



國立臺灣大學管理學院碩士在職專班財務金融組

碩士論文

Executive MBA Program in Finance

College of Management

National Taiwan University

Master's Thesis

AI 浪潮下之半導體研發創新趨勢－以台積電為例
Semiconductor R&D Innovation in the AI Revolution
— The Case of TSMC

林子閔

Tzu-Hung Lin

指導教授：郭瑞祥 博士

廖咸興 博士

Advisor : Ruey-Shan Guo, Ph.D.

Hsien-Hsing Liao, Ph.D.

中華民國 114 年 3 月

March 2025

致謝

本論文的完成，是許多貴人支持與指導的成果，誠摯向他們表達最深的感謝。

首先，衷心感謝我的指導教授郭瑞祥 博士 和廖咸興 博士，在研究過程中提供專業的指導與寶貴的建議，讓我在半導體產業的技術創新與市場趨勢分析上有更深入的理解。郭教授嚴謹的學術態度與豐富的實務經驗，不僅讓我受益良多，也為本研究提供了堅實的基礎。

其次，要感謝我的家人，感謝你們一直以來的支持與包容，讓我能夠在繁忙的工作與學業之間取得平衡。無論是課業壓力或研究瓶頸，家人的陪伴與鼓勵始終是我前進的動力。

同時，也感謝 EMBA 的同學們，在這段學習旅程中，彼此交流產業經驗、共享學習心得，這些寶貴的討論與啟發，讓我在研究過程中獲得許多新視野與思考角度。我們在課堂內外的互相激勵，不僅提升了學術研究的深度，也讓這段求學時光充滿意義。

最後，感謝所有曾經給予我幫助的朋友與同仁，因為有你們的支持，這篇論文才能順利完成。希望這份研究能為半導體產業的發展帶來一點貢獻，也期許自己能在未來持續學習與成長。

謹此致謝！

林子閔 謹識
于臺大管理學院
民國 114 年 3 月

中文摘要



AI 的快速發展推動整個半導體產業的發展也帶來了變革，AI 晶片的製造需要使用到異質整合、SoC、SiP 封裝、Chiplet 先進技術，台積電作為全球晶圓代工領導者勢必會跟上這波趨勢，憑藉自身在先進製程技術的優勢，透過 SoIC 與 CoWoS 技術提升 AI 效能。

本研究以台積電為個案，運用第二曲線理論、波特鑽石理論、商業模式九宮格與 BCG 矩陣，探討其技術創新、市場策略與全球競爭力。

AI 不僅推動技術的提升，也改變傳統半導體供應鏈，台積電應持續強化先進製程技術，並積極佈局先進封裝與異質整合領域，然而面臨三星 (Samsung) 與英特爾 (Intel) 的競爭壓力，以及隨時改變的地緣政治，例如：美國、日本與歐洲推動半導體供應鏈自主化的政策，帶來了新的產業挑戰與不同的產業競爭格局。尤其在美國總統川普 2025 第二任期上台後，美國主張美國優先，對台積電影響甚鉅。根據研究分析，建議應積極發展全球產能佈局，持續技術創新保持競爭優勢，並強化與 AI 晶片設計公司的合作，確保台積電在 AI 時代的技術領導地位，持續引領全球半導體產業的發展。

關鍵字：半導體、第二曲線、波特鑽石理論、商業模式九宮格、BCG 矩陣、地緣政治

THESIS ABSTRACT
FINANCE ADMINISTRATION
COLLEGE OF MANAGEMENT
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY



NAME : Tzu-Hung Lin

MONTH/YEAR : March 2025

ADVISER : Ruey-Shan Guo, Ph.D., Hsien-Hsing Liao, Ph.D.

TITLE : Semiconductor R&D Innovation in the AI Revolution—The Case of TSMC

The rapid development of AI has driven the entire semiconductor industry forward while also bringing significant changes. The manufacturing of AI chips requires the use of advanced technologies such as heterogeneous integration, System on Chip (SoC), System in Package (SiP) packaging, and Chiplet technology. As the global leader in wafer foundry, TSMC is expected to keep up with this trend, leveraging its strengths in advanced process technology and enhancing AI performance through SoIC and CoWoS technologies.

This study examines TSMC as a case study, utilizing the Second Curve Theory, Porter's Diamond Model, Business Model Canvas, and the BCG Matrix to analyze its technological innovation, market strategies, and global competitiveness.

AI not only drives technological advancements but also reshapes the traditional semiconductor supply chain. TSMC must continue to strengthen its advanced process technology and actively invest in advanced packaging and heterogeneous integration. However, it faces competitive pressure from Samsung and Intel, as well as geopolitical shifts such as the U.S., Japan, and Europe promoting policies for semiconductor supply chain localization. These developments introduce new industrial challenges and reshape the competitive landscape.

Based on research analysis, it is recommended that TSMC actively expand its global production capacity, continuously innovate technologically to maintain its competitive edge, and strengthen collaborations with AI chip design companies. By doing so, TSMC can secure its technological leadership in the AI era and continue to drive the global semiconductor industry forward.

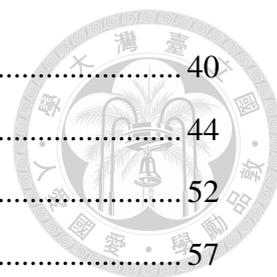
Keywords: Semiconductor, Second Curve, Porter's Diamond Model, Business Model Canvas, BCG Matrix, Geopolitics

目次



口試委員會審定書	I
致謝	II
中文摘要	III
THESIS ABSTRACT	IV
目次	V
表次	VII
圖次	VIII
第一章 緒論	1
1-1 研究背景與動機	1
1-2 研究目的	3
1-3 研究方法	6
第二章 文獻探討	8
2-1 企業成長與生態創新	8
2-2 商業模式建立	10
2-3 波特鑽石理論	12
2-4 AI 世代的經營策略	15
第三章 產業分析	17
3-1 全球半導體趨勢	18
3-2 人工智慧時代-AI 變革	19
3-3 AI 的發展前景	22
3-4 AI 與半導體產業上下游關係鏈	25
3-5 AI 技術分析與應用	26
第四章 個案介紹	27
4-1 全球代工趨勢	27
4-2 技術發展 Road Map	30
4-3 AI 產業趨勢	32
4-4 AI 晶片需求推進台積電奈米製程	35
4-5 台積電在高效能領域扮演的角色	37

4-6 AI 高速運算挑戰.....	40
4-7 製程封裝與散熱創新.....	44
4-8 台積電在 AI 世代的貢獻.....	52
第五章 研究結論與建議.....	57
5-1 研究結論.....	57
5-2 研究建議.....	59
參考文獻.....	63



表次



表 1-1 研究流程.....	7
表 2-1 第一曲線與第二曲線分析表.....	9
表 2-2 商業模式九宮格九大面向分析.....	11
表 2-3 四大核心要素分析表.....	13
表 2-4 兩個外部影響要素分析表.....	14
表 2-5 BCG 矩陣產品定義與企業對應策略.....	15
表 3-1 全球半導體未來動向.....	19
表 3-2 AI 在終端產品中發展概況.....	23
表 3-3 AI 時代前後發展，供應鏈對比.....	25
表 4-1 波特鑽石理論探討台積電在全球半導體產業的地位.....	28
表 4-2 台積電技術發展 Road Map 的第二曲線分析.....	31
表 4-3 台積電 AI 產品與技術的 BCG 矩陣分類.....	33
表 4-4 AI 晶片推動製程的商業模式九宮格分析.....	36
表 4-5 台積電在高效能運算領域的波特鑽石理論分析.....	38
表 4-6 AI 高速運算挑戰與技術對應.....	40
表 4-7 台積電的製程封裝與散熱創新商業模式九宮格.....	46
表 4-8 台積電 AI 產品與技術 BCG 矩陣.....	52

圖次



圖 2-1 第二曲線圖表	8
圖 2-2 商業模式九宮格	10
圖 2-3 波特鑽石理論	12
圖 2-4 BCG 矩陣	15
圖 3-1 封裝發展	17
圖 3-2 臺灣 IC 產業發展歷程與排名	18
圖 3-3 自駕發展等級說明	20
圖 3-4 AI 為封裝帶來的挑戰	21
圖 3-5 2022-2026 年全球半導體市場趨勢	22
圖 3-6 自動駕駛等級，雷達與攝影機使用分佈	24
圖 3-7 AI 算法演進示意圖	26
圖 4-1 Hybrid Bonding Technology	29
圖 4-2 封裝技術發展趨勢	30
圖 4-3 HPC 封裝技術發展藍圖	34
圖 4-4 散熱技術方案	45
圖 4-5 先進製程的變化	48
圖 5-1 摩爾定律的放緩與終止	60

第一章 緒論



1-1 研究背景與動機

研究背景

半導體技術自 20 世紀中葉以來，經歷了從晶體管到集成電路，再到現今的奈米級製程的巨大變革。這些技術進步不僅推動了計算機和電子產品的普及，也成為現代科技產業的基石。隨著摩爾定律（Gordon Moore, 1965）的推進，半導體製程技術不斷縮小，性能不斷提升，成本也逐漸降低。這些進步使得高性能計算設備得以廣泛應用，從而推動了各行各業的數字化轉型。

人工智慧的崛起：進入 21 世紀後，人工智慧（AI）技術迅速崛起，成為科技領域的焦點。從早期的專家系統到現今的深度學習和生成式 AI，AI 技術在計算能力、數據處理和算法優化方面取得了顯著進展。這些進步使得 AI 應用在圖像識別、自然語言處理、自動駕駛等領域取得了突破性成果。AI 技術的發展依賴於強大的計算能力，而這正是由先進的半導體技術所支撐的。

台積電的領導地位：台積電（TSMC）作為全球最大的半導體代工廠，憑藉其領先的製程技術和強大的研發能力，成為半導體行業的領導者。台積電的成功不僅在於其技術創新，還在於其開放創新平台（Open Innovation Platform），這一平台促進了與全球客戶和合作夥伴的緊密合作，共同推動技術進步。台積電的先進製程技術，如 5 奈米和 3 奈米製程，為 AI 芯片的設計和製造提供了強有力的支持，推動了 AI 技術的快速發展。



研究動機

AI 和半導體技術的結合有望帶來前所未有的科技進步。研究這一領域的創新趨勢，可以幫助我們更好地理解未來科技的發展方向，並為相關產業提供有價值的參考。隨著 AI 技術的不斷進步，對計算能力的需求也在不斷增加，這促使半導體技術必須不斷創新，以滿足市場需求。通過研究台積電在這一領域的創新策略和技術突破，我們可以更好地預測未來科技的發展趨勢，並為相關產業提供指導。

促進人類文明發展：半導體技術和 AI 的進步不僅僅是技術上的突破，更是對人類文明發展的巨大推動力。這些技術可以應用於醫療、教育、交通等各個領域，提升人們的生活質量，促進社會的可持續發展。例如，在醫療領域，AI 技術可以幫助醫生更準確地診斷疾病，提供個性化的治療方案；在教育領域，AI 技術可以根據學生的學習情況提供個性化的教學內容，提高學習效果；在交通領域，AI 技術可以優化交通流量，減少交通事故，提升出行效率。

台積電的領導地位：作為全球最大的半導體代工廠，台積電在技術創新和市場應用方面具有重要的影響力。研究台積電的創新策略和成功經驗，可以為其他企業提供寶貴的借鑒，推動整個產業的進步。台積電的成功不僅在於其技術領先，還在於其與客戶和合作夥伴的緊密合作。通過開放創新平台，台積電與全球領先的科技公司共同開發新技術，推動了整個半導體行業的進步。

研究內容

半導體技術的創新趨勢：研究半導體技術的創新趨勢，可以幫助我們了解未來技術的發展方向。隨著製程技術的不斷進步，半導體芯片的性能不斷提升，功耗不斷降低，這為 AI 技術的發展提供了強有力的支持。研究台積電在製程技術方面的創新，如 5 奈米和 3 奈米製程，可以幫助我們了解未來半導體技術的發展趨勢。



AI 技術的應用與挑戰：AI 技術的應用範圍廣泛，但也面臨著諸多挑戰。研究 AI 技術在不同領域的應用，可以幫助我們了解其優勢和不足，並為未來的技術發展提供指導。例如，在醫療領域，AI 技術可以幫助醫生更準確地診斷疾病，但也面臨著數據隱私和倫理問題；在教育領域，AI 技術可以提高學習效果，但也面臨著技術成本和應用普及的挑戰。

台積電的創新策略：台積電的成功離不開其創新策略。研究台積電的創新策略，可以幫助我們了解其成功的原因，並為其他企業提供借鑒。台積電通過開放創新平台，與全球領先的科技公司共同開發新技術，推動了整個半導體行業的進步。研究台積電的創新策略，可以幫助我們了解其在技術創新、市場應用和合作夥伴關係方面的成功經驗。

AI 和半導體技術的結合，為我們帶來了前所未有的科技進步和發展機遇。通過研究台積電在這一領域的創新趨勢和成功經驗，我們可以更好地理解未來科技的發展方向。

1-2 研究目的

研究目的

(一) 探索 AI 與半導體技術的融合

隨著人工智慧 (AI) 技術的迅猛發展，對計算能力的需求也在不斷增加。半導體技術作為 AI 技術的基礎支撐，兩者的融合成為當前科技發展的重要趨勢。本研究旨在探索 AI 技術與半導體技術的融合，分析其對技術創新和產業發展的影響。通過研究台積電在這一領域的創新實踐，我們可以更好地理解 AI 技術對半導體技術的需求，並探討未來技術發展的方向。



(二) 分析台積電的創新策略

台積電作為全球領先的半導體製造公司，其創新策略對於整個行業具有重要的借鑒意義。本研究將深入分析台積電的創新策略，包括其在製程技術、材料創新和設備開發方面的突破。通過研究台積電的成功經驗，我們可以總結出一套適用於其他企業的創新模式，推動整個半導體行業的進步。

(三) 評估 AI 技術對半導體產業的影響

AI 技術的發展對半導體產業產生了深遠的影響。本研究將評估 AI 技術在不同應用領域中的需求，分析其對半導體技術的挑戰和機遇。通過研究 AI 技術在醫療、交通、製造等領域的應用，我們可以了解其對半導體技術的具體需求，並探討如何通過技術創新來滿足這些需求。

(四) 探討未來技術發展趨勢

隨著摩爾定律逐漸逼近物理極限，半導體技術的未來發展面臨著諸多挑戰。本研究將探討未來半導體技術的發展趨勢，包括異質整合、3D 晶片技術和化合物半導體等新技术。通過分析這些技術的發展現狀和未來前景，我們可以為半導體產業的未來發展提供指導。

(五) 推動科技進步與社會發展

半導體技術和 AI 技術的結合，不僅推動了科技的進步，也對社會的發展產生了積極的影響。本研究旨在探討這些技術對社會發展的貢獻，分析其在提升生活質量、促進經濟發展和推動社會進步方面的作用。通過研究這些技術的應用案例，我們可以更好地理解其對社會的影響，並為未來的技術發展提供參考。



研究內容

(一) AI 與半導體技術的融合

AI 技術的發展依賴於強大的計算能力，而這正是由先進的半導體技術所支撐的。通過研究 AI 技術與半導體技術的融合，我們可以了解兩者之間的相互作用，並探討如何通過技術創新來提升 AI 技術的性能。例如，台積電的先進製程技術，如 5 奈米和 3 奈米製程，為 AI 芯片的設計和製造提供了強有力的支持，推動了 AI 技術的快速發展。

(二) 台積電的創新策略

台積電的成功離不開其創新策略。通過研究台積電的創新策略，我們可以了解其在技術創新、市場應用和合作夥伴關係方面的成功經驗。例如，台積電通過開放創新平台 (Open Innovation Platform®)，與全球領先的科技公司共同開發新技術，推動了整個半導體行業的進步²。此外，台積電在研發方面的巨大投入也是其成功的關鍵，每年將營收的一部分投入到研發中，以保持其技術領先地位。

(三) AI 技術對半導體產業的影響

AI 技術的發展對半導體產業產生了深遠的影響。通過研究 AI 技術在不同應用領域中的需求，我們可以了解其對半導體技術的具體需求，並探討如何通過技術創新來滿足這些需求。例如，在醫療領域，AI 技術可以幫助醫生更準確地診斷疾病，提供個性化的治療方案⁴；在交通領域，AI 技術可以優化交通信號控制，減少交通堵塞，提高道路安全。

(四) 未來技術發展趨勢

隨著摩爾定律逐漸逼近物理極限，半導體技術的未來發展面臨著諸多挑戰。通過研究異質整合、3D 晶片技術和化合物半導體等新技術，我們可以了解未來半導體技術的發展趨勢。例如：，異質整合技術允許將不同功能的晶片集成在一起，實現更高的性能和更低的功耗；3D 晶片技術通過垂直堆疊多層晶片，顯著提升了晶片的密度和性能。



(五) 科技進步與社會發展

半導體技術和 AI 技術的結合，不僅推動了科技的進步，也對社會的發展產生了積極的影響。通過研究這些技術的應用案例，我們可以了解其在提升生活質量、促進經濟發展和推動社會進步方面的作用。例如，在醫療領域，AI 技術可以幫助醫生更準確地診斷疾病，提供個性化的治療方案⁴；在教育領域，AI 技術可以根據學生的學習情況提供個性化的教學內容，提高學習效果。

