



國立臺灣大學社會科學院政治學系

碩士論文

Department of Political Science

College of Social Sciences

National Taiwan University

Master's Thesis

美國拜登政府對中科技戰具體做法：

以半導體產業為例

The Biden Administration's Concrete Measures in the U.S.—
China Tech War: A Case Study of the Semiconductor Industry

呂奇樺

Chi-Hua Lu

指導教授：唐欣偉 博士

Advisor: Hsin-wei Tang, Ph. D.

中華民國 114 年 6 月

June 2025

口試委員會審定書



國立臺灣大學碩士學位論文 口試委員會審定書

美國拜登政府對中科技戰具體做法：以半導體產業為例

The Biden Administration's Concrete Measures in the U.S.-

China Tech War: A Case Study of the Semiconductor

Industry

本論文係 呂奇樺 君（學號：R10322014）在國立臺灣大學政治學系完成之碩士學位論文，於民國 114 年 5 月 27 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

唐欣偉

（簽名）

（指導教授）

唐豪駿

黃令博

摘要



自 2018 年美中貿易戰爆發以來，美國逐步強化對中國科技實力之限制與打擊，逐漸構建出一套具有核心戰略目標的科技封鎖體系，成為當代國際權力政治與科技治理交織下極具代表性的戰略競爭案例。隨著科技於國家安全層面的重要性日益提升，先進半導體產品及相關新興技術已不再僅是促進經濟成長的生產工具，而被視為可重塑地緣政治格局與國際制度規範的戰略資產與結構性權力來源。

本研究以美中科技戰中的半導體產業為分析案例，旨在探究美國選擇半導體作為科技戰主戰場的戰略考量與政策操作邏輯。透過比較美中雙方在全球半導體產業的市場地位與結構性優勢，本文指出美國因掌握先進晶片設計工具與高階製造設備等關鍵技術節點而在供應鏈上游佔據主導地位；相較之下，中國雖在成熟製程具備規模經濟與生產成本優勢，惟其在先進製程領域仍高度仰賴外部供應之核心技術與製造設備。美國遂以先進半導體製程技術為主軸發起科技封鎖，意圖延滯中國的技術自主化進程並抑制其科技進步。

本文從出口管制、投資限制與盟友協作三個面向觀察美國拜登政府在科技圍堵過程中所運用之政策工具，系統性梳理其政策重心由市場端轉向技術端的過程，展現美國科技圍堵政策的制度性演化與擴張邏輯。研究顯示，拜登政府主要透過修訂出口管制法規以強化行政部門執法權限、擴大對敏感技術和關鍵基礎設施的雙向投資審查，以及推動小多邊主義，與關鍵盟友合作提升供應鏈韌性和鞏固圍堵防線，逐步將科技戰升級為牽動全球科技產業、地緣政治與國際治理的戰略性布局。

本研究揭示美國發動科技戰不僅為回應中國在經貿、科技、地緣政治影響力等層面的上升趨勢，更試圖將自身科技優勢轉化為主導未來科技秩序與技術標準制定之權力來源。此發展凸顯美國作為霸權國家對關鍵新興技術外溢的高度重視與前瞻性部署，也預示著科技治理將成為未來國際秩序重構的重要戰場。

關鍵詞：

科技圍堵、科技地緣政治、半導體、供應鏈安全、戰略性產業政策、科技治理

Abstract

Since the outbreak of the U.S.-China trade war in 2018, the United States has progressively intensified its restrictions and countermeasures against China's technological advancement. Over time, this has evolved into a coherent and strategically driven framework of technological containment. This situation has become one of the most representative examples of strategic rivalry shaped by the intersection of international power politics and technology governance in the contemporary era. As the significance of technology to national security continues to grow, advanced semiconductor products and related emerging technologies are no longer merely instruments of economic productivity. Instead, they are increasingly regarded as strategic assets and sources of structural power capable of reshaping geopolitical configurations and global institutional norms.

This thesis examines the semiconductor sector as the primary battlefield in the U.S.-China tech war, aiming to explore the strategic rationale and policy logic behind the United States' decision to target this specific industry. By comparing the structural positions and market influence of the U.S. and China within the global semiconductor industry, this study finds that the U.S. dominates the upstream segments of the supply chain through its control over critical technological nodes, including advanced chip design tools and high-end manufacturing equipment. In contrast, while China benefits from economies of scale and a cost advantage in mature-node manufacturing, it remains heavily reliant on foreign suppliers for essential technologies and fabrication tools in advanced processes. Consequently, the U.S. has initiated a technological blockade focused on advanced nodes to impede China's pursuit of technological self-sufficiency and suppress its technological advancement.

This thesis further analyzes the Biden administration's policy instruments for the technological containment of China across three dimensions: export controls, investment restrictions, and collaboration with like-minded allies and partners. It systematically traces the shift in U.S. policy emphasis from market access to technological chokepoints, illustrating the institutional evolution and expansion of the United States' containment policy. The findings indicate that the Biden administration has reinforced executive enforcement powers through reforms in export control regulations, expanded scrutiny of inbound and outbound investments in sensitive technologies and critical infrastructure, and pursued a minilateral approach to deepen cooperation with strategic allies and

partners, improve supply chain resilience, and strengthen the containment framework. These efforts elevate the tech war into a comprehensive strategic framework that reshapes the global tech industry, geopolitical alignments, and international governance.

Ultimately, this research reveals that the U.S. technological offensive serves not only as a strategic countermeasure to China's expanding economic, technological, and national power but also as a proactive effort to institutionalize its own technological leadership as a source of power in shaping global order and establishing technological standards for the future. This development underscores the hegemon's keen awareness and strategic foresight in managing the diffusion of critical emerging technologies, indicating that technology governance is likely to become a decisive battlefield in restructuring the international order.

