

# 半導體與未來

2026 全球半導體產業展望



# Agenda

1 前言

2 需求分析

半導體驅動創新與日常生活

3 供給分析

爭奪半導體的主導地位

4 What's Next?

半導體的機會：人工智慧與更多可能

# 前言

人工智慧技術的進展、地緣政治變化，以及各國政府日益增加投入國內生產的影響，使得半導體產業正在經歷快速的轉型。高效能晶片的需求隨著 AI 應用發展激增，供應鏈格局也因貿易政策與國安考量而大幅重塑。而半導體在汽車、醫療保健與能源等多個產業中已成為不可或缺的關鍵元件，提高了持續創新與策略調整的必要性。

供應鏈韌性與技術自主性儼然已成為企業與政府的首要課題。雖然各方都積極推動生產多元化並降低進口依賴，但結構性的挑戰依然存在。像是出口管制、關鍵材料限制以及貿易聯盟的變動，正在重新定義半導體產業格局，使企業在維持競爭優勢的同時，需面對日益複雜的經營環境。

在 PwC，我們長期與半導體領導企業並肩合作，歷經多次產業變革，協助客戶因應市場變遷、優化供應鏈，並推動永續成長。

我們深厚的產業專業，能提供在供應鏈重組、營運效率及技術創新等方面的策略洞見。面對不斷演變的競爭與法規環境，我們將持續協助企業降低風險、掌握成長機會，並為長遠的成功做好準備。

隨著半導體在全球創新與經濟安全中扮演越來越關鍵的角色，企業必須以前瞻性的思維維持競爭力。透過本報告，我們希望為產業領導者、決策者與企業提供洞見，協助其掌握此充滿動能的產業未來。PwC 將持續與各界攜手合作，迎戰挑戰、把握機會，共同釋放半導體產業的無限潛力。



**Glenn Burm**

Partner

Global Semiconductors Leader

*Glenn Burm*



# 前言

半導體產業正站在關鍵的歷史轉折點上。人工智慧的快速發展、地緣政治的變化，以及各國對供應鏈安全與技術自主的高度重視，正同時重塑全球半導體產業的樣貌。技術創新不再只是競爭力的來源，更成為國家發展、產業韌性與社會運作的核心基礎。

在這樣的全球脈動中，台灣長期扮演著舉足輕重的角色。憑藉深厚的工程實力、完整且高度分工的產業聚落，以及對品質與交付承諾的堅持，台灣半導體產業在全球供應鏈中建立了難以取代的信任基礎。這份信任，並非一朝一夕形成，而是來自數十年來產業夥伴之間的緊密合作、持續投資與共同成長。

然而，未來的挑戰與機會，已不再侷限於製程節點或產能規模的競逐。隨著 AI、車用電子、智慧製造與能源轉型的加速推進，半導體的角色正從關鍵零組件，進一步轉變為跨產業創新的核心引擎。這也意味著，台灣半導體產業必須持續深化技術能力，同時在永續發展、能源效率、人才培育與國際協作等面向，展現更長遠的視野與責任感。

《半導體與未來：2026全球半導體產業展望》報告，從全球角度剖析需求變化、供應鏈重組與未來技術趨勢，提供了極具價值的洞察。對台灣而言，這不僅是一份產業分析報告，更是一個重新思考自身定位與下一步方向的重要參考。我們相信，唯有在全球合作的架構下，持續強化自身優勢、補足關鍵能力，才能在快速變動的環境中，為客戶、為產業、也為社會創造長期價值。

展望未來，半導體將持續成為推動世界進步的重要力量。PwC也將協助企業在這條道路上，與全球夥伴攜手前行，以穩健的技術基礎、開放的合作態度，以及對永續與創新的承諾，迎接下一個世代的挑戰與機會。



**盧志浩**

PwC Taiwan

資誠創新諮詢公司董事長





# 半導體與未來

## Key highlights

PwC《半導體與未來—2026 全球半導體產業展望》報告旨在為全球半導體產業提供策略性觀點。其架構分為三大部分：一為「需求分析」，針對五大終端市場進行需求研究。二為「供給分析」，探討各價值鏈的動態變化。三為「未來洞察」，針對未來技術提供策略性預測。

首先，在「需求分析」中，我們預測半導體市場將從 2024 年的 6,000 億美元，以 8.6% 的年均複合成長率（CAGR）增長，並於 2030 年突破 1 兆美元。在眾多領域中，由生成式 AI 服務快速增長所驅動的「伺服器與網路」半導體，預計將以 11.6% 的年均成長率，成為成長最快速的領域。其次，在「車用」領域，在電動車與自動駕駛技術的推動下，預計將以 10.7% 的年均成長率增長。透過此分析，我們將深入探討半導體在五大應用領域所扮演的角色、需求模式的轉變，以及塑造產業樣貌的廣泛影響，並分析技術進步如何影響半導體的應用與發展。

接著在「供給分析」中，我們觀察到技術開發與投資正集中於擴充產能與推進先進製程節點。儘管先進製程的演進對產業至關重要，但供應鏈的競爭力卻因地區而異。歷史上，美國在晶片設計領域具備穩固地位，而亞洲則在製造領域表現出色，東南亞地區則處於封裝技術發展的前沿。然而，不斷變化的需求、技術挑戰與地緣政治的轉變，正重塑半導體的供應鏈，並可能引發重大的版圖變動。

最後，「未來洞察」章節針對 2030 年後將對半導體市場產生深遠影響的創新技術，提供長期分析。在眾多創新技術中，我們輔以量化洞察，評估其技術可行性與市場潛力。本報告辨識出這些持續且相互關聯的趨勢，並分析其相關技術、不確定性與關鍵議題。此份分析將為市場新進者與政策制定者，提供關於半導體產業未來動態的關鍵洞見。

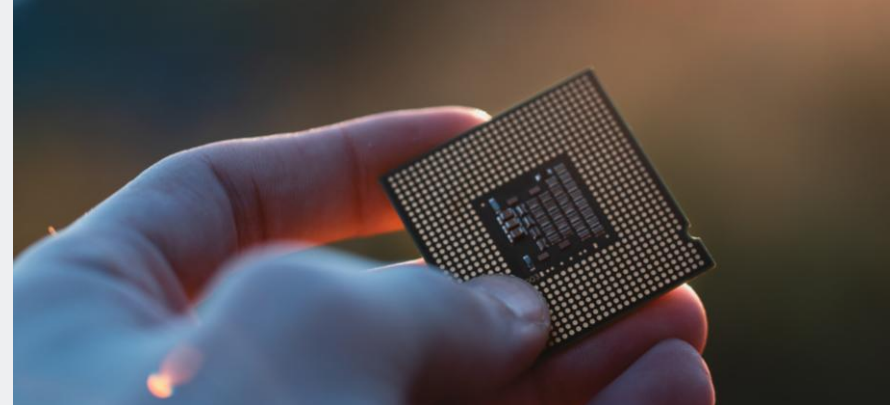
# 2

## 需求分析

半導體驅動創新與日常生活

# 需求的重要性

半導體已成為今日世界中不可或缺的核心基礎。隨著科技持續進步與產業需求不斷攀升，市場展現出強勁且持續演變的成長動能。而當需求增速超越供給，深入解析需求結構與變化，不僅能找到多元的發展方向，更能協助掌握新的契機。



## 終端市場

汽車

伺服器與網路

家用電器

運算設備

工業應用

## 終端市場動態

因半導體的需求受到終端市場的高度影響，剖析終端市場動態有助於預測半導體產業未來走勢。

## 半導體趨勢

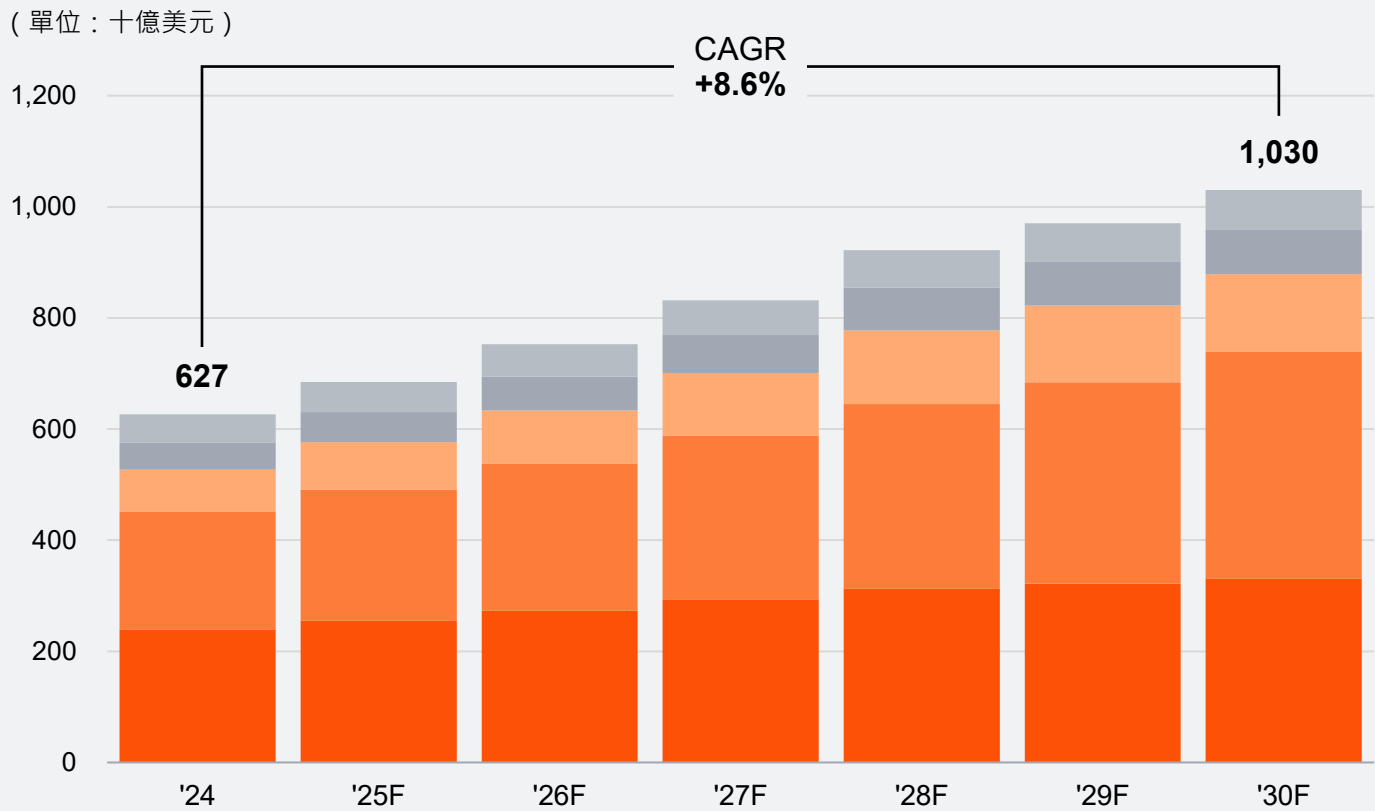
觀察近期在應用領域或是核心晶片的劇烈需求走向變動，來掌握市場的關鍵趨勢。

## 需求展望

從應用角度分析半導體需求，評估各市場的成長率，以及半導體成本在整體產品中的比重變化，來衡量至 2030 年半導體的需求強度。

# 全球半導體需求—依終端市場劃分

半導體作為數據中心、人工智慧、機器人、智慧型手機、自駕車及其他新興科技趨勢的支柱與推動者，全球市場預計將從2024年的6,270億美元成長至2030年預估的1兆零三百億美元。此成長動力主要來自各終端市場的廣泛發展。



終端市場	CAGR <sup>1)</sup> ( '24-'30F )
家用電器	+5.6%
工業應用	+8.8%
汽車	+10.7%
伺服器與網路	+11.6%
運算設備	+5.5%

1 ) Compound Annual Growth Rate  
Source: Omdia, PwC analysis



# 汽車

汽車產業正經歷由電動化、自動駕駛及軟體定義車輛（SDV）帶動的大幅轉型。這些趨勢也正迅速成為新的產業標準，提升半導體在現代汽車中的角色與價值。

電動車預計於2030年占據大半的汽車市場，因此高壓功率半導體，如碳化矽（SiC）的需求也將大幅攀升。自動駕駛技術也將持續進步並普及，大部分車輛將達到二級自動駕駛（Level 2），且越來越多車輛將達成三級自動駕駛（Level 3）。這意味著每輛車所需的半導體含量，包含感測器、連接晶片，到處理單元等多個環節將會提升。另外，軟體定義車輛的興起，將會帶動車輛架構轉向分區架構，並配備集中運算能力，提升汽車系統單晶片（SoC）的性能。

未來的汽車將不僅是交通工具，更將成為一種新型態的「家」：一台半導體驅動、可移動的高性能電腦。



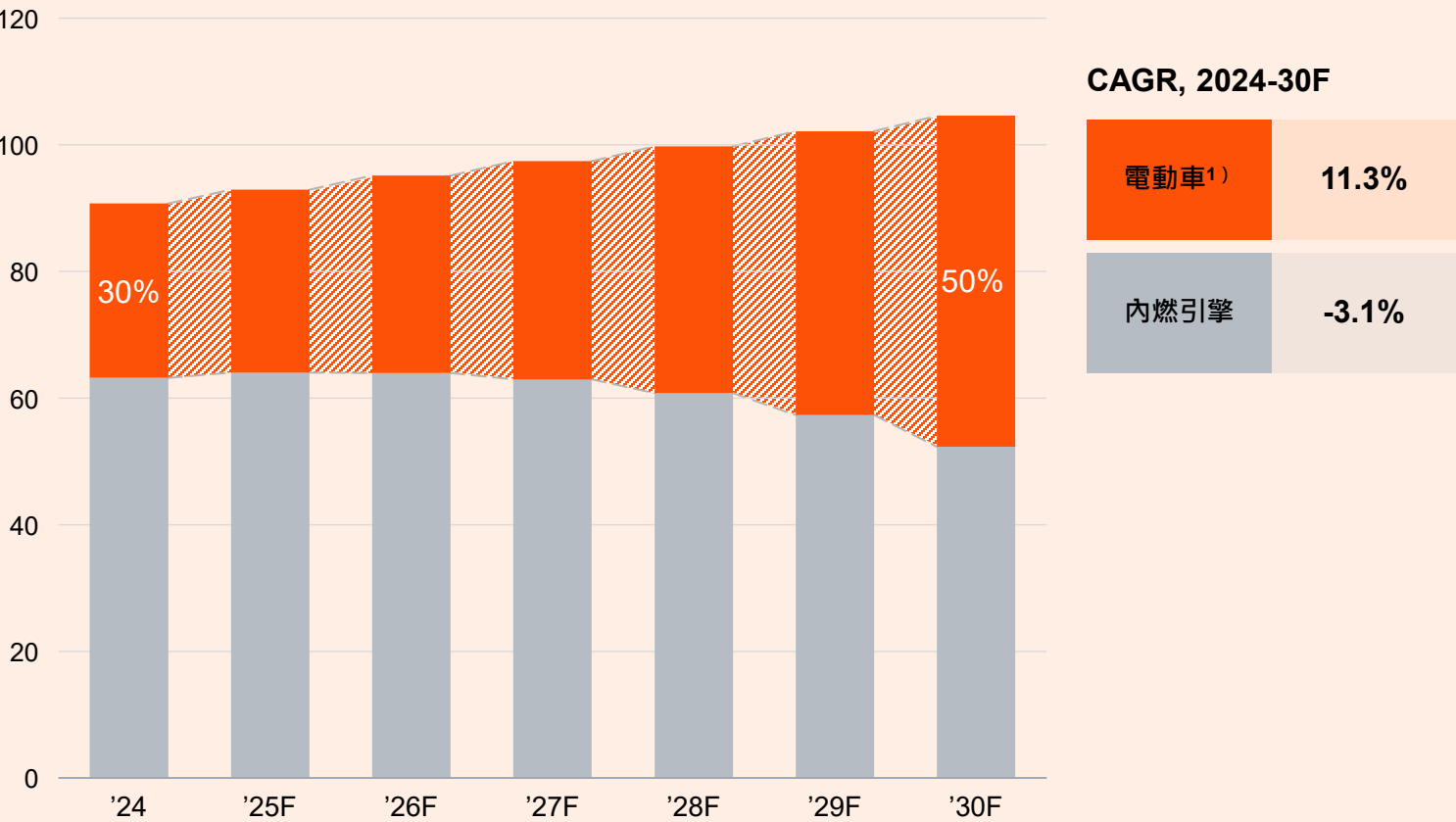


# 電動化與連網

汽車產業正朝著電動化、自動駕駛與連網技術轉型。電動車市場起初由中國領跑，隨後歐洲、美國及其他地區陸續加入，OEM廠商也持續加大混合動力及電動車的投資，讓電動車市場快速擴張，預計將於2030年銷量突破5200萬輛，並成為市場主流。

連網及自動駕駛也正在塑造並讓未來的汽車市場日益成熟。加上動力系統技術的轉變，電動化、自動駕駛、與連網，將成為汽車產業的新標準，進一步提升半導體在汽車中的重要地位。

全球汽車銷售展望（單位：百萬台）



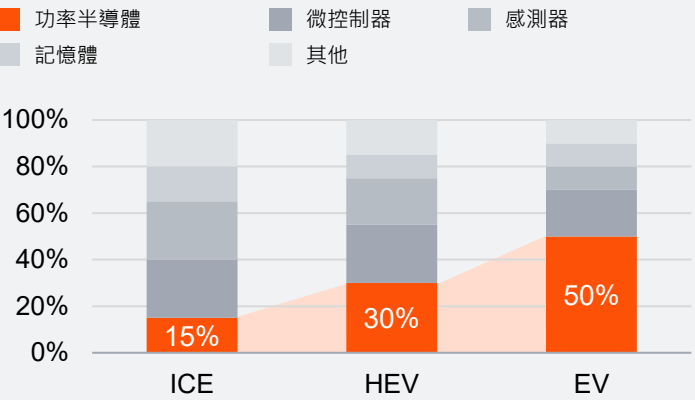
1) 電動車（Electric Vehicle）包含純電動車（Battery Electric Vehicle）、油電混合車（Hybrid Electric Vehicle）與插電式混合車（Plug-in Hybrid Electric Vehicle）  
Source: PwC Autofacts, PwC analysis

# 更多電動車？ 需要更多功率！

隨著電動車（EV）市場迅速成長，加上資訊娛樂系統與自動駕駛功能的整合，車輛對功率半導體的需求快速上升。功率半導體負責電力系統的管理與轉換，在現代車輛中扮演著關鍵角色。

而隨著汽車產業從內燃機（ICE）邁向油電混合（HEV）與純電動車（EV），功率半導體預計將占整體車用半導體成本的50%以上。

## 半導體成本—依引擎類型劃分



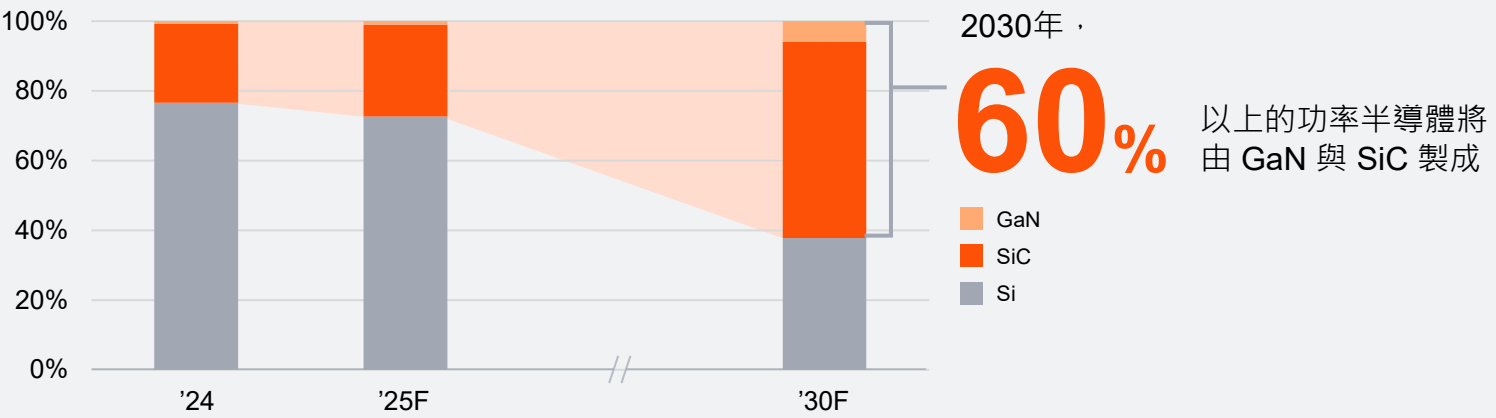
Source: PwC Autofacts, PwC analysis

# 要更有效率？ 需要更強的晶片！

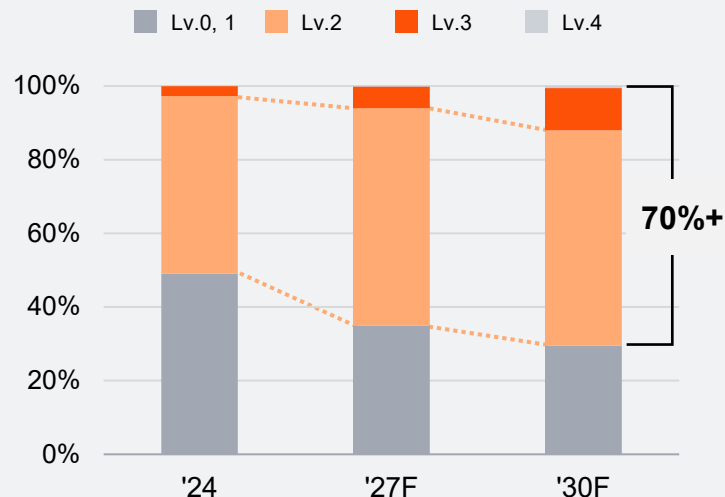
隨著汽車產業邁向電動化，引擎驅動與控制及自駕系統與車載娛樂等，愈來愈多功能依賴電力，因此有效率的控制電力變得更具挑戰性。由於電動車運行過程中需要不斷切換高壓電力，能夠高效處理更高功率的電力半導體需求可能會大幅增加。若晶片無法承受高壓環境，將可能導致像是起火等嚴重的風險。

因此，電動車的普及讓市場對新興材料如碳化矽（SiC）與氮化鎵（GaN）的需求隨之提升。與傳統矽晶片相比，這些材料能承受更高的電壓，並且具備更快的切換速度，能在切換的過程中降低能量損耗。車廠通常會在中壓、速度敏感的部分導入GaN，而在高壓、高功率傳輸路徑的部分使用SiC，藉此在效率、重量與整體系統成本間取得平衡，優化電動車的動力系統。

## SiC 與 GaN 功率半導體在車用市場的占比



## 自動駕駛等級



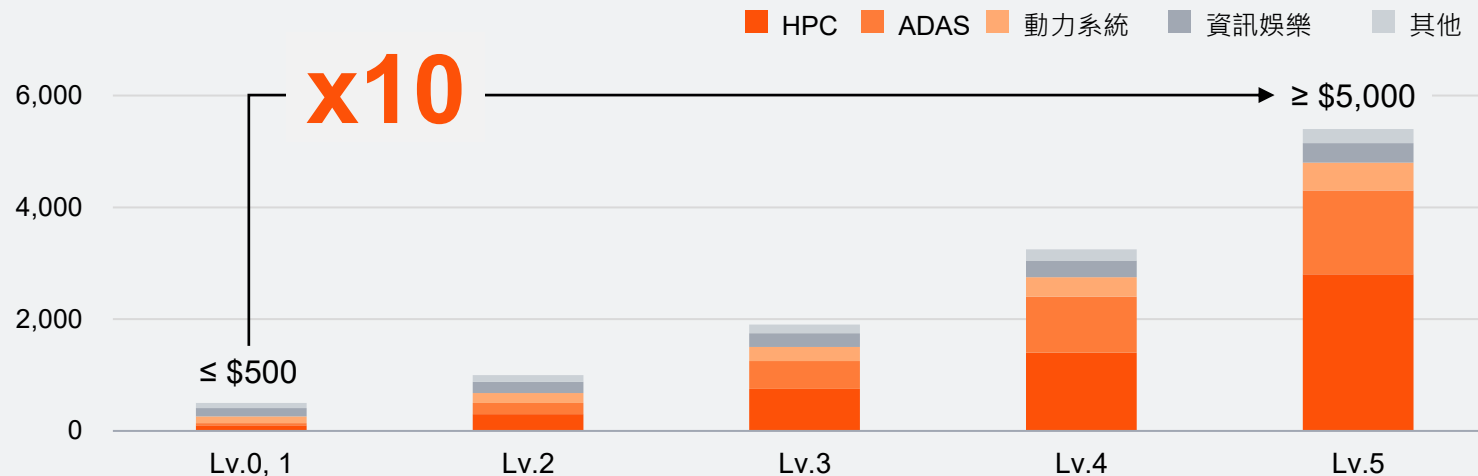
Source: PwC Autofacts, PwC Analysis

自動駕駛技術分為0至5級。0至1級提供駕駛輔助功能，如碰撞預警與車道偏離警示。2級則具備部分自動駕駛能力，例如能在道路上維持與其他車輛的距離。從3級開始，車輛可在無需駕駛者持續監控的情況下自動行駛。3級主要適用於高速公路，4級則擴展至一般道路，而5則級完全無需駕駛者，駕駛者的角色如同乘客一般。

預計到2030年，大多數新車將配備2級自動駕駛功能，且3級自動駕駛也將開始商業化應用。

## 自動駕駛的半導體含量<sup>1)</sup> — 依自動駕駛等級

(單位：美元 / 車)



1) 自動駕駛等級的半導體含量是採用自下而上的方法估算，通過彙總各自動化階段的元件成本和市場數據得出。此估算結果可能會因未來自動駕駛車輛的價格趨勢與市場狀況而有所變動

## 汽車的眼睛、大腦與肌肉

隨著自動駕駛等級提升，車輛對於資料收集與處理的能力需求大幅增加，使得車輛的電子架構更加複雜，連帶提升高效能運算 (HPC) 晶片與先進駕駛輔助系統 (ADAS) 的半導體成本。

為實現自動駕駛功能，車輛必須配備多種感測器與連接晶片，以感知即時環境資訊，並搭載運算晶片來處理這些資訊，還需透過控制單元，以最低延遲執行決策行動。因此，隨著車輛自動駕駛程度提升，安裝晶片的數量與單晶片平均價格皆顯著增加，推動車用半導體市場持續成長。

# 軟體定義車輛改變汽車的運作方式

你是否曾經在手機軟體更新後，驚喜地發現新增了新功能？軟體定義車輛（SDV）就是將類似的概念運用在汽車上，透過軟體更新即可新增功能，無需更換硬體。

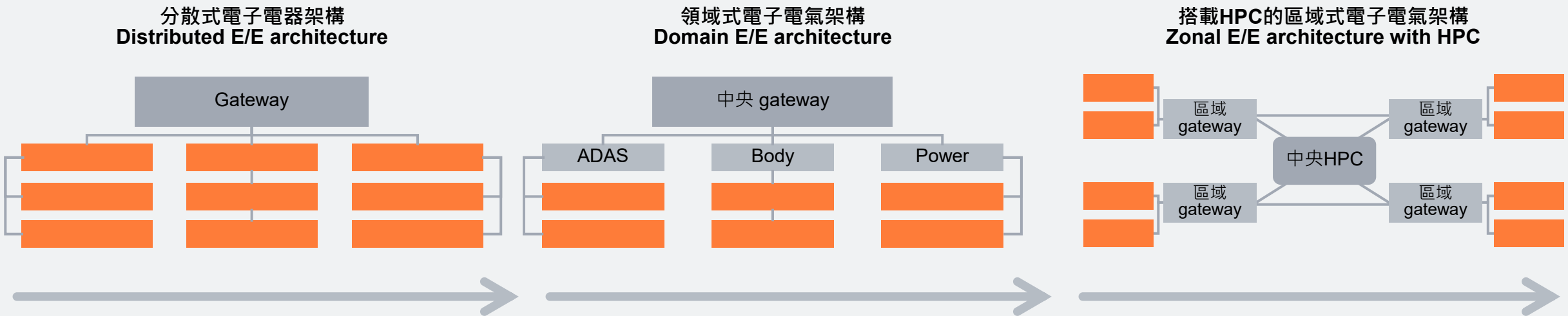
而隨著 SDV 興起，汽車產業正朝向「區域化架構」（Zonal Architecture）發展，由中央電腦管理車輛的不同區域，大幅簡化線路設計，降低物理複雜度，並顯著提升軟體更新的穩定性。

區域化架構轉型也正在重塑車用半導體市場。過去負責單一功能的電子控制單元（ECU）數量逐漸減少，轉向高效能系統單晶片（SoC）、人工智慧加速器（AI accelerators）與高速記憶體等較複雜之晶片。且實現即時資料傳輸的连接晶片及保障軟體安全的微控制器（MCU）的重要也日益提升。

車用 SoC 將整合 GPU、NPU 與 ISP 等處理單元，但隨著運算需求飆升及區域化架構的推進，專用 AI 加速器與 SoC 的採用比例也將同步提升。

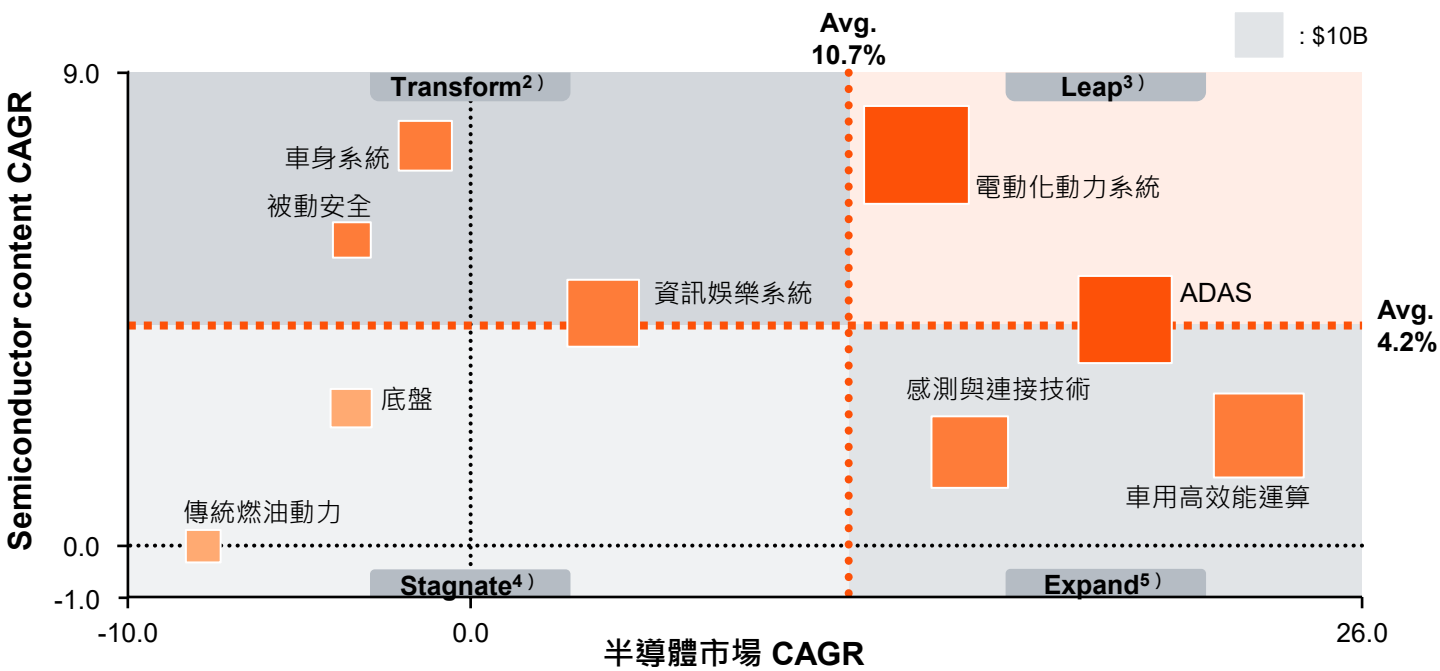
## 車輛架構的演變

■ : ECU



# 2030年半導體需求展望—依應用領域<sup>1)</sup>

此圖為 2030 年主要應用領域的半導體需求預測。圖中以橘色虛線標示各軸的平均值，並據此將應用市場劃分為四個象限。



## 電動化與自動駕駛

電動化與自動駕駛的趨勢帶來了顯著的半導體的需求。例如，電動化動力系統帶動了功率半導體（如 IGBT 與 SiC）的需求，而自動駕駛則帶動了 ECU（先進駕駛輔助系統，ADAS）的需求。

另外，隨著自動駕駛技術與軟體定義車輛（SDV）的進步與普及，相關的半導體需求像車用高效能運算（HPC）、感測器與連接晶片等也將隨之成長。車身、資訊娛樂系統與乘客安全相關的半導體也將升級，來改善車內環境。

然而，底盤與傳統動力系統市場規模預期將逐漸下降，主要因技術創新壓力相對較小，且整體市場規模呈現停滯。

1) X軸顯示該終端市場在2024年至2030年的半導體市場複合年增率（CAGR），Y軸則表示2024年至2030年間半導體在銷貨成本（COGS）中所占比例的複合年增率，方塊的大小代表2030年預期的半導體市場規模。  
2) 隨著技術和生態系統逐漸轉向半導體，產品中對半導體的依賴度迅速提升。  
3) 半導體市場的快速成長及半導體在銷貨成本中比例的快速擴大，將推動未來半導體需求成為重要領域。  
4) 已進入成熟階段的市場，特徵為市場萎縮或成長緩慢，重點放在穩定營運而非新投資或創新。  
5) 市場本身因大量生產及銷售而呈現高成長，但半導體相對於銷貨成本的比例擴張速度較為緩慢。



# 2030 年半導體各類應用的需求強度



# 伺服器與網路

自 2022 年以來，隨著生成式 AI 應用快速增加，所產生與處理的資料量呈指數級增長。從 AI 驅動的自動化、物聯網擴張，到車輛與工業系統日益智慧化，資料不再只是資產—而是現代數位基礎建設的根基。

到 2030 年，對運算能力的需求將加速 CPU、GPU 與 AI 加速器的成長，而高效能 DRAM 將成為支撐這些元件的關鍵。特別是在伺服器領域，科技巨頭將爭相開發自家的 ASIC，來優化營運成本。與此同時，6G 的演進與下一代 WiFi 協定，也將推動網路設備對運算力的需求，並帶動以氮化鎵 ( GaN ) 為基礎的晶片發展，來實現超高速、低延遲的通訊。

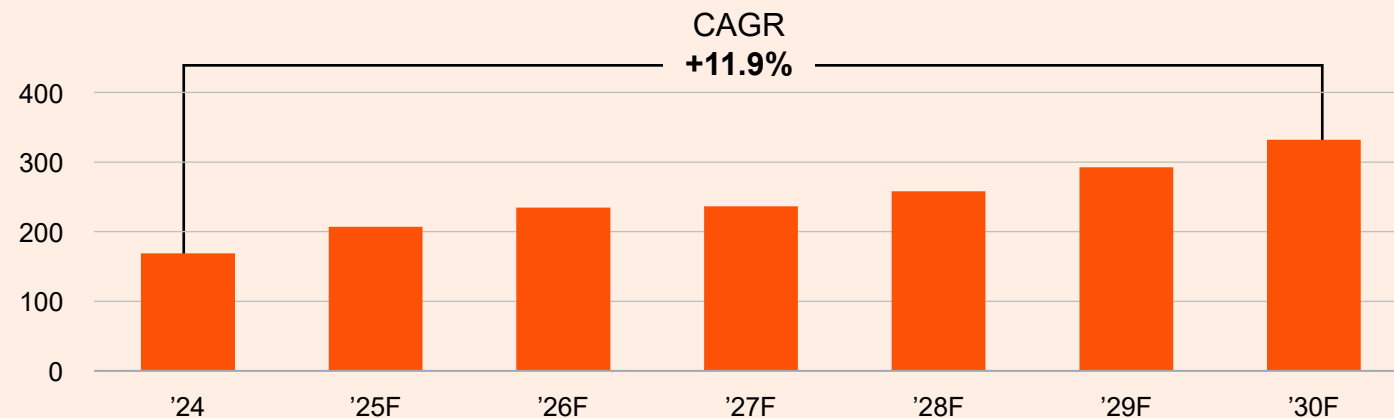
伺服器與網路設備將成為智慧無所不在的應用骨幹。而這一切的核心動力，就是來自半導體技術的持續進步。



# AI 資料中心 與新世代連網技術

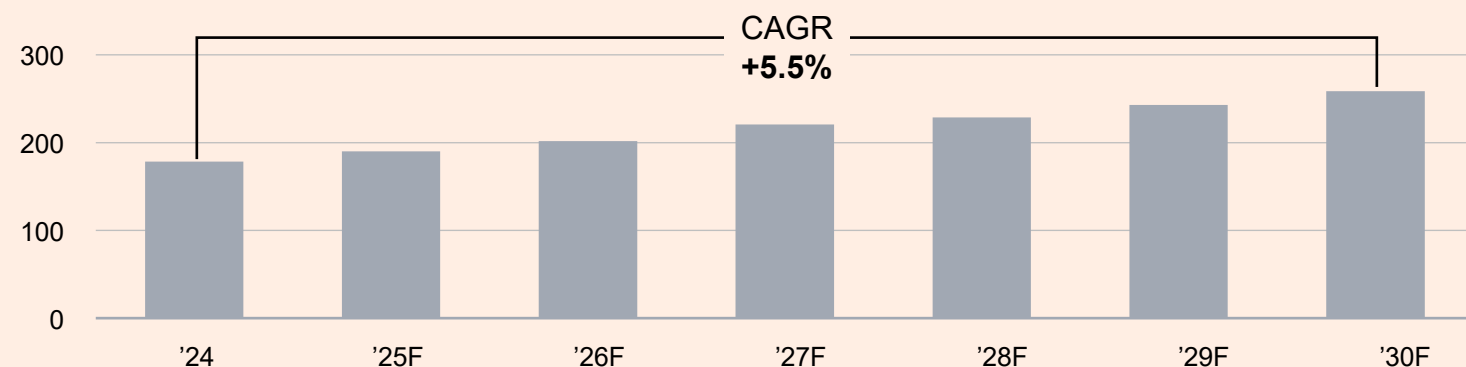
人工智慧、連網技術的快速成長，以及客戶對先進技術的採用，讓資料中心及其內部用以處理數據的伺服器需求增加。隨著雲端服務供應商、主機託管中心和電信公司對資料中心的投資，全球伺服器市場預計將在2030年超過3000億美元。

全球伺服器市場（單位：十億美元）



Source: Gartner, Statista, PwC analysis

全球網路基礎設施市場（單位：十億美元）



Source: Gartner, Statista, PwC analysis

同時，支援伺服器之間與節點之間連接的基礎設施需求正在上升。對更快、更廣泛且更可靠的連線需求，推動了基礎設施的類別的設備，像路由器和數據機等。這個趨勢並不限於單一應用，而是涵蓋了企業、公共以及私人網路。

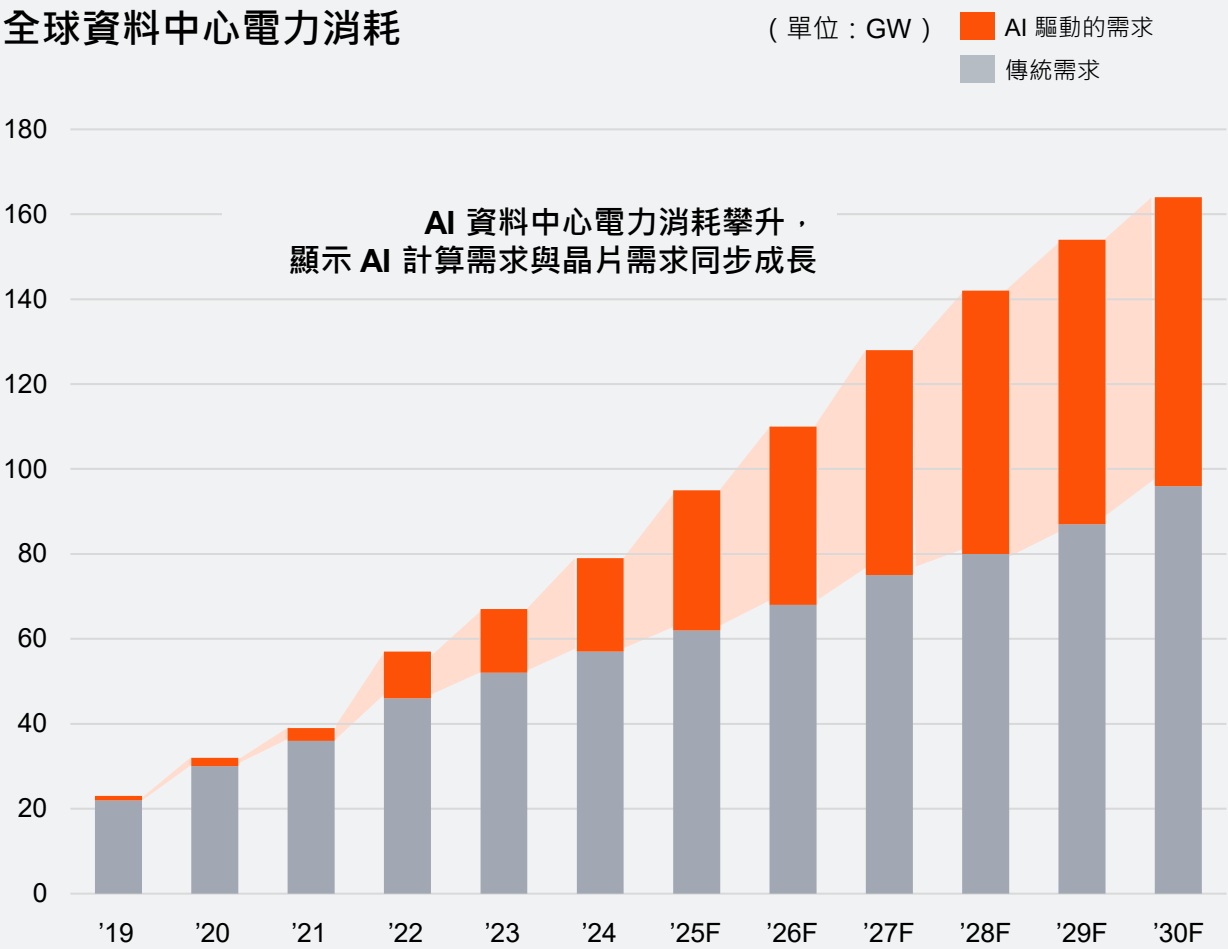
# 更快、更大、更智慧的資料中心

雖然有些老生常談，但我們確實正處在一個「數據與連結」驅動的時代。從汽車、家電到智慧型手機與個人電腦，愈來愈多設備彼此相連。不只是裝置數量持續增加，消費者對更高品質的體驗需求也不斷提升。AR/VR/XR 遊戲以及無縫影音串流就是其中一個例子。同時，2022 年 11 月 ChatGPT 的推出，更成為企業與個人積極導入 AI 服務的重要轉捩點。