本研究旨在通過探索 AI 技術與半導體技術的融合，分析台積電的創新策略，評估 AI 技術對半導體產業的影響，探討未來技術發展趨勢，並推動科技進步與社會發展。通過這些研究，我們可以更好地理解未來科技的發展方向，並為相關產業提供有價值的參考。

1-3 研究方法

本研究針對「AI 浪潮下之半導體研發創新趨勢，以台積電為例」，採用系統化的方法論，以確保研究的完整性與嚴謹性。透過文獻分析、產業分析與個案研究，結合第二曲線(The Second Curve)、商業模式九宮格(BMC)、波特鑽石理論(Porter's Diamond Model)、BCG 矩陣 (BCG Matrix) 進行綜合評估，並分析 AI 產業趨勢與台積電在 AI 浪潮下的技術創新與市場策略。

研究方法架構

本研究方法依五大章節進行架構化分析，涵蓋理論研究、產業現況分析、個案分析，最終提出研究結論與建議。



表 1-1 研究流程

研究章節	研究內容
第二章 文獻探討	了解第二曲線、商業模式九宮格、波特鑽石理論、BCG 矩陣， 奠定研究基礎
第三章 產業分析	(1) 全球半導體趨勢：了解產業競爭與市場變化 (2) AI 帶來的技術變革：探討 HPC、異質整合、CPO (3) AI 發展前景：分析 AI 晶片需求、應用場景 (4) AI 供應鏈變動：解析 AI 影響的供應商變化 (5) AI 技術分析與應用：探討 AI 實際應用
第四章 個案介紹	以台積電 (TSMC) 為個案，運用第二章理論進行分析 (1) 全球代工趨勢 (波特鑽石理論) (2) 技術發展 Road Map (第二曲線) (3) AI 產業趨勢 (BCG 矩陣) (4) AI 晶片推動台積電製程 (BMC) (5) 台積電的高效能角色 (波特鑽石理論) (6) AI 高速運算挑戰 (第二曲線) (7) 製程封裝與散熱創新 (BMC) (8) 台積電在 AI 世代的貢獻 (BCG 矩陣)
第五章 結論與建議	(1) 總結研究發現 (2) AI 產業趨勢影響評估 (3) 台積電策略建議

研究方法詳述

文獻探討，透過學術論文、產業報告，建立 第二曲線、BMC、波特鑽石理論、BCG 矩陣作為研究基礎。運用台積電作為研究對象，結合四大商業分析工具行深入探討。理論實際研究全球代工、製程發展、AI 晶片需求、台積電高效能運算技術等… …章節，實證運用第二曲線、BMC、波特鑽石理論、BCG 矩陣進行分析，綜合研究結果，提出 AI 浪潮下半導體發展策略建議。

本研究透過理論基礎 (第二曲線、BMC、波特鑽石理論、BCG) → 產業趨勢分析 → 個案分析 → 綜合研究結論，系統性探討 AI 時代下的半導體技術創新與市場變革。



第二章 文獻探討

本研究的文獻探討主要應用有，Charles Handy (1980) 提出的第二曲線；以及 Alexander Osterwalder (2010) 與他的資訊管理系教授 Yves Pigneur (2010) 共同設計的商業模式圖 (Business Model Canvas)；和美國哈佛商學院教授 Michael E. Porter (1990)，在其著作國家競爭優勢中提出的波特鑽石理論 (Diamond Model Analysis)；與 BCG 矩陣 (Boston Consulting Group Matrix) 由波士頓顧問公司的創辦人 Bruce D. Henderson (1970) 提出。

2-1 企業成長與生態創新

「第二曲線」(The Second Curve) (圖 2-1) 於 1980 年代由 Charles Handy (1980) 提出，不管是個人、企業或社會應在現有的優勢還在高峰時，運用動能再創新的發展路徑，確保能有下一個不同的高峰，而第一曲線與第二曲線分別有不同的特徵與利弊 (表 2-1)。

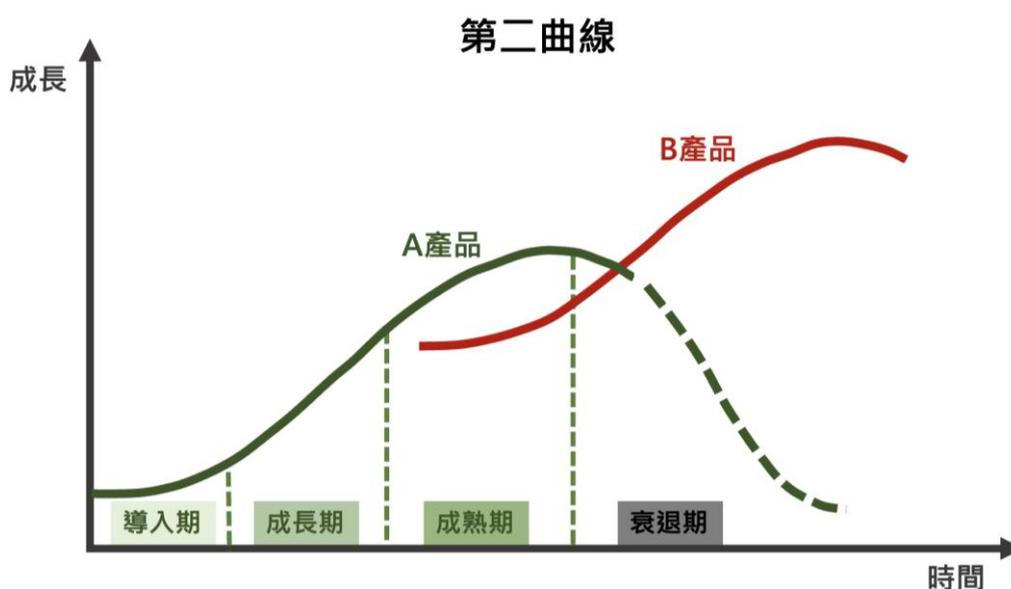


圖 2-1 第二曲線圖表

資料來源：參考商業思維學院-院長專欄/作者-游舒帆、本研究整理



表 2-1 第一曲線與第二曲線分析表

	第一曲線 (The First Curve)	第二曲線 (The Second Curve)
核心概念	依賴現有技術、商業模式、市場需求	發展新技術、新商業模式、開創新市場
成長模式	緩慢優化現有產品，市場已成熟	創新突破，開發全新價值
技術發展	多保持現有技術，少創新	顛覆式創新，創造全新解決方案
競爭環境	競爭激烈，市場趨於飽和	競爭較少，具先發優勢
市場接受度	高，市場有穩定需求	低，市場需教育與培養
風險	低，因為市場與技術已成熟	高，因為新技術或商業模式未經市場驗證
策略重點	提升產品效能、降低成本、擴大市佔率	研發新技術、探索新市場、建立新商業模式

資料來源：The Second Curve: Thoughts on Reinventing Society、本研究整理

第一曲線 (The First Curve)，代表企業目前主要的模式，例如：現有技術、商業模式或市場需求，而目前主要模式的產品曲線，依照典型的產品生命週期 (Raymond Vernon et al., 1966)，經歷導入期、成長期、成熟期、衰退期四個階段。

1. **導入期**：企業引進新技術或產品，產量規模小、成本高，市場對產品接受與認知度低。
2. **成長期**：企業擴大產能與產線，市場對產品的需求與接受度上升。
3. **成熟期**：市場趨於飽、競爭激烈，企業推出優化產品或是降低成本品項，以延續競爭力。
4. **衰退期**：企業競爭優勢下降，營收與市場份額縮小，逐漸被新模式取代。

第二曲線 (The Second Curve) (Charles Handy et al., 1980) 代表企業轉向新技術、新商業模式或新市場，第二曲線 (Charles Handy et al., 1980) 的關鍵點在於它應在第一曲線達到巔峰前啟動，以確保企業有足夠的動能，使第二曲線穩定地攀上下一高峰，創造新的成長階段，不使企業因第一曲線的老化而陷入僵局。

第二曲線 (Charles Handy et al., 1980) 的特徵：透過技術創新或商業模式轉型來進入新市場，在第二曲線中的創新不是像第一曲線中的微幅改動，而是採取破壞式



創新 (Clayton Christensen et al., 1997)，不是僅局限於優化現有產品，而是創造全新價值，但在初期企業需要承擔較高風險，因為需要投入大量研發資源，初期成長速度可能較慢，但若成功，可以換來長期的穩定成長，帶來更大的市場機會與技術突破。

在商業應用中，第二曲線 (Charles Handy et al., 1980) 有助於企業維持競爭優勢、降低市場風險、創造長期價值，而第一曲線 (Charles Handy et al., 1980) 會隨著市場變化而進入衰退期，若企業未能提前創新，將面臨淘汰的風險，透過第二曲線 (Charles Handy et al., 1980)，企業能及早開發新產品、新市場或新技術，確保順利轉型。

2-2 商業模式建立

建立商業模式九宮格 (Alexander Osterwalder & Yves Pigneur, 2010) (圖 2-2)，可以幫助企業透過九大構面分析其如何創造、傳遞與獲取價值，並視覺化其商業模式，使決策者能夠快速理解和調整企業策略。

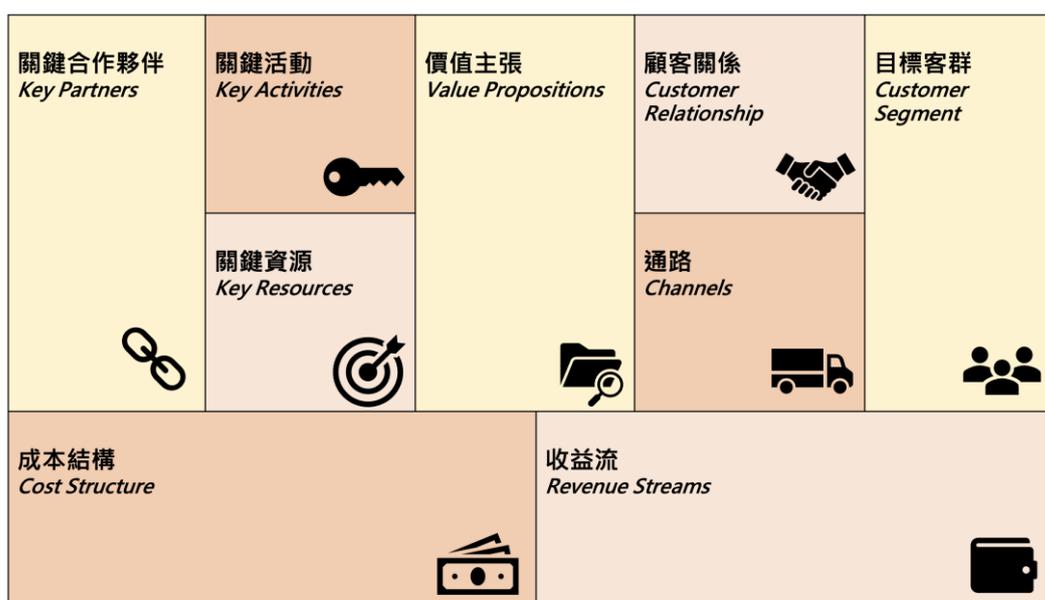


圖 2-2 商業模式九宮格

資料來源：Business Model Generation、本研究整理



商業模式九宮格的核心概念

商業模式九宮 (Osterwalder & Pigneur, 2010) 格涵蓋企業經營關鍵合作夥伴 (Key Partnerships)、關鍵活動 (Key Activities)、關鍵資源 (Key Resources)、價值主張 (Value Proposition)、顧客關係 (Customer Relationships)、通路 (Channels)、目標客群 (Customer Segments) 和成本結構 (Cost Structure) 以及收益流 (Revenue Streams) (表 2-2)，九大面向。

表 2-2 商業模式九宮格九大面向分析

構面名稱	定義說明	思考議題
1. 關鍵合作夥伴 (<i>Key Partnerships</i>)	企業與外部合作夥伴的關係	企業是否需要供應商、策略聯盟來增強競爭力？
2. 關鍵活動 (<i>Key Activities</i>)	企業運營的核心活動	企業需要進行哪些關鍵活動來實現價值主張？
3. 關鍵資源 (<i>Key Resources</i>)	企業運營所需的核心理資產	企業需要什麼資源 (人力、技術、品牌、專利) 來創造價值？
4. 價值主張 (<i>Value Proposition</i>)	企業提供的獨特價值，使其在市場上與競爭者區隔	我們的產品與服務解決了什麼問題？帶來什麼價值？
5. 顧客關係 (<i>Customer Relationships</i>)	企業如何與客戶互動，建立忠誠度	如何維持客戶關係？
6. 通路 (<i>Channels</i>)	企業如何將產品或服務傳遞給客戶	應如何觸及目標客戶？透過線上、實體店還是合作夥伴？
7. 目標客群 (<i>Customer Segments</i>)	企業的目標客戶群體，區分不同市場需求	誰是我們的核心客戶？市場是大眾市場還是利基市場？
8. 成本結構 (<i>Cost Structure</i>)	企業運營的主要成本	企業的主要成本項目是什麼？如何優化成本？
9. 收益流 (<i>Revenue Streams</i>)	企業如何從客戶獲取收入	我們的商業模式如何賺錢？

資料來源：Business Model Generation、本研究整理

商業模式九宮格 (Osterwalder & Pigneur, 2010) 用於了解商業中的九大要素，各自的面相與個別討論的企業議題，建立屬於自己的商業模式九宮格，不局限於文字分析，可以視覺化展開，不僅能了解企業在市場上的自身優勢與市場的差異化，也可以分析出內部財務風險，幫助企業更好的決策，並更精準決策適合自己的競爭策略。

2-3 波特鑽石理論

波特鑽石理論 (Porter., 1990) 的應用核心目標，是解釋為何某些國家與地區在特定產業中擁有競爭優勢，以及如何建立國際競爭力。

波特鑽石理論 (Porter., 1990) (圖 2-3)，由四個核心要素企業策略、結構與競爭，和生產要素條件，與相關及支持產業，以及需求條件；還有兩個外部影響，機會與政府，總計六個影響要素組成波特鑽石理論 (Michael E. Porter., 1990)，這些因素相互影響，形成一個動態的產業競爭模型。

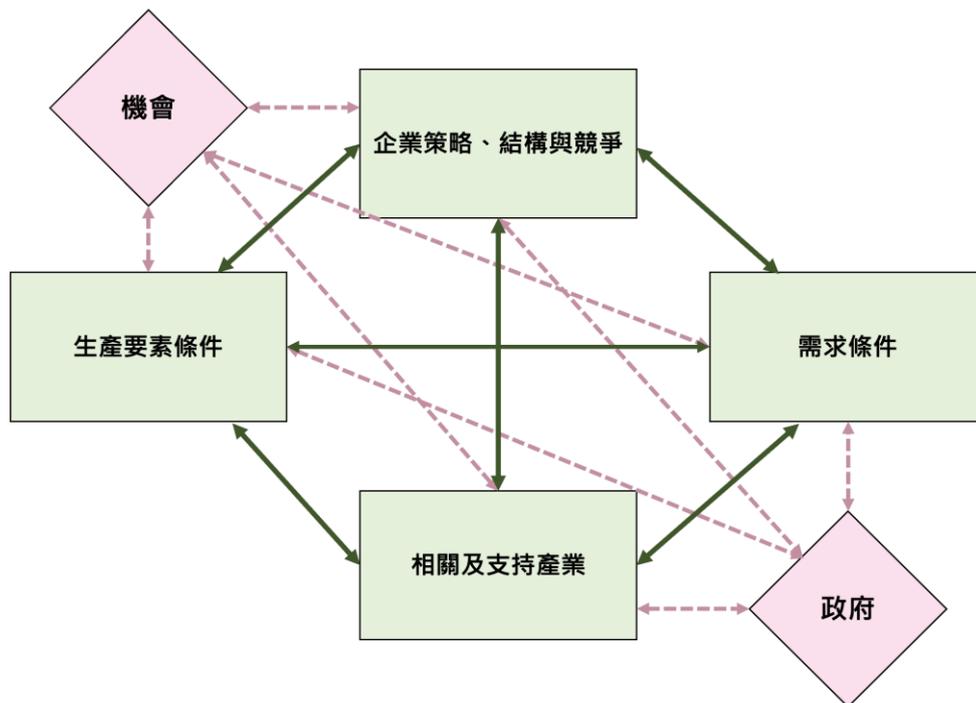


圖 2-3 波特鑽石理論

資料來源：The Competitive Advantage of Nations、本研究整理



波特鑽石理論四大要素

波特鑽石模型 (Porter., 1990) 的四大核心要素是影響國家競爭優勢的關鍵因素，它們之間相互作用，共同決定某一產業是否具有全球競爭力 (表 2-3)。

表 2-3 四大核心要素分析表

要素	定義	要素條件對市場的影響
生產要素條件	影響產業競爭力的關鍵資源與基礎設施，包括人才、技術、資本、基礎建設	具備豐富生產要素條件資源的國家，產業發展優勢較強
相關及支持產業	供應鏈、合作夥伴、技術生態系統的完整性	產業供應鏈完整，有助於降低成本與提升技術創新
需求條件	當地市場需求強度，高需求可推動產業創新與發展	內需市場強大，企業競爭力較強，需求高、品質要求高的市場能培養全球競爭力
企業策略、結構與競爭	企業的組織結構、經營策略與市場競爭狀況	強烈市場競爭能驅動技術創新與產業升級

