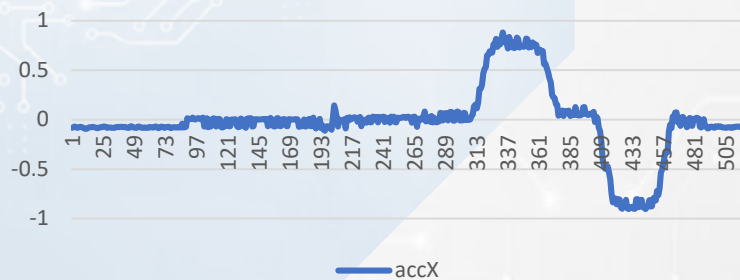


利用XLS 圖表功能，讓數值以圖表方式表示

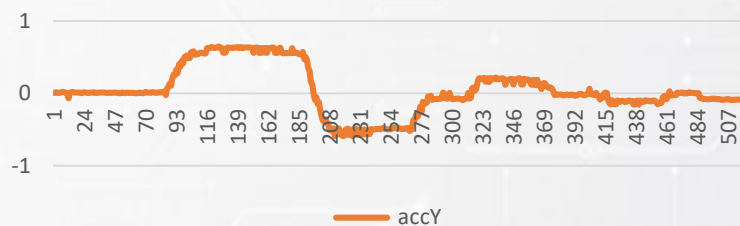


視覺化

X軸加速度圖表



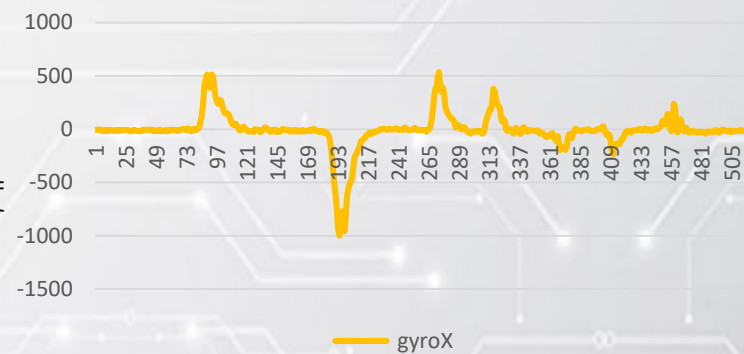
Y軸加速度圖表



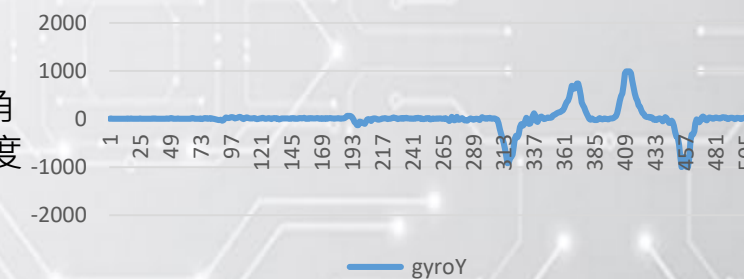
Z軸加速度圖表



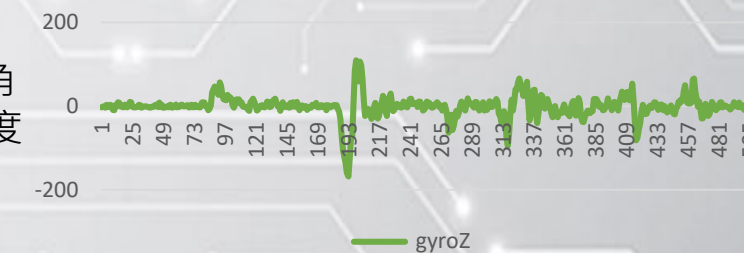
X軸角
加速度



Y軸角
加速度



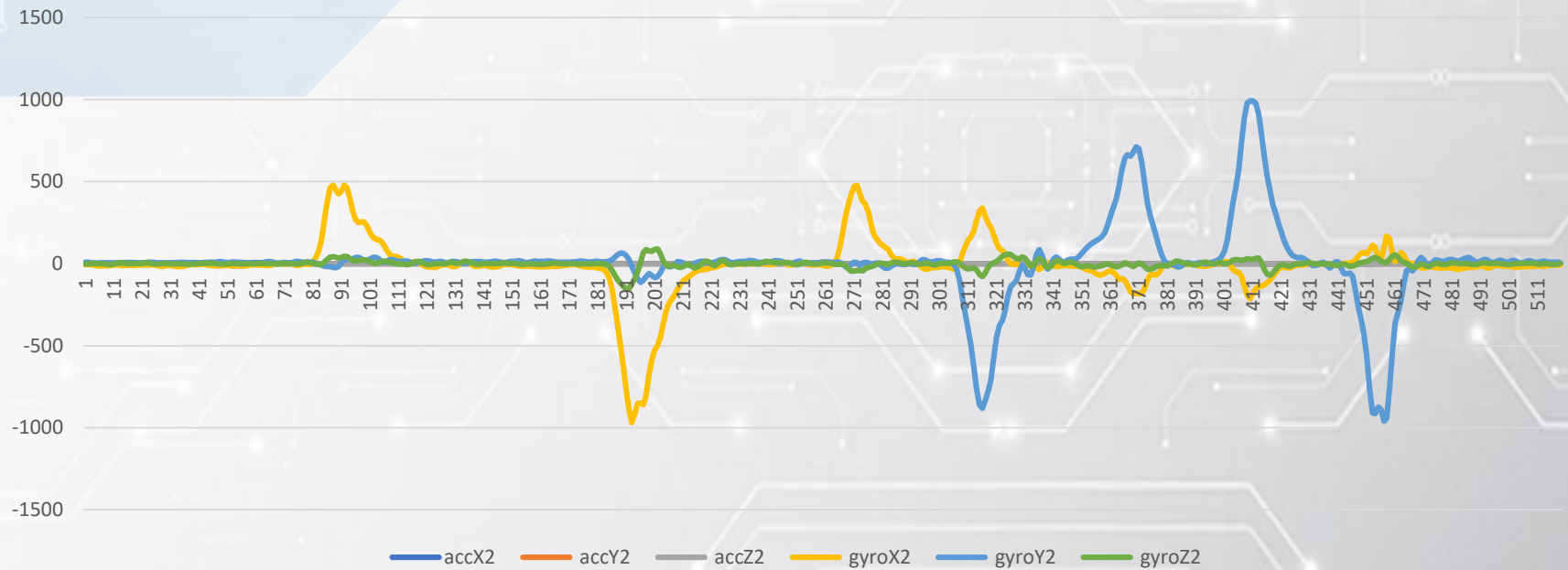
Z軸角
加速度



視覺化

快速得到一折線圖

圖表標題



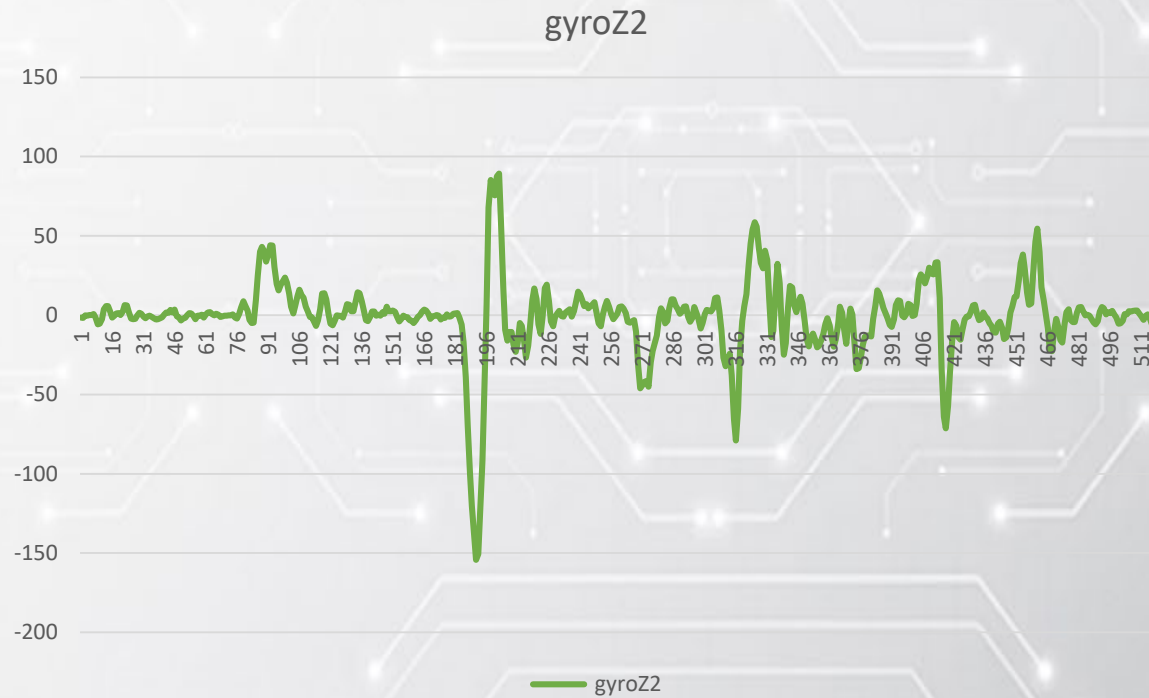
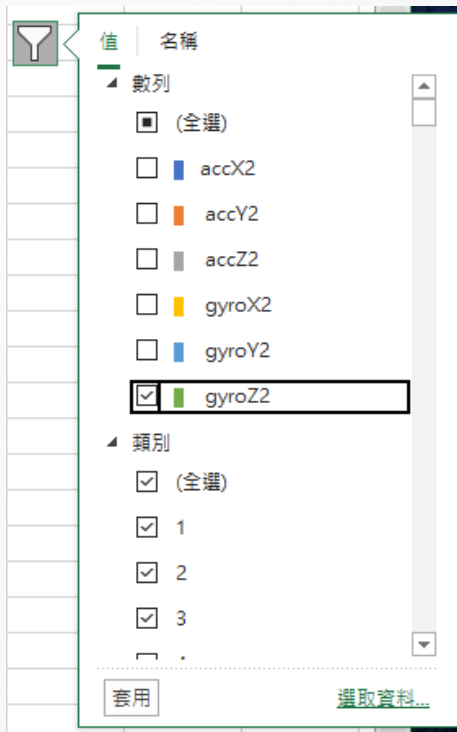
視覺化

因選取6欄產生6條折線，可再利用圖表篩選，快速得到單一折線圖



視覺化

圖表篩選gyroZ2，畫出gyroZ2折線圖



噪音消除：讓數據更乾淨

移動平均濾波器

移動平均濾波器可以平滑數據，減少噪聲，它計算數據點的平均值來消除數據中的突變和起伏。

中值濾波器

中值濾波器用於去除數據中的異常值，它使用數據點的中值來替換異常值，讓數據更加平滑。

卡爾曼濾波器

卡爾曼濾波器是一種更先進的濾波器，它可以根據系統狀態和測量數據進行預測，並減少噪聲和誤差。

異常值偵測與移除：數據的精雕細琢

Z-分數方法

Z-分數方法計算數據點與平均值的距離，並根據標準差判斷是否為異常值。異常值通常落在平均值的3個標準差之外。

箱型圖

箱型圖可以直觀地顯示數據的分布，並識別可能的異常值。位於箱型圖上下界限之外的數據點可能就是異常值。

閾值方法

閾值方法設定一個閾值，並將超過閾值的數據點標記為異常值。閾值可以根據數據分布和預期範圍來設定。

數據標準化：讓數據齊步走

1

統一尺度

想像一下，我們比較不同身高的人，但他們使用不同的單位來測量身高，例如公尺、英吋或台尺。這會造成比較上的困難。

2

數據標準化

就像將不同單位換算成相同的單位一樣，數據標準化將數據轉換成相同的尺度，以便更好地比較和分析數據。

3

模型優化

標準化後的數據可以提高模型的準確性和穩定性，因為模型能夠更好地處理不同尺度的數據。



特徵工程：從數據中萃取價值

1

原始數據轉換

首先，我們需要將原始數據轉換成可分析的特徵，例如時間、位置、速度等。

2

特徵選擇

接下來，我們要從這些特徵中選擇出最具代表性的，這些特徵能最佳地描述動作的特性。

3

特徵創建

最後，我們可以基於現有的特徵，創造出新的特徵，例如組合或計算特定特徵的關係。



數據填補：填補數據缺失的拼圖



平均值填補

最簡單的方法，用該欄位的平均值填補缺失值。



中位數填補

更穩定的方法，不受極端值影響，用該欄位的中位數填補。



K 最近鄰填補

更精準的方法，尋找與缺失值相似的數據點，使用它們的值填補。

數據離散化：將連續數據變為類別



1

原始數據

想像一下，動作數據就像一條蜿蜒的河流，有著無數個不同的數據點。

2

離散化

我們要將這條河流分成幾個水池，每個水池代表一個數據類別。

3

類別分析

這樣一來，我們就能更容易分析每個類別的數據，例如找出哪些類別的動作表現最好。

數據平衡：讓數據公平競賽

數據不平衡

想像一下，動作數據就像一個籃球場，但其中一方的球員人數明顯比另一方多。這樣比賽就不公平了！

平衡數據

數據平衡就像調整球員人數，讓兩方都擁有相同數量的球員，這樣比賽才能公平進行。



實作== MOVING AVERAGE

1. 以Excel開啟資料檔



A欄位：X軸加速度
B欄位：Y軸加速度
C欄位：Z軸加速度

D欄位：X軸角加速度
E欄位：X軸角加速度
F欄位：X軸角加速度

	A	B	C	D	E	F
13	accX	accY	accZ	gyroX	gyroY	gyroZ
14	0.335	0.898	-0.291	-4.12	2.777	-7.843
15	0.334	0.893	-0.295	-11.536	-2.869	-9.308
16	0.335	0.897	-0.296	-10.773	-0.946	-10.925
17	0.334	0.89	-0.294	-10.559	9.003	-4.517
18	0.312	0.884	-0.291	-11.139	11.078	-5.096
19	0.307	0.895	-0.291	-4.089	10.925	-4.608
20	0.309	0.891	-0.292	-5.463	8.484	-10.925
21	0.311	0.893	-0.296	-6.073	-0.549	-9.369
22	0.311	0.895	-0.292	-6.195	-0.061	-8.362
23	0.312	0.883	-0.29	-6.775	8.057	0.244
24	0.311	0.885	-0.29	-7.782	-1.099	1.221

實作==套用移動平均Moving Average資料處理

第一列在G~L欄位，命名accX2、accY2、accZ2、
gyroX2、gyroY2、gyroZ2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	accX	accY	accZ	gyroX	gyroY	gyroZ	accX2	accY2	accZ2	gyroX2	gyroY2	gyroZ2
2	-0.083	0.008	0.933	-6.012	4.639	-2.594						
3	-0.077	0.01	0.931	-6.256	15.839	-1.221						
4	-0.071	0.017	0.92	-6.042	7.69	-0.549						





實作== 套用移動平均Moving Average資料處理

1. 取3格資料數值計算平均，直到最後一筆數值
2. 點選在儲存格G2準備計算A2~A4平均
3. 輸入= AVERAGE(A2:A4)，確定

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	accX	accY	accZ	gyroX	gyroY	gyroZ	accX2	accY2	accZ2	gyroX2	gyroY2	gyroZ2
2	-0.083	0.008	0.933	-6.012	4.639	-2.594	=AVERAGE(A2:A4)					
3	-0.077	0.01	0.931	-6.256	15.839	-1.221						
4	-0.071	0.017	0.92									
5	-0.075	0.008	0.921									
6	-0.083	0.005	0.932									
7	-0.08	0.012	0.926									
8	-0.074	0.019	0.927									

函數引數

AVERAGE

Number1 A2:A4 = {-0.083;-0.077;-0.071}

Number2 = 數字

可計算出-0.077

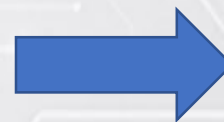
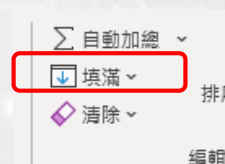
G
accX2
-0.077