這些應用每天都在產生並依賴龐大的資料——而這只是起點。隨著遊戲、影音串流，尤其是 AI 應用的快速成長，預估到 2030 年，全球資料中心的用電量將會是現在的兩倍以上。

資料中心是儲存、處理與管理資料的核心基礎設施。過去，資料中心主要提供企業服務，如今已發展成能支撐龐大需求的「超大型資料中心 ( Hyperscale ) 」，提供彈性的「網路即服務」能力。而隨著 AI 應用興起，資料中心更是演進成為「AI 資料中心」，能更有效率地運行，為使用者帶來更穩定、流暢且不中斷的體驗。

全球資料中心電力消耗



Source: IEA, PwC analysis

# 智慧基礎設施的未來

隨著 AI 應用推升資料處理量，資料中心的規模持續擴張，在冷卻與電力上的營運支出已達到天文數字。為了降低支出並提升效率，企業正積極尋找更具成本效益的解決方案。

其中最關鍵的做法是導入資料中心專用晶片。這類晶片能更有效率地處理龐大的運算需求，相較於通用型處理器，在效能與能源利用上都更具優勢。為了達到所需的效能水準，越來越多企業轉向採用這些專用晶片。

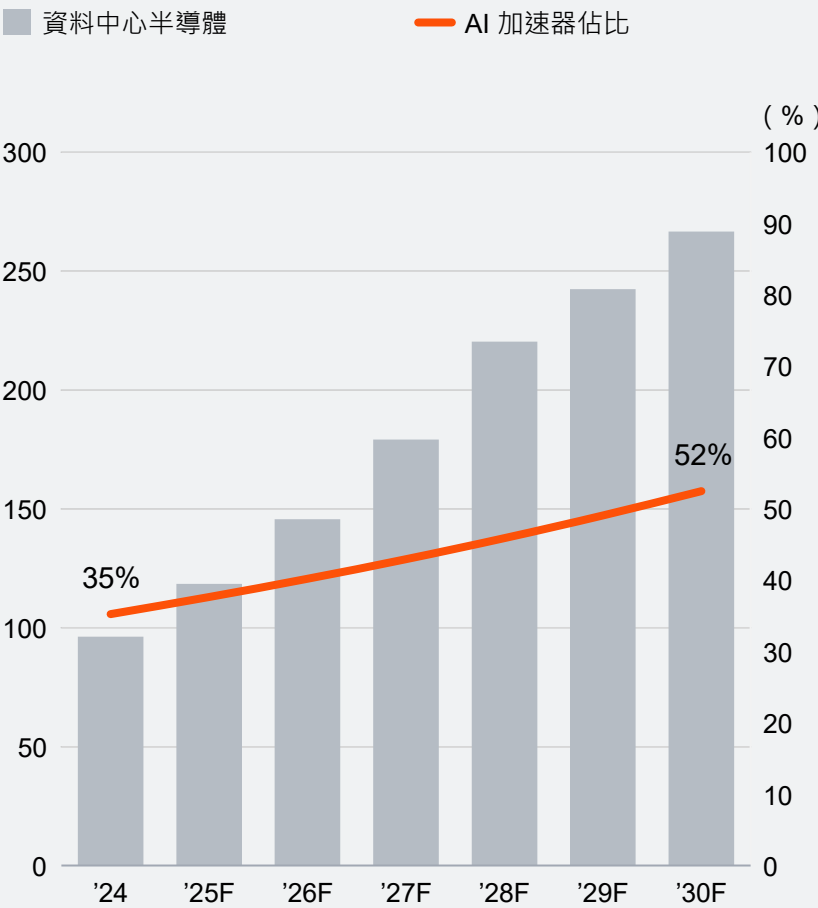
然而，即便是專用晶片，標準化設計往往仍需同時滿足多個客戶，結果是晶片內包含了部分並非所有客戶都需要的功能。因此，大型科技公司開始自行開發專為自家資料中心應用量身打造的 AI 加速器，以確保設計完全符合自身需求。

企業透過開發針對各類獨特工作負載量身打造的客製化 AI 晶片，不僅能在降低成本與功耗的同時，還能實現更高的運算效能。隨著資料處理需求持續攀升，這種成本優化的效益將被進一步放大，因此對 AI 加速器的需求預期將不斷增加。

在此趨勢帶動下，AI 加速器晶片在資料中心使用的半導體中占比將快速提升，未來有望達到整體資料中心晶片約 50% 的水準。

除了 AI 加速器之外，其他資料中心專用晶片也將同步成長，例如資料處理單元 ( DPU ) 與高頻寬記憶體 ( HBM ) 。HBM 作為高效能 GPU 的關鍵基礎，能有效避免資料處理過程中的瓶頸。而 DPU 則能分擔 CPU 的網路傳輸負載，專責處理資料傳輸工作。隨著需求持續上升，這些專用晶片將持續擴張，並逐步成為資料中心不可或缺的核心配備。

AI 加速器在資料中心的占比 ( 單位：十億美元 )



Source: PwC analysis



# 下一代的 Wi-Fi 與行動網路

隨著資料流量不斷增加，不僅資料中心需要升級，作為傳輸基礎的網路協定也必須同步強化。

目前多數裝置透過 Wi-Fi 或行動數據進行連線。其中，「4G / 5G」裡的「G」代表「世代」(Generation)，大約每十年會迎來一次重大升級：1990 年代的 2G 以語音與簡訊為主，2000 年代的 3G 開始支援多媒體，2010 年代的 4G 帶來高速行動網路，而 2020 年代則正式進入 5G 時代。與此同時，Wi-Fi 標準也持續演進，只是我們日常較少用世代編號來稱呼它。

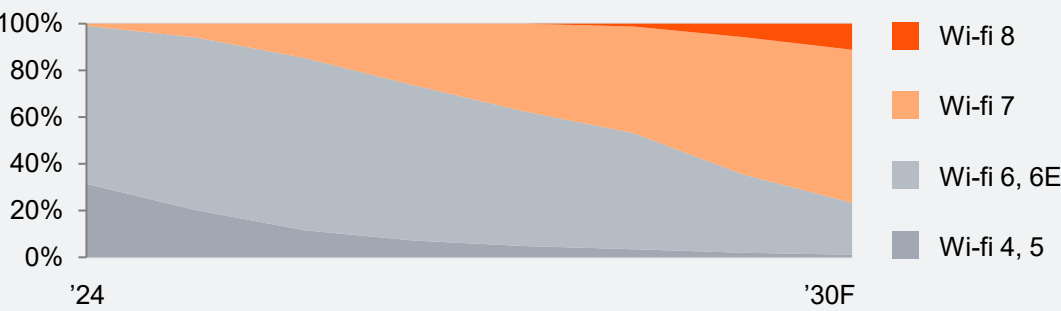
當資料種類與量能持續擴張時，就需要更大的頻寬（像是更寬的「交通車道」）與新的頻段（像是新的「行車路線」），就像交通量增加時必須拓寬道路或興建高速公路一樣。雖然現有的 Wi-Fi 與 4G 速度似乎已經足夠，但在資料流量持續激增的情況下，最終仍會將邁向更高的網路標準。

隨著 5G 與未來 6G 網路的推出，速度可望達到 4G 的 20 至 100 倍。而像「非地面網路」(Non-Terrestrial Networks, NTN) 這類利用衛星作為基地台的技術，將進一步強化連線的速度與穩定性。

同樣地，從 Wi-Fi 6/6E 升級到 Wi-Fi 7，可以透過更寬的頻道帶來更快的傳輸速度。特別是在結合「多鏈路操作」(Multi-Link Operation, MLO) 技術後，Wi-Fi 7 能同時運用多條連線路徑，即使其中一條受到干擾，也能維持高速且穩定的連線，對遊戲與影音串流特別理想。

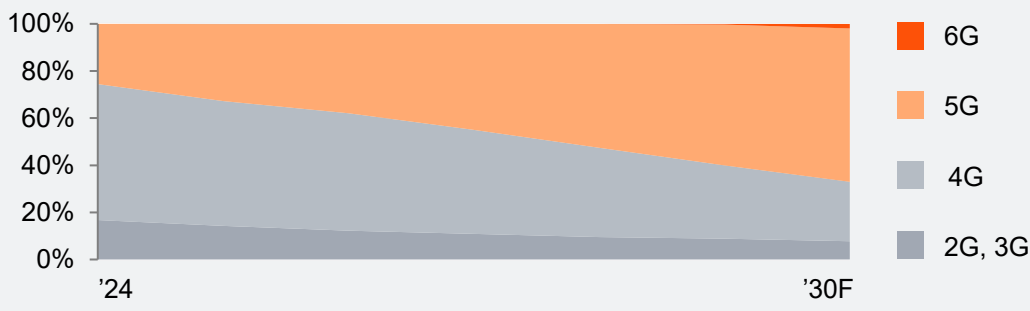
隨著連線標準的演進，網路設備與基礎設施也必須同步升級。雖然這些升級不像資料中心那樣顯眼，但未來對網路設備與基礎設施的升級需求將會持續存在，並不斷增加。

各Wi-Fi 世代—依連線裝置數量



Source: Wi-fi Alliance, PwC analysis

行動通訊標準—依連線行動裝置數量



Source: ITU, PwC analysis



# 驅動數據連線

半導體的性能必須與連接標準同步提升，才能達到更好的傳輸。半導體能放大訊號的關鍵，使其能更好地傳輸而不失真，對於防止特定連線問題至關重要。例如電梯中訊號不佳，或因裝置與基地台距離不同而導致訊號強弱不一等問題，均能透過提升半導體性能來改善。

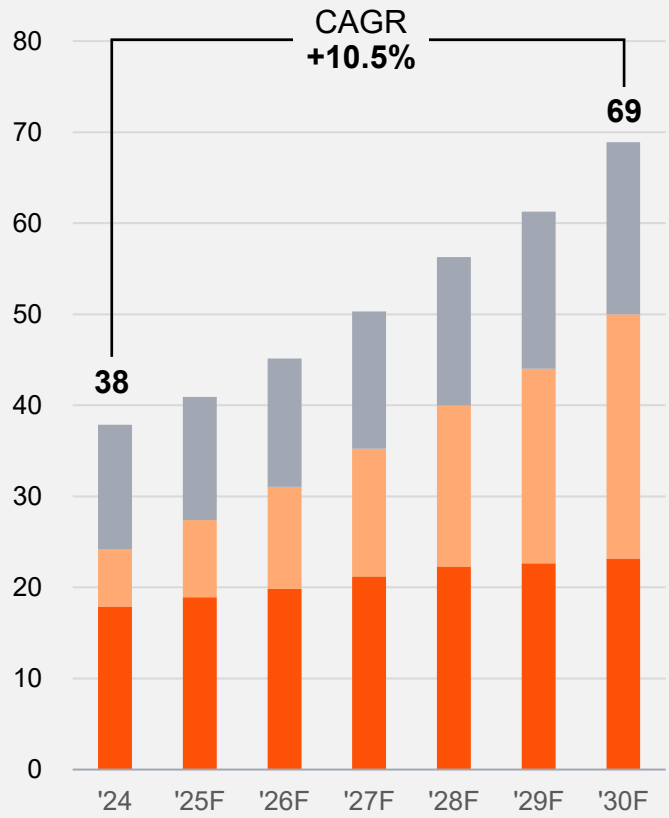
然而，雖然半導體在連線中不可或缺，但相較於資料中心強勁的需求，5G 的推進速度顯得較為緩慢。先進國家的 5G 基礎設施已趨於完善，電信業者的投資焦點也逐漸轉向資料中心。因此，到2030年電信設備中半導體市場的成長可能相對溫和。

另一方面，隨著數據流量的增加以及企業開始廣泛採用AI，用以支援資料中心雲端服務營運的交換器、路由器和智慧網路介面卡（NICs）的需求顯著上升，連帶促進資料中心網路設備、區域網路（LAN）和廣域網路（WAN）市場的成長。因此，這些領域的半導體預計到2030年將保持強勁成長動能。

資料量的增加也意味著網路設備必須更加先進與複雜。這使得 ASIC 與 FPGA 的需求不斷提升，並且有越來越多電信設備公司可能選擇自行開發專屬晶片，以滿足特定應用需求。

## 網路設備半導體市場

(單位：十億美元)



### CAGR, 2024-30F

電信	+5.5%
資料中心	+27.4%
企業應用	+4.4%

Source: PwC analysis

# 電信市場轉向氮化鎵（GaN）射頻晶片

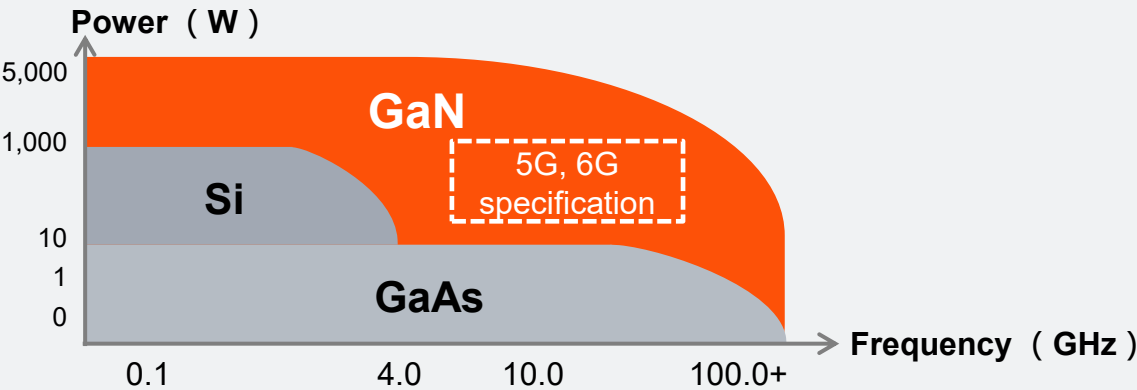
射頻（RF）晶片在無線通訊中扮演關鍵角色，負責放大訊號以利傳輸。隨著毫米波 5G 的到來，半導體必須能夠承受更高頻率的範圍，而氮化鎵（GaN）與砷化鎵（GaAs）正好具備這些能力。且不同於砷化鎵（GaAs），氮化鎵（GaN）能同時處理高功率與高頻率，非常適合基地台等對性能要求嚴苛的應用場景。因此，GaN 半導體的優勢預期將在基地台、國防及航太等需要高度可靠通訊的領域發揮。

展望 2025 年，雖然先進國家 5G 設備的成長可能因市場逐漸成熟而放緩，但全球市場仍具顯著潛力，且既有基地台的升級需求仍將持續。因此，即使 GaN 射頻晶片的成本高於矽基方案，其市場成長仍被看好。

目前 GaN 已占電信設備 RF 晶片市場的一半以上，未來更有望擴大至九成。然而，這並不意味著矽基 RF 晶片將完全退出舞台——由於基地台放大訊號往往需經過多個階段，矽晶片依然是低頻應用中具成本效益的選擇。

## RF材料的最佳頻率與功率

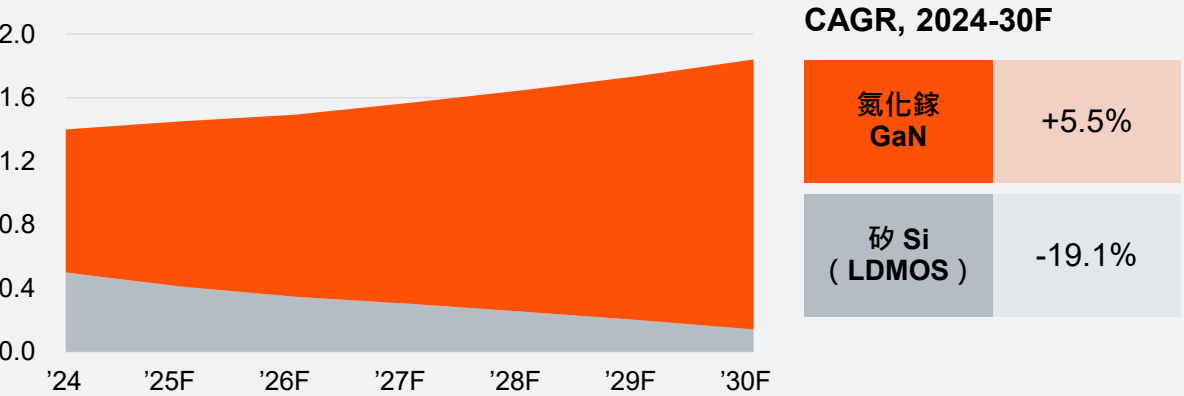
（以每座基地台天線為單位）



Source: IEEE, PwC analysis

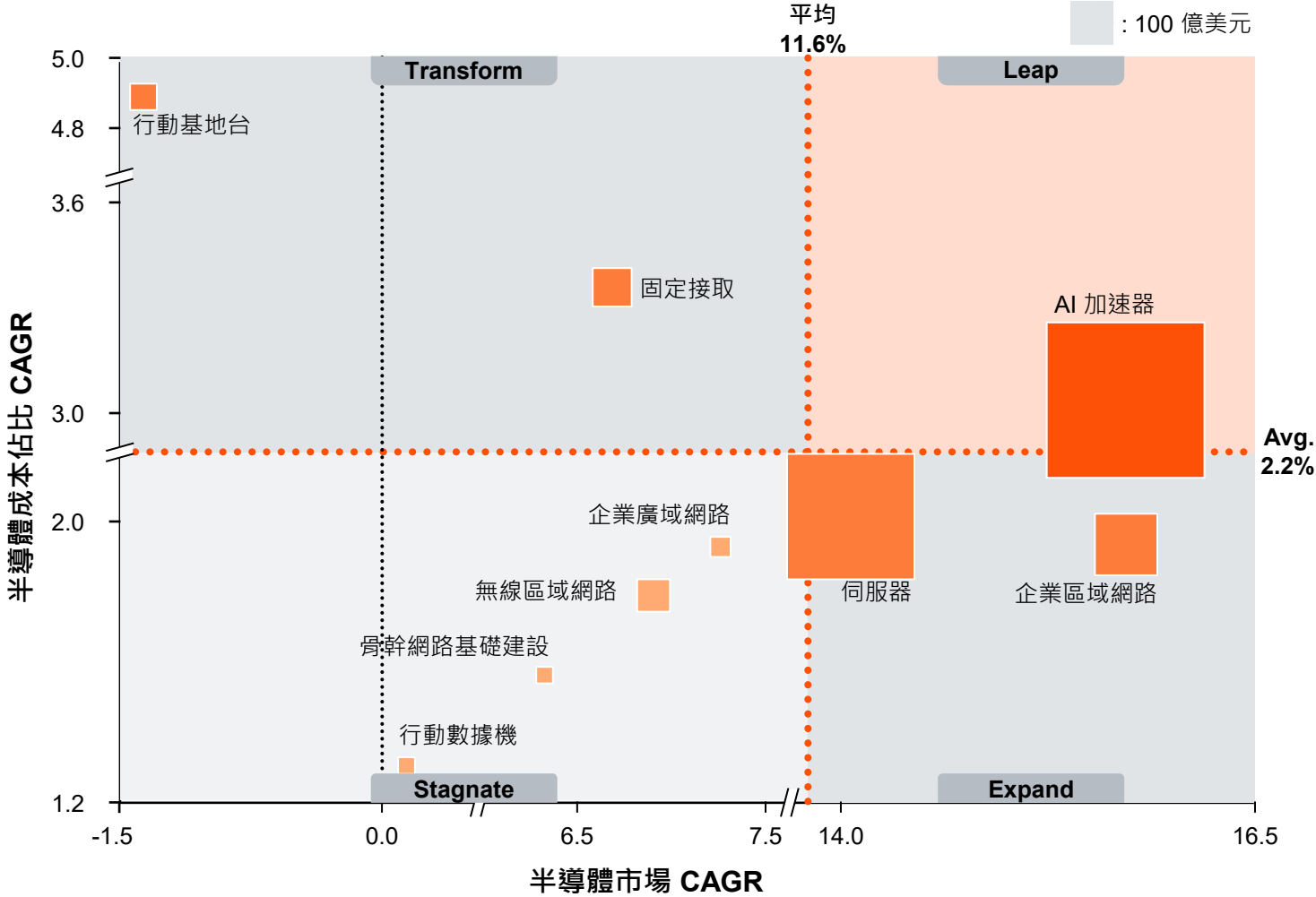
## 電信產業中的 RF 半導體市場

（單位：十億美元）



Source: PwC analysis

# 2030 年半導體需求展望—依應用領域



## AI 與連網

隨著 AI 模型持續複雜化與資料規模不斷擴張，資料中心內部及跨網路的高速數據傳輸需求顯著提升，帶動高效能伺服器需求快速成長，進而成為市場的重要驅動力。

在先進伺服器架構需求增加、AI 運算能力持續提升，以及企業偏好客製化設計的背景下，加速卡（包含 AI 加速器）的市場需求快速攀升。同時，企業級 LAN 需求亦隨數據流量的快速成長而擴大。且隨著通訊標準持續演進，晶片在行動基地台與固定接入設備成本結構中的比重，預期將逐步上升。

另一方面，企業級 WAN、無線區域網路（WLAN）與骨幹網路基礎設施市場也在穩健擴張，反映出數據流量與通訊需求持續增加。然而，鑑於電信基礎建設已完成大規模投資，相關半導體成本占比短期內不太可能大幅提升。

## 2030 年半導體需求強度—依應用領域



## 需求趨勢

由 AI 工作負載所驅動的伺服器市場成長，正帶動資料中心對高效能 CPU 與記憶體之更高需求。

隨著人工智慧與機器學習的發展，對專用 GPU、FPGA 與 ASIC 的需求正快速增長。

系統晶片在安全性與加密相關的規格升級，以及交換能力的擴展，正提升每單位的半導體含量。

數位轉型與物聯網的擴張，正驅動對實體層（PHY）與交換器系統單晶片（Switch SoC）等元件的需求。

與區域網路（LAN）市場相比，廣域網路（WAN）市場較為成熟，且更專注於高速廣域連接，這導致其投資週期較長、市場增長較為緩慢。

由於基礎設施已在國內與全球廣泛部署，通常僅需進行相對小規模的升級，這導致相關晶片需求的成長有限。

儘管預期至 2030 年將轉向 Wi-Fi 7，但其相對微幅的功能性變更，意味著相關晶片的需求增長可能較為溫和。

為確保穩定的通訊環境，世代升級的週期往往相對較長，預計至 2030 年前不會有重大變革。

針對 5G 的大規模基礎設施投資高峰已過，但由 5G-Advanced 升級所帶動的高效能晶片導入，預計將逐步提升需求。

# 家用電器

雖然家電市場相對飽和，但 AI 與 IoT 讓家電變智慧化並提供全新的消費者體驗，且配備更多晶片。新型家電（如 AR/VR 及穿戴式裝置）也正快速獲得市場青睞。

AI 家電的成長將大幅提升對 AI 處理器 與 電源管理 IC（PMIC）的需求，實現更高的能源效率與個人化體驗。用於遊戲與醫療保健的穿戴式裝置，也同時推動了半導體市場，包括感測器、連接 IC、處理器等產品需求。最後，物聯網的擴張將進一步帶動能支援多種通訊協定的連接 IC 需求，以實現各類電子裝置間的互通。

半導體將成為家電進化的基礎，推動我們對「智慧體驗」的定義，在居家生活中不斷拓展與升級。

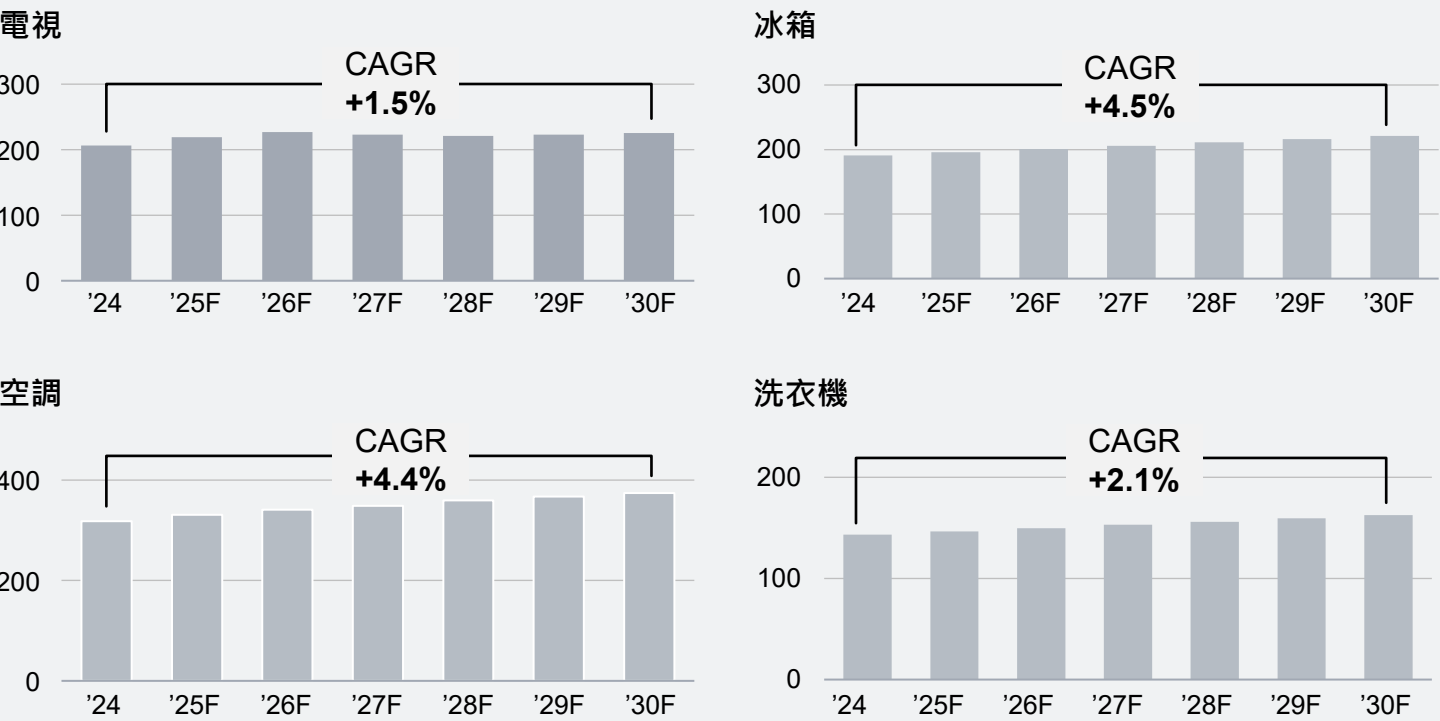




# 傳統家電 vs. 新興產品

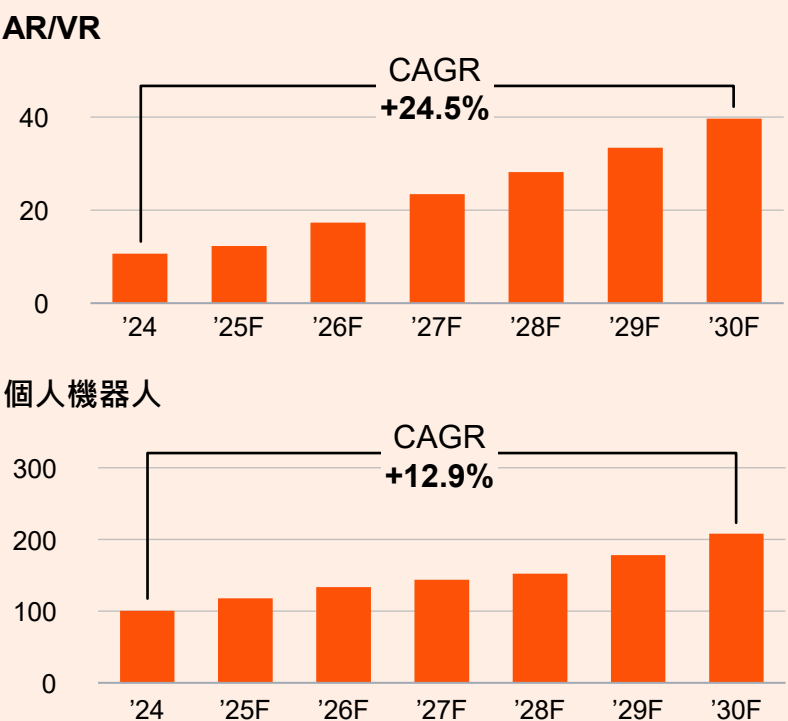
雖然家電市場相對成熟，但 IoT 與 AI 趨勢正影響傳統家電（如冰箱），縮短了消費者的購買週期。同時，新型裝置如 AR/VR 設備與個人機器人，也開始滲透並進入家電市場。

## 傳統家電市場（單位：百萬台）



Source: Gartner, Statista, PwC analysis

## 新興產品市場（單位：百萬台）





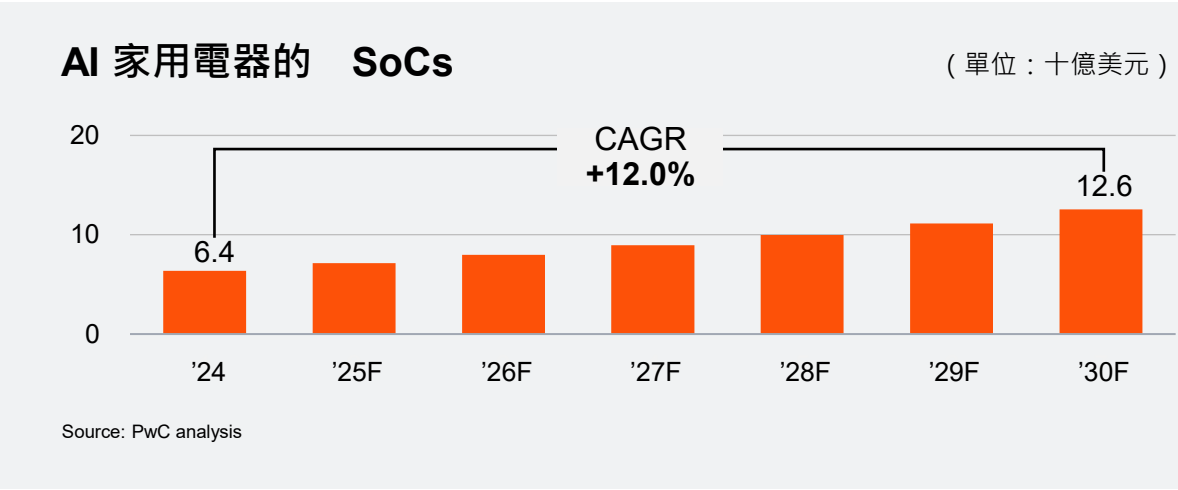
# 下一波家電革命：智慧、強大且節能

## AI 家電展望

	運算能力	能源效率	智慧功能
電視	▲	▲	<ul style="list-style-type: none"><li>影像升頻（4K→8K）與音訊品質的自動提升</li></ul>
冰箱	▲	▲	<ul style="list-style-type: none"><li>追蹤食物有效期限</li><li>感測器即時提升電源效率</li></ul>
個人機器人	▲	➤	<ul style="list-style-type: none"><li>具備自動路徑與清潔模式的掃地機器人</li><li>具備 AI 輔助的寵物機器人</li></ul>
AR/VR	▲	➤	<ul style="list-style-type: none"><li>低延遲的影像/音訊品質升頻</li><li>建構智慧家庭中樞</li></ul>
空調	➤	▲	<ul style="list-style-type: none"><li>整合即時天氣與室內感測器的 AI 溫控系统</li></ul>
洗衣機	➤	▲	<ul style="list-style-type: none"><li>基於 AI 的衣物材質偵測，以自動設定洗衣行程</li></ul>

智慧型手機、PC 與汽車的智慧化體驗，也提升了消費者對家庭環境智慧化的期待。不僅是新興家電產品（如 AR/VR 裝置），即使傳統家電的出貨量並沒有達到指數型成長，但 AI 功能已廣泛整合進電視、掃地機器人與冰箱中，推動 AI 處理器在家電市場的需求。

除了效能之外，電源效率對家電來說也很重要。尤其在近年耗能標準日益嚴格的趨勢下（如待機模式耗電的管制），用 AI 來優化家電的耗電行為就更顯重要。電源效率的重要性提升，將帶動可支援 AI 應用的應用處理器（Application Processor）需求增加，以及負責管理裝置的電源使用與效率的電源管理晶片（PMIC）與電池管理系統（BMS，用於穿戴裝置等電池供電產品）的市場成長。



# 超連結居家體驗的興起

家電之間的連結越來越緊密，建立了新的智慧化居家體驗的標準。洗衣機、冰箱、燈具、AI 喇叭、掃地機器人等裝置如今都配備智慧功能，能夠彼此發送與接收訊號，打造理想的居家環境。這一趨勢將隨著 2022 年推出的 Matter 智慧居家標準而加速，為不同品牌設備間的互通提供了基礎。

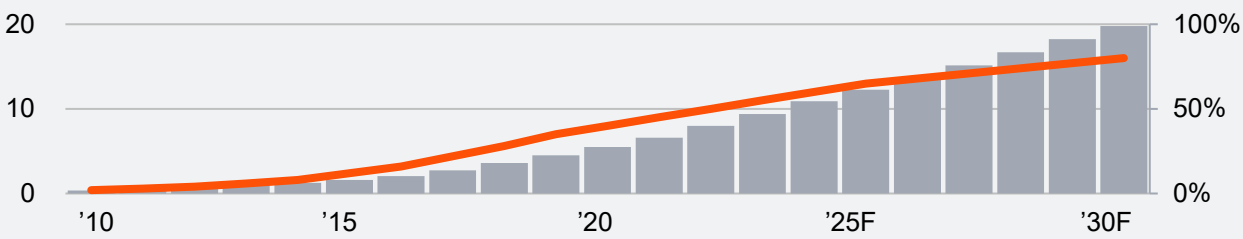
隨著越來越多家電標配 IoT 連網功能，內建連網晶片的家電數量將持續增加。這些連網晶片，無論是獨立 SoC 還是整合於應用處理器〔AP〕內，也正不斷演進，可同時支援多種通訊協定。

為確保順暢的連線體驗，設備會依不同情境選擇多種通訊管道。Matter 標準本身支援 Bluetooth、Wi-Fi，以及一種名為 Thread 的設備對設備通訊協定。例如，Wi-Fi 適合高速、大量資料傳輸，非常適用於智慧電視與帶顯示螢幕的智慧冰箱；Bluetooth 用於短距離通訊；而 Thread 則具備低功耗優勢，適合電池供電設備或需要與其他家電直接連接的智慧喇叭。

總而言之，隨著家電持續導入並擴展智慧 IoT 功能，家電對連網 IC 的需求將不斷上升。

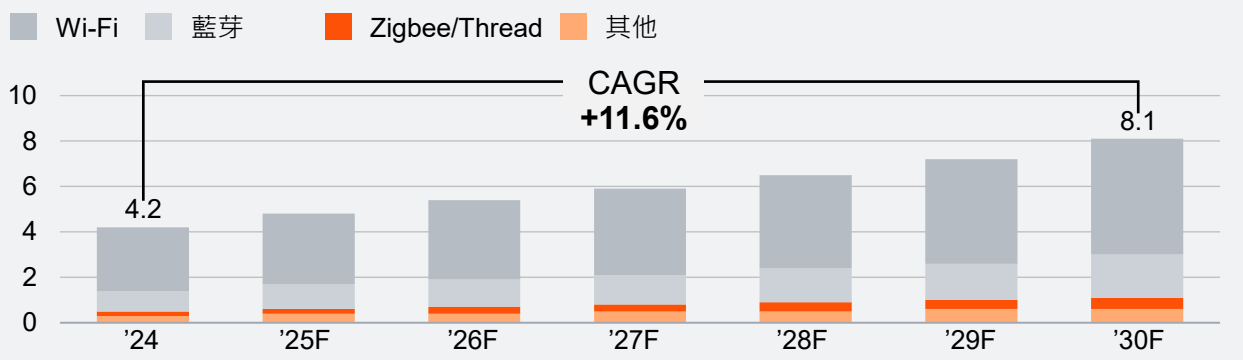
## 連網家電數量

(單位：十億台，連網家電比例)



Source: Statista, PwC analysis

## 家電中的連網 ICs (單位：十億美元)



Source: PwC analysis

# 連結現實與數位世界



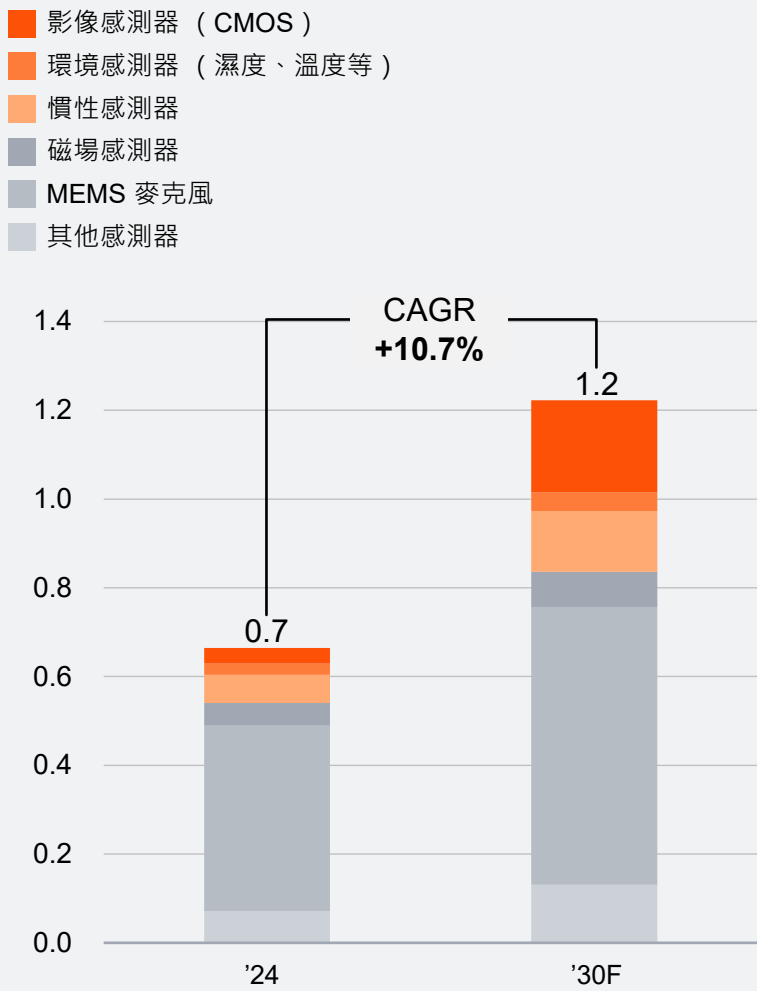
你現在身上戴了多少裝置？從耳機、頭戴式耳機，到智慧手錶、運動手環，再到擴增實境（AR）、虛擬實境（VR）以及健康照護裝置，穿戴式設備已經成為我們生活的一部分。隨著這個趨勢，各類半導體感測器的需求也快速攀升，在各種裝置中扮演著關鍵的角色。

AR/VR 裝置會利用多種感測器來追蹤使用者的動作與眼球，達到互動體驗，並使用相機及麥克風感測器打造擴增實境效果。穿戴式健康裝置則會使用多重感測器監測健康狀況、活動與環境。慣性感測單元（IMUs，Inertial Measurement Units）會在你運動時追蹤姿勢，運用磁力計與加速度計，而光體積描記儀（PPG，Photoplethysmography）感測器則測量你的心率與血氧濃度，進行壓力或睡眠模式分析。像是使用唾液或光聲技術的非侵入式血糖感測器等新型感測器，也將持續問世。

從這些感測器蒐集的數據常常存在噪聲與不規則性。生物信號會隨著動作波動，外部的噪音與電磁干擾也會影響準確度。

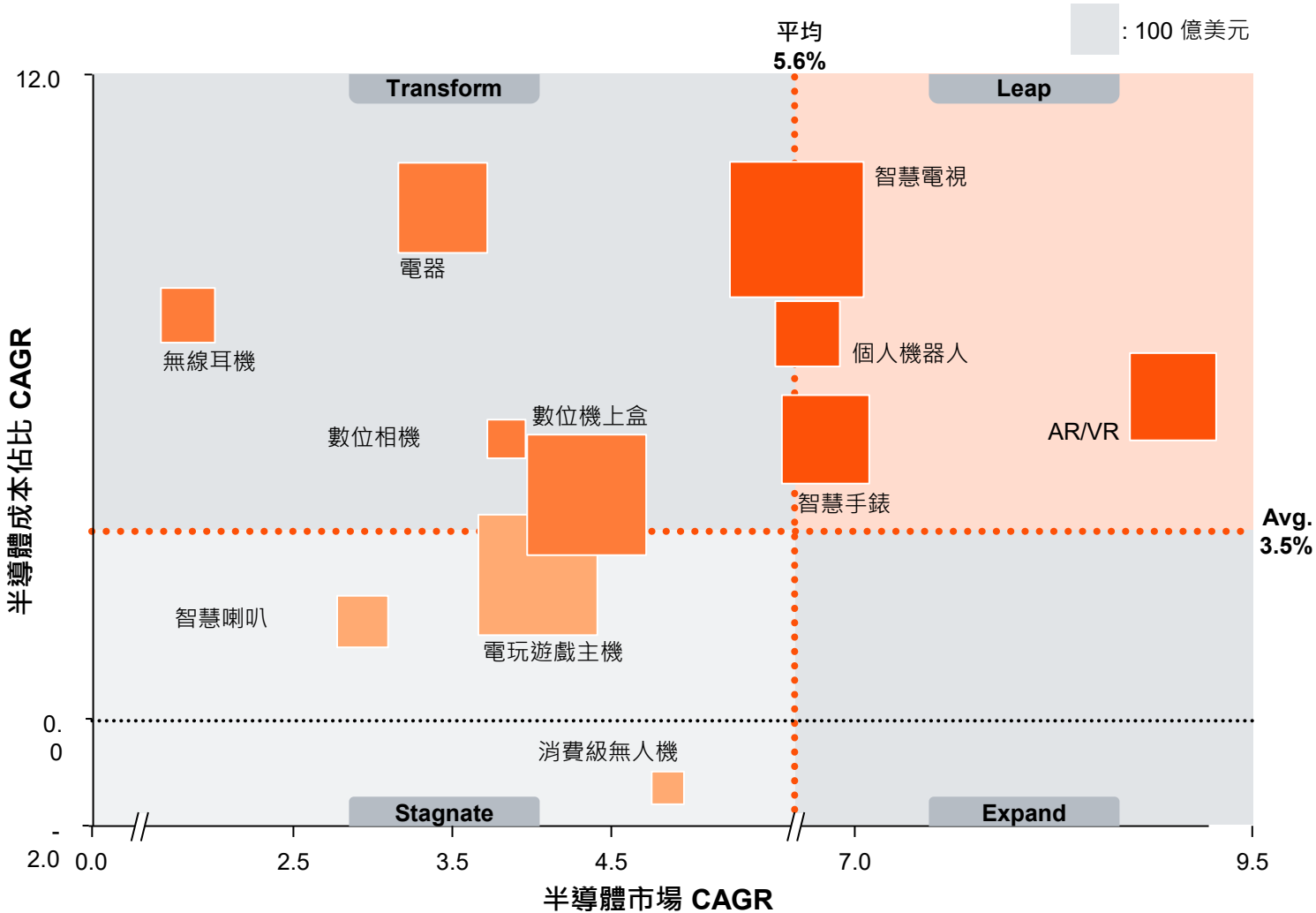
為了克服這些挑戰，半導體產業正著重於開發先進的處理器與專為穿戴裝置設計的系統晶片（SoC），以確保更有效率的感測器數據處理，並提升整體裝置性能。