資料來源：The Competitive Advantage of Nations、本研究整理

以下分析四大核心 (Porter., 1990) 個別代表不同的關鍵要素：

1. **生產要素條件**：指的是影響產業發展的關鍵資源與能力，例如：自然資源、人力資源、資本資源、基礎設施，擁有豐富穩定的生產要素，有助於提升產業競爭力。
2. **需求條件**：指當地市場對於某產品或服務的需求強度與特性，若市場對產品需求高，將促使企業不斷創新與提升競爭力，以滿足客戶需求。
3. **相關及支持產業**：產業供應鏈與技術生態系統會影響企業的競爭力，若擁有強大的供應商與合作夥伴，企業將能更快獲取技術支援、降低成本，並提升創新能力。
4. **企業策略、結構與競爭**：企業的經營策略、結構與市場競爭，會決定與影響企業的創新能力與國際競爭力。



波特鑽石理論兩個外部影響

除了四大核心要素 (Porter, 1990)，還有兩個外部影響 (Porter, 1990)，政府政策、機遇，也會影響國家產業的競爭優勢 (表 2-4)。

表 2-4 兩個外部影響要素分析表

外部影響因素	定義	要素條件對市場的影響
政府 (Government)	政府政策、法規、補助計畫對產業競爭力的影響	政府可透過補助、法規、關稅等措施影響產業發展
機遇 (Chance)	企業無法控制的突發事件，如技術突破、經濟危機、地緣政治變遷等	突發事件可能改變產業競爭優勢

資料來源：The Competitive Advantage of Nations、本研究整理

以下分析兩個外部影響 (Porter, 1990) 個別代表不同的關鍵要素：

- 1. 政府：**政府政策與法規會影響產業發展，例如：政府對於產業的支持與補助、市場上的貿易關稅政策，政府的決策也會牽動企業發展。
- 2. 機會：**企業無法控制的突發事件也會影響競爭優勢，例如：金融風暴、地緣政治，都會直接間接影響到企業。

波特鑽石理論應用影響

企業可利用波特鑽石理論 (Porter., 1990) 評估市場進入策略、供應鏈布局、政府政策影響，以確保全球競爭力，成功的企業與國家，必須透過技術創新、供應鏈整合、全球競爭戰略來持續優化競爭力，也可評估國家或產業在全球市場中的競爭優勢，同時可以評估有利的擴展地點、供應鏈布局與競爭策略，以確保全球競爭力。



2-4 AI 世代的經營策略

BCG 矩陣 (Henderson, 1970) (圖 2-4) 適用於企業評估市場成長與競爭力，幫助決策資源配置策略。



圖 2-4 BCG 矩陣

資料來源：參考經營戰略全史、本研究整理

企業可透過 BCG 矩陣 (Henderson., 1970)，幫助企業評估旗下產品或業務單位在市場上的表現 (表 2-5)，進而決定資源配置與發展策略。

表 2-5 BCG 矩陣產品定義與企業對應策略

類別	定義	市場特性	企業策略
問題產品	高市場成長率 + 低市場佔有率	未來不確定，成長潛力大，但競爭激烈	選擇性投資，若有潛力則轉變為明星產品，否則放棄
明星產品	高市場成長率 + 高市場佔有率	高成長、高投資回報，市場競爭激烈	積極投資，擴大市場佔有率，維持技術領先
金牛產品	低市場成長率 + 高市場佔有率	穩定且高獲利，市場成熟	穩定經營，保持收益，用於支持明星業務的發展
老狗產品	低市場成長率 + 低市場佔有率	低需求、低利潤，市場發展空間有限	淘汰或轉型，減少投資，轉向其他高潛力市場

資料來源：The Product Portfolio、本研究整理



BCG 矩陣的核心目標

幫助企業識別市場中不同產品的發展潛力，制定資源配置策略，決定哪些產品應該投資、持續經營或淘汰，有利於提升企業競爭力，確保資本與資源的最大化運用，資金流向具有高成長潛力的明星產品，同時維持金牛產品的穩定盈利，並審慎評估問題產品的投資回報，幫助企業決策產品投資與市場定位。



第三章 產業分析

近年來，半導體產業與人工智慧 (AI) 技術的快速發展相互推動，成為全球科技進步的核心動力，隨著摩爾定律逐漸趨緩，半導體技術朝向先進製程、異質整合、3D 堆疊與先進封裝發展 (圖 3-1)，用來滿足 AI 運算所需的高效能與低功耗需求，同時，生成式 AI、大規模深度學習模型的崛起，使技術不僅限於雲端計算，還深入物聯網與工業 4.0-智慧製造、自動駕駛等...領域，進一步驅動全球半導體市場的轉型。



圖 3-1 封裝發展

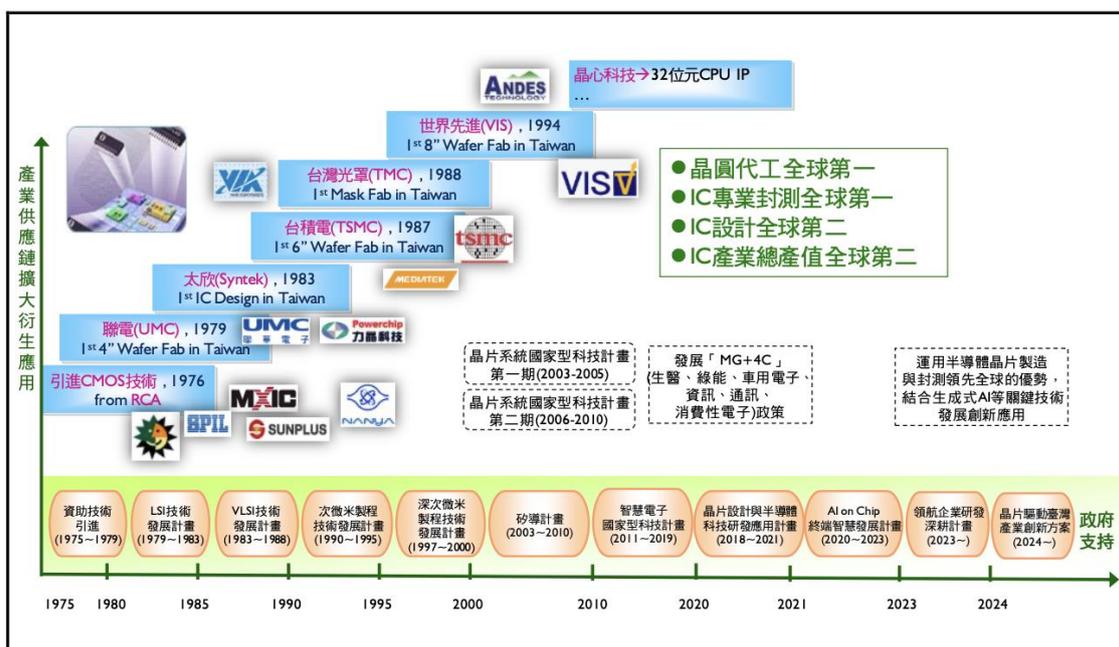
資料來源：本研究整理

AI 技術對半導體產業的影響不僅體現在硬體製程的升級，也促使產業鏈上下游重組，從晶片設計、製造、封裝測試到應用層面的整合。本章節將探討全球半導體產業的發展趨勢、AI 技術變革的影響、AI 晶片市場的未來發展前景，以及 AI 與半導體產業供應鏈之間的緊密關係。



3-1 全球半導體趨勢

全球半導體產業正經歷顯著的轉型，工業技術研究院-產業科技國際策略發展所-所長-林昭憲指出，目前全球半導體發展，從過去的專業分工轉向更強調韌性和區域化的發展模式。而作為晶圓代工及 IC 封測產業產全球第一，與 IC 設計全球第二的台灣（圖 3-2），在 IC 產業仍然穩定持續向上發展，並積極參與國際合作。



資料來源：工研院產科國際所(2024/05)

圖 3-2 臺灣 IC 產業發展歷程與排名

資料來源：工研院產科國際所（2024/5），收錄於 2024 半導體年鑑

全球半導體市場在 2023 年因終端市場需求疲軟、投資環境不明朗以及晶片供過於求等因素而衰退，其中記憶體產業衰退幅度尤為顯著；展望 2024 年，手機市場回溫、AIPC 議題發燒以及通膨壓力趨緩等因素，共同推動市場復甦與成長（表 3-1）。高效能運算、AI PC 及生成式 AI 手機等新興終端應用電子產品，也提供動能，持續驅動半導體市場規模向上，臺灣在全球先進、高階半導體生產中處於領導地位，臺灣製造與封測代工的產能合計超過全球 60%，掌握未來半導體發展命脈。



表 3-1 全球半導體未來動向

產業別	全球市場規模	促進或阻礙成長要因																		
半導體產業	<table border="1"> <caption>全球半導體市場規模與成長率數據</caption> <thead> <tr> <th>年份</th> <th>市場規模 (百億美元)</th> <th>成長率 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2022</td> <td>574,084</td> <td>3.3%</td> </tr> <tr> <td>2023</td> <td>526,885</td> <td>-8.2%</td> </tr> <tr> <td>2024(e)</td> <td>595,907</td> <td>13.1%</td> </tr> <tr> <td>2025(f)</td> <td>663,245</td> <td>11.3%</td> </tr> <tr> <td>2026(f)</td> <td>714,315</td> <td>7.7%</td> </tr> </tbody> </table>	年份	市場規模 (百億美元)	成長率 (%)	2022	574,084	3.3%	2023	526,885	-8.2%	2024(e)	595,907	13.1%	2025(f)	663,245	11.3%	2026(f)	714,315	7.7%	<ul style="list-style-type: none"> 2023 年由於全球經濟疲軟，終端市場需求低迷，供應鏈持續調整庫存，使得半導體營收表現衰退，特別是記憶體產業出現了較大程度的衰退；下半年隨著市場回溫、庫存逐漸回歸健康水位，加上生成式 AI 應用崛起，促使產業表現止跌回升，然而總體而言仍無法抵銷上半年需求不振之劇烈影響，全年產業表現仍呈現較顯著的衰退。2023 年全球半導體市場規模為 5,269 億美元，年衰退 8.2%。 展望 2024 年，隨著全球通膨趨緩，終端市場買氣進一步回升，庫存回歸健康水位，半導體產業進入景氣復甦階段，再加上人工智慧(AI)等新興應用需求熱絡，推動個人電腦、智慧型手機等相關電子產品升級，持續引領半導體產業技術研發與市場成長。預估 2024 年全球半導體市場規模為 5,959 億美元，年成長 13.1%。
年份	市場規模 (百億美元)	成長率 (%)																		
2022	574,084	3.3%																		
2023	526,885	-8.2%																		
2024(e)	595,907	13.1%																		
2025(f)	663,245	11.3%																		
2026(f)	714,315	7.7%																		

資料來源：工研院產科國際所(2024/05)

資料來源：工研院產科國際所（2024/5），收錄於 2024 半導體年鑑）

AI 浪潮主導了半導體產業未來的發展，但也伴隨著技術、競爭和供應鏈等方面的挑戰，半導體業者需不斷創新，才能在全球市場中保持競爭力與成長趨勢。

3-2 人工智慧時代-AI 變革

傳統半導體產業過去以摩爾定律為核心，透過製程微縮推動效能提升，而 AI 技術則促使產業轉向異質整合、高頻寬記憶體 (HBM)、Chiplet 技術和矽光子 (Silicon Photonics) 技術，以突破傳統製程技術的極限。

AI 應用的爆發，市場需求推動產業發展革命性的市場改變與創新挑戰：

1. **晶片設計與記憶體技術創新**：生成式 AI 的應用範疇越來越廣，運算資料量也逐步隨之膨脹，半導體產業因應 AI 時代下的需求，需提升計算效能、降低功耗，並滿足生成式 AI、HPC（高效能運算）與自駕車等應用（圖 3-3）。

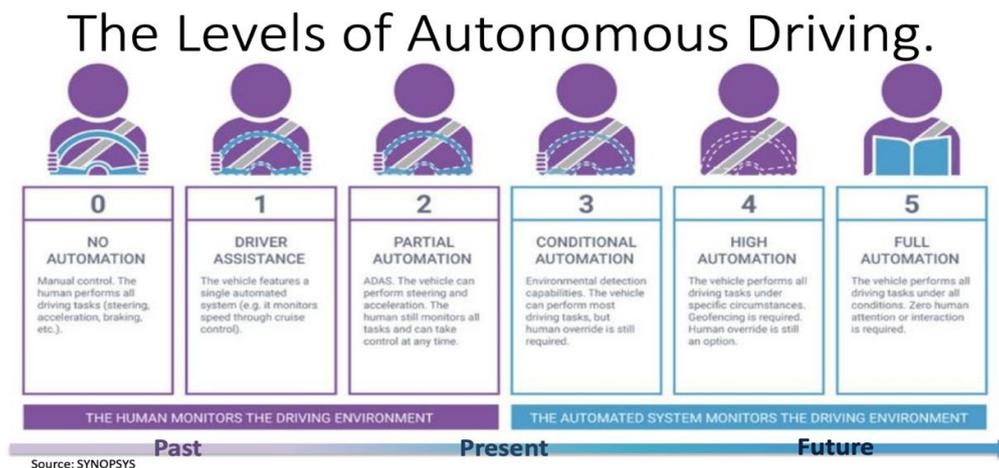


圖 3-3 自駕發展等級說明

資料來源：SYNOPSISYS

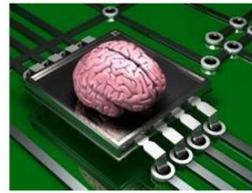
2. **記憶體內運算技術**：AI 運算的最大挑戰之一是 Memory Wall，傳統的馮·諾依曼架構（John von Neumann et al., 1945）在處理大量資料時，會出現運算效率降低的問題，生成式 AI 硬體設計面臨的挑戰包含運作 CPU 和 GPU 的方式，尤其是在進行 AI 推理模型與訓練模型時，由於模型參數日益龐大，大量資料存入和讀取記憶體將導致速度顯著降低，傳統記憶體架構難以滿足需求。
3. **AI 伺服器需求**：AI 技術導入終端產品亦將成為必然趨勢，這類應用背後需要強大的 AI 伺服器來支持模型訓練和推論，受 ChatGPT 帶動的生成式 AI 熱潮影響，企業對 HPC 伺服器與 AI 運算資源的需求增加。根據 2024 年半導體年間數據指出，全球 AI 伺服器市場預計在 2024 年增長 7.1%，出貨量達 12.1 百萬台。

4. **異質整合技術發展**: AI 晶片不僅要具備高效能, 還需要軟硬體的協同優化, 進而推動異質整合技術的發展, 晶片製造已非單一公司所能達成, 半導體產業從晶圓製造、封測、載板等皆為提升 AI 晶片效能關鍵。異質整合透過將不同功能的晶片整合在同一封裝中, 實現了更高的效能和更小的尺寸(圖表 14), 這對於 AI 晶片至關重要, 傳統單片晶片因為製程微縮面臨物理限制, Chiplet 封裝設計透過多晶片封裝來提升效能並降低成本, 例如: 2.5D 封裝技術, 提升高頻寬記憶體 (HBM) 與邏輯晶片間的互連速度; 3D 封裝技術, 將運算核心與記憶體堆疊整合, 減少數據傳輸延遲, 提升 AI 運算能效。

AI's Challenge in Package

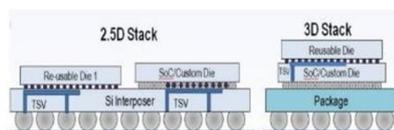
- Package Requirements

- Big chip → Chiplet



<http://bigthink.com/endless-innovation/your-big-blue-brain-on-a-silicon-chip>

- 2.5 D or 3D package



- Integrate with Memory

- HBM3
 - CDRAM

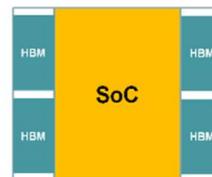


圖 3-4 AI 為封裝帶來的挑戰

資料來源：本研究整理

5. **CPO (Co-Packaged Optics)**: 高速數據傳輸需求日益增加, 傳統電子訊號傳輸不僅速度受限, 還會消耗大量電能, 已難以應對巨量數據傳輸所需的頻寬與功耗限制, 隨著 AI 晶片效能不斷提升, 晶片之間以及晶片與外部記憶體之間傳輸大量資料的需求也日益增加, 而光訊號具有極高的頻寬, 能夠在短時間內傳輸大量資料, 因此 CPO 技術利用光訊號進行晶片間互連, 顯著

