

摩爾旅程－電晶體數目爆增的神奇魔力 (TIA/TITA 科技論壇第二集)

林茂雄 (M. S. Lin)

成真股份有限公司

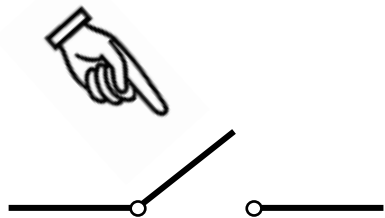
iCometrue[®]

<https://www.icometrue.com/>

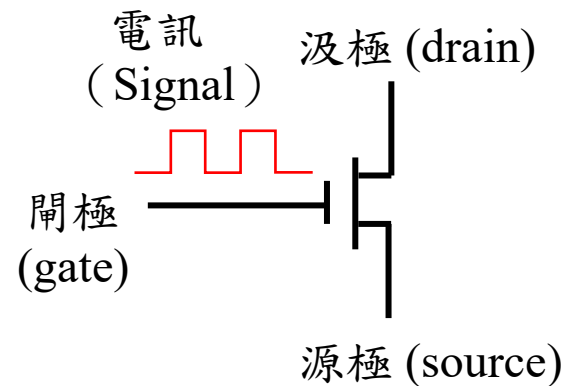
Recap 第一集的重要信息

- What is AI? What is Life?
- 電晶體 (Transistor)：可以用電訊 (signal) 主動 (active) 控制的開關
電晶體主動開關的功能特性暗示預告它具有人工智慧
- 當電晶體的數目趨近無窮大時，就會產生高端智慧及神奇魔力

手動開關
(manual switch)



主動開關
(active switch)



講課內容 (Contents of Lecture)

第一課：半導體世界的起源和演化－摩爾定律

第二課：積體電路的兩個基礎－電晶體和金屬連線

第三課：神奇的曝光機－光波波長的摩爾遊戲

第四課：半導體精彩神奇旅程的主要里程碑

第五課：摩爾旅程終點？邏輯和記憶交響譜成AI樂章

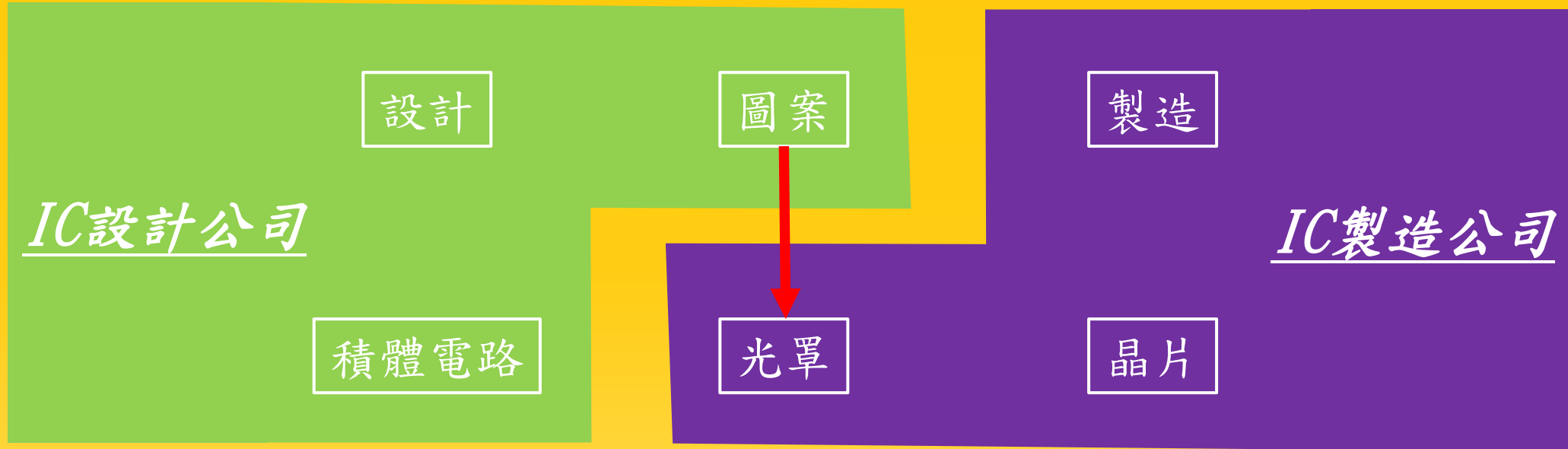
第六課：「數大便是美」？AI的前途是光明，還是黑暗？

結語：好奇心、想像力、價值觀

第三課

神奇的曝光機－光波波長的摩爾遊戲

必要的基礎知識 VI：形成積體電路的程序

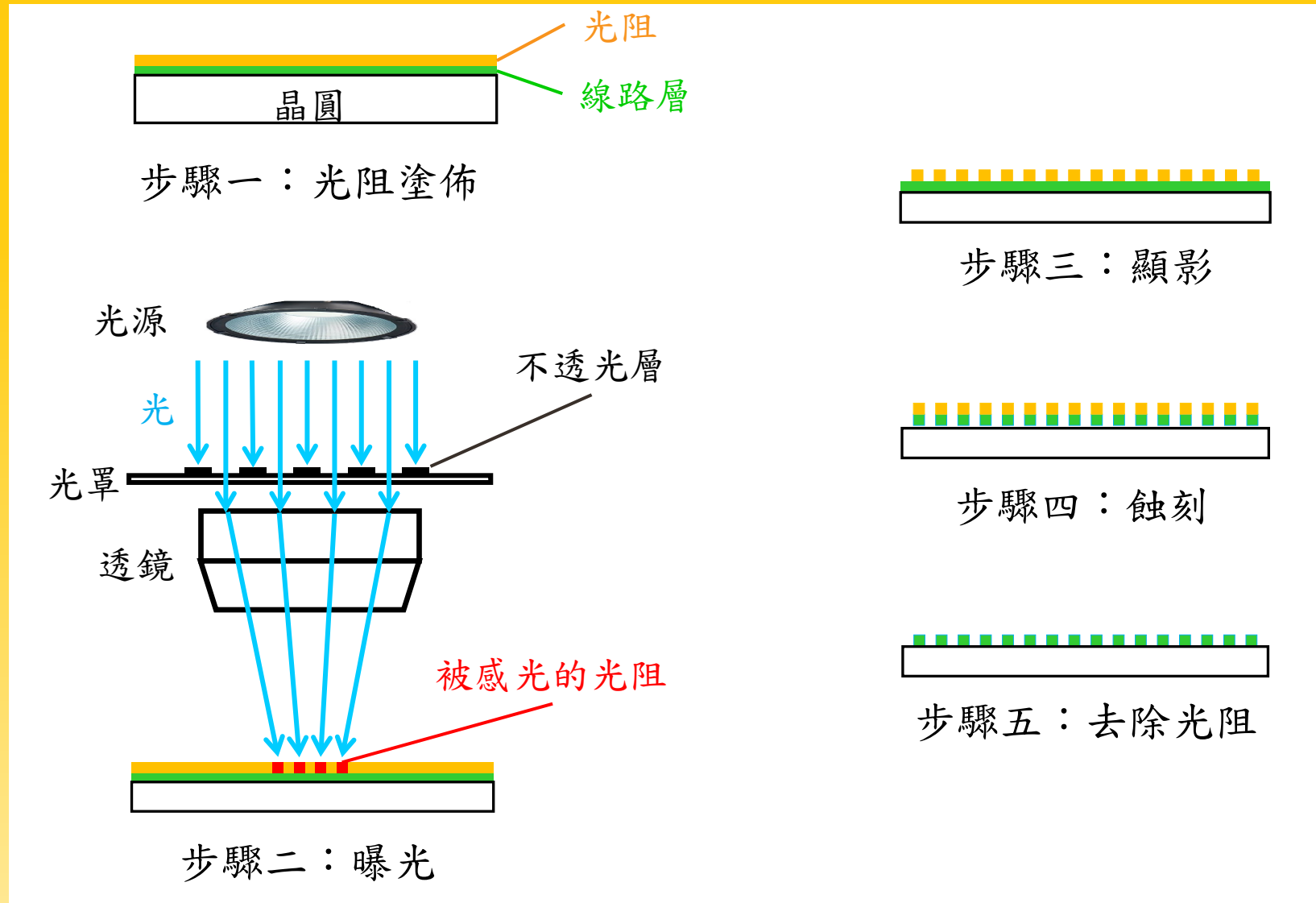


步驟：

1. 把設計的**積體電路**轉化成**多層的圖案**，根據每一層的圖案製作每一層的**光罩**
2. 用曝光機把每一層的光罩圖案依序轉化成在晶圓上的**圖案線路層**
3. 各層的**圖案線路**在晶圓上**堆疊成積體電路**

必要的基礎知識 VII：神奇的曝光機 (影印機/雕刻刀)

曝光技術 (photolithography)



必要的基礎知識 VIII：曝光機 (影印機/雕刻刀) 的基本原理

- 光波波長與解析度 (wavelength and resolution)

$$R = \lambda / (2NA)$$

$$NA = n \sin \theta$$

$$0.3 < n \sin \theta < 1.4 \text{ (for most optical system)}$$

$$0.5 \lambda < R < 1.5 \lambda$$

R = 解析度

λ = 用於成像的光波波長

NA = 使用鏡片的數值孔徑 (numerical aperture of the lenses)，衡量光學系統收集光的能力

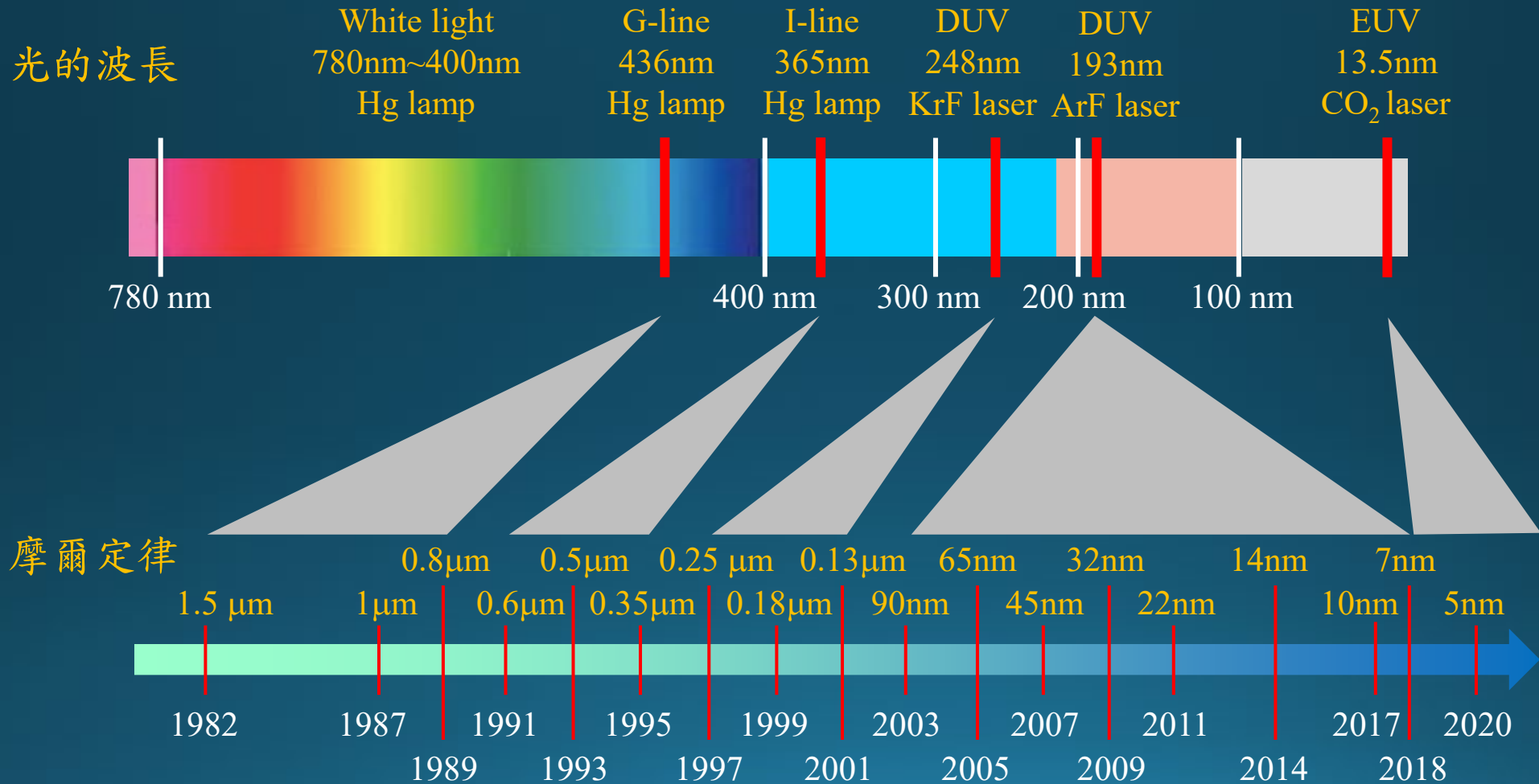
θ = 鏡片收集光的角度

n = 介質折射率 (refractive index of medium)

光波波長與解析度與就大約是波長

摩爾定律 (Moore's Law)：光波波長的摩爾遊戲

半導體產業所使用的曝光機的光源從早期的可見光 (white light)、紫外光 (G-line/I-line)、深紫外光 (DUV)，一直到現在的極紫外光 (EUV)。



摩爾定律 (Moore's Law)

- 約每20個月 (1.67年)，積體電路內可以包含的電晶體數目會加倍 (每個電晶體面積減半)。
- 因此每世代的半導體製程技術節點 (Technology Node) 以70%比例微縮。



TSMC 如何在製程完勝 Intel ?