Keywords:

Technological containment, Techno-geopolitics, Semiconductor, Supply chain security, Strategic industrial policy, Technology governance

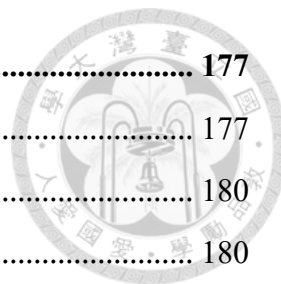
目次



口試委員會審定書	i
摘要	ii
Abstract	iii
目次	v
圖次	viii
表次	ix
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
壹、美中關係轉變與美中貿易戰	1
貳、美中科技戰目標轉向半導體產業	3
第二節 研究動機與目的	5
第三節 研究方法與研究限制	7
壹、研究方法與案例選擇	7
貳、資料來源	8
參、研究限制	8
第四節 章節安排	9
第五節 預期貢獻	11
第二章 文獻回顧	12
第一節 科技發展在國際關係領域的重要性提升	12
第二節 技術擴散對霸權地位的影響	16
第三節 美中科技競爭背景	23
壹、新興技術領域學術研究表現	23
貳、研發投資	27
參、綜合討論	29
第四節 美國對半導體產業與新興技術的關注提升	33
壹、中國獲取技術方式引起美國政府警惕	33
貳、美國政府提高對關鍵新興技術的重視	36
第五節 小結	42

第三章 半導體產業成為美國科技戰主戰場	44
第一節 背景	44
壹、半導體產業生產模式介紹	44
貳、全球供應鏈地理分布	47
參、半導體製造業的國際分工型態變遷	52
第二節 美國在全球半導體供應鏈中的優勢與挑戰	54
壹、優勢：在供應鏈上游居於主導地位	54
貳、劣勢：國內晶圓先進製造與封裝產能不足	59
參、其他潛在挑戰與機會	62
第三節 中國在全球半導體供應鏈中的優勢與挑戰	75
壹、優勢：內需龐大、在成熟製程具價格優勢與高市佔率	75
貳、劣勢：先進製程技術與關鍵生產設備對外依存度高	78
參、其他潛在機會與風險	86
第四節 小結	94
第四章 美國對中半導體圍堵具體做法	99
第一節 出口管制	99
壹、美國出口管制規定改革歷程	99
貳、ECRA 作為對中科技戰重要執法工具	101
參、美國對中出口管制規範升級	105
第二節 外資審查與投資管制	128
壹、美國加強外資審查	128
貳、美國限制對中投資禁令升級	140
第三節 聯合盟友加強圍堵力道	154
壹、美、日、荷共組半導體設備出口管制聯盟	155
貳、美、日、臺、韓共組晶片四方聯盟	158
參、美歐貿易和技術委員會	166
肆、其他小多邊主義合作機制	168
第四節 小結	169
壹、出口管制	169
貳、投資限制	172
參、聯合盟友	175

第五章 結論	177
第一節 美國科技戰的戰略目標與行動邏輯	177
第二節 科技戰手段轉變的驅動因素與戰略意涵	180
壹、美國科技管制政策擴張的驅動因素	180
貳、美國科技封鎖策略的政治意涵	181
第三節 對中科技圍堵的政策挑戰	183
壹、走私問題	183
貳、對成熟製程半導體實施管制	185
參、中國的反制措施	187
肆、美國圍堵目標轉向防範新興 AI 技術擴散	190
第四節 結語	192
參考文獻	193



圖次

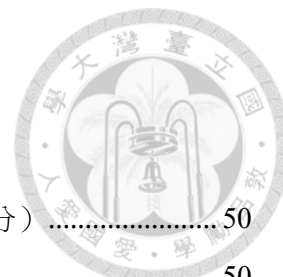


圖 1	半導體製造設備供應商全球地理分布（依企業總部區域收入劃分）	50
圖 2	半導體材料領域的市場規模和主要供應商數量	50
圖 3	2022-2032 年 ATP 產能區域成長趨勢預測	51
圖 4	台積電、三星、INTEL 先進製程技術發展比較	60
圖 5	2023-2024 年全球排名前十大先進封裝技術供應商（依收入排名）	61
圖 6	2022 年與 2032 年（預測）全球晶圓製造能力比較（依晶片類別與區域劃分）	62
圖 7	2023 年晶圓製造設備供應商市佔率（依設備類別區分）	64
圖 8	2018-2022 年美國前六大半導體企業營收來自中國的比例	67
圖 9	2022-2023 年全球前五大半導體設備供應商營收來自中國的比例	67
圖 10	2014-2024 年全球各區域半導體設備銷售統計（單位：十億美元）	82
圖 11	2002-2022 年全球半導體製造附加價值市場份額	86
圖 12	商業管制清單（CCL）出口管制貨品編號規則	104
圖 13	2000-2020 年美國與中國之間外國直接投資金額變化	132
圖 14	2009-2023 年中國企業涉及受管轄交易的申報通知數量與產業類別	133

表次



表 1	2011-2020 年美中兩國在新興科技領域的科研文獻產出能量.....	24
表 2	中國與俄羅斯從他國獲取技術知識的途徑.....	35
表 3	PCAST 建議美國政府支持發展的半導體技術應用產業	37
表 4	2020-2024 年美國關鍵新興技術清單內容變化	38
表 5	2022 年半導體產業不同生產模式的市場規模以及各國市佔率.....	46
表 6	2022-2023 年全球半導體企業營收排名前 25 名	47
表 7	2022 年全球半導體產業生產價值鏈.....	48
表 8	2024 年全球半導體 EDA 領域市佔率排名前三大企業.....	55
表 9	2022-2023 年全球半導體 IP CORE 領域市佔率排名前十大企業.....	55
表 10	2022-2023 年全球市佔率排名前十大 IC 設計企業（FABLESS）	57
表 11	2022-2024 年全球 CPU、GPU 與 AP 主要供應商市佔率.....	57
表 12	2022-2023 年全球前五大半導體製造設備供應商及其收益	58
表 13	拜登總統任內獲美國 CHIPS 計畫辦公室補助建廠的企業列表.....	73
表 14	2022-2024 年全球前十大晶圓代工企業營收排名與市佔率	76
表 15	2022-2023 年全球前十大委外封測企業營收排名與市佔率	77
表 16	2023 年中國國內半導體 EDA 市場市佔率	79
表 17	2023 年生產半導體等機械主要出/進口地區統計.....	81
表 18	2023 年中國半導體設備本土企業與製造設備國產化情況.....	83
表 19	「出口管制改革倡議」與《出口管制改革法》比較.....	100
表 20	華為禁令時間軸.....	110
表 21	美國外資審查機制強化歷程.....	129
表 22	歷史上美國總統介入否決的外國投資案件（截至 2025 年 1 月）	130
表 23	2008-2023 年 CFIUS 受理之受管轄交易聲明與申報通知數量	134
表 24	美國實體被限制境外投資的三大類敏感技術產業與交易內容.....	152
表 25	2019-2023 年韓國半導體產業對外依存度超過 70%的品項類別、數量與進口來源	162