實作== 套用移動平均Moving Average資料處理

1. 框選取G2，直到最後一筆數值
2. 點選 填滿 -> 向下填滿，套用同一個計算式
3. H~L欄，可用 填滿 -> 向右填滿，快速套用

A	B	C	D	E	F	G
accX	accY	accZ	gyroX	gyroY	gyroZ	accX2
-0.083	0.008	0.933	-6.012	4.639	-2.094	-0.077
-0.077	0.01	0.931	-6.256	15.839	-1.221	
-0.071	0.017	0.92	-6.042	7.69	-0.549	
-0.075	0.008	0.921	-4.272	5.127	-3.601	
-0.083	0.005	0.932	-6.317	4.181	3.723	
-0.08	0.012	0.926	-17.029	5.402	-1.099	
-0.074	0.019	0.927	-15.778	4.364	-2.045	



G	H	I	J	K	L
accX2	accY2	accZ2	gyroX2	gyroY2	gyroZ2
-0.077					
-0.07433					
-0.07633					
-0.07933					
-0.079					
-0.07567					
-0.07533					



實作== 套用移動平均Moving Average資料處理

套用公式技巧：點選在儲存格D2後，長按住Shirt+Ctrl，再按End後，可框大範圍，再用 向下填滿 與 向右填滿，可快速將公式套用。

G	H	I	J	K	L
accX2	accY2	accZ2	gyroX2	gyroY2	gyroZ2
-0.077					



G	H	I	J	K	L
accX2	accY2	accZ2	gyroX2	gyroY2	gyroZ2
-0.077	0.011667	0.928	-6.10333	9.389333	-1.45467
-0.07433	0.011667	0.924	-5.52333	9.552	-1.79033
-0.07633	0.01	0.924333	-5.54367	5.666	-0.14233
-0.07933	0.008333	0.926333	-9.206	4.903333	-0.32567
-0.079	0.012	0.928333	-13.0413	4.649	0.193
-0.07567	0.017	0.925667	-13.499	4.771	0.040333
-0.07533	0.018333	0.925	-13.153	4.872667	0.722
-0.07833	0.015667	0.924333	-10.4877	5.686333	-1.48533
-0.08433	0.010333	0.928	-13.1837	6.266333	-5.67633
-0.089	-0.017	0.955333	-10.305	6.001667	-5.25933

利用XLS功能產生圖表

1. 選取資料區塊，可用快速選取

	G	H	I	J	K	L
	accX2	accY2	accZ2	gyroX2	gyroY2	gyroZ2
1	-0.077	0.011667	0.928	-6.10333	9.389333	-1.45467
2	-0.07433	0.011667	0.924	-5.52333	9.552	-1.79033
3	-0.07633	0.01	0.924333	-5.54367	5.666	-0.14233
4	-0.07933	0.008333	0.926333	-9.206	4.903333	-0.32567
5	-0.079	0.012	0.928333	-13.0413	4.649	0.193
6	-0.07567	0.017	0.925667	-13.499	4.771	0.040333
7	-0.07533	0.018333	0.925	-13.153	4.872667	0.722
8	-0.07833	0.015667	0.924333	-10.4877	5.686333	-1.48533
9	-0.08433	0.010333	0.928	-13.1837	6.266333	-5.67633
10	-0.089	-0.017	0.955333	-10.305	6.001667	-5.25933



2. 在插入圖表，選擇折線圖

檔案 常用 插入 頁面配置 公式 資料 校閱 檢視 說明 Power Pivot

圖表 建議的圖表 表格 圖片 圖表 3D 模型 SmartArt... 螢幕擷取畫面

取得增益集 我的增益集

建議圖表 平面折線圖

折線 直條 輸贏分析 走勢圖

G1 : accX2

	C	D	E	F	G	H	I	J
1	accZ	gyroX	gyroY	gyroZ	accX2	accY2	accZ2	gyroX2
2	0.933	-6.012	4.639	-2.594	-0.077	0.011667	0.928	-6.10333

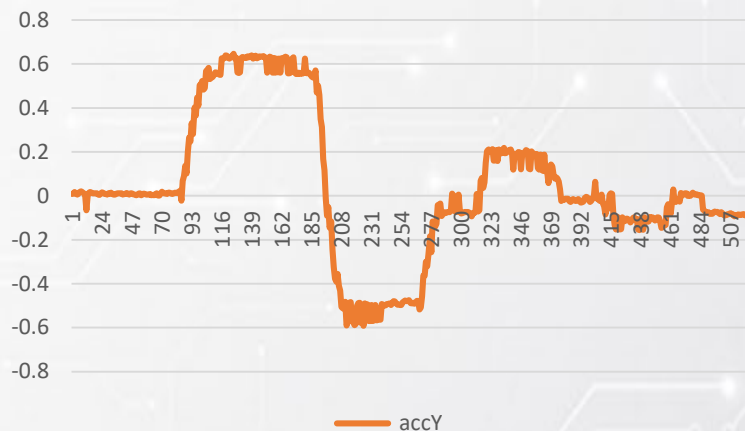
Noise Reduction

原始數值圖表

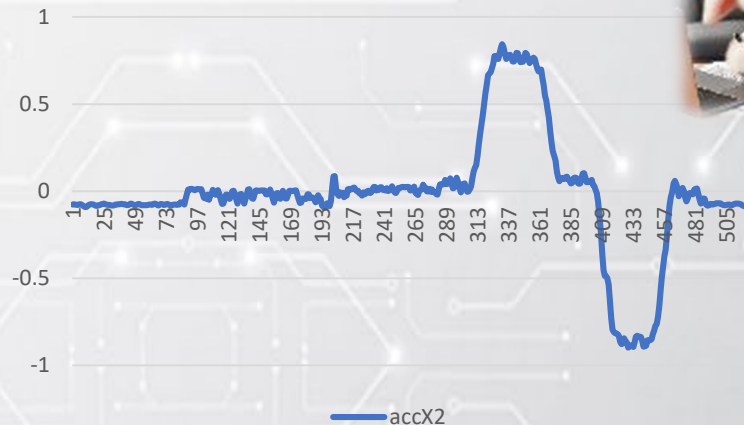
X軸加速
度



Y軸加速
度

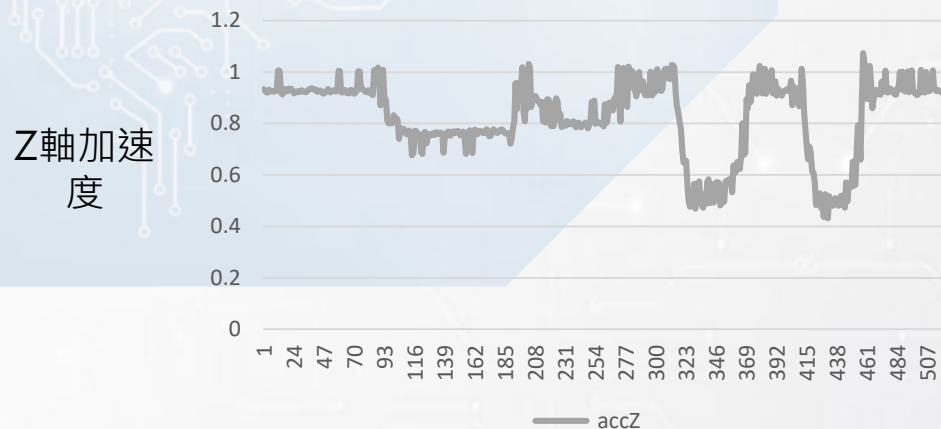


Moving Average

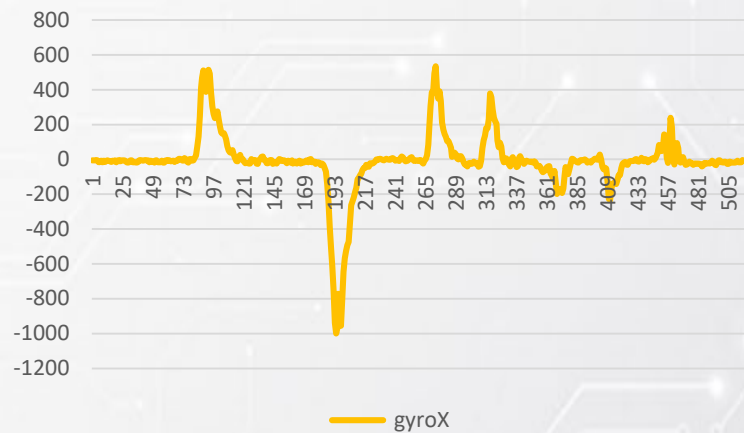


Noise Reduction

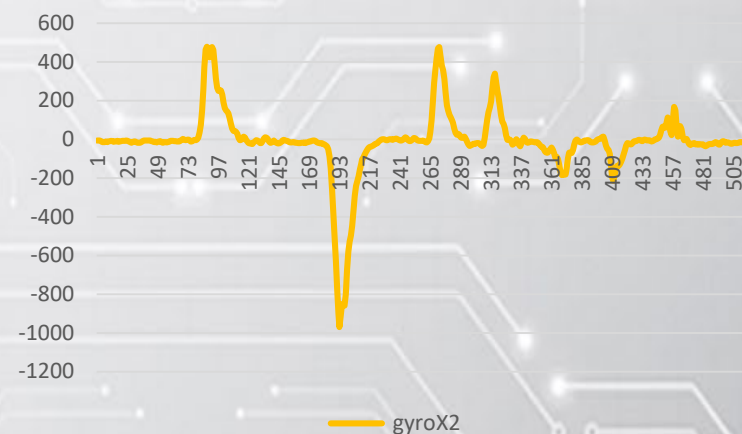
原始數值圖表



X軸角
加速度



Moving Average



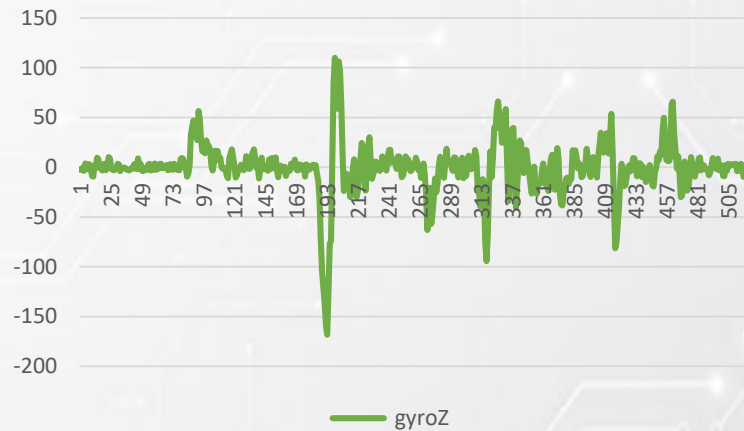
Noise Reduction

原始數值圖表

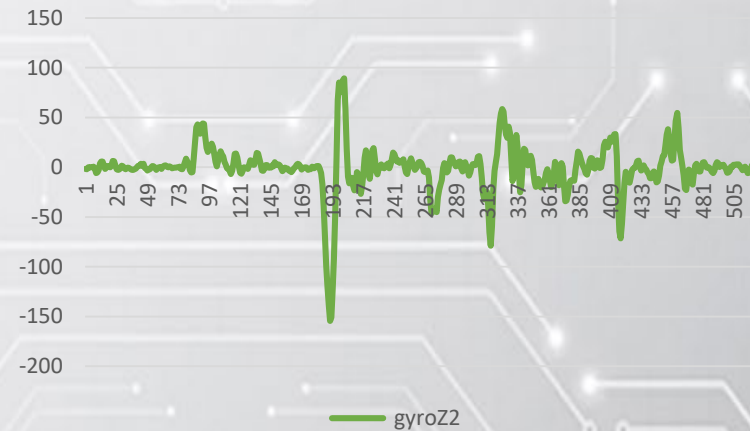
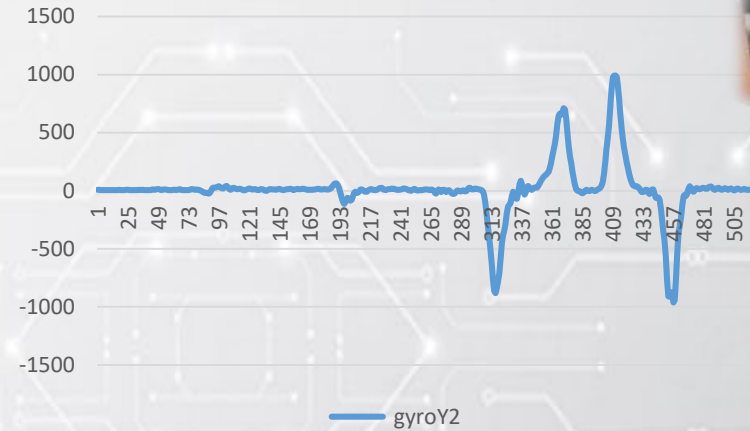
Y軸角
加速度



Z軸角
加速度



Moving Average



Hands ON & Intelligent Time

Any more preprocessing methodology you can do?



Lesson 3.特徵分析



數據分析：探索動作的奧秘

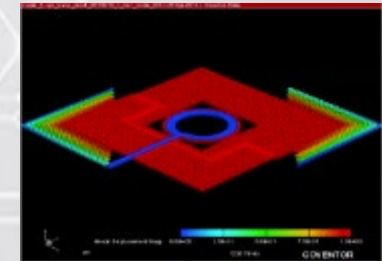
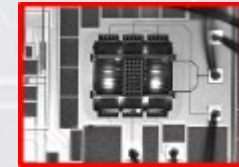
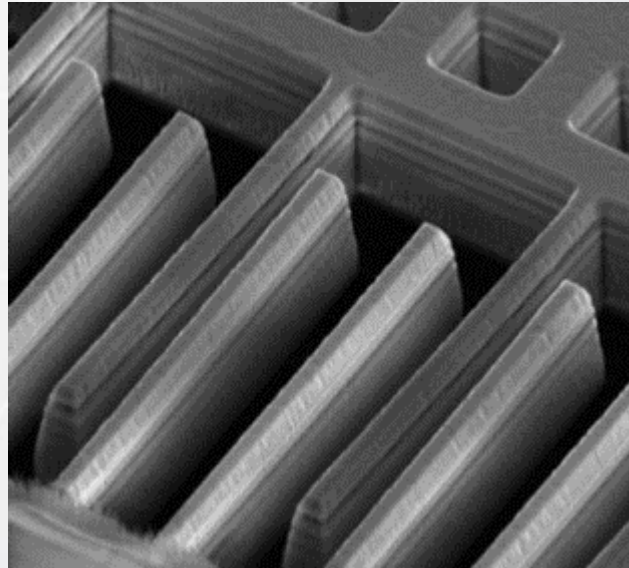
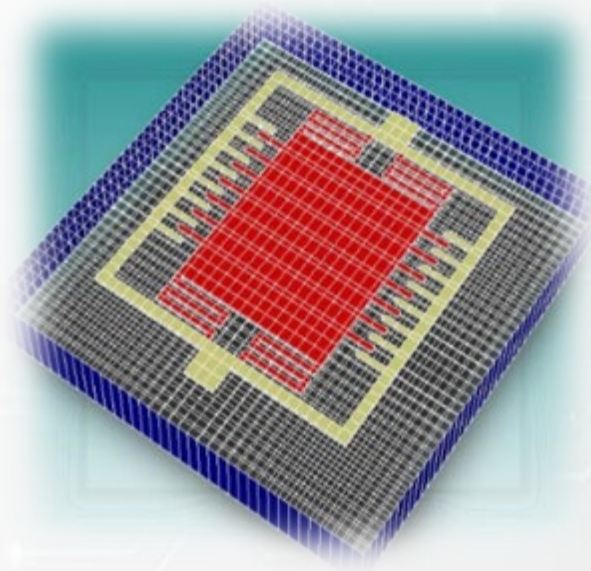
歡迎來到數據分析的世界！今天我們將一起探索動作的奧秘。
透過分析感測器收集的數據，我們將深入了解動作的力學，並
揭開不同的動作風格背後的秘密。

