

從先進封裝看半導體產業走向

◎江泰瑾／中華經濟研究院第二（國際經濟）研究所 助研究員

自生成式AI的迅速崛起，已在極短時間內顛覆了人們對技術的傳統認知。各國企業為了在這場技術競賽中取得領導地位與話語權，紛紛投入相關技術及終端應用。半導體先進封裝作為改變未來的核心技術之一，我們將透過分析近年的科技計畫及產業技術布局，來一窺未來的發展方向。

關鍵詞：先進封裝、半導體

Keywords: Advanced Packaging, Semiconductor

新技術帶來的產業衝擊

自2022年11月OpenAI推出ChatGPT以來，生成式人工智慧（Generative AI, Gen AI）迅速崛起，短時間內已成為全球無論男女老幼都在討論的議題。與過去的數位轉型不同，Gen AI的浪潮以更快的速度和更廣泛的應用範圍，不知不覺的改變了我們目前的生活和工作方式。只在這短短一年內，Gen AI的應用呈現爆炸性增長，不僅在技術層面取得重大突破，更迅速滲透並重塑了我們的工作模式和生產流程，其影響力將持續擴大並深入影響各專業領域（domain knowledge）和社會層面。

從台積電的財報中觀察到（見表1），

除了營收結構的表示方式改變之外，可發現近三年內高速運算晶片的營收占比逐步取代了手機晶片。在這波Gen AI的崛起之下，Google和Samsung也分別推出升級至AI功能的手機產品，同時Apple也正透過Apple Intelligence開發Gen AI，預計在今（2024）年秋季推出的相關產品中應用該技術以維持其領導地位¹。然而，除了手機的終端運算之外，若在其他領域的應用上則需要一個強大的資料中心（data center）來進行運算，因此傳統數據中心必需重新評估，以滿足未來的算力（hashrate）需求。目前，Google、Microsoft、Apple、Amazon和Meta等公司都在積極部署資料中心以及研發自家的AI晶片，因此未來的AI發展將不僅限於終端設備，還將涉及到更為廣泛和深遠的基礎設施變革。



表1 台積電2017至2023年營收組成

年度 營收占比 (%)	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017
智慧型手機	38	39	44	48	49	45	
高效能運算	43	41	37	33	30	33	
電腦相關							9
通訊							59
消費性電子產品							9
工業/標準級							23
物聯網路	8	9	8	8	8	6	
汽車業	6	5	4	3	4	5	
數位消費電子	2	3	4	4	5	6	
其他	3	3	3	4	4	5	

資料來源：作者依台積電財報整理。

品牌商造成的產業鏈集中

目前，輝達（Nvidia）在全球 AI 市場占據主導地位，擁有近 90% 的市場占有率，幾乎壟斷了整個 AI 運算資源。透過提供高性能的資料中心、雲端服務（cloud service）、自動駕駛（autopilot）及嵌入式系統（embedded system）等服務，Nvidia 成為半導體產業史上首家市值突破 2 兆美元大關的公司²，反映出生成式 AI 應用如 OpenAI 的 ChatGPT 對高性能晶片需求的強勁動力，也意謂半導體產業正進入一個無休止的發展狀態。

半導體與 AI 在科技產業的發展中相為表裡相互依存，AI 不僅重新定義了晶片設計（integrated circuit design, IC Design），也在辨識缺陷（IC Chip defect detection）、製程優化及預測故障等方面提供了解方，大幅提升半導體產業的效率和獲利能力，同時 AI 的發展也催生了滿足其獨特需求而設計的