第一章 緒論

第一節 研究背景

壹、美中關係轉變與美中貿易戰

美蘇冷戰結束後，柯林頓（Bill Clinton）政府推行「交往與擴大」（Engagement and Enlargement）政策，與中華人民共和國（以下稱為中國）展開更廣泛的接觸與對話，期待中國成為遵守自由主義國際秩序（liberal international order）的市場經濟體，並通過經濟合作促進其國內政治民主化改革。自 2001 年加入世界貿易組織（World Trade Organization, WTO）以來，中國憑藉龐大市場規模與廉價勞動力，在貿易全球化浪潮中被冠以「世界工廠」的稱號。與此同時，小布希（George W. Bush）政府歷經九一一恐怖攻擊後，將美國的全球安全戰略重心轉向中東的反恐戰爭，並在經濟層面上選擇加強與中國合作。

然而，隨著中國經濟與軍事實力迅速提升，2010 年代之後北京逐漸改變過去「韜光養晦」的低調作風，在區域與全球事務上日漸強硬。中國政府不僅利用「帶路倡議」（Belt and Road Initiative, BRI）為中國的技術與產品拓展海外市場與出口機會，更通過基礎建設投資深化中國在沿線國家的地緣政治經濟影響力；在南海（South China Sea）議題上，中國政府對「九段線」的主權主張也愈發強勢，加劇其與南海周邊國家的緊張關係。儘管美國在 2008 年全球金融海嘯後開始關注中國崛起，歐巴馬（Barack Obama）總統提出「亞洲再平衡」（Rebalance to Asia）與「重返亞洲」（Pivot to Asia）戰略，意圖將注意力與資源從中東轉向亞太以制衡中國，然因其政府優先關注振興國內經濟和降低海外軍事行動成本而未能對中展開強硬行動。直到 2017 年川普（Donald Trump）總統上任後提出志在聯合日本、澳洲、印度等國家一同抗衡中國地緣政治影響力的「印太戰略」（Indo-Pacific Strategy），欲進一步強化美國在印太地區的軍事與經濟存在。美中戰略競爭從此不斷升溫，涵蓋經貿、軍事、科技、意識形態等多個層面，逐漸形成具全球性影響的大國對抗。

中美科技競爭態勢在 2010 年代便可見端倪。2013 年習近平提出「一帶一路」，促進中國與歐亞各國經貿合作，加強區域互聯互通；2015 年中國政府進一步提出「中國製造 2025」，除促進製造業轉型升級，還大力推動「新一代信息技術」（包



含積體電路及專用設備、資通訊設備、操作系統與工業軟體)、高端裝備、新材料、生物醫藥等等十大重點戰略產業突破發展(中華人民共和國國務院,2015)。「中國製造 2025」與「帶路倡議」兩項國家發展戰略相互補充,前者專注提升中國製造業技術與創新能力、減少對外國技術依賴,後者則為中國製造的產品與技術提供新的出口市場與生產資源來源、避免國內產能過剩,也為「中國製造 2025」提供落地實現的機會。

「中國製造 2025」旨在 2025 年實現高階設備與技術創新工程領域自主研發與應用,大幅提升中國智慧財產權與高階設備市佔率、降低核心技術對外依存度。此目標引起美方警覺——北京要如何取得達成「中國製造 2025」目標的先進技術呢?明面上,中國政府不僅透過提供大規模補貼來降低國內廠商製造成本與出口價格,還藉由收購、投資外國高科技企業、強制技術轉移以換取市場准入等商業手段獲取智慧財產權與先進技術;暗地裡,中國駭客在政府默許或協助下透過非法網路監控和網路攻擊行動竊取他國商業與軍事機密、推進其經濟與戰略目標。在歐巴馬任內,美國已就網路攻擊與經濟間諜問題與中方展開交涉,但基於維繫美中關係,歐巴馬政府並未採取強力制裁或反制措施(Laskai, 2018; 林正義, 2020)。

2016 年美國總統大選中,川普高舉單邊保護主義,大力批評美中之間存在竊取智慧財產權、強迫技術轉讓、補貼、傾銷等等不公平貿易行為,讓美國民眾開始注意來自中國的經濟和科技競爭。2017 年川普上任後命令相關部門對中國啟動「301 條款調查」,認定中國的不公平貿易行為損害美國商業利益、威脅美國國家安全,自 2018 年起美國對中國發起一系列對抗政策,對中國出口的鋼鐵、鋁製品、工業與消費類電子產品等課徵高額關稅作為主要施壓手段,而中國選擇對美國的農產品、汽車及零組件、化工產品課徵關稅進行反制,同時訴諸 WTO 爭端解決機制(張文暉, 2018)。雙方就此展開數輪貿易談判與來回報復行動,影響層面日益廣泛且延續至今。

美中貿易戰初期聚焦雙方關稅。由於課徵關稅的經濟效果會直接反映在商品價格、生產成本與進出口貿易變化,加上川普強調重振製造業、公平貿易的口號具有強烈政治宣傳效果,使關稅在貿易戰中獲得廣泛報導與大眾關注。然而,同時美中科技戰也悄然展開,只不過相較於貿易戰全面性且大範圍關稅措施,以及關稅對產業貿易價格造成的直接衝擊,科技戰初期行動集中在 5G 網路安全與資通訊技術設備,以及基於違反美國對伊朗出口禁令或協助人權迫害等理由對特定中國科技

公司和軍工企業進行制裁，使一般民眾較不容易直接感知科技戰的發生與即時影響。直到 2020 年後，美國對華為的制裁逐漸擴大到半導體、人工智慧（Artificial Intelligence, AI）和其他新興技術領域，加上 2020 年新冠疫情爆發導致全球生產中斷，促使政府與企業開始審視供應鏈安全與技術自主的重要性，並通過強化盟邦合作、實施「友岸外包」（friendshoring）策略以降低斷供風險。晶片短缺問題對高科技產品、家電、汽車等消費品需求與製造業生產造成顯著影響，也令大眾開始注意到美中科技競爭與國家經濟安全、技術製造能力的緊密聯繫。