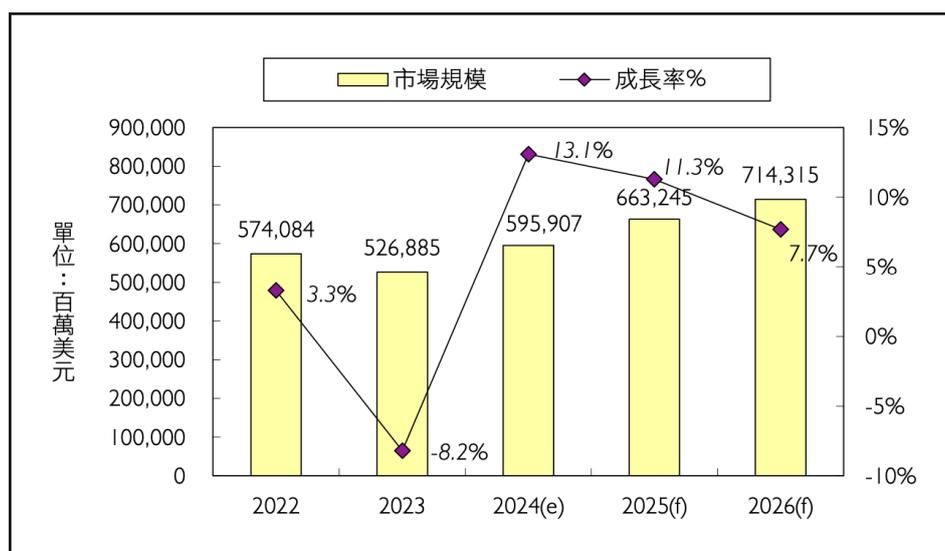


提升資料傳輸速度，滿足 AI 應用對高速運算的需求；光訊號傳輸速度快、延遲低，有助於提升 AI 伺服器即時性，這對於需要高速資料處理的 AI 應用非常重要，因此 CPO 成為解決 AI 運算與數據中心挑戰的重要關鍵。

6. 市場競爭格局改變：過去，半導體市場由傳統 CPU 供應商：Intel、AMD，與晶圓代工廠：台積電、三星主導，但 AI 驅動的變革帶來了新的市場競爭者，例如：NVIDIA (NVIDIA et al., 2023)、Google、Amazon、Tesla，以及新興 AI 晶片公司：Cerebras、Graphcore。這些變革使得半導體產業進入新競爭時代，傳統供應商與新競爭者，同時爭奪 AI 市場的主導地位，並促使技術創新與供應鏈調整。

3-3 AI 的發展前景

AI 技術推動半導體市場成長，2024 年市場規模達 5,959 億美元，預估 2026 年將會突破 7,143 億美元(圖 3-5)，AI 技術的快速發展對半導體產業帶來巨大變動，雖然仍存在技術限制，例如：記憶體頻寬不足、功耗過高、數據傳輸延遲等問題，但隨著技術突破未來 AI 應用將更加廣泛。



資料來源：工研院產科國際所(2024/05)

圖 3-5 2022-2026 年全球半導體市場趨勢

資料來源：工研院產科國際所 (2024/5)，收錄於 2024 半導體年鑑



AI 技術正廣泛應用於各類終端設備，包括智慧型手機、AIPC、智慧家電、自動駕駛、穿戴式設備、智慧醫療裝置等領域(表 3-2)，這些設備透過 AI 技術的強化，提升計算效能、個人化服務與自動化應用，進一步促進市場需求成長。

表 3-2 AI 在終端產品中發展概況

終端產品	AI 技術發展	主要應用	未來發展與影響
智慧型手機	內建 AI 晶片	AI 相機、自動翻譯、語音助理	AI 手機市場成長，帶動高端晶片需求
AIPC	AIPC 處理器	AI 加速器、生成式 AI 應用	AI PC 市場興起，帶動筆電升級換機潮
智慧家電	AI 處理器與感測器	智慧學習、語音控制、家居自動化	AI 使 IoT 設備更智能，提高市場滲透率
自動駕駛	AI 感測、AI 決策晶片	自動駕駛、車聯網 (V2X)、駕駛輔助系統	AI 使 L2/L3 級自駕技術逐漸實現
穿戴式設備	AI 健康監測與 AR/VR	智慧手錶、健身監測、AR/VR 體驗	AI 穿戴設備市場增長，推動 AI 晶片需求
智慧醫療設備	AI 影像分析與診斷	疾病預測、個人化醫療、基因分析	AI 醫療應用提升診斷準確率 (林書弘., 陳牧言 et al., 2019)

資料來源：參考各公司技術發表、本研究整理

智慧型手機

AI 運算可進行即時影像處理，如：夜拍模式、物件識別、背景虛化，並且可以學習用戶語音習慣，提升智能對話功能，如：Siri、Google Assistant。

AIPC

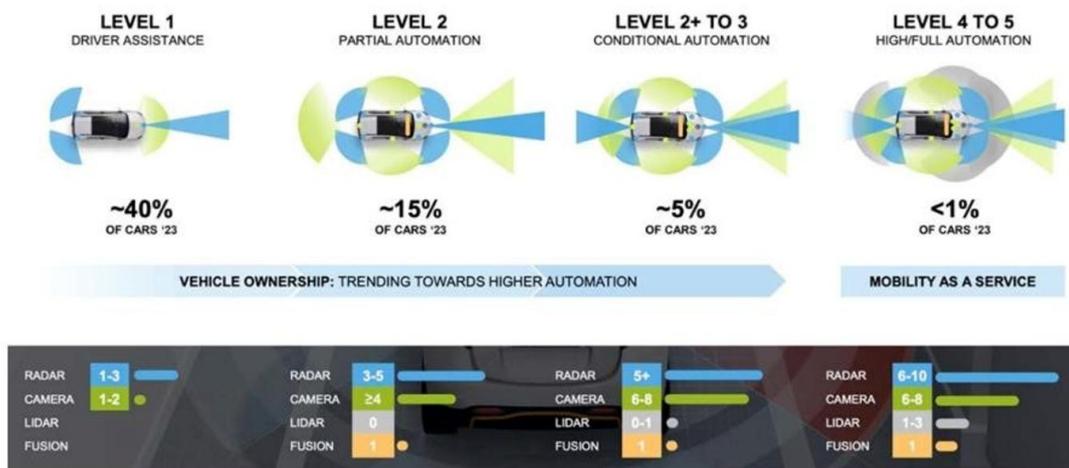
透過 AIPC 處理器，直接在終端設備（智慧型手機、AIPC、邊緣裝置）上執行，不需要依賴雲端伺服器來處理計算工作，提升生成效率，使筆電成為 AI 設計工具。



自駕車與智慧駕駛

AI 自動駕駛技術 (L2/L3)：透過 AI 深度學習，提升環境感測、動態預測、駕駛決策，透過 AI 處理車輛與基礎設施的通訊，提高行車安全與交通效率(圖 3-6)。

Content Gains Radar, Camera, LiDAR.



Source: NXP

圖 3-6 自動駕駛等級，雷達與攝影機使用分佈

資料來源：NXP

AI 穿戴式設備

AI 手錶可運用智慧醫療，例如：心率分析、睡眠監測、血氧監測，提供即時健康評估。同時 AI 穿戴式設備也應用在 AR/VR 體驗，AI 計算可更迅速回應使用者，使 AR/VR 環境更逼真提供沉浸式體驗。

AI 智慧醫療

AI 可協助分析醫療影像 (X 光、MRI、CT 掃描)，提供精準醫療服務與提升診斷準確率 (Feldman et al, 2012)。

AI 技術的發展正在推動終端產品向高效能、低延遲、智能化方向發展，未來的技術創新將持續驅動半導體產業變革。



3-4 AI 與半導體產業上下游關係鏈

人工智慧 (AI) 和半導體產業的關係密不可分，AI 的發展高度依賴於半導體技術的進步，而半導體產業的未來發展也受到 AI 需求的強烈驅動，這兩者之間的關係可以通過上下游關係鏈來進行詳細解析，了解它們如何互相促進並共同推動科技進步。

本章節將深入探討 AI 與半導體產業的上下游關係鏈，並分析其在技術、經濟和應用層面的影響。

AI 技術的發展對全球半導體產業鏈產生重大影響，帶動部分供應商的崛起，並改變傳統供應商的市場角色。在 AI 需求驅動下，晶片設計、製造、封裝、設備及材料供應商皆面臨轉型與市場變動，以下針對 AI 時代前後，半導體材料供應鏈的變動進行說明 (表 3-3)。

表 3-3 AI 時代前後發展，供應鏈對比

供應鏈環節	AI 技術崛起前的主要供應商	AI 技術崛起後的變化與新供應商
晶圓製造	台積電 (TSMC)、三星 (Samsung)、英特爾 (Intel)	仍由台積電、三星主導，但 Intel 透過 IDM 2.0 計劃重返先進製程競爭
設備供應	ASML (EUV 設備)、應用材料 (Applied Materials)、東京威力科創 (Tokyo Electron)	ASML 仍為關鍵供應商，EUV 設備需求增加，光罩與矽光子技術發展加速
封裝技術	日月光 (ASE)、Amkor	台積電發展 CoWoS、SoIC 封裝技術，新的異質整合 (Heterogeneous Integration) 供應商浮現，如環球晶 (GlobalWafers)
記憶體供應	美光 (Micron)、SK 海力士 (SK Hynix)、三星 (Samsung)	高頻寬記憶體 (HBM) 需求提升，SK 海力士與美光在 HBM 產品中競爭激烈，HBM 成為 AI 晶片關鍵組件
ASIC 設計	傳統 IC 設計公司，如 AMD、NVIDIA、Qualcomm	AI 專用 ASIC 晶片需求上升，Google (TPU)、亞馬遜 (AWS Inferentia)、Meta 自行開發 AI 晶片
網通與 CPO	傳統網通設備商，如 Cisco、Broadcom	AI 伺服器需求推動 CPO 技術，Lumentum、InnoLight、Broadcom 進入 AI 伺服器光學模組供應鏈

資料來源：參考各公司技術發表、本研究整理

AI 技術的發展對半導體產業提出了新的需求，促進了半導體技術的進步和市場的擴展；而半導體技術的進步又為 AI 技術的應用提供了堅實的基礎，推動了 AI 在各行各業的廣泛應用，AI 與半導體產業之間的上下游關係鏈是相互依存、相互促進的。



3-5 AI 技術分析與應用

AI 技術的飛速發展（圖 3-7），正在深刻改變我們的生活和工作方式，AI 技術由多個核心組成部分構成，包括機器學習、深度學習、自然語言處理（NLP）、計算機視覺；本文章節將探討這些核心技術的原理、算法和應用，並分析其在實際應用中的技術挑戰和未來發展趨勢。

AI Drive by Computing Power

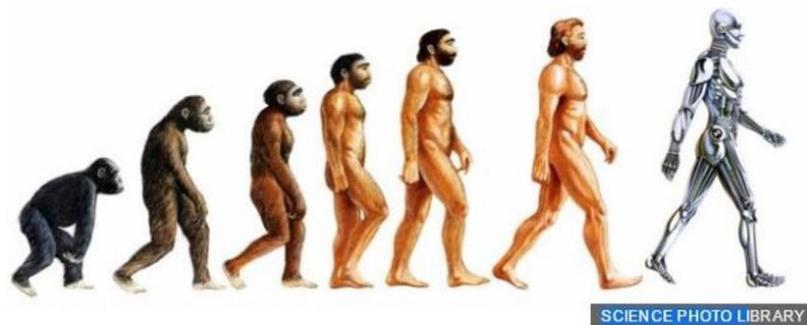


圖 3-7 AI 算法演進示意圖

資料來源：SCIENCE PHOTO LIBRARY

機器學習-基本概念

機器學習（Machine Learning, ML）是一種通過算法和統計模型，使計算機系統能夠自動從數據中學習並改進的技術，不依賴於明確的編程指令。

第四章 個案介紹



4-1 全球代工趨勢

波特鑽石理論 (Porter, 1990) 是由 Michael E. Porter 提出的競爭優勢理論，主要用於分析一個國家或企業在特定產業中的競爭優勢。該理論包括四個核心要素 (生產要素條件、需求條件、相關與支持產業、企業戰略結構與競爭)，以及兩個影響因素 (政府與機遇)，共同決定企業的競爭力。

本研究將波特鑽石理論應用於台積電 (TSMC)，分析其在全球晶圓代工市場的競爭優勢與產業趨勢。這份分析基於波特鑽石理論，全面解析台積電在全球代工市場的競爭優勢，並提供策略方向 (表 4-1)。

表 4-1 波特鑽石理論探討台積電在全球半導體產業的地位

鑽石模型要素	台積電的競爭優勢與全球代工趨勢
生產要素條件	台積電擁有世界最先進的製程技術（如 3 奈米、2 奈米開發中），並投入高額研發經費（2023 年約 160 億美元）以維持技術領先地位。此外，台灣擁有高素質的工程人才與完整的供應鏈（如光罩、晶圓材料供應商），有助於鞏固全球競爭力。
需求條件	全球對人工智慧（AI）與高效能運算（HPC）晶片的需求激增，促使台積電的先進製程技術（如 CoWoS 封裝技術）廣受青睞。此外，來自 Apple、NVIDIA、AMD、Qualcomm 等國際企業的高端晶片需求增長，進一步推動台積電的全球市場佔有率。
相關及支持產業	台灣擁有完整的半導體供應鏈，包括 ASML（EUV 設備）、環球晶圓（矽晶圓）、日月光（封裝技術），這些供應商的發展使台積電能夠迅速獲取所需材料與技術支援。此外，美國、日本與歐洲政府的半導體產業補貼政策也促進供應鏈全球擴張。
企業戰略、結構與競爭	台積電採取「專業晶圓代工」的商業模式，專注於為無晶圓廠（Fabless）企業提供高品質晶片製造服務。與此同時，競爭對手如三星（Samsung Foundry）、英特爾（Intel Foundry Services）也積極投資先進製程，全球代工市場競爭日益激烈。
政府	台灣政府長期支持半導體產業，提供減稅與研發補助，同時積極推動台美科技合作（如 CHIPS Act 影響下的美國設廠）。此外，日本與歐盟政府的半導體戰略計畫，也促使台積電在當地設廠，以降低地緣政治風險。
機會	AI、5G、車用半導體、高效能運算（HPC）的快速發展，為台積電提供龐大市場機遇。此外，由於中美科技戰爭，部分中國晶圓代工廠（如中芯國際）受到美國技術出口限制，間接提升台積電的市場競爭力。

資料來源：產業研究報告、本研究整理

台積電在全球晶圓代工市場應採取以下策略，以維持競爭優勢：

- 1. 技術領先與先進製程擴展：**持續投資 2 奈米、1.4 奈米技術，提升高效能運算（HPC）與 AI 晶片市場的競爭力，並發展新興技術如 CPO（共同封裝光學）、矽光子技術，以提升半導體性能。
- 2. 全球產能布局：**強化與 ASML、應用材料（Applied Materials）等設備供應商的合作，以確保設備供應穩定。持續開拓新市場，例如：車用半導體、低功耗 AI 晶片，減少對單一產業的依賴。

3. 加強供應鏈整合與技術合作：與 Apple、NVIDIA、AMD 深化技術合作，發展 Hybrid Bonding 與 3D 封裝技術（圖 4-1），提升 AI 晶片運算效率。



Hybrid Bonding

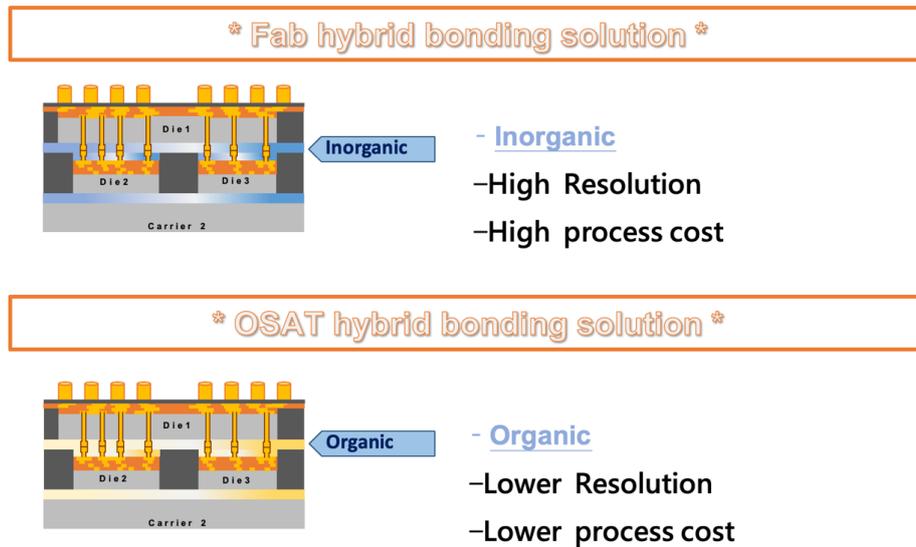


圖 4-1 Hybrid Bonding Technology

資料來源：本研究整理

4. 應對全球競爭與市場變化：面對三星、英特爾的競爭，台積電需強化製程良率，降低生產成本，以保持價格競爭力。

透過波特鑽石理論分析（Porter, 1990），台積電的競爭優勢來自於技術領先、完整供應鏈、高端市場需求，以及全球政府的支持，然而，隨著三星、英特爾積極投入先進製程競爭（Samsung Foundry, 2023）（Intel Foundry Services, 2023），全球晶圓代工市場的競爭將更加激烈，台積電應持續強化技術創新、擴大全球產能佈局，並深化供應鏈合作，以確保其在全球半導體產業的領導地位。