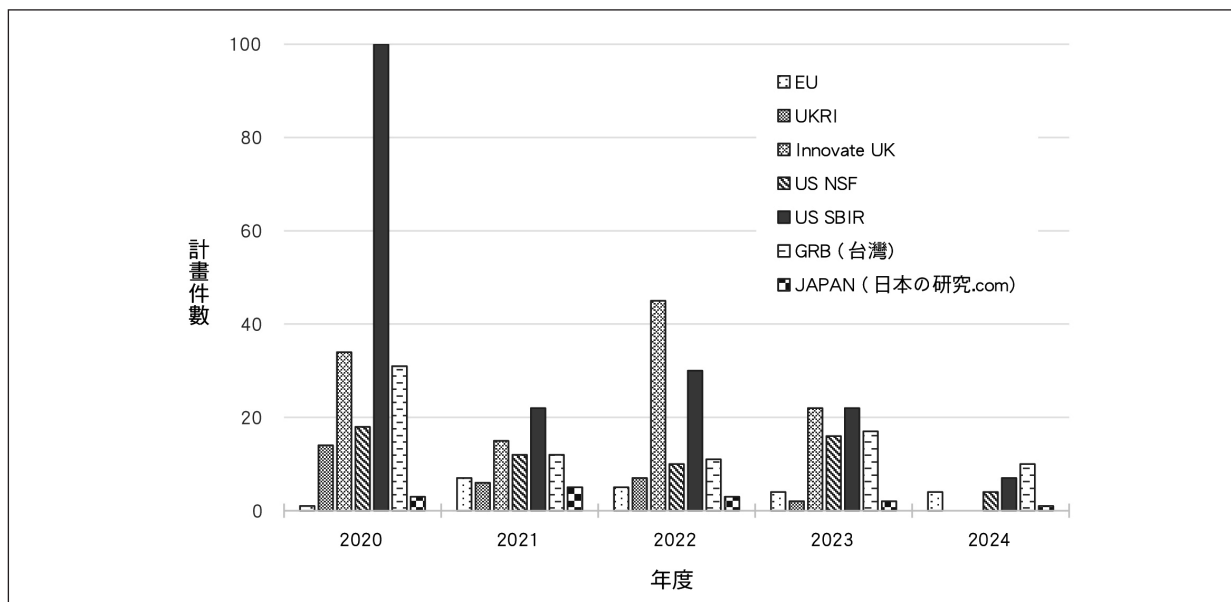
晶片。由於過去在品牌商與組裝廠的生產布局上，無形之中亞洲地區成為了半導體封裝（semiconductor package）產業的主要集中地，如臺灣、馬來西亞、韓國、菲律賓、越南及中國大陸，而先進晶片封裝部分美國僅占全球約 3%³。先前通過之晶片及科學法（CHIPS and Science Act）主要補助目標為提高美國晶片製造的全球市占率，導致迄今大部分聯邦資金用於半導體晶片製造。為了應對這一局面，美國和歐盟等國家正積極重建自己的半導體供應鏈。近期，美國宣布計劃投資 16 億美元於國家先進封裝製造計畫（National Advanced Packaging Manufacturing Program），期望提升本土封裝技術，以在 AI 等應用所需的零組件領域超越中國大陸，確保其在全球市場的競爭優勢。這一舉措不僅顯示半導體產業在國家戰略中的重要地位，隨著 AI 技術的進一步發展，半導體產業將繼續成為技術創新的核心驅動力，並在全球經濟中扮演愈發關鍵

的角色。

以科技面來看美中貿易戰下的技術發展

透過中華經濟研究院主要國家研發計畫題目資料庫（Chung-Hua Institution for Economic Research RD Info Database, RD INFO）與日本の研究.com系統，對2020至2024年以「先進封裝」為關鍵字進行相關計畫檢索（見圖1）。由檢索結果發現這些計畫與美中貿易戰的時序變化密切相關，亦反映了技術研發投入與政策方針的發展脈絡。回顧2018年，時任美國總統川普簽署中國經濟侵略備忘錄（Memorandum Targeting China's Economic Aggression），指控中國大陸竊取

美國智慧財產權和商業秘密，並根據1974年貿易法第301條（Section 301 of the Trade Act of 1974），川普要求貿易代表對從中國大陸進口的商品徵收關稅並設置其他貿易壁壘，以迫使中國大陸改變其不公平貿易行為。同年，美國國防部高等研究計畫署（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）宣布在五年內投入15億美元以支持半導體產業的長期發展。在DARPA的電子復興計畫（Electronics Resurgence Initiative, ERI）包含更靈活且新穎的晶片架構，以滿足AI和高速運算等新技術的需求，並與產、學、研機構合作進行材料與晶片設計等方面的研究。透過資料庫的檢索結果，我們可以清晰地看到美中貿易戰對先進封裝技術研發的影響，以及相關政策如何驅動技術進步和產業發展。



注：檢索欄位Academic_Institution, Project_Title, Call_Title, Programme_Title, Project_Keywords, Project_Tags, Project_Abstract；關鍵字Advanced和Packaging；半導體パッケージング & Advanced Packaging。檢索時間2024年7月22日。

資料來源：作者繪製。

圖1 各國2020至2024年度核定之先進封裝相關科研計畫數



根據圖 1 顯示，過去五年中美國在先進封裝領域的補助計畫中，以小型企業創新研發計畫（Small Business Innovation Research Program, SBIR）的件數最多。SBIR 涵蓋多個聯邦機構，包括國家衛生研究院（National Institutes of Health, NIH）、國家航空暨太空總署（National Aeronautics and Space Administration, NASA）、