貳、美中科技戰目標轉向半導體產業

自 2010 年代以來中國科技公司如百度、阿里巴巴、騰訊、字節跳動等網路企業以及華為、小米、中興通訊等資通訊企業成長迅速，不僅在國內市場佔據主導地位，也經由中國政府推行的「帶路倡議」積極擴展全球市佔率。美國政府長期關注中國的經濟間諜行動，多次指控中方透過竊取西方政府與企業機密來加速國內軍事與商業技術發展。美國尤其擔心中國政府可能透過華為和中興通訊等電信商提供的 5G 網路系統進行間諜活動、蒐集敏感資訊，甚至干預他國電信基礎建設，從而危害全球電信網路安全（倪安，2012；Rogers & Ruppertsberger, 2012）。因此在科技戰初期，美國政府主要針對中興通訊、華為及其關聯企業實施出口管制¹，以避免資安風險、保護國家安全為由禁止政府部門使用其產品與服務，也禁止美國公司為其提供技術與生產零件，並呼籲盟國跟進抵制（廖修武，2019；林正義，2020）。²然而，華為與中興通訊以優惠價格吸引各國（尤其發展中國家）使用其基地台設備與網路建設，仍能在全球市場保持銷售領先地位且擁有大量專利（Perez, 2021a）。

美國在呼籲各國抵制華為參與 5G 建設一事上受挫，未能在 5G 網路技術領域

¹ 2018 年 4 月中興通訊因違反美國對伊朗制裁而被美國商務部施以出口管制，該出口禁令在 2018 年 7 月中興通訊繳交 14 億美金的罰款後正式解除；2019 年 5 月美國商務部將華為及其附屬公司列入實體清單，需取得美國政府許可才能從美國企業購買技術或產品，但為減少對美國企業和華為現有客戶影響，美國政府核發「臨時通用許可證」，允許美國企業在有限範圍內繼續與華為維持業務往來，該許可證有效期限多次延長，直到 2020 年 8 月 13 日截止。

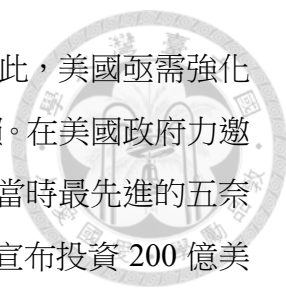
² 美國在《2019 財政年國防授權法案》（2018 年 8 月通過）中已明確禁止政府部門使用華為與中興通訊兩間中國公司的產品，防範情報洩漏和網路攻擊等國安風險。日本、臺灣、五眼聯盟（FVFFY）等美國盟友陸續跟進將華為排除在國內 5G 網路設備供應商之外。2019 年 5 月川普簽署第 13873 號行政命令，宣布國家進入緊急狀態，授權美國商務部限制或禁止任何涉及外國對手所擁有或控制、對國家安全（包含關鍵基礎建設和數位經濟安全）存在風險的電信設備採購、資通訊技術服務等相關商業活動。美國商務部隨後宣布將華為及其關聯企業列入出口管制實體清單。



有效阻止中國供應商在全球擴展市佔率，因此加大對華為制裁力道。2020 年，除持續增列實體清單外，美國商務部工業安全局（Bureau of Industry and Security, BIS）兩度修訂《出口管制條例》（Export Administration Regulations, EAR）以加強對華為制裁：先於 5 月宣布修改「外國直接產品規則」（Foreign Direct Product Rule, FDPR），規定使用美國技術與設備的外國半導體廠商需先取得美國政府許可才能向華為及其關聯企業（如海思半導體）供貨，防止華為透過第三國代工業者取得晶片；後在 8 月擴大該規則適用範圍，規定凡是使用美國技術、軟體工具、生產設備的企業，不論產品類別，都須先獲得美國許可才能向華為及其關聯企業供貨，進一步切斷華為對外採購涉及美國技術的產品與零組件。此舉阻斷海思半導體使用先進製程軟體設計晶片後委外生產的途徑，也大幅衝擊華為 5G 手機後續出貨與全球市佔率。2020 年 12 月美國商務部再將中國晶圓代工龍頭企業中芯國際及其關聯企業列入實體清單，限制其取得專門用於生產 10 奈米及以下先進技術節點半導體所需之物件與設備，阻礙中國發展先進製程技術（BIS, 2020a, 2020b, 2020d）。

在川普任期最後一年，美國科技戰目標轉向半導體產業，可能原因有二。首先，自 2019 年美國開始實施制裁、限制採購重要零件以來，華為被迫調整採購來源、加速研發零組件製造技術並開發獨立的「鴻蒙」軟體作業系統，大幅減少其產品零件從美國採購的價值比例，可見美國制裁產生有效影響，卻也展現華為的抗壓力（藥文江，2020）。然而，美國注意到華為手機中處理高頻無線訊號的核心射頻晶片仍仰賴高通（Qualcomm）、威訊聯合半導體（Qorvo）、思佳訊（Skyworks）等美國公司提供；進一步拆解華為的 5G 通訊基地台主要裝置後，也能發現其中約 27.2% 的零件來自美國（以價值計算），且以半導體、記憶體與電子零件為主，其中六成標示中國設計的零組件（包含最核心、負責加密處理的中央處理器）則是由華為委託台積電生產（Dahad, 2020；松元則雄、渡邊直樹，2020）。事實上，華為旗下海思半導體設計之先進晶片主要由台積電代工生產，並在 2019 年遭美國制裁後向台積電下了大量晶片訂單以確保庫存，成為台積電當年度第二大客戶（吳金榮，2020）。有鑑於華為產品供應鏈中上游的晶片設計、半導體生產技術與工具仍高度仰賴美國及其盟友提供，16 奈米以下先進製程晶片亦仰賴台積電代工製造，因此美國決定自供應鏈源頭切入強化對中國品牌的制裁（集邦科技，2020）。

其次，疫情凸顯全球供應鏈脆弱性與國家技術自主的重要性，半導體作為當代科技產品的核心，其短缺不僅影響電子產品與民生消費品供給，更攸關國家經濟生



產、製造能力、科技發展、基礎建設系統以及軍事國防安全。因此，美國亟需強化其國內晶片自給自足的能力、在供應鏈關鍵環節減少對中國依賴。在美國政府力邀下，2020 年 5 月台積電宣布投資 120 億美元於亞利桑那州設立當時最先進的五奈米晶圓廠，此舉被視為雪球效應的開端——2021 年 3 月英特爾宣布投資 200 億美元於亞利桑那州新建兩座晶圓廠，並於同年 9 月破土動工；2021 年 11 月三星宣布將投資 170 億美元在德州設立第二座晶圓廠（TSMC, 2020; Intel Corporation, 2021; Samsung Newsroom, 2021）。美國雖擁有先進晶片設計技術，然國內半導體製造業外移多年，生產製造現已非其強項。從招攬台積電設廠開始，美國政府希望其他半導體後端製造產業、材料與設備供應商等能陸續進駐建立完整半導體生態系統，在國內形成產業群聚效應（太田泰彥，2022，頁 27-34）。