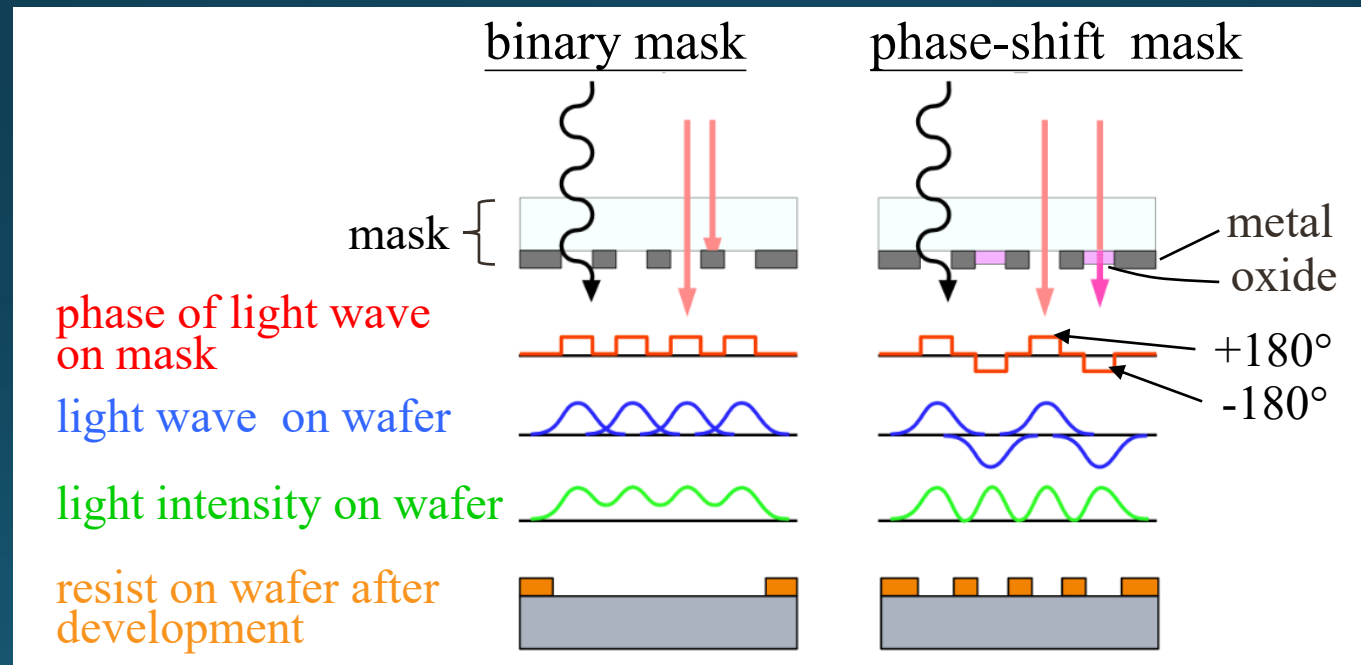
1. 在EUV開發成功之前的漫長的17年期間（2001-2017），台積電挑戰了光波的物理極限，成功的將193奈米波長的DUV延伸應用於7奈米技術節點。
2. TSMC接著採用極紫外光（EUV）成功量產7奈米及5奈米的技術節點。

TSMC成功挑戰光波的物理極限 (I)

193奈米的深紫外光 (DUV) 如何被應用於 7奈米的技術節點?

I. 相位移光罩 (phase-shift mask)

在光罩上加一層位移氧化物，產生干涉圖案在晶圓上，以增強光波的解析度。



https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_mask

TSMC成功挑戰光波的物理極限 (II)

193奈米的深紫外光 (DUV) 如何被應用於 7奈米的技術節點?

II. 浸潤式曝光 (immersion lithography)

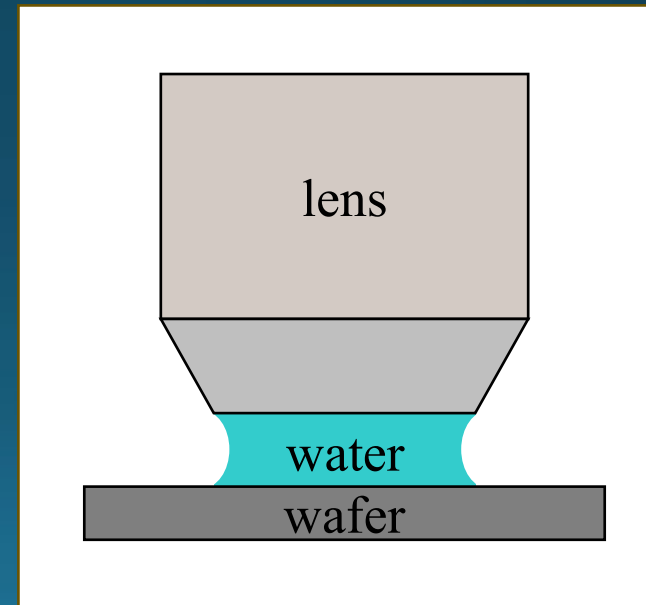
在光學鏡頭和晶圓之間加上一層水，讓光波波長變短，以增強光波的解析度。

$$\lambda_w = \lambda_a / n = 193 \text{ nm} / 1.44 = 134 \text{ nm}$$

λ_w = 光於水中的波長

λ_a = 光於空氣中的波長

n = 水中折射率 (refractive index in water, 1.44)

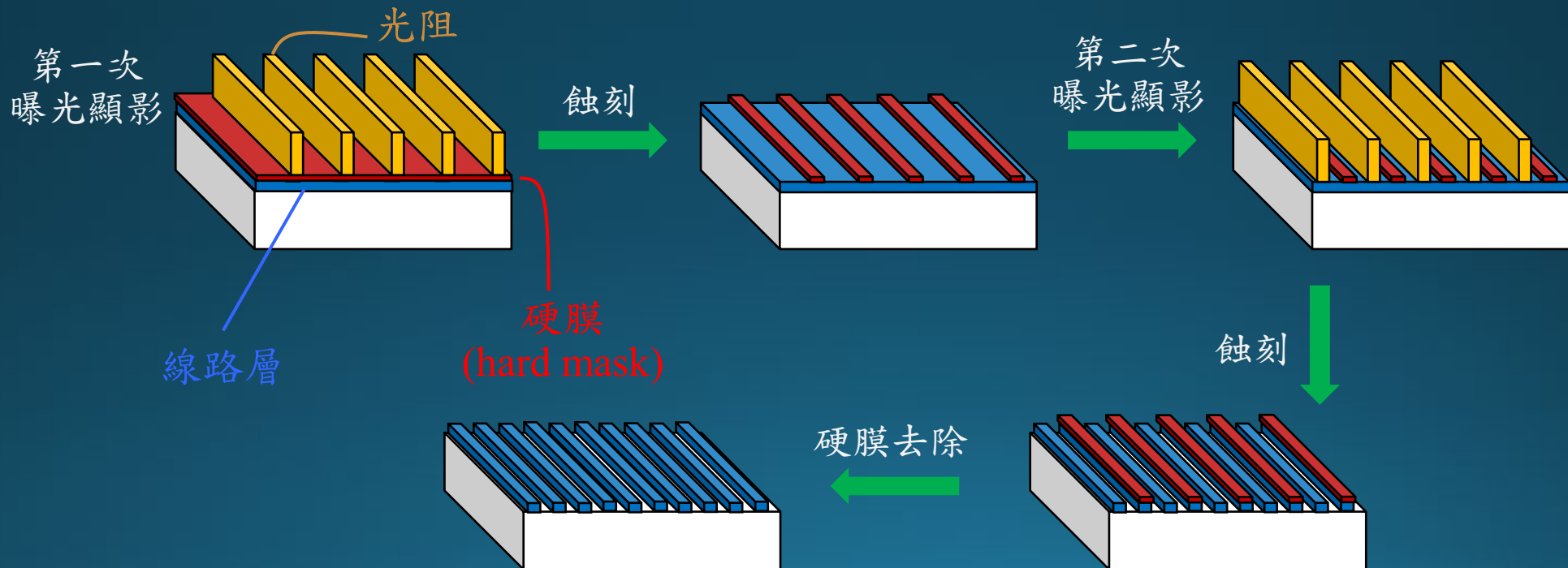


TSMC成功挑戰光波的物理極限 (III)

193奈米的深紫外光 (DUV) 如何被應用於 7奈米的技術節點?

III. 多重曝光 (multiple exposure)

在晶圓上沈積一層硬膜，並將硬膜先曝光圖案，再蝕刻線路層。可多次重複此步驟，製作出更密更窄的線路。



TSMC 終於在2017年10奈米製程完勝 Intel

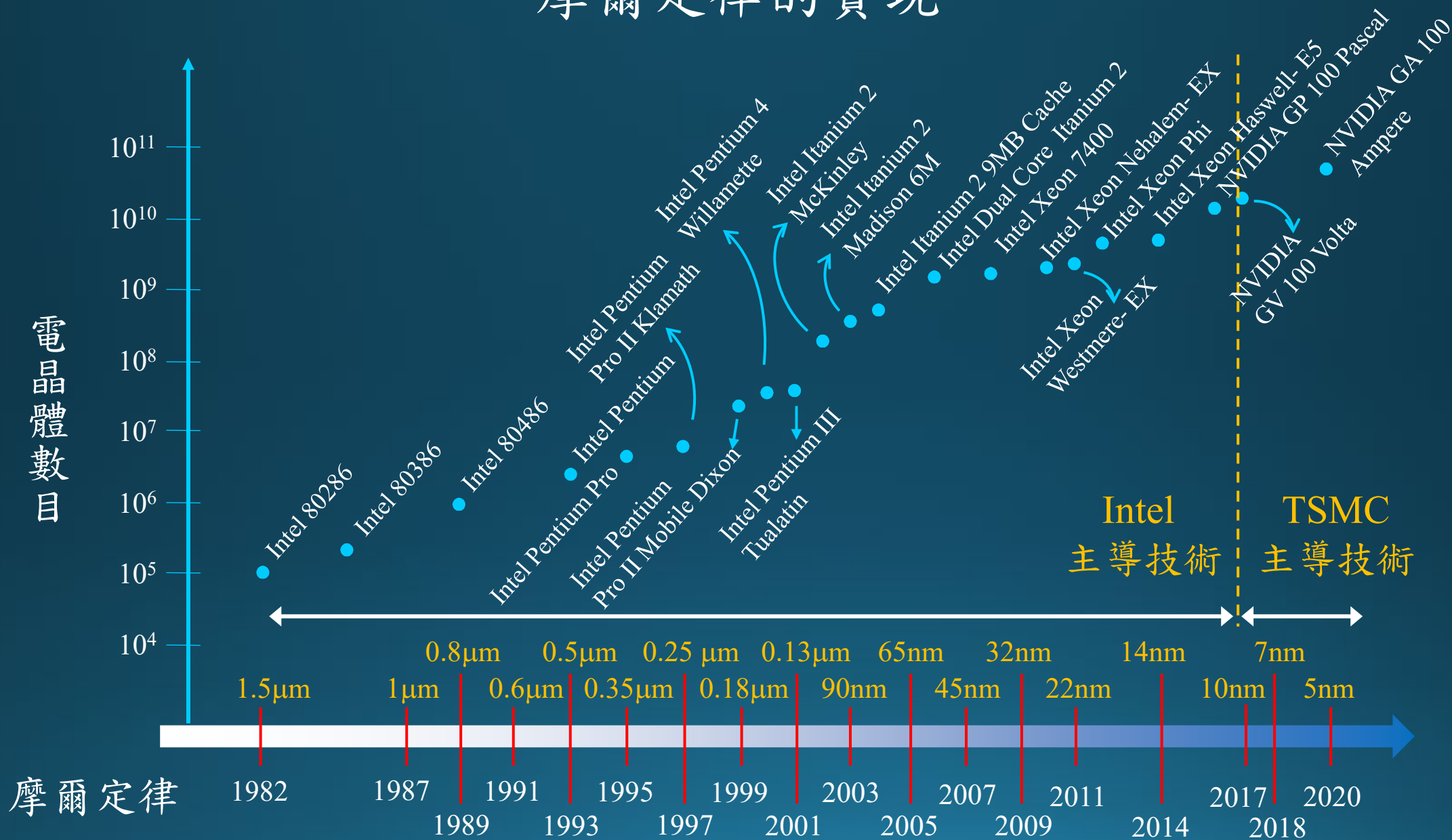
- TSMC 成功利用 193 奈米的深紫外光 (DUV) 循序量產 10 奈米及 7 奈米技術節點的產品，因此可以繼續推展先進的技術節點，用極紫外光 (EUV) 量產 7 奈米及 5 奈米。
- Intel 用 193 奈米的深紫外光 (DUV) 量產 10 奈米不順利以後，進退失據，終致輸掉製程寶座。

Intel CEO Pat Gelsinger :

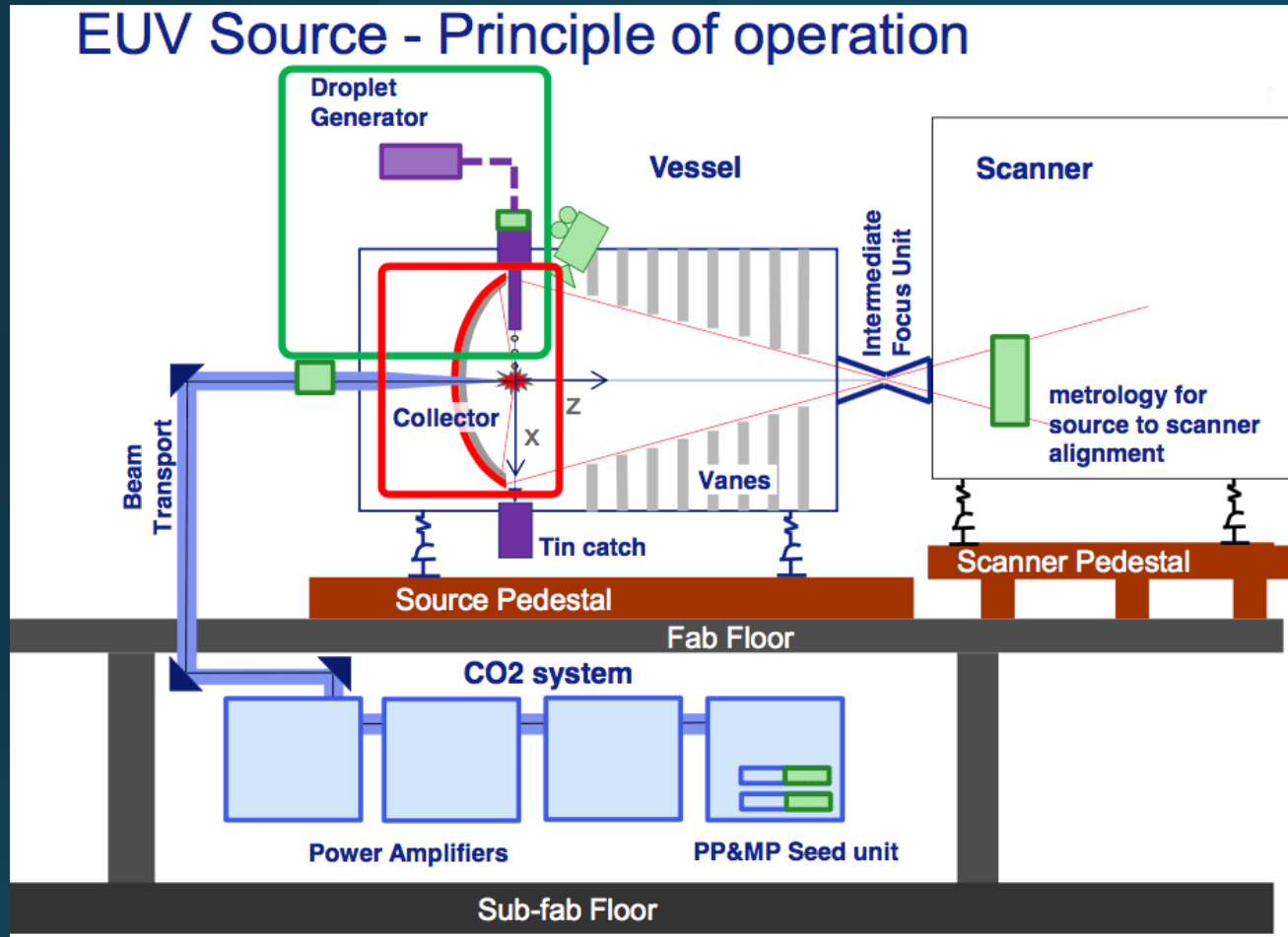
When Intel initially designed 7 nanometers, EUV was still a nascent technology so we developed our process to limit the use of EUV. But this also increased the process complexity. As EUV then matured and became more reliable, we experienced the domino effects (骨牌效應) of our 10-nanometer delay which pushed out 7-nanometers and ultimately put us on the wrong side of the EUV maturity curve.