4-2 技術發展 Road Map

作為全球領先的半導體代工廠，台積電帶領全球科技進步並在 AI 世代中扮演著至關重要的角色，本章節將使用第二曲線分析，深入探討台積電在 AI 世代的技術 Road Map (圖 4-2)。

AP Package RoadMap

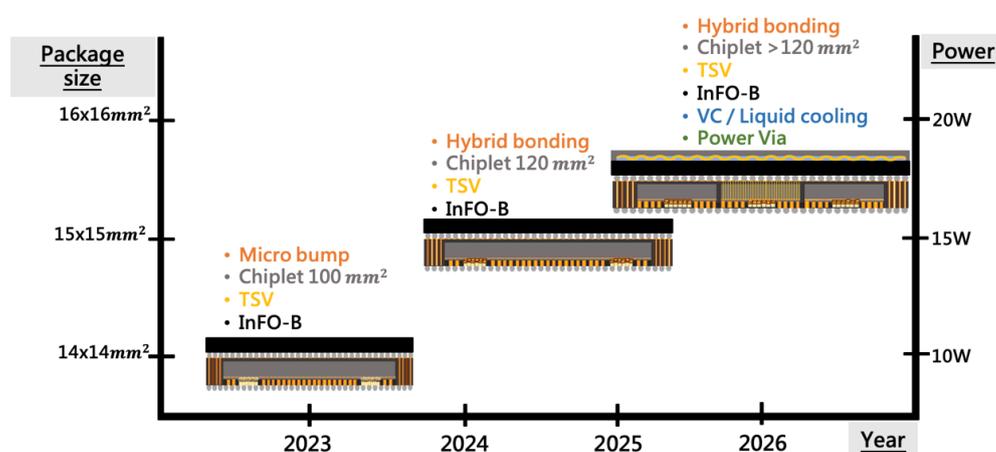


圖 4-2 封裝技術發展趨勢

資料來源：本研究整理

第二曲線是倫敦商學院教授 Charles Handy (1980) 提出的一種企業成長理論，強調企業在第一曲線仍處於高峰時，就應積極發展第二曲線，以確保持續競爭力。對於台積電而言，第一曲線代表摩爾定律驅動的先進製程發展 (如 3 奈米、2 奈米)，而第二曲線則是新興技術 (如 3D 封裝、CPO 共同封裝光學)，這些技術將成為台積電未來成長的關鍵動能。

根據第二曲線理論，台積電的技術發展可劃分為第一曲線 (摩爾定律驅動的製程技術) 和第二曲線 (突破摩爾定律的新技術)，具體對應如下 (表 4-2)：



表 4-2 台積電技術發展 Road Map 的第二曲線分析

技術發展曲線	發展階段	主要技術內容	市場應用	競爭優勢
第一曲線 摩爾定律驅動的製程發展	現行技術	3、2 奈米製程技術 EUV 微影技術	智慧型手機、AI 晶片、高效能運算 (HPC)	高密度晶體管架構、低功耗、高效能
第二曲線 異質整合與先進封裝	突破摩爾定律	3D 封裝技術 (SoIC, CoWoS) 共同封裝光學 (CPO) 矽光子技術 (Silicon Photonics)	AI 伺服器、數據中心、自駕車、6G 通訊	提升運算效率，降低數據傳輸延遲，突破傳統製程物理極限 超低功耗、高密度運算，突破現有半導體架構

資料來源：產業研究報告、本研究整理

台積電目前仍處於第一曲線的巔峰，但其成長空間正在逐漸受限，摩爾定律接近物理極限，因此台積電已積極開發第二曲線技術（例如：3D IC、矽光子技術）(Handy, 1980)，以確保未來 10 年的技術領先地位。

台積電目前正積極布局量子運算 (Quantum Computing)、2D 材料晶片以及神經形態運算 (Neuromorphic Computing)，以確保其在未來半導體產業的持續競爭力。

- 1. 量子運算技術：**是未來計算領域的重要發展方向，相較於傳統二進制計算，量子計算透過「量子比特 (Qubit)」能夠同時處理多種狀態，大幅提升計算能力。目前，台積電已開始與國際研究機構合作，開發超導量子晶片，以確保在未來的量子計算市場中佔據有利地位。
- 2. 2D 材料晶片：**也被視為突破矽材料極限的關鍵技術。這些材料具備優異的電子遷移率與超薄結構，使其能夠在低功耗高效能計算領域發揮優勢。台積電已開始投入 2D 材料技術的研究，以探索未來半導體技術的新可能性。
- 3. 神經形態運算 (Neuromorphic Computing)：**是一種模仿大腦神經元運作的計算技術，能夠大幅提升 AI 運算的能效比。這類技術特別適用於邊緣 AI 應用，例如智慧物聯網 (IoT) 與低功耗 AI 晶片。台積電透過與 AI 晶片設計

公司的合作，逐步推動神經形態運算的發展，以應對未來 AI 市場的需求。

摩爾定律逐漸趨緩的背景下，未來的計算架構將不再僅依賴於傳統的矽基技術，透過第二曲線 (Handy, 1980) 了解時間點，並分析對應策略，如何突破一曲線積極發展第二曲線，不僅推動 AI 產業的進一步繁榮，也將為各行各業帶來更加智能化、高效化的解決方案。

4-3 AI 產業趨勢

台積電面臨市場成長潛力與產品技術週期的挑戰，同產品的市場需求與技術成熟度不盡相同，因此必須透過有效的產品組合管理，確保市場競爭力與技術領先地位。Bruce D. Henderson (1970) 所提出的 BCG 矩陣是一種經典的企業產品組合分析工具，透過市場成長率與市場佔有率兩個關鍵維度，將產品組合劃分為四大類型 (Henderson, 1970)：

1. **明星產品 (Stars)**：市場成長率、佔有率高，代表企業的技術核心競爭力與未來成長動能。
2. **金牛產品 (Cash Cows)**：市場成長率低、佔有率高，提供穩定的現金流支持企業發展。
3. **問題產品 (Question Marks)**：市場成長率高、佔有率低，具發展潛力但仍需大量投資。
4. **老狗產品 (Dogs)**：市場成長率低、佔有率低，可能面臨淘汰或市場退出。

本研究將 BCG 矩陣應用於台積電在 AI 產業的產品與技術發展，分析其在不同市場領域的競爭定位與發展策略，進一步探討如何優化產品組合，確保技術與市場的不同步發展，以持續保持全球晶圓代工的領導地位 (表 4-3)。



表 4-3 台積電 AI 產品與技術的 BCG 矩陣分類

BCG 矩陣類別	台積電產品與技術	市場成長率	市場佔有率	發展策略與建議
明星產品	3 奈米、2 奈米先進製程高效能運算 (HPC) 晶片製造 (TSMC et al., 2023) AI 晶片專用封裝技術 (CoWoS、SoIC)	高	高	持續擴大投資與技術優化, 確保技術領先地位, 加速 AI 伺服器與 HPC 晶片應用
金牛產品	5 奈米及成熟製程(7 奈米、10 奈米) 行動處理器與消費級電子晶片	低	高	提升生產效率與成本控制, 確保穩定現金流, 將資金投入新技術開發
問題產品	CPO 共同封裝光學 (Co-Packaged Optics) 矽光子 (Silicon Photonics) 技術量子運算晶片開發	高	低	加強市場驗證與技術開發, 與雲端運算業者合作擴展應用場景, 決定是否擴大投資
老狗產品	28 奈米以下成熟製程 PMIC, CIS, MEMS	低	低	透過特殊應用市場 (PMIC, CIS, MEMS, 車用、工業), 少量多樣化以維持競爭力

資料來源：產業研究報告，本研究整理

BCG 矩陣的分析，台積電在 AI 產業的產品組合可透過以下策略進一步優化：

1. **強化明星產品，擴大 AI 晶片市場：**持續投資 2 奈米及以下製程技術，確保 AI 晶片高效能與低功耗需求，擴大 CoWoS、SoIC 封裝技術的應用範圍，提升 AI 晶片運算速度與能效比，並與 NVIDIA、AMD、Google TPU 等 AI 晶片設計公司深化合作，確保先進製程技術的市場領先地位。
2. **穩固金牛產品 (Henderson, 1970)，確保現金流穩定：**持續提升 5 奈米、7 奈米製程 的生產效率，降低成本，提高良率，拓展消費級電子產品與車用晶片市場，確保穩定的產能利用率。透過長期合約 (如與 Apple、Qualcomm 簽訂長期供應協議)，確保訂單穩定。



3. 針對問題產品，加強市場驗證與投資決策：加強 CPO（共同封裝光學）與矽光子技術研發，與 AWS、Google Cloud 合作進行數據中心應用測試，確定量子運算晶片的市場需求，並與學術機構（如 MIT、Stanford）合作，加快技術成熟度。

4. 逐步淘汰老狗產品（Henderson, 1970），將資源轉向高成長領域：縮減 28 奈米以下製程 消費電子市場的比重，將產能轉向先進封裝與 AI 晶片製造，針對特殊應用市場（如汽車、工業物聯網），提供長壽命、低功耗的成熟製程技術，確保特定市場的利潤空間。

透過 BCG 矩陣分析，台積電在 AI 產業的產品發展策略應以「強化明星產品、穩固金牛產品、積極評估問題產品、逐步淘汰瘦狗產品」（Henderson, 1970）為核心方向。

其 3 奈米、2 奈米製程與 HPC 晶片封裝技術目前處於高市場成長、高佔有率的階段，應持續加大技術投資與產能布局（圖 4-3）。而 5 奈米、7 奈米製程作為成熟技術，則應確保生產效率與市場穩定性，此外，對於 CPO 共同封裝光學與量子運算晶片，台積電需進一步驗證市場需求，決定是否加大投資，對於市場需求趨緩的 28 奈米以下成熟製程，應考慮逐步轉移資源，確保技術研發與市場需求的最佳匹配。

HPC Package Road Map

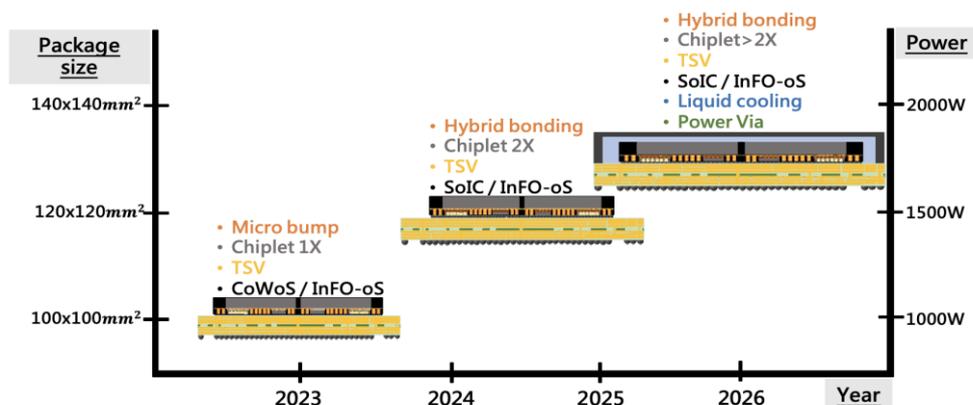


圖 4-3 HPC 封裝技術發展藍圖

資料來源：本研究整理



4-4 AI 晶片需求推進台積電奈米製程

為了深入探討台積電如何在 AI 晶片市場中布局並推動其製程發展，本章節運用商業模式九宮格 (Osterwalder & Pigneur, 2010) 進行分析，商業模式九宮透過九大構面分析企業的商業模式，價值主張 (Value Proposition) 客戶區隔 (Customer Segments)、客戶關係 (Customer Relationships)、通路 (Channels)、關鍵活動 (Key Activities)、關鍵資源 (Key Resources)、關鍵合作夥伴 (Key Partners) 收入來源 (Revenue Streams)、成本結構 (Cost Structure)，以理解台積電如何創造、傳遞與獲取價值 (表 4-4)。



表 4-4 AI 晶片推動製程的商業模式九宮格分析

BMC 構面	台積電 AI 晶片推動製程分析
價值主張	<p>先進製程技術：3 奈米、2 奈米等高效能製程技術提供 AI 晶片所需的高性能與低功耗。</p> <p>異質整合與 3D 封裝技術 (CoWoS、SoIC) 強化 AI 晶片的數據處理能力與能效比。</p> <p>高良率與穩定供應，確保 AI 晶片設計公司獲得穩定生產能力。</p>
客戶區隔	<p>AI 晶片設計公司 (如 NVIDIA、AMD、Google TPU、Tesla)</p> <p>雲端服務供應商 (AWS、Google Cloud、Microsoft Azure)</p> <p>自駕車與邊緣 AI 晶片市場 (如 Mobileye、Qualcomm)</p> <p>高效能運算 (HPC) 與資料中心</p>
客戶關係	<p>技術合作：與 NVIDIA、AMD、Google、Apple 長期合作，確保 AI 晶片的製程優化。</p> <p>專屬技術支援：提供製程技術優化與封裝解決方案，確保 AI 晶片效能最大化。</p> <p>供應鏈保障：透過全球產能布局與合作夥伴關係，確保 AI 晶片穩定供應。</p>
通路	<p>直接客戶合作：與 AI 晶片設計公司直接簽訂製造合約。</p> <p>技術研討會與論壇 (TSMC Technology Symposium, VLSI Conference)</p> <p>全球供應鏈合作 (與設備商、材料供應商整合生產鏈)。</p>
關鍵活動	<p>先進製程研發：持續開發 2 奈米及以下技術，提升 AI 晶片效能。</p> <p>3DIC 與異質整合：擴展 CoWoS、SoIC 技術，以支援 AI 訓練與推理應用。</p> <p>全球產能布局：擴建美國、日本、台灣等地的晶圓廠，滿足 AI 市場需求。</p>
關鍵資源	<p>晶圓製造設備 (如 ASML EUV 微影技術、極紫外光光刻機)</p> <p>專業技術人才與工程師</p> <p>先進半導體材料 (矽光子技術、CPO)</p> <p>全球供應鏈與技術合作夥伴</p>
關鍵合作夥伴	<p>AI 晶片設計公司 (NVIDIA、AMD、Google、Tesla、Mediatek)</p> <p>半導體設備供應商 (ASML、Applied Materials、Tokyo Electron)</p> <p>先進封裝技術供應商 (日月光 ASE、矽光子製造商)</p> <p>學術與研究機構 (MIT、Stanford、清大、交大)</p>
收入來源	<p>AI 晶片製造代工收入 (根據製程技術計價)</p> <p>技術授權與 IP 服務 (提供先進封裝與製程技術)</p> <p>長期供應合約 (與主要 AI 晶片客戶簽訂產能保證合約)</p>
成本結構	<p>研發投入 (先進製程、異質整合技術開發)</p> <p>設備與產能擴充 (建設新晶圓廠、購買 EUV 設備)</p> <p>供應鏈管理 (原材料、能源、物流成本)</p>

資料來源：產業研究報告、本研究整理



透過商業模式九宮格分析，台積電在 AI 晶片推動製程領域展現明確的技術領導優勢。其 3 奈米與 2 奈米先進製程技術，配合 CoWoS、SoIC 等異質整合封裝技術，滿足 AI 晶片對高效能計算的需求，台積電透過與 NVIDIA、AMD、Google、Apple 等 AI 晶片設計公司的長期合作，建立穩定的客戶關係，並透過全球產能布局確保供應鏈韌性。

隨著 AI 應用市場的擴張，台積電應持續深化技術創新，並擴展 AI 晶片製造的市場佔有率，以維持全球半導體產業的領導地位，在數位化和智能化迅速發展的今天，人工智慧 (AI) 已成為改變世界的重要力量，AI 的推進不僅影響了各行各業，也極大地推動了半導體技術的演進，特別是 AI 晶片的需求，促使台積電 (TSMC) 等半導體領導企業加快了奈米製程技術的研發和應用。

4-5 台積電在高效能領域扮演的角色

高效能運算 (High-Performance Computing, HPC) 已成為推動人工智慧 (AI)、數據分析、雲端運算、自動駕駛、醫療影像處理等應用的核心技術，隨著 AI 模型的規模不斷擴大，對於高效能、低功耗半導體的需求持續上升，作為全球領先的晶圓代工廠，台積電 (TSMC) 憑藉其先進製程技術 (如 3 奈米、2 奈米)、異質整合 (CoWoS、SoIC) 與 3D 封裝技術，成為高效能運算市場的重要推動者。

本研究運用 波特鑽石理論 (Porter, 1990) 來分析台積電如何透過技術創新、全球市場布局與產業生態系整合來保持其在 HPC 領域的競爭優勢。透過四大核心要素 (生產要素、需求條件、企業競爭與產業結構、相關與支援產業) 及兩個輔助因素 (政府、機遇) 探討台積電如何鞏固其在 HPC 產業中的領導地位 (表 4-5)。