第二節 研究動機與目的

加強半導體供應鏈韌性、重建美國製造業是拜登（Joe Biden）上任時的重要政策方向之一。2021 年 2 月 24 日，拜登上任僅一個月便頒布第 14017 號行政命令，指示相關部門於百日內完成針對半導體製造與先進封裝、大容量電動車電池、關鍵礦物與材料、醫藥品與活性藥物成分等四大關鍵領域的供應鏈韌性審查。在簽署行政命令的演講中，拜登表示將根據《2021 財政年度國防授權法》向國會尋求投入 370 億美元的資金用於加強國內半導體製造業（White House, 2021a）。

2021 年 4 月拜登召開「半導體與供應鏈韌性執行長高峰會」（CEO Summit on Semiconductor and Supply Chain Resilience），邀請總計 19 間企業高層參與商討如何因應晶片短缺、強化美國半導體產業。與會企業包含台積電、三星、英特爾、格羅方德（GlobalFoundries）、美光（Micron）、恩智浦（NXP）、天水科技（SkyWater）等七間半導體供應製造方，以及美國電話電報公司（AT&T）、Alphabet（Google 母公司）、戴爾（Dell）、惠普（HP）、福特汽車、通用汽車、斯泰蘭蒂斯（Stellantis）、帕卡（Paccar）、康明斯（Cummins）、匹斯頓（Piston）、諾斯洛普格魯曼（Northrop Grumman）、美敦力（Medtronic）等十二間半導體需求方（Doubleday, 2021）。值得注意的是，受邀的半導體需求方中約一半是汽車及其零件製造商，有鑑於汽車製造業既是國家重工業指標，又在國防工業中佔據重要地位，此次高峰會的構成不僅反

映拜登政府對重振美國製造業的重視，亦隱含強化國防供應鏈安全的需求。

2021 年 6 月參議院通過《2021 年美國創新和競爭法》(U.S. Innovation and Competition Act of 2021)，預計五年內撥款 520 億美元支持國內半導體產業發展；眾議院則在隔年 2 月通過《2022 年美國競爭法》(America COMPETES Act of 2022)，亦同意提供 520 億美元資助國內半導體生產(顏慧欣、李淳，2021；黃哲融，2022)。經兩院磋商，最終於 2022 年 8 月由總統簽署通過《晶片與科學法案》(CHIPS and Science Act)。在拜登政府積極推動下，美國國會同意加大對半導體產業的扶持力道，展現兩黨提升國內產業競爭力與技術優勢的共識與決心。

綜觀 2021 年拜登上任以來推行之政策，除表現出對半導體產業的高度重視外，也沒有放鬆對中國的科技戰。他不僅維持川普政府的對中貿易戰措施，包含關稅制裁與華為禁令，還持續擴大實體清單與出口管制規則的適用範圍，無論是中國實體制裁數量還是涉及技術領域均超越前任。在其任內，美國日益收緊對先進技術與高端設備的出口管制、強化對中國高科技企業的技術封鎖與投資監管，同時致力重建美國半導體製造能力並投資技術研發，以保護美國的產業安全與科技領先地位。此外，拜登也積極修復美國對多邊主義的承諾，深化與盟友的技術合作、重組關鍵供應鏈，並與多國協力對中國進行科技圍堵，限縮其取得先進製程技術、製造設備與關鍵材料的管道，進一步提高制裁效果。這些策略顯示美國對中國的戰略重心已從廣泛的經濟競爭轉向具針對性的科技競爭，也反映美方認為中國崛起將威脅其國家安全利益的深層擔憂。

2025 年 1 月 20 日拜登總統正式卸任，結束其四年任期，這為回顧其任內對中科技戰行動提供契機。在 2022 年拜登政府發布的《國家安全戰略》(National Security Strategy) 中，中國被視為「唯一」有能力且有意圖重塑當前國際秩序、威脅美國利益和價值觀的競爭對手，是美國最重要的地緣政治挑戰 (White House, 2022b)。面對來自中國的戰略威脅，拜登政府強調科技競爭是攸關美國國家安全和全球領導地位的核心議題，並試圖在關鍵技術領域與中國進行「選擇性脫鉤」(selective decoupling) 以降低風險。其目標不僅在於延滯中國科技發展速度，更意在增強美國的科研創新與生產製造能力，並在全球供應鏈中建立多元化、低風險的穩定聯盟。

本文旨在系統性梳理拜登總統任內四年間美國對中科技競爭的主要舉措，並從半導體產業的角度切入，探究美國為因應來自中國的競爭壓力以及維護自身技術優勢所運用之政策工具。藉由回顧美國在此期間制定的政策，包含擴大對先進半

導體技術的出口管制規定、加強對關鍵產業的投資審查機制、立法為國內半導體製造提供產業補貼，以及深化盟友間合作等行動，本文期望釐清相關政策的演變脈絡，觀察美國在這場科技競爭中對全球展現的影響力與主導能力。此外，本文亦關注美國在政策推行過程中所面臨之內外部挑戰，包含需要協調盟友政策、提升企業對美國政策的配合度、應對中國的反制與跨國走私等等。

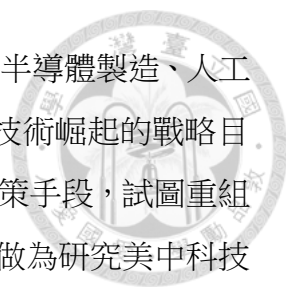
第三節 研究方法與研究限制

壹、研究方法與案例選擇

本研究採用質性的個案研究法，以美國對中國半導體產業發起的科技戰作為分析案例，探究拜登政府（2021 年 1 月至 2025 年 1 月）在美、中科技競爭中的具體政策作為。