能源部（United States Department of Energy, DoE）以及國防部（United States Department of Defense, DoD）等，因 SBIR 主要為針對中小型企業提供研究經費與產業化試行等補助，惟本文撰寫期間 2024 年度相關核定計畫尚未完全公告，因此我們將專注於 2020 至 2023 年進行相關計畫的經費來源與技術發展進行研析。

表2 2020-2023年美國SBIR核定之先進封裝計畫

年度（件數） 經費來源	DoD	DoE	NIH	NASA
2020	58	4	2	36
2021	14	0	0	14
2022	14	0	0	14
2023	12	0	0	10

資料來源：作者整理。

從計畫類型及補助單位來看，可發現 2020 年 DoD 相關計畫主要聚焦於具有高焓能力的高超音波速尾流檢測（Hypersonic Wake Detection with High Enthalpy Capabilities）、AI 最適化導彈維護（Using Artificial Intelligence to Optimize Missile Sustainment Trade-offs）、拖曳陣列位置測算系統（Towed Array Position Estimation System）及水下聲納（sonar）與相關系統研究等，與封裝技術有關連性之計畫僅占 16 % 且聚焦於航電封裝技術（avionics packaging technology）上；而 NIH 及 NASA 則聚焦於樣品保存技術與太空環境之系統封裝上。同年臺灣則聚焦於製程相關技術，如模擬設計法結合 AI 理論來進行先進封裝之可靠度評估、數位微影之對位量測與對位誤差模型開發、2.5D 異質整合（heterogeneous

integration, HI）平台之開發與整合自我組裝之研究、3D 小晶片（chiplet）異質整合封裝之設計及其力學行為研究、氮化鎵（gallium nitride, GaN）功率元件暨模組應用、及高頻異質封裝之雷射切割面板級載板平台技術等；日本則主要聚焦於面向後 5G 無線基礎設施的高效率低成本毫米波收發器等通傳相關技術。

美國從 2021 年起則開始聚焦於光學（optics）、能源 / 電源模組類以及材料類的相關開發及相關應用，如微光學中廣泛適用的支援光路開發（Development of a Widely Applicable Supporting Optical Circuit in Micro Optics）、固態高壓電源模組開發及封裝用於高功率微波驅動器（Development of a Widely Applicable Supporting Optical Circuit in Micro Optics）以及高效率、低尺寸重量和功率

（SWaP）的固態功率放大器（SSPAs）用於感測器應用（High Efficiency Low Size Weight and Power Solid State Power Amplifiers for Sensor Applications）等，雖說仍偏向於軍事類用途，且封裝相關計畫提升達到總件數的50%。臺灣部分則開始出現生醫、光通訊、破壞檢測、熱學模擬以及由政府主導之半導體設備與AI晶片等研究計畫，如AI微小系統晶片先進封裝SiP在穿戴裝置慢性疾病生理量測研究、用於下世代資料通信400/800 Gbps SR-8光收發模組的開發、以及政府主導之半導體設備產業推動計畫及AI on chip終端智慧發展計畫等；日本則以生醫為主如直接積層模內電子基板創成與淺層皮下信息可視化薄膜開發等計畫。

2022年美國則偏重於航空、耐候性（weatherability）、光通訊、天線技術、及光電整合等相關技術為主，且補助計畫幾乎都為封裝相關，如高溫封裝技術用於惡劣飛行環境（Packaging High Temperature Electronics for Harsh Flight Environments）、

高溫基板（Substrates for High Temperature Electronics）、高速數位光纖傳輸器（High-Speed Digital Fiber-Optic Transmitter）等。臺灣部分則以節能、結構分析/檢測、光通訊、製程模擬為主，如前瞻半導體封裝製程設備之智慧節能程序與伺服控制技術研發、半導體先進封裝製程之線上智能化AOI關鍵檢測技術與虛實整合系統研發、先進自動化光學檢測設備等。日本則開始切入設備研發、節能技術，如三次元積層後製程曝光裝置研究開發等。2023年DoD補助案僅剩，使用創新先進材質的高壓封裝技術（High Voltage Package Encapsulation using Innovative and Advanced Materials）及混合實境（mixed reality, MR）與封裝技術較有關係，而臺灣部分則新增感測器、功率半導體、低軌衛星等計畫，如下世代封裝製程奈米級全方位感測技術開發計畫、先進封裝天線及前端模組於低軌衛星通訊之應用等；日本則為光學晶片之技術開發為主。