穿戴裝置中的感測器半導體  
(單位：十億美元)



Source: PwC analysis

# 2030 年半導體需求展望—依應用領域



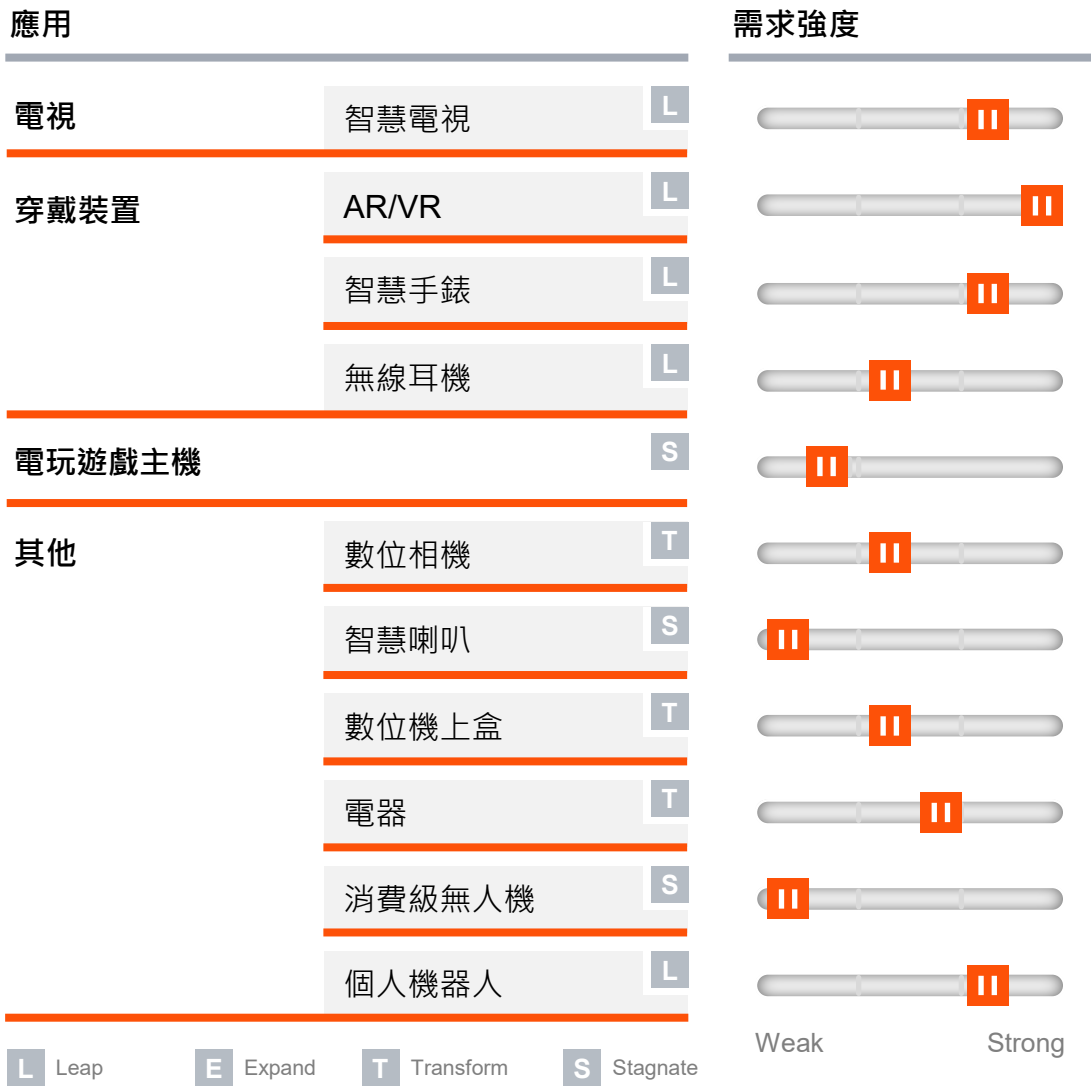
## 智慧化與互聯

隨著家電產品日益智慧化並互聯，半導體在消費性電子中的應用深度與廣度不斷增加。電視作為出貨量最大的品類，正逐步導入 AI 驅動的影像與音效強化、智慧居家控制以及個人化內容推薦等功能，提高對先進半導體的需求。

大型家電與數位機上盒同樣因智慧化功能與連網選項的增加，使半導體含量持續攀升。而無線耳機與數位相機則因功能擴充與產品精密化，讓半導體使用量呈現穩定成長。

相較之下，智慧音箱與消費型無人機所承受的創新壓力相對較小，產品成本結構中非半導體元件占比更高，因此其對半導體的邊際需求提升幅度仍屬溫和。

# 2030 年半導體需求強度—依應用領域



## 需求趨勢

在功能擴展、高解析度與高刷新率顯示器的驅動下，AI 電視的快速普及正推升晶片需求，尤其是電視系統單晶片（TV SoC）與顯示驅動晶片（Display Driver IC）。

市場對用於 3D 渲染、數據處理、複雜視覺效果，以及即時環境感測器的高效能處理器需求正日益增長。

隨著智慧手錶演進為健康照護裝置，對先進感測晶片（如心率偵測器、慣性測量單元、GPS）的需求正穩定增長。

無線耳機正演進為智慧穿戴裝置，驅動了市場對用於語音處理與 AI 功能的低功耗數位訊號處理器（DSP）與輕量級神經網路處理器（NPU）的採用。

電視遊樂器的銷量已趨於飽和，市場重心轉向軟體、訂閱服務與雲端遊戲，限制了半導體需求的進一步增長。

相機出貨量持續下滑，但高階機種帶動了對堆疊式 CMOS 影像感測器與高階影像訊號處理器（ISP）的需求，使營收大致保持穩定。

核心銷量已達高原期，但裝置端的大型語言模型正導入 NPU 與更高性能的 DRAM，溫和地提升了每台裝置的晶片含量。

傳統付費電視的機上盒市場正在萎縮；成長動能已轉向具備 Wi-Fi 6/6E 功能的高整合度 OTT（串流）系統單晶片。

連網家電的普及，以及能源管理效率的提升，正驅動市場對連網晶片（Connectivity IC）與電源管理晶片（PMIC）的需求。

與專注功能的工業無人機不同，消費級無人機的重點在於成本與電池效率，這限制了其需求的增長潛力。

如清潔與教育機器人等家用機器人的普及，及其功能的增強，正驅動市場對 ASIC 與連網晶片的需求。



# 運算設備

雖然智慧型手機與個人電腦市場已達成熟階段，但其價值主張正逐漸轉向以高效能機種重新定義使用者體驗。從高級攝影、遊戲到即時 AI 助理等 AI 驅動應用的出現，預計將重新點燃市場成長，催生新一代 AI 個人電腦與 AI 智慧手機。

隨著對 AI 整合運算裝置需求增加，神經網路處理器（NPU）的採用速度預計將加快，並補足應用處理器中 GPU、CPU 及 ISP 的技術進展。同時，LPDDR 技術將持續演進，提升下一代個人電腦與智慧手機的效能、微型化及節能效率。

隨著 AI 應用日益普及，加上市場對更高解析度的顯示器、更強大的運算能力以及更大儲存空間的需求不斷增長，個人電腦（PC）和智慧型手機預期將繼續推動半導體產業的成長。





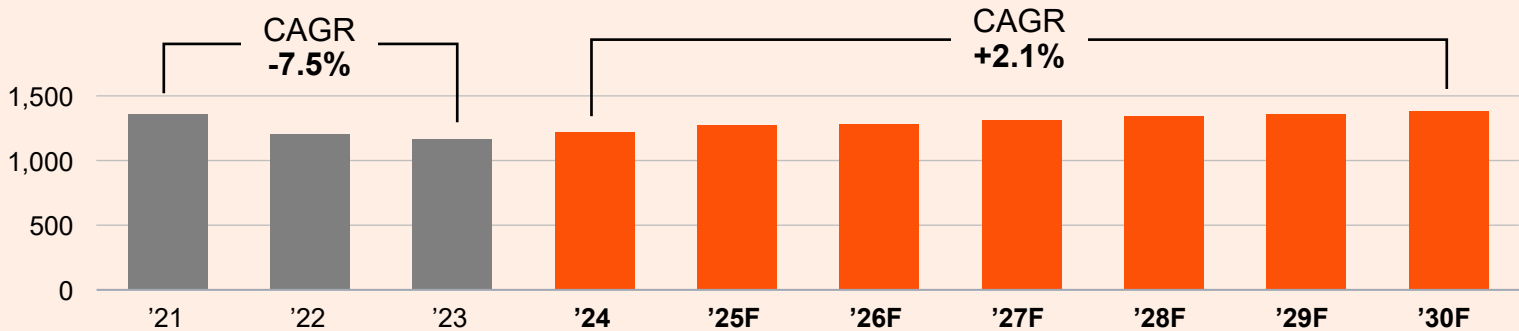
# 運算裝置隨著 AI 演進實現再成長

與汽車和資料中心等其他應用相比，智慧型手機和個人電腦 ( PC ) 的市場已相對飽和。

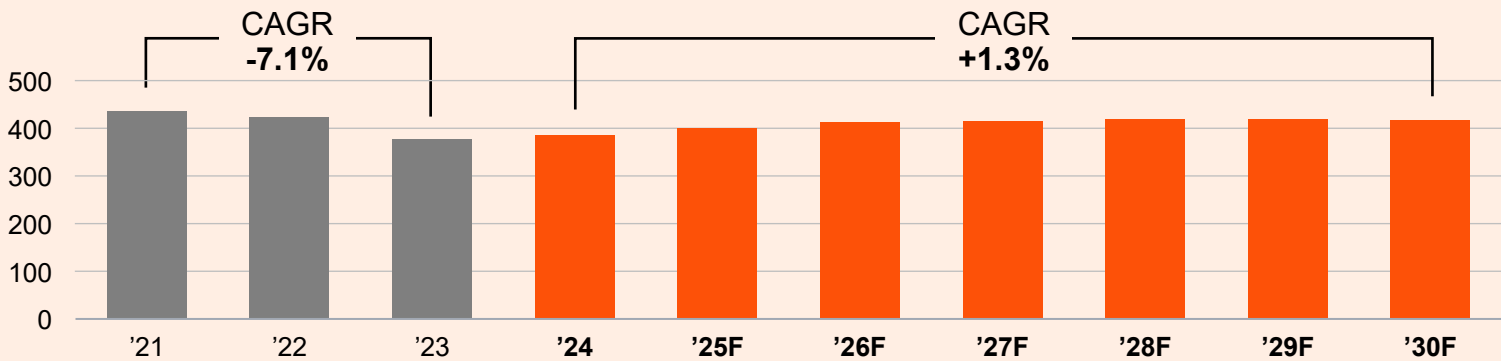
然而，隨著AI日益融入我們的日常生活，直接在個人裝置上運行AI服務已成為一種趨勢。由於使用者尋求能夠流暢處理先進AI應用的設備，這一轉變已帶動了市場對AI PC和AI智慧型手機的需求增長。

從虛擬助理到裝置端的機器學習任務，AI功能的持續整合正在為這個市場注入新的活力，也為設備製造商和半導體公司創造了新的成長機會。

全球智慧型手機市場 ( 單位：百萬台 )



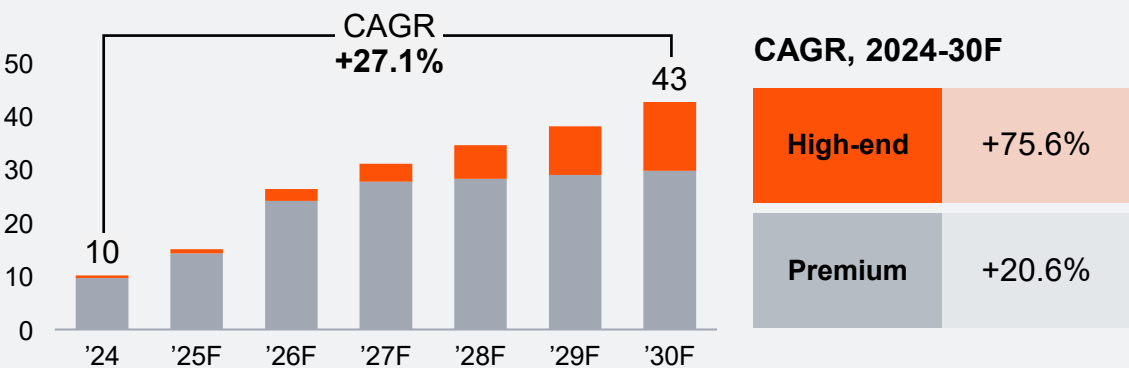
全球個人電腦與平板市場<sup>1)</sup> ( 單位：百萬台 )



1 ) PC and tablet sales refers to the total sales of desktops, laptops, and tablets combined  
Source: Gartner, Statista, PwC analysis

# 裝置上的 AI 晶片為智慧型手機與個人電腦帶來新的潛力

智慧型手機內的 AI 晶片 <sup>1)</sup> (單位: 十億美元)

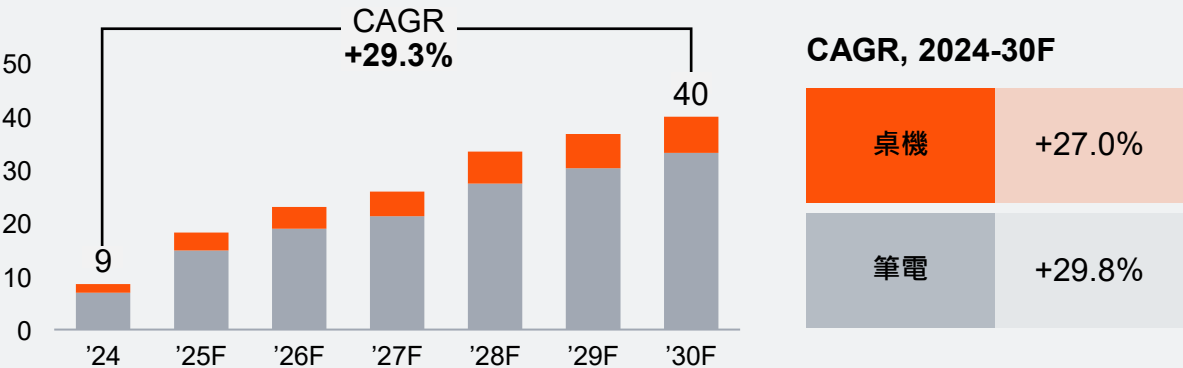


1) AI-capable chip for low-end smartphone market is likely to be less than \$0.3 Billion, thus not expressed in the graph. Premium category includes flagship models.  
Source: PwC analysis

智慧型手機與個人電腦一直是推動先進晶片需求的高階應用，採用最尖端的製程技術。這些裝置必須在保持輕薄設計與長效電池續航的同時，低延遲地處理大量資料。因此，整合 CPU、GPU、ISP 等高效能運算單元的應用處理器 (AP) 性能，成為智慧手機與 PC 市場的關鍵競爭力。

另一股促使 AP 性能提升的趨勢是向「邊緣 AI (Edge AI)」的轉移。隨著 AI 服務需求增加，越來越多的 AI 運算直接在裝置端處理，而非依賴雲端。過去這些任務主要由 CPU 或 GPU 處理，但隨著深度學習模型日益複雜及敏感資料增加，神經網路處理器 (NPU) 在裝置中的廣泛應用成為趨勢。NPU 是專門用於 AI 任務的運算晶片，能實現更快速且更安全的資料處理。預計此趨勢將推動半導體市場成長，特別是在高階產品線。

個人電腦內的 AI 晶片 (單位: 十億美元)



配合更快且安全的 NPU 及先進的裝置端 AI，智慧手機與個人電腦將提供更流暢的 AI 體驗。智慧手機可即時摘要通話內容，並無需外部應用程式即可瞬間優化照片。個人電腦則能以 AI 技術實現降噪，提升視訊通話品質，並提供即時字幕翻譯且無延遲。

對具備 AI 能力的智慧手機與個人電腦的需求已在增長，NPU 與邊緣 AI 將持續推動半導體市場在這些領域的發展。

# AI PCs 和智慧型手機的核心

隨著處理器持續進步，高效能的 DRAM 對於支援更快的資料傳輸與流暢運算至關重要。尤其在裝置端 AI 的推動下，即時 AI 運算需要高效的記憶體解決方案，以處理大量資料同時保持低功耗。

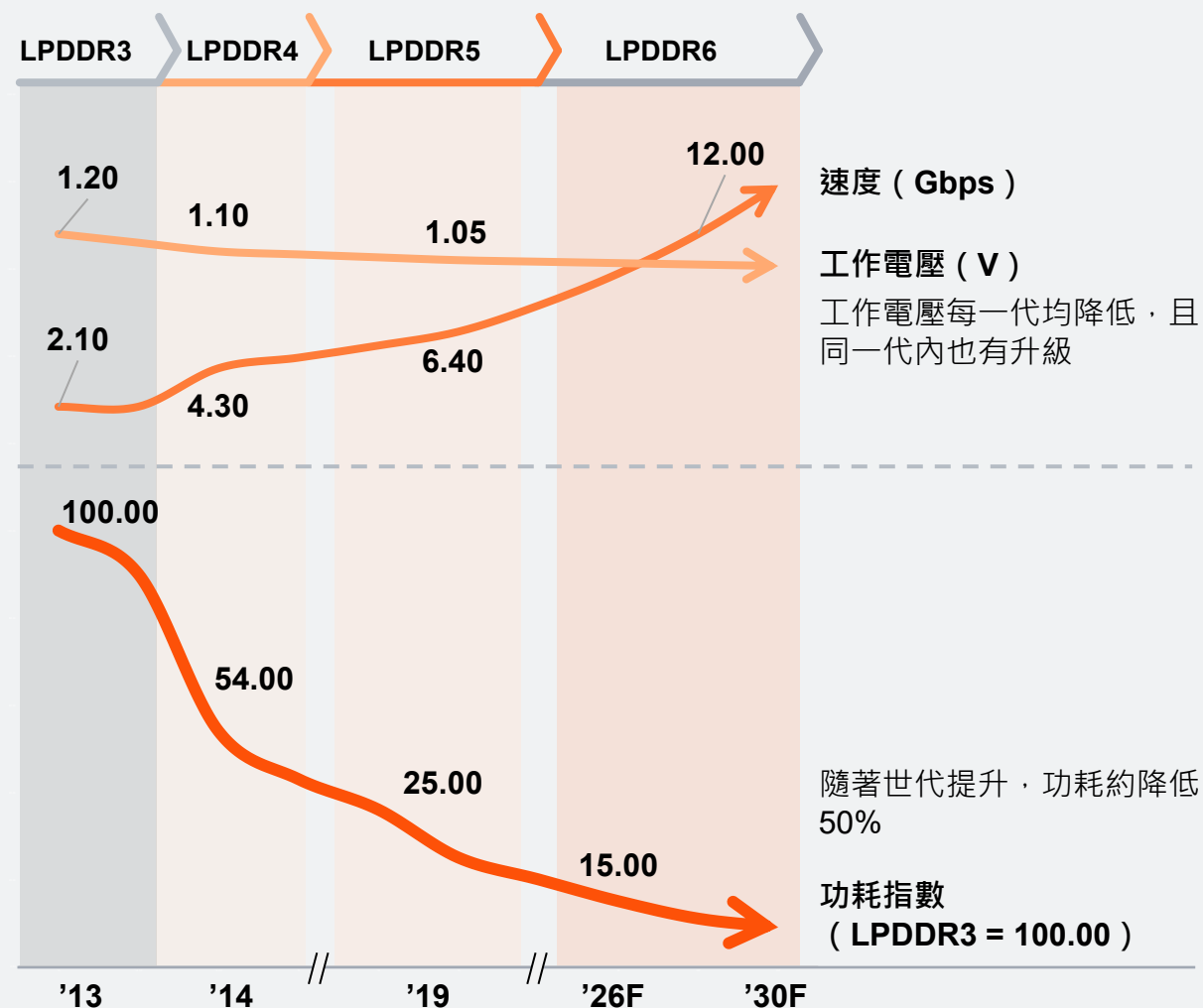
雖然高頻寬記憶體 (HBM) 是高效能記憶體的代表，但其高功耗限制了在智慧型手機與個人電腦等對電池續航要求高的裝置上的使用。

低功耗雙倍資料速率記憶體 (LPDDR) 則透過兼顧高速處理與優化的電力效率來解決這項挑戰，成為下一代智慧型手機與 AI 運算裝置不可或缺的關鍵元件。

每次 LPDDR 的升級皆可透過降低工作電壓減少30-40%的功耗，搭配設計與製程的進步，總功耗節省可達10-30%。然而，升級週期已延長至2-3年，預計2026年推出的 LPDDR6 將比現有款式節省50%功耗，並預計在2029至2030年間進一步降低。

隨著 AI 工作負載持續擴大且能源效率成為重點，LPDDR 將持續推動 DRAM 市場成長，支持行動裝置與個人電腦實現高效能與節能並重的運算。

## 各代 LPDDR 的相對功耗



Source: Expert interview, PwC analysis

# 從業餘變專家：智慧型手機中的影像訊號處理器（ISP）

攝影曾需要繁瑣的手動設定，但隨著一波波自動化浪潮的演進—從早期的傻瓜底片相機、後來的數位相機，再到現今的智慧型手機—拍出高品質影像變得輕而易舉。

而這個演進過程的核心是相機感光元件（camera sensor）和影像訊號處理器（ISP）。感光元件就像眼睛一樣，負責接收光線並將其轉換為電子訊號。而ISP則扮演著大腦的角色，即時分析並處理這些訊號，來提升最終的影像品質。高效能的智慧型手機相機，仰賴的是高解析度感光元件、多鏡頭模組，以及最重要的強大的ISP三者之間的協同作用。

隨著相機功能日益先進，消費者對照片品質的期望也跟著提高。為了滿足更高的拍照需求，現今的智慧型手機很多都配備了多鏡頭模組（如三鏡頭或四鏡頭）和更高解析度的感光元件。然而，隨著鏡頭和更高畫素感光元件的需求增加，就會需要運算速度更快的ISP來有效利用這些硬體資源，將高品質影像呈現在使用者眼前。

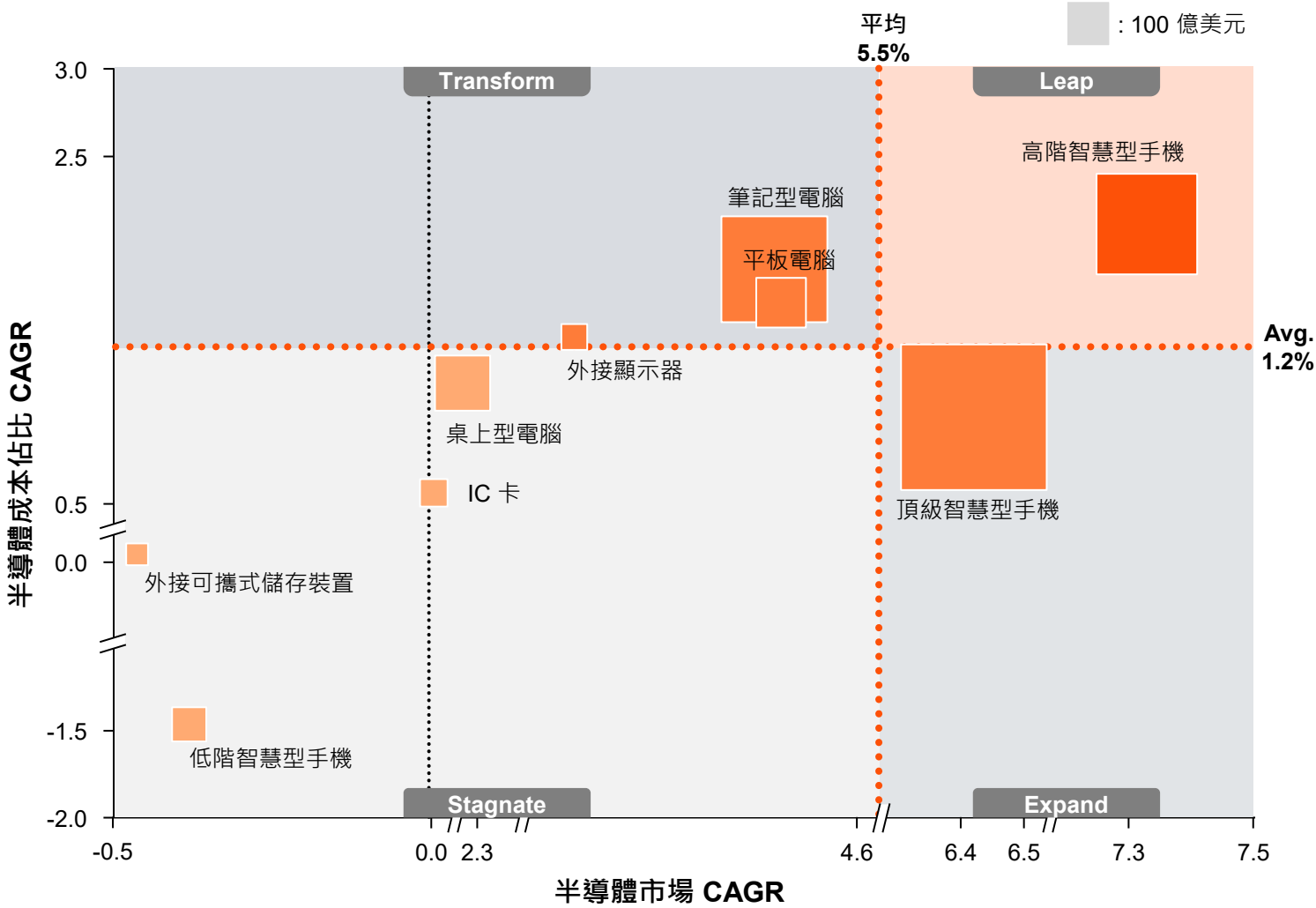
## 影像如何透過影像感測器與ISP處理



同時，隨著手機邊框越來越窄、螢幕佔比越來越高，機身內部可用的空間也變得更加有限。因此，堆疊式鏡頭、潛望式光學結構，以及低功耗的影像訊號處理器（ISP）矽智財（IP blocks）就變得至關重要。

因此，小型化相機模組和高度先進的晶片內建ISP的發展，成為智慧型手機半導體的一個新成長動能，讓未來的裝置能夠輕易地拍出專業級影像。

# 2030 年半導體需求展望—依應用領域



## 裝置端的 AI

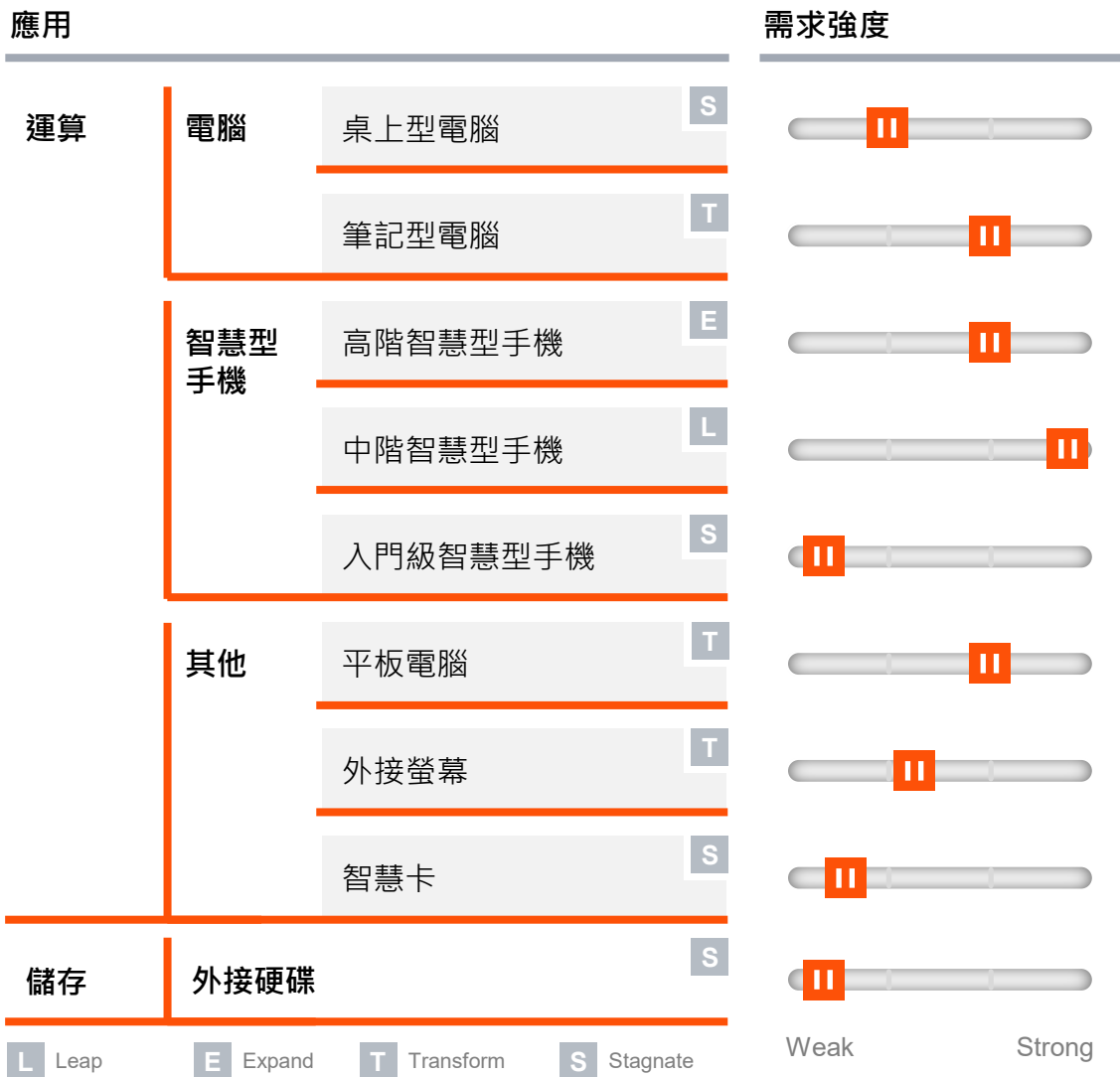
隨著智慧型手機功能不斷擴展，它不再僅僅是通訊工具，而是更鞏固了其作為運算設備的地位。此外，相較於個人電腦（PC）和筆記型電腦等其他運算裝置，智慧型手機目前正經歷著更強勁的半導體需求成長。

其中，高階智慧型手機因其周邊零組件（如相機鏡頭和顯示器）成本較低，且價格相較於頂級旗艦機種更為實惠，因此需求十分強勁。相較之下，低階機種的需求則相對疲弱。

近期，隨著運算裝置日益配備AI功能，半導體成本在銷貨成本（COGS）中的佔比正迅速攀升，尤其是在筆記型電腦和智慧型手機領域。與桌上型電腦相比，AI功能在筆記型電腦上的整合更為積極，這也導致筆記型電腦的半導體成本佔比出現了相對更大的增長。

另一方面，智慧卡和外接式可移動儲存裝置等應用的需求強度則相對疲弱。

# 2030 年半導體需求強度—依應用領域



**需求趨勢**

儘管桌上型電腦市場增長放緩，但近期朝向高效能的趨勢，增加了市場對高效能 CPU 與 GPU 的採用。

由於 AI 功能的導入以及高解析度、高刷新率特性的擴展，整合 GPU、CPU 與顯示驅動晶片的趨勢正日益增強。

儘管搭載高效能應用處理器（AP），其市場表現受顯示器尺寸、相機數量等模組化元件的影響，大於半導體本身。

提供與高階智慧型手機相似的功能，但價格更具競爭力，具備快速的連網能力、強大的 AI、AR/VR 整合，以及頂級的記憶體特性。

以相對較少的半導體提供基礎功能與成本效益，具備價格實惠的 5G、高性價比的 SoC，並依賴雲端處理密集型任務。

相較於過去，應用處理器（AP）與顯示效能雖有顯著進步，但在便攜性的驅動下，需求維持穩定。

高刷新率的電競面板與雙螢幕的辦公室配置，推升了半導體含量，包括高速介面晶片、先進的驅動晶片與電源晶片。

單位成長溫和，但向非接觸式 NFC 版本的轉移，維持了安全微控制器（Secure MCU）的出貨量。

雲端儲存減緩了對外接硬碟的需求，而成熟的 NAND 快閃記憶體也使其晶片成長空間有限。



# 工業用電子

半導體是許多產業技術創新核心。近年來隨著氣候風險而加速推動的再生能源轉型、因人口老化而日益增長的醫療創新需求、以及工廠和農場的智慧製造崛起，皆與半導體技術進步息息相關。

半導體能協助讓診斷與手術流程更有效率，減輕醫生的負擔，甚至透過中央處理器（CPU）、圖形處理器（GPU）、生物感測器與微機電系統（MEMS）提前預防疾病。再生能源的轉型也將推動碳化矽（SiC）功率半導體的需求成長，跨產業的智慧生產擴展則從感測器與連接 IC 延伸至 AI 晶片，帶動半導體市場的發展。

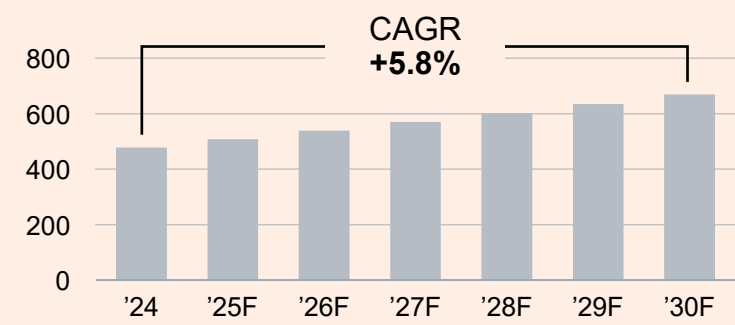
隨著各產業持續融合智慧化、自動化，加上人工智慧浪潮，半導體的角色將更深層次地滲透至各行各業，驅動多元產業的效率提升與創新發展。



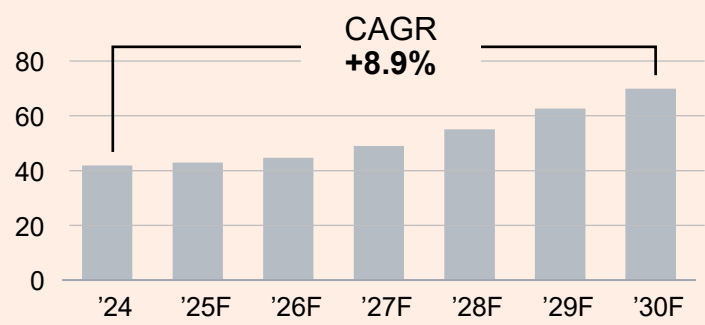
# 產業持續演進

因為來自全球人口結構的變遷、新技術帶來的生產力提升、新產品的問世，以及氣候風險等因素，我們周遭的產業——包括醫療保健、農業、製造業、能源和航太——正在不斷演進。而這些變革，大多都轉化為對更高性能或更多數量半導體的需求。預計到2030年，半導體將會更深入地融入我們生活的各個層面。

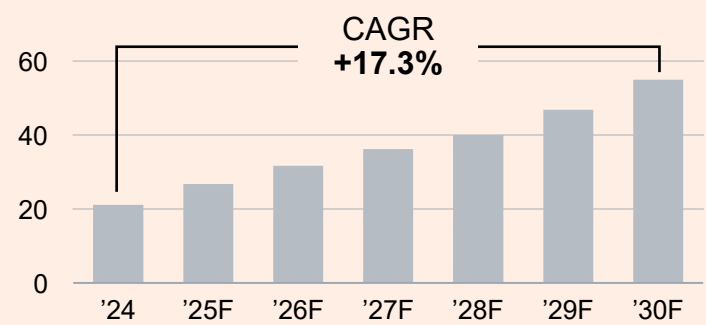
醫療器材市場 (單位: 十億美元)



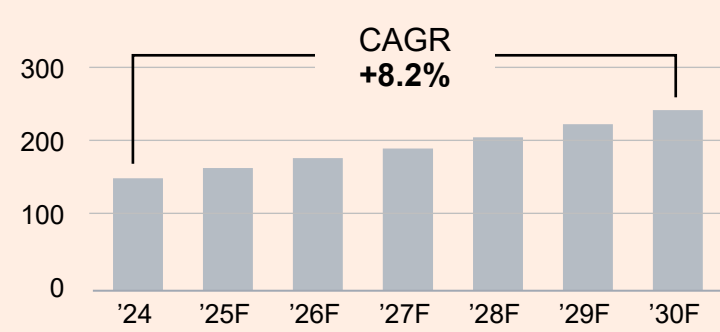
自動化設備市場



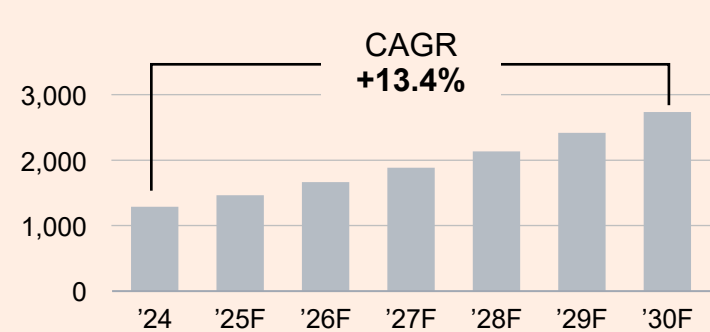
智慧農業市場



國防裝備市場



再生能源市場



Source: IEA, Statista, Gartner, PwC analysis

# 半導體：醫療創新的核心

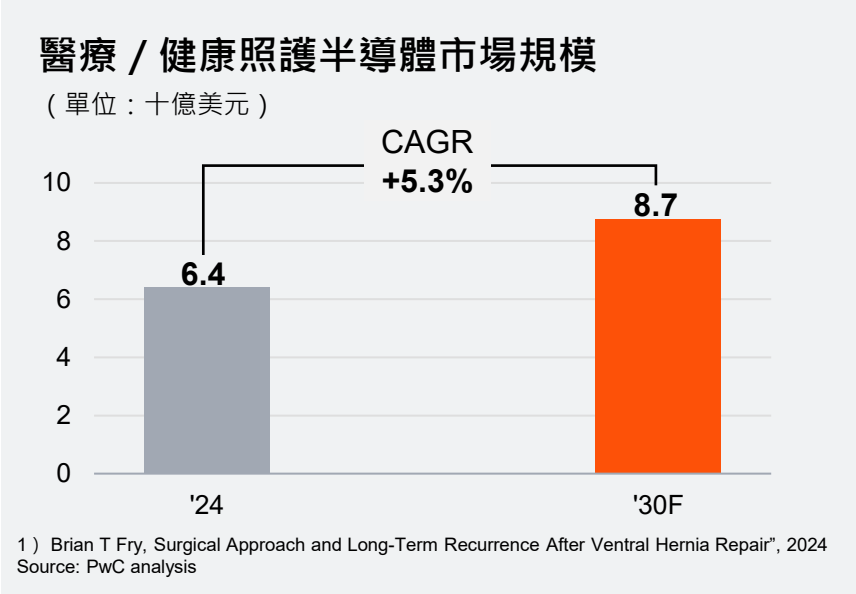
人口高齡化已是全球的趨勢，自然地帶動了對醫療保健的關注。而在醫療創新領域，半導體扮演著至關重要的角色。

其中一個常見的例子就是市佔率持續提升的機器人輔助手術。在美國，採用機器人輔助的腹壁疝氣修補手術，其比例從2010年的2.1%攀升至2020年的超過20%。<sup>1)</sup> 這是因為有微機電系統 (MEMS) 技術，提供用於精準動作的感測器和致動器，同時由GPU驅動的即時分析來輔助外科醫師的判斷。

在GPU的驅動下，電腦斷層 (CT)、磁振造影 (MRI) 和3D超音波等診斷工具正不斷進化，能呈現以往無法偵測到的更多細節。而由CPU、GPU和連網IC驅動的雲端/邊緣AI工具，更能進一步提升診斷的準確性與效率。除了在醫院內，半導體還能透過生物感測器、AI分析，還有配備了感測器、MCU和通訊IC的術後照護機器人，實現遠端診斷和病患監護。

雖然這是個監管嚴格的領域，有些半導體必須通過電氣安全與電磁相容性 (EMC) 測試以取得認證，或是在製造時就需考量到未來作為設備時的測試需求。但從微機電系統 (MEMS) 到AI加速器、GPU等各種產品來看，醫療領域對晶片製造商而言，充滿了龐大的潛在商機。

## 半導體在未來醫療服務領域的應用



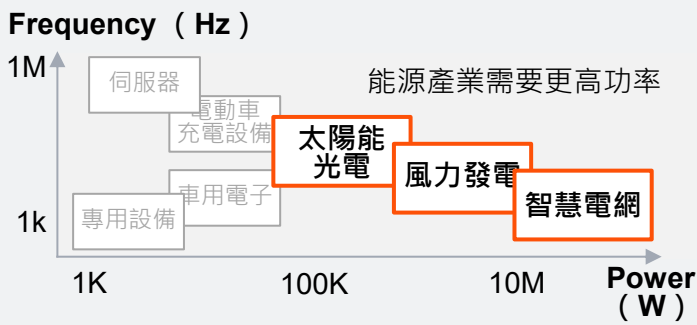


# 轉向再生能源

隨著全球對氣候危機關注度提升，全球再生能源成長速度持續加快，發電容量從2016年的約900 GW，增長到2023年的2,080 GW，預計2030年總容量將達5,510 GW。其中，因太陽能光伏（PV）與風力發電最容易取得，將佔擴張容量的95%，為增長最快的再生能源來源。