<https://www.nextplatform.com/2021/03/24/the-once-the-future-and-the-fabulous-intel/>

摩爾定律的實現



鬼斧神工、巧奪天工的EUV曝光機

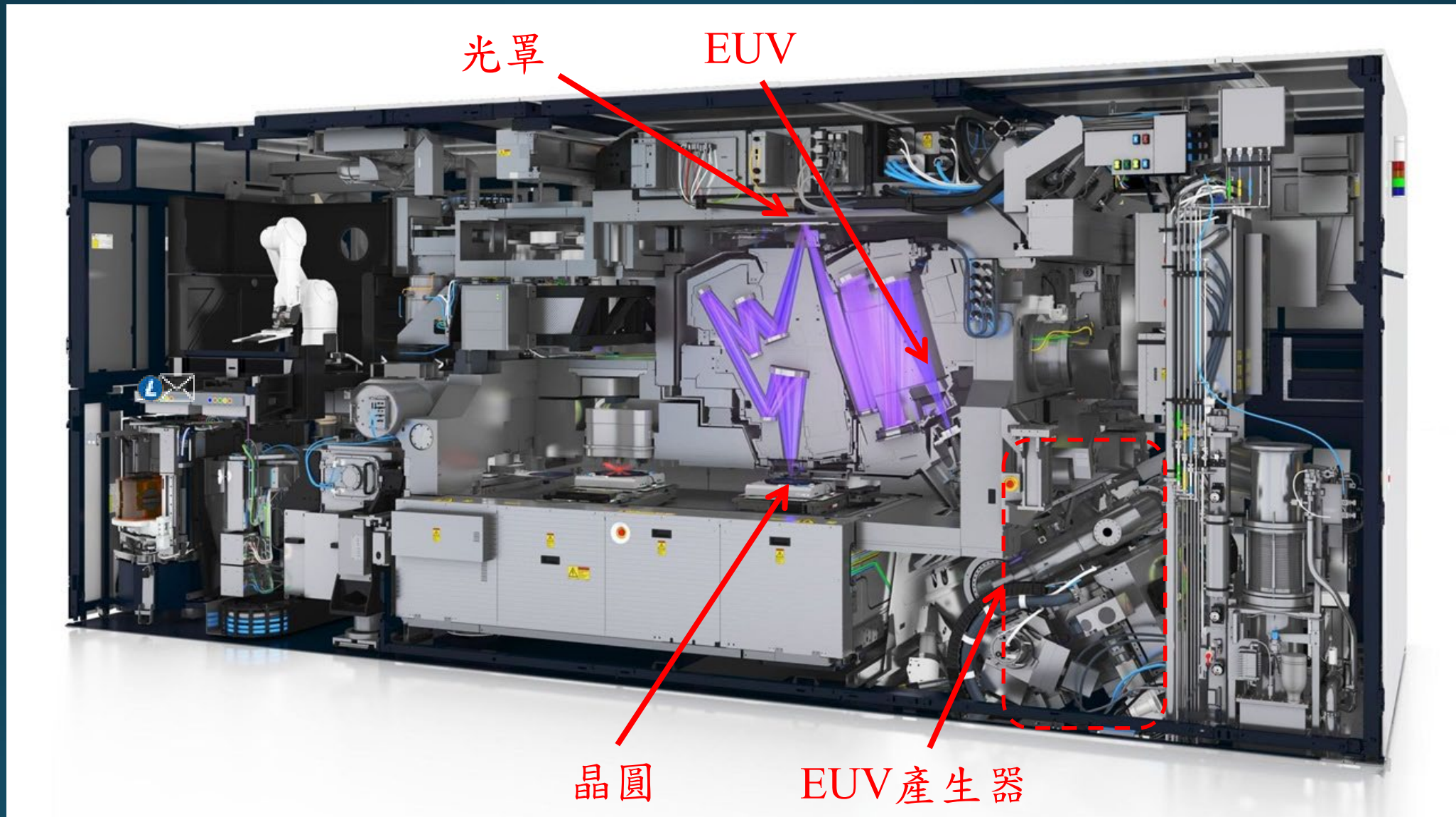


1. CO₂ 雷射波長 ($\lambda=10.6$ 微米)
2. 用CO₂雷射轟擊錫滴 (每秒五萬次) 將其蒸發成為氣體並使氣體變成電漿 (Laser Produced Plasma, LPP)。
3. 電漿溫度高達 4×10^5 度 (30eV)，其能量激發錫原子，形成帶多價電離子的高能狀態 (Sn⁺⁸ – Sn⁺¹⁹)。
4. 當高能狀態的多價電離子和電子結合，回到較低能的離子狀態或原子時，就會產生EUV。

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6595/ab3302/pdf>
<https://semiengineering.com/why-euv-is-so-difficult>

- 高溫高熱產生多價電離子，就像太陽(恆星)用高溫高熱的能量暴力產生EUV光一樣。
- 一台輸出功率為250瓦的曝光機，需要輸入1.25 MW的電力(轉換效率 0.02%)；工作一天就會消耗3萬度電。

EUV 曝光機 - 由10萬個零件組成



<https://technews.tw/2021/02/15/euv-mass-production-of-lithography-technology/>

EUV是中美AI戰爭的唯一武器？

1. 我在1992請梁孟松到台積電研發處負責電晶體元件開發。1995年，我離開研發處到2B廠當廠長，梁孟松繼續留在研發處。
2. 中芯國際 (SMIC) 的梁孟松在怎麼厲害，沒有EUV，也做不出5奈米晶片。
3. 在現在美中科技戰中，EUV是美國最厲害的籌碼；而中國則拿稀土元素對戰。

人類工藝的極致！

- 一台EUV含有超過10萬個零件，由荷蘭艾斯摩爾公司 (ASML) 開發生產。
- 一台CO₂雷射系統含有46萬個零件，由德國 TRUMPF 公司開發製造。
- CO₂雷射光源由美國 CYMER 公司開發製造，CYMER 在2012年被ASML併購。
- CO₂雷射光學鏡頭由德國 ZEISS 開發製造。

另一顆逐漸升起的人造太陽：核融合的第二顆人造太陽能

1. EUV Machine 用CO₂ 雷射去匡住高溫高熱的錫電漿，使其不碰觸反應爐的側壁，並使其產生 EUV，而輸出EUV 光源；
2. 2021年9月初，MIT的Commonwealth Fusion Systems (CFS) 大力投入研發核融合系統核融合。用高能中性粒子束 (neutral particle beam) 或高頻電磁微波 (microwave) 在小區域範圍內激發產生高溫 (1.0×10^8 °C) 高熱的氘 (deuterium) / 氚 (tritium) / 電子電漿 (氘和氚都是氫的同位素)，同時用磁場去匡住此高溫 (1×10^8 °C) 高熱的氘/氚/電子電漿，使其不碰觸反應爐的側壁，進而產生核融合反應，輸出巨大的能量。此種用磁場匡住核融合反應的方式，屬於磁侷限融合 (Magnetic Confinement Fusion, MCF)，即Tokamak反應爐。
3. 2022年12月初，美國加州Lawrence Livermore國家實驗室第一次產生輸出能量大於輸入能量的核融合反應。其核融合反應使用的是慣性侷限融合 (Inertial Confinement Fusion, ICF)，利用192束雷射光聚焦在小區域範圍內，激發產生高溫 (1.5×10^8 °C) 高壓的氘/氚/電子電漿，點火引爆核融合反應而釋放巨大的能量。此種方式就和EUV曝光機中用雷射聚焦產生高溫高熱錫電漿的原理相似。

第一顆人造太陽EUV已經成功量產；受到EUV machine 的啓發，如果核融合的第二顆人造太陽能成功運轉，輸出巨大能量，則這兩顆人造太陽，將徹底改變人類的文明。

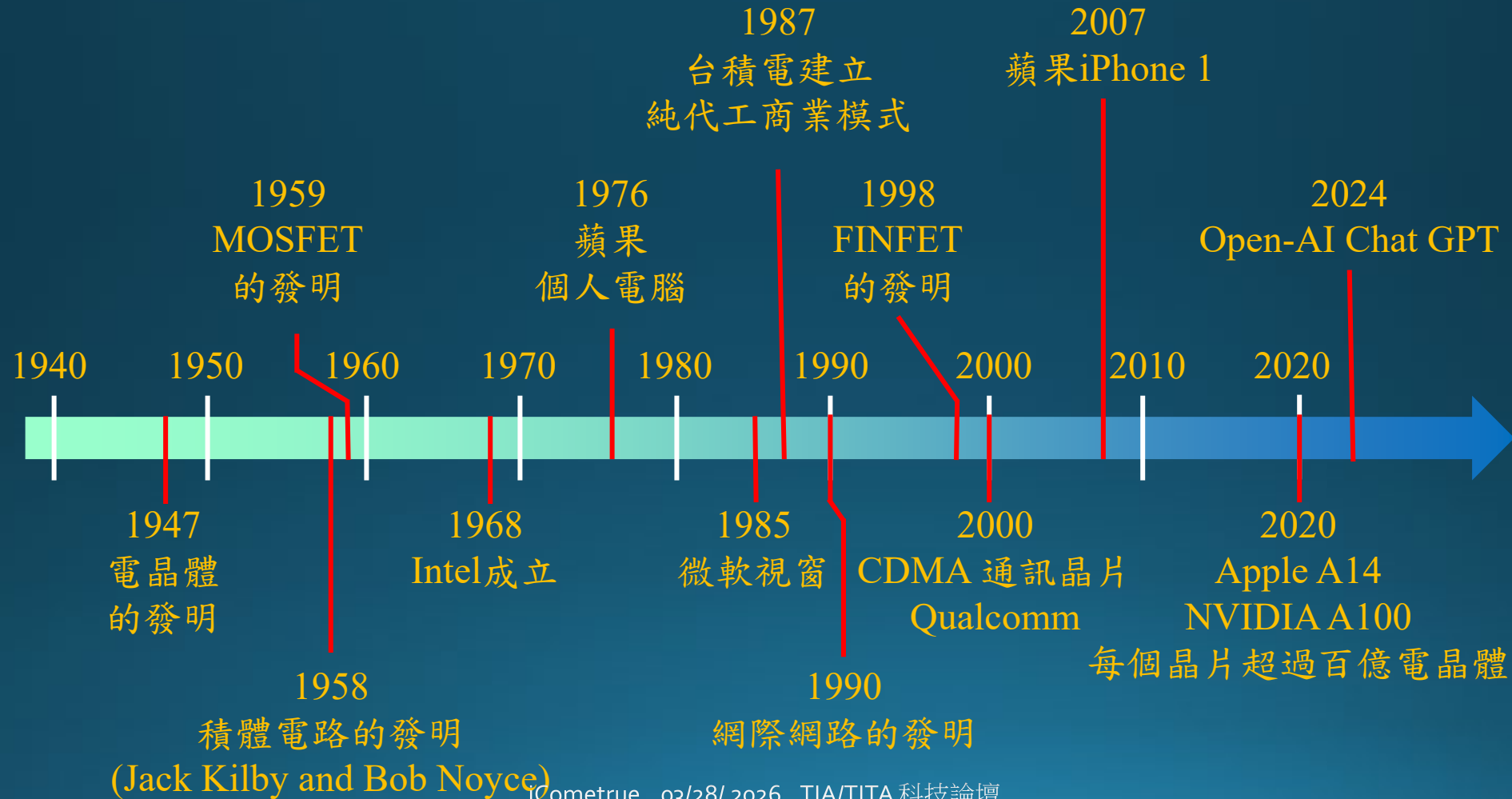
第四課

半導體精彩神奇旅程的主要里程碑

半導體發展的過程及歷史就像史詩一般，其刺激精彩程度，幾乎可以比擬20世紀初期量子力學的發展。只是半導體的發展，不是基礎科學，是工藝及科學應用，而且多了金錢及利益的因素。