表3 2020-2023年臺美日相關技術發展課題

相關技術 計畫年度	美國 (SBIR -DoD)	臺灣 (GRB)	日本 (NEDO、JSPS)
2020	熱學模擬、水下技術、雷達陣列、航電封裝	AI模擬測算、異質整合、微影校準、小晶片結構、功率半導體、雷射技術	通傳技術
2021	光學應用、電源模組、功率元件/感測器、材料加工	生醫、光通訊、破壞檢測、設備開發、AI晶片	生醫應用
2022	航空應用、耐候性開發、光通訊、天線技術、光電整合	製程節能、結構分析/檢測、光通訊、製程模擬	設備及系統開發
2023	高壓封裝技術、混合實境	感測器、功率半導體、低軌衛星	光學晶片

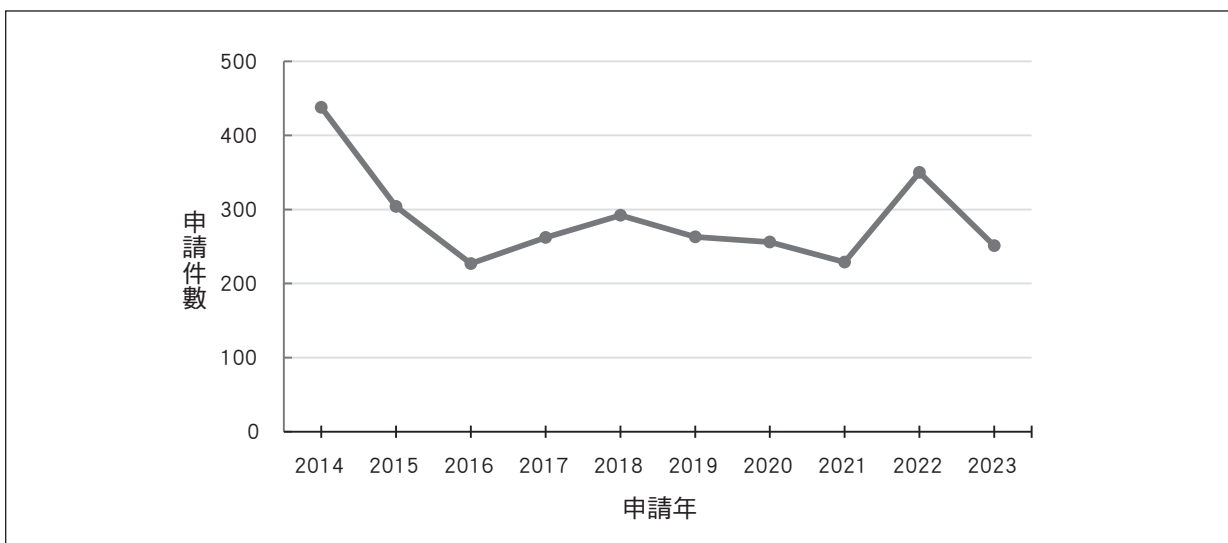
資料來源：作者整理。



從產業視角出發的先進封裝技術

從產業角度出發，透過經濟部智慧財產局的全球專利檢索系統（Global Patent Search System, GPSS），以 2020 至 2024 年間的申請案為基礎，並以關鍵字「先進封裝」進行檢索，經過專利及其家族去重處理後，共得出 1,253 筆專利。前五大申請國分別為中國大陸（628 件）、美國（385 件）、臺灣（113 件）、德國（31 件）及日本（21 件）。在專利所有人排名前十名的企業中，中國大陸占有五家，美國占有四家。詳細排名如下：華進半導體

（NCAP China）239 件、上海先方半導體（NCAP 的子公司）78 件、台積電（TSMC）75 件、英特爾（Intel）64 件、應用材料（Applied Materials）43 件、江蘇長電先進（JCET）42 件、華為（HUAWEI）26 件、合肥先進封裝陶瓷（Hefei Advanced Packaging Ceramics）20 件、蘋果公司（Apple）19 件及國際商業機器公司（IBM）15 件。這些數據顯示，中國大陸和美國在先進封裝技術領域的專利申請數量上具有明顯的領先地位，特別是中國大陸企業在此領域表現尤為突出。



注：檢索條件（Advanced Packaging）AND AD=2020:2024〔檢索去重〕〔專利家族去重〕，2024年僅17件。檢索時間2024年7月29日。資料來源：作者繪製。

圖2 國際先進封裝專利相關申請趨勢

在技術領域中，透過 International Patent Classification（IPC）國際專利分類進行三階檢索後（見表 3），我們發現排名前 15 名的技術主要集中在設備、製程、天線及材料方面。其中，半導體裝置（H01L）領域的專利

數量達到 809 件，專利所有者前五名分別為：

1. 華進半導體：擁有 214 件專利，其主要技術包括扇外型封裝（fan-out type packaging）結構、3D 記憶體（memory）結構、高密度垂直封裝、異質整合、散熱結構 / 冷卻