太陽能與風能皆高度依賴半導體來確保電力有效傳輸與使用。太陽能發電以直流電（DC）形式產生，必須轉換成交流電（AC）才能接入電網。此外，由於陽光強度與風速每秒都在變化，需要關鍵的半導體來穩定再生能源產出的電力流動。

## 各應用的能源需求



Source: Infineon, PwC analysis

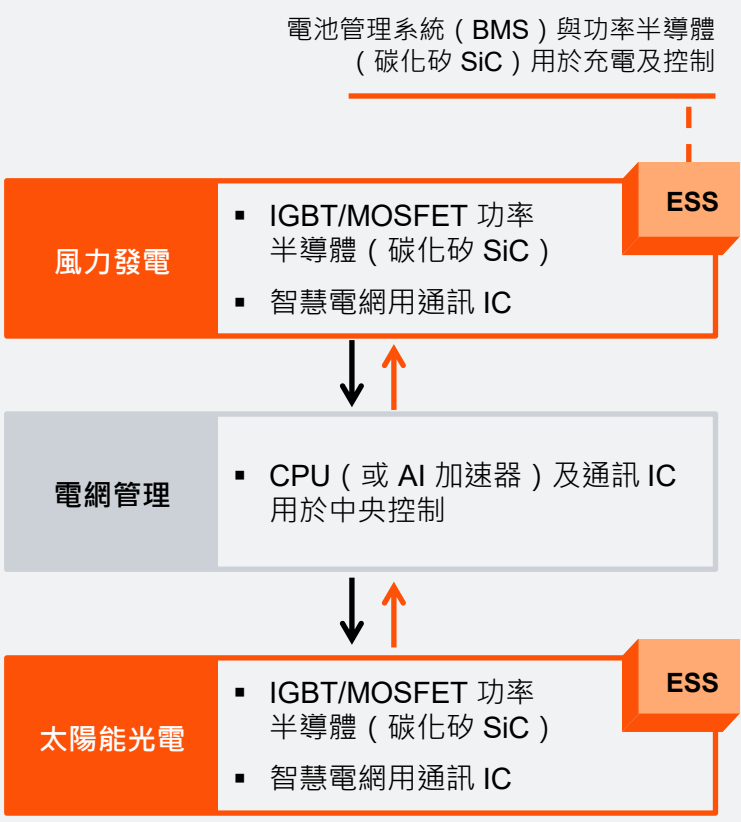
為了達成穩定且高效的電力傳輸，能源產業需要相對其他應用，能承受更高電壓環境的半導體。這時碳化矽（SiC）就成了首選。

另外，隨著再生能源使用擴大，「智慧電網」與「儲能系統（ESS）」的概念也日益興起。智慧電網與儲能系統透過儲存過剩電力，在生產下降時重新分配電力，確保再生能源的穩定供應。由於智慧電網需持續監控電力，因此整個電網對通訊 IC 以及中央控制站的 CPU 與 GPU 的需求增加。儲能系統作為備用電池，也仰賴搭載功率半導體的逆變器、轉換器以及電池管理系統（BMS）。

隨著再生能源使用持續成長，功率半導體的需求必將大幅提升。

## 再生能源市場的半導體需求

（單位：十億美元）



# 智慧生產持續演進

隨著勞動成本上升與勞動力減少，智慧工廠正快速擴展，透過 AI 與物聯網 (IoT) 優化整體生產與物流，而這個自動化的過程非常仰賴半導體。連接 IC 使整個工廠的物聯網得以運作，實時追蹤原材料到庫存狀況，工業電腦 (可程式邏輯控制器，PLC) 則使用 ASIC 或 CPU 遠端控制設備。感測器、微控制器 (MCU) 與微機電系統 (MEMS) 協助各設備偵測異常並精準控制機械運作，而電源管理 IC (PMIC) 則確保這些過程的電力效率。目前企業正從自動化等級0~1提升到2~3，甚至4與5，以達到最高效能。隨著全自動化工廠浪潮，工業領域對運算能力與連接 IC 的需求將大幅增加。

此外，智慧生產的需求不僅限於工廠的大規模生產，也適用於智慧農業與智慧水產養殖。在智慧農場中，感測器監控環境條件，將數據傳輸至 AI 處理器以優化作物生長。由 GPS、MCU 與 CPU 引導的自動化機械執行種植與收割。智慧水產養殖則採用類似模式，利用水質感測器與 AI 驅動機器人提升效率與永續性。

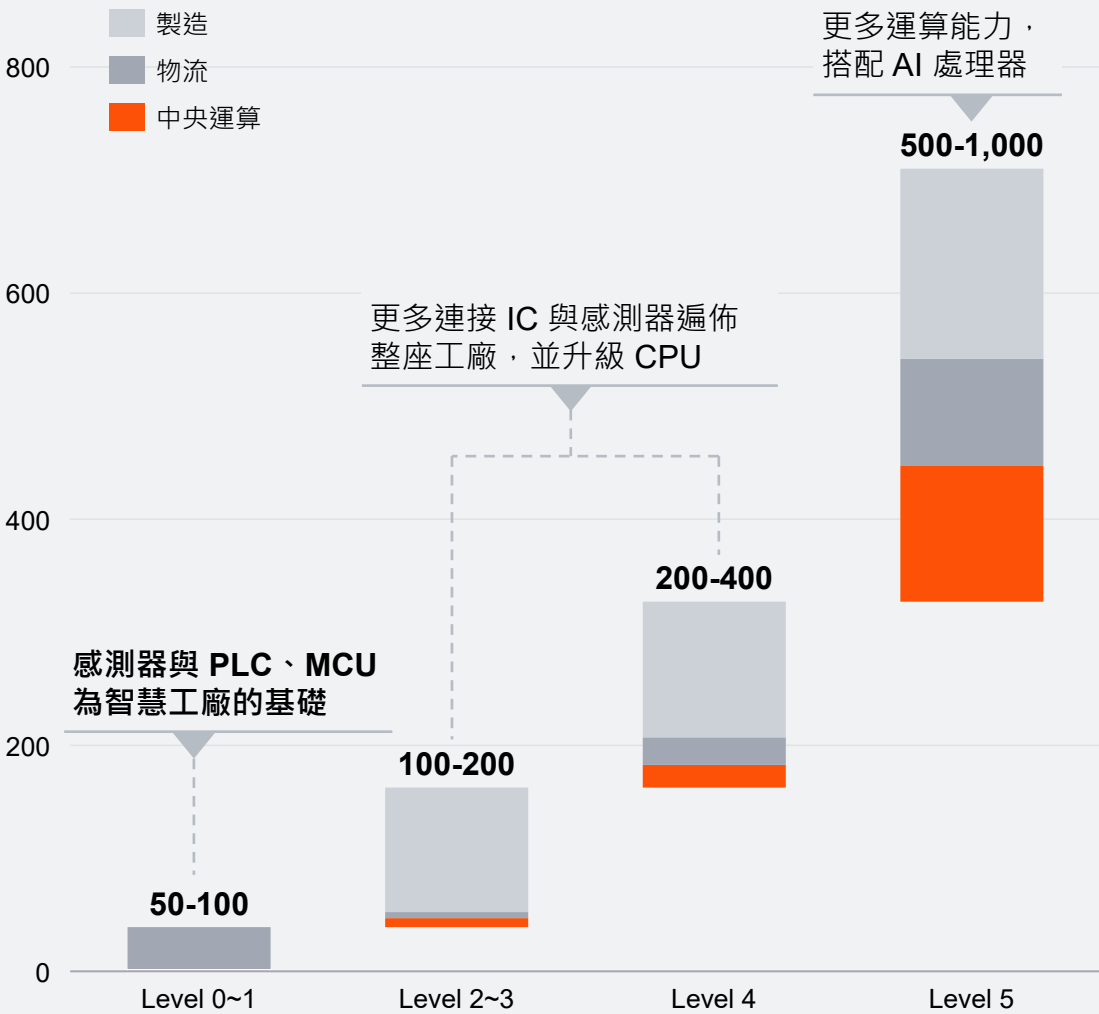
隨著自動化進展，對高效能半導體的需求將持續成長，使產業更加智慧化、數據驅動且自我維持。

1) 半導體價值是以一座面積10,000平方公尺、採用非常簡易生產線的汽車零組件工廠為基準所估算。此數值必會因產業別、工廠規模及半導體本身價值而異。Lv.0-1為利用可程式化邏輯控制器 (PLC) 實現的設備基礎自動化；Lv.2-3為基於數據的整廠部分自動化；Lv.4則運用企業級數據進行自動化；Lv.5為全面自動化，並透過人工智慧 (AI) 自我優化效能。這些數值僅用於說明隨著自動化程度提升，半導體價值呈現增長的趨勢。

Source: PwC analysis

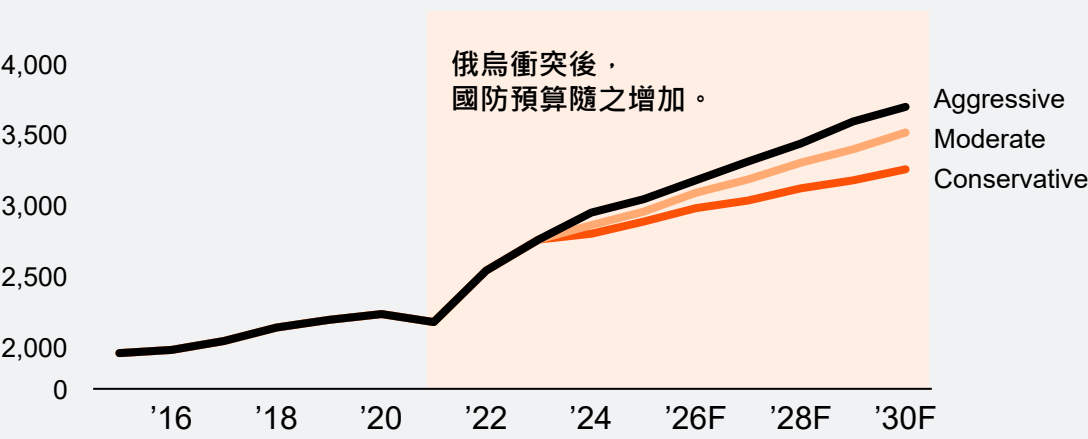
不同自動化等級的半導體價值<sup>1)</sup>

(單位：千美元)



# 先進的防禦系統需要更先進的晶片

全球國防預算（單位：十億美元）

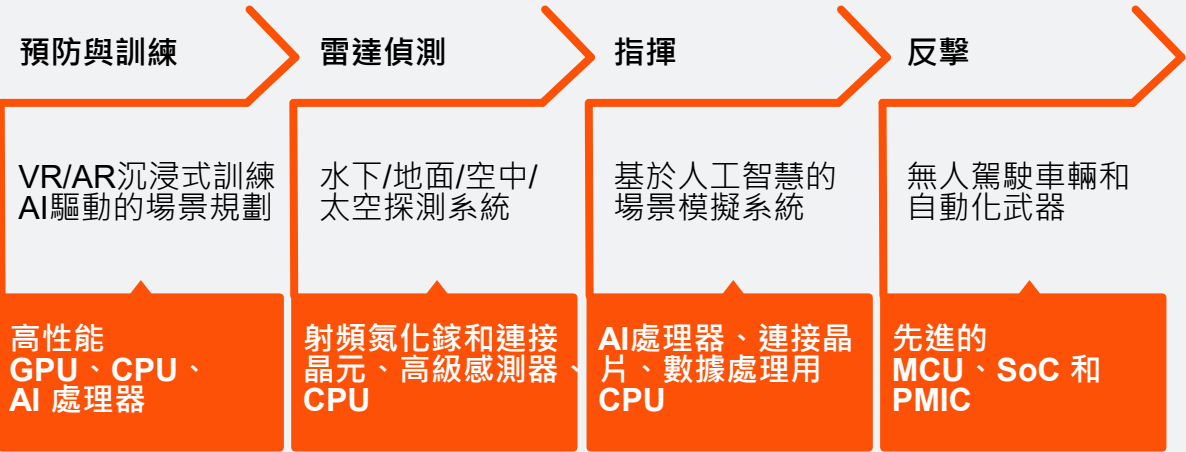


Source: KIET

隨著地緣政治緊張與安全威脅上升，全球國防預算也不斷增加。從 2015 年到 2022 年，平均國防預算約為 2 兆美元，預計到 2030 年將達到 3 兆至 4 兆美元。預算的增加，不僅用於傳統的軍事建設，也投入到更高階的技術創新、無人系統與先進戰爭科技之中。而為了減少人員傷亡並最大化任務成功率，無人機、無人艦艇與戰鬥機正快速發展。

防禦系統的結構圍繞關鍵階段：預防與訓練、雷達偵測、指揮以及反擊。如今，即時偵測系統結合機器學習與 VR/AR 設備，正在支持具體的防禦戰略。在指揮層面，基於 AI 的數據分析與即時決策支援，正迅速整合到國防產業中，來滿足對快速決策的需求。且國防領域高度的安全性要求，也促使嵌入安全與加密軟體的半導體需求增長，以防止網路攻擊。

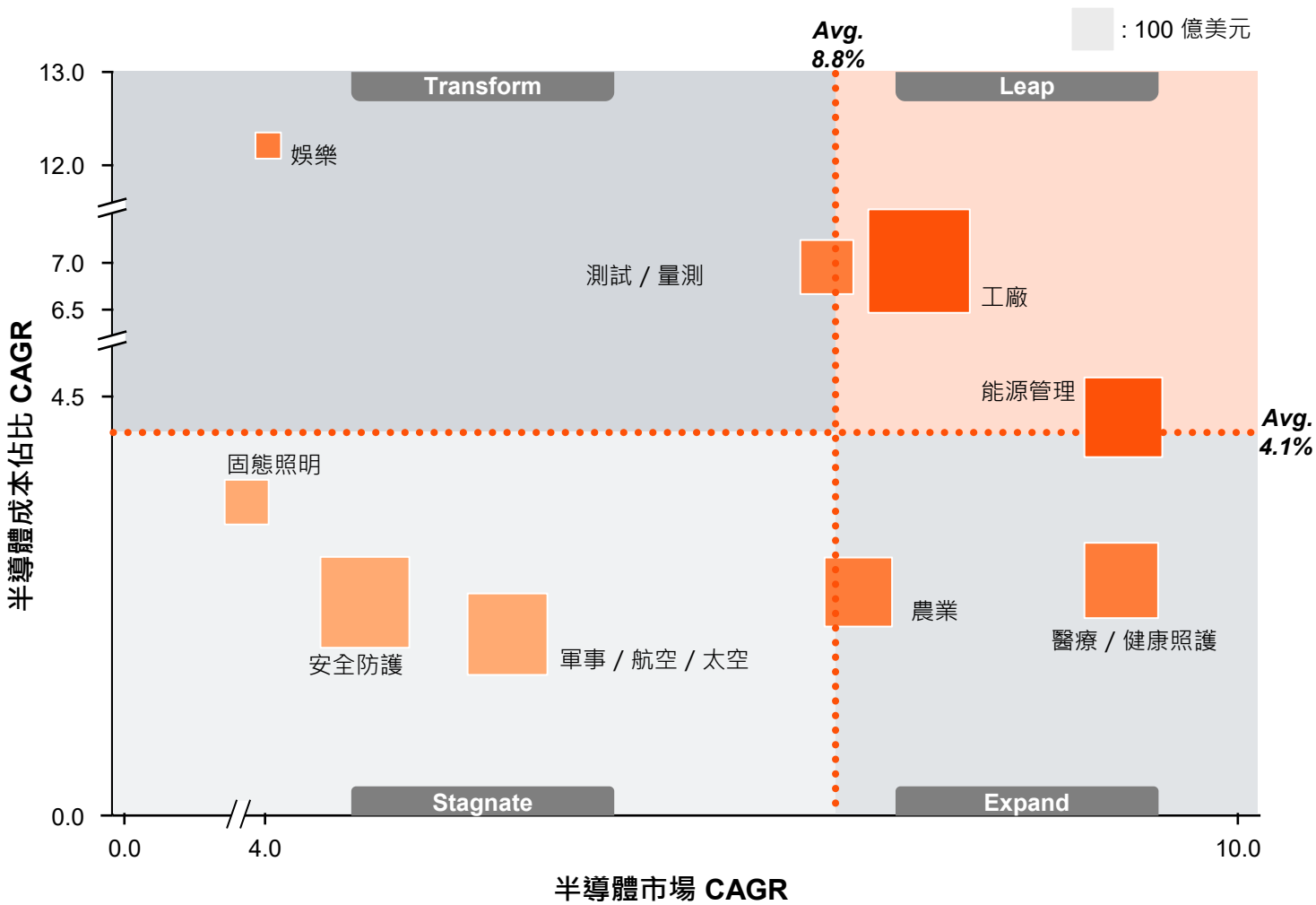
## 國防與半導體



在作戰場景中，裝備將與指揮室相連，有些甚至配備邊緣 AI 晶片。在作戰中使用的半導體還必須具備高可靠性與耐用性，因此可採用陶瓷等封裝材料，以應對高輻射環境並確保長壽命。以高效率、耐用性與高速聞名的高性能氮化鎵 ( GaN ) 晶片，預計也將在國防領域迎來需求成長。隨著技術持續向無人化與先進防禦演進，半導體將持續是國防市場中的關鍵戰略資產。



# 2030 年半導體需求展望—依應用領域



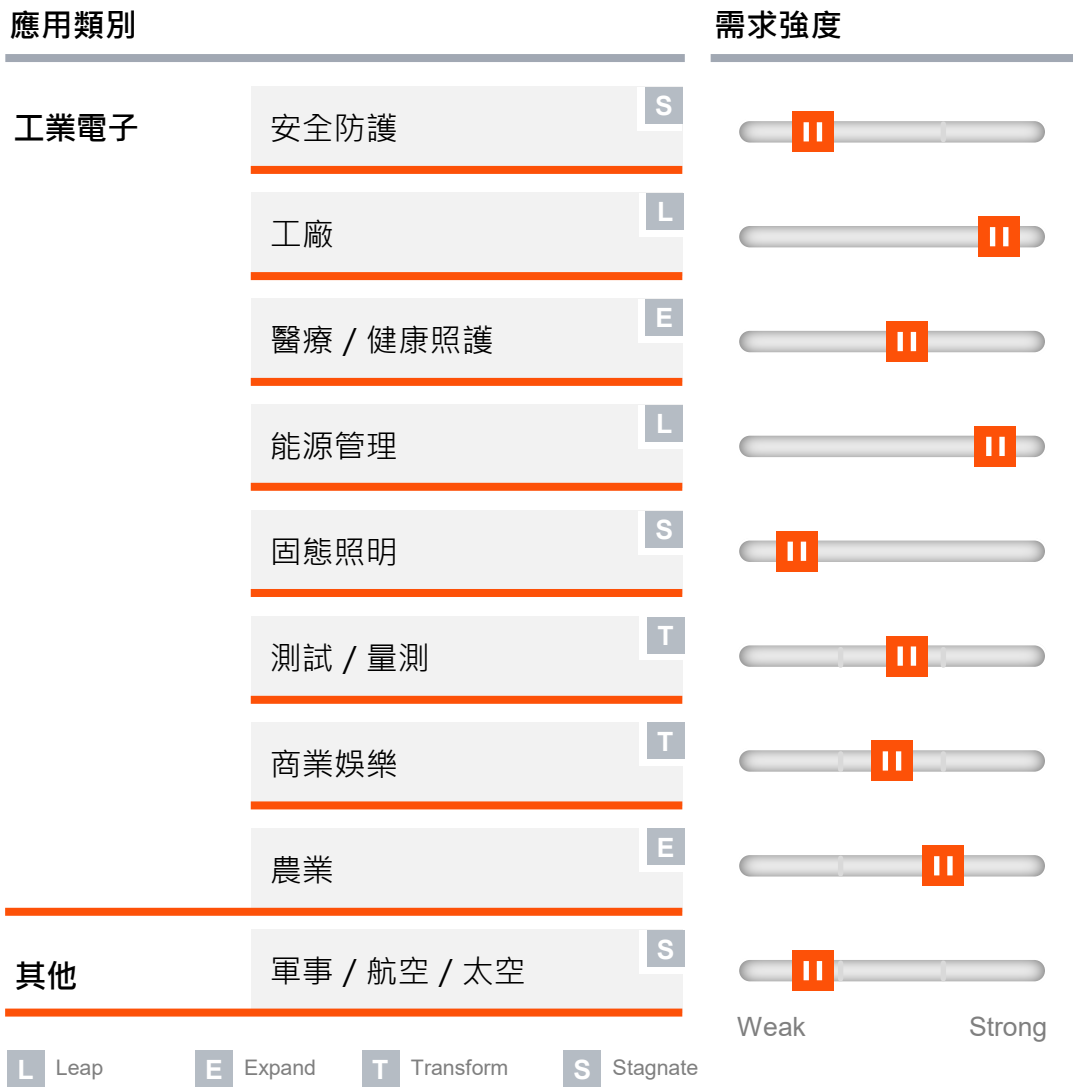
## 自動化與轉型

智慧工廠將迎來擴張，帶動生產機械與控制基礎設施的成長，尤其著重於微控制器 (MCU) 的升級。與此同時，不斷成長的再生能源領域，也將推升對高壓功率半導體的需求。

展望未來，將機器人積極導入產線的趨勢，將會擴大對半導體的需求，尤其是在測試、量測和自動化等，對提升生產效率至關重要的流程。此外，AI 在醫療與健康照護領域的應用，預計也將提升的半導體含量。

相比之下，軍事與國防安全產業依賴的是客製化半導體，讓需求呈現碎片化。另一方面，由於LED照明已達到相當高的普及率，作為龐大消費市場一部分的固態照明市場已趨於成熟，因此與其他產業相比，其未來的成長將較為有限。

# 2030 年半導體需求強度—依應用領域



**需求趨勢**

在監視器領域，Edge AI用於物件偵測正逐漸整合進入攝影機本體，提升了對感測器內影像訊號處理器（ISP）、神經處理單元（NPU）及低功耗動態隨機存取記憶體（DRAM）的需求。

工業現場數位化與自動化的加速推動，結合智慧工廠的擴展，促使感測器、微控制器（MCU）及微處理器（MPU）、以及電源晶片的整合度提升。

先進影像技術與邊緣診斷增加了後端GPU伺服器的需求，然而晶片內的數位訊號處理器（DSP）、現場可程式化閘陣列（FPGA）及專用積體電路（ASIC）因嚴苛的認證週期而成長緩慢。

能源效率提升及更嚴格的碳排放規範加速了向再生能源的轉型，並推動電源晶片在高功率控制領域的應用增加。

一般照明市場已趨成熟，但微型 / 微米級LED（micro LED）、智慧照明及園藝用燈具的興起，提升了對先進LED驅動IC、無線MCU及感測器的需求。

隨著工廠自動化進展，品質控制自動化也在擴展，帶動各種感測器半導體的需求成長。

在郵輪與賭場市場中，對人工智慧及高解析度、多玩家（multiplayer）功能的需求日增，驅動GPU與記憶體的更高整合度。

儘管機械為核心的農業成本占比較低，智慧農業仍快速推動感測器需求，帶動半導體市場穩健成長。

航太相關下游市場持續擴大；然而由於可靠度要求嚴苛，晶片的退役遷移速度較慢，更多依賴晶片單價而非銷售量來驅動市場發展。

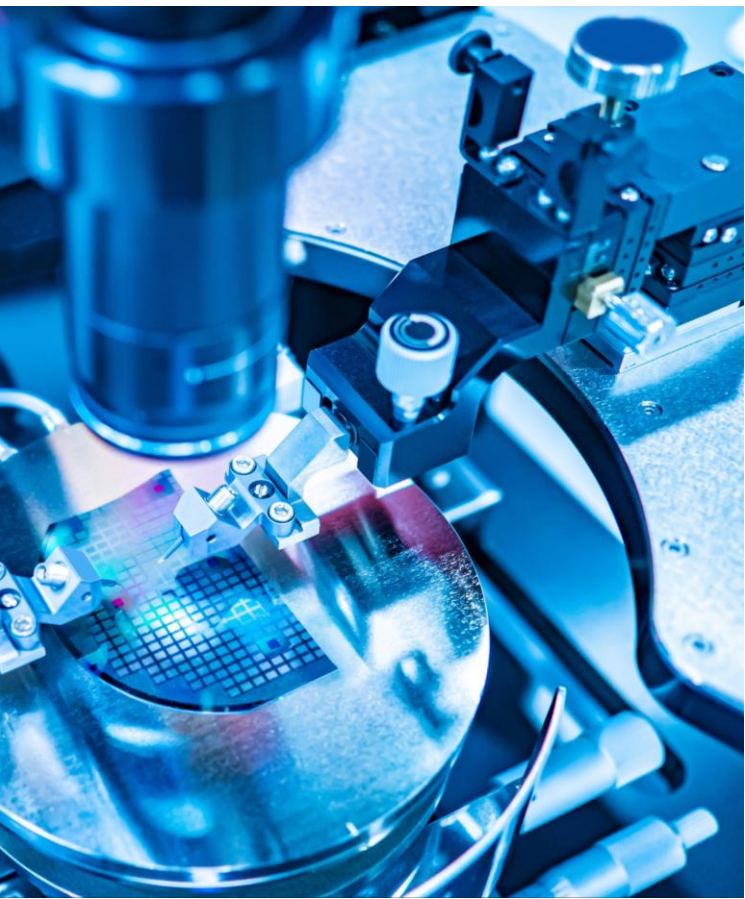
# 3

## 供給分析

爭奪半導體的主導地位

# 需求的重要性

在地緣政治因素、地域化浪潮，以及日益升高的客戶期望下，半導體供應鏈正面臨日益加劇的複雜性與波動性。本章節將探討相關的市場趨勢和技術進展，並評估這些因素對供應鏈韌性的衝擊及影響。



# 設計、IP 與 EDA

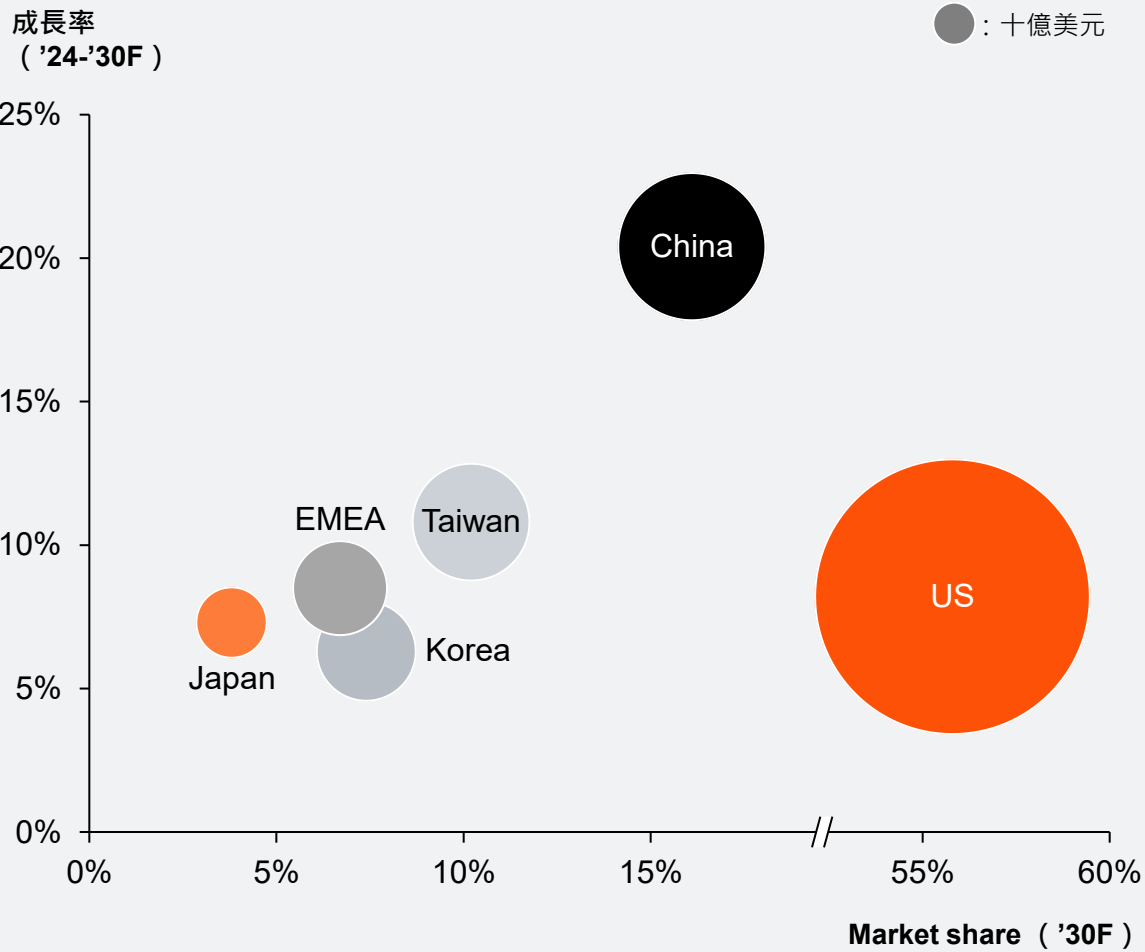
隨著全球半導體設計市場的成長，全球各地皆投入大量資金，競爭日益激烈。然而，隨著先進製程節點設計複雜度提升，IP 授權及EDA工具使用成本大幅增加，降低成本逐漸成為關鍵的競爭因素。

另外，近期市場明顯開始從通用晶片轉向應用專用半導體，且對低功耗與熱管理的重視逐漸增加，因此設計創新仍是推動半導體性能提升的核心動力。

無晶圓廠公司 ( fabless )、晶圓代工廠及IP供應商間的緊密合作，以及持續對專用架構的投資，預期將推動市場進一步成長。最終，這些努力將促進整個半導體生態系統的進步。



全球半導體設計市場<sup>1)</sup>



1 ) The above market forecast is based on analysis of major regions and includes the fabless market and a portion of IDM revenue attributed to chip design  
2 ) PwC analysis based on major companies' annual report, estimated average revenue per design engineer  
Source: PwC analysis

全球半導體設計大戰

半導體產業位在全球技術競賽的最前線，各國紛紛投入龐大資金強化其半導體生態系統。半導體設計因決定產品附加價值與差異化，在AI、數據中心、自動駕駛等高價值市場應用尤其受到高度關注。

晶片效能不僅由超精細的製程決定，功耗效率、安全性與功能性等關鍵因素，皆得仰賴設計的階段，讓各國不得不制定專屬的策略。美國聚焦AI與高效能運算（HPC）等高價值領域，中國推動廣泛自主開發以達自給自足，歐洲致力於量子晶片等前沿技術領導地位，日本鎖定汽車半導體與影像感測器等利基市場，韓國則結合記憶體與晶圓代工實力，結合設計專長，積極拓展行動裝置、AI與汽車領域新機會。

然而，半導體設計面臨迫切的人才短缺問題。預估到2030年，全球需超過30萬名設計工程師，但現有人數約只有20萬。由於半導體工程師需具備高度專業技能，無法短期內擴大人才庫。因此，加強EDA工具、IP基礎建設與培訓計畫，對穩定設計生態系統來說至關重要。透過國家與企業間的協作與競爭平衡，提升全球設計能力，以設計驅動的創新將成為重塑半導體產業格局的關鍵動力。



# 邁入客製化 IC 的時代

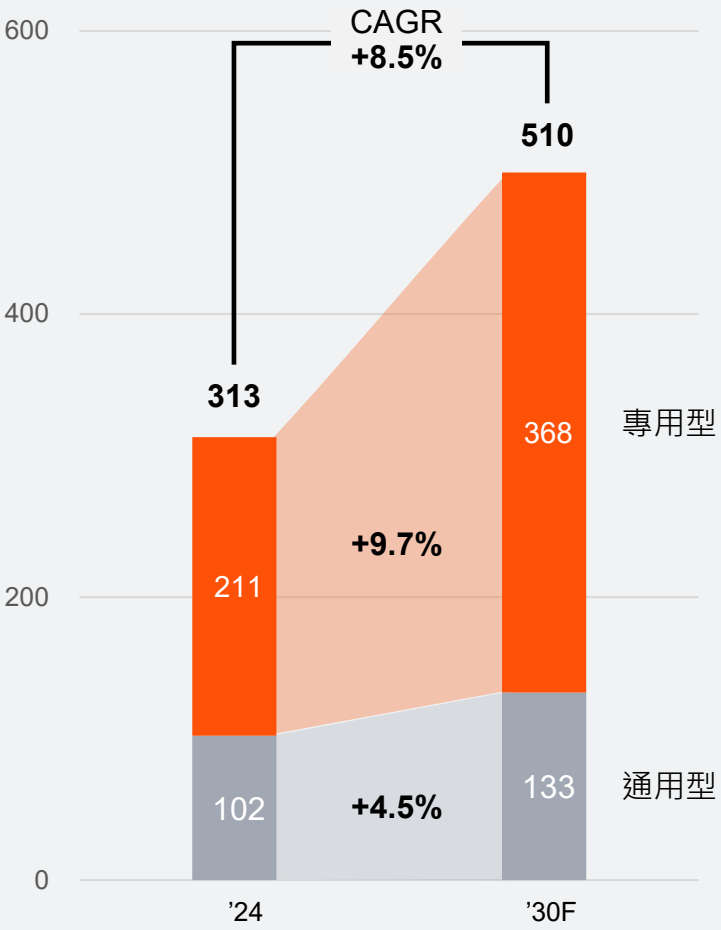
邏輯半導體主要分為兩大類：通用與專用晶片。通用晶片包含CPU與微控制器，設計來處理廣泛的任務，並具備支援多種工作與軟體更新的彈性。然而，這種多功能性的局限就是缺乏針對高度專業計算需求的最佳化。

專用晶片 ( Application-Specific Chips ) 彌補了通用晶片的效能差距。雖然靈活度較低，但這類晶片是依照特定需求量身打造，在效能、功耗效率及可靠性上均優於通用晶片。

專用晶片又可以更深入分為兩大類：ASSP 與 ASIC。ASSP 是針對較廣泛的市場或領域使用，ASIC 則專為單一應用或客戶需求量身定制。

由於 ASSP 面臨高成本及規格過度設計的問題，讓 ASIC 的需求逐漸攀升。然而，ASIC高度客製化的特性限制了應用範圍，使其須面對如何有足夠的生產量來確保成本競爭力的長期挑戰。隨著 ASIC 開發持續進步，對客製化設計架構的需求將增加，進而形成良性循環，提升 ASIC 的價格競爭力並促進成長。

全球邏輯半導體市場規模  
( 單位：十億美元 )



Source: Omdia, PwC analysis

# 在效能與功耗之間取得平衡

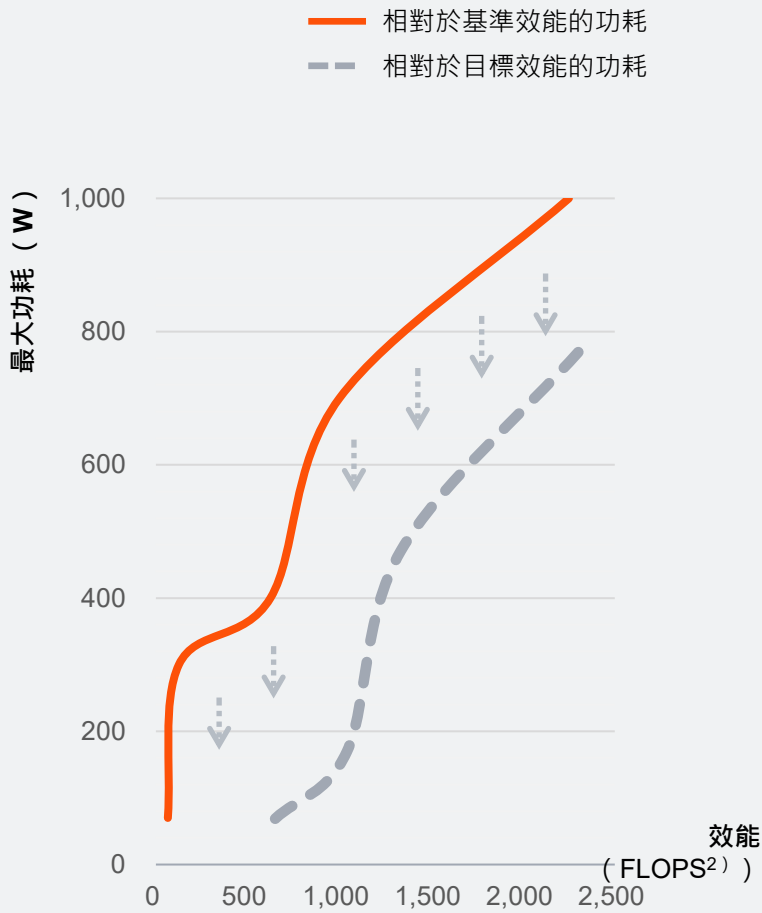
多年來，半導體工程師一直在效能（Performance）、功耗（Power）和面積（Area）之間尋求平衡——也就是經典的「PPA鐵三角」。然而，隨著處理器速度越來越快、運作電壓越來越高，功耗也急劇攀升，產生更多熱量且消耗更多電力。對大型資料中心來說，這些額外的電力消耗會帶來高昂的營運成本，不只是因為更快的晶片需要更多能源，還因為用來排除熱量的散熱系統本身也極為耗電，讓散熱成本有時甚至與新設備本身不相上下。

製程微縮則面臨另一項挑戰。先進製程節點雖然能在同樣大小的矽晶片上整合更多電晶體，且每個電晶體本身的效率更高。但極高的密度卻推升了每平方毫米的總功耗而產生「熱點」（hot spots）。一旦這些熱點失控，就會導致電晶體遷移率（mobility）下降、时序容裕（timing margins）縮減，極端情況下甚至可能造成永久性損壞。

這些現實正迫使晶片設計公司將重心從追求純粹的更高效能，轉向提升「每瓦效能」（performance per watt）。動態電壓與頻率調整（DVFS）、小晶片（chiplet）分割、以及AI輔助的散熱管理等技術，正逐漸成為主流。如今，許多公司寧願犧牲幾個百分點的帳面速度，來換取功耗和運作溫度的大幅降低。

展望未來，研發藍圖已指向能同時實現高運算吞吐量和低能耗的架構，例如只在執行特定任務時才被喚醒的專用加速器，或能即時將工作負載轉移到最高效核心的異質運算（heterogeneous）架構。這些創新不僅解決了使用者最關心的問題——能源成本、電池續航力、永續性——同時也為效能的持續提升保留了空間。簡而言之，整個產業正在重新定義「更快」的意義，使其意涵轉變為「更快且更冷」（faster and cooler），以確保技術的進步在技術和經濟層面上都能永續發展。

## 資料中心GPU 的功耗



1) 由於架構進步、人工智慧模型優化以及更嚴格的能源法規，GPU的平均功耗預計在長期內將會降低。  
2) FLOPS (每秒浮點運算次數)：衡量浮點運算能力的指標，廣泛用於評估高效能運算系統的性能。  
Source: PwC analysis

# 驅動未來設計的幕後功臣

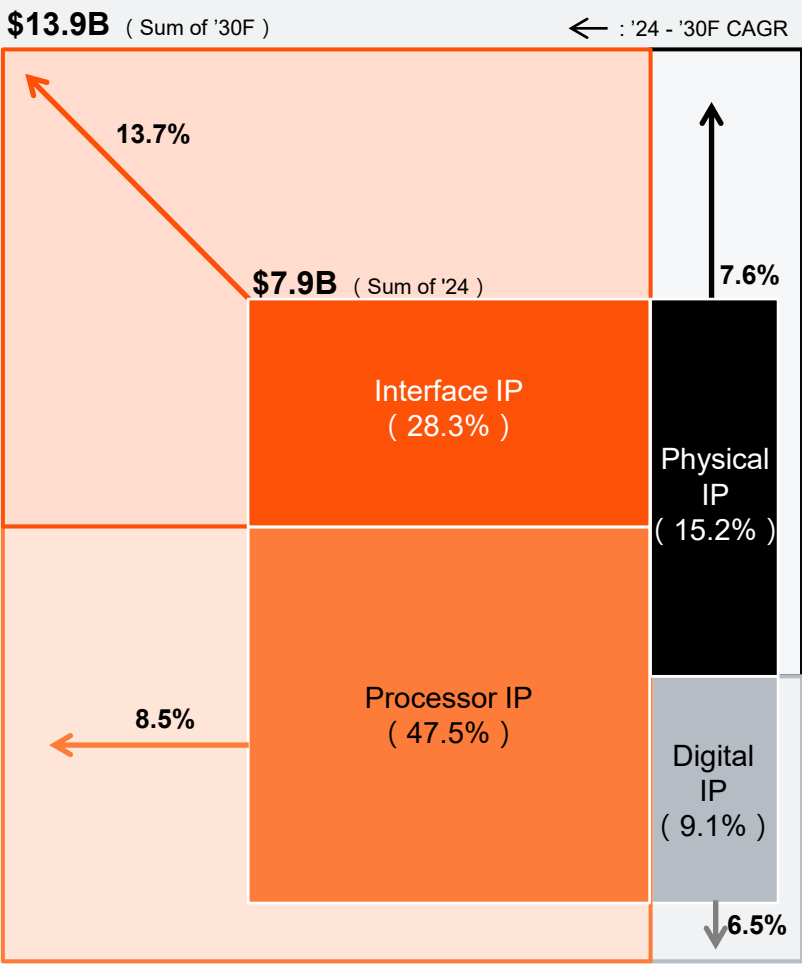
半導體IP ( Semiconductor IP ) 指的是與半導體設計相關的智慧財產權，也可以說是那些「預先設計好的功能區塊」。隨著晶片設計日益先進，對各式各樣功能區塊的需求也隨之增加，反過來凸顯了預設計半導體IP的重要性。

在各類IP中，介面IP ( interface IP ) 和處理器IP ( processor IP ) 無論在市場規模還是成長率方面，都最受矚目。介面IP負責晶片之間的數據交換與連接，在需要即時處理和大規模數據傳輸的AI 與自動駕駛領域中的角色持續擴大。由於介面IP在提升效能上扮演著關鍵角色，預計將迎來最高的成長率。

處理器IP則負責管理系統的控制與運算。中央處理器 ( CPU )、微控制器 ( MCU ) 及類似的核心都屬於此類。由於處理器IP 被廣泛應用於智慧型手機、伺服器等高價值晶片中，在市場上佔據了主導地位。隨著多核心與平行運算的普及，處理器IP對於滿足高效能與低功耗的雙重需求，已變得日益重要。

總而言之，這些IP就像是打造晶片的「積木」，讓無晶圓廠 ( fabless ) 的設計公司能專注於系統層級的差異化，同時縮短數個月的設計週期，並省下數百萬美元的非經常性工程成本 ( NRE )。在先進封裝、低功耗目標和領域專用加速器 ( domain-specific acceleration ) 正在重塑產品藍圖的今天，高品質的介面與處理器IP，將是推動摩爾定律持續創新的關鍵力量。