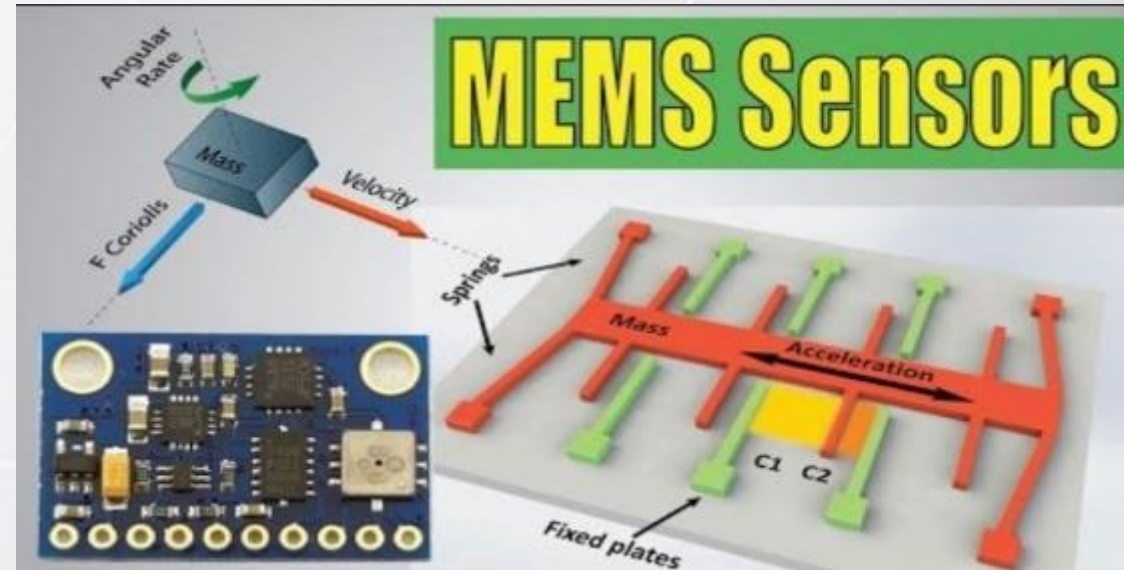
重力感測器數據：揭開動作的奧秘

大家好！歡迎來到重力感測器數據的世界，我們將一起探索動作的秘密！重力感測器可以收集到關於動作動作的精確數據，讓我們更深入地了解動作的過程。



CMOS MEMS 加速度計/陀螺儀





Source:
<https://youtu.be/eqZgxR6eRjo>

動作分析的應用：動作數據的價值



運動表現提升

分析員的動作數據，可以優化他們的動作技術，提高得分效率。



步態分析

通過分析步態數據，可以識別運動員的步態模式，並針對性地進行訓練，避免運動傷害。



康復治療

動作數據可以幫助評估患者的康復進度，制定个性化的治疗方案，促进患者康复。



動作的種類：展現你的動作風格

垂直動作

垂直動作，顧名思義，是向上動作，例如籃球員的灌籃或跳高運動員的動作。

水平動作

水平動作是指向前或向後動作，例如跳遠運動員的動作或跑步中的跨步。

旋轉動作

旋轉動作包含旋轉動作，例如花式跳水中的旋轉或體操運動員的空中翻滾。

數據收集：準備好你的動作數據

1

選擇感測器

首先，你需要選擇合適的重力感測器。例如，三軸加速計可以測量運動方向和速度。

2

放置感測器

將感測器放置在身體的正確位置，例如手腕、腳踝或腰部，以便捕捉到動作的關鍵數據。

3

數據記錄

使用專用軟件或設備，記錄感測器數據。確保記錄頻率足夠高，以捕捉到動作的細節。



數據預處理：讓數據更完美

1

去除噪聲

就像清理房間一樣，我們要把數據中的雜訊去除。雜訊會影響數據分析的準確性，因此去除雜訊非常重要。

2

數據標準化

將數據放在同一尺度上，就像把不同的物品放在一起比較大小，才能更準確地分析數據。

3

處理缺失數據

數據就像拼圖，如果缺少部分，我們需要找到方法把它補起來，才能看到完整的圖像。



時間序列分析：解讀動作的時空

1

理解數據的時間特性

動作數據不是靜態的，而是隨著時間推移而變化的。
。我們要分析這些數據的變化模式，才能了解動作的過程。

2

提取時間序列特徵

就像從照片中找出重要細節一樣，我們要從時間序列中提取出關鍵信息，例如動作的高度、速度和持續時間。

3

尋找動作模式

分析時間序列數據可以幫助我們找到動作中的模式和趨勢，例如起跳、空中飛行和著陸的階段。



Real Case

Asian Cat King - Tang Jiahong 亞洲貓王-唐嘉鴻

- 2018 Jakarta Asian Games Men's Horizontal Bar Gold Medal 2020 Tokyo Olympics Men's All-Around Seventh Place (Second Place in Horizontal Bar Event)
- 2024 Paris Olympics Men's Horizontal Bar Bronze Medal



https://youtu.be/SqeuK_IBry8

檢測動作-直體兩週轉體720落地 Testing Move - Straight Body Two-and-a-Half Twist 720 Landing



上槓
bar mount



準備期
Preparation



大迴環一圈
one full
rotation in a
big circle



分腿正掏一圈
split leg
straight pull
one rotation



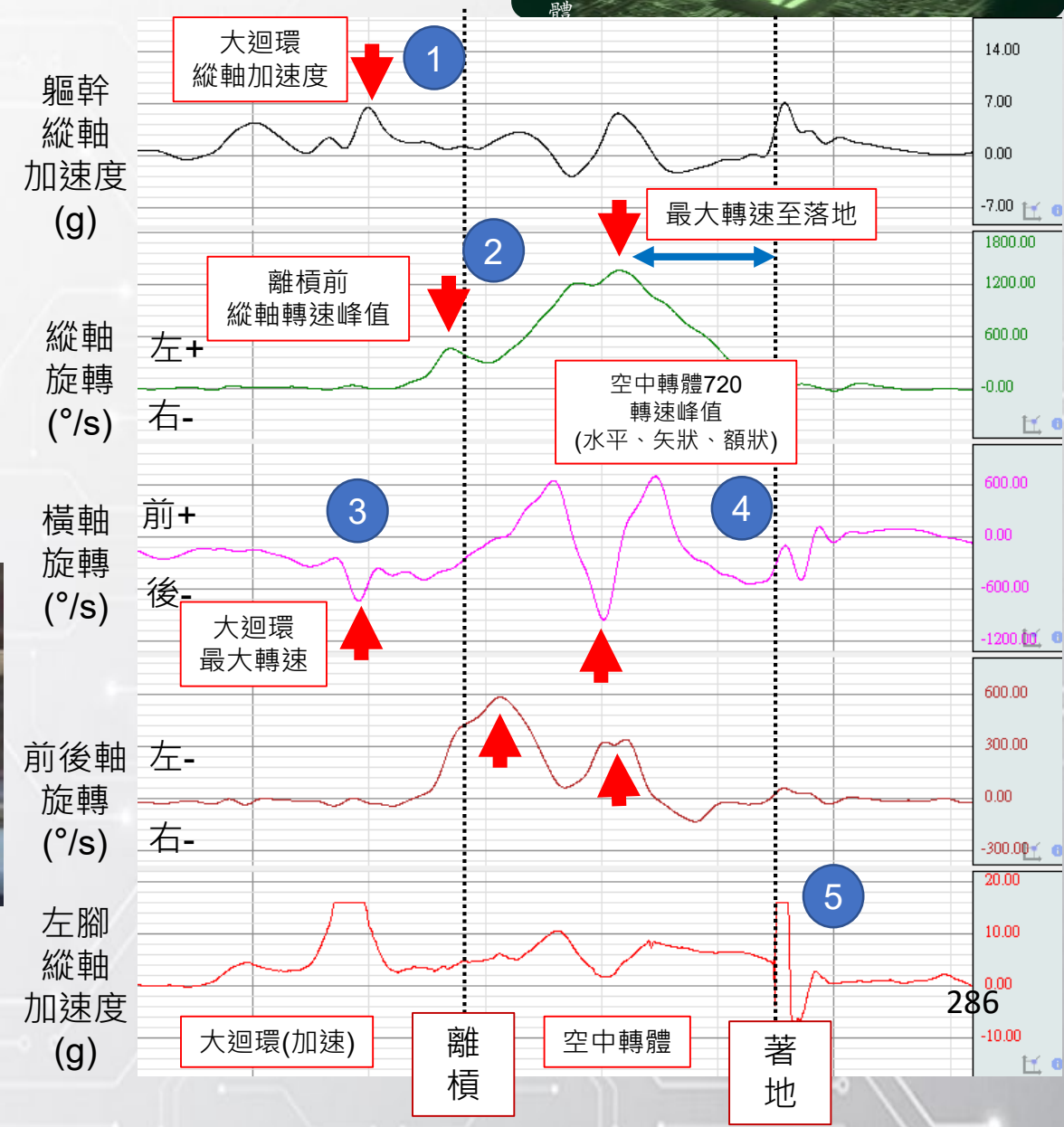
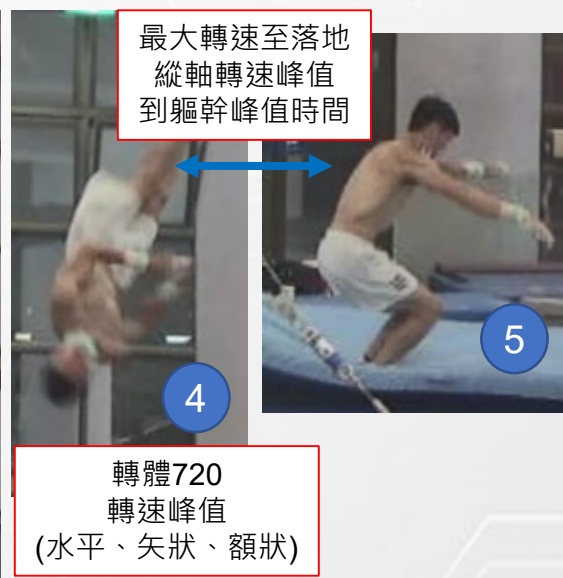
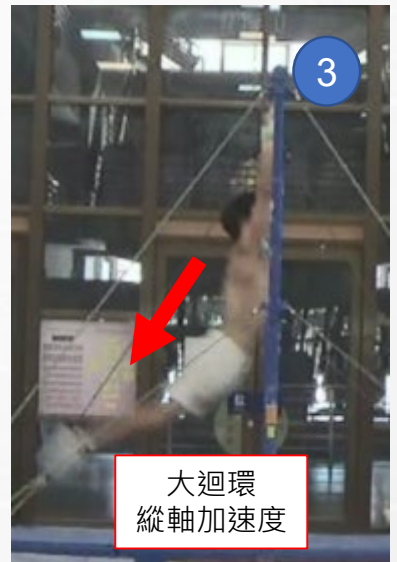
大迴環兩圈
Two full
rotation in a
big circle



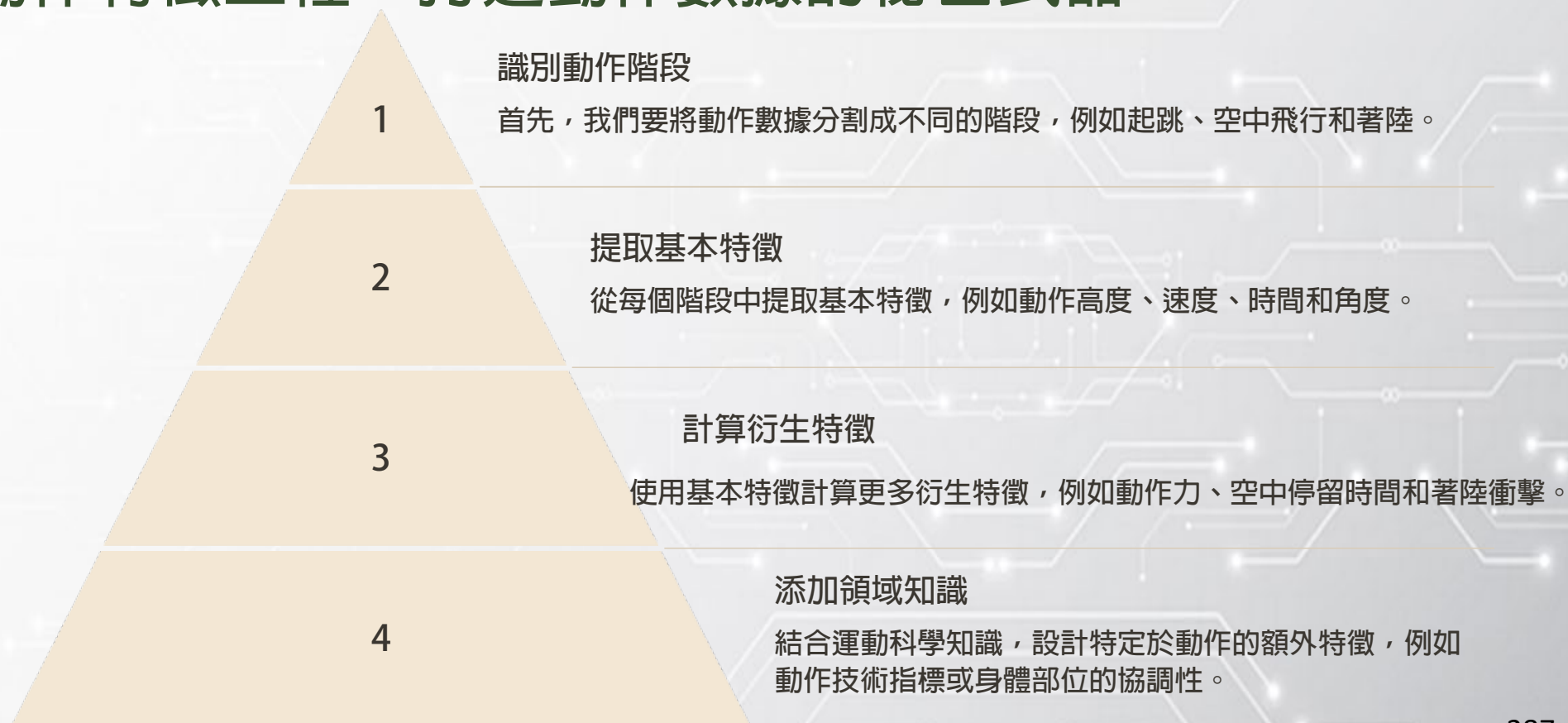
直體兩週轉體720
Straight Body Two-and-
a-Half Twist 720 Landing



Landing



動作特徵工程：打造動作數據的秘密武器



挑選特徵：動作數據的精華

簡化數據

就像整理書包一樣，我們需要從大量的動作數據中挑選出最關鍵的資訊。

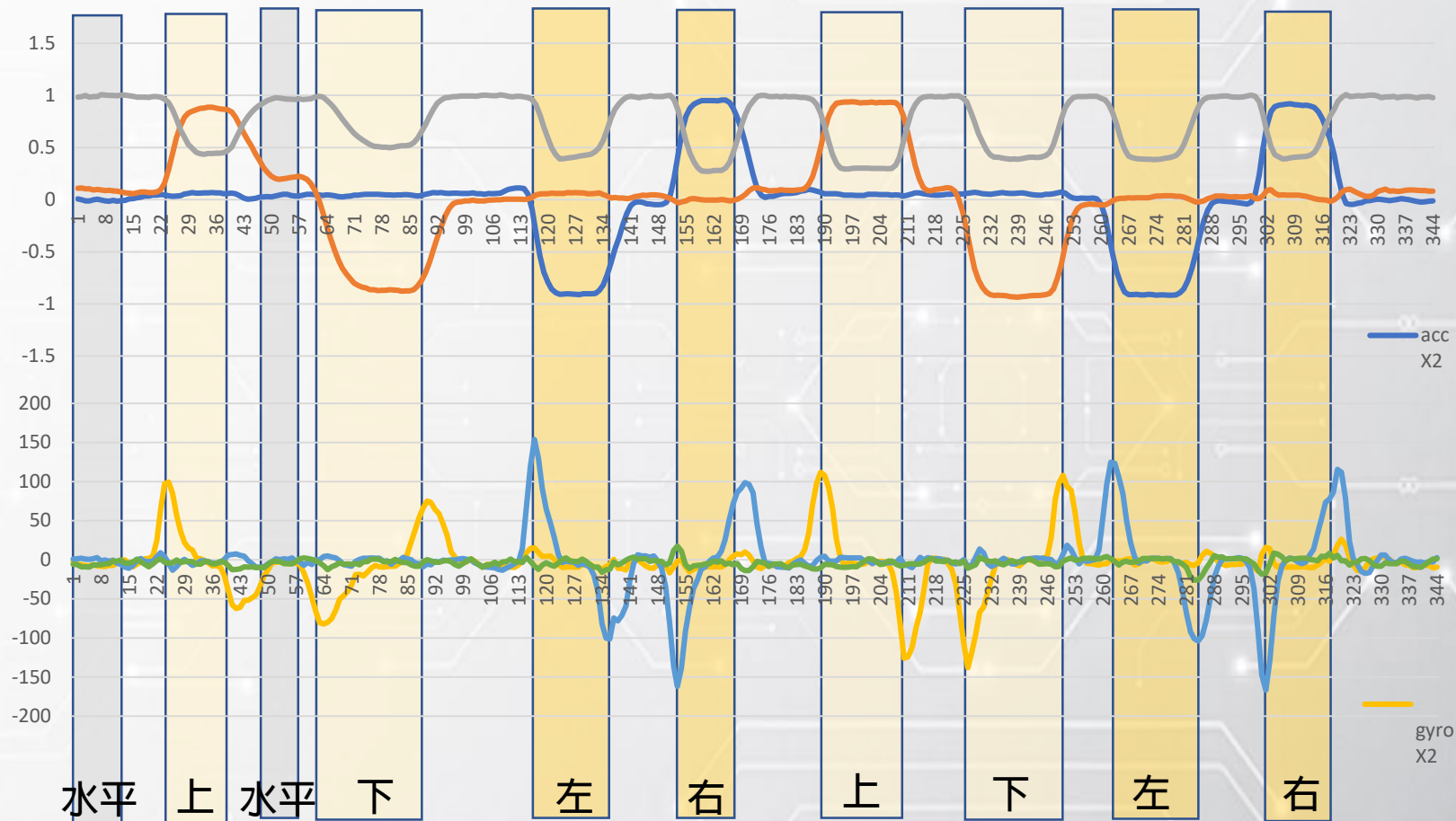
提升準確性

選取相關特徵有助於提升分析的準確性，讓結果更可靠。

避免過度擬合

過多的特徵可能導致模型過度擬合數據，就像一個只記住課本內容的學生，無法應付考試。

實作== 資料分析 (智慧特徵擷取)



加速度資料

角速度資料



數據分析的道德考量：小心謹慎

1

數據隱私

就像保護個人隱私一樣，我們要小心處理動作數據，避免洩露個人信息。

2

避免偏差

我們要確保分析模型公平公正，避免因為數據偏差而產生不公平的結果。

3

負責任的應用

要將數據分析結果用於正面的目的，例如提高運動表現或幫助患者康復，而不是用於歧視或傷害他人。

Hands ON & Intelligent Time!