半導體世界發展中主要里程碑 – 譜成一部史詩

積體電路精彩神奇旅程中有數不完的美麗景點，我個人選出其中的13個景點：



我有感的里程碑： A. 2007年蘋果 iPhone 1 (Project Purple)



iPhone 1

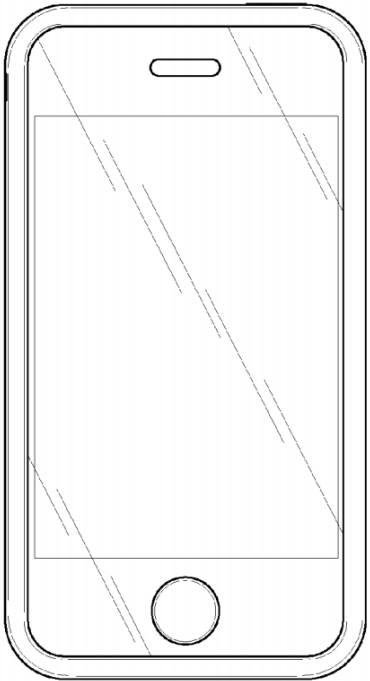
https://en.wikipedia.org/wiki/IPhone_1st_generation

- 可以很清楚的說是在2007年：蘋果第一支智慧型手機iPhone問世時，人類開始意識到半導體可能翻轉現實世界，也才開始知道半導體。現在讓AMD CEO Lisa SU驚訝的說：台灣人連最新的半導體專有名詞CoWoS都能朗朗上口。
- iPhone改變了人類的生活方式 (lifestyle) 及人文文明。2007年以前的個人電腦只是改變人類的工作方式 (working style)。

設計專利 Design Patent: iPhone

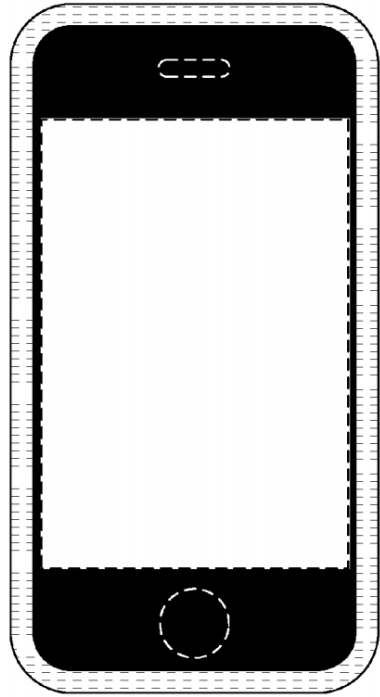
發明人：賈伯斯 一個 Reed 大學的中輟生

Filing Date:
1/5/2007



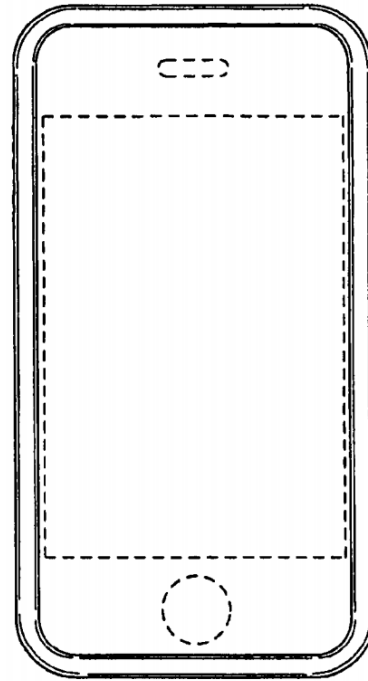
D580,387

Filing Date:
1/5/2007



D558,758

Filing Date:
1/5/2007



D558,756

外觀：

沒有鍵盤

發明虛擬觸控鍵盤

2007年蘋果 iPhone 1

- 革命性的iPhone 1出現後，引發許多有關的專利訴訟案及專利購買潮。iPhone 將原來沒有關聯的通訊產業和電腦產業結合在智慧型手機內。美國最大的智慧型手機晶片公司等於進入電腦晶片領域，為了嚇阻強大的電腦晶片公司提出專利侵權訴訟，因此就買了我創辦的米輯電子公司(2009年)。
- 哈佛大學多年來一直爭辯是否應該把「Division of Engineering and Applied Sciences」(DEAS)提升為「School of Engineering and Applied Sciences」(SEAS)。哈佛大學總認為旁邊已經有個工程很強的MIT，哈佛沒有必要把工程科系擴大成工程學院。直到2007年，哈佛大學才很清楚的體認到科技已經開始影響了哈佛一引以為傲的人 文社會科系。也就在2007年那年，哈佛成立了工學院。

兩個我最有感的里程碑 – B

台積電的純代工商業模式

- TSMC 首創純代工商業模式：

投資巨額（早期數百億元台幣，現在數千億元台幣），生產客戶設計的晶片產品，只做製造服務，自己沒有產品。

- TSMC: Taiwan Semiconductor Manufacturing Company
台灣積體電路製造股份有限公司

天佑台灣！TSMC取名時，強調了台灣及製造兩大特色；果真台灣製造（Made In Taiwan, MIT）終於在半導體製造贏過 Intel，成為全世界市值最大的半導體公司，也成為台灣的護國神山。

<https://www.cw.com.tw/article/5034316>

台積電的純代工晶片製造模式

打破「製造」在產業鏈低附加價值的觀念

- 建立了晶片製造與設計可以分屬兩個互不隸屬的獨立公司的堅強水平分工商業模式，幾乎打敗了所有的垂直整合的半導體公司。台積電的純代工晶片製造模式打破「製造」在產業鏈低附加價值的觀念，現在吸引世界各國爭先恐後的投入晶圓製造產業。台積電的半導體純代工模式，可說是半導體產業歷史上的一次巨大革命。台積電在2020年成為全球市值最大的半導體公司，也成為台灣的護國神山。
- 如今回顧當時的歷史，我本於工程師的同理心，很能深切的感受到在純代工商業模式崛起時，IDM公司內部互鬥、痛苦掙扎的心境。IDM公司的產品市場及行銷部門希望有台積電的備份產能，以擴大營業額及獲利；而工廠生產部門則反對到台積電生產代工，以免喪失他們在公司的地位，甚至被裁員。這樣的IDM公司面臨純代工商業模式崛起時，內部互鬥、痛苦掙扎的場景，我也見證於美國的AMD，日本的Fujitsu、NEC、Hitachi、Toshiba、Mitsubishi、Matsushita等IDM公司。另外一個場景則是太平洋彼岸無晶圓廠晶片公司(fabless IC company)的崛起，例如Broadcom、Qualcomm、Marvell等新創公司。命運的安排，我自己恰好身處這個大革命浪潮的早期階段。
- 1991年春季台積電受邀到西門子談4M DRAM在台積電生產事宜。台積電研發處的DRAM部門組了一組人馬，千里迢迢的飛到慕尼黑；結果，因為西門子公司內部對於在台積電生產的意見不一致，開會不到半小時就結束了，打道回府。這是台積電純代工商業模式打敗傳統整合元件製造商(Integrated Device Manufacturer, IDM)過程中的歷史鏡頭。
- 1996年GEC Plessey Operation VP John Hambridge 在倫敦西邊Swindon一家中國餐廳宴請我們，當場單膝跪下請求台積電給產能

台積電張忠謀董事長

- 有一次，張董事長和我跟美國慧智總經理Doug Chance在新竹煙波飯店晚餐，張董事長說他受邀2個月後要給個演講，問我們有什麼建議。我不記得當時對話的細節，只記得張董事長為了一個演講，2個月前就開始做準備。大家都喜歡聽張董事長演講，可是可能不知道，張董事長演講中的每句話，都是經過長時間的深思熟慮。
- 還有一次跟張董事長開會的過程中，對於某個決定，我覺得思考不夠周延，我說這個決定是「stupid」；在身旁的張董事長則說這是一個「un-wise」的決定。張董事長用詞的精準合宜，讓我印象深刻。
- 我把不回台積電，而想創業的想法告訴了張董事長。張董事長約我和太太在台北世貿中心頂樓餐廳吃飯。那是個寒冷的十二月冬天星期日，傍晚我開著Nissan的休旅車，載著太太赴約。在北上的高速公路上，我跟太太說：董事長今晚會問你兩個問題，一個是你是否同意我離開台積電這麼好的公司？另一個是，你是否支持我出來創業？在開車回新竹的路上，Karen問我為什麼知道董事長要問她這兩個問題。我說，跟董事長做事最簡單直接了，只要你用腦筋把事情來龍去脈想清楚，合乎邏輯，一層一層 (layer by layer) 的抽絲剝繭 (stripping cocoons) 去推理解析其中的真正意義 (insight)，就可以猜出董事長想要的是什麼。張董事長最不能接受沒有經過自己大腦想過，不知所云，人云亦云的膚淺答案。

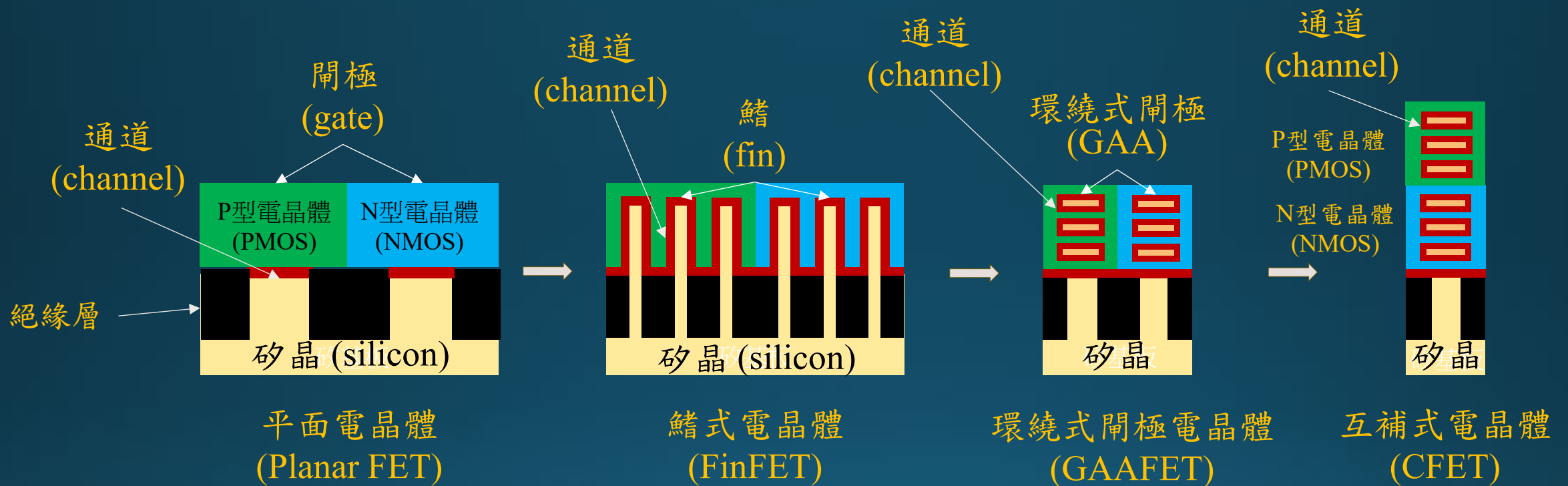
台積電張忠謀董事長

- Karen說：MS (我的英文名字簡稱) 是個很會作夢的人，我支持他有機會嘗試去實現他的夢想。飯後我們和董事長一起走出來時，Karen說她很擔心MS如果創業失敗，可能毀了下半輩子。董事長說：只要MS誠實正直，竭盡所能的經營所創的公司，如果失敗了，一個文明社會一定可以接受，讓他東山再起。
- 1994年台積電上市前，市場上有不少關於台積電及張董事長負面的傳言，尤其有關台積電和聯電競爭的話題。當時張董事長召開經理人會議，會中他說了我至今難忘的話：「.....我才不把聯電看成競爭對手，我真正的競爭目標是Intel.....」。2017年台積電的10奈米製程技術果真超越了Intel；2020年，台積電股票市值超越Intel。張董事長高瞻遠矚，30年磨一劍，令人佩服。
- 在米輯科技公司成立時，我很誠摯的請求張董事長當米輯科技的董事長，他很客氣的回我：「我年紀大了，不應該再往自己身上加上新的責任。你如果自己不親自當董事長負起公司治理的責任，那和在台積電當個經理人又有何差別呢？」我當時不甚了解其中深意。後來我自己當了米輯科技的董事長，嚐盡董事長人生的酸甜苦辣滋味，才深深的體會到張董事長這句話的真正意義。

第五課

摩爾旅程終點？
邏輯和記憶交響譜成AI樂章

使出洪荒之力挑戰物理極限 – 電晶體立體化



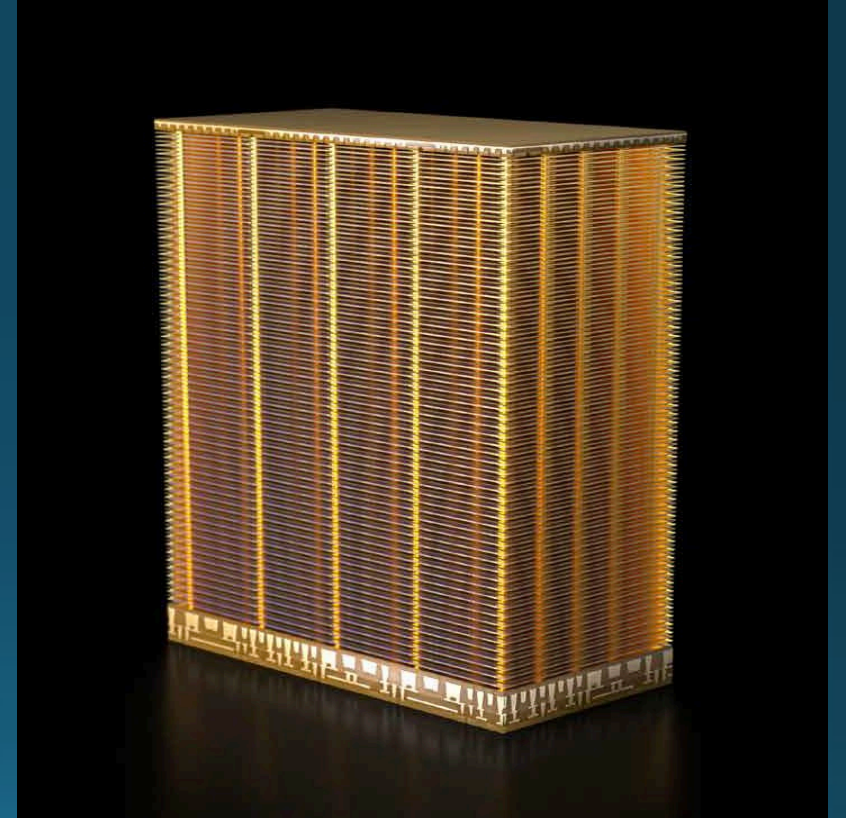
<https://www.inrevium.com/pickup/cfet/>

立體化後，電晶體的通道 (channel) 變寬，電流變大

Micron G8 NAND 2 Terabytes

堆疊232層

- 現在的快閃記憶體向上堆疊已經達到232層(超過100層堆疊快閃記憶體細胞)，一個快閃記憶體晶片已經儲存超過10兆位元(10 Tb)的數據。(可以儲存1百萬本400頁純文字的書籍)
- 現在固態硬碟的密度(density)，可靠性(reliability)，及讀取速度(read access time)都超越磁碟。
- 快閃記憶體晶片走向電晶體3D堆疊的製程技術，一個晶片就可以含有10兆個電晶體，令人嘖嘖稱奇，更帶領摩爾定律走向一條嶄新的3D旅程。