表 4-5 台積電在高效能運算領域的波特鑽石理論分析

要素	台積電的高效能運算市場角色
<p>生產要素條件</p>	<p>先進製程技術（3 奈米、2 奈米）確保 AI 晶片高效能與低功耗。</p> <p>異質整合封裝技術（CoWoS、SoIC），提升 AI 晶片效能與頻寬。</p> <p>強大技術人才資源，擁有全球領先的工程師與研發團隊。</p> <p>全球產能布局（台灣、美國、日本、歐洲），確保 HPC 晶片穩定供應。</p>
<p>需求條件</p>	<p>全球 AI 晶片市場需求旺盛（如 NVIDIA、AMD、Google、Tesla 的 HPC 晶片）。</p> <p>雲端數據中心需求持續上升（四大 CSP：AWS、Google Cloud、Microsoft Azure、Meta）。</p> <p>高效能運算（HPC）在科學研究、金融分析、醫療 AI 方面需求增長。</p>
<p>企業策略、結構與競爭</p>	<p>台積電與三星（Samsung）、英特爾（Intel）在先進製程競爭，透過高良率、高效能晶片製造能力保持領先。</p> <p>與 NVIDIA、AMD、Google TPU、蘋果等 AI 晶片設計大廠建立長期合作關係。</p>
<p>相關與支持企業</p>	<p>先進半導體設備供應商（如 ASML、Applied Materials）提供極紫外光（EUV）技術支援。</p> <p>封裝與測試合作夥伴（如 ASE、日月光）強化 HPC 晶片封裝效能。</p> <p>學術機構合作（如 MIT、Stanford、台灣清華交大）共同開發新技術。</p> <p>發展台灣本地設備及材料供應商以降低成本</p>
<p>政府</p>	<p>台灣政府提供研發補助與產業政策，推動先進半導體技術發展。</p> <p>美國 2022《CHIPS Act》政策促使台積電在美國投資建廠，確保供應鏈穩定。Chip Act 2025 川普上台後可能取消。並邀請台積電在美國設廠以換取川普政府對晶片免稅。</p>
<p>機會</p>	<p>AI 與 HPC 市場需求爆發，驅動高效能運算晶片市場成長。</p> <p>全球供應鏈變革與去全球化趨勢，促使台積電強化全球布局。</p> <p>Open AI Chat GPT 和 Deep Seek 的橫空出世，極大促進對 Edge AI 的普及</p>

資料來源：產業研究報告、本研究整理



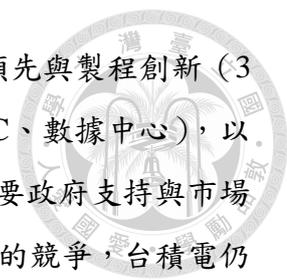
波特鑽石理論概述

波特鑽石理論由 Michael E. Porter (1990) 提出，主要用來分析國家或企業的競爭優勢。該理論透過六大要素來解釋企業如何在全球競爭環境中取得競爭力：

1. **生產要素條件**：技術、資本、人才、基礎設施等核心競爭資源。
2. **需求條件**：市場對企業產品的需求強度與品質要求。
3. **企業策略、結構與競爭企業內部競爭強度、策略制定與市場競爭環境**。
4. **相關及支持產業**：產業生態系中的供應商、合作夥伴及技術支援能力。
5. **政府**：政府政策、補助、法規對產業競爭力的影響。
6. **機會**：科技突破、全球市場變革等不可控因素對企業競爭力的影響。

根據波特鑽石理論的分析，台積電在 HPC 領域的競爭優勢來自於技術領先、強大需求、產業生態鏈整合與全球市場布局，為確保競爭優勢，台積電應採取以下策略：

1. **持續強化先進製程技術**：推動 2 奈米與 1.4 奈米製程技術，確保 AI 晶片製程技術領先地位。擴展 CoWoS、SoIC 等 3D 封裝技術，提升 AI HPC 晶片的高頻寬與低延遲性能。
2. **穩定全球市場布局與產能擴張**：透過美國、日本、歐洲市場投資，確保 HPC 晶片的全球供應鏈韌性，並在台灣持續升級先進晶圓廠(如南科 2 奈米廠)，保持技術核心競爭力。
3. **強化 HPC 生態系合作**：深化與 NVIDIA、AMD、Google、Tesla 等企業的合作，確保 HPC 晶片市場主導地位，和 ASML、Applied Materials 等半導體設備供應商加強合作，確保 EUV 技術的穩定供應。



台積電在高效能運算（HPC）領域的成功關鍵在於：技術領先與製程創新（3 奈米、2 奈米 + CoWoS、SoIC）、全球市場強勁需求（AI、HPC、數據中心），以及產業鏈整合優勢（設備供應、封裝測試、生態系夥伴），也需要政府支持與市場機遇（CHIPS Act、全球供應鏈重組），然而，面對三星與英特爾的競爭，台積電仍需持續研發新技術、深化供應鏈合作並優化市場布局。

4-6 AI 高速運算挑戰

人工智慧（AI）和機器學習的迅猛發展對半導體技術提出了前所未有的挑戰，台積電（TSMC）作為全球領先的半導體代工廠商，面對著如何支持 AI 高速運算的複雜挑戰，AI 技術要求極高的計算性能和效率，這對晶片設計、製程技術、能效管理等方面提出了嚴峻的考驗。本章節將深入探討台積電在支持 AI 高速運算方面所面臨的主要挑戰（表 4-6）。

表 4-6 AI 高速運算挑戰與技術對應

AI 高速運算挑戰	第一曲線 (現有技術)	第二曲線 (未來技術)	技術策略與應對措施
計算速度瓶頸	縮小製程 (3 奈米 → 2 奈米)	3D 堆疊技術 (SoIC)、矽光子計算	採用 SoIC 異質整合，降低延遲並提升運算效率
數據傳輸限制	傳統電子訊號傳輸	CPO (共同封裝光學)、矽光子技術	開發 CPO 技術，減少 AI 訓練中的傳輸延遲與功耗
功耗與散熱挑戰	透過 FinFET 結構降低功耗	GAA 晶體管架構 (2 奈米)、液態冷卻	研發環繞式閘極 (GAA) 技術，提升電晶體效能
算力密集型應用需求增長	增加晶片核心數與頻率	Chiplet 晶片架構、神經形態計算 (Neuromorphic Computing)	導入 Chiplet 設計，透過晶片間互連提升 AI 運算效率
摩爾定律的極限	2D 微縮製程提升效能	量子運算、2D 材料 (如石墨烯)	探索量子運算晶片，發展次世代 AI 運算模式

資料來源：產業研究報告、本研究整理

台積電應從傳統的製程微縮（第一曲線）轉向 3D 堆疊封裝、CPO 矽光子技術、量子運算等新技術（第二曲線），以突破 AI 高速運算挑戰。

台積電如何從傳統的摩爾定律時代第一曲線過渡到新技術驅動的後摩爾定律時代第二曲線，並探討 3D 封裝技術、CPO（共同封裝光學）、矽光子技術在 AI 高速運算挑戰中的應用，為台積電未來發展提出技術與策略建議：

（一） AI 高速運算的需求

1. **計算能力：**AI 尤其是深度學習模型需要進行大量的矩陣運算和複雜的演算法處理，這要求處理器具有極高的計算能力。傳統的中央處理器（CPU）已難以滿足這些需求，專用處理器如圖形處理器（GPU）、張量處理單元（TPU）和神經網絡處理單元（NPU）因此應運而生。
2. **能效比：**在 AI 應用中，功耗與性能的比值變得尤為重要。AI 運算需要高效能的同時，還必須確保能耗處於合理範圍內，以避免過度的電力消耗和散熱問題。
3. **記憶體帶寬：**AI 模型訓練涉及大量數據的處理，需要高速的記憶體帶寬來支持高效的數據讀取和寫入。這要求晶片設計必須考慮到如何有效提升記憶體帶寬。
4. **數據傳輸速率：**AI 計算過程中的數據傳輸速率對運算性能影響巨大。處理器和記憶體之間的數據傳輸必須足夠迅速，以避免成為計算瓶頸。

（二） 台積電面臨的挑戰

1. **製程技術的複雜性：**AI 晶片的性能需求使得晶片設計變得更加複雜。台積電需要在極小的製程節點上實現更高的晶片密度和更好的性能，這要求製程技術必須具備極高的精度和穩定性。
2. **能效管理：**隨著晶片運算能力的提升，功耗和熱量產生的問題也隨之加劇。如何在提升性能的同時有效管理功耗和散熱，成為台積電面臨的一個重大挑戰。



3. **記憶體和數據傳輸的瓶頸：**AI 運算需要高帶寬的記憶體和快速的數據傳輸系統。如何設計能夠支持這些需求的記憶體架構和數據通路，是台積電在晶片設計和製造過程中必須解決的問題。
4. **技術更新速度：**AI 技術的快速發展要求半導體製程技術也必須迅速跟進。台積電需要不斷創新，以保持其製程技術的領先地位，並支持日益增長的 AI 運算需求。
5. **成本壓力：**先進製程技術的開發和應用涉及高昂的研發和生產成本。如何在保持技術領先的同時控制成本，成為台積電面臨的另一個挑戰。

應對策略

(一) 推進先進製程技術

1. **7 奈米、5 奈米及 3 奈米技術：**台積電在 7 奈米、5 奈米和 3 奈米製程技術上取得了顯著進展，這些先進製程技術能夠提供更高的晶片密度、更低的功耗和更高的性能，為 AI 晶片的需求提供了支持。
2. **下一代製程技術：**台積電正致力於開發更先進的製程技術，如 2 奈米製程技術。這些技術的實現將進一步提升晶片的性能和能效，支持更高效的 AI 運算。

(二) 優化晶片設計

1. **專用處理器的設計：**台積電支持設計專用的 AI 處理器，如 TPU 和 NPU。這些專用處理器經過專門設計，以滿足 AI 運算的特定需求，從而提供更高的性能和能效。
2. **晶片集成度提升：**提高晶片的集成度，可以在同一芯片上集成更多的功能模組，從而提升整體性能。例如，通過在晶片上集成記憶體和計算單元，可以減少數據傳輸延遲，提高運算效率。



(三) 改進功耗管理

1. **先進散熱技術**：台積電在散熱技術上進行了創新，包括改進熱導材料和散熱結構，以有效管理晶片的熱量問題。
2. **低功耗設計**：通過先進的低功耗設計技術，如動態電壓調整，來降低晶片在運行中的功耗。

(四) 提升記憶體帶寬

1. **高帶寬記憶體 (HBM)**：台積電支持高帶寬記憶體 (HBM) 的設計和製造。HBM 能夠提供比傳統記憶體更高的帶寬，從而支持 AI 運算中的大量數據處理需求。
2. **記憶體整合技術**：通過將記憶體和處理器集成在同一晶片上，台積電能夠降低數據傳輸延遲，提高記憶體存取速度。

(五) 加快技術創新

1. **研發投入**：台積電加大了對製程技術和晶片設計的研發投入，通過創新和技術積累來應對不斷增長的 AI 運算需求。
2. **合作夥伴關係**：與科技公司、設備供應商和研究機構的合作，有助於台積電了解市場需求和技術趨勢，並在技術研發上取得突破。

(六) 成本控制策略

1. **生產效率提升**：通過優化生產流程和提高生產效率，來降低單位晶片的生產成本。
2. **規模效益**：利用規模效益來分攤研發和生產成本。台積電在大規模生產中能夠實現成本的有效控制。



案例分析

(一) AI 晶片的成功案例

1. **NVIDIA B100 Tensor Core GPU**：NVIDIA 的 B100 Tensor Core GPU 是為 AI 運算而設計的專用處理器。它使用了台積電 3 奈米製程技術，提供了高運算性能。
2. **Google TPU V6**：Google 的 TPU V6 是專為機器學習和 AI 應用設計的處理器，TPU 高性能和低功耗設計，使用了台積電的先進製程技術。

(二) 未來技術展望

1. **量子計算**：量子計算有望在未來成為 AI 運算的新方向。台積電需要在這一領域保持技術領先，積極探索量子計算技術的應用。
2. **新型半導體材料**：如石墨烯和奈米碳管等新型半導體材料，可能會在未來取代傳統的矽材料，台積電密切關注這些技術的發展，並積極投入相關的研究。

台積電在支持 AI 高速運算方面扮演著至關重要的角色，面對複雜的技術挑戰，如製程技術的複雜性、能效管理、記憶體帶寬和數據傳輸瓶頸等，台積電採取了多種應對策略，包括推進先進製程技術、優化晶片設計、改進功耗管理、提升記憶體帶寬、加快技術創新和控制成本等。通過這些策略，台積電不僅成功應對了當前的挑戰，還為未來的 AI 技術發展奠定了堅實的基礎。

4-7 製程封裝與散熱創新

台積電 (TSMC) 透過創新製程封裝技術 (如 SoIC、CoWoS、InFO) 與散熱優化策略 (例如：液態冷卻 (圖 4-4)、矽中介層散熱)，確保其在 AI 及 HPC 產業的競爭優勢。

HPC Thermal Solution

- Advanced System Integration for High Performance Computing with Liquid Cooling

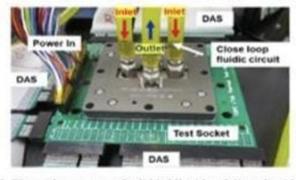


Figure 3. Thermal test system for lidded liquid and direct liquid cooling.

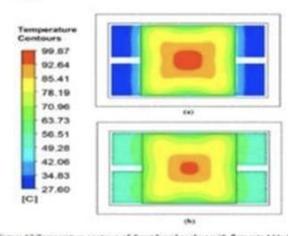


Figure 17 Temperature contours of direct liquid cooling with flow rate 2.8 dm³/s. (a) State processor = 250W, 1000A power = 0E (b) State processor = 3000W.

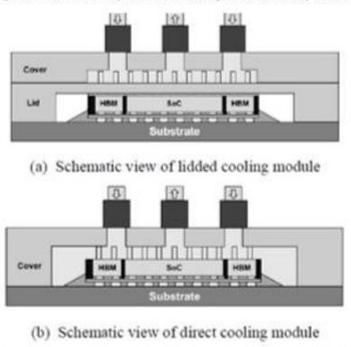


Figure 2. Schematic view of liquid cooling module for (a) lidded liquid cc (b) direct liquid cooling.

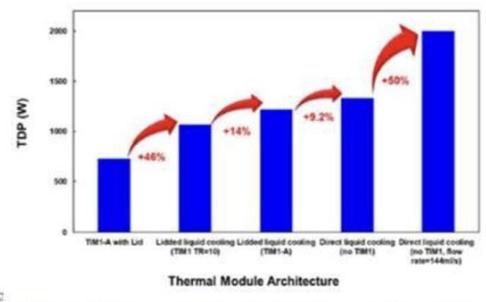


Figure 16 Efficiency comparison of various heat dissipation method.

source TSMC 2021 ECTC

圖 4-4 散熱技術方案

資料來源：TSMC 2021 ECTC

本章節運用商業模式九宮格 (Business Model Canvas, BMC) 分析台積電如何透過製程封裝技術與散熱創新，為其 AI 晶片客戶 (如 NVIDIA、AMD、Google) 創造價值，並維持市場領導地位 (表 4-7)。

表 4-7 台積電的製程封裝與散熱創新商業模式九宮格

商業九宮格要素	台積電的製程封裝與散熱創新策略
價值主張 (Value Proposition)	提供業界領先的異質整合與 3D 堆疊封裝技術，滿足 AI/HPC 晶片的高效能需求。 降低晶片功耗與散熱瓶頸，確保 AI 模型運行的穩定性與效能。 透過 CPO（共同封裝光學）與矽光子技術，提升數據中心的傳輸速率與能效。
目標客群 (Customer Segments)	AI 晶片設計公司（如 NVIDIA、AMD、Google、Apple）。 HPC 企業與雲端運算商（如 AWS、Microsoft、Meta）。 自駕車與邊緣 AI 晶片開發商（如 Tesla、Mobileye）。
顧客關係 (Customer Relationships)	提供客製化製程與封裝技術，協助客戶開發高效能晶片。 建立長期戰略夥伴關係，參與客戶的技術開發過程。
通路 (Channels)	直接與 AI 晶片設計公司合作，提供代工製造服務。 透過技術研討會（如 TSMC Technology Symposium），推廣製程封裝創新。
關鍵資源 (Key Resources)	最先進的 3 奈米、2 奈米製程技術。 SoIC、CoWoS、InFO 封裝技術。 CPO（共同封裝光學）、矽光子技術、液態冷卻技術。 全球供應鏈與製造基地（台灣、美國、日本、歐洲）。
關鍵活動 (Key Activities)	研發 3D 封裝與散熱技術（如 SoIC、CoWoS、CPO）。 擴大 AI HPC 晶片製造產能。 與 AI 晶片設計公司深度合作，共同優化封裝技術。
關鍵合作夥伴 (Key Partners)	半導體設備供應商（如 ASML、Applied Materials，提供 EUV 技術支援）。 先進封裝與測試夥伴（如 ASE、日月光，支援高效能封裝與散熱技術）。 AI 晶片設計商（如 NVIDIA、AMD、Google，提供 HPC 需求指導）。
收益流 (Revenue Streams)	製程技術代工費用（如 3 奈米、2 奈米製程代工）。 先進封裝與散熱技術授權費用（如 SoIC、CoWoS、CPO）。
成本結構 (Cost Structure)	技術研發投入高（台積電每年投入超過 50 億美元用於技術研發）。 設備與廠房建設成本高（如台積電亞利桑那廠與日本熊本廠的擴產）。