What is (are) the feature(s) you can find for the four gestures!



Lesson 4. 模型化 讓數據說話

AI 模型的神奇世界：從理論到實踐

歡迎踏入人工智能的奇妙領域！這場旅程將帶您探索機器如何學習思考、分析及預測。

我們將深入淺出地介紹三種經典 AI 模型：決策樹、支持向量機和神經網絡。

常用的模形 1 2 3

1 決策樹

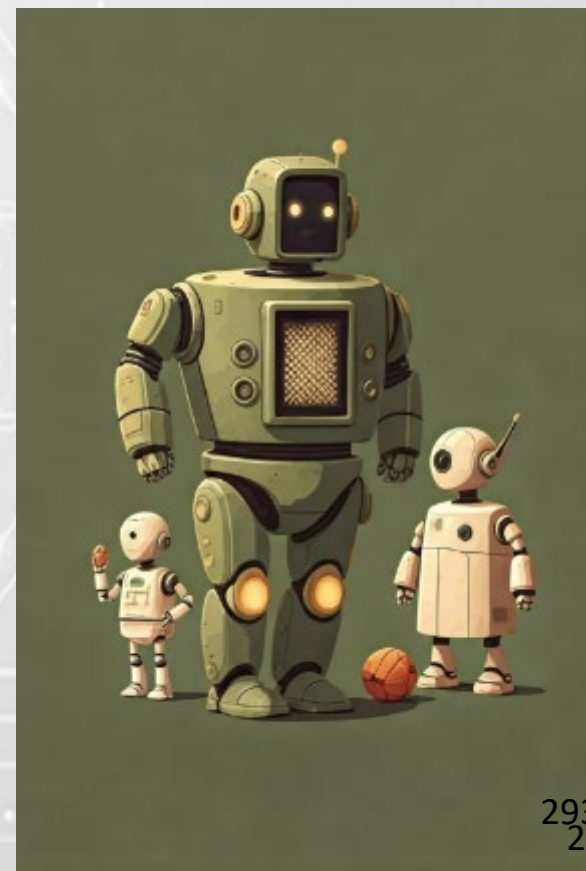
決策樹就像一個選擇遊戲，根據數據特徵一步步做出判斷，最終決定動作的類型。

2 支持向量機

支持向量機則像一個聰明的分類器，它會在數據空間中找到一個最佳的分割線，將不同類型的動作區分開來。

3 神經網絡

神經網絡就像人腦一樣，由許多相互連接的節點組成，可以學習複雜的動作模式，並做出精確的分類。



動作分類的表現評估：數據分析的決勝時刻

準確率 (Accuracy)

準確率就像猜謎遊戲的命中率，它告訴我們模型分類正確的比例有多高。

精確率 (Precision)

精確率就像射箭比賽的命中率，它告訴我們模型預測為某種類型的動作時，有多少是正確的。

召回率 (Recall)

召回率就像搜查犯人的成功率，它告訴我們模型預測了多少正確的動作類型。

什麼是機器學習？

定義

機器學習是人工智能的一個分支，讓電腦能夠從數據中學習規律。它無需明確編程，就能自動改進分析效果。

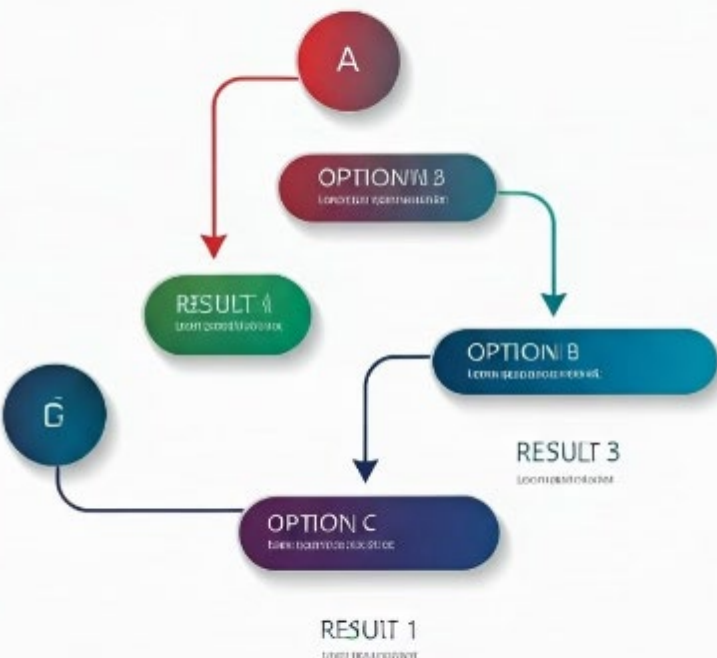
日常應用

- 社交媒體的推薦系統
- 智慧型手機的人臉識別
- 電子郵件的垃圾信息過濾
- 語音助手的語音辨識

學習方式

- 監督式學習
- 非監督式學習
- 強化學習

決策樹：邏輯的樹狀旅程



結構類似真實樹木

根節點代表起始問題，分支代表可能的選項，葉節點是最終決策結果。



模仿人類思考方式

透過一系列是非問題，逐步縮小可能答案範圍。



直觀易懂

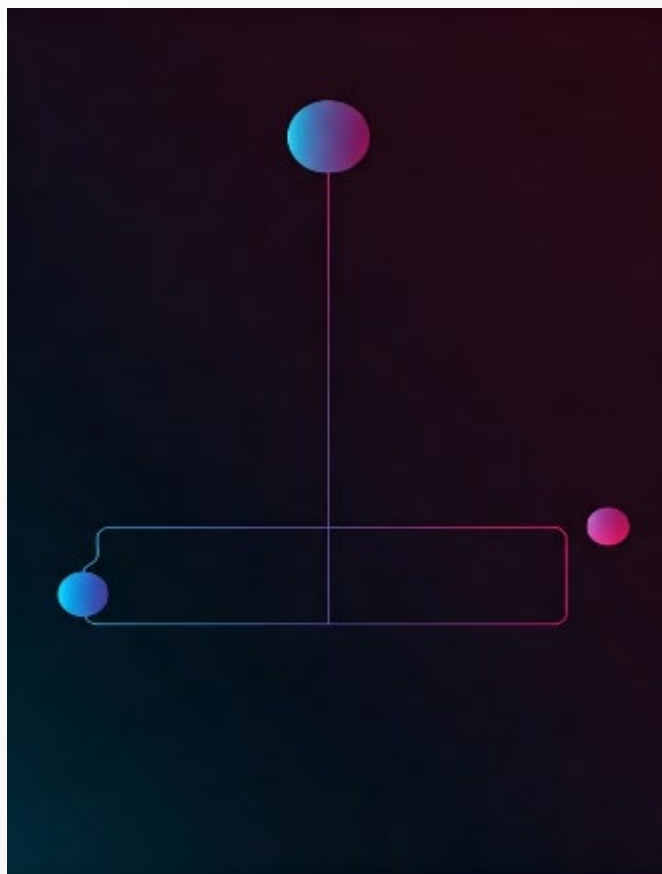
高中生無需深厚數學背景，即可理解決策樹的基本原理。



容易實現

可用簡單程式碼建立，是入門機器學習的理想模型。

決策樹的工作原理



?

特徵選擇

決策樹從最能區分數據的特徵開始提問。

↗ ↘

節點分裂

根據特徵值將數據分成不同組。

↺ ↻ ↷

遞迴建樹

對每個子組重複上述過程，直到達到停止條件。

🍃

葉節點決策

當無法再分裂或達到純度要求時，形成結論。

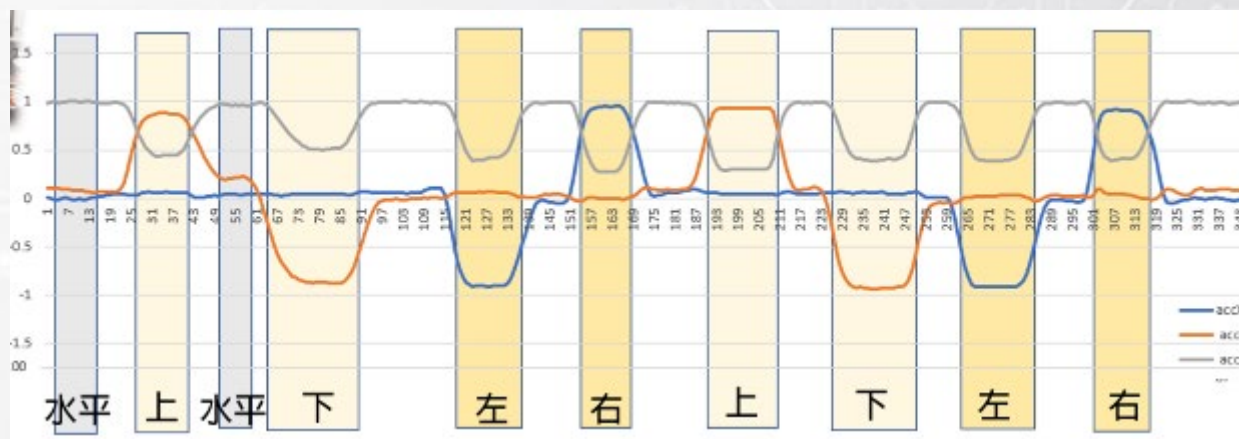
UP

DOWN

模型 !!

RIGHT

LEFT



<https://www.youtube.com/watch?v=AZYomvJMt4M>



模型大致分為機器學習 (Machine Learning)及深度學習(Deep Learning)兩種：
以下介紹三種機器學習模型， 深度學習需要較多數學基礎， 留待後續討論喔！



模型 !!

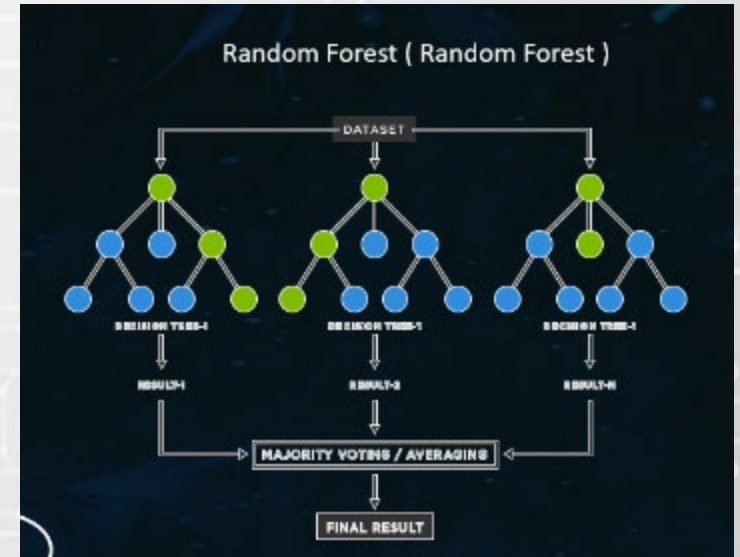
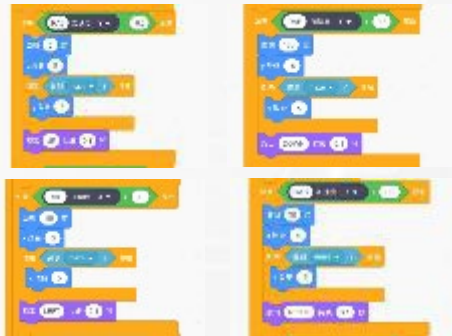
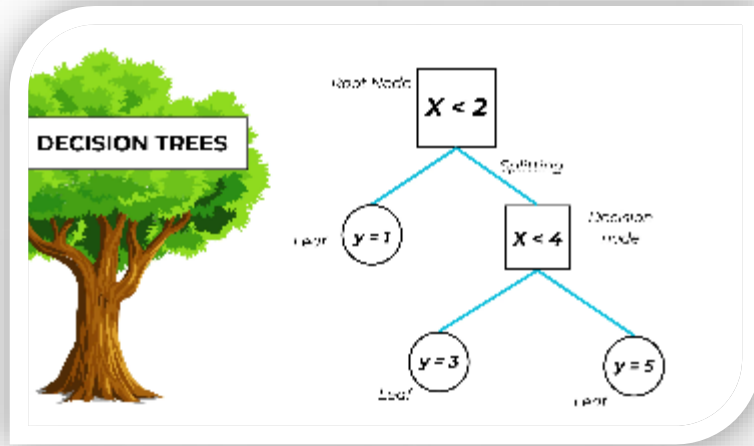
是貓還是狗？



模型 !!

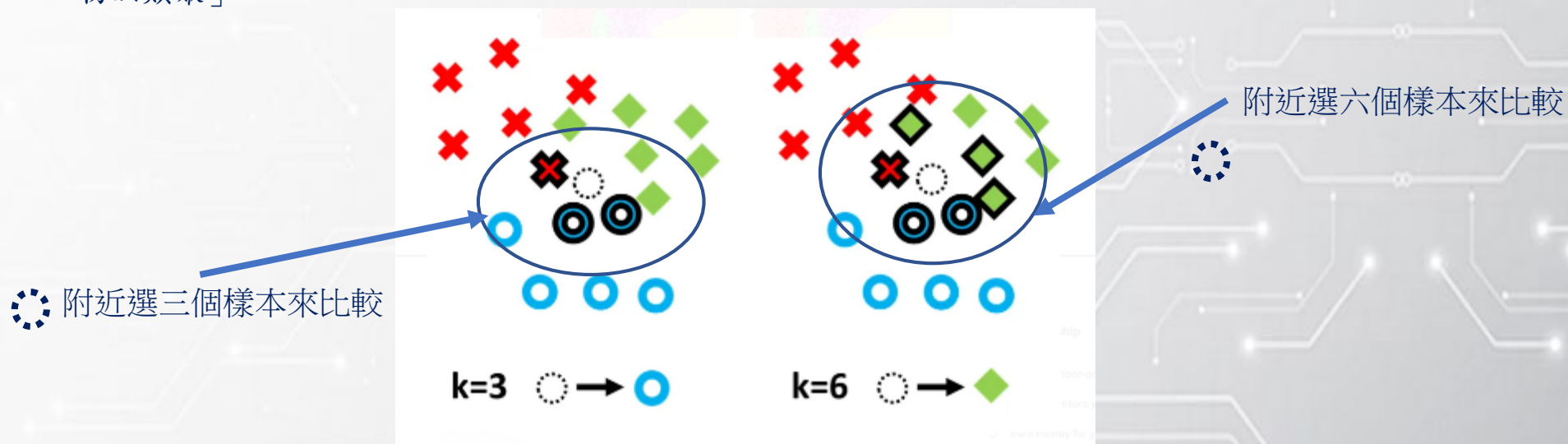
手的動作
上下左右？

決策樹 (Decision Tree)



k-鄰近演算法分類(k-Nearest Neighbor Classification)

kNN分類演算法可以說是機器學習當中，概念最為直觀的演算法，其方式就是當我們在訓練模型時，從我們從訓練集裡面挑到一筆資料後，我們會選離這個資料點最近的k筆資料作為參考，看他們的類別是什麼，然後選出種類最多的類別，即是此資料點的預測類別，也就是所謂的「物以類聚」。



決策樹實際應用

醫療診斷系統

幫助醫生根據症狀和檢測結果進行初步診斷。

- 疾病風險評估
- 治療方案推薦
- 藥物不良反應預測

客戶信用評估

銀行使用決策樹分析貸款申請人的信用風險。

- 信用卡審批
- 房貸資格評估
- 詐欺風險檢測

天氣預測模型

利用氣象數據進行短期天氣變化預測。

- 降雨機率估計
- 溫度變化趨勢
- 極端天氣預警



Hands ON & Intelligent Time

Use Scratch or python to construct your decision tree for gesture recognition.