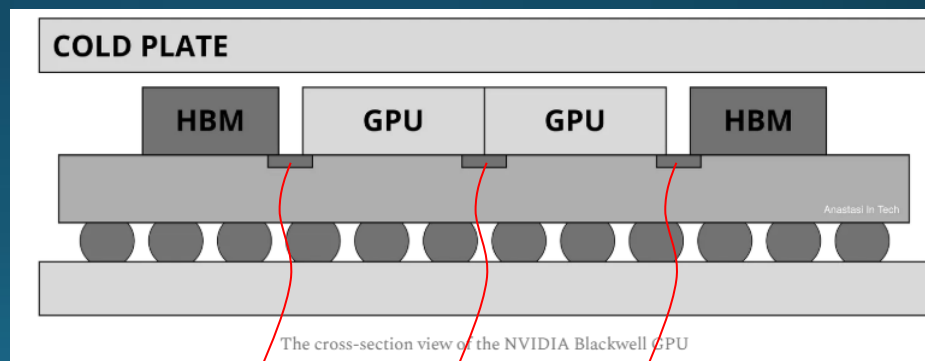
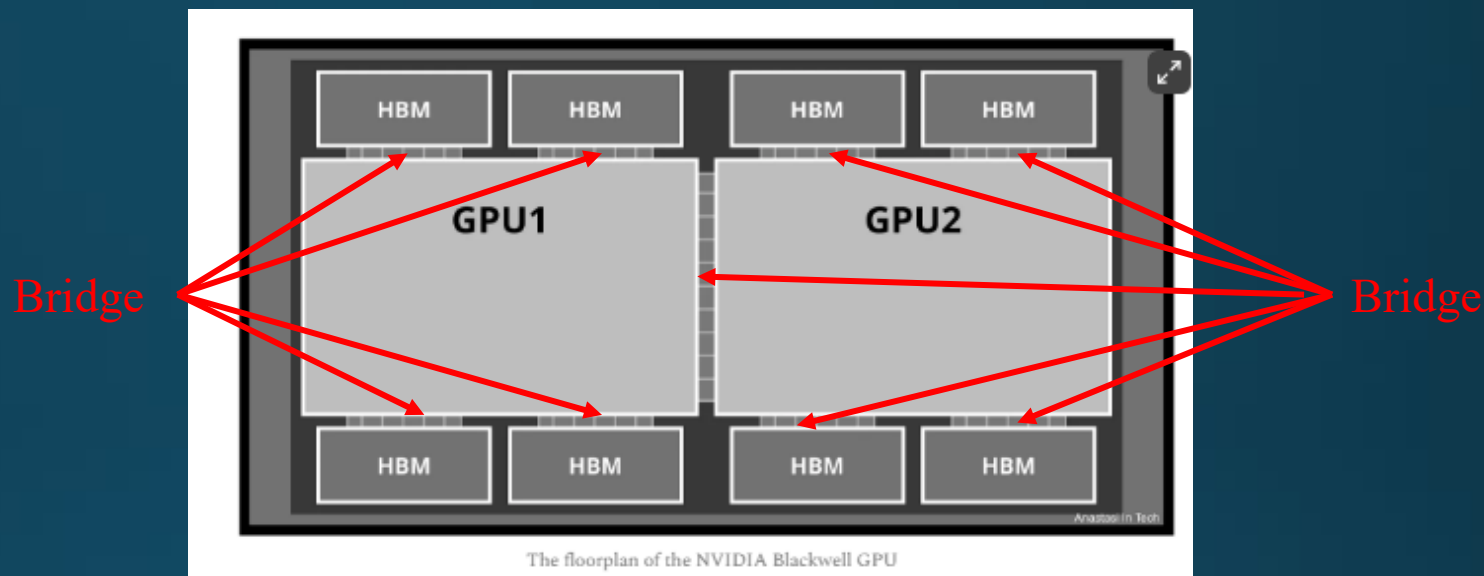


用先進封裝延長摩爾定律 - 立體封裝 CoWoS-L

Nvidia GB200 封裝

- 2顆 B200 GPU 晶片
- 8個 HBM3e 堆疊
- 9顆 Silicon Bridge

<https://anastasiintech.substack.com/p/whats-happening-with-nvidia-blackwell>



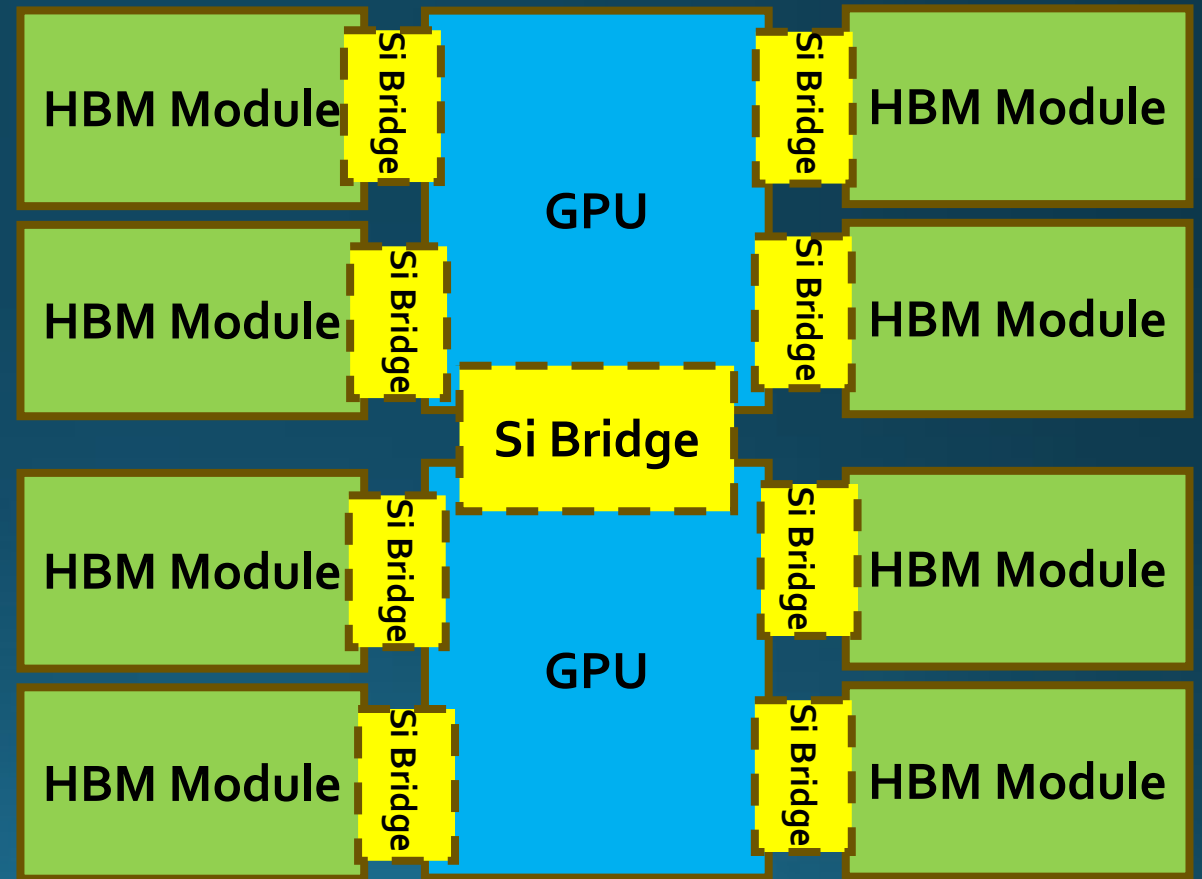
Bridge Bridge Bridge

澎湃激昂的AI樂章

數目暴力 (the Tyranny of Number!)

Nvidia GB200

- 一個 B200 GPU 晶片含1,040億個電晶體。
- 一個 B200 GPU 晶片耗能1,000瓦。
- 每顆 B200 GPU 配備 4個 HBM3e 堆疊。
- 每個HBM堆疊由 8層 高的 DRAM 晶粒 (8-Hi) 組成，總計 24 GB。
- 每顆 B200 GPU 和1個 HBM3e 堆疊之間有1024條金屬連線互連。
- 2顆 B200 GPU 和8個 HBM3e 堆疊之間有8192條金屬連線互連。



如何解決數目暴力 (the Tyranny of Number!)

自然人腦的探討和人工智慧的開發，兩者互相啟發、學習和交流

- 現在電腦科學家和工程師研究開發人工智慧的架構和演算法 (AI architecture and algorithm) 時，企圖模仿人腦的運作。
- 但反過來，現在的生物學家也熱衷於利用電腦人工智慧的架構和演算法來了解人腦的運作。也就是說，對於自然人腦的探討和人工智慧的開發，兩者互相啟發、學習和交流。
- 2019年10月，我參訪哈佛大學遺傳學教授 Monica Colaiacovo 在哈佛醫學院 Longwood 校區的胚胎與嬰兒發育實驗室，Colaiacovo 教授提到她們正在做的胚胎與嬰兒腦部發育研究。我跟她說，我從事半導體晶片的行業，很希望半導體晶片的設計能夠學習人腦的發育和成長。她回答我說，她們也很希望從半導體晶片的設計得到啟發，去了解人腦的發育和成長。了解自然人腦的發育和成長，可以找到增進人腦健康及治療人腦疾病的方法，也可以同時引導人工智慧的發展與演化。
- 2021年年底，臉書創辦人祖伯克 (Zuckerberg) 捐錢在哈佛大學成立了「自然與人工智慧研究院」(the Kempner Institute for the Study of Natural and Artificial Intelligence)，研究人類和機器 (human and machine) 的共同基本原理，期待研究的成果能在自然智慧和人工智慧之間進行雙向交流。

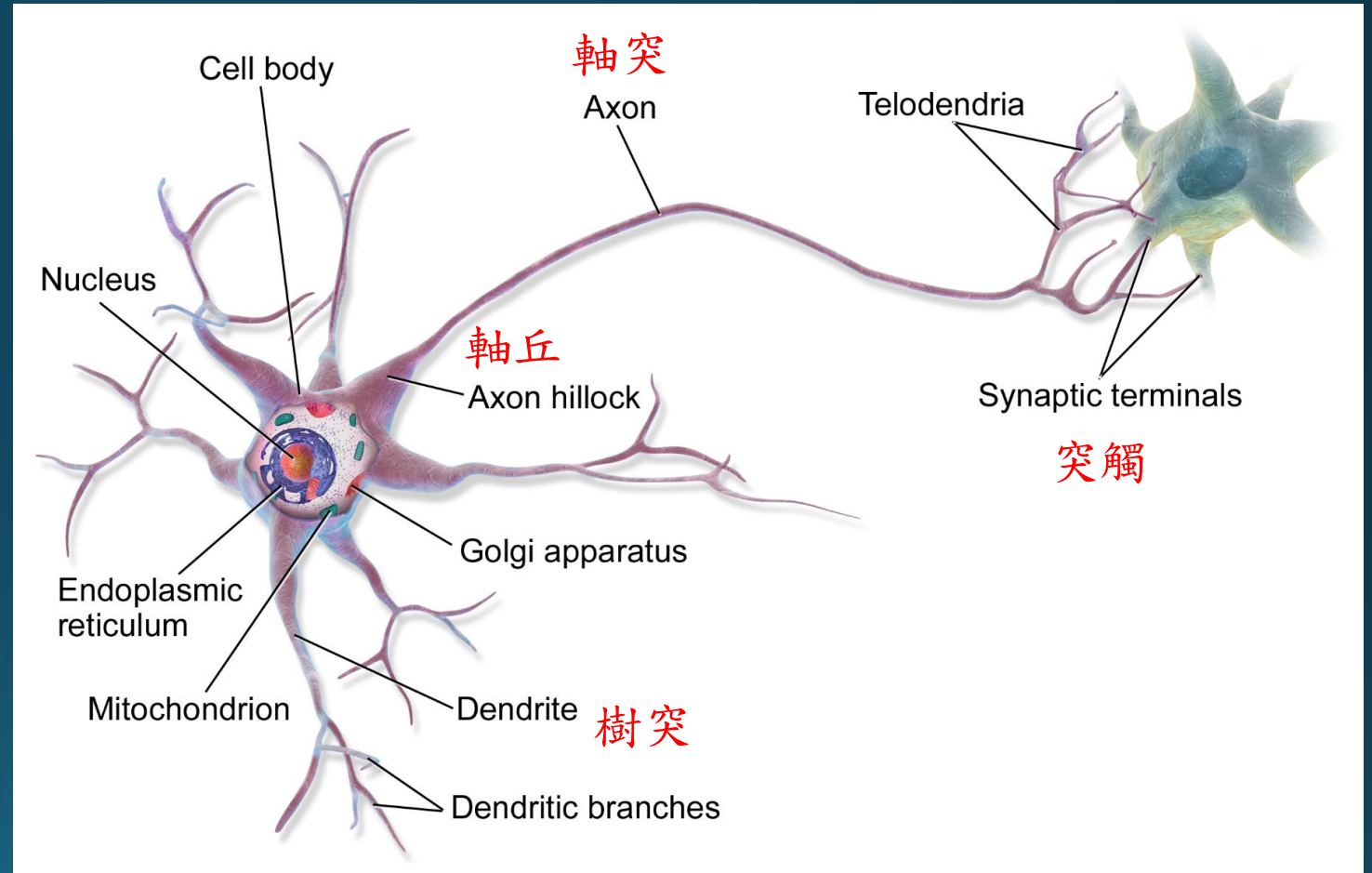
人腦 vs AI

人腦「運算」與「記憶」的硬體結構：

神經元 (Neural) - 電晶體

- 軸突 (Axon) - 長金屬連線
- 樹突 (Dendrites) - 短金屬
- 突觸 (Synapse) - 連接點
- 軸丘 (Axon Hillock)