資料來源：產業研究報告、本研究整理



台積電的製程技術創新

台積電在製程技術上的創新是支持 AI 高速運算和高效能計算的基礎。製程技術直接影響晶片的性能、功耗和面積。

以下是台積電在製程技術方面的幾項重要創新：

(一) 7 奈米製程技術 (N7)

- 1. 技術概述：**台積電的 7 奈米製程技術是其突破性的製程技術之一，使用了極紫外光 (EUV) 技術來實現更高的晶片密度和更低的功耗。這一技術使得 AI 晶片可以在更小的面積上實現更高的運算性能，並提高了能效比。
- 2. AI 應用：**7 奈米技術的推出使得 AI 處理器如 GPU 和 TPU 能夠提供更高的計算能力和更低的功耗，支持複雜的 AI 模型訓練和推斷。

(二) 5 奈米製程技術 (N5)

- 1. 技術概述：**5 奈米製程技術進一步提升了晶片的性能和能效。該技術使用了改進的 EUV 光刻技術，實現了更高的晶片集成度和更低的功耗。5 奈米技術的應用使得晶片在運算性能上達到了新的高度，同時降低了能耗和發熱量。
- 2. AI 應用：**5 奈米技術的晶片能夠支持更複雜的 AI 模型和更高效的運算需求，適用於高效能計算和超級計算機等領域。

(三) 3 奈米製程技術 (N3)

- 1. 技術概述：**3 奈米製程技術是台積電最新的製程技術，提供了更高的晶片性能和更低的功耗。該技術使用了先進的奈米製程技術，進一步提高了晶片的集成度和運算能力。
- 2. AI 應用：**3 奈米技術的推出將進一步推動 AI 晶片的發展，支持更加複雜的 AI 演算法和更高效的數據處理。



(四) 2 奈米製程技術

1. **技術展望：**台積電正在積極研發 2 奈米製程技術。這一技術有望在未來提供更高的性能和更低的功耗，進一步支持 AI 技術的發展。2 奈米技術將能夠實現更高的晶片集成度，並在性能和能效方面取得更大的突破。

台積電的封裝技術創新 (圖 4-5)

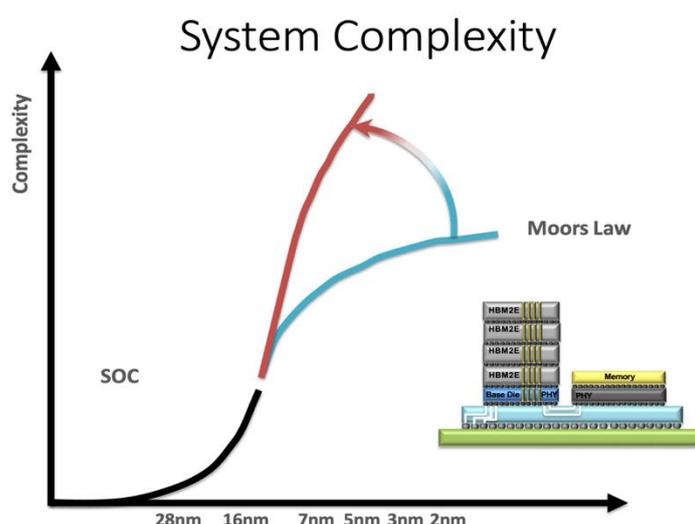


圖 4-5 先進製程的變化

資料來源：本研究整理

封裝技術對於晶片的性能、功能和散熱至關重要。台積電在封裝技術上的創新，使得 AI 晶片能夠在小型化的同時實現高性能和高效能。以下是台積電在封裝技術方面的幾項重要創新：

(一) CoWoS (Chip-on-Wafer-on-Substrate) 技術

1. **技術概述：**CoWoS 技術是一種高效能的 3D 封裝技術，將多個晶片芯片堆疊在一起，並通過高密度的互連技術實現高速數據傳輸。這種技術能夠提供高帶寬和低延遲的數據傳輸，支持複雜的 AI 計算需求。



2. **AI 應用**：CoWoS 技術已被應用於許多高效能 AI 處理器中，如 NVIDIA 的 B100 GPU，能夠支持高效能計算和大規模的 AI 模型訓練。

(二) InFO (Integrated Fan-Out) 技術：

1. **技術概述**：InFO 技術是一種先進的封裝技術，通過在晶片上方進行重新分佈的方式來提升封裝密度。這種技術能夠實現更高的 I/O 密度和更好的散熱效果，適用於高效能晶片的封裝需求。
2. **AI 應用**：InFO 技術能夠支持高效能 AI 晶片的設計，提升晶片的 I/O 性能和散熱能力，適合用於高效能計算和數據處理應用。如 Apple iPhone A8 晶片開始使用 InFO 到 2025 年 iPhone A18 依舊沿用 InFO。

(三) TSV (Through-Silicon Via) 技術

1. **技術概述**：TSV 技術是一種垂直互連技術，通過在晶片中嵌入垂直導通孔實現多層晶片之間的高效能互連。這種技術能夠提供更高的數據傳輸速率和更低的延遲，支持複雜的計算需求。TSV 是 CoWoS 重要的關鍵技術。
2. **AI 應用**：TSV 技術在高效能 AI 處理器中得到廣泛應用，如記憶體和處理器之間的高效能互連，能夠提高 AI 模型的計算速度和性能。

(四) SoIC (System on Integrated Chips) 技術

1. **技術概述**：SoIC 技術是一種先進的封裝技術，通過將不同功能的晶片整合在同一個封裝中，實現系統級的集成。這種技術能夠提供更高的集成度和更好的性能，適用於複雜的 AI 系統需求。
2. **AI 應用**：SoIC 技術能夠支持多功能晶片的集成，提升 AI 系統的整體性能和效率，適合用於高效能計算和智能設備。



台積電的散熱技術創新

散熱技術對於高效能晶片的穩定運行至關重要。AI 晶片在運行過程中會產生大量的熱量，如何有效地進行散熱是台積電需要解決的重要問題。以下是台積電在散熱技術方面的幾項重要創新：

(一) 先進散熱材料

1. **高導熱材料**：台積電使用了多種高導熱材料，如氮化鋁 (AlN) 和石墨烯，以提高晶片的散熱效果。這些材料具有優異的導熱性能，能夠有效地將熱量從晶片中導出，降低晶片的工作溫度。
2. **熱界面材料 (TIM)**：改進的熱界面材料能夠提高晶片和散熱裝置之間的熱傳導效率，確保晶片在高負荷運行時仍能保持穩定的工作溫度。

(二) 散熱結構設計

1. **散熱片和散熱通道**：台積電在晶片設計中引入了先進的散熱片和散熱通道結構，通過這些結構可以更有效地將熱量散發到外部。這些設計有助於提高晶片的散熱效率，降低工作溫度。
2. **液冷技術**：台積電也在探索液冷技術的應用，這種技術能夠通過流動的液體來帶走晶片產生的熱量，提供更高效率的散熱效果。

(三) 熱管理技術

1. **智能熱管理**：台積電在晶片設計中集成了智能熱管理系統，能夠實時監控晶片的工作溫度，並根據實際需求調整散熱策略。這種技術有助於實現更精確的熱量控制，保證晶片的穩定運行。
2. **熱分佈優化**：通過優化晶片內部的熱分佈設計，台積電能夠有效地減少局部過熱現象，提高晶片的整體散熱性能。



台積電在 AI 世代的綜合應用

台積電在 AI 世代的製程、封裝技術和散熱方面的創新，不僅提升了 AI 晶片的性能和能效，還為整個半導體行業樹立了標杆。這些創新技術在實際應用中展現了卓越的性能，對 AI 技術的發展起到了積極推動作用。

(一) AI 晶片的性能提升

1. **高效能運算**：台積電的先進製程技術使得 AI 晶片能夠在更小的面積上實現更高的運算性能，支持複雜的 AI 模型和大規模數據處理。
2. **低功耗設計**：改進的製程和封裝技術使得 AI 晶片在高效能運算的同時，能夠保持較低的功耗，提升了能效比。

(二) AI 應用場景的拓展

1. **超級計算機**：台積電的技術創新使得超級計算機能夠處理更加複雜的 AI 計算需求，支持科研、工程和數據分析等領域的應用。
2. **智能設備**：在智能手機、智能家居和自動駕駛等應用領域，台積電的先進技術提供了支持，提升了設備的智能化水平和性能。

(三) 未來技術展望

1. **量子計算**：量子計算有望成為未來 AI 運算的新方向，台積電需要在量子計算技術上進行探索和投入，為未來的 AI 技術發展提供支持。
2. **新型材料**：如石墨烯和碳奈米管等新型半導體材料可能會取代傳統材料，台積電應密切關注這些材料的發展，並探索其在 AI 晶片中的應用。

本研究透過商業模式九宮格 (BMC)，分析台積電如何透過先進製程封裝與散熱技術在 AI 與 HPC 市場中保持競爭優勢，台積電在 AI 世代的製程、封裝技術和散熱方面的創新，為半導體行業和 AI 技術的發展提供了強大的支持。先進的製程技術提升了晶片的性能和能效，創新的封裝技術改善了晶片的集成度和散熱效果，而先進的散熱技術則保障了晶片在高負荷運行中的穩定性。這些技術創新不僅滿足了當前 AI 應用的需求，也為未來技術的發展奠定了基礎。



4-8 台積電在 AI 世代的貢獻

人工智慧 (AI) 技術的發展推動了高效能運算 (HPC)、自駕車、5G 通訊、雲端計算等應用的爆發性成長，這些應用對半導體製造技術提出了前所未有的挑戰與機會。作為全球最大的晶圓代工廠，台積電 (TSMC) 透過先進製程、3D 封裝技術、矽光子、共同封裝光學 (CPO) 等創新技術，在 AI 晶片市場中扮演關鍵角色。

本研究運用波士頓矩陣 (BCG 矩陣) 分析台積電在 AI 世代的產品組合，探討哪些技術與製程處於明星產品、金牛產品、問題產品、老狗產品的發展階段，並根據技術演進趨勢提出優化策略 (表 4-8)。

表 4-8 台積電 AI 產品與技術 BCG 矩陣

BCG 矩陣類別	台積電 AI 相關技術與產品	技術分析與市場定位
明星產品	3 奈米製程	台積電 3 奈米技術專為 AI 設計，高效能低功耗，成為 NVIDIA、Apple、Google 的首選製程。
	SoIC 3D 堆疊封裝	透過異質整合提升 AI 加速器運算效率，適用於 HPC 晶片 (如 NVIDIA H100)。
	矽光子技術 (Silicon Photonics)	用於 AI 訓練數據中心，提高 800G/1.6T 光通訊傳輸能力，降低功耗。
金牛產品	5 奈米製程	目前 AI 晶片的主流技術，如 AMD MI300X、Google TPU、Tesla Dojo 採用該製程。
	CoWoS 封裝技術	高效能運算 (HPC) AI 晶片的標準封裝技術，市場需求穩定，為台積電帶來高營收。
問題產品	CPO (共同封裝光學)	剛起步的新興技術，若能成功普及，將大幅提升 AI 數據中心傳輸效能。
	Chiplet (晶片小晶片架構)	需要整合生態系資源，市場仍在發展初期，可能成為 HPC 晶片的標準架構。
瘦狗產品	7 奈米及以上製程	在 AI 晶片市場需求逐漸減少，僅適用於低階產品或 IoT 應用。

資料來源：產業研究報告、本研究整理



AI 技術創新趨勢與台積電的優化建議

- 1. 明星產品：**持續強化 AI 製程與封裝技術。3 奈米製程與 SoIC 3D 堆疊技術是 AI HPC 晶片的關鍵發展方向，應加速 2 奈米技術的開發。矽光子技術目前主要應用於數據中心與 AI 訓練，台積電應持續擴展產能，滿足 NVIDIA、Meta 等科技巨頭的需求。
- 2. 金牛產品：**確保 5 奈米 HPC 晶片的市場地位。5 奈米技術雖然市場成長趨緩，但仍然是 AI 加速晶片的主流，應繼續提升良率與封裝技術，以降低成本並保持市場優勢。而 CoWoS 封裝技術仍然是 AI HPC 晶片的標準技術，未來應與矽光子技術與 CPO 結合，進一步提升效能。
- 3. 問題產品：**推動新興技術的市場接受度。CPO（共同封裝光學）與矽光子技術仍處於市場早期階段，台積電應加強與光學元件供應商合作，促進 CPO 在數據中心的應用。Chiplet 技術雖然具備高效能與可擴展性，但仍需解決異質整合與生態系標準化問題，台積電可透過聯盟（如 UCIe 統一標準）加速產業發展。
- 4. 瘦狗產品：**降低舊製程依賴，聚焦高毛利技術。7 奈米及以上技術逐漸被 5 奈米與 3 奈米取代，應降低在低階製程的投資，將資源轉向 AI 晶片與 HPC 市場。

作為全球領先的半導體代工廠商，台積電（TSMC）在推動 AI 技術發展中扮演了至關重要的角色。台積電的技術創新和產業支持，促進了 AI 晶片的高效能設計和大規模生產，台積電在 AI 世代中的貢獻，包括其在 AI 晶片設計支持、技術合作、產業生態系統建設以及對未來 AI 技術的推動等方面的影響。



台積電在支持 AI 晶片設計和生產方面的貢獻是其在 AI 世代中最顯著的成就之一。以下是幾個關鍵領域：

- 1. 先進製程技術的提供：**台積電的先進製程技術，如 7 奈米、5 奈米和 3 奈米，為 AI 晶片的設計提供了強大的技術支持。這些製程技術使得晶片能夠實現更高的運算性能、更低的功耗和更高的集成度，從而支持複雜的 AI 演算法和大規模數據處理。
- 2. 專用處理器的支持：**台積電為專用 AI 處理器，如張量處理單元 (TPU) 和神經網絡處理單元 (NPU)，提供了先進的製程和封裝技術。這些處理器在 AI 模型的訓練和推斷中發揮了關鍵作用，台積電的技術支持使這些專用處理器能夠實現更高效的計算。
- 3. 高效能計算需求的滿足：**隨著 AI 計算需求的增長，台積電在高效能計算領域的技術創新滿足了對於高速運算、大容量記憶體和低延遲數據傳輸的要求。這些技術支撐了超級計算機和大型 AI 模型的運行，促進了 AI 技術的進一步發展。
- 4. 量產能力的提升：**台積電擁有強大的生產能力，能夠大規模量產 AI 晶片，滿足市場對 AI 技術的廣泛需求。通過先進的製造設備和嚴格的品質控制，台積電保證了 AI 晶片的高質量和高穩定性。

技術合作和產業生態系統建設

台積電在 AI 世代中的貢獻不僅限於技術支持，還包括促進技術合作和建立產業生態系統。以下是台積電在這些方面的幾個重要貢獻：

- 1. 與主要科技公司合作：**台積電與多家領先的科技公司建立了合作夥伴關係，這些公司包括 NVIDIA、Google、Apple 等… …這些合作不僅推動了 AI 晶片的技術創新，還促進了 AI 應用的發展。例如：台積電為 NVIDIA 的 A100 GPU 和 Google 的 TPU 提供了製程和封裝支持，這些處理器在 AI 計算中發揮了重要作用。



2. **開放平台的支持**：台積電建立了開放的平台，支持設計公司和創新者在其製程技術上進行創新，透過提供技術支持和設計工具，台積電鼓勵創新和技術交流，促進了 AI 晶片設計的多樣化和進步。
3. **產業生態系統的建設**：台積電致力於建立健康的產業生態系統，支持相關的技術研發和產業鏈建設。公司與設備供應商、材料供應商和設計公司密切合作，促進了半導體產業的協同發展。這些合作有助於推動 AI 技術的整體進步和應用擴展。
4. **研發和技術創新**：台積電在研發和技術創新方面投入了大量資源，這不僅促進了製程技術的發展，還推動了新技術的探索和應用。例如，台積電在 AI 加速器和量子計算領域的研發工作，為未來技術的突破奠定了基礎。

提升 AI 技術的性能和應用範圍

台積電在提升 AI 技術性能和擴展應用範圍方面做出了顯著貢獻，以下是幾個主要方面：

1. **提升 AI 運算性能**：台積電的先進製程技術使得 AI 晶片能夠在更小的面積上實現更高的運算性能。這使得 AI 模型的訓練和推斷變得更加高效，支持更複雜的 AI 應用和服務。
2. **推動邊緣計算的發展**：隨著邊緣計算需求的增加，台積電的技術創新支持了邊緣設備的高效能運算。這些邊緣設備能夠在本地進行 AI 計算，實現低延遲、高效率的數據處理，推動了智能設備和物聯網 (IoT) 的發展。
3. **支持自動駕駛技術**：自動駕駛技術對 AI 晶片的性能要求極高，台積電的技術支持了這一領域的發展。通過提供高效能的處理器和專用 AI 加速器，台積電促進了自動駕駛技術的實現和應用，支持智能交通系統的發展。
4. **推動智能設備的智能化**：台積電的技術創新提升了智能設備的性能，使其能夠支持更多的智能功能。從智能手機到智能家居設備，台積電的 AI 晶片支持了更多的智能應用和服務，提升了用戶體驗和生活品質。