支持向量機（SVM）：Support Vector Machine 邊界的藝術



線性分類器

最基本的 SVM 在二維空間中尋找最佳分隔線。



超平面分類

在高維空間中，SVM 尋找最佳分隔超平面。



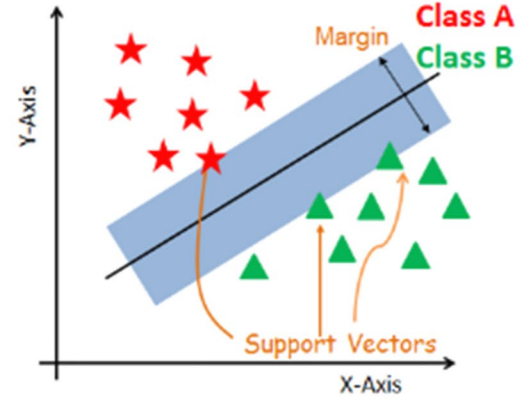
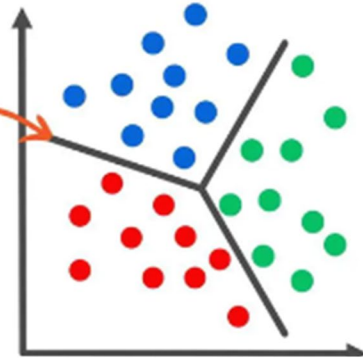
核技巧

通過數學轉換，處理原本無法線性分離的複雜數據。

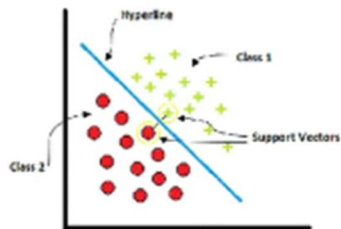


Support Vector Machines (SVM)

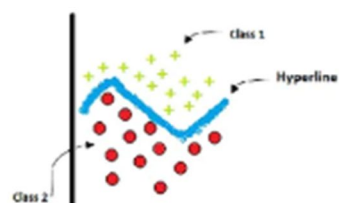
Hyperplanes that Best Separates Different Classes



Linear Classification

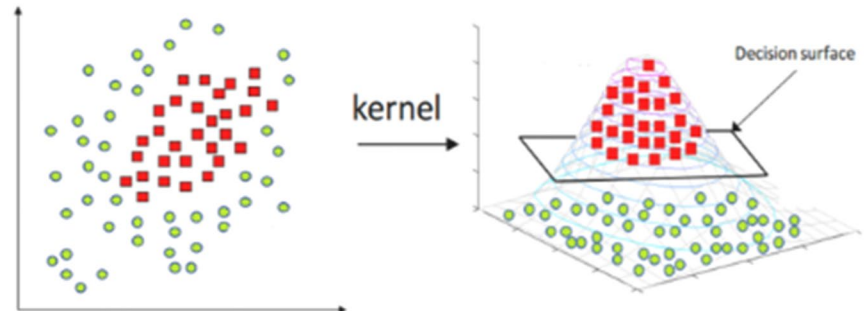


Polynomial Classification

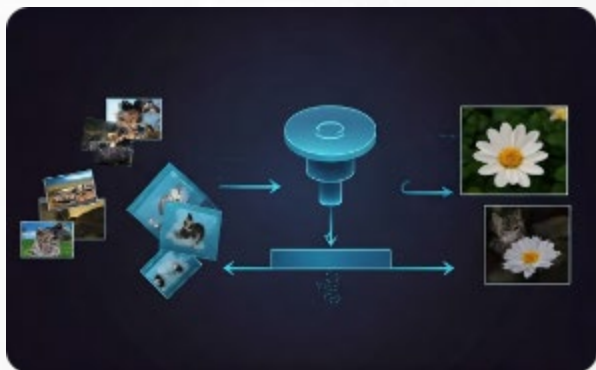


SVM Classification. A photo by Author

kernel



SVM 的實際應用場景



圖像分類

識別照片中的物體、人臉或景物。

醫學影像中用於腫瘤檢測與分類。



文本分類

自動分類新聞、郵件或評論內容。

識別垃圾郵件或有害內容。



生物信息學

預測蛋白質結構與功能。

基因表達數據分析。

神經網絡：大腦啟發的計算模型



神經網絡的設計受人腦結構啟發。透過大量互聯的人工神經元，它能夠學習識別複雜模式。

這是現代深度學習的基礎，支撐了從人臉識別到語言翻譯的眾多突破。

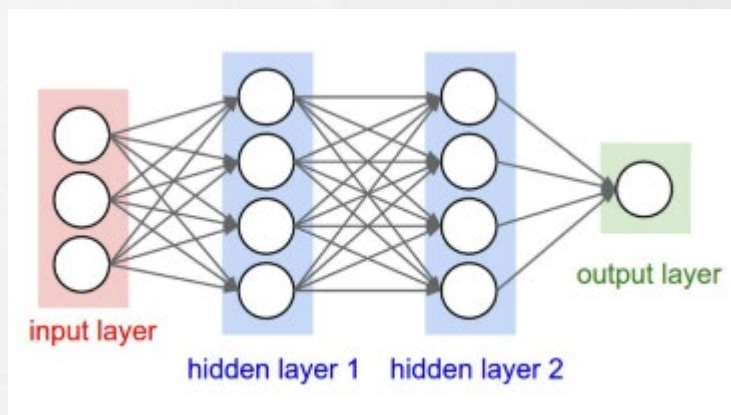
神經網絡的基本結構

連接權重

調節信號強度的參數，是學習的核心

輸入層

接收原始數據的神經元層（如圖像像素或聲音波形）



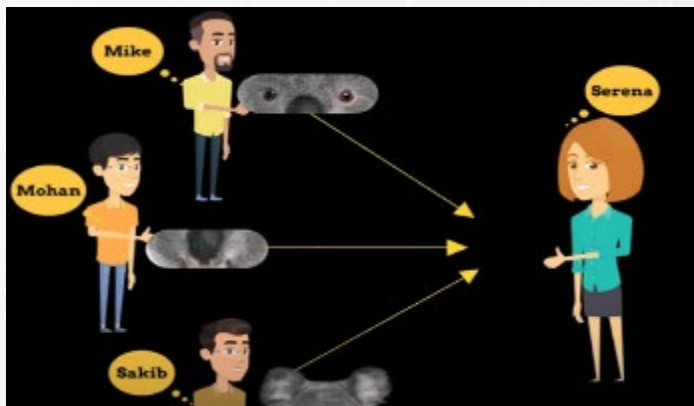
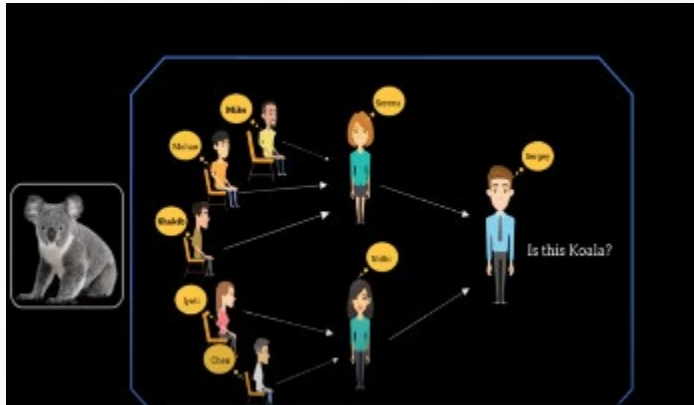
輸出層

產生最終結果
（如分類標籤或預測值）

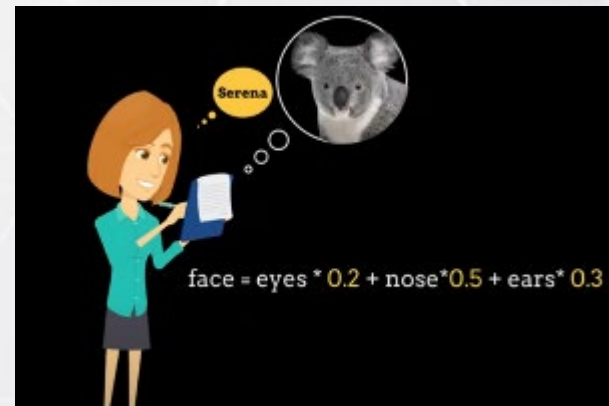
隱藏層

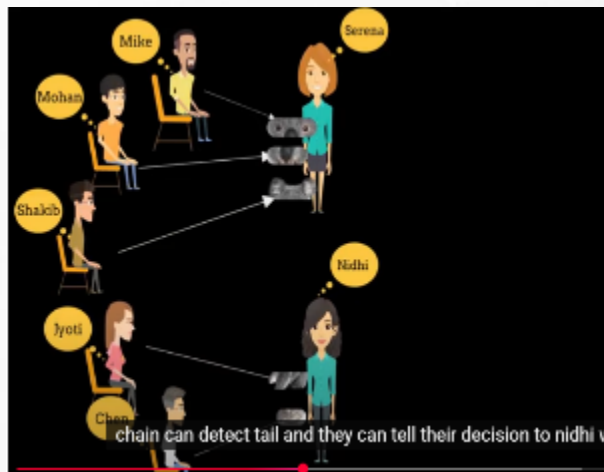
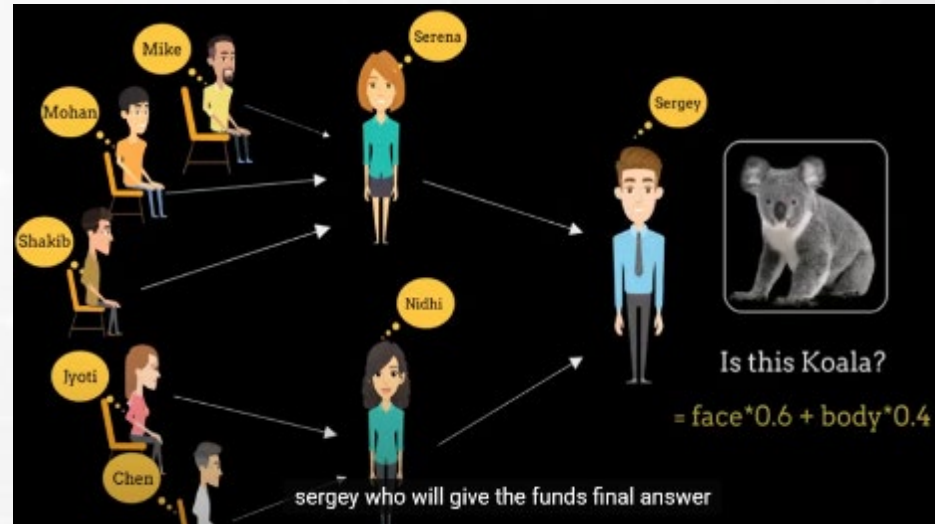
內部處理層，提取數據特徵並進行變換

Koala Example: <https://www.youtube.com/watch?v=ER2It2mlagI>

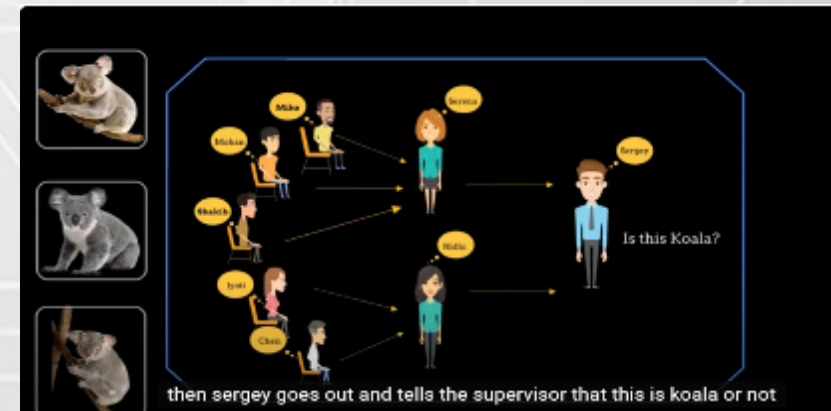


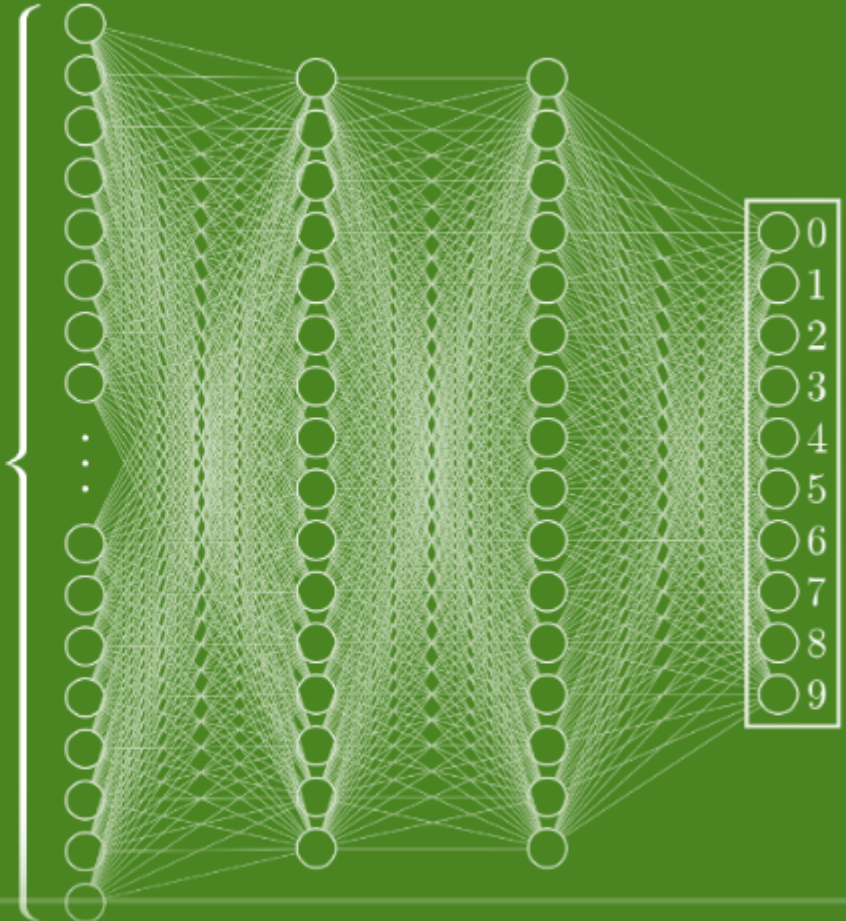
<https://www.youtube.com/watch?v=XxZOBibMTjw> Cancer Example





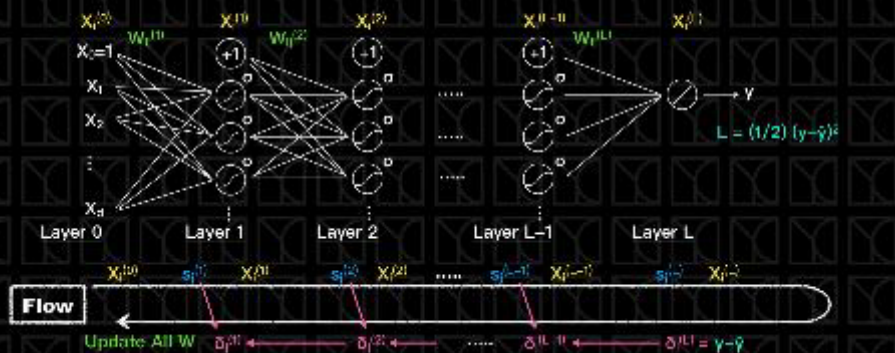
Training with huge Koala photos and to adjust the statistic mathematics for accuracy!