- 神經元的軸丘 (Axon Hillock) 會進行偵測與控制。
 - 當電位變化達到一個特定的臨界點 (稱為閾值)，神經元就會瞬間觸發一個強大的電脈衝，稱為動作電位 (Action Potential)。



iCometrue 的邏輯硬碟 Logic Drive[®]

類似人腦具有可塑性 (Plasticity) 及整合性 (Integrality)

成真專利

US Pat. 10,489,544

Filed 12/14/2017

正在開發數學模型

Logic Block (LB)

(邏輯方塊)

Neuron 神經元

Programmable Switch

神經元的軸丘 (Axon

Hillock) 會進行偵測與控制。

當電位變化達到一個特定的

臨界點 (稱為閾值)，神經

元就會瞬間觸發一個強大的

電脈衝，稱為動作電位

(Action Potential)。

Dendrites
樹突

Interconnect (金屬連線)

Axon
軸突

Synapse
突觸、插座、連接點

Dendrites
樹突

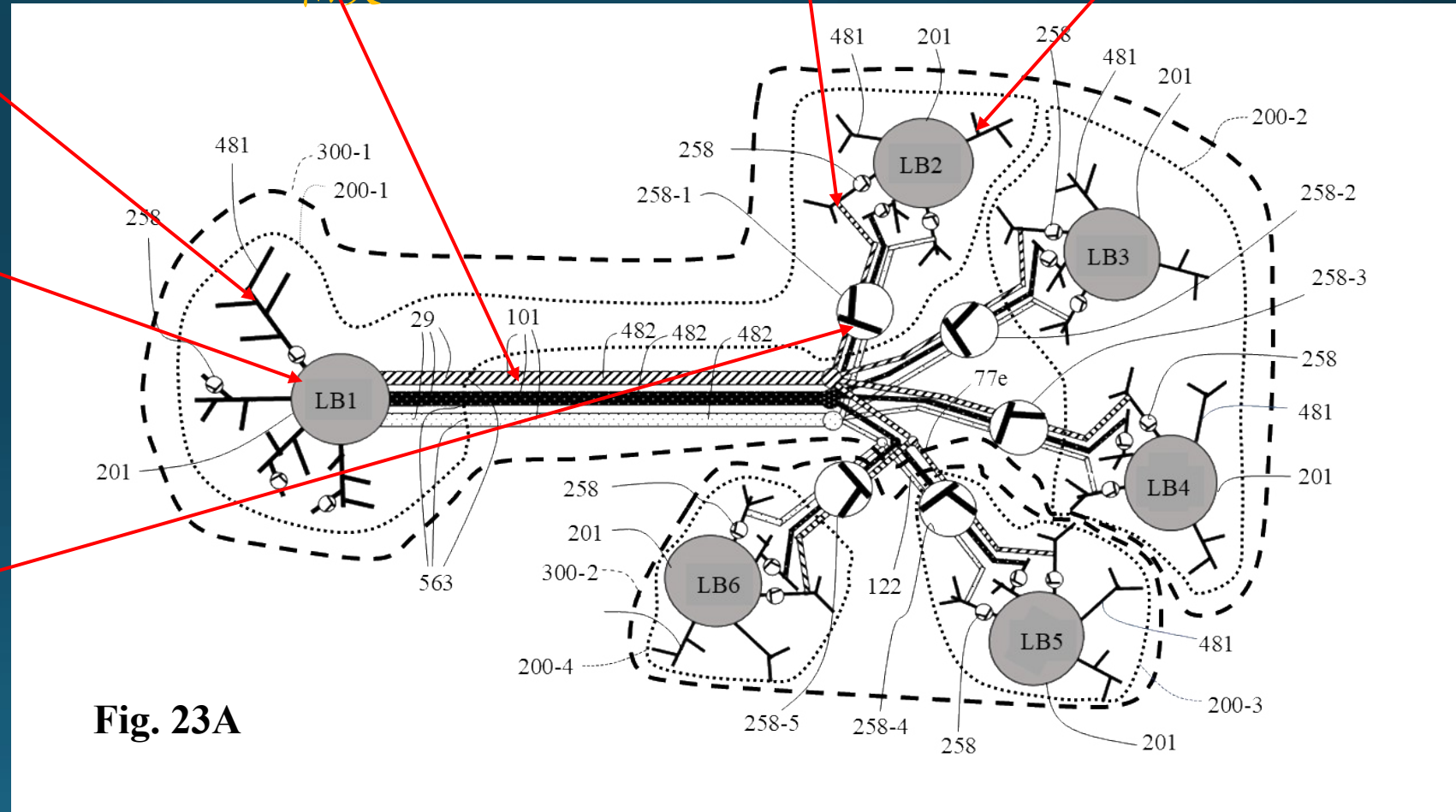
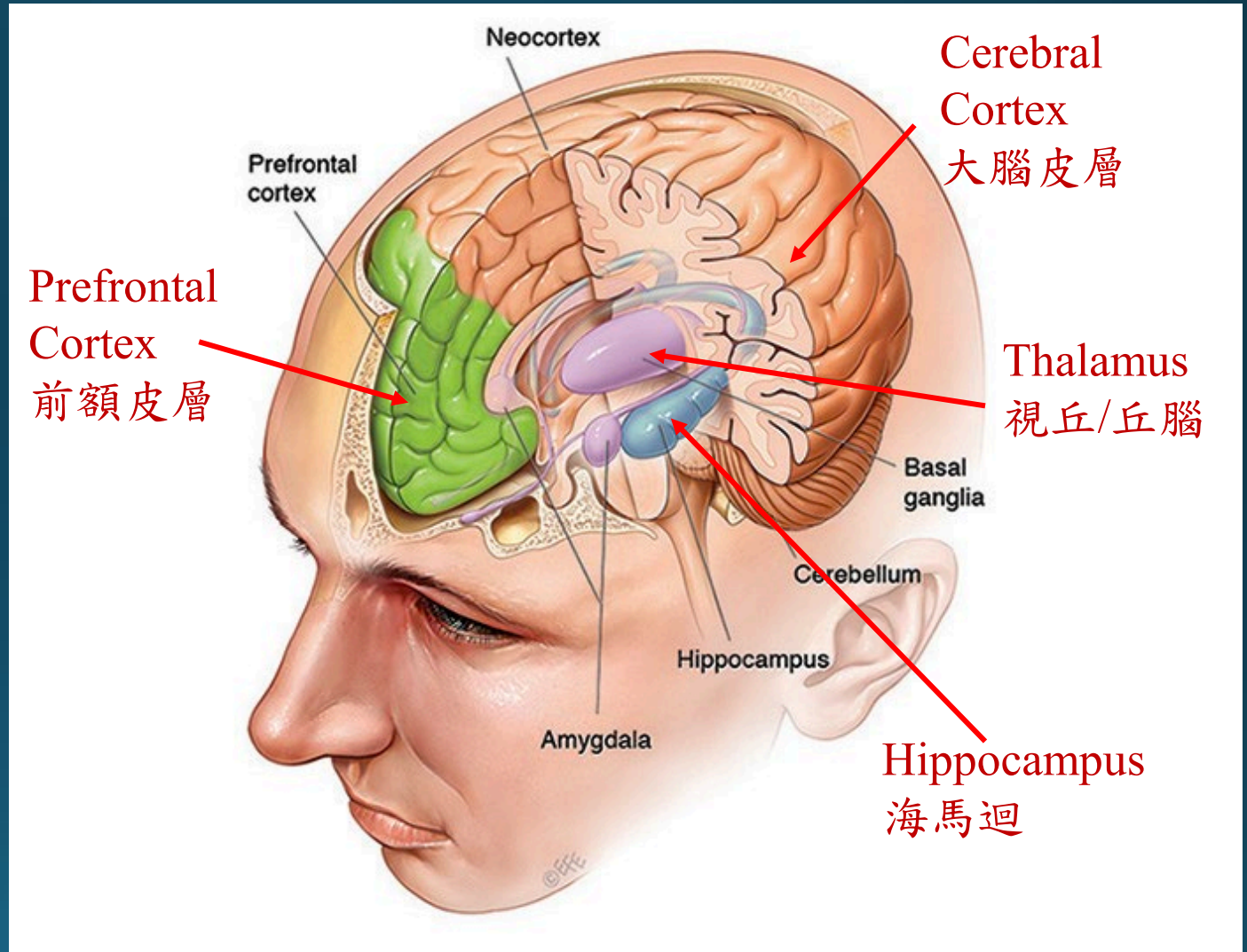


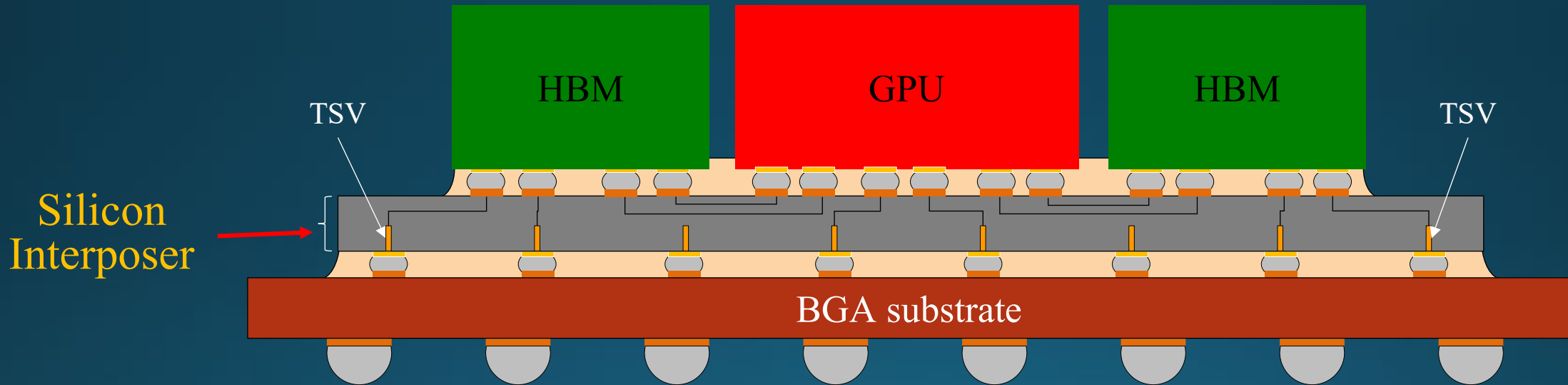
Fig. 23A

- 前額皮層 Prefrontal Cortex
執行控制 (CPU)
有暫時記憶 (Cash SRAM)
- 視丘/丘腦 Thalamus
信息中繼站 (HBM)
- 大腦皮層 Cerebral Cortex
長期記憶 (SSD)
- 海馬迴 Hippocampus
將短期記憶轉化成長期記憶，
存入大腦皮層 (Memory
Control Chip)



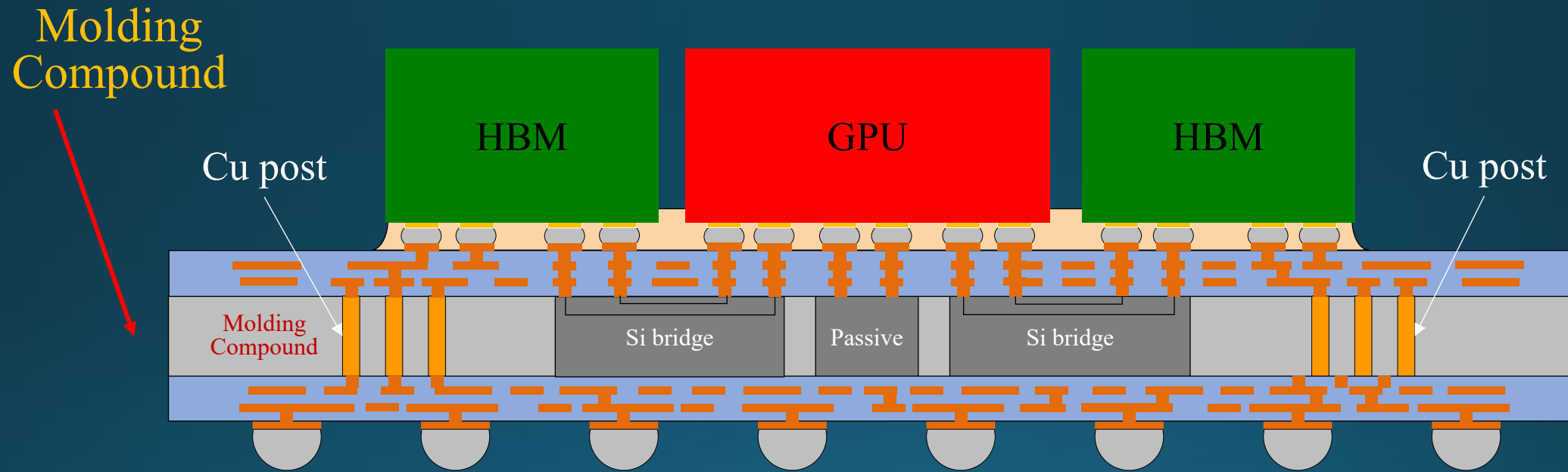
<https://qbi.uq.edu.au/brain/brain-anatomy/forebrain>