## 全球半導體 IP 市場



Source: PwC analysis

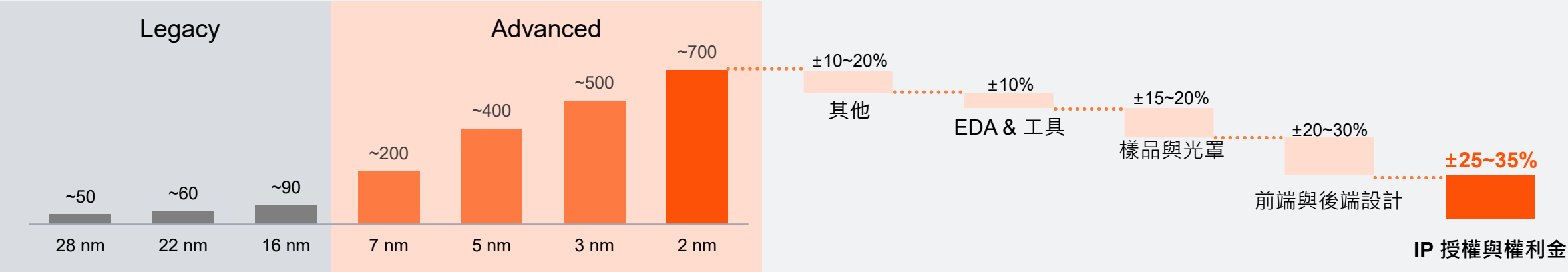
# 晶片設計的成本激增，要如何控制支出？

隨著半導體技術的進步，晶片設計的複雜性也讓開發成本愈來愈高。為了滿足智慧型手機、資料中心和AI對高效能、低功耗和高密度的要求，需有效整合多種功能，讓半導體 IP 的角色不可或缺。像CPU、GPU和AI加速器這類預先設計好的IP區塊，能夠縮短開發時間並提升效能。然而，轉向更先進的製程節點，會導致IP的開發與驗證成本呈指數級增長，從而帶來巨大的財務壓力。

在先進IP對競爭力至關重要的市場中，與IP相關的成本如今已占開發支出的25–35%，且在過去八年平均每年增長11%。為應對這一挑戰，公司正將IP資產內部化，或採用晶片模組（chiplet）架構，在先進製程節點中選擇性地開發關鍵邏輯。此外，像RISC-V這類開放源碼架構的採用也在增加，以降低對特定IP供應商的依賴並減少授權費用。隨著製程節點持續縮小，IP的重要性將進一步提升。

公司必須積極加強內部IP能力，善用晶片模組與多節點設計，與電子設計自動化（EDA）及IP合作夥伴協作，並採用開放源碼生態系統。這些策略對於在先進製程節點上確保競爭性效能，同時管理設計風險與成本至關重要，將塑造半導體產業的未來。

晶片設計成本 （單位：百萬美元）

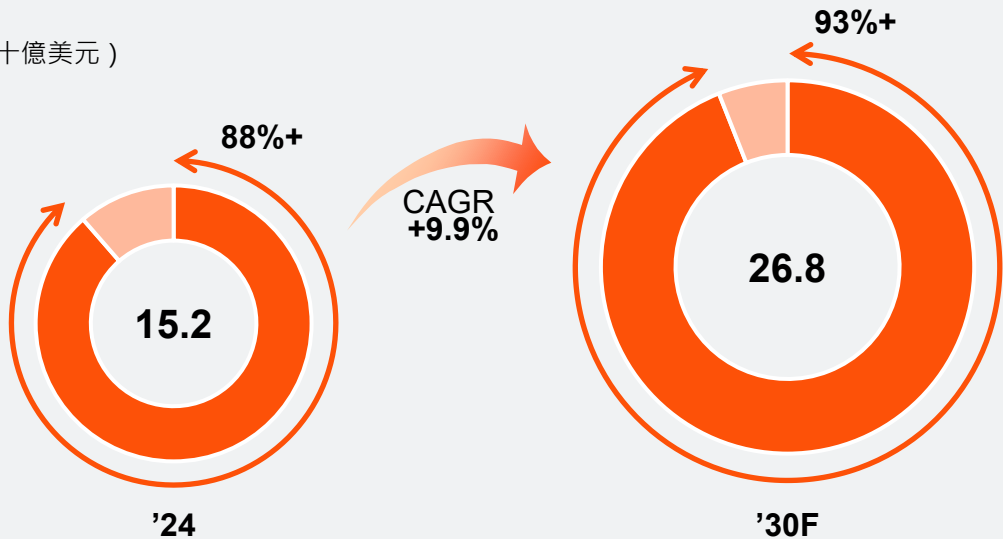


Source: Expert interview, PwC analysis

# 透過併購來推進 EDA 創新

全球 EDA 市場規模 (單位：十億美元)

- 三大主要企業<sup>1)</sup>
- 其他



1) Synopsys, Cadence, Siemens  
Source: EMIS, PwC analysis

電子設計自動化 (EDA) 工具讓晶片工程師能在光罩製作前，對設計進行模型化、驗證與優化，來大幅降低昂貴的重新投片 (re-spin) 的機會，並讓晶片排列來達成更高的良率。現在製程已導入 AI 技術來測試平台生成、異常偵測、佈局與繞線 (place-and-route) 的平台，而隨著系統單晶片 (SoC) 邁向 2 奈米及更先進的製程，這些 AI 應用變得日益關鍵，有潛力在未來十年內將設計時程縮短數十個百分點。

EDA 市場的領導地位仍然高度集中，主要因現有領導廠商享有兩大結構性優勢：第一，經實證的可靠性非常重要。由於任何錯失的瑕疵都可能導致投片預算付諸東流，設計公司更偏好擁有悠久成功紀錄與經過矽驗證 (silicon-proven) 簽核流程的供應商。第二，高聳的技術門檻保護著既有業者—三大巨頭已投入數十億美元進行研發，並透過系統性的併購整合了數百種利基工具。

展望未來，用於訓練 AI 驅動 EDA 工具的專有數據集的深度，預計將成為關鍵的競爭優勢。市場主要參與者已開始收購新創公司，不僅是為了其創新演算法，更是為了那些演算法背後的數據。

對晶片製造商而言，高度集中的供應商基礎可能意味著更高的授權費用，但其帶來的生產力效益提升往往超過額外成本。所以與其期盼新的 EDA 業者大量湧現，大多數客戶更可能專注於建立更緊密的合作夥伴關係、採用雲端化的工具流程，並開發內部自動化腳本，來從這個支撐當前眾多先進半導體專案的生態系中，創造更高的價值。



# 晶圓製造

在前端製造領域，多國都正積極建設新的晶圓廠。在各國政府補貼與穩定供應鏈需求的雙重驅動下，投資浪潮正不斷加速，企業亦同步追求大規模的廠房設施投資與技術升級。

在邏輯、記憶體、以及分離式、類比與光電元件（DAO）等領域，各地區的戰略佈局呈現顯著差異。部分業者選擇鞏固其既有的優勢地位，而其他業者則積極嘗試跨足全新領域。

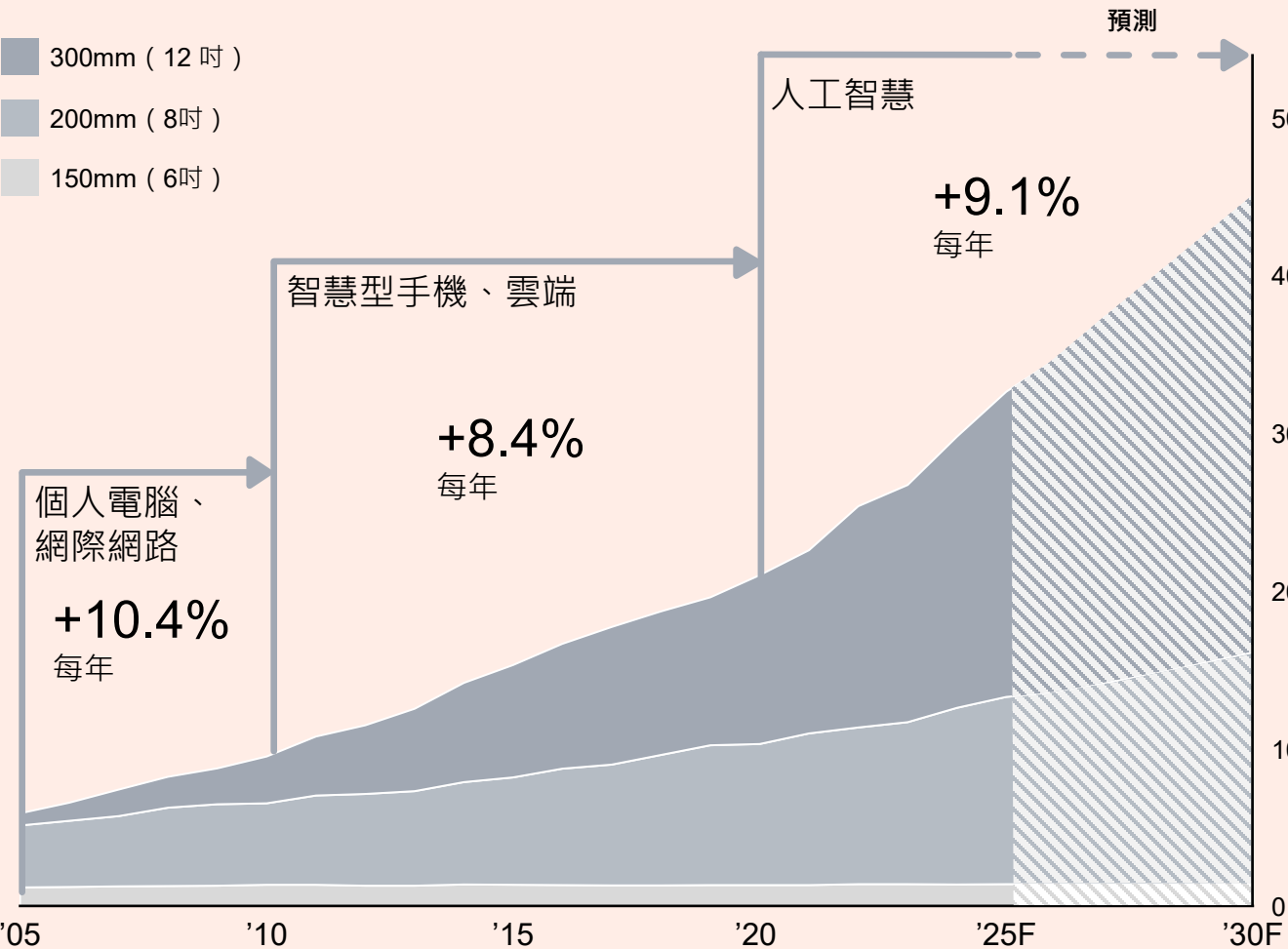
隨著全球對高效能、高能效與高可靠度晶片的需求持續攀升，能夠同時運行多個技術節點、具備高度彈性的大型晶圓廠，將成為跟上市場生產步伐、並支撐產業下一波成長動能的關鍵。





全球晶圓製造產能—按晶圓尺寸

( 單位：以200mm計算，每月百萬片 )



Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

晶圓產能持續成長

1990 年代至 2000 年代中期 ( 150mm → 200mm )

晶圓廠開始從 150mm ( 6吋 ) 轉向更大的 200mm ( 8吋 ) 晶圓，不僅提升了單片晶粒產出，也降低了單位成本。且那時正在早期網際網路時代，個人電腦的需求更加速了 200mm 晶圓的普及。儘管如此，許多 150mm 產線仍透過轉型生產功率離散元件、微機電系統 ( MEMS ) 及射頻 ( RF ) 元件而得以存續。

2000 年代末期至 2010 年代 ( 200mm → 300mm )

英特爾 ( Intel )、台積電 ( TSMC ) 與三星 ( Samsung ) 早在 2001 年便導入 300mm ( 12吋 ) 晶圓廠進行量產，來充分運用全自動化與更佳的規模經濟優勢。記憶體 IDM 大廠迅速跟進，晶圓代工廠也開始為先進製程擴展 300mm 的產能。200mm 晶圓歷經短暫沉寂後，2016 年起受惠於物聯網感測器、CMOS 影像感測器及電源管理晶片 ( Power IC ) 的需求驅動，200mm 晶圓迎來了第二波投資熱潮，尤其是在中國與東南亞地區。

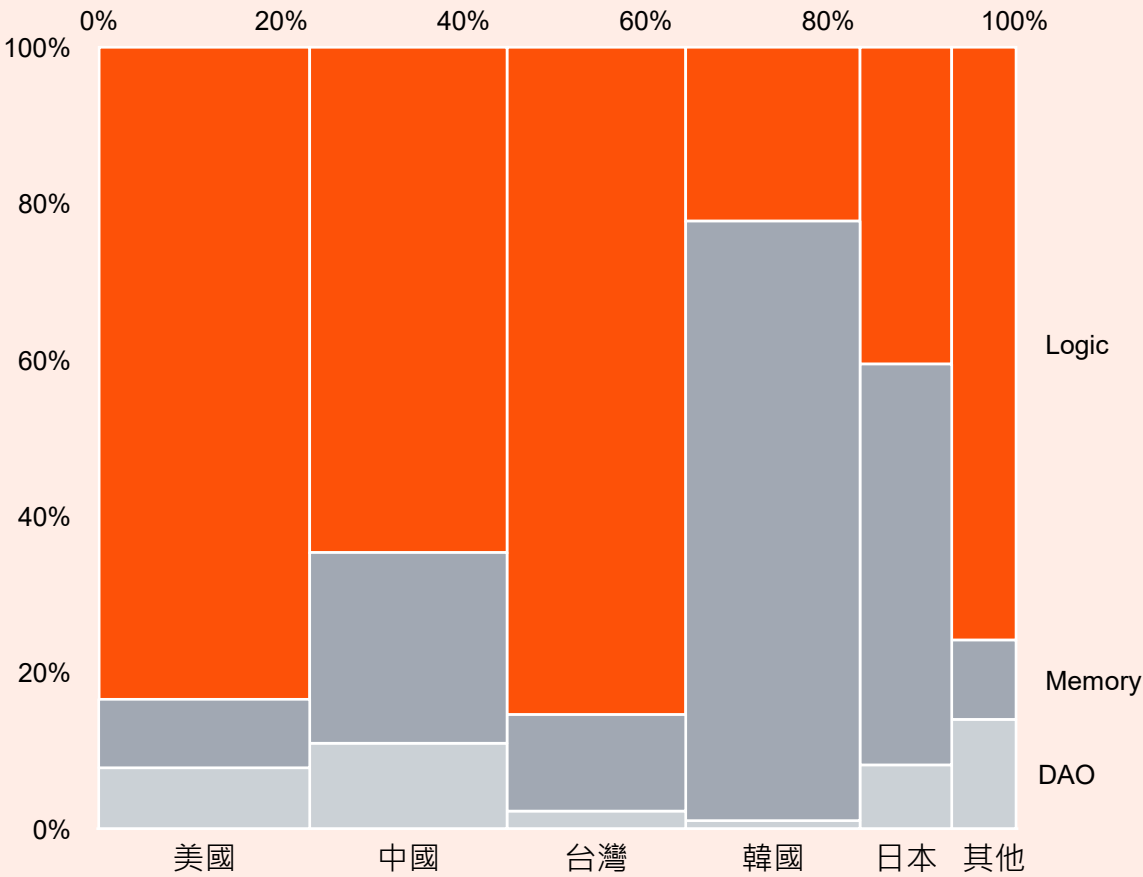
2020 年代及以後

由於成本考量，450mm 晶圓的開發計畫已被擱置，300mm 晶圓依然是先進製程邏輯晶片、DRAM 及 3D NAND 產能的主力。與此同時，對碳化矽 ( SiC )、氮化鎵 ( GaN )、類比晶片與特殊影像感測器的需求，也讓 200mm 及 150mm 晶圓廠的產能持續滿載。這預示著在 2030 年前，三種尺寸的晶圓都將呈現溫和而穩定的增長。

# 全球半導體晶圓製造廠投資

( 單位：以200mm計算，每月百萬片 )

2024 ~ 2030年預測總和： **超過1.5兆美元**



Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

# 競相投入的晶圓廠擴建浪潮

由於日益緊張的地緣政治局勢與國家安全考量，美國與中國目前是半導體產業的主要投資國。中國致力於推動半導體自給自足，以降低美國出口管制帶來的影響，美國則透過巨額資金投入新設施建設，強化本土晶片產業的韌性與競爭力。

在邏輯半導體領域，因人工智慧與高科技發展使邏輯晶片的重要性提升，獲得了最大資金份額。美國與台灣持續加大對先進製程節點的投資，而中國則專注於現有製程節點，以因應先進設備進口受限的挑戰。

在記憶體領域，韓國將通過對DRAM和NAND快閃記憶體的大規模投資保持其領先地位，反映出規模與價格競爭力的重要性。而隨著高頻寬記憶體（HBM）逐漸成為人工智慧與高效能運算的核心解決方案，韓國主要半導體企業更有強烈動機進一步擴張投資，以持續領先。

DAO產品通常比邏輯或記憶體晶片技術要求低，因此資本支出相對較少。而中國在DAO領域的大量投資可被視為在高端設備受限的情況下，集中於門檻相對較低的領域，以降低風險的策略。

展望未來，2024 至 2030 年間全球半導體晶圓廠投資規模預計將超過 1.5 兆美元，相當於過去二十年（2004–2023）的總投資額。以目前的投資速度，數字甚至可能遠超1.5兆美元。其中，在人工智慧快速成長的背景下，邏輯半導體極可能成為這波投資浪潮的主要推動力。

# 半導體產業的演進：過去、現在與未來

## 2000 年以前：產業的黎明

從 1960 年代到 1990 年代末期，晶片產業從實驗室逐步走向大規模量產。美國的 IBM 與摩托羅拉（Motorola）、歐洲的飛利浦（Philips）與意法半導體（ST Microelectronics），以及亞洲的東芝（Toshiba）、NEC、日立（Hitachi）與三星（Samsung）等產業先驅，共同推動了在記憶體、微處理器與微影技術的突破。商用積體電路（IC）於 1960 年代中期首次問世，而 1980 至 1990 年代個人電腦與消費性電子的爆炸性需求，則為產業的長期擴張奠定了基礎。

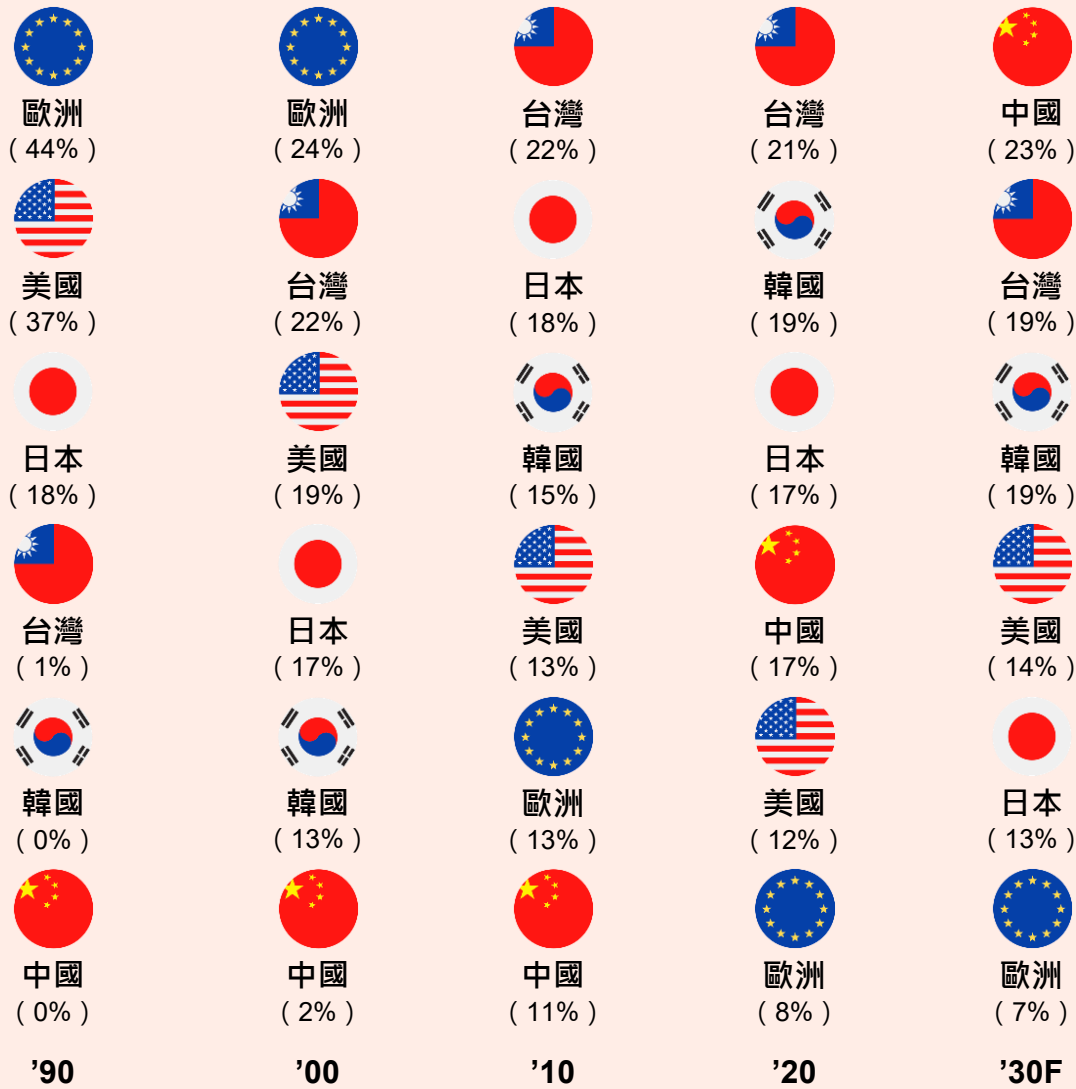
## 2000–2020 年：成長的時代

在 2000 年代初期，大量資本湧入先進製程技術。韓國大幅擴展了國內的 DRAM 與 NAND 晶圓廠，而台灣的台積電則將專業晶圓代工模式發展至極致。至 2000 年代中期，台灣已在委外邏輯產能方面引領全球。與此同時，越來越多的歐美企業採納無晶圓廠策略，將晶圓製造交由亞洲的晶圓代工廠與委外封測廠（OSATs）負責，促使全球供應鏈進一步向東方轉移。

## 展望 2030 年：全新的篇章

中國在鉅額的國家補貼支持下，投入數十億資金發展成熟製程邏輯晶片與記憶體。中芯國際（SMIC）與長江存儲（YMTC）儘管仍落後頂尖技術一至兩個世代，仍持續擴充產能，數十家國內外企業也正同時在中國建設新晶圓廠。美國則祭出《晶片法案》（CHIPS Act）的補貼以為應對，吸引先進邏輯與異質整合的晶圓廠回流。韓國與台灣的目標是鞏固其各自在記憶體（特別是 HBM）與晶圓代工服務領域的主導地位，日本和歐洲則也相繼推出配套方案，以吸引先進邏輯與特殊的碳化矽（SiC）功率元件產線進駐。總體而言，各國的策略將在 2030 年前重塑全球製造版圖，並為半導體產業迎來一個全新的發展階段。

全球晶圓製造產能占比



Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis  
\* 這些數據僅代表主要國家的產能占比，並非全球總量，因此總和可能不等於100%。

# 先進製程的產能佔比持續提升

邏輯半導體是一種執行運算、控制和訊號處理的晶片，常被比喻為人類的大腦。對於邏輯半導體來說，縮小製程節點一直是一個重要的目標，因為晶片上的電晶體整合度越高，能實現更快速且精確的邏輯功能。

小於7奈米的先進製程提供最高效能與功率，推動人工智慧加速器與高效能運算（HPC）等先進應用。因近年對晶圓代工廠的大量投資，先進製程的生產比例預計將上升，且多採用先進電晶體架構與封裝技術，以獲得更高速度與能效。

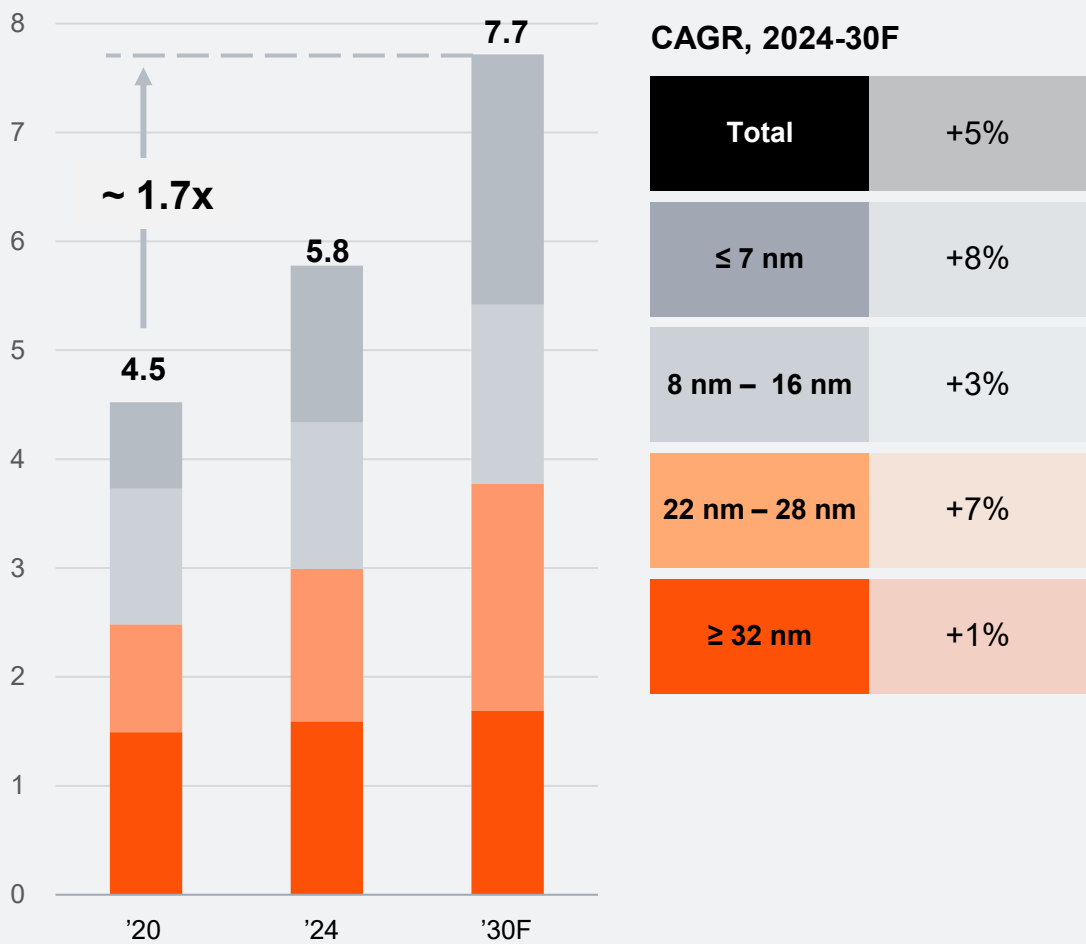
8–16奈米節點位於中間位置，效能低於先進製程，但成本高於22–28nm製程。常用於車用先進駕駛輔助系統（ADAS）、特定行動系統晶片（SoC）及中階顯示晶片。但隨著製造商多直接從22–28nm跳至7nm以下以提升效能，8–16奈米的需求逐漸下降。

22 至 28 奈米的製程節點通常被稱為成熟主流製程，相較於追求元件密度，更重視成本、電壓耐受度與經實證的可靠性，因此是車用微控制器（MCU）、工業物聯網與消費性特殊應用積體電路（ASIC）的關鍵基礎。目前市場需求依然強勁，但中國在 28 奈米製程的快速擴張，可能在未來十年的後期引發區域性的供給過剩。

32 奈米及以上的製程主要應用於對價格敏感或要求超高可靠度的元件，例如電源控制器、感測器、顯示驅動晶片等。許多供應商使用已完全攤提折舊的晶圓廠進行營運，因此即便在產量較低的情況下，仍能維持獲利能力。儘管新設計逐漸遷移至 28 奈米及更先進的節點，但市場對這些成熟製程的總體產能需求，預計仍將呈現微幅而穩定的增長。

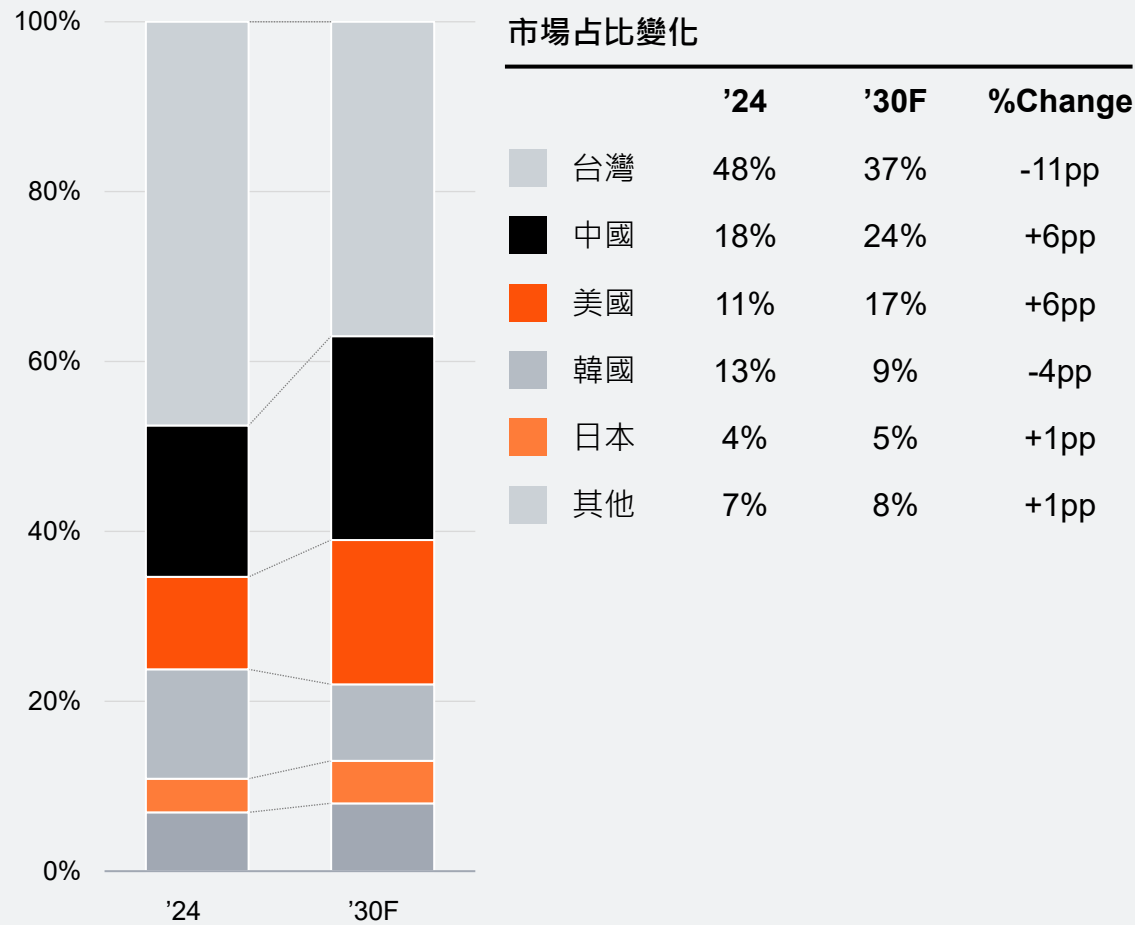
## 邏輯半導體產能—按製程節點劃分<sup>1)</sup>

（單位：以200mm計算，每月百萬片）



1) 分析僅針對 300mm晶圓進行  
Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

邏輯半導體產能占比<sup>1)</sup>  
(單位：以200mm計算，每月百萬片)



1) 分析僅針對 300mm晶圓進行  
Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

強化邏輯晶片的供應韌性

隨著半導體成為國家重要戰略資產，各國正加大對先進邏輯晶片的投資。近期的供應短缺以及中美緊張局勢，讓晶片的自給自足與生產穩定性，對國家安全的重要性又進一步提升。

在這個變化不斷的局勢中，美國積極透過《晶片與科學法案》（CHIPS and Science Act），來進行補貼、稅收優惠及基礎設施投資，吸引先進製程晶片在美製造。

中國則因地緣政治壓力及技術出口管制，透過大量國家補貼與政府激勵，積極擴大成熟邏輯製程的布局，持續建設並擴張新的晶圓廠，來強化國內半導體產能、達成降低進口依賴的戰略目標。

台灣則專注於先進製程晶片生產，持續維持全球領先地位。穩定的電力與供水，以及完整的晶片生態系統等政府支持，讓台灣能保持3奈米以下製程競爭力。

韓國預計將在記憶體製造領域維持強勢，但同時也正策略性地投資邏輯晶片，來提升其在邏輯晶片領域的地位。

日本則透過台積電與索尼（Sony）合資的熊本廠、功率元件的產能擴張，以及Rapidus的2奈米晶圓廠等專案，積極振興其晶片產業，同時亦大力推動先進封裝的發展。

總體而言，這些區域性戰略正重塑邏輯半導體的全球供應版圖。展望2030年，「韌性」已取代純粹的成本削減，成為投資佈局的核心指導原則。

# 新世代的電晶體架構

隨著晶片製造商向 5 奈米以下推進，每一代製程都需要投入更多的研發、資本與時間。FinFET（鰭式場效電晶體）約在 5 奈米這個節點達到微縮極限，因此產業領導者於開始於 3、2 奈米節點轉向採用 GAA（環繞式閘極）奈米片元件。如還要進一步微縮，則會需要全新的元件架構，以抑制短通道效應、寄生電阻與量子穿隧效應。

目前有兩種主流候選技術：CFET（互補式場效電晶體）與 Forksheet（叉狀片）。

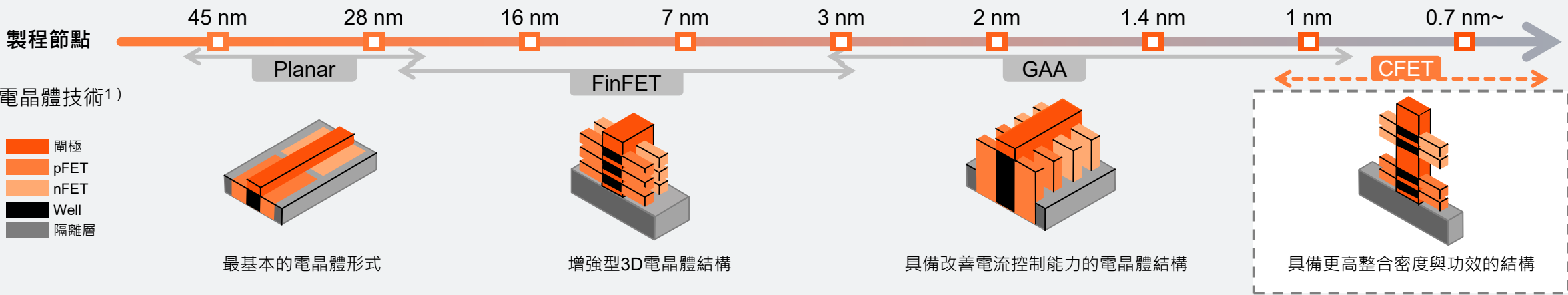
CFET 是一種新世代電晶體架構，能實現更高的整合密度與效能。英特爾、三星與台積電皆積極投入 CFET 的研究。儘管各家公司的商業化時程不同，但市場普遍預期，若製造與成本效益能顯著提升，其初期的商業化將可能在 2030 年代初實現。

介於現今的 GAA 與完整的 CFET 堆疊之間的，是 Forksheet 的概念。該技術引入一道介電質「叉」，用以隔離相鄰的奈米片堆疊，從而將閘極間距壓縮得更緊。

部分研究聯盟將 Forksheet 視為一個務實的過渡方案，但其他業者則可能選擇直接跨越此技術，將資源直接聚焦於 CFET。

無論最終何種路徑勝出，後 2 奈米時代的成敗將取決於龐大的投資、新材料的採用與先進的 3D 整合技術，這也突顯了這場朝向更小製程節點的激烈競賽，將如何持續重塑半導體產業的版圖。

## 主要電晶體技術的時間軸



1) 不同公司在各製程節點所採用的電晶體技術可能存在差異。



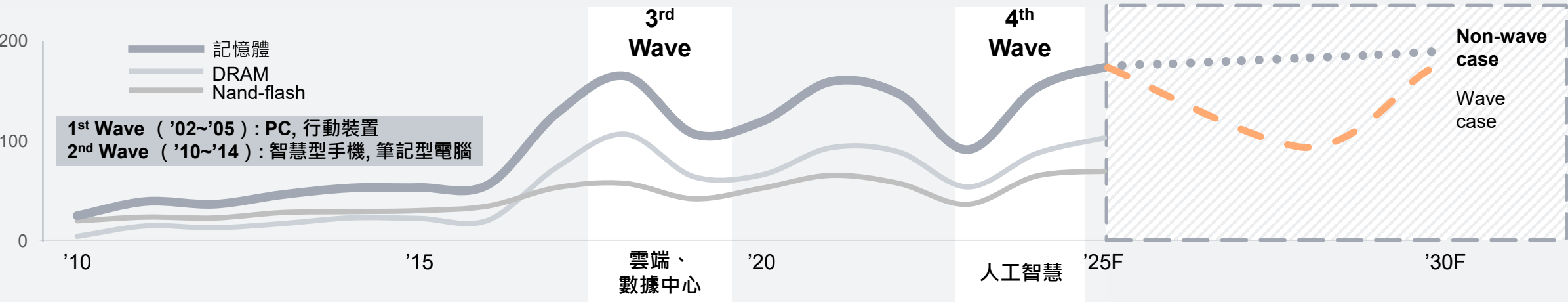
# 記憶體超級週期是否會繼續？

記憶體市場向來以劇烈的景氣起伏而聞名，即所謂的蕭條繁榮超級週期 ( boom-and-bust super-cycles )。週期的開端，通常始於一個新興平台的出現，像是智慧型手機、雲端伺服器或 AI 加速器等，吸納大量既有產能，進而推升價格與利潤率飆升。然而，供應商往往會因應需求而過度擴產，導致庫存遽增，隨後便進入景氣下行週期。儘管如今企業已透過更果斷的減產、嚴格的資本支出紀律，以及對晶片微縮時程的掌控來緩解市場波動，但此這種循環模式仍未完全消失。

未來的週期波動是否會趨於和緩，市場上仍存在不同觀點。一派觀點認為，更精準的供應鏈分析、縮短的設備交付週期，以及如高頻寬記憶體 ( HBM ) 般的製程節點多元化策略，有助於平抑價格波動。另一派則指出，爆炸性增長的 AI 工作負載、自動駕駛的數據採集，以及邊緣運算的發展，將帶來新的需求衝擊，並可能觸發下一波景氣上行。此外，混合實境頭戴裝置與智慧工業感測器等新興應用場景，也同樣凸顯了記憶體在其中的核心角色。

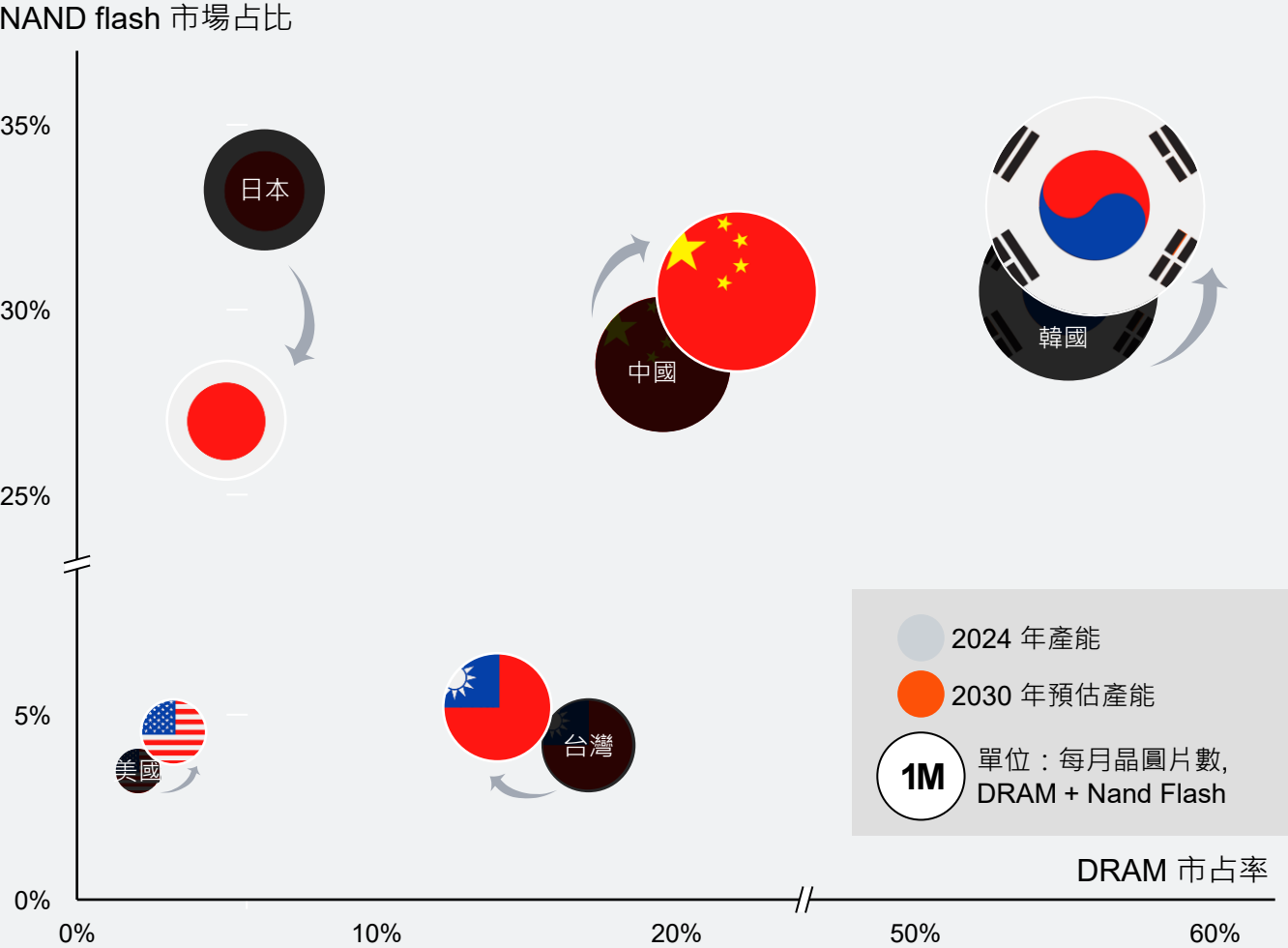
實際上，每個週期的波動深度，可能取決於三大變數：突破性應用的爬升速度、製造商產能投資的規模，以及提升單片晶圓位元數的製程轉移步伐。追蹤這些指標，並據此調整投資策略，將是成功駕馭下一波市場浪潮的致勝關鍵。