Update: $W_i^{(k)} \leftarrow W_i^{(k-1)} - \eta \times \frac{\partial L}{\partial W_i^{(k)}} = W_i^{(k-1)} - \eta \times \underbrace{\delta_i^{(k)}}_{\text{Backward Pass}} \times \underbrace{X_i^{(k-1)}}_{\text{Forward Pass}}$

where: $\delta_i^{(k)} = \frac{\partial L}{\partial z_i^{(k)}} = \sigma'(z_i^{(k)}) \times \sum_k \delta_k^{(k+1)} \times W_{ki}^{(k+1)}$
 $\delta_j^{(k)} = \sum_i W_{ji}^{(k)} \delta_i^{(k+1)}$



神經網絡的學習過程

前向傳播

數據從輸入層流向輸出層，每層神經元根據權重計算並傳遞信號。

這個過程產生預測結果，用於與真實答案比較。

誤差計算

比較預測結果與實際結果的差異，計算損失函數值。

損失函數反映模型預測的精確度。

反向傳播

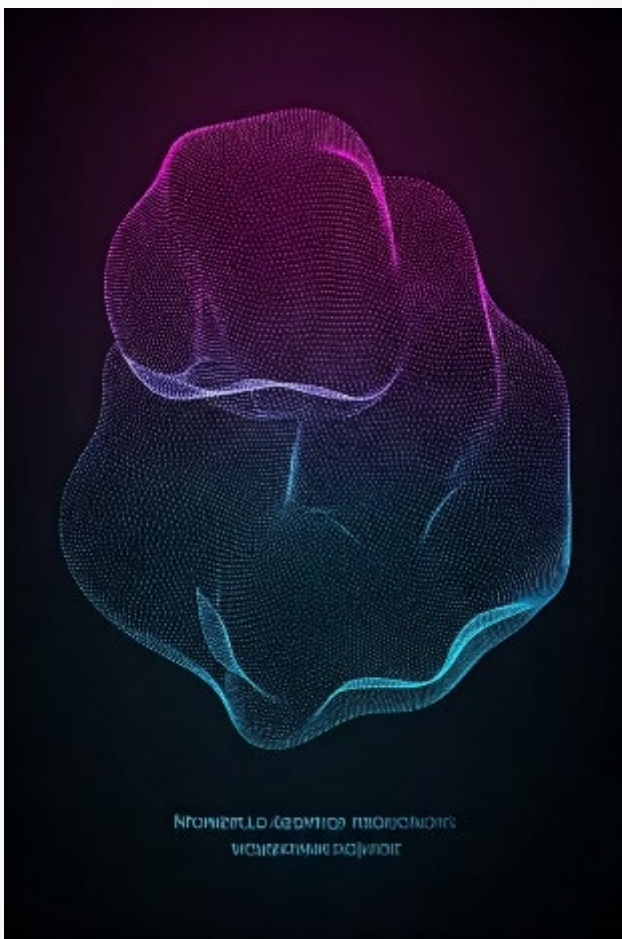
誤差從輸出層反向流回，計算每個權重的貢獻度。

這個過程確定了哪些權重需要調整以減少誤差。

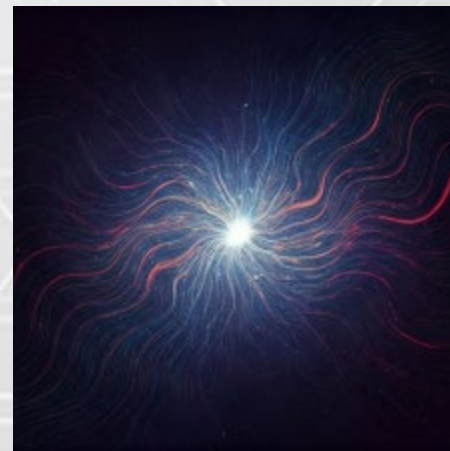
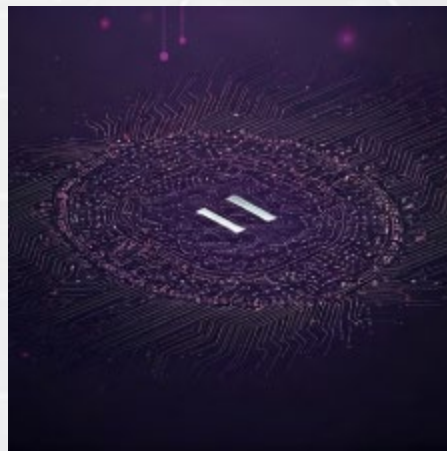
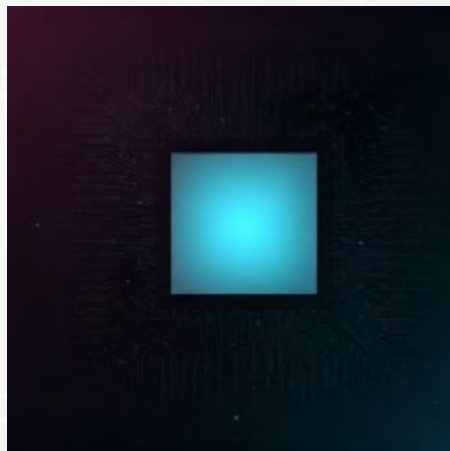
權重更新

根據梯度下降法調整權重，使誤差逐漸減小。

通過大量迭代，網絡逐漸學會正確分類或預測。



深度學習的革命性突破

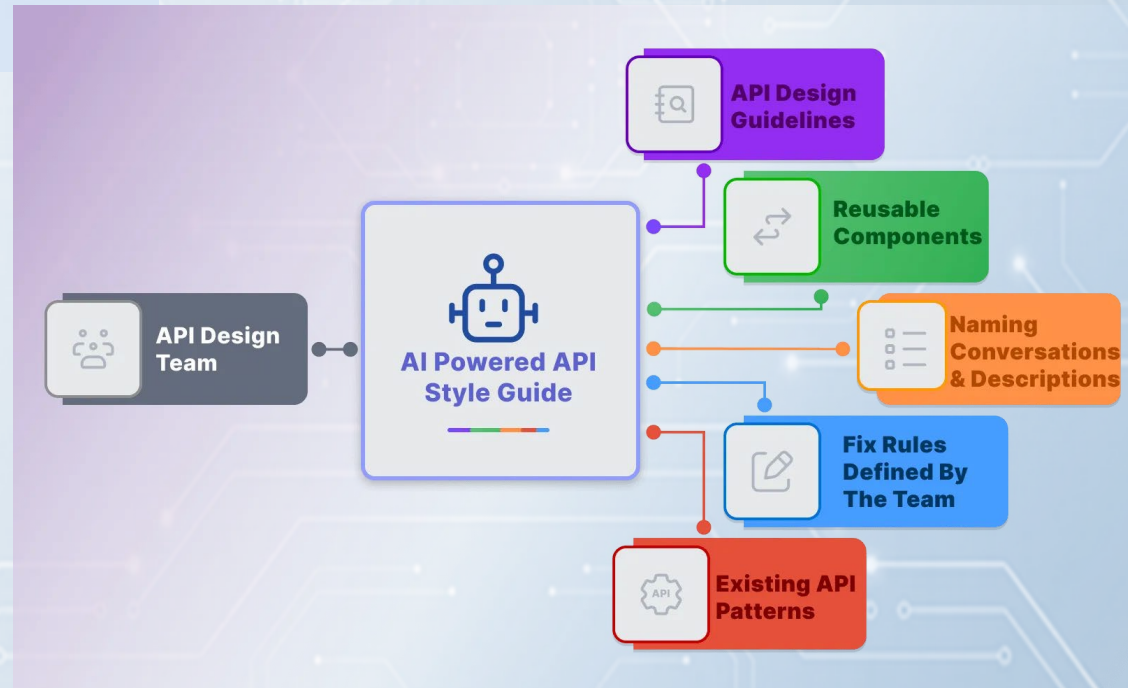
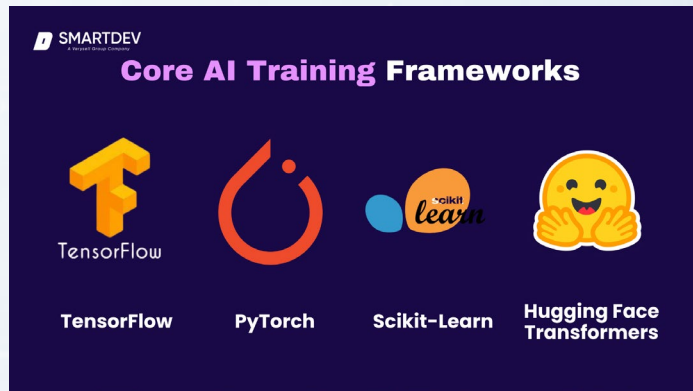
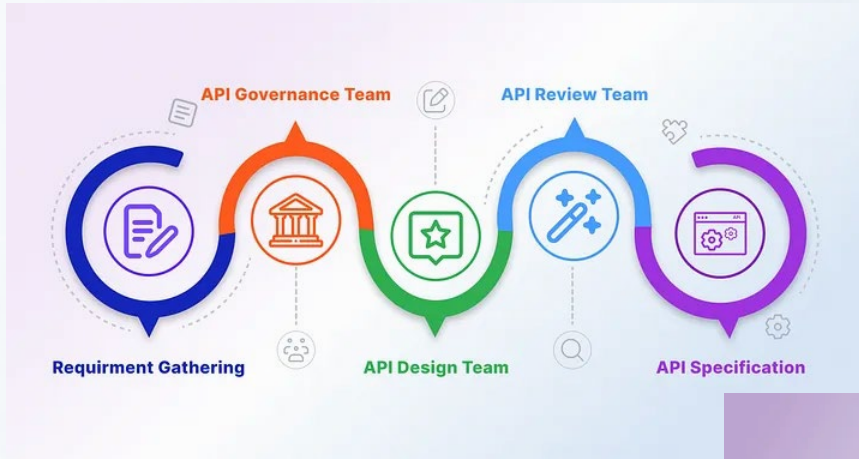


深度學習已在多個領域實現突破。從 AlphaGo 戰勝世界圍棋冠軍，到能夠識別圖像、理解自然語言的系統。

這些進展開創了新的可能性，讓 AI 進入創造性領域，甚至可以生成藝術作品和文學內容。

AI Modeling API

<https://medium.com/@prabathmail/revolutionizing-api-design-with-ai-driven-solutions-d8d7e3a7a7a4>





三大模型的比較

模型	優點	缺點	適用場景
決策樹	易於理解和解釋	容易過度擬合	分類問題、規則推導
SVM	高精度、處理高維數據	訓練慢、參數調整複雜	文本分類、生物信息學
神經網絡	強大的模式識別能力	需要大量數據、計算資源	圖像識別、語音處理