個案研究是一種「以限定的空間與時間為範疇，聚焦於特定完整形貌的事件單元之研究設計」（湯京平，2015，頁 250）。當研究對象是一種動態、複雜且難以抽離脈絡、無法被分解或量化的社會現象，尤其涉及多層面的政策制定與國家互動關係時，個案研究法具有能具體呈現證據、深入觀察某分析單元(unit of analysis)在特定時空背景下的發展脈絡與特質，進而揭示現象全貌的優勢。個案研究法允許研究者在不脫離有限時空的歷史與政治脈絡下對分析單元的特質進行較細緻的觀察，並以此為基礎進行跨層次推論，進而理解其背後現象的因果邏輯與制度性影響，亦有助於理論的反思與延伸（湯京平，2015，頁 249-252）。在美中科技戰下，雙方所關注的半導體產業正是同時涉及國家安全、經濟利益、技術自主、供應鏈重組、跨國合作、地緣政治競爭等多元議題的複雜案例。本研究以「美國拜登政府對中國半導體產業實施的科技戰策略」作為分析單元，透過個案研究法探究這場科技戰中的國家戰略競爭行為，觀察美國如何運用不同政策工具限制中國半導體技術發展，進而理解科技戰所呈現的戰略意涵與國際影響。

半導體是當代科技發展的基石，在日常生活、經濟生產、科技研發、軍事應用等各領域都具有不可替代的重要性。在當代大國競爭中，掌握先進半導體技術對維護國家安全與經濟競爭力至關重要，半導體產業因此成為大國戰略競爭的核心戰



場之一。在美中科技競爭愈發激烈的態勢下，美國已將防止先進半導體製造、人工智慧等新興與關鍵技術擴散視為維護自身科技霸權、遏止中國技術崛起的戰略目標，並透過技術出口管制、投資限制、產業補貼、盟友協調等政策手段，試圖重組全球半導體供應鏈與技術治理格局。因此，本文選擇半導體產業做為研究美中科技戰的案例，不僅能具體呈現拜登政府在科技戰中使用的政策工具與戰略行動，還能觀察這些政策對全球供應鏈安全與科技秩序的深遠影響。

貳、資料來源

本研究主要透過收集公開資料進行分析，包含各國政府部門（以美國與中國為主）發布的官方文件、政策報告、政府或企業的聲明與新聞稿、官員演說紀錄、國會調查報告與聽證會紀錄、法案與行政命令、國際組織或政府的資料庫與統計數據等等，也包含國際組織、產業協會、智庫與學術研究機構的政策分析、產業評估報告、學術論文與期刊文章、新聞報導與學者評論等等，以確保分析資料的權威性與來源廣泛性。

參、研究限制

本研究聚焦美國拜登政府在科技戰中所運用之政策工具及其治理手段的制度性變化，然考量研究可行性與筆者的專業知識限制，部分議題仍有待未來研究進一步補足。

首先，資料蒐集的可得性與完整性是本研究的重要限制之一。涉及國家安全與科技競爭的戰略決策資訊常屬於無法全面公開的敏感商業資料或政府機密，例如政府制定出口管制政策時所參考的風險評估報告與情報，外資審查委員會(CFIUS)對外國投資案件的審查細節、政府部門資助學術單位的技術研發細節或補貼企業生產的合約條款等等。此外，部分產業協會和研究機構的詳細分析報告和市場數據僅供業內人士或註冊會員使用，限制非組織成員取得完整產業資訊的機會。因此，本文主要透過蒐集產、官、學界的公開來源資料進行分析與交叉比對，以提升資料的全面性與準確性。

其次，本研究旨在探究美國針對半導體產業所採取的政策工具及其演變，然需誠實指出本研究面對技術層面的限制。半導體產業涵蓋高度複雜的製程技術與產

業分工，例如不同製程節點的差異、製造設備與製造技術的規格參數、關鍵礦產與創新材料的應用等等，此類內容涉及大量高度專業的工程與自然科學知識，非筆者之專業訓練所能掌握。儘管本文主要從政策視角梳理政策工具運用與技術發展之間的關聯，但對於產業實務運作與技術細節的理解恐仍有所疏漏，部分術語的使用與解釋說明亦可能未臻精確與完善。未來若能與相關領域專業人士進行跨領域合作，將有助於拓展科技與國際關係研究的深度。

第三，儘管中國是美中科技戰中另一個具有高度自主性的關鍵行為者，且中國政府的產業政策、經濟與戰略規劃是美中科技博弈的重要變數，惟本研究設計目的係觀察美國政府的政策行動，受限於研究時間與篇幅，本文未能對中國政府在各階段的政策回應與反制策略進行系統性整理與分析。未來研究可進一步探討、比較美中雙方以及其他具備先進技術的重要國際行為者之間的政策互動與策略調整，進而豐富科技發展對全球治理與地緣政治動態之影響研究。

最後，美國發起科技戰的目標是延滯中國技術發展，對美國國家安全戰略和全球科技競爭格局具深遠影響，然本研究時間範圍僅限於拜登政府任內，且本文撰寫完成時拜登甫卸任，難以立即就其政策實施效果與長遠影響進行全面分析。因此，本文僅能蒐集並記錄當前可得之資訊，包含政府或企業公開聲明所提及之預期成效、產業界或學界專業人士的初步評估與階段性觀察，以及各國對美國政策的回應等等，期待未來對政策效果進行長期影響評估時能做為參考。

第四節 章節安排

本論文分為五章，旨在系統性探討美中科技競爭下，美國何以選擇半導體產業做為科技戰的核心戰場，以及如何透過政策工具圍堵中國、防止新興技術擴散。各章節內容安排如下：

第一章為緒論，介紹研究背景、研究動機與目的，並說明研究方法、資料來源、研究限制、章節安排與預期貢獻。

第二章為文獻回顧。第一節回顧自二戰以來科技發展在國際關係領域中逐漸獲得重視及其研究趨勢；第二節回顧學界前人針對技術擴散、霸權地位變遷與國際權力競爭之間關聯的討論；第三節以美中雙方在新興技術領域的學術研究表現與

研發投入鋪陳美中科技競爭背景；第四節說明美國已對中國的技術獲取策略產生警惕，並提升對國內半導體產業與新興技術研發的關注與政策支持。

第三章分析半導體產業成為美國對中科技戰主戰場的原因。第一節介紹全球半導體產業運作背景，包含生產模式、跨國供應鏈分布與國際分工變遷；第二節與第三節分別分析美國和中國在全球半導體供應鏈中的相對優勢、結構性劣勢以及潛在的挑戰或機會；第四節闡明美國掌握供應鏈上游的先進半導體設計軟體工具與生產設備，且能仰賴盟友補足國內產能不足的劣勢，相較之下，中國雖在成熟製程領域享有成本優勢與規模經濟，卻仍仰賴外國供應關鍵技術與高階設備，使其技術自主與產業升級進程受美國掣肘。