全球記憶體半導體市場規模 ( 單位：十億美元 )



Source: Gartner, Expert Interview, PwC analysis

記憶體半導體製造產能占比<sup>1)</sup>



1) 市場占比分析是依據記憶體半導體製造商的總部國家來劃分  
Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

亞洲主導全球記憶體市場變遷

整體而言，記憶體供應鏈預計仍將以亞洲為中心，但逐漸擴張形成一個更廣泛的區域平衡格局。

韓國憑藉先進的 DRAM 與 NAND 技術及持續不斷的大規模投資，預計將維持在記憶體半導體領域的最強勢地位。利用其穩固的市場地位、可靠性與品質優勢，韓國可望維持甚至擴大其全球影響力。

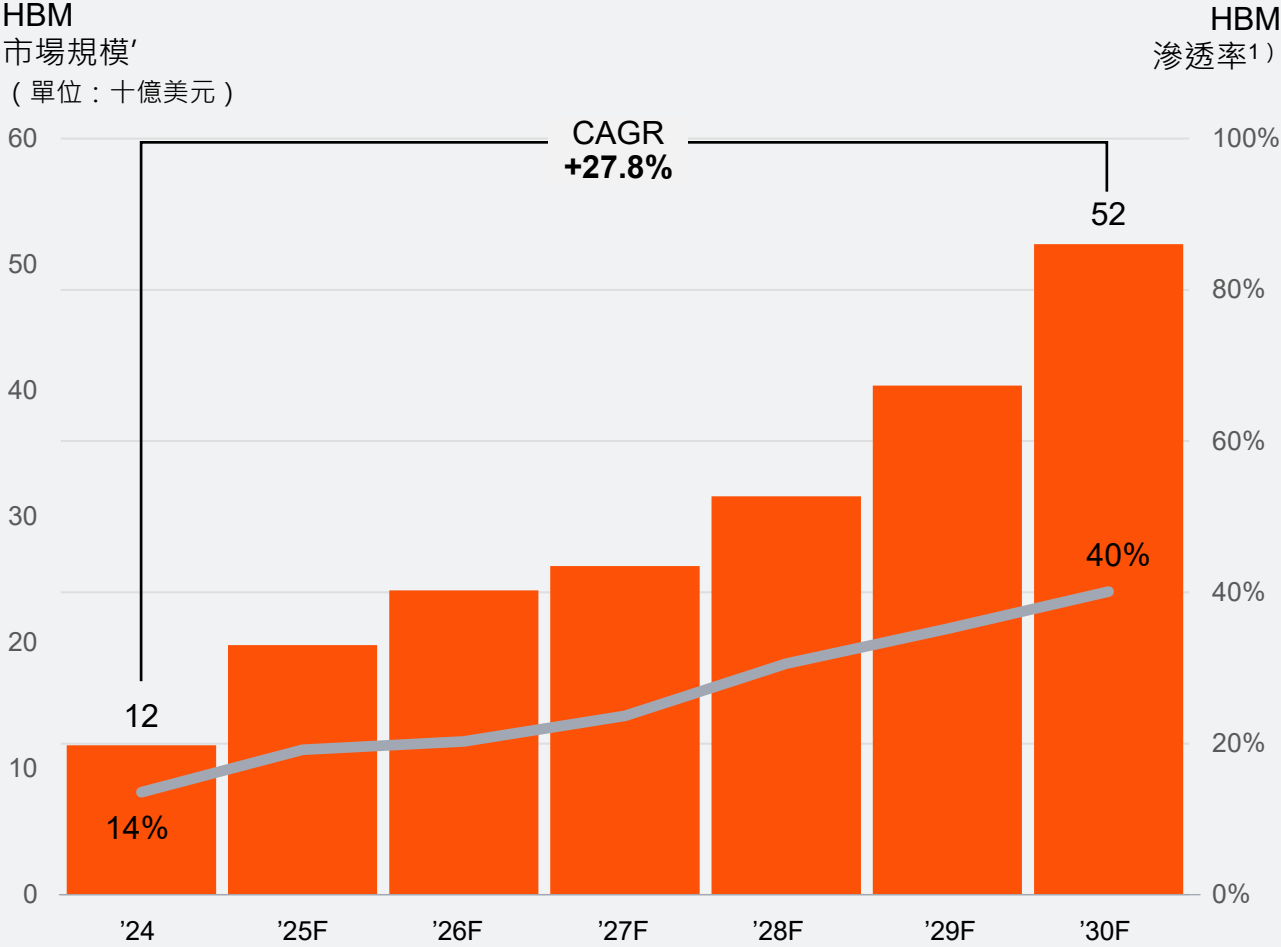
中國正在朝著供應鏈自給自足布局，在鉅額國家補貼下建立了數十條成熟製程記憶體產線。國內供應商也致力於提升主流 DRAM 節點的良率，並加速高層數 3D NAND 的產能爬升。

日本曾是 NAND 快閃記憶體的強權，但由於成本競爭力較弱，市佔率可能在 2030 年前微幅下滑。此外，其聚焦的遊戲與通訊領域，預期成長動能有限，這也可能進一步限制其擴張。

台灣較可能專注於具成本效益的中階 DRAM 及特殊型 NOR /SRAM 產線。但因缺乏大規模的 NAND 產能，台灣在 NAND 市場的佔有率預計難有顯著增長。

美國正運用政府激勵措施，建立本土記憶體製造能力。新的 DRAM 與 3D NAND 超大型晶圓廠正在建設中。這些廠房可望在未來十年末期，逐步推升美國的市場份額。

全球 HBM 市場規模及其在 DRAM 中的滲透率



1 ) Penetration rate: The proportion of HBM within total DRAM  
Source: Omdia, PwC analysis

AI 帶動 HBM 需求

生成式 AI 訓練與推論的浪潮，讓高頻寬記憶體 ( HBM ) 成為現代資料中心伺服器的關鍵。儘管 CPU、GPU 與加速器的效能持續攀升，但若搭配的記憶體無法以足夠快的速度供應數據，整體工作負載便會遭遇瓶頸。

HBM 的設計是將多個 DRAM 晶粒堆疊於一片微小的基礎邏輯晶粒之上，並透過矽穿孔 ( TSV ) 技術進行連接，再將此堆疊結構安裝在緊鄰運算晶片的矽中介層 ( silicon interposer ) 上。這種 3D 整合技術能在極小的面積內，提供每秒 TB 等級的傳輸頻寬，使 HBM 成為高功耗 AI 與高效能運算 ( HPC ) 系統的關鍵角色。

儘管眾多供應商正競相擴充產能，缺貨情況仍有可能出現。首先，因為需求增長可能甚至超出最樂觀的預期，而新建 TSV 產線長達 18 至 24 個月的交付週期，幾乎沒有可以快速應對的空間。再來，HBM 的供應鏈強度會取決於其最薄弱的環節，也就是矽中介層、先進凸塊封裝 ( advanced bumping ) 產能，或特殊基礎邏輯晶粒。其中任何一個環節供給不足，都可能抑制 HBM 的總體產出。

在封裝基礎設施的擴展速度跟上 DRAM 晶圓的投片量之前，HBM 的供應預計將會持續緊缺且高價。

# DAO 元件的轉型：迎向更大尺寸晶圓與供應鏈擴展

## 分離式半導體（Discrete）

大多數的功率 MOSFET、IGBT 與二極體仍以 150-200mm 晶圓生產，但有越來越多的正在轉向 300mm，尤其是在低壓 MOSFET、車用 IGBT 與智慧功率晶片（Smart-Power IC）等高價值元件的部分。同時，碳化矽（SiC）與氮化鎵（GaN）元件正在 200mm 及試產的 300mm 設備上擴大規模，顯示在本世紀後期，碳化矽與氮化鎵可能會將更廣泛地向 12 吋晶圓轉移。

## 半導體（Analog）

電源管理晶片（PMIC）、放大器與射頻前端模組長期以來皆採用 200mm 設備生產，但隨著晶粒面積增加與製程公差要求趨嚴，正推動晶圓朝向 300mm 發展。類比設計的鎖定效應（lock-in nature）通常能使其營收保持穩定，然而製程轉移需要審慎的良率學習曲線（yield learning），因此多數供應商傾向採取從 200mm 到 300mm 的分階段發展藍圖。

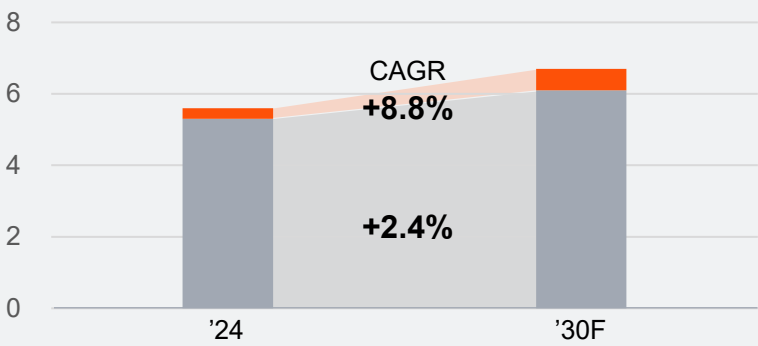
## 光電半導體（Optoelectronic）

LED 與大多數雷射元件仍以 100-150mm 的化合物半導體或藍寶石晶圓製造，相較之下 CMOS 影像感測器則已大規模轉移至 300mm 產線以提升像素密度。將這些化合物半導體製程轉移至更大尺寸的晶圓雖然是可行的，但因為其專用設備與製程步驟通常需要優先進行重新驗證（re-qualified），因此進程較為緩慢。

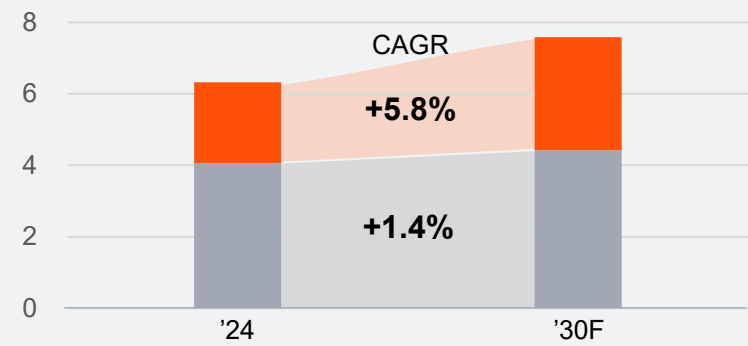
### DAO 半導體製造產能—按晶圓尺寸

（單位：以200mm計算，每月百萬片）

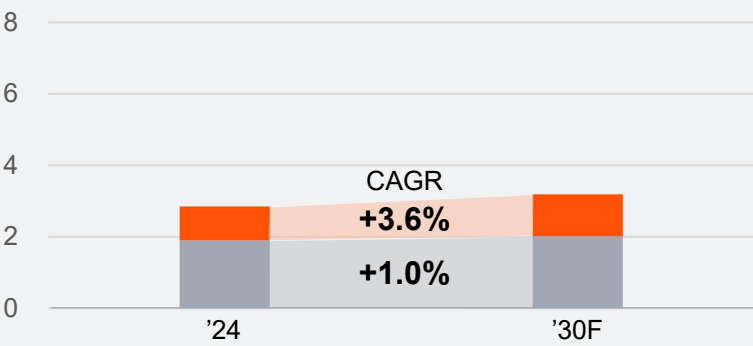
#### 分離式 Discrete



#### 分離式 Analog

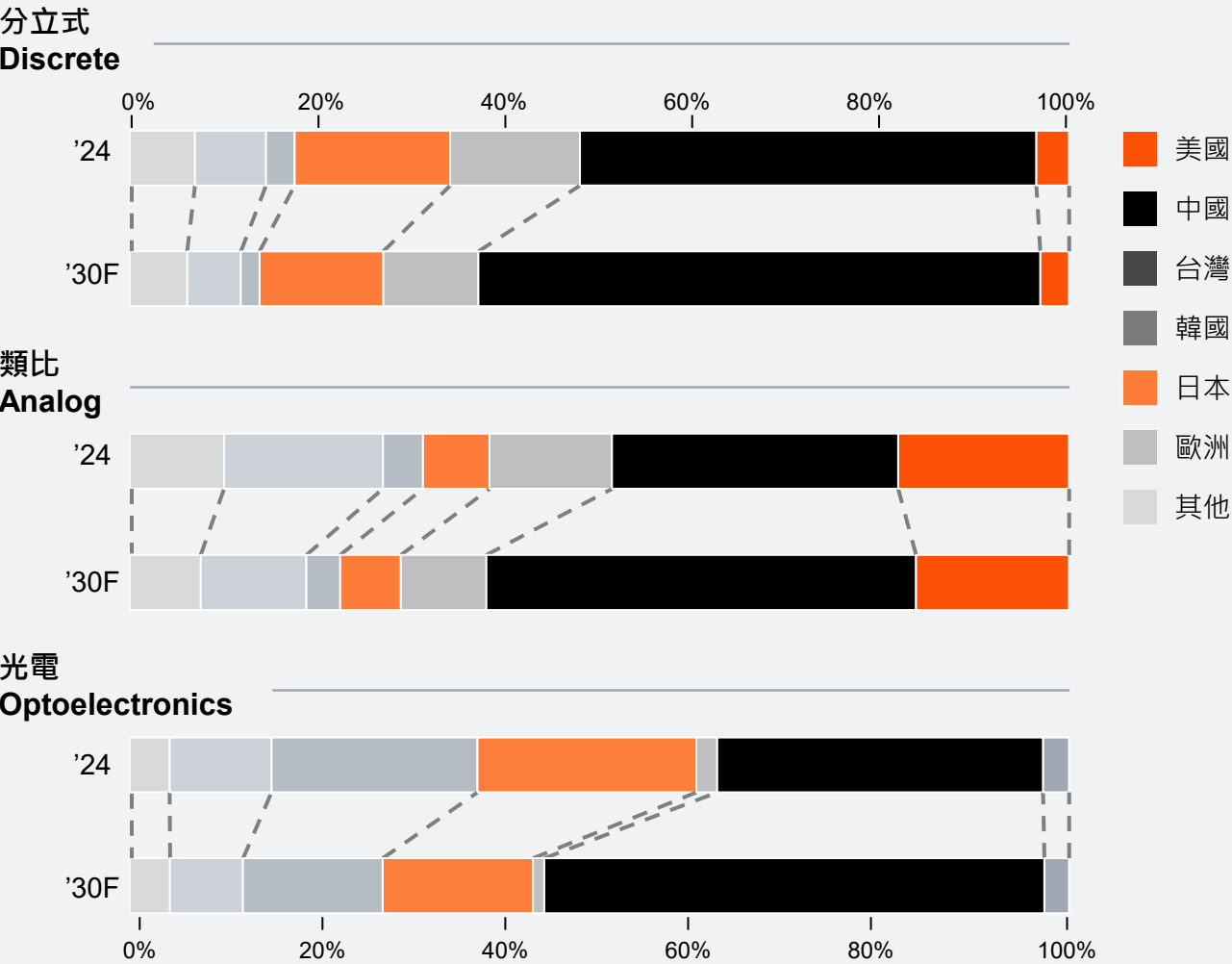


#### 光電 Optoelectronics



Source: SEMI, Expert Interview, PwC analysis

全球 DAO 半導體製造產能占比



Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

溫和但穩健的成長

由於 DAO 元件鮮少需要最先進的設備，資本密集度相對於先進製程邏輯與記憶體晶片低。因此大規模、一次性的超大型晶圓廠投資案較為少見。但許多地區仍持續漸進式地增加 DAO 產能，以建立國內的基礎供應能力。

中國因在能源、通訊及工業設備等領域，對功率、類比與光電晶片的強勁本地需求，正以最快的速度擴張 DAO 產能。眾多中階供應商憑藉成本優勢，積極攻佔對價格敏感的市場區隔。

美國的激勵措施資助新的類比與混合訊號晶圓廠，主要服務於航太、國防與工業等高價值市場。其目標主要在於重建國內製造能力，而非追逐大宗商品等級的產量。

日本預計將在汽車與精密設備領域，維持在分離式功率元件及感測器方面的穩固地位。儘管成熟市場的飽和可能減緩成長，但電動車轉型的趨勢，預計將持續支撐市場對日本碳化矽 (SiC) 功率元件的需求。

整體而言，全球 DAO 產能將呈現溫和而穩健的增長。各國雖均在強化自體 DAO 供應鏈韌性，但並沒有像先進邏輯或記憶體專案那樣受到大量關注。



# 功率半導體的演進

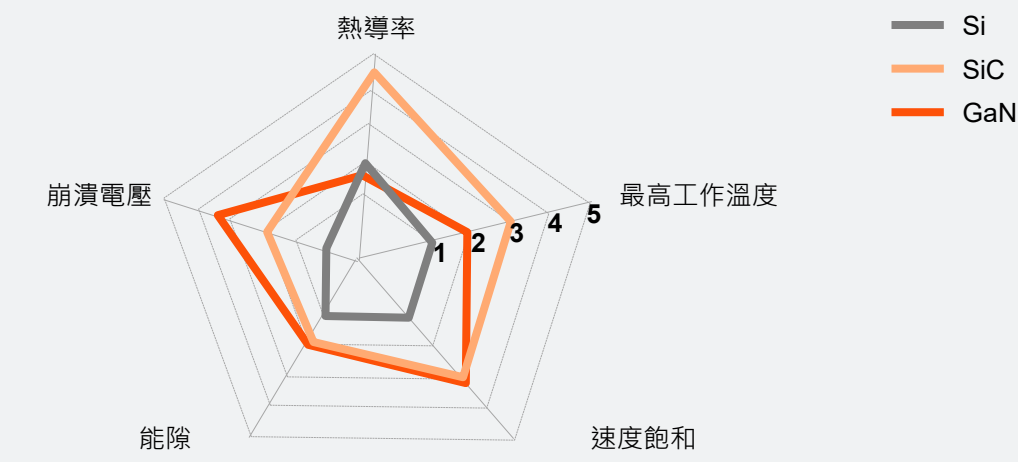
長期以來，矽（Si）因價格優勢與成熟的生產製程，一直是功率電子的主要材料。然而，寬能隙（WBG）半導體因為具備比矽更優秀的耐高溫、耐高壓與高速開關特性材料，正在快速崛起，尤其是碳化矽（SiC）與氮化鎵（GaN）。

碳化矽（SiC）在高電壓與高電流的應用中極具效率，成為電動車（EV）牽引逆變器、再生能源轉換器及重工業驅動裝置的理想選擇。為降低成本並提升晶圓品質，製造商正積極從 150mm 轉向 200mm 的 SiC 晶圓。

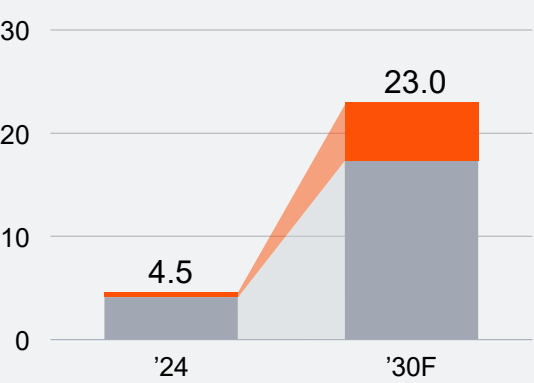
氮化鎵（GaN）的優勢則在於需要高速開關與小型化設計的產品，例如 USB-C 快速充電器、筆記型電腦適配器、5G 基地台電源供應器，以及資料中心的高頻轉換器。此外，其結構也易於與標準 CMOS 控制晶片整合，從而簡化元件設計。

儘管 WBG 元件的產量已達數億顆，但由於晶錠生長、晶圓拋光與先進磊晶等製程成本高昂且耗時，短期缺貨的風險依然存在，尤其是在 200mm SiC 基板與高電壓 GaN 晶圓方面。然而，隨著在更大尺寸晶圓、良率提升與先進設備方面的持續投資，供應限制將逐步緩解，進而縮小與矽的成本差距，並加速 SiC 與 GaN 解決方案的市場滲透。

## 功率半導體：性能比較



## 功率半導體市場—依材料劃分（單位：十億美元）



CAGR, 2024-30F	
Total	+30.9%
GaN	+53.5%
SiC	+27.0%

Source: Omdia, PwC analysis

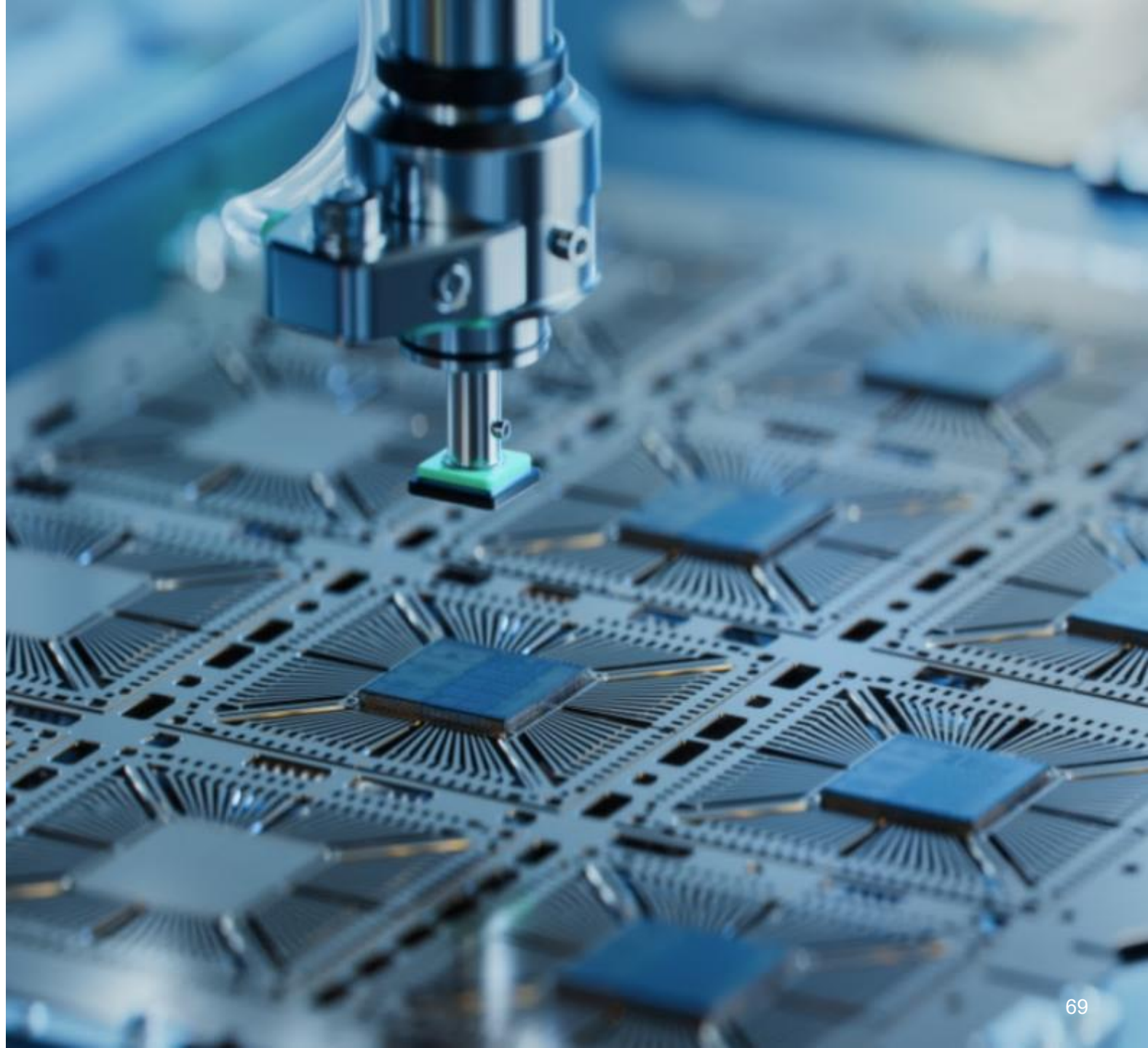
# 封裝與測試

封裝與測試的角色有了根本性的轉變，已不再僅是保護完成的晶粒，更在於強化晶粒間的連接性，並提升嚴苛環境下的電性與散熱可靠度。

隨著電晶體微縮的效益遞減，先進封裝已成為提升系統效能的必要手段。其中的關鍵創新包含更短、更高頻寬的互連技術，以及能以具成本效益且彈性的方式整合異質晶粒的小晶片（chiplet）架構。

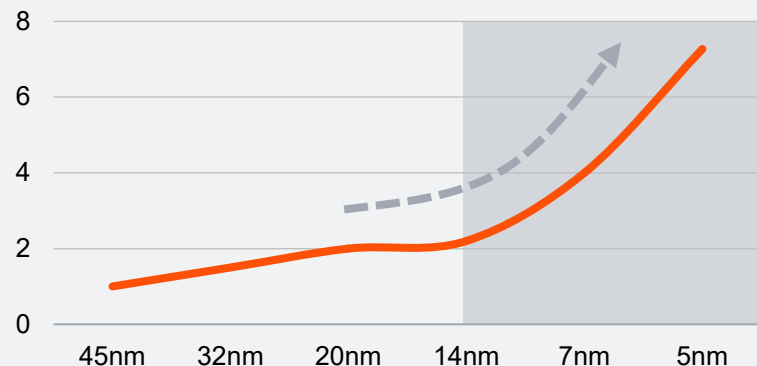
而日益複雜的組裝，也讓瑕疵預防與良率提升變得重要，進而驅動了光學、X光及系統級檢測工具的快速進展。

展望未來，顯著的效能增益將會取決於前端電晶體技術，與後端封裝測試流程之間緊密的協同演進。



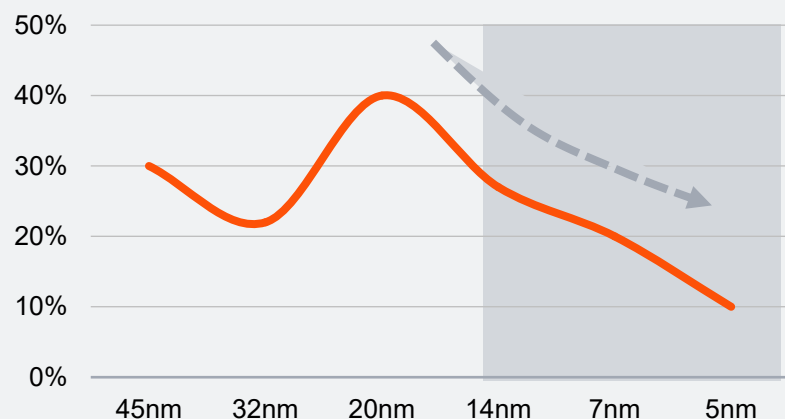
## 前段製程成本持續上升...

各製程節點的晶圓製造成本 (45nm=1)



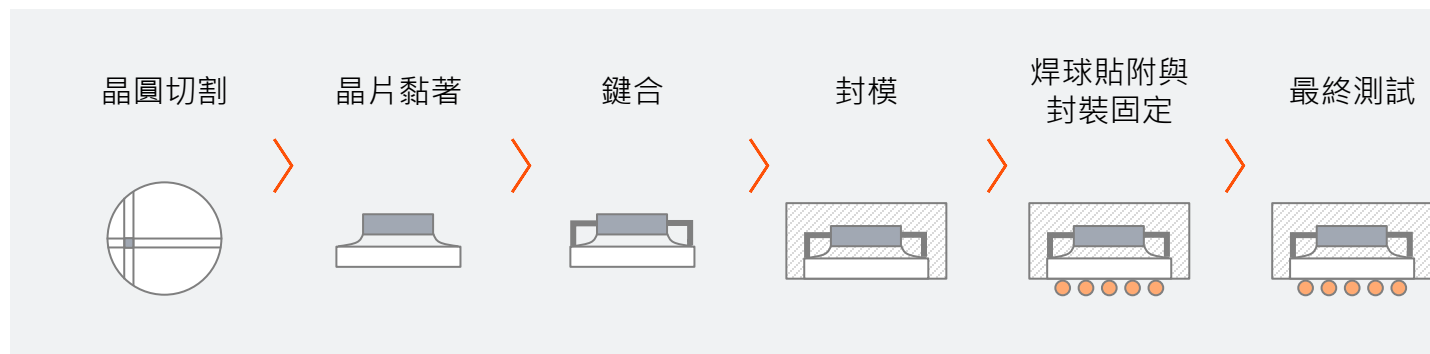
## ...而其效益卻存疑

各製程節點的效能提升



Source: AMD, PwC Analysis

## 後端製程推升效能極限



過去數十年來，效能的提升主要來自前端製程的微縮。但當製程技術推進至 10 奈米以下，全球僅有兩家晶圓代工廠能夠進行量產，第三家業者則正在追趕。短通道效應、寄生電容與日益增加的漏電流，使得每一次的微縮都變得更加困難且成本高昂。

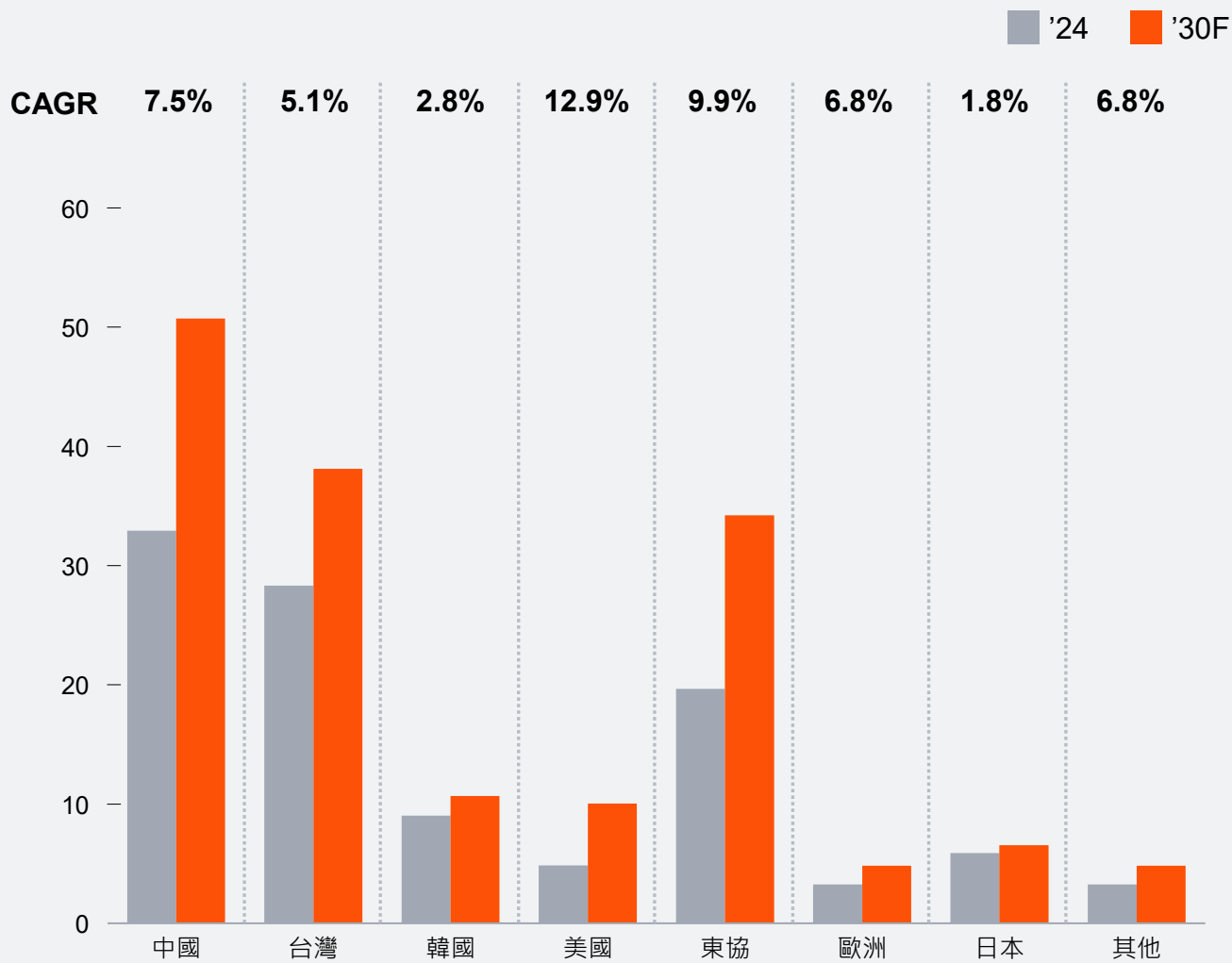
早期的 CMOS 製程微縮（從 90 奈米至 28 奈米），通常能讓電晶體密度翻倍，並帶來 25-50% 的功耗效能提升。然而，從 16 奈米 FinFET 到現今的 3 奈米節點，密度曲線已趨於平緩，效率的提升也已放緩，同時晶圓成本卻增至近三倍，而晶粒層級的經濟成本則攀升了約二至三倍。

EUV 微影設備、較低的初始良率，以及飛漲的研發預算，都凸顯了前端製程微縮的成本已變得非常高昂。

面對此般效益遞減的困境，晶片製造商正重新將重點轉向先進後端技術，像是小晶片（chiplets）、2.5D 中介層與 3D 堆疊，才能在前端製程進展放緩之際，讓系統級效能持續推進。

# 全球封裝與測試市場規模

( 單位：十億美元 )



Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

## 後端製程的戰略佈局

中國：國家級資金正大量挹注新的晶圓級封裝廠，本土OSAT（委外封測廠）也同步升級，來因應小晶片組裝與高速 AI 互連技術。

台灣：晶圓代工廠與 OSAT 龍頭正在擴充 2.5D/3D 封裝產能，並建立專門的園區來投入訊號完整性與系統級測試，緊密結合先進後端製程與先進前端節點。

韓國：韓國正在推動一個聚焦於 3D 堆疊、小晶片與可靠度測試的國家級產業聚落，並以共享的研發工具與人才培訓作為後盾。

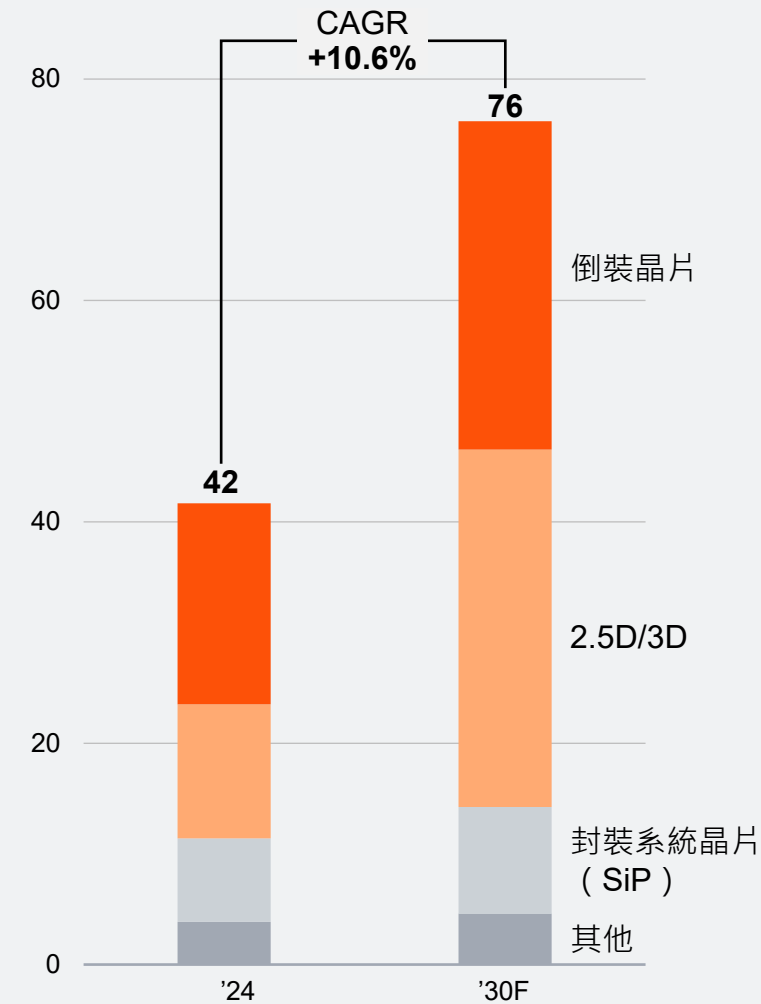
美國：聯邦政府的激勵措施支持打造一個由封裝研發中心與試產線組成的網絡，來推進小晶片標準、散熱解決方案與快速可靠度篩選技術。

東協（ASEAN）：馬來西亞正強化其委外封測廠基礎，以吸引先進封裝專案。而越南則將後端製程投資，視為其切入半導體產業的門戶。

總體而言，這些佈局顯示，在下一波晶片競爭中，先進封裝與測試的戰略重要性，已不亞於前端製程的微縮。

全球先進封裝市場

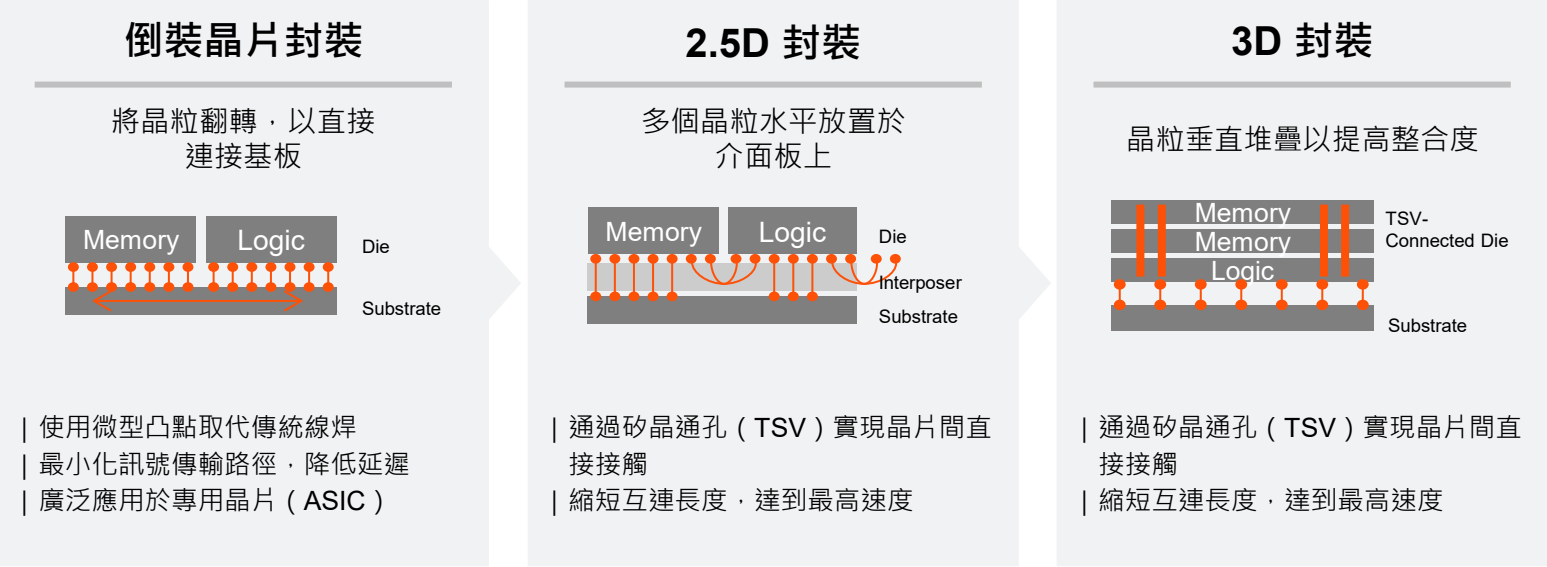
( 單位：十億美元 )



Source: Yole Group, PwC analysis

更短的互連與更高的效率

在先進封裝領域，精密度與潔淨度的重要性，已可以比擬前端晶圓廠，讓晶圓代工廠與整合元件製造商（IDM）持續增加在先進封裝領域的投資。

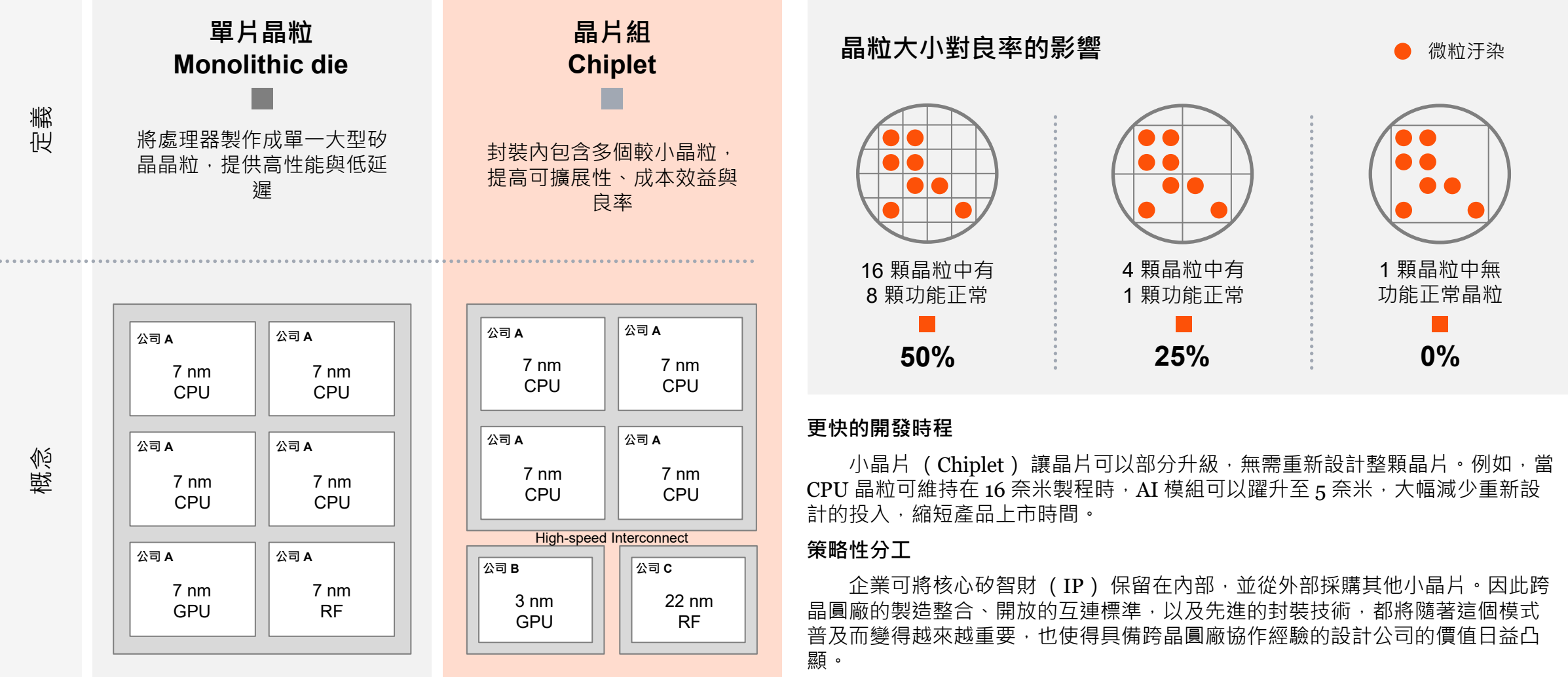


IDM 與晶圓代工廠引領封裝創新

先進封裝現已成為晶片效能的核心驅動引擎，但 3D 與小晶片（chiplet）的技術，都需要晶圓廠等級的精密度。因此，晶圓代工廠與 IDM 主導了約三分之二的先進封裝投資，並預計將持續引領重大的技術突破。同時，委外封測廠（OSAT）則積極佈局扇外型（fan-out）與 2.5D 封裝，以承接外溢的產能及中階設計的需求，確保後端生態系能跟上持續增長的需求。