AI 模型的局限性

數據依賴性

AI 模型的性能高度依賴於訓練數據的質量和數量。

數據不足或有偏見時，模型表現會大幅下降。



解釋性挑戰

複雜模型難以解釋為何做出特定決策。

這限制了它們在醫療等需要高透明度領域的應用。



泛化能力

模型常難以適應與訓練數據不同的新情境。

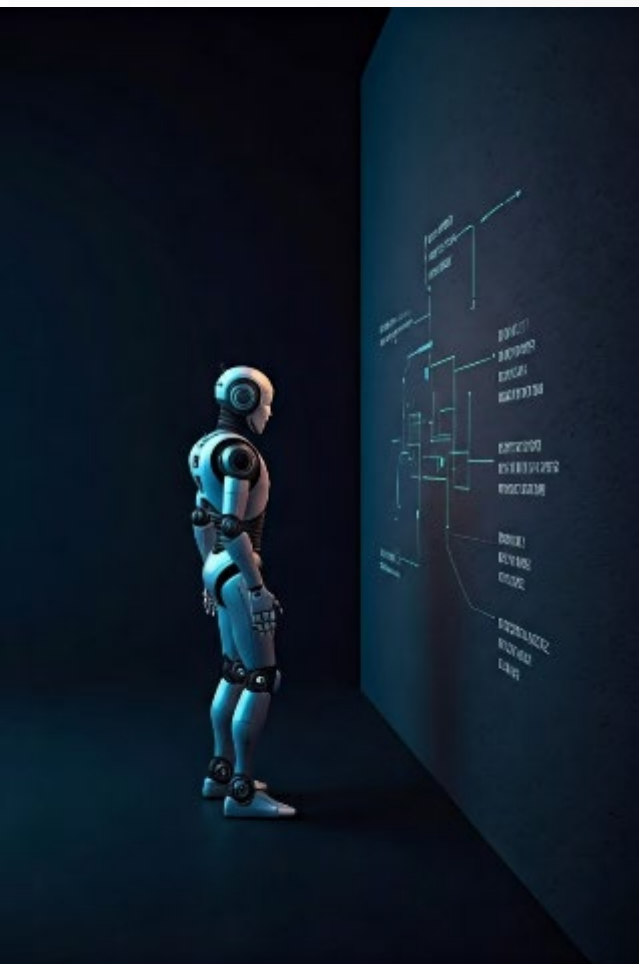
缺乏人類的常識和適應性思維。



計算資源需求

高級 AI 模型需要大量計算力和能源消耗。

這導致環境成本和使用門檻提高。



如何開始學習機器學習

基礎知識

- 線性代數基礎
- 概率與統計
- Python 程式設計

建議先掌握高中數學中的矩陣運算和概率知識。

實踐專案

- 圖像分類入門
- 簡單預測模型
- 聊天機器人

動手實踐是最有效的學習方式。

未來的 AI 發展趨勢

1.3M

全球 AI 人才需求

預計 2025 年全球人工智能相關職位空缺數量

8.3T

經濟影響

人工智能預計到 2030 年為全球經濟貢獻的美元價值

70%

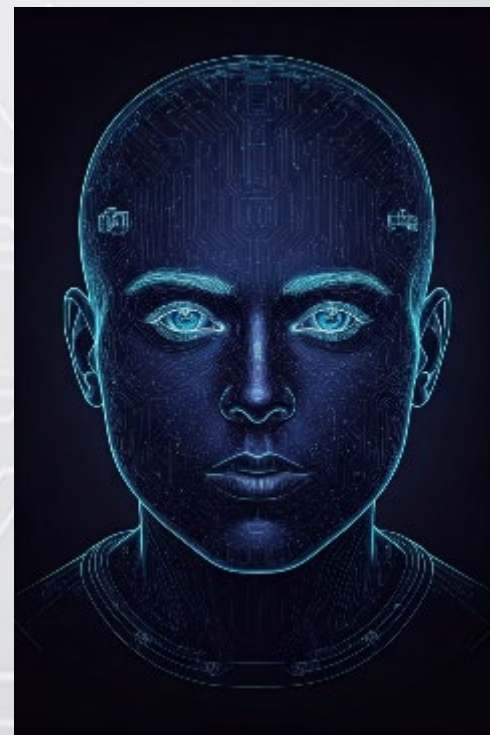
採用率

預計 2025 年採用 AI 技術的企業比例

100+

新興領域

AI 將創造或顯著改變的行業數量



APPENDIX

主要發現

穿戴式重力感測器與 AI 的未來

挑戰與未來方向

雖然模型表現出色

經過深入的分析和優化，我們成功開發了一個精準且高效的動作偵測模型！

這個模型能夠有效地識別動作動作，並展現出優異的性能，但仍有一些挑戰需要克服，例如如何進一步減少誤判和漏判。

穿戴式重力感測器是一種新興技術，它能夠測量人體的動作和位置。結合人工智慧 (AI) 的力量，這些感測器可以提供有價值的見解，改變醫療保健、健身和日常生活。

未來我們可以繼續研究更先進的機器學習技術，探索更精密的感測器數據，以及整合使用者回饋，使模型更加完善！

真實世界中的重力感測挑戰

1

移動干擾

當人體移動時，感測器會受到其他動作的影響，例如風吹或人體晃動，這會影響重力數據的準確性。

2

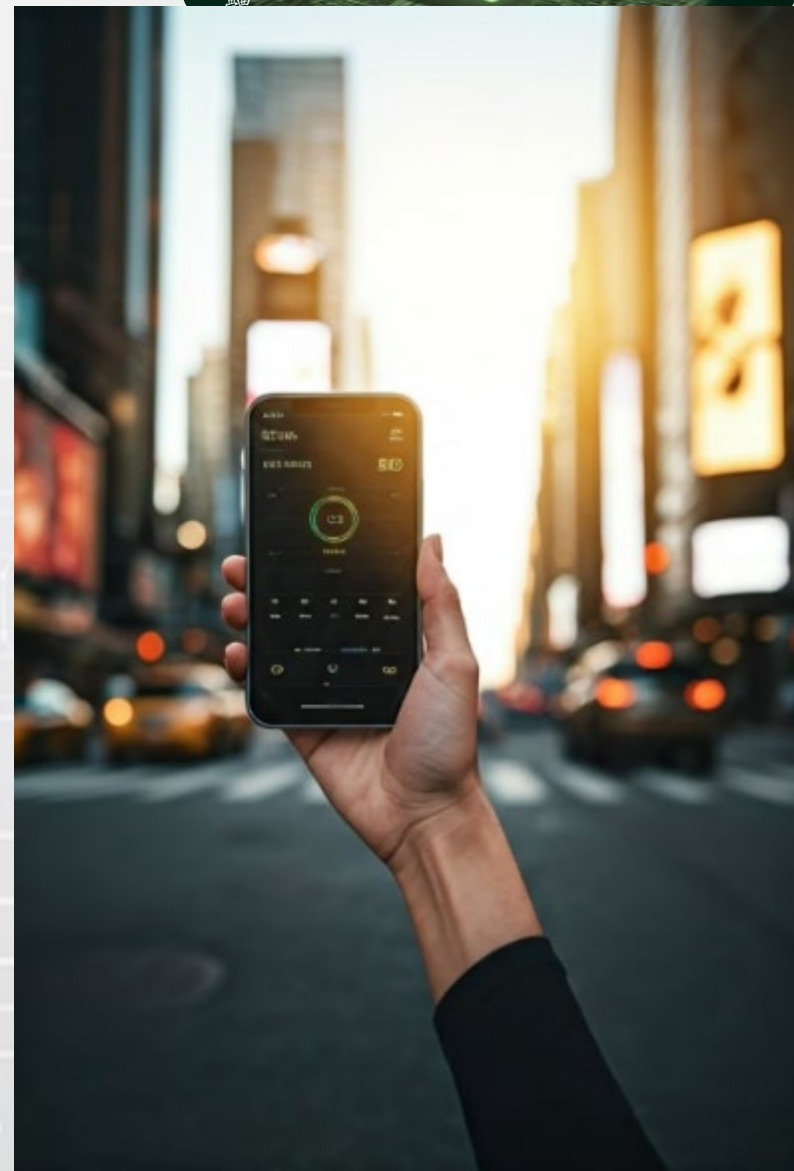
環境噪音

周圍環境的噪音，例如交通工具或機械，也會干擾感測器的測量結果，影響數據的準確度。

3

感測器位置

感測器的位置也會影響測量的準確性。例如，如果感測器放在手腕上，它可能會受到手的動作的影響。



穿戴式重力感測器的應用



醫療保健

例如，偵測跌倒、監控步態，甚至幫助診斷某些疾病。



健身

追蹤運動表現，優化訓練，甚至幫助預防運動傷害。

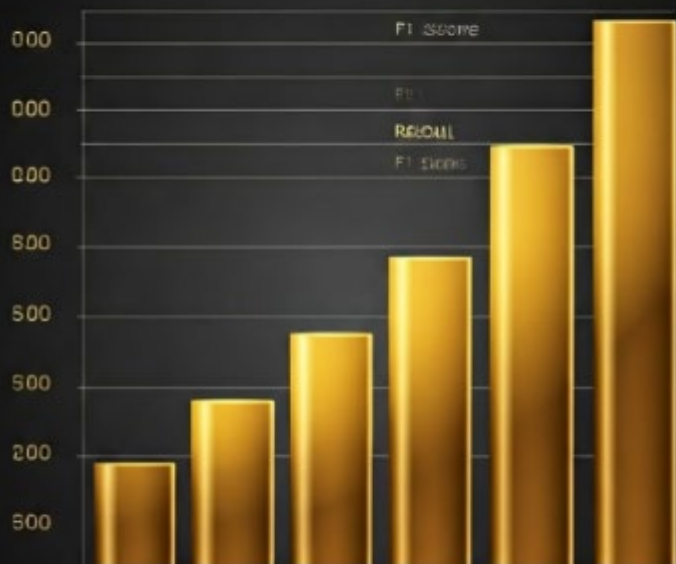


職業安全

評估工作場所的風險，分析工作者的姿勢，以減少職業傷害。



評估 AI 模型的表現



85%

準確率

模型正確預測結果的百分比，例如準確識別跌倒事件。

90%

精確度

模型預測為正面的結果中，實際為正面的比例，例如模型判斷為跌倒的事件中，真正是跌倒的百分比。

80%

召回率

模型正確預測出所有正面的結果的比例，例如模型識別出所有跌倒事件的比例。

0.85

F1 分數

衡量精確度和召回率的綜合指標，高 F1 分數表示模型性能良好。

穿戴式重力感測器與 AI 的未來展望



更小的感測器

隨著科技的進步，感測器將變得更小巧，更加舒適和隱形，方便穿戴在各種地方。



虛擬實境與擴增實境

感測器將整合到虛擬實境和擴增實境技術中，創造更身臨其境的體驗和新的應用。



智慧型裝置整合

感測器將與其他智慧型裝置，例如智慧型手錶和健身追蹤器，整合在一起，提供更全面的健康和生活資訊。

AI 驅動的重力感測器實例



AI 驅動的重力感測器已經應用在各種領域，從醫療保健到健身和安全。這些實例顯示了 AI 如何提升這些領域的效率和效益。

穿戴式重力感測器與 AI 的未來

持續創新

穿戴式感測器技術不斷發展，未來將更加精準、小型化，並擁有更多功能。

更多應用

AI 技術將拓展到更多領域，例如虛擬實境、擴增實境，甚至智慧城市。

個人化醫療保健

AI 驅動的重力感測器將提供個人化的健康資訊和建議，促進健康和預防疾病。

Rabboni 小老師時間

過去現在&未來



1

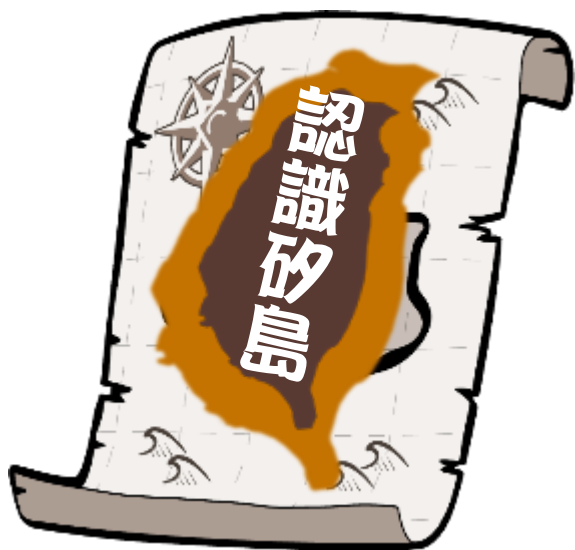
<https://www.youtube.com/watch?v=uz7SCnotgNM>

2

<https://knowledge.naimei.com.tw/posts/62a9adfef725b9db5c0cae54>

3

<https://www.youtube.com/watch?v=3ftsfZYS4xl>



References & Co-authors

- 認識半導體: 半導體材料篇 國立陽明交通大學 電機工程系 蘇啓宏
- 國小半導體教材 國立陽明交通大學 資訊工程系 邵筱廷
- 應用半導體元件篇 陽明交通大學百川學士學位學程 翁麗郡
- 走近Gate：數位邏輯閘 國立陽明交通大學電機工程學系 許配慈
- 躍進半導體: 製程篇 國立陽明交通大學電機系 范均緯
- 走近IC：積體電路元件篇^[SEP] 國立陽明交通大學電機系 莊勝傑
- 走近Gate：數位邏輯閘 國立陽明交通大學電機系 許配慈
- 走近EDA: 積體電路設計流程 國立陽明交通大學電機系 林亞倫
- 走近VLSI - 處理器篇國立 陽明交通大學電機系 林芮羽
- 處理器應用實作 (Linkit7697 聯發科設計) 矽導研究中心 余成斌研究助
- 用樂高積木介紹半導體製程 國立陽明交通大學資管所 林志威
- 沙子到黃金 ——一個電晶體的誕生 鍊金術師：新竹女中翁宥縈、郭芯妤、
- 國立陽明交通大學 電子研究所教授 溫瓊岸 編輯整理







<https://udn.com/news/story/7314/8369051>

近日教育部政次葉丙成在「因材施教：成就每個孩子」國際研討會中表示，「因材施教」仍太權威，宜改成「因趣導學」，讓孩子有自主學習能力。教育部官員到教育的研討會批評題目不好、要改，恐怕是史上頭一遭吧？

所謂「因材施教」，根據教育部成語典，係指教育者必須依據受教者不同的資材，給予不同的教導。它源自宋朝程頤所言：「孔子教人，各因其材。」這是由於孔子將三千弟子分為德行、言語、政事、文學等四科，乃根據其資質與能力。幾百年來，「因材施教」一直被視作教育的基本原則，甚至到了21世紀的今天，都還歷久彌新，從來就沒聽過有人批評這個理念「權威」。到底「太權威」之說從何而來？

也許是因為教改很強調「自主學習」、「以學生為主體」，而認為「因材施教」係從教師的立場出發，是教師本位主義，帶有一種由上而下的權威感吧？不過，孔子的時代並沒有強制性的義務教育，跟從他的弟子們，全部都是自主學習的。翻開《論語》，處處可見弟子提問、孔子回答。孔子循循善誘，鼓勵學生們思辨，哪段師生對話不符合葉次長的「因趣導學」？反過來看，「因趣導學」難道就不是從教師的立場出發，就不權威了嗎？

若要細究這兩種觀念的差別，其實不在自主與否或誰是主體，而在因「材」或因「趣」，前者指的是學生的能力，後者是興趣，理論上缺一不可。所謂工作應該「擇你所愛，愛你所擇」，**重點在興趣**，可是若能力難以勝任，再喜歡的工作也會磨到失去熱忱。舉例來說，很少人不喜歡觀察星星、月亮，對天文學感興趣的人多如牛毛，但具備研究天文的「材」的人卻很少，因為它涉及物理、數學等深入的學問，以及複雜的計算，所以光有興趣並不夠，還得具備研究的能力。

教改的主導者多為大學教授，他們要求中小學老師要**減低知識量，讓學生自己去探索知識**。假如孩子們從小就養成研究的精神，最好不過，但並非每個學童都像碩博士生一樣，具備研究的潛能或興趣。那些成年的研究生，個個皆曾歷經苦讀的過程，才得以激盪出不同層次的疑問。青少年們若吸收的知識不足，什麼都不知道，又要怎麼發展問題意識？何況很多人上學只想習得一技之長以求生存。對於那些不喜歡做研究的孩子們，教改專家們是不是也應該尊重他們的選擇？

如今真正太權威的，絕非因材施教這個理念，而是陳義過高的108課綱，強迫中小學師生們用研究生的模式教與學，連教授自己都做不到跨領域，卻要中小學教育遵照這個標準。無怪乎最近民間教育團體主張廢除108課綱，理由是它導致學生基礎變弱。這並非毫無根據，因為台大、清大發現，適用108課綱第一屆學生進到大學的平均成績，已經跌落9%到20%了。



Rabboni vs. Scratch

Rabboni”是希伯來語，意為“大師”。它利用台積電生產的集成電路，通過台灣的半導體產業鏈來完成人機界面，並結合應用軟體的設計和製造。提供感測應用之軟硬體平台。

Rabboni（慣性測量模組）自2021年起開始推廣兒童編程，與國立陽明交通大學的USR計劃及台積電慈善基金會合作，並獲得Scratch團隊的協助。在Scratch這個充滿活力的數位空間中，台灣半導體產業設計和製造的感測器設備的整合為學習體驗增添了更多色彩。同時，Rabboni和Scratch攜手創建K12半導體教育，讓複雜的知識和技術變得觸手可及，讓孩子們能夠探索半導體世界的創造力和藝術性。未來，這將使他們能夠在各行各業中利用半導體的力量，為人類帶來更美好的生活。



Scratch是一個充滿活力的數位空間，讓來自各個領域的孩子們積極參與，成為技術的創造者和問題解決者。Scratch由麻省理工學院媒體實驗室的Mitchel Resnick教授及其終身幼兒園團隊於2007年設計，根植於數十年的教育研究。2019年，Scratch從麻省理工學院轉型為一個獨立的組織，稱為Scratch基金會。

From <https://www.scratchfoundation.org/our-story>

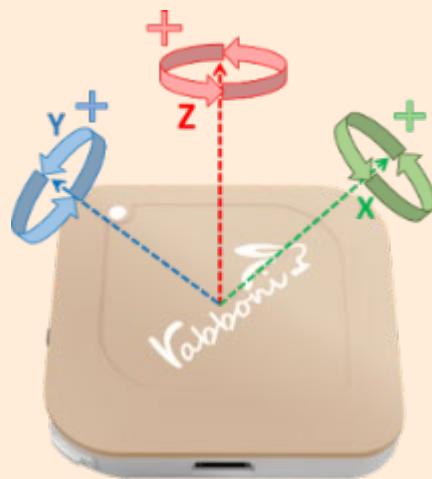
IOT: Internet of Things/ IMU: Inertial Measurement Unit

IMU:

加速度 (Accelerometer)

角速度 (Gyro)

磁力計 (Magnetometer)



Sensing Parameters & Axis

感測參數及軸向介紹

- Line Axis: X/Y/Z 加速度 (Acceleration)
- Ring Axis : X/Y/Z 角速度 (Gyro)

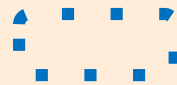
Gyro Full Scale Range	Gyro Sensitivity	Accel Full Scale Range
(°/sec)	(LSB/°/sec)	(g)
±250	65.5	±2
±500	32.8	±4
±1000	16.4	±8
±2000	8.2	±16

SENSORS *will be everywhere !!!!*

What is IMU ? Rabboni is an IMU.

Inertial Measurement Unit

慣性的



Accelerometer 加速規

Measurement of Motion (Acceleration)

== → Measurement of the change in velocity over a unit of time.

Gyroscope 陀螺儀

Measurement of Rotation (Angular Velocity)

→ Measurement of the change in angle over a unit of time.

GeoMagnetic 地磁儀

Measurement of Earth's Magnetic Direction and Intensity == > Can be used for orientation.

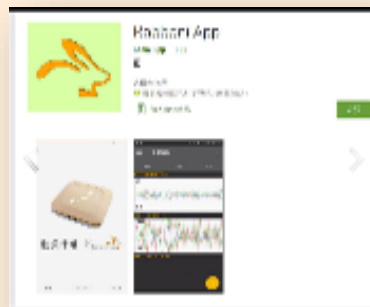


Rabboni is not just a device, It's a platform.



**IMU
BLE
USB**

Data Extractor
[重力感測數據擷取]



API [應用程式介面]

- Android** • Scratch
- iOS** • Python
- Windows** • App Inventor
- Unity

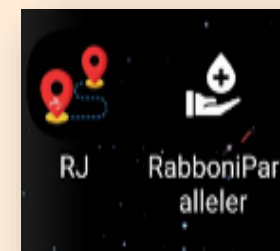
AI Algorithm [演算法開發]

- Motion Detection • 行動偵測
- Pose Detection • 姿態偵測
- Data Analysis • 數據分析
- Signal Analysis • 訊號分析

AIoT [應用程式]

- Sports • Phone
- Health • Pad
- Gaming • NB
- Education • Raspberry Pie

IoT [物聯/雲端介面]





The γ abboni is equipped with a built-in six-axis gravity sensor (IMU: Inertial Measurement Unit), BLE Bluetooth transmission, and processing components. It can transmit sensor readings in real-time and provides sampling frequency and dynamic range. It is also equipped with an LED light to indicate the operating status of the rabboni and display battery level.