技術、封裝方法及材料等。

2. **上海先方半導體**：共有 70 件專利，其技術與母公司華達半導體類似，著重於 2.5D、3D 封裝技術以及高頻寬記憶體（high-bandwidth memory, HBM）封裝技術等。

3. **Intel**：擁有 59 件專利，主要集中在記憶體封裝、異質整合、深蝕刻薄膜電容器（thin film capacitors, TFCS）、矽穿孔（through-silicon via, TSV）、材料技術等方面。

4. **台積電**：擁有 39 件專利，其主要技術涵蓋異質整合、材料結構及技術、通信介面結構、裸晶封裝（Die-to-Die package）、扇外型封裝、光機電整合、矽穿孔、封裝背後供電及散熱等技術。

5. **長電先進**：擁有 36 件專利，主要技術包括封裝結構／方法、晶圓級封裝（wafer-level packaging, WLP）、扇外型封裝及晶圓

切割方法等。

這些技術的分布反映了當前半導體產業的發展趨勢，尤其是在封裝技術和異質整合方面，扇外型封裝和 3D 記憶體結構以及散熱和功耗等布局，不僅提高了元件的集成度和性能，透過專利布局可發現封裝相關技術依然以亞洲企業為主。

另一方面，在後摩爾時代（after Moore's law），提升半導體效能的途徑主要為製程微縮（microtechnology）、先進封裝和新材料開發三大方向。然而，美國亦於近期呼籲日本、荷蘭、德國、韓國等盟國試圖擴大技術封鎖的範圍，並宣布禁止向中國大陸出口七奈米以下先進製程微縮設備，此舉措迫使中國大陸不得不在封裝技術及新材料開發方面尋求突破，故可了解近 4 年相關專利如雨後春筍般出現之背後原因。

表4 2020至2024年先進封裝相關專利申請案之IPC-3階表

IPC-3 階	數量
H01L（半導體裝置；未包含在H10類中）	809
G06F（電子數位資料處理）	80
H05K（印刷電路；電氣設備之外殼或結構零部件造）	64
G02B（光學元件或系統或儀器）	52
G03F（圖紋面之照相製版工藝，如印刷工藝，半導體裝置之加工工藝）	44
C25D（層之電解或電泳生產之工藝方法）	36
G01N（測量或測試）	34
G01R（測量電變量；測量磁變量）	34
H01Q（天線）	30
H10B（電子儲存設備）	21
C08G（用碳-碳不飽和鍵以外之反應而得的高分子化合物）	18
H01S（利用受激發射之裝置）	17
B23K（軟焊或焊開）	16
B29C（塑膠之成型或連接）	16
H04L（數位資訊之傳輸）	16

資料來源：經濟部智慧財產局IPC國際專利分類查詢2023.01版



學界與產業關注方向及研發重點之差異

如同本文開篇所述，未來將有更多 AI 應用進入各個領域，在保持產品體積不變甚至更小的情況下，如何確保高性能運算與能耗需求，先進封裝技術可謂是解決方案之一。由於半導體產業屬於高設備投資產業，僅依靠政府補助難以推動先進製程的開發。因此，各國的科研計畫申請項目中有不同的側重點。例如，美國小型企業創新研發計畫的國防部補助著重於軍用相關應用，而我國與日本的科技計畫則偏向於製程模擬、結構檢測、通訊應用及效能提升等輔助技術。從科研發展的脈絡不難看出，目前熱門的技術重點如光通訊、異質整合、混合實境等，在過去幾年中皆有相對應的科研計畫。從產業視角透過專利布局切入分析後可發現，目前產業主要

針對 AI 發展的實際需求進行技術創新，例如提升運算能力與高頻寬的結構設計、異質整合、高帶寬記憶體、散熱結構和冷卻等技術。這些發展不僅能夠滿足 AI 應用對高性能計算的需求，還能有效應對能耗問題，從而推動整個產業的進一步發展。

附注

1. Digital Trends (2024). Apple Intelligence+ could be coming, and it won't be free. <https://www.digitaltrends.com/computing/apple-intelligence-potential-subscription/>
2. Forbes (2024). Nvidia Tops \$2 Trillion Market Value For First Time Ever. <https://www.forbes.com/sites/dereksaul/2024/02/23/nvidia-tops-2-trillion-market-value-for-first-time-ever>
3. The New York Times (2024). U.S. Plans Up to \$1.6 Billion in Funding for Packaging Computer Chips. <https://www.nytimes.com/2024/07/09/technology/chips-packaging-semiconductors.html?searchResultPosition=3>