應對 AI 技術的未來挑戰

隨著 AI 技術的不斷演進，台積電在應對未來挑戰方面也做出了積極努力。以下是幾個主要挑戰及其應對策略：

- 1. 處理複雜 AI 模型的需求：**隨著 AI 模型變得越來越複雜，對於晶片的性能要求也越來越高。台積電通過持續推進製程技術和設計創新，致力於滿足未來 AI 模型對計算能力和能效的需求。例如，台積電在 2 奈米製程技術的研發中，旨在進一步提升晶片的性能和效能。
- 2. 量子計算的挑戰：**量子計算有望成為 AI 技術的新方向，但其技術挑戰也不容忽視。台積電在量子計算技術上的研究和探索，旨在為未來的量子計算應用提供支持，促進量子技術的實現和應用。
- 3. 環保和可持續發展：**隨著 AI 技術的廣泛應用，對環保和可持續發展的要求也在增加。台積電致力於在製造過程中採取環保措施，並推動綠色製造技術的應用。公司在降低能耗、減少廢料和回收利用等方面做出了積極努力。
- 4. 市場需求的不確定性：**AI 技術的市場需求變化迅速，台積電需要靈活應對市場的不確定性。公司通過建立靈活的生產體系和技術研發能力，來適應市場需求的變化，保持技術領先地位。

台積電在 AI 世代的貢獻是多方面的，涵蓋了技術支持、產業合作、性能提升和未來挑戰應對等領域，台積電的先進製程技術和封裝解決方案為 AI 晶片的設計和生產提供了強大的支持，促進了 AI 技術的發展，在提升 AI 技術性能和應用範圍方面，台積電的技術創新使得 AI 運算變得更加高效，支持邊緣計算、自動駕駛和智能設備的發展，公司也在應對未來挑戰方面做出了積極努力，包括處理複雜 AI 模型的需求、量子計算的挑戰、環保和可持續發展，以及市場需求的不確定性，隨著 AI 技術的持續演進，台積電將繼續推動技術創新，並為未來的科技進步奠定堅實的基礎。

第五章 研究結論與建議



5-1 研究結論

在 AI 浪潮的推動下，全球半導體產業正經歷劇烈變革，技術競爭從傳統製程微縮轉向 3D 堆疊封裝、異質整合（Heterogeneous Integration）、Chiplet 小晶片架構、共同封裝光學（CPO）與矽光子技術（Silicon Photonics）等領域，台積電作為全球晶圓代工龍頭，正處於 AI 時代的核心位置，希望透過技術創新、全球產能擴展及生態系合作能夠持續擔任領先者，儘管台積電以技術優勢聞名，但持續維持市場地位仍需克服多重因素影響，面臨地緣政治的壓迫，未來的挑戰重重，以下為本研究分析台積電未來的處境與結論。

- 1. 技術競爭與挑戰：**AI 高效能運算（HPC）需求的激增，使得傳統摩爾定律面臨極限，迫使產業轉向異質整合與 3D 封裝技術。台積電透過 SoIC 3D 堆疊技術、CoWoS 先進封裝、UCIE（Universal Chiplet Interconnect Express）標準化，提供 AI 伺服器與高效能運算所需的高頻寬、低延遲技術解決方案，台積電的 2 奈米 GAA（環繞式閘極）技術也即將進入量產，確保其在 HPC 晶片領域的競爭優勢，但隨著三星（Samsung）及英特爾（Intel）在 2 奈米技術上的積極布局，台積電需持續強化先進製程的研發與量產能力，在未來維持市場領導地位是很困難的挑戰，摩爾定律趨緩後，產業逐步轉向異質整合、3D 封裝、矽光子等技術，台積電必須在這些新興技術領域保持技術突破，才能維持競爭優勢。
- 2. AI 市場與產品發展：**本研究使用 BCG 矩陣分析顯示，AI 產業的產品生命週期正逐步進入技術密集與市場擴張階段，3 奈米與 5 奈米 HPC 晶片已成為市場主流，而即將量產的 2 奈米製程將進一步提升 AI 晶片效能，Chiplet 技術逐步取代傳統單片晶片架構，使得 AI 設計公司如 NVIDIA、AMD、Google TPU 轉向異質整合設計，進一步強化台積電在 AI 產業鏈中的戰略地位。然而，AI 市場需求波動性高，受經濟景氣影響較大，台積電需確保生產規模與市場需求相匹配，以降低庫存風險，台積電的全球擴產計



畫亦帶來成本壓力，美國與日本新廠的運營成本遠高於台灣，若無法有效控制成本，可能影響整體利潤率。

3.地緣政治影響與供應鏈風險：從全球產能佈局的角度來看，台積電透過美國、日本與歐洲的擴展計畫，強化供應鏈彈性，以降低地緣政治風險。然而，美中科技戰、美國《晶片法案》（CHIPS Act）在川普第二任期的改變、歐洲半導體自主計畫及日韓半導體戰略，使得台積電的營運模式和全球佈局面臨挑戰（例如：美國與歐盟政府積極推動半導體供應鏈本土化，迫使台積電在亞利桑那州與德國設廠，雖有助於降低地緣政治風險，但也面臨高昂的建設與人力成本。）此外，中國市場為全球最大的半導體市場之一，台積電必須在技術輸出與市場份額之間取得平衡，以降低技術外流風險。

4.產業競爭與製程發展：台積電持續領先的難度亦來自於技術競爭加劇。三星（Samsung Foundry）計畫於 2025 年量產 2 奈米製程，並在 2027 年推出 1.4 奈米技術，其 GAA（環繞閘極）技術可能在某些應用上超越台積電的 FinFET 製程，而英特爾（Intel Foundry Services, IFS）透過 IDM 2.0 策略進入代工市場，並與美國政府合作，希望在 2025 年超越台積電。EUV 光刻技術接近極限，2 奈米以下製程的突破，與良率提升變得更加困難，台積電需在 3D 封裝、Chiplet、矽光子技術等領域持續創新。

5.成本壓力與人才短缺：從成本角度來看，台積電的 2 奈米製程投資金額高達 300 億美元，且研發成本逐年上升。同時，美國亞利桑那州新廠的建設成本比台灣高出 3-5 倍，導致生產成本增加。此外，全球半導體人才短缺，特別是在美國、日本等地，台積電需支付更高薪資以吸引人才，進一步推高營運成本。

6.供應商強化：積電需強化供應鏈韌性，減少對單一國家的依賴，擴大與美國、日本、韓國的供應商合作，以確保原材料供應穩，深化與 ASML、應用材料（AMAT）、東京威力科創（TEL）的合作，以確保 EUV 與未來 High-NA EUV 技術供應穩定。



AI 產業的快速發展雖帶來巨大的市場機會，但市場需求波動性高，挑戰者眾多，使台積電需在產能規劃上謹慎應對，競爭對手的技術挑戰、全球擴張所帶來的營運成本壓力、地緣政治風險與供應鏈不確定性等... ..透過持續投資先進製程技術、深化全球生產基地布局、強化供應鏈韌性以及推動環保永續發展，台積電有望穩固其市場領導地位，然而，如何在競爭日益激烈的環境中兼顧技術創新與成本控制，將成為影響其未來發展的關鍵。

5-2 研究建議

根據本研究對台積電 AI 產業發展的分析，建議台積電在未來發展中應從技術創新、全球產能佈局、供應鏈管理、人才戰略、生態系與綠色整合製造、AI 產業鏈合作，幾個大方向進行策略調整，以確保市場地位並應對 AI 產業的快速變革。

- 1. 強化 AI HPC 晶片與封裝技術創新，突破摩爾定律限制：**AI 晶片市場的高速發展使得 HPC 晶片的需求不斷提升，台積電應加速 2 奈米 GAA 製程技術開發，並提前布局 1.4 奈米以下的先進製程技術，確保 HPC 晶片市場的技術領先。隨著摩爾定律趨緩（圖 5-1），半導體製程微縮的物理挑戰日益顯現，台積電應同時加速發展 SoIC、CoWoS 等 3D 封裝技術，以提升 AI 與 HPC（高效能運算）晶片的效能，確保市場競爭力，而在 AI 訓練與推理中，2 奈米與 1.4 奈米製程將成為下一階段技術競爭的關鍵，SoIC 3D 堆疊封裝、CoWoS 先進封裝、Chiplet 應用也是未來技術核心，台積電應持續提升封裝技術的產能與良率，以應對市場需求，強化與 AI 晶片企業的合作，提升高效能運算與 AI 應用的市場競爭力。

Moore's Law is Slowing Down

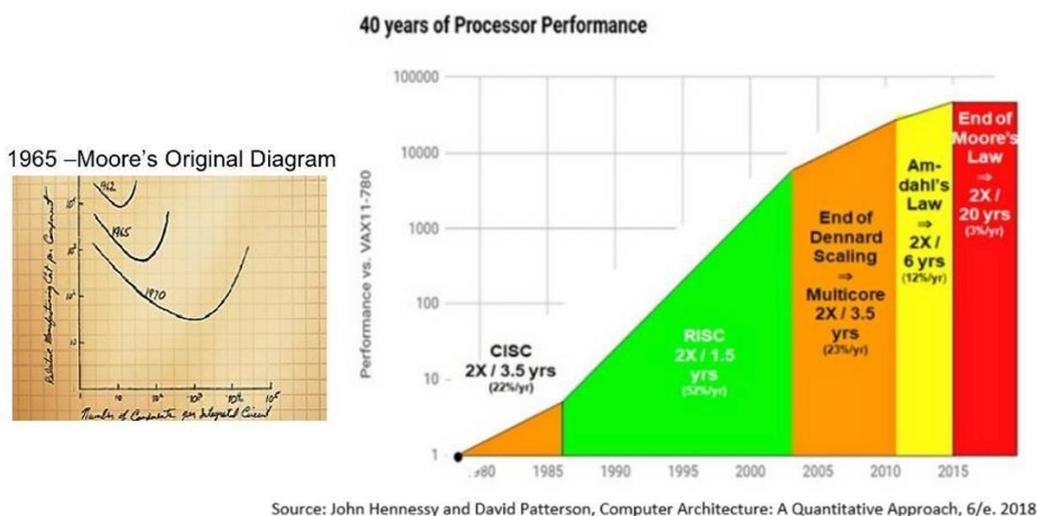


圖 5-1 摩爾定律的放緩與終止

資料來源：John Hennessy and David Patterson, Computer Architecture: A Quantitative Approach, 6/e. 2018

- 2. 推動 CPO 共同封裝光學技術標準化，加速數據中心應用：隨著 AI 伺服器與數據中心的高速成長，CPO 與矽光子技術將成為未來 HPC 計算的重要趨勢，台積電應與 Intel、Broadcom 等 AI 晶片供應商合作，加速 CPO 技術標準化，提升 HPC 數據中心的高頻寬與低功耗運算效能，並積極投資 800G、1.6T 高速光學傳輸技術，確保 AI 伺服器市場的競爭力，透過強化矽光子技術與高速互連技術的研發，能進一步提升 AI 與數據中心市場的佔有率，持續探索新型材料，以利突破矽材料的物理極限，並發展 CPO 與矽光子技術，可進軍 800G、1.6T 光通訊市場，應對未來 6G 通訊與數據中心的高速傳輸需求。
- 3. 深化全球產能佈局，提高供應鏈彈性：隨著全球科技競爭加劇，半導體產業已成為國際戰略競爭的核心，台積電作為全球晶圓代工龍頭，面臨來自地緣政治、供應鏈變動與市場競爭的多重挑戰。美中科技戰、歐洲半導體自主計畫，以及日韓半導體發展戰略，都可能影響台積電的營運模式與全球佈局。



台積電需要透過靈活的全球戰略與供應鏈管理，降低政治風險，確保其市場領先地位，面對美國與歐洲推動半導體供應鏈本土化，台積電應採取區域化生產策略，確保市場穩定與技術領先，美國亞利桑那廠聚焦 5 奈米與 4 奈米成熟技術，滿足《晶片法案》的補助要求，同時減少先進技術外流風險。而日本熊本廠，強化與索尼（Sony）和 Denso 合作，專注 12 奈米至 28 奈米的成熟製程，以深化車用與工業晶片市場，並降低對先進製程的依賴。歐洲市場則聚焦汽車與高效能運算市場，台積電應積極與歐盟半導體計畫（IPCEI）合作，搶占歐洲車用晶片市場，並參與歐盟的半導體補助計畫，鞏固市場地位的同時，參與這些補助計畫，有助於降低建廠與營運成本，並獲取更多當地市場的支持。

4. **供應鏈韌性強化：**為降低地緣政治對供應鏈的影響，台積電應推動供應鏈多元化（Deloitte et al., 2024），確保生產原料與設備來源不受單一國家限制，台積電應深化與美國、日本、韓國的供應商合作，提升美日歐本地供應鏈占比，降低對台灣的依賴，與 ASML、應用材料（Applied Materials）、東京威力科創（TEL）深化合作，確保 EUV 光刻機與先進製程設備的穩定供應，並建立區域性供應鏈中心，可降低跨境物流與貿易壁壘的風險，提升供應鏈韌性。
5. **解決人才短缺，建立全球人才戰略：**台積電需加強全球半導體人才培育計畫，以應對人才短缺問題。台灣方面，應持續與清華、交大、台大等頂尖大學合作，建立半導體工程師培育計畫。國際方面，可在美國、日本、歐洲設立企業學院，培養本地半導體人才，減少對台灣工程師的外派依賴。亦可透過提升員工福利與薪酬，以提高工程師留任率，並提供更多本地化薪酬與職業發展機會，吸引美國與日本當地人才加入。
6. **推動綠色製造與低功耗 AI 晶片技術發展：**AI 計算的能耗問題逐漸成為產業關注的焦點，台積電應加強低功耗 AI 晶片技術開發，並提升晶圓廠碳中和與水資源回收的技術能力，擴大再生能源使用，目標 2030 年全球廠區使用 50% 再生能源，2050 年達成碳中和。同時，開發低功耗晶片，以吸引 AI 與雲端公司（如 Google、Amazon、Microsoft）使用，更符合國際碳排放標

準，提升半導體製程用水回收率，以減少對台灣水資源的依賴，並符合 ESG 投資者要求。

7. **加強 AI 產業鏈整合，深化生態合作：**AI 產業的競爭不僅是技術競爭，更是產業生態系的競爭，台積電應進一步加強與 NVIDIA、Google、Meta、Tesla 等 AI 企業的戰略合作，共同開發 AI HPC 晶片，提升產業鏈的競爭力，並積極與 EDA（電子設計自動化）軟體公司、半導體設備商、IP 供應商建立更緊密的合作關係，以確保未來 AI 晶片市場的領導地位。

台積電應在產業中持續深化技術創新、供應鏈管理、產能佈局與生態整合，確保 AI 時代的發展，透過全球產能布局、供應鏈韌性強化、政策等... 應對，可確保其在市場的影響力與主導性，台積電在全球半導體產業發展中的多重變數與挑戰，必須透過全面且靈活的策略來應對，才能確保市場的領導地位。

參考文獻



一、中文文獻

1. 三谷宏治，2015，*經營戰略全史*，台北：先覺出版社。
2. 李佳蓁、王宣智、呂建興、林正益、黃嫻琿、範哲豪、張筠苙、陳靖函、黃鈺嫻、黃慧修、劉美君、練惠玉與蘇建維，2024，*2024 半導體產業年鑑*，新竹：工研院產科國際所。
3. 林書弘、陳牧言，2019，人工智慧技術於智慧醫療之理論探討與實務應用，*護理雜誌*。

二、英文文獻

1. Accenture, 2023. How Semiconductor Giants Are Transitioning Beyond Moore's Law, *Accenture Report*, 1-55.
2. Alexander Osterwalder., Yves Pigneur., 2010. *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, Hoboken: Wiley.
3. Bruce D. Henderson., 1970. The Product Portfolio, *Boston Consulting Group Report*, 1-10.
4. Charles Handy., 2015. *The Second Curve: Thoughts on Reinventing Society*, London: Random House.
5. Deloitte, 2024. AI and High-Performance Computing: The Role of Semiconductor Technology, *Deloitte Report*, 1-60.
6. Feldman B., Martin E.M, and Skotnes T, 2012. Big Data in Healthcare—Hype and Hope, *Journal of the American Medical Informatics Association*.
7. Gordon Moore., 1965. Cramming more components onto integrated circuits, *Electronics Magazine*.
8. Intel Foundry Services, 2023. Intel's Next-Generation Foundry Strategy, *Intel Report*.

- 
9. John von Neumann, 1945. First Draft of a Report on the EDVAC, *Moore School of Electrical Engineering*.
 10. Michael E. Porter., 1990. *The Competitive Advantage of Nations*, New York: Free Press.
 11. NVIDIA., 2023. NVIDIA GTC 2023 Conference, *NVIDIA Conference Proceedings*.
 12. Raymond Vernon et al., 1966. International Investment and International Trade in the Product Cycle. *The Quarterly Journal of Economics*.
 13. Samsung Foundry, 2023. Samsung's Future Foundry Strategy, *Samsung Foundry Report*.
 14. SYNOPSYS Editorial Staff., 2025. The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained, *SYNOPSYS*.
 15. Taiwan Semiconductor Industry Association (TSIA) , 2024. Global AI Semiconductor Supply Chain Strategies, *TSIA Report*.
 16. TSMC, 2023. TSMC Technology Symposium 2023, *TSMC Report*, P49.