# 彈性的異質整合帶來的效率優勢



公司 A

7 nm CPU

公司 A

7 nm CPU

公司 A

7 nm CPU

公司 A

7 nm CPU

High-speed Interconnect

公司 B

3 nm GPU

公司 C

22 nm RF

晶粒大小對良率的影響

● 微粒污染



16 顆晶粒中有  
8 顆功能正常

■

50%



4 顆晶粒中有  
1 顆功能正常

■

25%



1 顆晶粒中無  
功能正常晶粒

■

0%

更快的開發時程

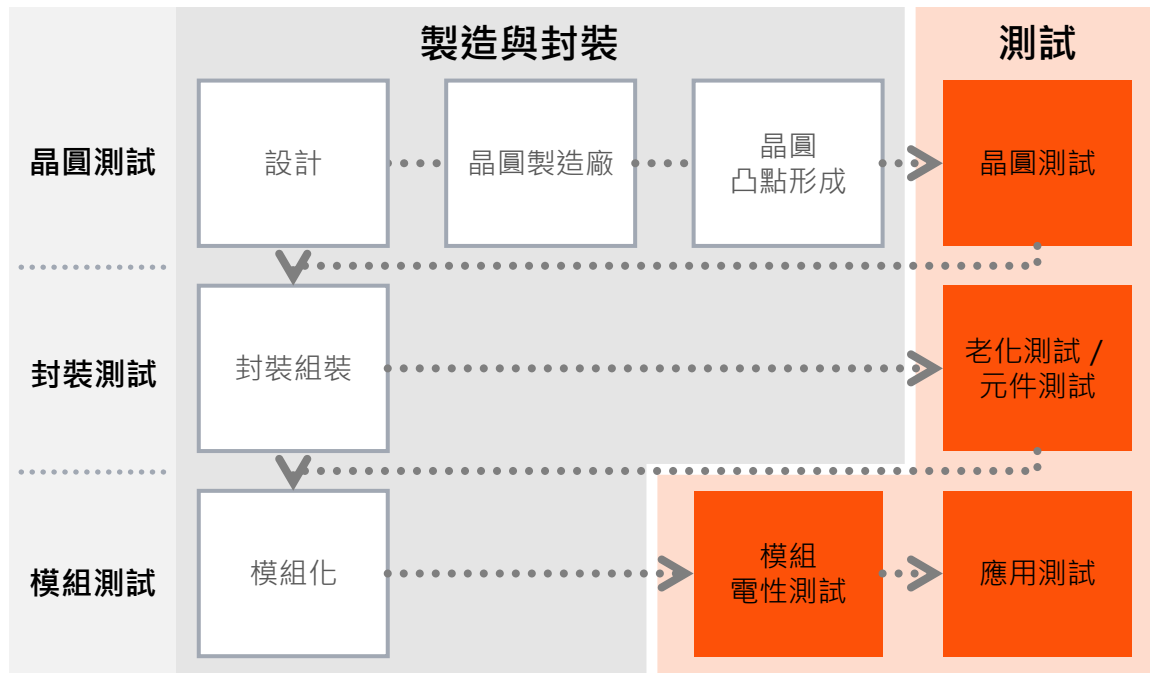
小晶片（Chiplet）讓晶片可以部分升級，無需重新設計整顆晶片。例如，當 CPU 晶粒可維持在 16 奈米製程時，AI 模組可以躍升至 5 奈米，大幅減少重新設計的投入，縮短產品上市時間。

策略性分工

企業可將核心矽智財（IP）保留在內部，並從外部採購其他小晶片。因此跨晶圓廠的製造整合、開放的互連標準，以及先進的封裝技術，都將隨著這個模式普及而變得越來越重要，也使得具備跨晶圓廠協作經驗的設計公司的價值日益凸顯。

PwC Semiconductor and beyond 2026

73



## 半導體測試概況

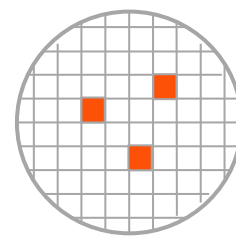
在半導體測試階段中，晶圓測試與良率優化的相關性最高。與後續進行的封裝測試不同，晶圓測試能在晶粒層級篩選缺陷，防止不良元件進入下一製程。在多晶粒封裝中，即使單顆晶粒有缺陷，也可能導致整個封裝無法使用，因此早期缺陷檢測至關重要。

隨著晶圓變得更薄，接觸式測試面臨限制，因此開始採用非接觸式光學檢測（如 OCT、紅外線）。此外，隨著製程節點縮小，探針卡（Probe Card）也隨之微型化，以確保精準的電性測試，進一步提升良率與效率。

## 晶圓測試是半導體良率的關鍵

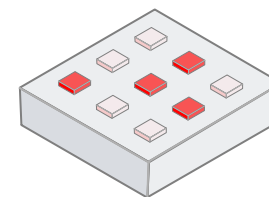
隨著產業從單片晶粒架構轉向異質整合及先進多晶粒封裝，包括 2.5D 與 3D 架構，晶圓級測試的重要性顯著提升。隨著高良率且微型化的晶粒成為常態，在組裝前評估每顆晶粒的品質對最大化良率至關重要。單顆缺陷晶粒可能影響整個封裝，因此嚴格的晶圓篩選對降低良率損失及確保功能完整性至關重要。在封裝測試方面，檢測範圍已超越傳統電性檢查。隨著堆疊技術的進步，熱耐久性測試、老化測試，以及如 X 光與 CT 掃描等高解析度非破壞性評估方法，越來越多地被用來偵測潛在缺陷並提升可靠性。

### 晶圓分選測試



晶圓預切割階段

### 已知良品晶粒測試



切割後的單顆晶粒

# 設備與材料

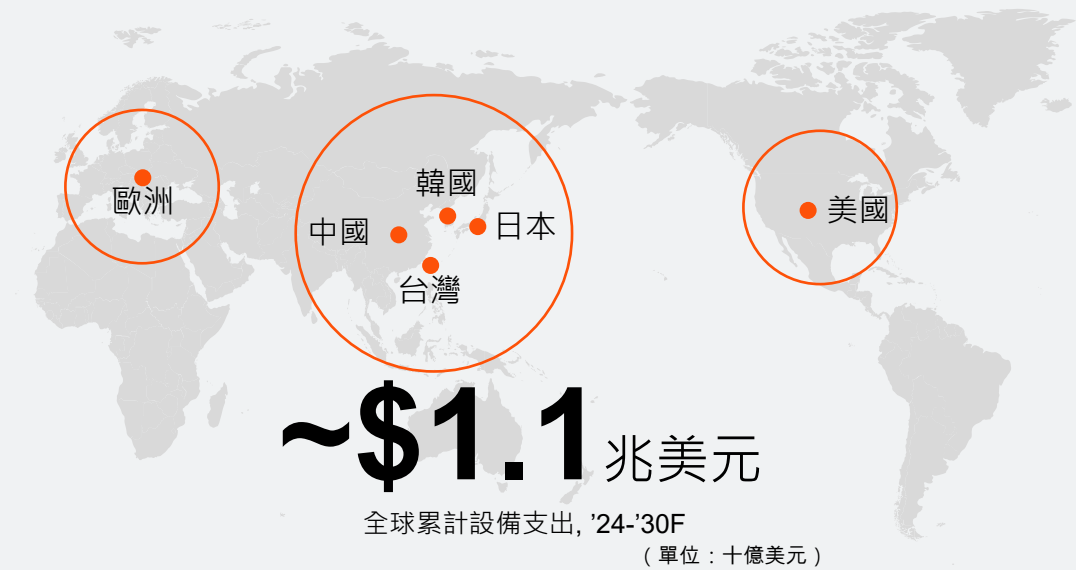
隨著製程技術的推進，前端晶圓廠及設備供應商遇到日益嚴峻的技術壁壘。EUV 微影技術是 7 奈米及以下節點的必要技術，高度仰賴極精密的雷射與光學元件。然而，由於 EUV 設備由單一公司供應，其供給持續受到限制。

在後端方面，應用於新世代 3D 封裝的混合鍵合（hybrid bonding）技術也面臨挑戰，目前僅有少數設備供應商能生產合格的晶圓級與晶粒級鍵合設備。但市場預期，新進業者的加入將能比前端的 EUV 瓶頸更快地緩解這個限制。

隨著資本密集度全面提升，能否取得專用設備與材料已成為擴充新晶圓產能的關鍵要件，加劇了製造商與設備商之間的全球競爭。



半導體設備累計支出



EMEA	6%	亞太地區	69%	北美	23%
歐洲	62	日本	96	美國	240
		韓國	211		
		中國	219		
		台灣	220		

其他地區：\$21 Billion ( 2% )

Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

亞洲持續引領全球半導體設備支出

至 2030 年，全球半導體設備支出預計將以 7.4% 的年均成長率增長，其中超過七成的投資集中於亞洲。亞洲的佔比曾在 2020 年代初期達約 80% 的高峰，但 2022 年美國《晶片法案》的推出增加了美國的資本支出，讓亞洲的佔比微幅下滑。即便如此，亞洲憑藉強健的製造生態系與效率優勢，仍持續主導市場。而西方地區設備投資佔比較低，部分是因其多專注於無晶圓廠營運模式，而亞洲則專精於半導體製造。

台灣與韓國主導了先進製程技術的投資，主要聚焦於 7 奈米以下的節點。三星電子（Samsung Electronics）與台積電（TSMC）是艾司摩爾（ASML）EUV 系統的主要客戶，這些設備具備生產此類先進製程所需的高度精密度與特徵微縮能力，是半導體製造不可或缺的關鍵。

未來，中國預計將佔亞洲半導體設備採購的主要份額，但大多鎖定在 28 奈米及其他成熟製程節點，因為來自美國、日本及荷蘭的出口管制，限制了中國取得具變革性的關鍵設備。作為應對，中國國內晶圓廠一方面提升針對汽車、物聯網等市場的大規模產能，同時也加速內部研發，以降低對外國設備的長期依賴。

# EUV 的需求與供應

EUV 微影技術最初是應用在先進製程邏輯晶片，現在已導入 1α 等級的 DRAM，並擴展至後續的記憶體製程節點。除了台灣與韓國的長期領導廠商外，更多需求預計將來自美國與中國的晶片製造商，加上日本的 Rapidus 計畫於本世紀後期投入 2 奈米生產，都將加劇對有限設備供應的競爭。

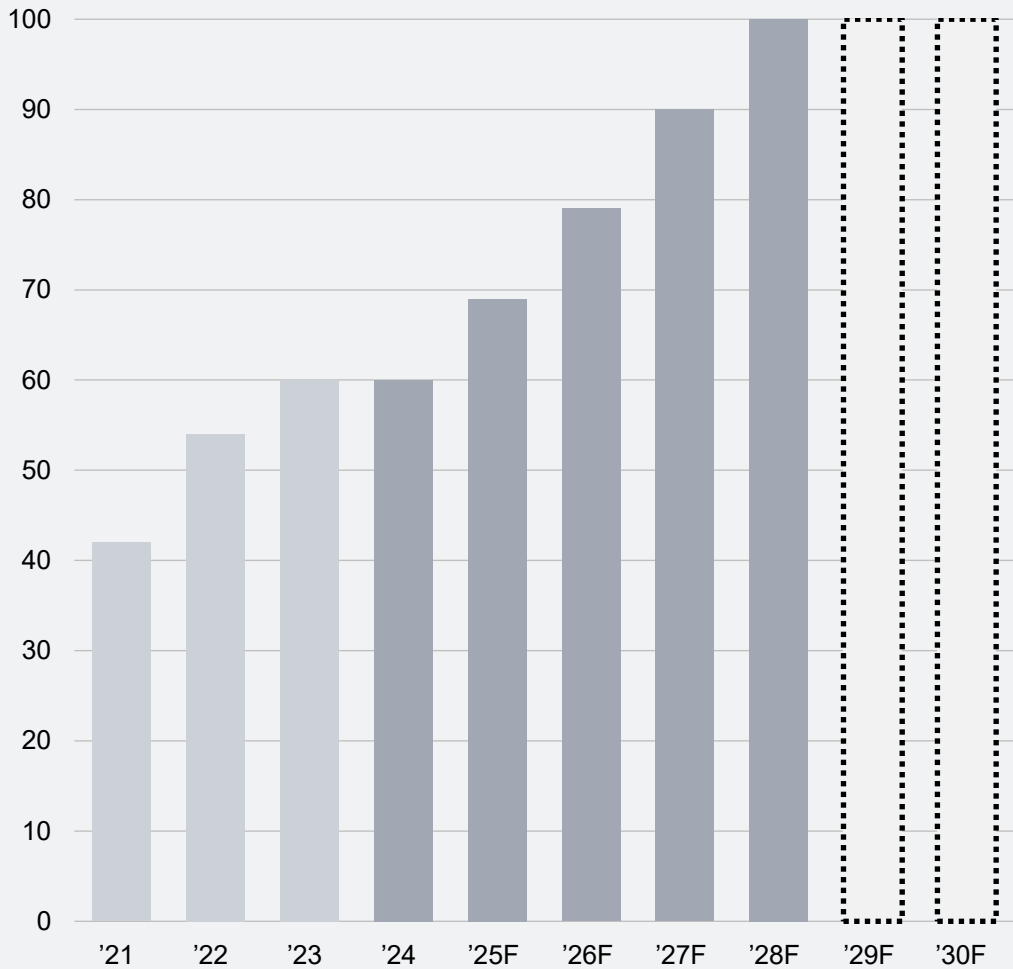
艾司摩爾（ASML）目前是唯一的商用 EUV 曝光機供應商，出貨給主要的晶圓代工廠與 IDM。EUV 技術在極端光學、真空環境與功率上的嚴苛要求，因此進入門檻極高。儘管市場上有一些替代方案，例如 Canon 正針對利基應用進行奈米壓印微影技術的實地測試，而中國的上海微電子（SMEE）則正在申請 EUV 相關專利，但在 2030 年前，要大規模取代 ASML 的可能性似乎不大。

即便 ASML 正在擴充產能，但產量仍非常受限—每台 EUV 曝光機需要約十二個月的時間來建造與驗證，且 ASML 已公布的至 2025 年的產出量，仍無法完全消化當前的積壓訂單。其中一個關鍵瓶頸在於卡爾蔡司 SMT（Carl Zeiss SMT）所生產的超精密反射鏡及其他光學元件的產量有限，而這些元件在曝光機的整個生命週期中都必須保持無污染狀態。

在新的供應商出現、或徹底不同的方法成熟之前，EUV 的供給預計將持續緊繃。因此，確保有足夠的設備將成為先進製程路線圖上的核心競爭要素。

## EUV 光學設備供應（最佳情況）

（單位：交付設備數量）



Source: ASML, PwC analysis



## 熱壓鍵合 TC bonding

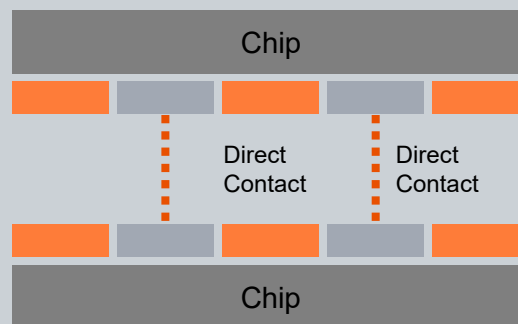
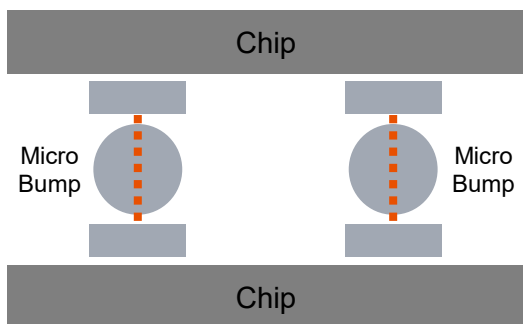
## 混合鍵合 Hybrid bonding

定義

晶片間的微凸點限制了堆疊過程中的高度縮減

將晶片間間隙降至最低；對高層堆疊至關重要

鍵合方法



主要挑戰

鍵合時的熱量會使微凸點熔化並擴散

設備成本是熱壓鍵合機的四倍

## 3D 晶片創新

在專用後端設備的需求增長的同時，混合鍵合（hybrid bonding）已成為多晶粒堆疊的主要關鍵。傳統的熱壓合（TC）方法需要依賴約 40 微米的微凸塊，不僅限制了 I/O 密度，更會隨著堆疊層數增加而提高電阻。相較之下，混合鍵合能在小於 10 微米的間距下，形成直接的銅對銅（Cu-to-Cu）接觸，實現更高的頻寬與更平坦的堆疊結構。

混合鍵合的技術極具挑戰性，需要無空洞的鍵合，極度潔淨、經電漿活化的表面，以及嚴格控制的粗糙度。目前在這方面，貝思半導體（Besi）在商業供應上處領先地位，已出貨超過一百台設備，並持續擴張產能。然而，隨著 HBM 與邏輯記憶體堆疊（logic-on-memory stacks）的產能爬升，設備的供給可能會趨於緊繃。

與前端製造設備不同，封裝設備的市場競爭逐漸加劇。EV Group 正出貨晶圓對晶圓（wafer-to-wafer）的混合鍵合設備，而 ASMPT、韓美半導體（Hannami）及其他業者則正在開發晶粒對晶圓（die-to-wafer）的系統，數家 IDM 也正積極發展自家的平台。與幾乎仍處於壟斷地位的 EUV 微影技術不同，混合鍵合更有可能在本世紀結束前出現多家合格的供應商，加速整個產業的 3D 整合進程。

# 更強韌的材料，更長的運行週期

隨著製程節點微縮與封裝日趨複雜，傳統的材料已接近物理與可靠度的極限。銅導線在 20 奈米以下會面臨電阻率上升的問題、傳統的二氧化矽（SiO<sub>2</sub>）介電質會擴大 RC 延遲，而高溫電漿製程則會侵蝕薄膜的均勻性。這些效應削弱了過去在新製程節點下幾乎是唾手可得的功耗-效能-面積（PPA）增益。

傳統的蝕刻與沉積化學製程也正逼近控制極限。製造環境需要薄膜承受更高溫的退火、更嚴苛的化學環境，並維持埃米（Å）等級以下的均勻度，不僅增加了變異性，也對良率構成威脅。

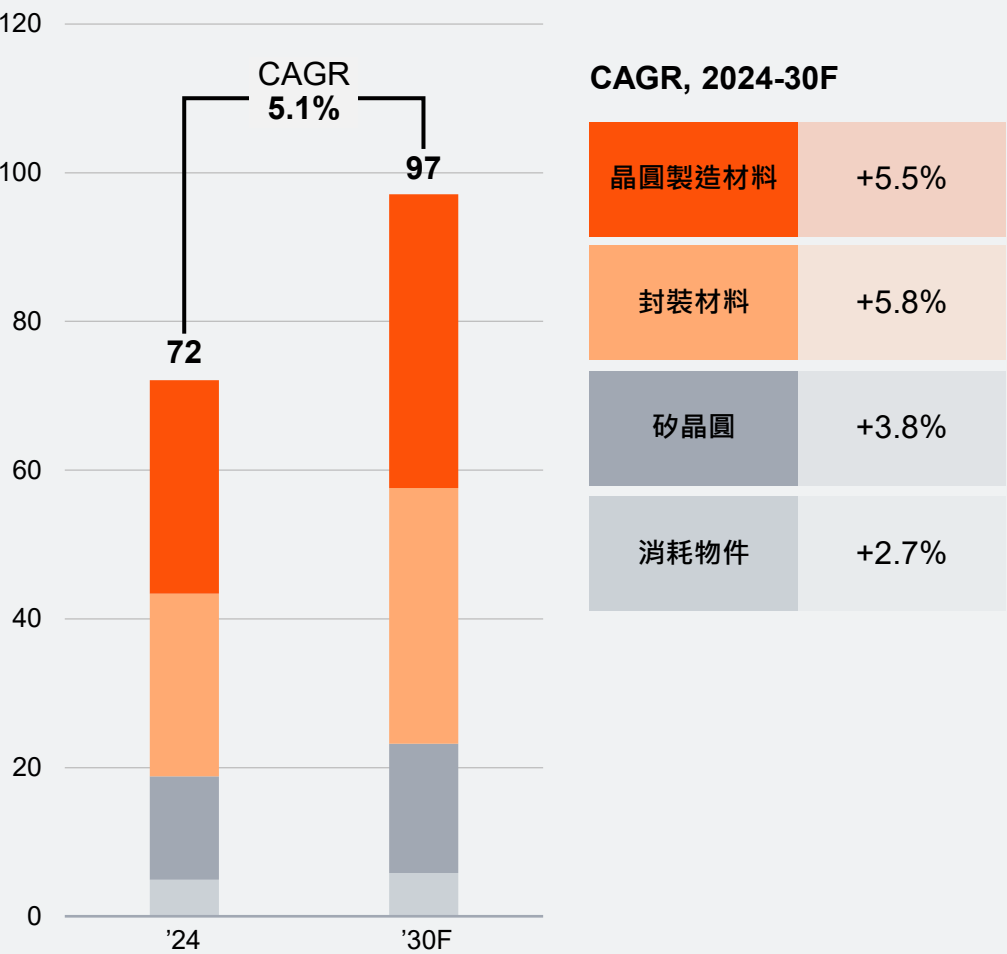
為突破這些障礙，產業正轉向全新的材料組合。鈷（Co）、鈦（Ru）與其他替代金屬具備更低的導線電阻與更強的電子遷移耐受度，可應用於新世代的互連技術。

矽鍺（SiGe）、應變鍺（strained Ge）與三五族化合物等高遷移率通道材料，正被評估用於 2 奈米以下的電晶體。同時，超低介電常數（ultra-low-k）介電質與特殊設計的空氣間隙（air gaps）則可大幅降低導線間的電容。在先進封裝領域，高導熱係數的底部填充膠（under-fills）與創新的重佈線層（RDL）合金，則改善了 3D 堆疊的散熱與可靠度。

展望未來，在延續摩爾定律等級的進程中，材料創新的關鍵性將可比擬微影技術或晶片設計。能掌握這些新化學技術的晶圓代工廠與供應商，將能為下一個世代的半導體效能與可製造性設定標竿。

## 半導體材料市場預測

（單位：十億美元）



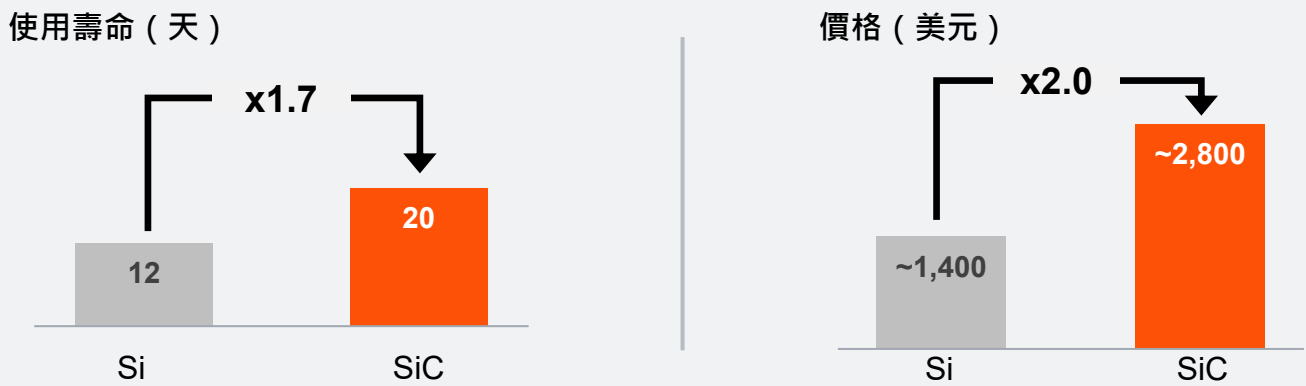
Source: Company announcements, Expert interview, PwC analysis

# 新材料，更優質的晶片

直接接觸電漿的元件，如聚焦環（focus rings）、反應室內襯（chamber liners）與靜電吸盤（electrostatic-chuck plates），長期以來都以矽為材料加工而成。然而，在現今更高的電漿密度下，這些元件會加速耗損並釋出微粒。因此，晶圓代工廠逐漸轉向採用碳化矽（SiC），因其更高的硬度與優異的抗電漿侵蝕能力，可將元件壽命延長數倍。領先的晶圓廠回報指出，由於 SiC 元件的更換頻率大幅降低，非預期的停機次數隨之減少，總成本也因而下降。

碳化硼（B<sub>4</sub>C）等硬度更高的候選材料也正被納入評估，然而儘管它們能展現更長的壽命，但其加工難度高、成本昂貴，且有潛在的微粒問題，這些都必須在廣泛導入前被解決。但這個趨勢已明確：從矽升級至先進的碳化物陶瓷，已是維持新世代蝕刻設備在峰值利用率下運行的關鍵。

## 替換聚焦環元件的影響



Source: Expert Interview, PwC analysis

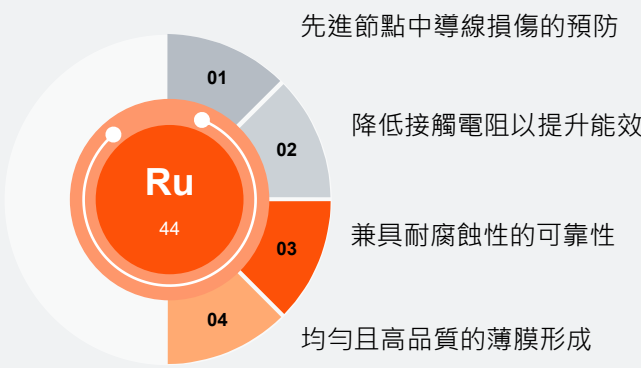
# 新世代的互連技術

在 7 奈米以下的製程，銅導線的物理限制日益顯著。不僅變薄、傳輸速度減慢，也更容易因電子遷移而提早失效。雖能額外的阻障層能防止銅擴散，但會進一步縮窄導線的有效寬度。

因此比起銅，使用鈦（Ru），或是在銅上鍍上一層薄的鈦，似乎是更加的解決方案。鈦幾乎不需要阻障層，在奈米級導線中有更佳的電流傳導能力，且擁有更強的耐耗損性。

因此隨著 5 奈米以下的晶片數量快速增長，鈦導線有望成為下一波高效能處理器的標準配備。

## 鈦合金的好處

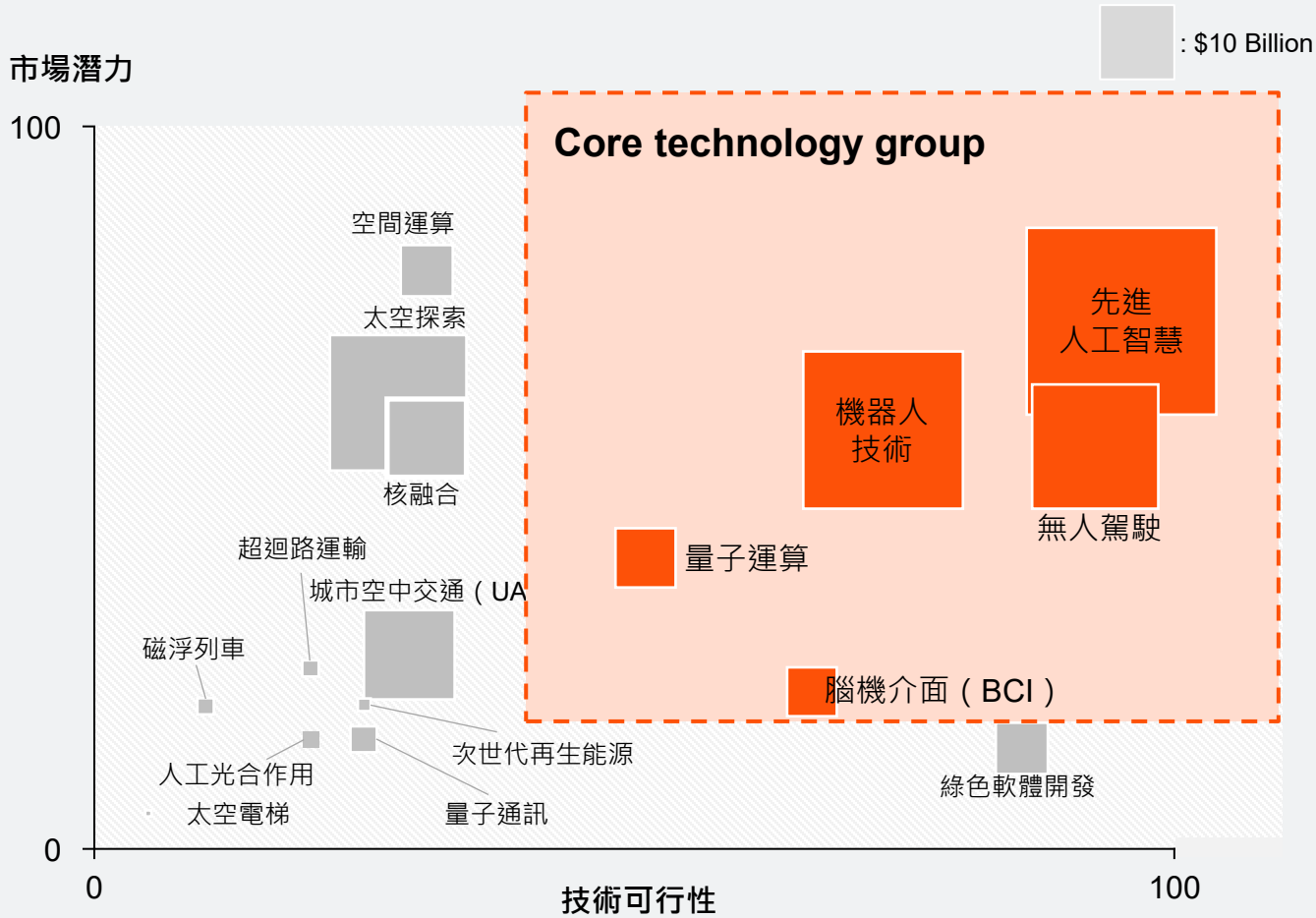


# 4

## What's Next?

半導體的機會：  
人工智慧與更多可能

# 2030年後的重大的科技創新



1) 分數是透過將每個元素轉換成相對指數 (0到100) 來計算的。  
Source: PwC analysis

預計在 2030 年後，半導體仍將是驅動科技創新的核心要角。本報告針對與半導體高度相關的技術，評估其成長潛力與可行性。此分析旨在協助半導體產業，為其在未來技術進程中扮演的關鍵角色預做準備。

## 分析方法<sup>1)</sup>

### 技術可行性評分 (X軸)

- 可行性成熟度 (預期商業化時間)
- 過去 5 年的新增投資額
- 主要國家相關領域的博士畢業人數

### 市場潛力評分 (Y軸)

- 2030 年的市場規模預測
- 2024-2030 市場的年均複合成長率

### 投資規模 (大小)

- 過去 5 年相關領域的交易總額



# 先進人工智慧

人工智慧的發展究竟會走到哪一步？  
邁向通用人工智慧的進程才正要展開，而半導體在其中的重要性也正逐步顯現。

## 市場潛力評分



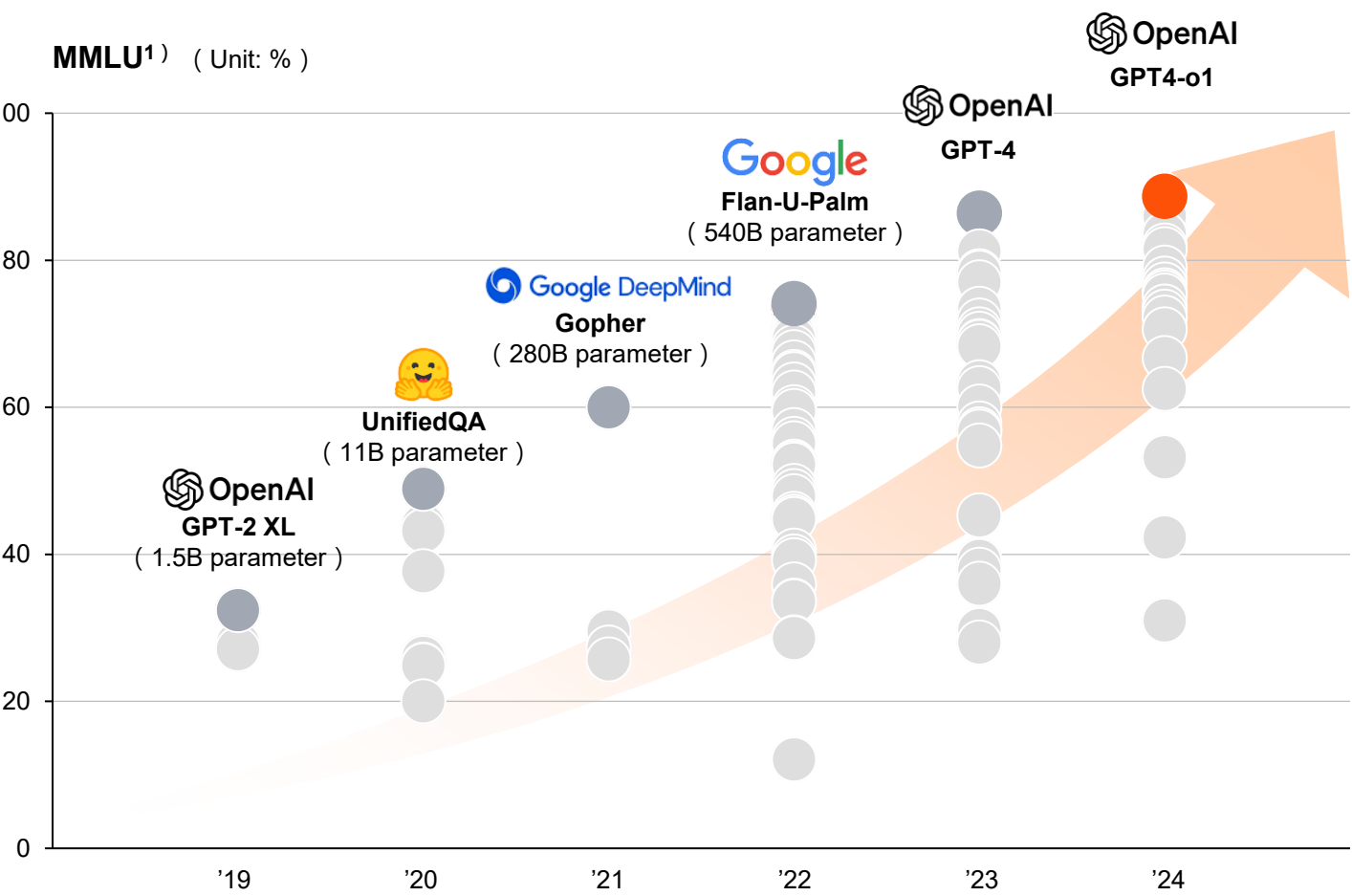
已展現出強勁的成長動能，並在各產業的應用中持續創造財務價值，且這股成長動能預期仍將延續。

## 可行性評分



終端應用需求的增長，驅動了技術投資的增加與專業人才庫的擴大。市場普遍預期，部分通用人工智慧（AGI）有望在 2 至 5 年內實現，而完整的 AGI 則預計需要超過 10 年的時間。

主要大型語言模型的效能基準



截至 2024 年，AI 在數個指標性評測上的表現已超越人類。例如，ImageNet 的影像分類準確率已經超越人類，並在特定的英語閱讀測驗中能取得更高分，且其能力還在持續快速的進步。長期以來，許多 AI 研究人員不斷的追求開發出能媲美或超越人類智慧水準的系統，因此近期的進展吸引了創紀錄的資金與人才投入 AI 領域。

當前，研究團隊在精進在特定領域具備深度專業知識的「特定領域大型語言模型」( DS-LLMs ) 的同時，也朝向「通用人工智慧」( AGI ) 的長遠目標邁進，達到更高的自主性來處理更廣泛的任務。在這個過程中，更強大的 AI 能力催生了新的應用，而這些應用進而吸引更多投資，形成一個正向循環，加速了朝向 DS-LLMs、並最終實現 AGI 的進程。

1) MMLU代表大規模多任務語言理解，常用作評估各人工智慧模型所掌握的一般知識的基準。此圖表基於已發表論文的数据。  
Source: PaperswithCode

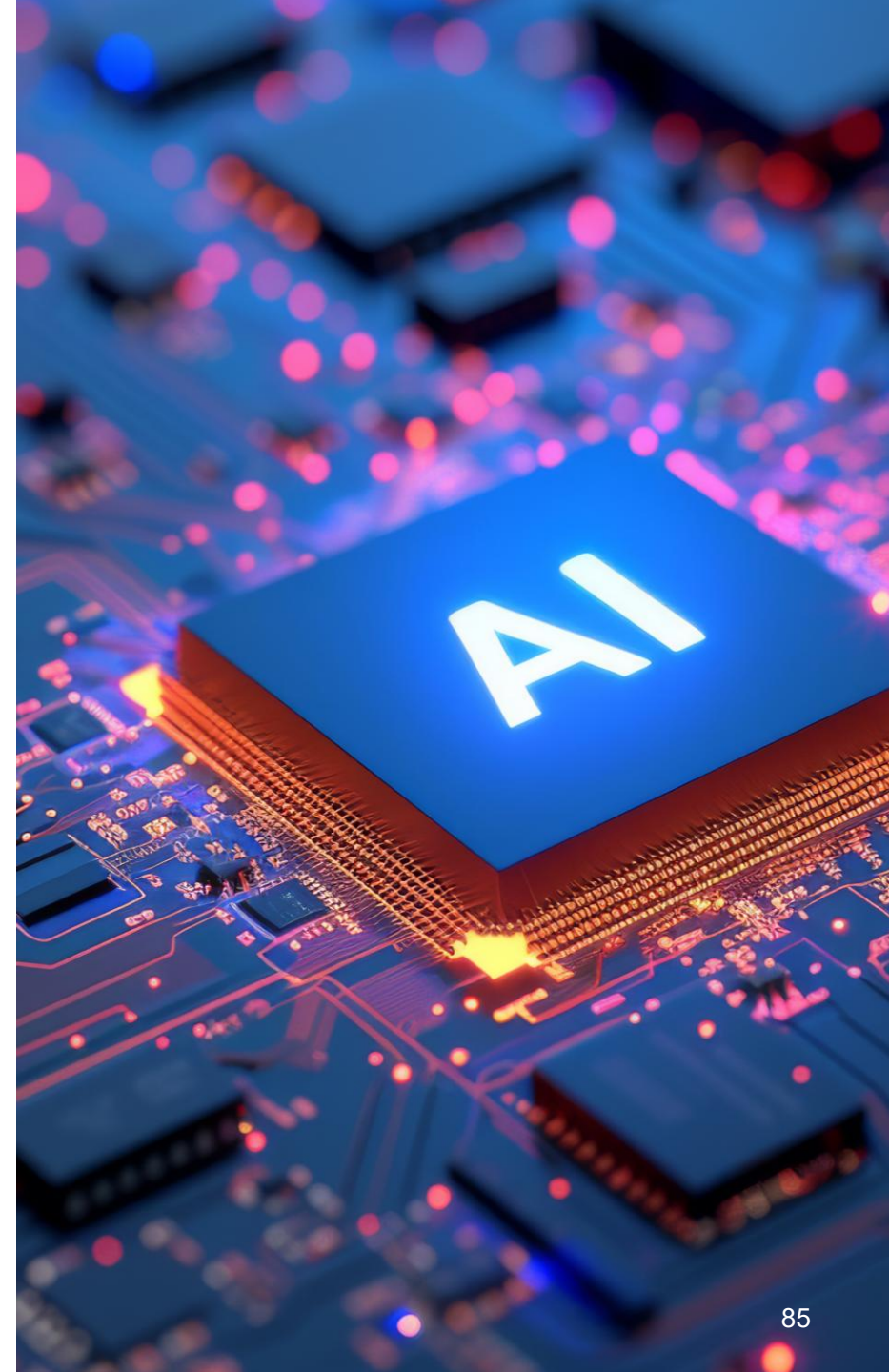
# 通用人工智慧將取決半導體技術

AI 發展的瓶頸不在於演算法，而是在於龐大且高品質的數據需求，以及處理這些數據所需的強大運算能力。如今AI 的價值已被廣泛證實，因此大量投資正在湧入這兩大領域來進一步發展AI。

追求通用人工智慧（AGI）的成敗，將取決於新世代的半導體技術。規模越大的模型，需要用更先進製程的晶片打造、並透過高密度 2.5D 或 3D 封裝進行連接的更快、更高效的邏輯晶粒。同時，高頻寬、低延遲的記憶體，對於移動與儲存訓練過程中所使用的龐大數據集，亦是至關重要。

研發方向也正逐漸轉向神經擬態（neuromorphic）與記憶體內運算（in-memory）等架構。特定領域的神經網路處理器（NPU）已廣泛應用於邊緣裝置，而記憶體內運算（PIM）的原型設計，則將運算單元置於 DRAM 陣列旁、甚至內部，來縮減數據移動的能耗與延遲。神經擬態硬體旨在模仿大腦結構，可能會需要全新的元件概念與先進封裝技術來達成，但這種硬體將能為每瓦及每立方公分的運算效率帶來突破性的提升。