GPU connects to HBMs through Silicon Interposer



矽橋(Silicon Bridge) 解決數目暴力的問題

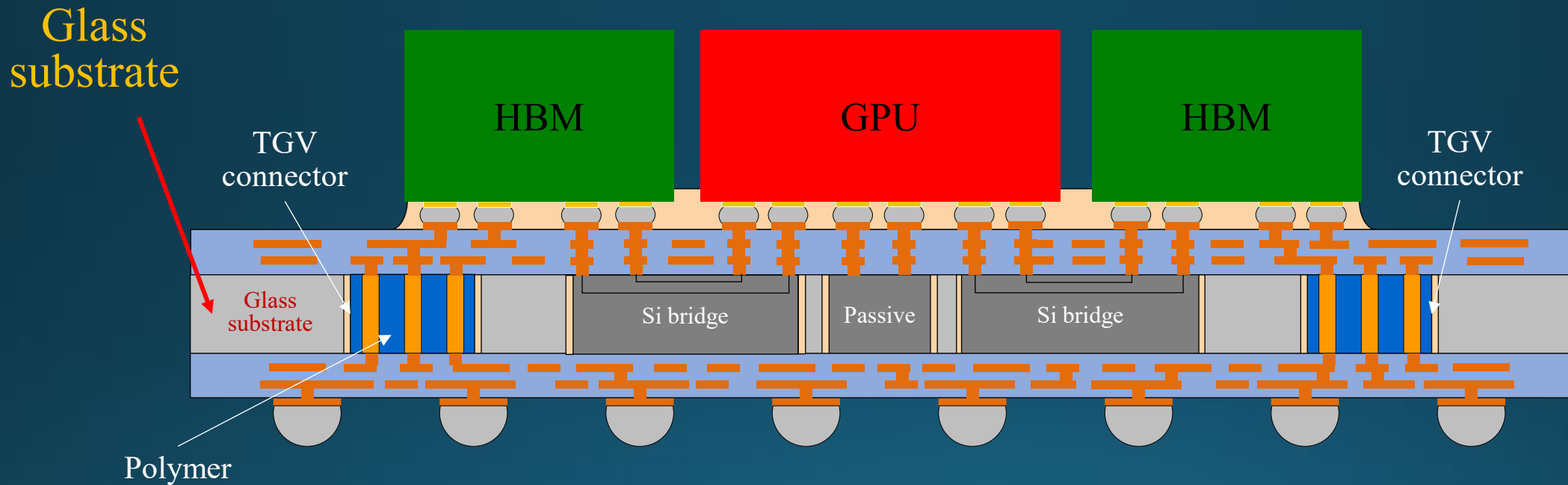
GPU connects to HBMs through
Silicon Bridge embedded in Molding Compound



矽橋(Silicon Bridge)提供1024條高密度金屬連線，連接GPU晶片和HBM堆疊，解決數目暴力的問題

玻璃基板會是摩爾旅程在先進封裝的終點？

GPU connects to HBMs through
Glass Interposer

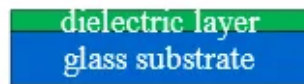


成真公司 OUT-OF-Box Idea:
Turning 90° 使平躺的金屬線變成垂直的導通孔 (Through Via)

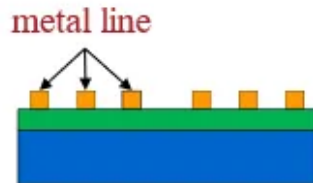
製作 TGV Connector 的流程

Fig. 1: Processes Flow for Fabricating TGV Connectors

1. Vacuum laminating the 1st dielectric film and curing.



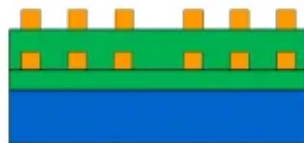
2. Making the 1st metal layer (sputter, photo, plating and etching processes).



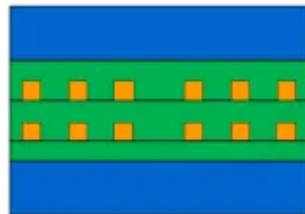
3. Vacuum laminating the 2nd dielectric film and curing. (same as Step 1).



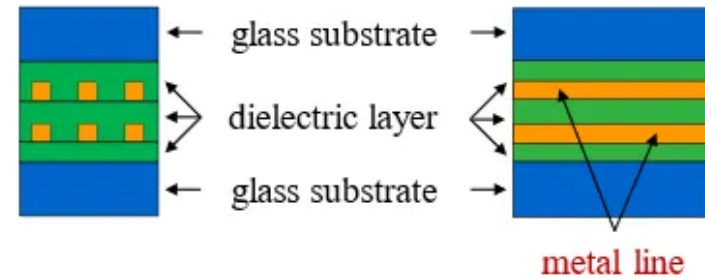
4. Making 2nd metal layer (same as Step 2).



5. Vacuum laminating the 3rd dielectric film and top glass substrate and curing.

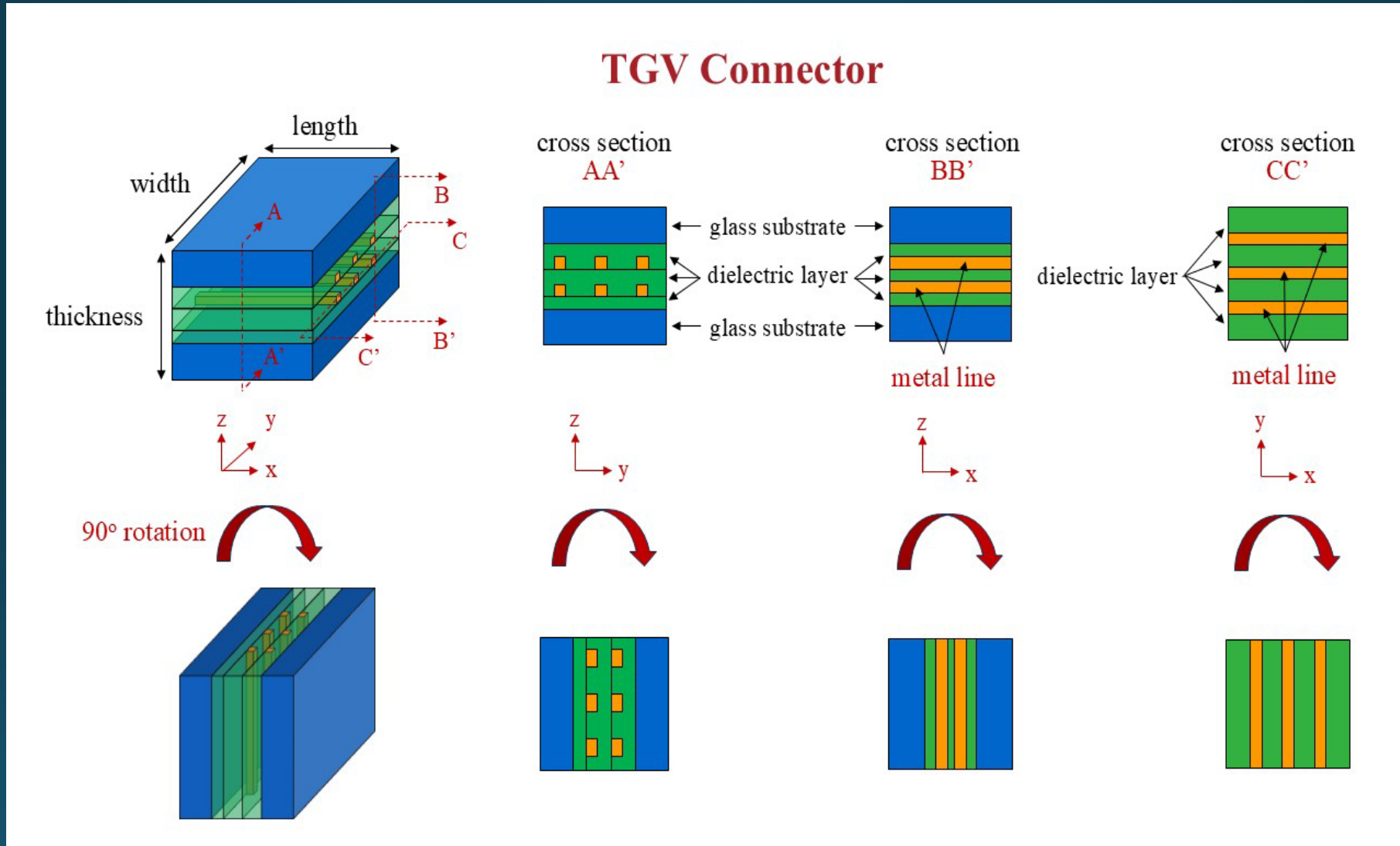


6. Singulating to form TGV Connectors.



OUT-OF-Box Idea:

Turning 90° 使平躺的金屬線變成垂直的導通孔 (Through Via)



解決玻璃導通孔 Micro-Crack 的問題

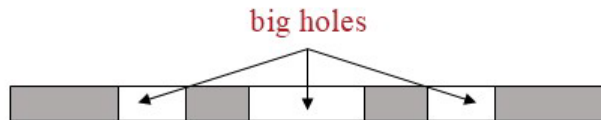
導通孔的金屬和玻璃沒有接觸

Processes Flow for Fabricating Glass Core with Embedded TGV Connectors

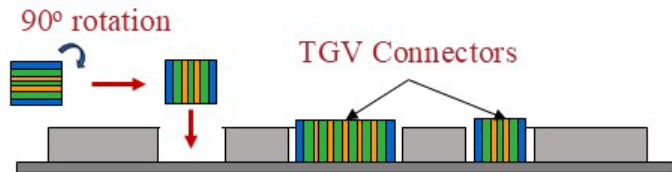
1. Prepare a glass substrate.



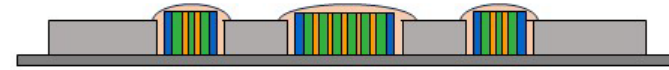
2. Make big holes on the glass substrate.



3. Attach the glass substrate to a temporary carrier. Rotate the TGV Connector by 90° and insert into the corresponding holes by pick-and-place process.



4. fill the gaps with polymer.



5. Grind the front side of the glass substrate to remove the excess TGV Connectors and expose the TGVs.



6. Remove the temporary substrate, then grind the back side of the glass substrate to expose the TGVs, thereby forming the glass core with embedded TGV Connectors.

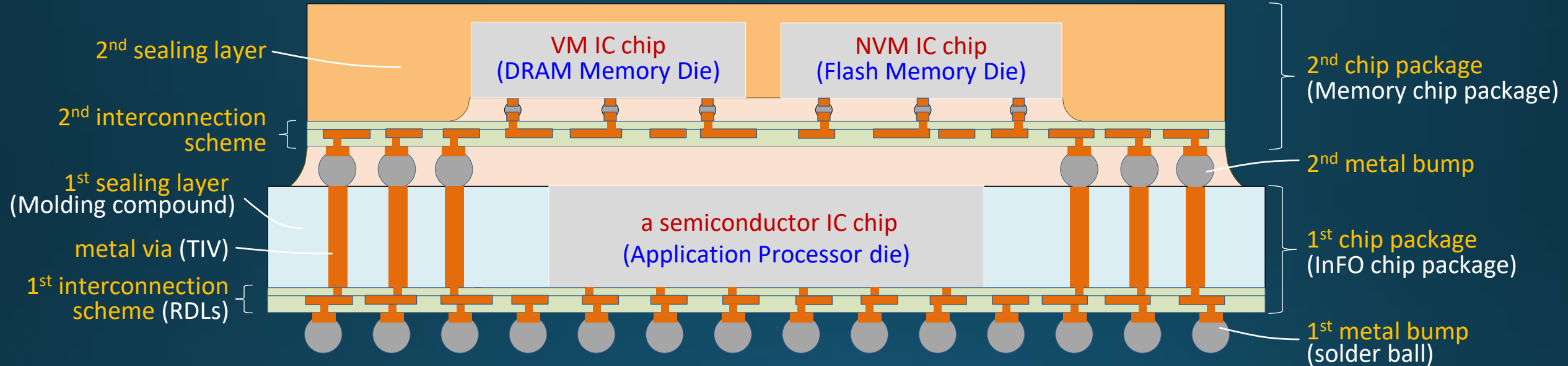


Client/Edge Solution: 流暢體驗 Apple Watch

- 蘋果在AI大模型上落後，基礎模型的競爭，本質上是算力、數據與資本密集的消耗戰；
- 蘋果的強項一直是將消費者體驗提升至極限，終端整合是在比設計能力、晶片自研與供應鏈掌控力的競賽。
- 前者比拼的是誰的 GPU 多，後者比拼的是誰能把 3 奈米 SoC 邏輯晶片、LPDDR DRAM 記憶體晶片、NAND Flash 記憶體晶片、感測器與軟體堆疊成一個流暢體驗。
- Apple 穿戴裝置 (Apple Watch, Apple Glasses, Apple AirPOD) 把SoC邏輯晶片、LPDDR DRAM 記憶體晶片、NAND Flash 記憶體晶片堆疊放在一個封裝，這不就是成真公司一直在推動「邏輯硬碟」的先進封裝技術嗎？

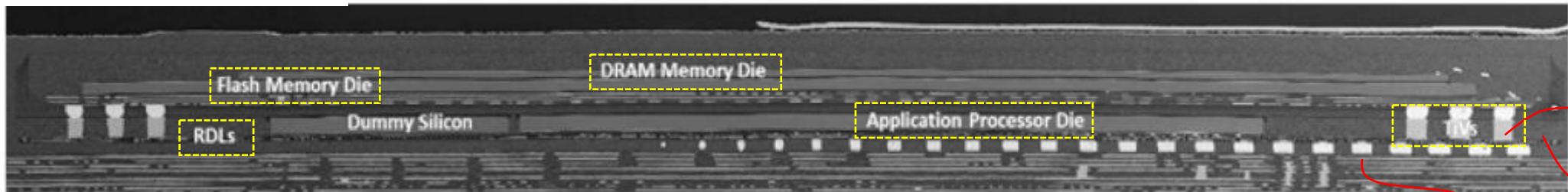
Client/Edge Solution: Apple Watch 4

- A system in package in which a **memory multi-chip package** is stacked above a **fan-out package (InFO package)** that contains a computing chip.
- The **memory multi-chip package** comprises **flash IC chip** and **DRAM IC chip**.