- γ abboni內建六軸重力感測器 (IMU: Initial Measurement Unit)、BLE藍芽傳輸及運算元件
- 可即時傳輸感測讀值並提供取樣頻率及動態範圍
- 配有LED燈，指示rabboni運作狀態及電量顯示

電池容量 充電方式	120mAh 鋰離子充電電池 USB mini 充電
無線傳輸	Bluetooth 4.0 BLE
充電時間	30分鐘
待機時間	5天 (電源開關鍵OFF)
連續使用時間	8 小時
支援作業系統	藍芽：Android USB：系統Windows 7以上

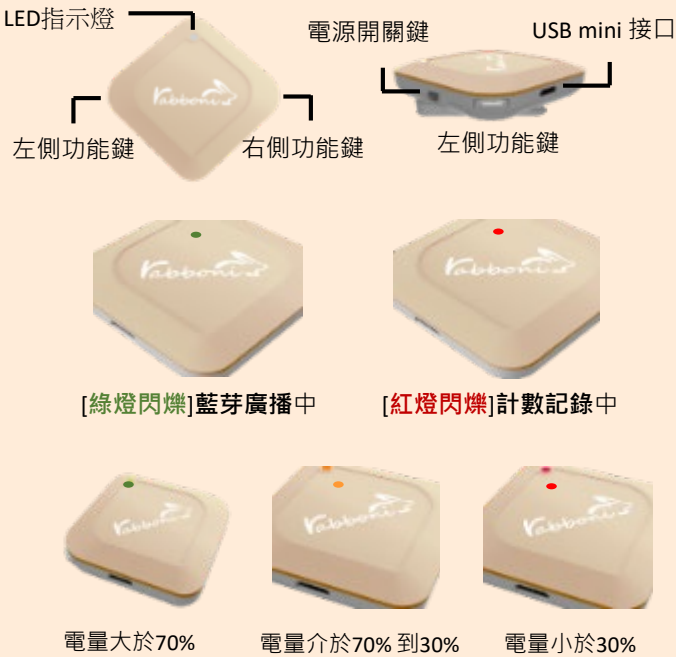


<https://youtu.be/72amsJdpRak>



配件介紹

電源開關鍵	單刀開關	On/off 標示
左側功能鍵	(短按1秒)	計數紀錄開始與結束(LED紅燈)
右側功能鍵	(短按1秒)	藍芽廣播開啟・與藍芽裝置配對(LED綠燈)
	(長按5秒)	電量顯示
LED電量指示燈號	(紅)	錄影指示燈、電量小於30%
	(橘)	關機指示燈、電量小於70%
	(綠)	配對指示燈、電量大於70%





Rabboni-Scratch Connection UI 1 2 3:

只需一次!!

1: 去網頁
Belight 下載專區

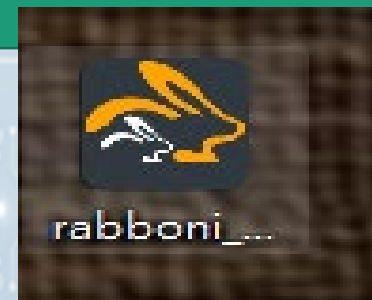
<https://12u10.lab.nycu.edu.tw/downloads/>

BeLight 下載

2: 下載+
解壓縮到桌面

多連板通用藍芽4 (1)

3.桌面 打開
Rabboni_app.exe



SCRATCH USB Connection

STEP 1

After decompressing, open the folder and click on the application to launch it
解壓縮後，打開資料夾，點擊應用程式開啟

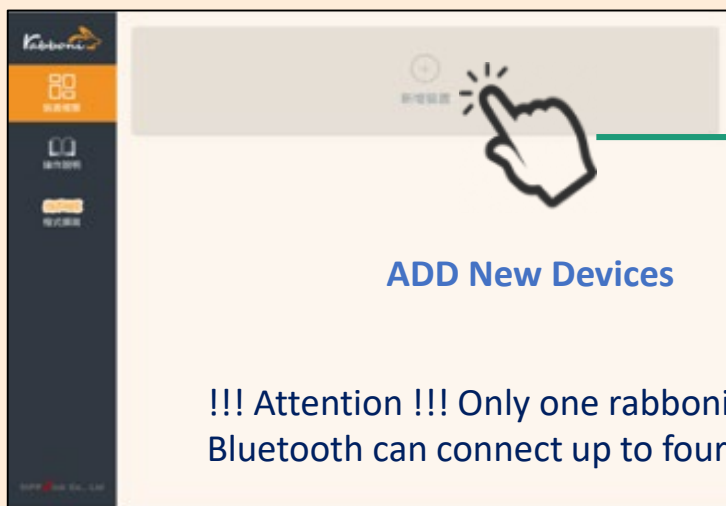


STEP 2

Open APP

!!! 注意 !!!

USB只能連線1個rabboni/ 藍芽最多同時4個 rabboni



STEP 2

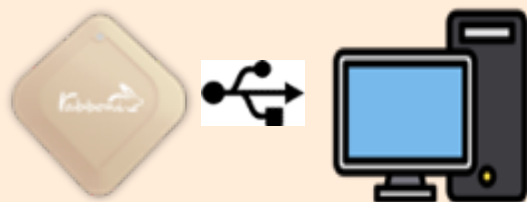
Choose USB

SCRATCH

USB Connection

STEP 3

Connect Devices [連結USB與電腦]



STEP 4

選擇 Rabboni – USB HID UART Bridge



❄ The bouncing numbers indicate a successful connection.
數字跳動代表連線成功

STEP 5

Rename Devices for Scratch Coding

可以編輯裝置在電腦上的名稱，名稱會對應到Scratch



Confirm for new name.
按下「確認」後，名稱改變





BLE Connection 藍芽連線

STEP 1

- Devices Connect to BLE
電腦沒有藍芽: 連結dongle與電腦
- 電腦沒有藍芽: 請確認藍芽在4.0-5.1間



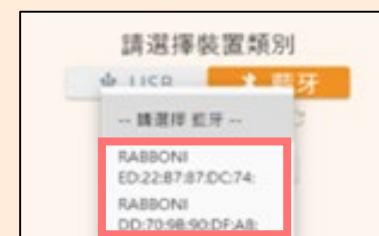
STEP 2

Choose BLE Link
點擊「藍芽」的選項



STEP 3

Choose Device MAC ID
選擇欲連結rabboni裝置的MAC碼



MAC ID Can be found on the devices.
MAC碼在rabboni的本體背面

STEP 4

Press and hold the right button for 1 second to start the Bluetooth connection. The green light will flash until the pairing is successful. If no device is paired within 30 seconds, it will automatically stop broadcasting.

短按**右鍵**1秒，開始藍芽連線，綠燈會閃爍直到配對成功。若無配對到手機，會自動於30秒後停止廣播。



After successfully connecting to the mobile phone via Bluetooth, the green light will flash once every 10 seconds
藍芽連線手機成功後，**綠燈**每10秒閃爍一次

STEP 5 Confirm

選擇「確認」





BLE Connection

❄ The bouncing numbers indicate a successful connection.
數字跳動代表連線成功



STEP 5 Rename Devices for Scratch Coding
可以編輯裝置在電腦上的名稱，名稱會對應到Scratch



Confirm for new name.
按下「確認」後，名稱改變



ADD upto Devices (with different names !!)



點擊新增更多裝置

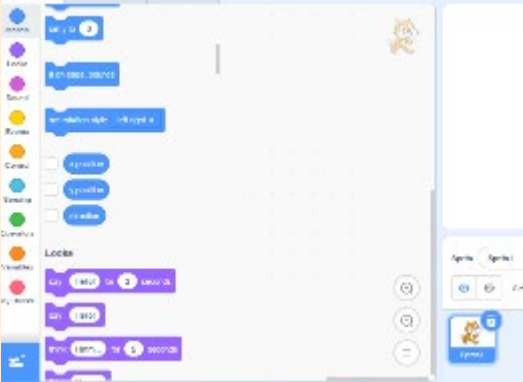


Scratch TO THE SCRATCH

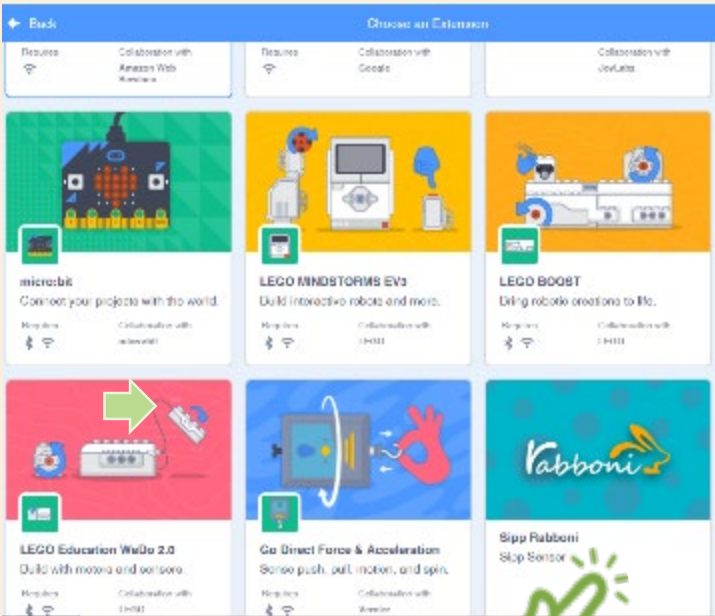
點擊左邊Scratch的ICON



點擊Scratch的ICON，跳轉到瀏覽器



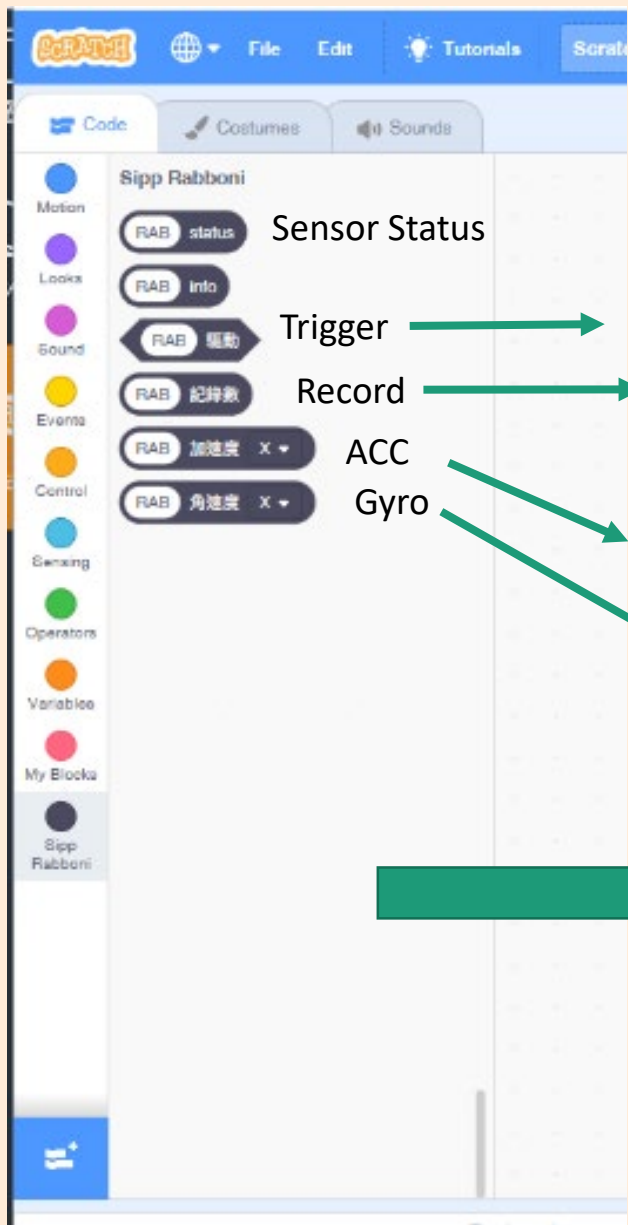
點擊 Scratch MoreBlock



點擊 Rabboni icon



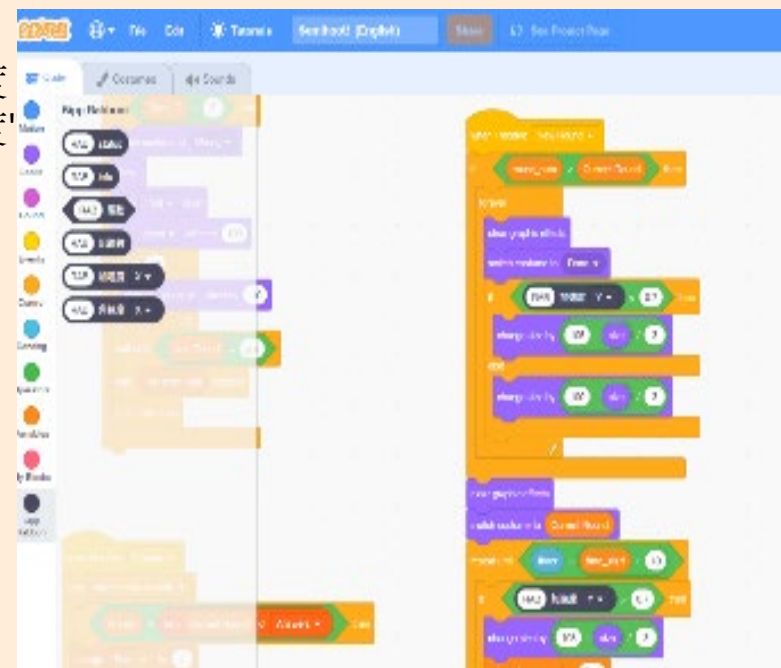
<https://nctutwtlab.github.io/scratch-gui/rabboni/>



當感應器移動時，計數器加1
移動的總次數

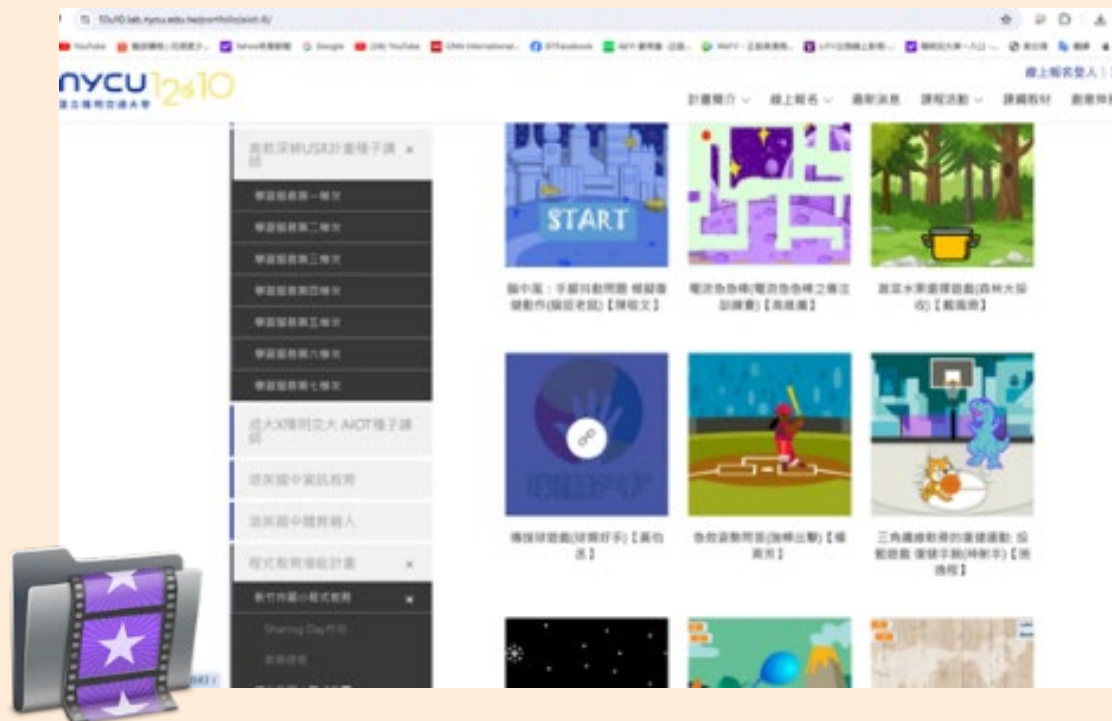
設備 RAB 的 X 軸加速度
設備 RAB 的 X 軸角速度

GO FOR FUN
CODING !!



Samples

<https://12u10.lab.nycu.edu.tw/portfolio/aiot-6/>



大哥哥大姊姊帮大家準備了100 + 講義/
程式碼唷



1. 從主畫面觀看視頻
2. 下載 PPT
3. 下載源 sb3. Source Code