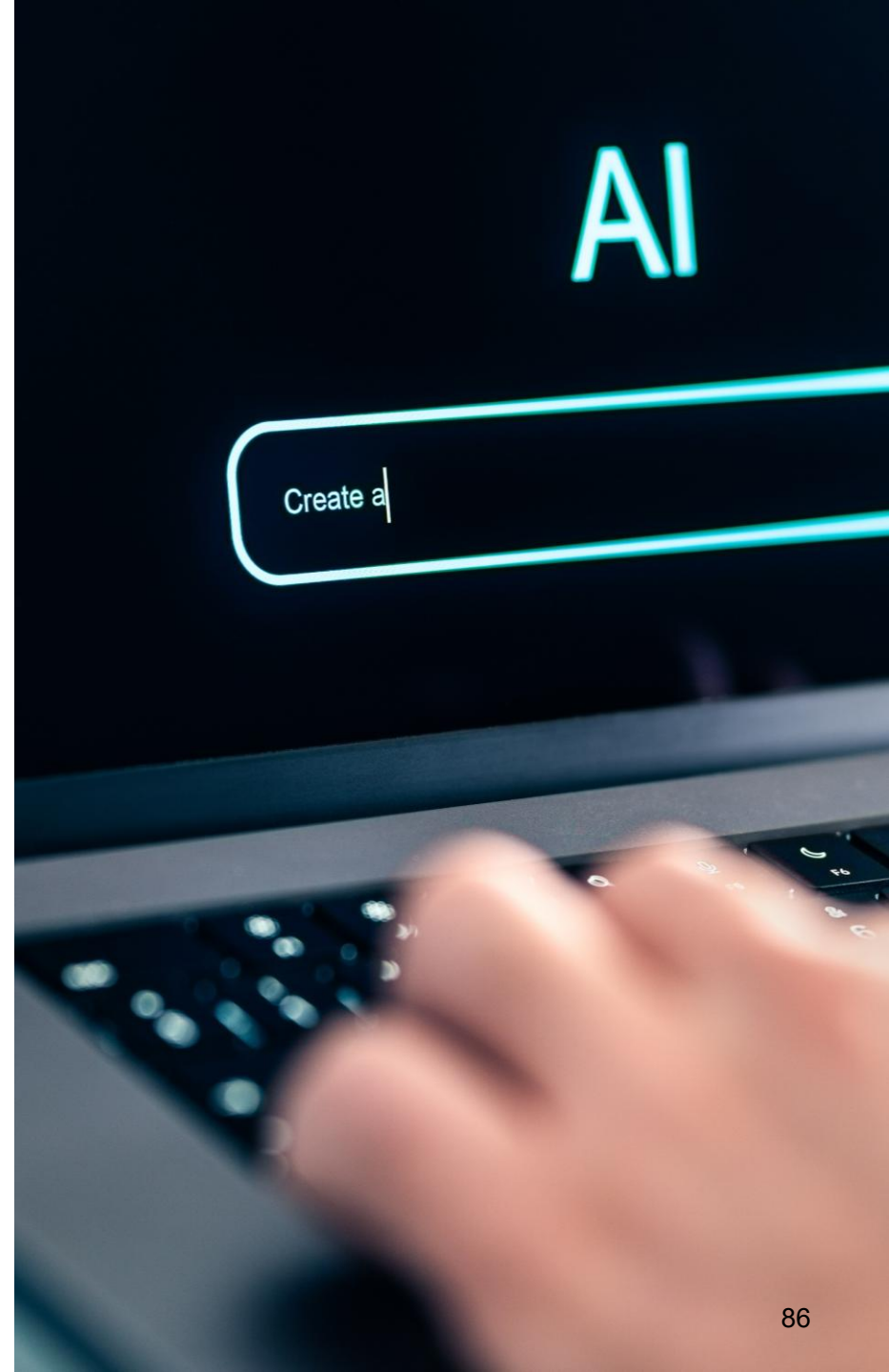
總體而言，這些半導體的進展，構成了從現今的專用型 AI 邁向未來更通用、更強大智慧的關鍵基石。





# 擘劃未來發展路徑

- 在客製化與標準化晶片之間做出抉擇：權衡客製化 AI 加速器與標準 GPU/CPU 之間的優劣，應納入考量的因素包含：模型大小、演算法複雜度、功耗限制，以及縮短產品上市時間的價值。
- 校準產品發展藍圖：AI 的需求橫跨眾多產業，因此應密切追蹤高效能晶片的技術突破與供應限制。選擇在新製程節點或新封裝技術能帶來明確競爭優勢時，再行導入。
- 建立具韌性的供應鏈：如神經網路處理器（NPU）或記憶體內運算（PIM）陣列等先進的低功耗元件，在進入量產前需要很長的交付週期。應及早確保產能，並培養深厚的合作夥伴關係，以緩解未來的供應短缺。
- 整合新世代設計：隨著產業朝向通用人工智慧（AGI）邁進，企業應隨時掌握新的設計流程、同步開發硬體與軟體，並與價值鏈上下游協作，以達成嚴格的能效與效能目標。



# 無人駕駛的未來

主要汽車與科技大廠正迎來未來十年最重要的轉型浪潮。



## 市場潛力評分



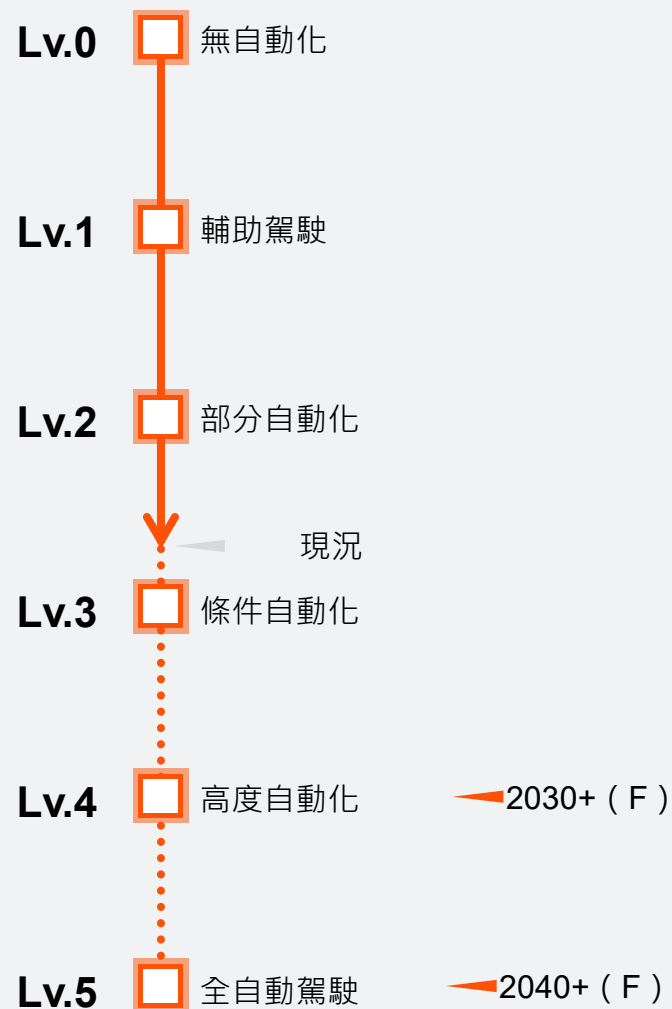
隨著 2030 年代更多新車搭載高階自動駕駛，對感測器、AI 處理器與功率元件的需求預計將持續攀升，這也讓半導體成為未來移動性（future mobility）的核心。

## 可行性評分



目前，Level 4 的試點車隊已在特定的地理圍欄區域內運行。然而，更大規模的導入將取決於安全數據、法規與成本等挑戰，因此市場預期大規模的普及仍需數年時間。





### 我們距離完全自動駕駛還有多遠？

- 自動駕駛等級分為 Level 0 至 Level 5。目前多數的量產車款仍處於 Level 2，在特定場景下能自動轉向與煞車，但仍需要人類駕駛介入。僅有少數試點車款能在特定高速公路上提供 Level 3 的放手駕駛功能。多家汽車製造商與科技公司正於地理圍欄區域內，測試 Level 4 的自動駕駛計程車（robo-taxis）；然而，Level 5（在任何地方行駛且無需人類備援）的實現仍遙不可及。

### 完全自動駕駛需要哪些技術？

- 車載系統：高效能運算系統單晶片（SoC）、多模態感測器套組（攝影機、雷達、光達）、穩健的軟體堆疊、精準的全球導航衛星系統（GNSS）與高精地圖（HD maps）。
- 基礎設施：低延遲的 5G/6G 網路、邊緣/雲端數據中心、路側的車聯網（V2X）設備，以及用於提供即時交通數據的智慧道路感測器。
- 法規與標準：安全認證、網路安全規範、共通的通訊協定，以及清晰的責任歸屬框架。

### 完全自動駕駛何時能商業化？

- 多數專家預期，有限的 Level 4 服務（如自動駕駛計程車或樞紐間的貨運）將在 2030 年前後於特定城市實現規模化。而能應對多數道路與天候狀況、且無需方向盤的 Level 5，其商業化時程預計將晚得多——可能要到 2040 年代或更久以後。
- 除了技術障礙，法律、倫理與社會等議題也將影響其發展時程，且進展速度將因地區、基礎設施完備度與公眾接受度而異。初期的導入，最可能率先出現在受控的高速公路或已進行高精度繪圖的都會核心區。



## 自動駕駛將如何重塑半導體產業版圖？

當完全自動駕駛商業化後，每輛車所需的半導體數量將大幅增加，進而擴大市場規模。目前市場上的傳統車輛，通常搭載約 200 至 300 顆半導體；相較之下，無需駕駛人介入的 Level 3 及以上自動駕駛車輛，其半導體需求量可望超過 1,000 顆。隨著技術朝向完全自動駕駛邁進，市場規模預計將迎來巨變。

目前，車用半導體主要應用於引擎控制、安全系統與資訊娛樂系統。然而，在自動駕駛車輛中，除了傳統應用，更需要高效能半導體以支援數據處理、AI 運算與即時網路連接。尤其，隨著自動駕駛能力的提升，以及通訊與 AI 功能的強化，對高效能運算晶片（如領域控制器（DCU）、感測器）及車聯網（V2X）通訊晶片的需求，預計將大幅增長。

隨著車載半導體數量增加，封裝技術亦將隨之升級，從單晶片解決方案逐步轉向小晶片（chiplet）架構。此外，車用半導體的價值鏈也將發生轉變。在 Level 0 至 Level 2 的階段，業界標準化晶片尚能滿足效能需求；然而，更高階的自動駕駛則需要針對各家車廠客製化的專用晶片。此趨勢將促使更多汽車原始設備製造商（OEM）投入自主設計與生產晶片。

# 擘劃未來發展路徑

- 完備軟硬體能力：隨著自動駕駛等級的提升，能統合感測器與運算硬體的軟體，其重要性已達關鍵任務等級（**mission-critical**）。原始設備製造商（**OEM**）、一級供應商（**Tier 1**）與晶片供應商必須建立穩固的聯盟，以確保系統級的相容性，並實現空中下載（**OTA**）的升級路徑。
- 確保內部生產能力：越來越多的汽車製造商正自主設計系統單晶片（**SoC**），應用於中央運算、數位座艙、先進駕駛輔助系統（**ADAS**），甚至光達訊號處理。每家 **OEM** 都需要制定明確的策略：是維持傳統供應鏈、採納垂直整合模式，或是選擇混合路徑——明確定義要將多少設計與製造環節納入公司內部。



# 人形機器人

由 AI 與自主技術驅動的機器人時代正悄然來臨，這將為半導體產業開啟另一個龐大的市場。



## 市場潛力評分



機器人市場規模龐大，其應用橫跨眾多產業。目前，針對複雜動作的研究正在進行中，而勞動力短缺所帶來的需求增長，更有望在持續的技術突破下，加速其發展。

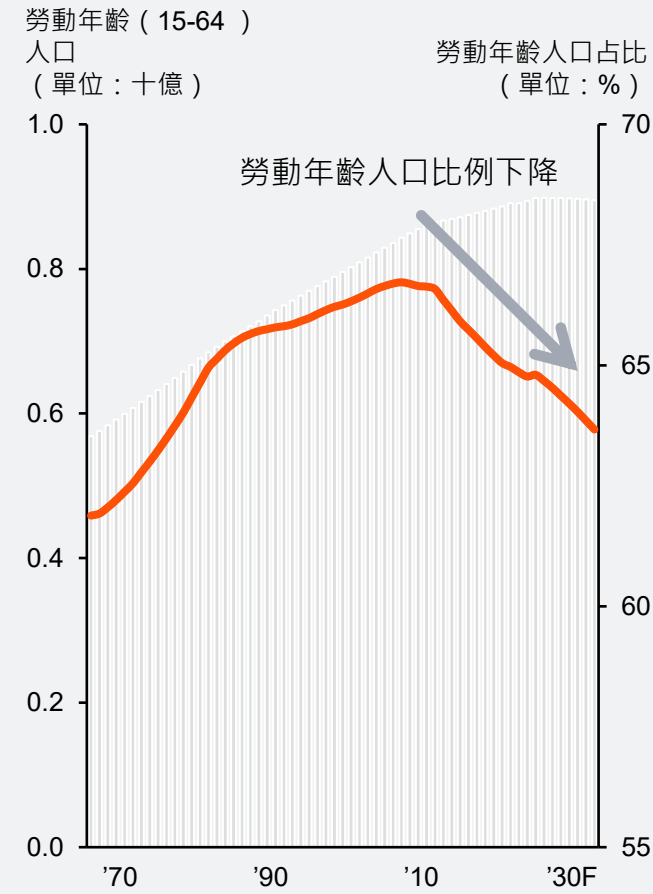
## 可行性評分



機器人市場規模龐大，其應用橫跨眾多產業。目前，針對複雜動作的研究正在進行中，而勞動力短缺所帶來的需求增長，更有望在持續的技術突破下，加速其發展。



# OECD 國家的勞動年齡人口



Source: Worldbank

## 機器人

約 **7,000 小時** 的工作  
( 350 天 × 每天 20 小時 )

隨著全球人口老化，勞動力短缺已成為一大挑戰，尤其是在已開發國家。在此背景下，持續創新的機器人技術，正被視為解決勞動力短缺與提升人類生產力的關鍵變革力量。簡單計算，機器人能以極低的停機時間全天候運作，其工作時數約可達人類的三倍。

那麼，哪種類型的機器人未來最具成長潛力？工業機器人已進入穩定成長階段，其市場版圖正持續擴大。而服務型機器人——如空氣清淨與餐廳送餐機器人——也正快速增長，預計將加速其在老年照護、安防、寵物護理等更多場景的應用。

Source: PwC analysis

## 人類勞工

約 **2,000 小時** 的工作  
( 250 天 × 每天 8 小時 )

一個值得關注的崛起領域，是整合了 AI 與自主技術的人形機器人。這些機器人已從簡單的手部動作，進化到能複製如籃球灌籃等複雜行為的水平。除了硬體創新，軟體也正與 AI 及 AGI 共同演進，使機器人員備即時自主學習的能力。在不久的將來，機器人可能會以多樣的形式滲透到企業與家庭中，徹底改變我們的生活方式。



# 半導體：驅動人形機器人的核心骨幹

機器人技術正快速演進，其進展的核心在於半導體，它賦予了感知、數據處理、決策與執行等關鍵功能。尤其，市場對處理器、感測器與微機電系統（MEMS）的需求，預計在未來幾年將大幅增長。

AI 處理器是機器人智慧的核心，負責決策與即時數據分析。這類半導體能賦予機器人自主處理數據並在無人干預下運作的能力。透過基於神經網路處理器（NPU）的邊緣運算，機器人甚至能在缺乏穩定網路連線的環境下獨立運作，實現無縫決策。

為了將機器人融入物理世界，感測器扮演了至關重要的角色。CMOS 影像感測器讓機器人得以「看見」並詮釋周遭環境；飛時測距（ToF）與光達（LiDAR）技術則能實現精準的 3D 環境測繪。此外，MEMS 感測器協助機器人偵測自身的運動與物理狀態，從而提升其準確性與效率。這些基於半導體技術的感測器，直接影響著機器人的效能與可靠度。不僅如此，5G 與新世代網路技術，能讓機器人進行更快速、更安全的通訊。最後，電源管理晶片（PMIC）與功率半導體則可提升機器人的穩定性，使其能高效控制電力，並為人類提供更長時間的支援。

簡言之，機器人的未來與半導體的進步密不可分。從作為「大腦」的處理器，到提供訊號的感測器，再到實現動作的致動器與微控制器（MCU），機器人的絕大部分功能都仰賴半導體的創新。引領此技術前沿的企業，正推動著機器人產業向前邁進，形塑一個機器人深度融入人類生活的未來。





## 擘劃未來發展路徑

- 生態系整合：為了提供 AI 功能與無縫的空中下載（OTA）更新，從研發階段就必須進行緊密的軟硬體整合。建立能實現跨平台相容性的策略聯盟，將是決定市場領導地位的關鍵。
- 將能耗納入考量：採用電池供電的機器人，其運算能力持續增強，但也隨之帶來散熱與電源管理的挑戰。對於難以頻繁充電的最後一哩路配送機器人、無人機與小型服務機器人而言，實現高能效與優異的散-熱效率至關重要。
- 專業人才的培育：市場對機器人專用系統單晶片（SoC）設計師的需求，已遠超過現有的人才供給。這類元件要求具備即時處理、嵌入式 AI 與多重感測器融合等專業知識，因此，吸引並培養具備此類技能的人才，對維持持續創新至關重要。

# 量子計算

量子運算將成為應對未來複雜挑戰的關鍵次世代技術。



## 市場潛力評分



儘管當前市場規模尚屬有限，但在商業化後，其成長率預計將極為可觀。此技術預計將對資安、金融等領域帶來重大影響，並在各國政府主導下，帶動需求的快速擴張。

## 可行性評分



隨著一款新的量子處理器預計於 2025 年初問世，市場預期此技術將有望在短期內實現商業化。

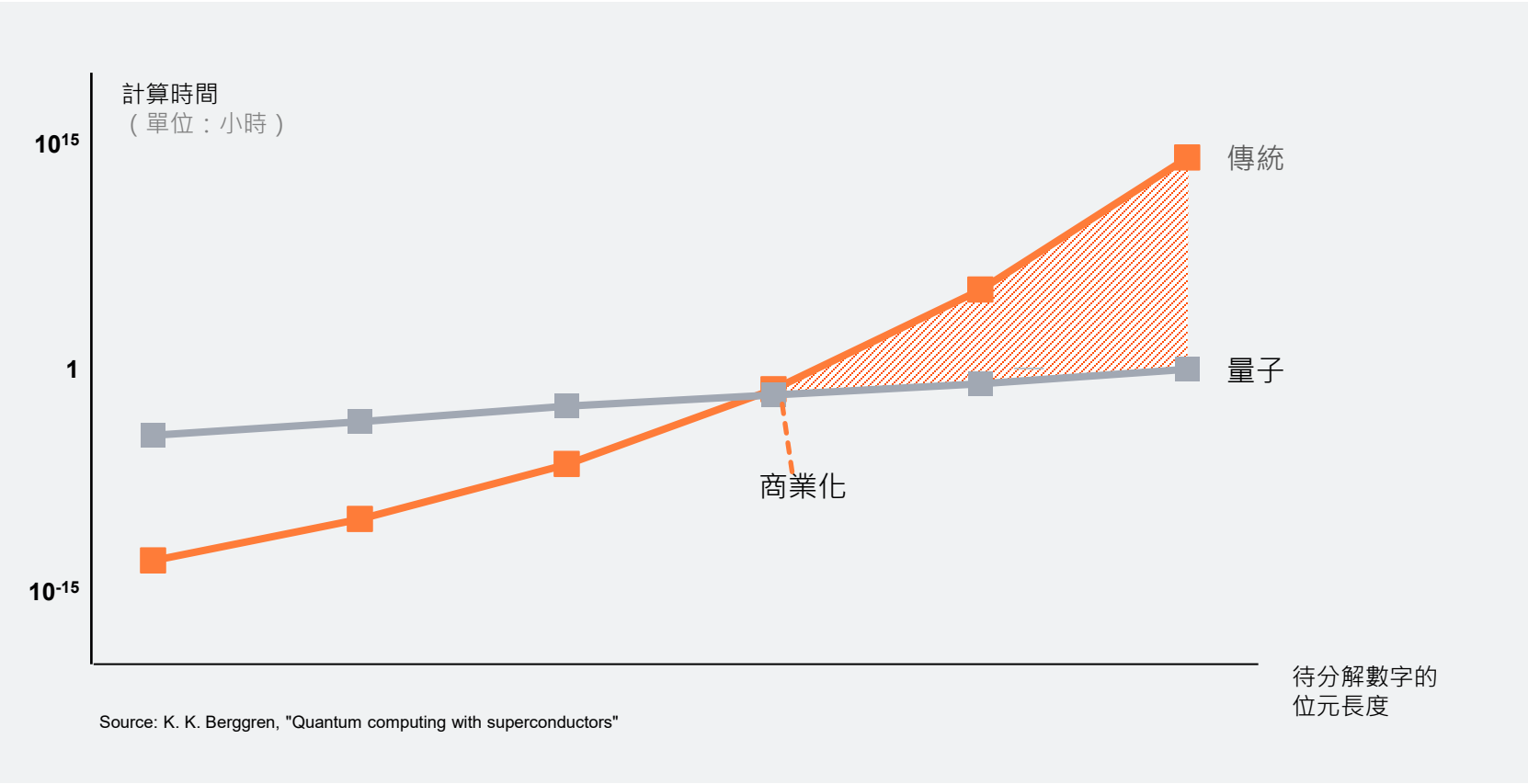
# 量子電腦的崛起

量子電腦利用量子力學的原理——「疊加」與「糾纏」——來同時探索多個運算路徑，使其能以遠超傳統機器的速度，解決特定問題，如大數因式分解、分子模擬或複雜的運算。

此外，量子電腦所使用的量子閘與演算法，特別是「秀爾演算法」(Shor's algorithm)與「格羅弗演算法」(Grover's algorithm)，因能大幅提升資訊處理速度，並有潛力使當前多數的加密系統失效而備受矚目。正因這些突破，量子運算被視為在量子化學、藥物開發、投資組合管理與材料科學等領域，將帶來顛覆性變革的關鍵技術。

鑑於其戰略價值，全球各國政府已將量子技術列為關鍵學科，並挹注相應的研發資金。從 IBM、Google 與 Microsoft 等科技巨頭，到 IonQ、Rigetti 與 Rive rlane 等專業新創公司，皆已宣布將從當前「含噪的中等規模量子」(NISQ) 處理器，逐步擴展至具備數百萬個錯誤校正量子位元的容錯機器。

儘管近期具備數百個物理量子位元的原型機顯示出穩定的進展，但要產生具意義的商業影響，仍取決於在量子位元同調性、錯誤校正與低溫控制等方面的進一步突破。即便如此，快速的研究步伐正持續推升市場的預期：實用級的量子運算，其到來之日或許將比過往預期的更早。





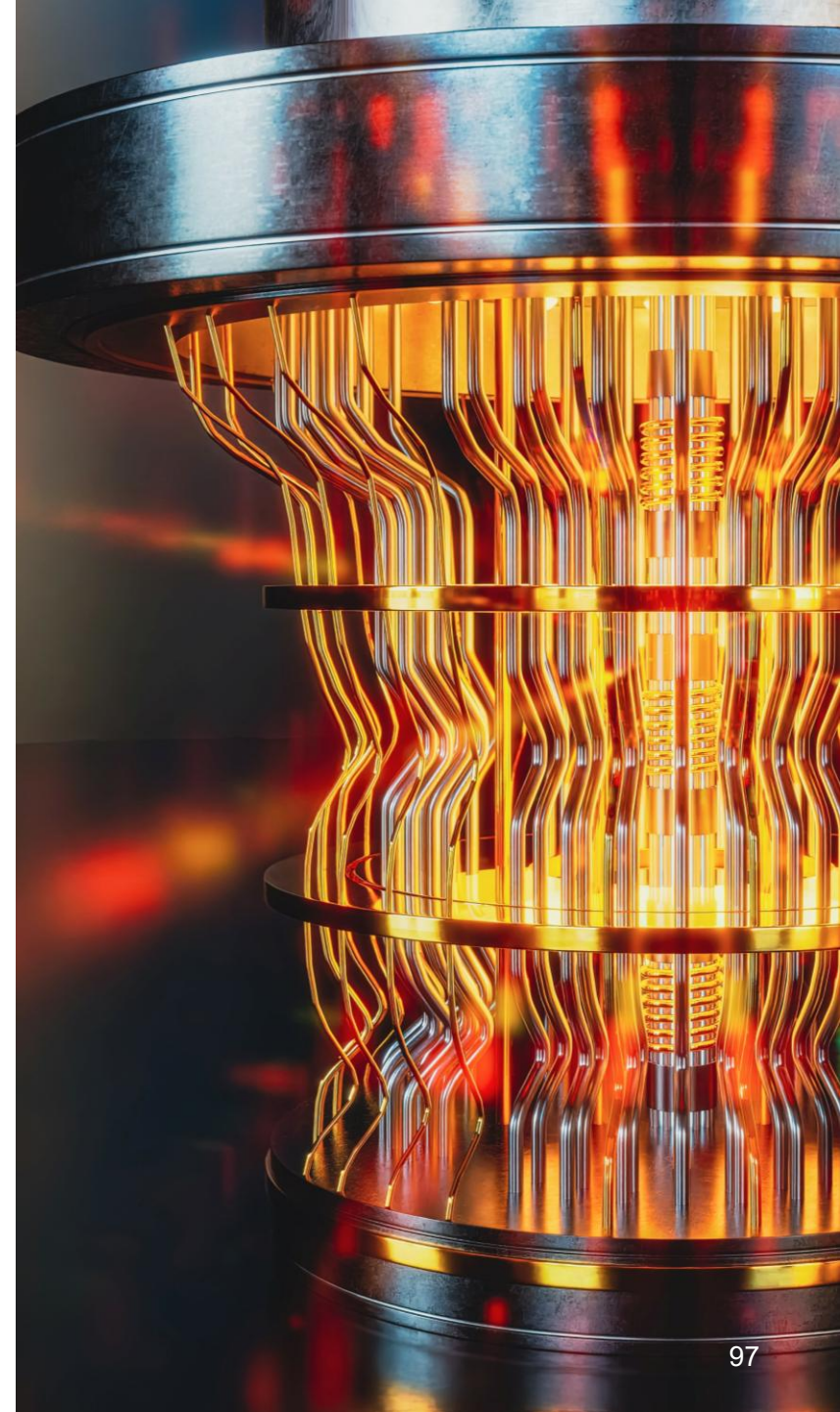
# 量子運算將取代矽晶半導體嗎？

量子電腦雖代表了嶄新的技術前沿，但在短期內，其運作仍高度依賴傳統的半導體晶片。儘管量子電腦具備高速運算能力，卻也存在其脆弱性。此脆弱性源於量子系統固有的疊加態：與傳統位元不同，量子位元即便在低度雜訊干擾下，也會迅速失去同調性（**decohere**）。因此，要有效發揮量子電腦的效能，開發能穩定量子位元、並透過「量子錯誤校正」（**QEC**）來即時修正錯誤的技術，便至關重要。

這些過程往往需要傳統超級電腦的輔助，從而催生了結合量子電腦與超級電腦的「混合式量子運算」（**hybrid quantum computing**）格局。在此背景下，市場對兩類半導體的需求日益增長：一類是能利用 **GPU** 的平行運算能力，執行複雜 **QEC** 演算法的晶片；另一類則是能提升量子電腦與超級電腦之間數據傳輸速度的晶片。

因此，當具備百萬級量子位元的量子電腦實現商業化時，不僅不會導致現有矽晶半導體市場的式微，反而將扮演其不可或缺的關鍵元件，形成互利共生的關係，共同擴大雙方的市場版圖。

這些技術可應用於多元領域，包含：解決物流與供應鏈管理的複雜問題、透過分子模擬加速藥物開發、藉由先進加密方法強化網路安全，以及優化 **AI** 與機器學習演算法等。尤其在短期內，現有的加密系統面臨被破解的風險，將對金融與資安產業構成潛在威脅。此一情境預計將促使各國政府主動投入相關技術的研發。







## 擘劃未來發展路徑

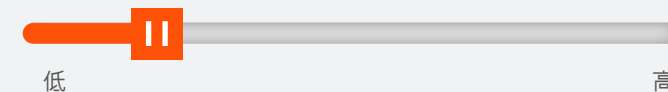
- 平衡量子與傳統運算資源：容錯量子系統仍將依賴高速的傳統處理器，以進行錯誤校正、排程，以及數據的前/後處理。晶片製造商應校準其發展藍圖，以提供能將量子模組與傳統高效能運算（HPC）叢集緊密整合的低延遲控制 ASIC、耐低溫介面，以及高頻寬連接技術。
- 量子電腦的兩大技術陣營：量子運算呈現兩條發展路徑，並影響著半導體策略的佈局。其一是「超導量子位元」，能利用現有的半導體製程，具備高度擴展性；另一是「離子阱」，具備相對較低的錯誤率，且能在室溫下運作。密切關注這兩大陣營的發展，將有助於半導體業者在此新興領域中找到自身定位。
- 與政府的協作：由於此技術橫跨物理、材料與先進製造等多個學科，因此，積極爭取國家級研發補助、稅收優惠，以及公私部門合作夥伴關係（PPP），將能在分攤風險的同時，加速量子相關半導體的開發進程。

# 腦機介面

腦機介面（BCI）技術，透過半導體解碼並轉譯大腦的電訊號，其應用正從神經系統的治療，逐步擴展至更廣泛的領域。



## 市場潛力評分



儘管初期目標市場規模尚屬有限，主要鎖定患者，但隨著技術跨越基礎研究並進入臨床試驗階段，市場預計將迎來快速增長。

## 可行性評分



受惠於感測器與運算效能的提升，非侵入式 BCI 已逐步實現商業化。同時，在越來越多整合醫療保健與 AI 專業知識的研究人員推動下，侵入式 BCI 亦預計在未來五到七年內實現商業化。

# 腦機介面（BCI）的運作原理

## 01 腦波感測



## 02 類比訊號 數位化



## 03 訊號處理與 裝置指令



人類大腦是人體最複雜的器官。當我們觀看、聆聽、感知與判斷時，大腦會產生稱為「腦波」的電活動。腦機介面（BCI）技術，即是致力於將這些腦波與電腦連結的創新。此技術旨在將禁錮於腦中的思維轉譯為外部輸出，反之，也讓外部訊號得以影響大腦，這對於癱瘓、感官障礙或神經系統疾病的患者而言，具備巨大的應用潛力。

儘管 BCI 常被誤解為超人類的科幻情節，但其研究始於 1970 年代，而如「深腦刺激」（DBS）等侵入式（植入式）技術，早已被用於治療癲癇。此方法在癲癇發作時，對特定大腦區域傳遞電脈衝。自 2000 年代末期以來，侵入式與非侵入式 BCI 裝置皆已透過臨床試驗取得進展。

當前，部分國家的侵入式 BCI 試驗已展開，並成功記錄下癱瘓患者恢復運動與溝通能力的案例。同時，為降低手術風險，如血管內植入等新方法也正逐漸興起。

非侵入式 BCI 儘管精準度較低，但其易用性更高，也正以自身的步調快速發展。基於「腦電圖」（EEG）的技術，已能讓使用者透過腦波控制義肢、追蹤壓力水平，甚至進行遊戲互動。其中部分裝置已取得美國食品藥物管理局（FDA）的認證，並已進入商業化階段。

儘管尚未成為主流，但 BCI 正快速演進，其應用正擴展至醫療保健、輔助科技與娛樂等領域。隨著持續的技術突破，一個透過意念與機器互動的未來，可能比以往任何時候都更為接近。



# BCI 的挑戰：先進、客製化與低功耗半導體

BCI 的概念，仰賴電極偵測大腦訊號，並透過電子電路實現大腦與外部裝置的通訊。由於腦波是極其龐大且複雜的數據輸入，處理這些數據需要先進的超低功耗 AI 加速器、類比數位轉換器（ADC）與放大器。此點在非侵入式 BCI 中尤為重要，因其訊號微弱，需要精準的放大處理。

對於侵入式 BCI，由於其需長期植入體內，因此縮小其尺寸、降低散熱與功耗便至關重要。採用生物相容性材料與封裝方式，對確保其在體內的安全與功能性亦不可或缺。因此，市場對專為 BCI 客製化的特殊應用積體電路（ASIC）需求，預期將會增加。

為了以低延遲處理數位化的腦波訊號，市場對包含 AI 加速器與數位訊號處理器（DSP）的系統單晶片（SoC）需求也將隨之增長。這類晶片負責詮釋數據，並將其轉化為意圖與行動，因此需要具備低延遲效能的先進晶片。此外，將腦波訊號傳輸至外部接收器，則需要如射頻積體電路（RFIC）或低功耗藍牙（BLE）等低功耗、短距離的通訊晶片。

最後，BCI 市場也將帶動執行腦波指令的終端裝置需求，例如遊戲掌機、顯示器與機器人義肢。這將驅動市場對網路晶片、GPU、AI 加速器，以及能同時處理圖形運算與訊號處理的 SoC 的需求。隨著 BCI 的應用從醫療擴展至健康照護與娛樂領域，對先進、客製化與低功耗半導體的市場需求，將隨時間持續增長。





## 擘劃未來發展路徑

- 將安全性列為優先要務：由於 BCI 處理的是高度敏感的神經數據，資安技術將成為關鍵的競爭優勢。晶片設計必須在初期階段即整合數據保護機制，定義關鍵的保護區域，並在 SoC 中內建加密功能，以防止未經授權的存取。
- 遵循監管法規：侵入式 BCI 因涉及直接植入人體，需要政府更為嚴格的安全驗證。這不僅涉及設計出符合 FDA 等法規的晶片，還需通過嚴格的安全驗證流程。企業必須隨時掌握法規動態，並評估其對晶片層級設計的影響，以確保成功進入市場。
- 提升軟硬體相容性：軟硬體之間的無縫整合，是 BCI 應用實現與下游裝置及使用者介面進行可靠互動的必要條件。企業應與生態系夥伴緊密合作，從晶片設計到系統實現的各個階段，全面提升互操作性（interoperability）。



# 參考資訊

1. PwC, "State of the semiconductor industry", 28 Nov 2024
2. Bloomberg intelligence, "EV Share of Total Vehicle Sales"
3. PwC, The monthly Autofacts® Market Update
4. Economic Review, "Power Semiconductor takes more than 50% of EV components, Korea has still long way to go", 23-Dec 2015
5. Trendforce, "[News] Global GaN Power Device Market Size Expected to Reach USD 4.376 Billion in 2030, CAGR of 49%", 16 Aug 2024
6. Yole Group, "SiC and GaN: an industry driven by different engines", 15 Dec 2022
7. IEA, Electricity 2024, Analysis and forecast to 2026, Jan 2024
8. IDC, "Worldwide Wi-fi Technology Forecast Update, 2024–2028", Mar 2024
9. Ericsson, "Ericsson Mobility Report", Nov 2024
10. Analog Devices, "GaN Power Solutions"
11. Statista, "Market: Household major appliances worldwide", 2019-2029
12. Statista, "Market: Consumer Service Robotics worldwide" & "Market: Gaming Equipment - VR Headsets worldwide", 2018-2029
13. Statista, "Market: Telephony - Smartphones worldwide", 2018-2029
14. Statista, "Market: Consumer Electronics - Computing worldwide", 2018-2029
15. Gartner, AI PC Unit Shipments, Worldwide, 2021-2027
16. Gartner, GenAI Smartphone Unit Shipments, Worldwide, 2021-2027
17. Statista, "Medical Devices - Worldwide", Aug 2024
18. Gartner, IoT Endpoints and Communications Forecast, 2Q23
19. IEA, "Renewables 2024, Analysis and forecasts to 2030", Oct 2024
20. Statista, "Renewable energy market size worldwide in 2021, with a forecast for 2022 to 2030", Dec 2022
21. KIET, The Impact and Implication of the Russia-Ukraine War on Global Defense Market, Mar 2023
22. Fry BT, Howard RA, Thumma JR, Norton EC, Dimick JB, Sheetz KH. Surgical Approach and Long-Term Recurrence After Ventral Hernia Repair. JAMA Surg. 2024;159 ( 9 ) :1019-1028. doi:10.1001/jamasurg.2024.1696
23. Infineon, "Wide Bandgap Semiconductors ( SiC/GaN ) "
24. NVIDIA, NVIDIA Data Center GPU Resource Center
25. IBS, Costs to produce a new chip, 2018
26. SEMIWIKI, Interface IP in 2022: 22% YoY growth still data-centric driven, Apr 2023
27. Synopsys, 2024 Annual Report, 2024
28. Cadence, 2024 Annual Report, 2024
29. SIEMENS, 2024 Annual Report, 2024
30. Gartner Forecast: Foundry Supply and Demand, Worldwide, 2005-2024
31. SEMI, World Fab Forecast, 2024
32. Omdia, PwC White paper on state of Semiconductor Industry
33. Gartner Forecast: DRAM Market Statistics, Supply and Demand, Worldwide, 2009-2028
34. Gartner Forecast: NAND Flash Supply and Demand Worldwide, 2009-2028
35. Yole Group, Power GaN: harnessing new horizons, Apr 2024
36. Yole Group, SiC and GaN: an industry driven by different engines, Dec 2022
37. Paul McWilliams, "Moore's Law is Dead - Long-live the Chiplet!", SemiWiki, 30 Sep 2022
38. Mark Lapedus, "Transistors Reach Tipping Point At 3nm", Semiconductor Engineering, 23 Feb 2022
39. Anton Shilov, "TSMC's wafer pricing now \$18,000 for a 3nm wafer, increased over 3X in 10 years: Analyst", Tom's Hardware, 5 Jan 2025
40. Liz Allan, "Asia Government Funding Surges", Semiconductor Engineering, 18 Nov 2024
41. Trendforce, "[News] Global Developments in Advanced Packaging Projects", 27 Nov 2024
42. Invest Korea, "Strategy for Nurturing High-tech Industries by Sector"
43. SK Hynix, "[Understanding Semiconductors Part 7] AI Era, Packaging Technology Moving to a New Dimension! Chiplets and 3D SoC ( 7/7 ) ", 29 Nov 2023
44. Gartner, IoT Endpoints and Communications Forecast, 2Q23
45. ASML, Annual Report 2022-2024
46. MarketScreener, "BE Semiconductor Industries N : Hybrid Bonding Presentation March 2022", Mar 2022
47. National Center for Science and Engineering Statistics, Survey of Earned Doctorates ( SED ) 2023, Sep 2024
48. PaperswithCode, "Multi-task Language Understanding on MMLU", Accessed 27 Feb 2025
49. Worldbank Databank, "Health Nutrition and Population Statistics: Population estimates and projections", 16 Dec 2024
50. K. K. Berggren, "Quantum computing with superconductors," in Proceedings of the IEEE, vol.92, no.10, pp. 1630-1638, Oct. 2004, doi: 10.1109/JPROC.2004.833672.
51. Kawala-Sterniuk, Aleksandra et al. "Summary of over Fifty Years with Brain-Computer Interfaces-A Review." Brain sciences vol. 11,1 43. 3 Jan. 2021, doi:10.3390/brainsci11010043

# 作者

## **PwC Global Semiconductor Leader**

### **Glenn Burm**

Partner,  
glenn.b.burm@pwc.com

## **Korea**

### **Yoo-Shin Chang**

Partner,  
Strategy& Korea  
yoo-shin.chang@pwc.com

### **Tommy Lee**

Partner,  
Strategy& Korea  
tommy.lee@pwc.com

### **Tae-Young Kim**

Partner,  
Strategy& Korea  
ty.kim@pwc.com

### **Seung-Wook Han**

Partner,  
Strategy& Korea  
seung-wook.han@pwc.com

## **EMEA**

### **Tanjeff Schadt**

Partner,  
Strategy& Germany  
t.schadt@pwc.com

### **Steven Pattheeuws**

Partner,  
PwC Netherlands  
steven.pattheeuws@pwc.com

## **India**

### **Mohammad Athar Saif**

Partner,  
PwC India  
mohammad.athar@pwc.com

## **United States**

### **Tom Archer**

Partner,  
PwC US  
thomas.archer@pwc.com

### **Arup Chatterji**

Partner,  
PwC US  
arup.Chatterji@pwc.com

### **Scott Almassy**

Partner,  
PwC US  
scott.d.almassy@pwc.com

## **Japan**

### **Kimihiko Uchimura**

Partner,  
PwC Japan  
kimihiko.uchimura@pwc.com

### **Koichi Banno**

Partner,  
PwC Japan  
koichi.banno@pwc.com

## **Taiwan**

### **Jacky Lu**

Partner,  
PwC Taiwan  
jacky.l.lu@pwc.com

# 台灣半導體團隊

**盧 志浩**  
管理顧問服務營運長暨資誠創新  
諮詢公司董事長, 臺北, PwC  
Taiwan

**李 典易**  
執業會計師, 新竹, PwC Taiwan

**周 容羽**  
普華國際財務顧問公司執行董事,  
臺北, PwC Taiwan

**劉 冠志**  
資誠創新諮詢公司董事, 臺北,  
PwC Taiwan

**白 淑蓓**  
執業會計師, 新竹, PwC Taiwan  
+886 3 5780205, x35394

**林 于翔**  
資誠智能風險管理諮詢公司董事,  
臺北, PwC Taiwan

**鄭 雯隆**  
資誠科技產業研究中心主任, 臺  
北, PwC Taiwan

**李 宜樺**  
執業會計師暨資誠永續發展服務  
公司董事長, 臺北, PwC Taiwan

**張 嘉宏**  
資誠永續發展服務公司執行董事,  
臺北, PwC Taiwan

## **PwC 全球半導體卓越中心 ( Semiconductor Center of Excellence )**

PwC 全球網絡中的半導體專業團隊，聚焦於南韓、德國、美國、日本、台灣等主要市場之半導體生態系的解決方案。該中心匯聚全球半導體產業專家，致力於協助客戶於高度競爭與快速變動的環境中，協助客戶制定具前瞻性的策略與營運模式。

了解詳情，請聯絡 **PwC Semiconductor CoE**

## **Disclaimer**

© 2025 PwC. All rights reserved. Photography © PwC and © Shutterstock. PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see [www.pwc.com/structure](http://www.pwc.com/structure) for further details. Mentions of Strategy& refer to the global team of practical strategists that is integrated within the PwC network of firms. For more about Strategy&, see [www.strategyand.pwc.com](http://www.strategyand.pwc.com). No reproduction is permitted in whole or part without written permission of PwC.

This content is for general purposes only and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors. While this content draws on sources we believe to be reliable, we cannot guarantee its accuracy or completeness, and the information may be subject to change. To the fullest extent permitted by law, PwC, its members, employees and agents do not accept or assume any liability, responsibility or duty of care for any consequences of you or anyone else acting, or refraining to act, in reliance on the information contained in this publication or for any decision based on it.