第四章系統性整理美國在對中科技戰中所運用之政策工具，主要分為出口管制、投資限制與盟友協作三個面向。第一節說明美國出口管制的制度改革歷程與執法手段，並回顧自川普頒布華為禁令至拜登卸任以來美國對中出口管制措施的目標轉變與升級過程。第二節聚焦美國針對中國的投資限制，一方面加強對外資進入美國的國安審查以阻止中國滲透美國關鍵產業與基礎建設系統，另一方面則逐步限制國內資本流向中國涉軍企業與敏感科技企業，避免為中國軍事與技術發展提供助力。第三節陳述美國尋求小多邊主義（*minilateralism*）加強封鎖防線，透過與關鍵盟友協調出口管制政策、合作制定新興技術標準、重塑組供應鏈韌性等方式強化對中圍堵力道。第四節統整美國對中科技戰所運用之政策工具並指出其制度性變化趨勢。

第五章為結論。第一節與第二節先後分析了美國科技戰的戰略目標與行動邏輯、驅動管制政策由市場端向技術端持續擴張的因素，以及科技戰背後的地緣政治與戰略意涵。第三節則提出當前美國圍堵政策面臨的挑戰以及未來可進一步關注的研究方向，例如美國要如何防範先進技術產品非法走私、是否要將制裁範圍擴及成熟製程、如何因應中國的反制手段和潛在風險，以及如何針對新興 AI 技術的擴散加強管控等等。

第五節 預期貢獻



本文主要貢獻在於為當前美中科技競爭的學術討論提供具體且最新的案例研究。本文以半導體產業為研究案例，從出口管制、投資限制、盟友協作等三個面向展示拜登政府在該領域採取的科技戰行動，分析美國為阻止關鍵技術擴散、防範中國滲透美國高科技產業、延緩中國產業升級進程，以及重建國內半導體產業競爭力所使用的政策工具與策略調整。本文亦進一步探討美國如何透過小多邊合作機制整合盟友資源、強化對中國的制裁與圍堵力道，進而鞏固其全球科技霸權地位。

科技發展已成為國家競逐權力的新場域，半導體不僅是支撐新興技術發展的核心基礎，亦是影響各國科技競合的關鍵產業，關乎美國戰略安全與霸權地位。透過系統性梳理美國在半導體領域的科技戰具體作為與政策演變，本文期盼能為國際關係領域中有關科技治理與國家權力競爭的互動研究提供實際案例，展示國家因應技術變遷以及選擇、調整政策工具運用之動態過程，有助於深化對美國科技戰策略的理解，亦有助於觀察美中科技戰對全球產業格局與地緣政治局勢的影響。

第二章 文獻回顧



第一節 科技發展在國際關係領域的重要性提升

科學技術的應用在兩次世界大戰中出現革命性進步，戰後各國根據新興科技變革做出相應政策調整，學界也開始關注科技變革對國際關係的影響。1948 年 5 月 The Norman Wait Harris Memorial Foundation 在芝加哥大學舉辦第 24 屆年會，以「科技與國際關係」為主題，討論徹底改變戰爭的新技術對未來國際政治的影響，眾人關注的發明包含且不限於蒸氣和鋼鐵複合體 (steam and steel complex)、飛機、原子彈以及大眾傳播等技術。會後 William F. Ogburn 將自己與其他六位撰稿人的文章編纂出版為 *Technology and International Relations* (1949) 一書 (Desch, 1950; Ogburn, 1949, pp. v-vi; Oliver, 1949; Smigel, 1949)。每篇文章都涉及科技因素與「國家間相對權力轉移、國家地理面積演變，以及追求和平」之間微妙的關係 (Crawford, 1949, p. 127)，例如新型火箭與飛機技術使傳統地理防禦屏障變得脆弱、海陸空交通技術進步有助於政治單位擴張疆域與勢力範圍、原子彈的出現使國際社會意識到管控大規模殺傷性武器的必要性、新型武器與戰爭技術對國防政策的影響、大眾傳播技術如何突破地理限制進行政治宣傳等等 (Oliver, 1949; Perry, 1949)。該書的貢獻在於指出科技是國際事務研究中相當重要卻未被充分探討的領域。然而，儘管當時學界已注意到科技發展對國家外交政策的影響力以及對國際關係的重要性，相關領域著作仍十分有限且多為探索性研究，因為此時科技仍被認為只是影響國際關係的諸多因素之一，而非決定性變數 (Smigel, 1949; Goodrich, 1949)。

事實上，二戰甫結束時，國際政治領域對科技發展的討論多是作為發展軍事力量或提升經濟生產力的一部份要素而被提及。例如，Hans Morgenthau 在其著作 *Politics Among Nations: The Struggle for Power and Peace* 指出九項國力觀察指標，包含地理、自然資源、工業能力、軍事準備、人口、民族性、民族士氣、外交品質、政府決策品質等。雖然 Morgenthau 並未在指標上言明「科技」或「技術」，但在探討工業能力和軍事準備時，曾提及「現代戰爭和通訊技術使重工業的全面發展成為國力不可或缺的元素」，以及「軍事準備是建立能奉行外交政策的軍事機構。這種能力源於諸多因素，其中最重要的是……技術創新 (technological innovation)、軍隊的數量與品質」 (1948, pp. 87-88)。又例如，在 *World Politics* 中，A. F. K. Organski

認為國家權力的決定性因素分為自然性與社會性，前者包含地理、自然資源與人口，後者則為經濟發展、政治發展與民族士氣。儘管未明列「科技」的重要性，但 Organski 提出權力轉移理論時特別強調正是因為各國經濟生產效率與工業化發展程度不同導致國力變化差距，才會出現權力轉移（1968, p. 344）。而工業化發展差距不僅源於國家所擁有的勞動人口、自然資源、政治與經濟組織動員能力，還體現了科技變革所引發的生產效率差異。在 *Theory of International Politics* 中，Kenneth Waltz 認為評估國家能力排名的要素包含人口規模、領土、資源稟賦、經濟能力、軍事力量、政治穩定與能力等（1979, p. 131）。科技雖未被單獨列出，但 Waltz 在該書其他章節討論國家經濟生產與軍事武器發展時都不曾忽略科技研發的重要性。