Cross section of Apple Watch 4

gold Elements disclosed in iCometrue's patent
white Elements disclosed in public information

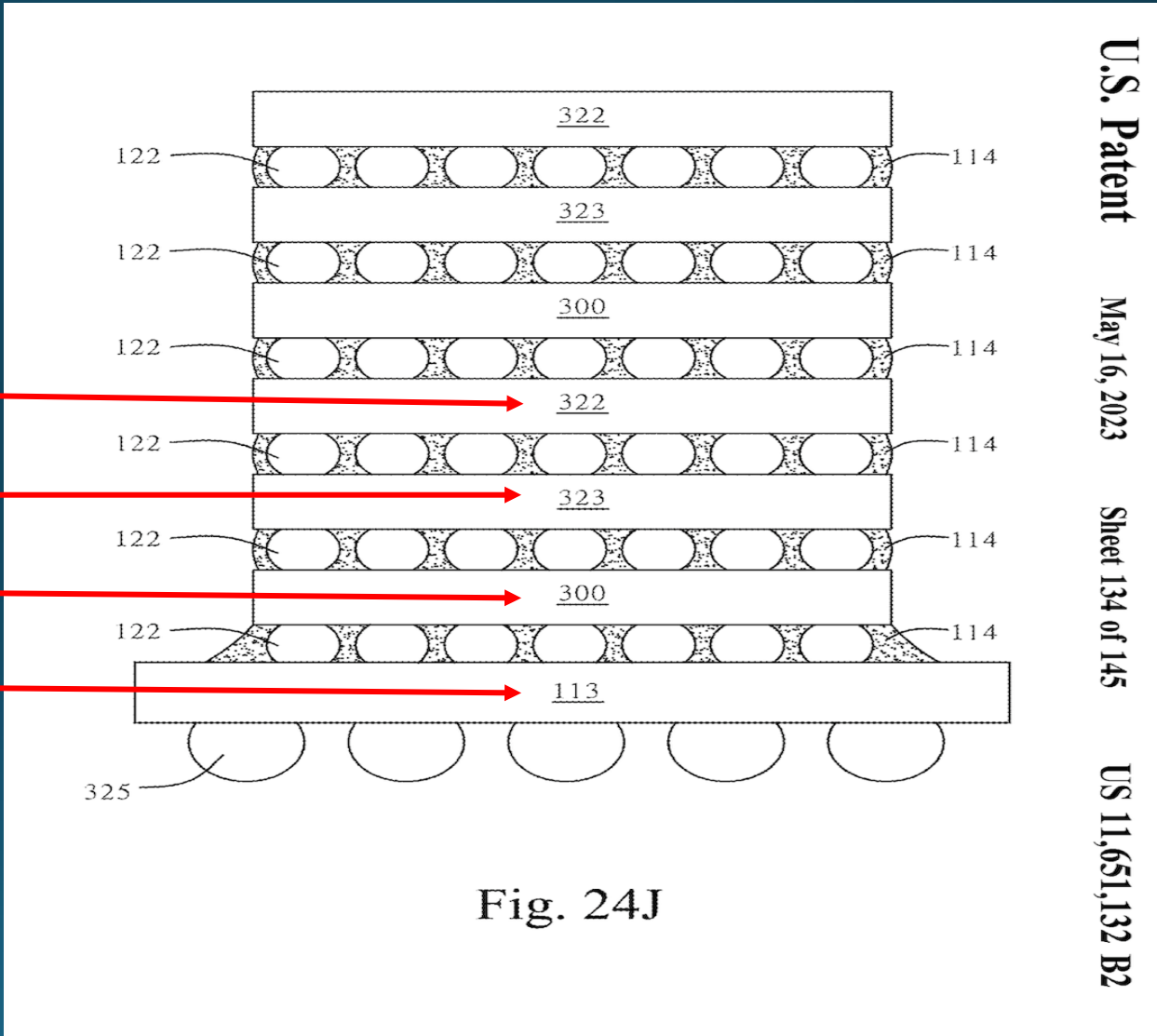


Memory chip package
TIV (Cu pillar)
InFO chip package
Molding compound

solder ball

iCometrue 的邏輯硬碟 Logic Drive[®]

Flash記憶體晶片
DRAM記憶體晶片
邏輯晶片
BGA 基板



第六課

「數大便是美」
AI的前途是光明，還是黑暗？

當數目趨近無窮大時，就會產生 高端智慧及神奇魔力

徐志摩散文「西湖記」

「數大」便是美

碧綠的山坡前幾千隻綿羊，挨成一片的雪絨，是美；
一天的繁星，千萬隻閃亮的眼神，從無極的藍空中下窺大地，是美；
泰山頂上的雲海，巨萬的雲峰在晨光裏靜定著，是美；
大海萬頃的波浪，戴著各式的白帽，在日光裏動盪著，起落著，是美；
愛爾蘭附近的那個「羽毛島」上棲著幾千萬的飛禽，夕陽西沉時只見一個「羽化」的大空，只是萬鳥齊鳴的大聲，是美；
……數大便是美。

數大了似乎按照著一種**自然律**，自然的會有一種特別的**排列**，一種特別的**節奏**，一種特殊的**式樣**，激動我們**審美的本能**，激發我們**審美的情緒**。

當數目趨近無窮大時，就會產生 高端智慧及神奇魔力

- 人腦有 10^{11} 個腦神經元 (Neuron) 細胞，而現在的一個半導體晶片遵循摩爾定律已經含有 5×10^{10} 個電晶體。
 - 2015年，人類偵測聽到重力波，證實了百年前愛因斯坦提出的廣義相對論。
 - 2016年，人工智慧 AlphaGo 打敗世界最頂尖圍棋高手。

這些震驚世人事件的背後，都有半導體晶片電晶體數目暴增到百億的影子。

晶片產生驚人的智能

- 人腦有 10^{11} 個神經元數目，而現在的一個半導體晶片已經含有 5×10^{10} 個電晶體。
- 一台EUV曝光機1小時可以印150片晶圓，每片12吋晶圓上可以有2,000個晶片，一台EUV 曝光機1年可以產出：

$$2000 \times 150 \text{ 片} \times 20 \text{ 小時} \times 365 \text{ 天} = 2.2 \times 10^8 \text{ 個晶片}$$

$$2.2 \times 10^8 \text{ 個晶片} \times 5 \times 10^{10} \text{ 個電晶體} = 1.1 \times 10^{19} \text{ 個電晶體}$$

$$1.1 \times 10^{19} \text{ 個電晶體} / 10^{11} \text{ 個腦細胞} = 1.1 \times 10^8 \text{ 個人腦}$$

- 一台EUV 1年可以產出的電晶體數相當於 1.1 億個人腦的神經元數目，已經接近全世界2024年一整年1.3 億新生嬰兒 大腦所含有的神經元數目。

晶片人工智慧機器 (AI machine) 會有「機器個性」或「機性」(「Machinality」) 嗎？

- **humanity和「Machinality」的關係是什麼呢？**
 - 是主從關係 (master-slave) 嗎？還是平行關係 (parallel) 呢？
 - 是和諧 (harmony) 的呢？還是衝突 (conflict) 的呢？
 - 人類 (human being) 將如何以自己的humanity來處理機器的「Machinality」呢？
- **會有一個管理AI machine社會的法律制度嗎？**
 - 是人類幫AI machine建立的，還是AI machine自己建立的？
 - 會有AI machine的言論自由和機器權利或機權 (Machine Right) 嗎？
- 以上這些問題、論述和憂慮都是假設人類（尤其是工程師）不自我節制和覺醒，放任AI Machine發展出或被發展出毫無受限的Machinality。
- **人類又應當如何自我節制和覺醒，使得AI Machine不發展出或不被發展出毫無受限的Machinality？**

如何使得AI Machine不發展出或不被發展出毫無受限的Machinality？

最開始的時候，人類是如何開始感受及思考宇宙萬萬物？

- 公元前5世紀的古希臘自然科學家恩培多克勒 (Empedocles) 提出「四根說」，認為水、土、火、風是構成萬物不可摧毀的四種本原，透過「愛」與「恨」的結合與分離產生世間萬物。

如何使得AI Machine不發展出或不被發展出毫無受限的Machinality?

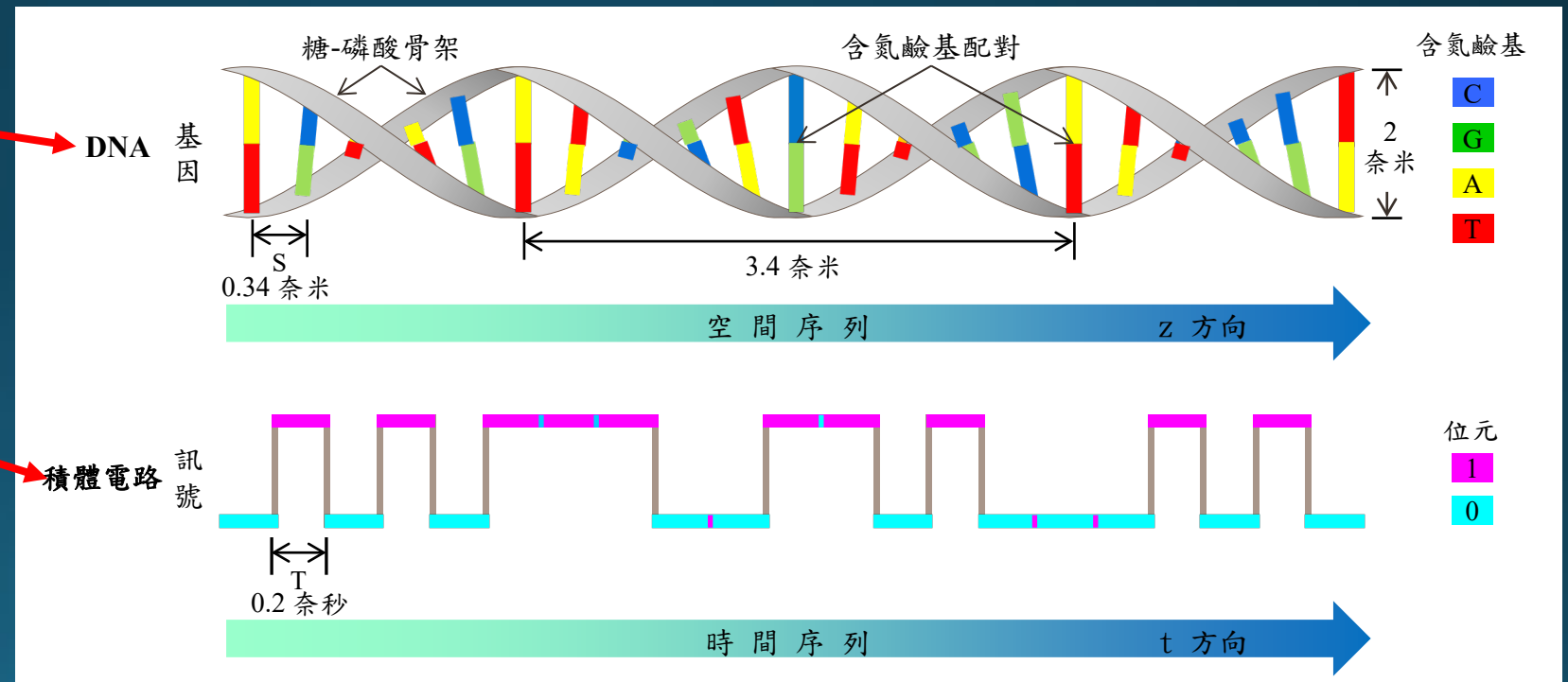
人造的積體電路和自然界的DNA有類似的信息傳遞法則

- 自然界的DNA以A、T、C以及G四種含氮鹼基，在兩股螺旋股幹之間，形成A-T和C-G配對，並依據其中一股螺旋股幹含氮鹼基A，T，C及G 四個位元在空間的序列 (spatial sequence)，忠實精準的傳遞基因，其中空間週期 (S) 為0.34奈米 (兩個相鄰含氮鹼基的距離)。
- 而人造晶片的積體電路則依據0和1兩個位元在時間的序列 (time sequence)，忠實精準的傳遞訊號，其中時間週期 (T) 以奈秒或是皮秒 (nano- or pico-second) 為單位。

• 1953年James Watson (1928-2025) 發現DNA

• 1947年 William Shockley (1910-1989) 共同發明電晶體

• 兩人都是種族主義者 (Racist)



如何使得AI Machine不發展出或不被發展出毫無受限的Machinality？

- 不被發展出Machinality

- Humanity - 人類的演化過程將「愛」寫入人類基因組

DNA 共同發現者 詹姆斯·華生 (James Watson) 在 2003 年《DNA：生命秘密》一書中提到，人類的社交行為與依附情感並非單純的文化產物，而是演化為了確保物種生存而刻在基因裡的指令。

- 不發展出Machinality

- Machinality - 在AI機器人開發過程將「愛」寫入AI機器人基因指令

哈佛大學工學院在2018年首創開設工程倫理課程Embedded Ethics for Computer Science (EthiCS)，並在2019年1月舉辦第一屆全球「Conference on Ethics of Engineering」。現在正在計劃增加AI and Responsibility (AIR) 的研究與課程。

晶片可能形成「技術黑洞」－建立工程倫理

- 晶片所含數百億個電晶體產生的摩爾魔法，可能形成「技術黑洞」，將是畢生從事半導體產業且有良知及人性的工程師所最擔憂不安的事情。
- 因此年輕的科學家及工程師必須及早建立工程倫理 (Engineering Ethics) 的道德及紀律。
- 哈佛大學工學院和法學院共同任命教授，在2013年設立了 Professor of Engineering and Law。
- 哈佛大學工學院在2018年首創開設工程倫理課程 Embedded Ethics for Computer Science (EthiCS)，並在2019年1月舉辦第一屆全球「Conference on Ethics of Engineering」。現在正在計劃增加 AI and Responsibility (AIR) 的研究與課程。

結語

$$i^4 = 1$$

一切：

空間 10^{27} 米(宇宙)到 10^{-9} 米(半導體)

時間 4.3×10^{17} 秒(137億年宇宙)到 10^{-11} 秒(半導體)

存乎一心：

一即一切，一切即一



好奇心 想像力 價值觀

哈佛大學一直認為教育最重要的宗旨是建立學生**善良的道德倫理的價值觀**，而不只是知識的學習。哈佛大學認為學生畢業後，不管是當了總統、國會議員、公務員、軍人、教師、律師、醫師、會計師、工程師、企業家或商人，在**做生死存亡或關鍵抉擇時**，憑藉的是**心中的道德倫理觀及宗教信仰**，而不在於在學校所學習的知識。

真實世界 vs AI 世界

- 時間和空間在自然界的DNA和人造晶片的積體電路扮演的角色也許隱藏著深邃的祕密，這和複雜的時間和空間物理原理有關嗎？
- 這可能蘊藏著DNA Computing或是Quantum Computing的線索和啟發嗎？
- 時間和空間源遠流長、浩瀚無邊，其中隱含的物理深不可測，令人無法透徹了解，以致於人們陷入迷惑無法自拔的深淵。

事件 (Event)
波動 (Wave)