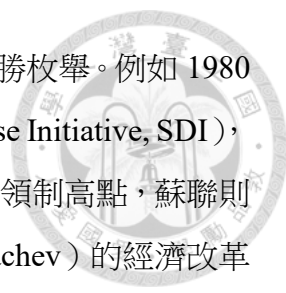
1970 年代是全球政治秩序與經濟結構轉變的重要時期，許多關鍵事件影響了貿易、金融與資本流動。例如 1971 年美國尼克森（Richard Nixon）政府宣布停止美元與黃金掛鉤，布列敦森林體系（Bretton Woods system）邁向終結，促使各國尋求新的金融管理方式，開啟浮動匯率時代；1973 年發生第一次石油危機，石油輸出國組織（Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC）對支持以色列的西方國家發動石油禁運，導致全球經濟出現停滯性通貨膨脹（stagflation）與能源危機，促使主要工業國加強研發核能、太陽能等技術。與此同時，通訊技術進步與貿易自由化使跨國企業快速擴張，外國投資帶動國家間資本流動、技術轉移與國家經濟成長，促使學者們開始探究科技與資本流動對跨國關係、世界經濟與國際建制的影響（Nye & Keohane, 1971）。Robert Gilpin 是較早關注科技力量與政治經濟情勢之間關係的學者之一，在 1970 年代初已引用 Eugene Staley 的著作 *World Economy in Transition*，支持其強調科技力量的主張：「.....科技與政治間的衝突正在加劇。與兩者密切相關的經濟已成為主戰場。只有當技術面和政治面的力量以某種方式再次相互適應時，世界經濟才會實現穩定與和平」（Gilpin, 1971, p. 403）。值得一提的是，*World Economy in Transition* 成書於 1939 年，對世界政治產生革命性影響的核子武器尚未發明，Staley 卻已指出科技發展對政治與經濟的衝擊。

Gilpin（1975）在其著作 *U.S. Power and the Multinational Corporation* 中表達了對跨國企業和外資擴張的擔憂：他認為跨國企業加速經濟繁榮與創新技術的擴散，從而削弱霸權國所仰賴的權力基礎和技術主導地位；他也認為對外國投資擴張將導致母國國內工業資本流失與經濟衰退，降低母國的生產力與研發創新能力。另一方面，新自由主義學者 Robert Keohane 和 Joseph Nye 則認為技術變革促進了跨國

經濟活動與全球化，提高國家間「複雜相互依賴」(complex interdependence)，使國際機構在全球治理中的角色更加重要。在此背景下，軍事力量的角色式微、不同議題的重要性趨於平等、非國家行為者影響力提升並使國家間溝通管道更加多元 (Keohane & Nye, 2011, pp. 20-24)。尤其電腦技術發展引發資訊革命之後，經濟與資訊成為傳統軍事力量以外的新型權力來源，不僅可能改變國家間權力關係，也使國際社會需要建立並適應新的治理框架。在 Keohane 和 Nye 眼中，技術變革、經濟與政治在國際關係中是彼此密切關連但不凌駕於任何一方的力量 (Keohane & Nye, 2011, pp. xxiv-xxv)。

1970 年代是美蘇冷戰的低溫時期 (Détente)。自 1949 年蘇聯成功研發核子武器後，美蘇雙方在 1950-60 年代發展出「相互保證毀滅」(mutual assured destruction) 的軍備競賽模式，但在古巴飛彈危機後，雙方在 1963 年建立「熱線」降低核戰爭爆發風險，並先後於 1968 年簽署《核不擴散條約》(Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons)、1972 年簽署「第一階段戰略武器限制條約」(Strategic Arms Limitation Treaty, SALT I) 與《反彈道飛彈條約》(Anti-Ballistic Missile Treaty)、1979 年簽訂「第二階段戰略武器限制條約」(SALT II)，欲透過限制飛彈彈頭及其運載工具的數量來遏制軍備競賽。在軍事僵局的背景下，兩大陣營的競爭從武器數量與情報蒐集逐漸擴及在經濟與技術領域獲得領先地位，太空競賽、鼓勵軍民兩用技術 (電腦、網路、半導體等) 發展、大眾娛樂與文化傳播等等皆始於此。

Kenneth Waltz 認為核武器本身並未使國家之間的力量平等，也無法改變國家力量的經濟基礎，其存在只是加強了沒有核子技術也會存在的狀況。換言之，美國和蘇聯就算沒有核子技術，也會發展出其他殺傷力巨大的武器。他們與其他國家之間的差異不在於特定的武器系統，而是他們具備將科學前沿的研發結果大規模運用於軍事技術的能力 (1979, pp. 180-181)。Waltz 在 1970 年代末期便指出國家經濟成長與競爭力很大程度取決於技術的卓越性，經濟與科技領域的領先地位在未來的國際政治中將變得更重要，特別是在軍事僵局以及資源稀缺的情況下。技術革新的速度加快以及難與其他領域專業能力分割的複雜性，使得落後國家難以迎頭趕上，但也會讓美國在維持其技術領導地位時需要付出更多。不過，Waltz 樂觀地認為美國相較於日本、西德、法國等其他主要國家仍具備相對優勢，因其領先他國的研發投入、技術基礎與足以支持技術開發的國內市場規模使其更能適應這些變化 (1979, pp. 178-179)。



此後，科技對國際關係的影響越來越受到關注，相關案例不勝枚舉。例如 1980 年代雷根 (Ronald Reagan) 提出「戰略防禦倡議」(Strategic Defense Initiative, SDI)，試圖發展太空軍事以打破美蘇之間的「相互保證毀滅」平衡並佔領制高點，蘇聯則在同時期開始面臨經濟轉型危機，然而戈巴契夫 (Mikhail Gorbachev) 的經濟改革不利、蘇聯共產黨逐漸失去對衛星國的政治控制，使蘇聯走向崩潰。儘管蘇聯解體原因複雜，研究者們對於 SDI 是否為導致蘇聯解體的直接或間接原因也多有爭論，但這些討論顯示美蘇軍備競賽的核心已不限於武器數量的累積，還在於技術突破與創新能力，而這些都仰賴國家穩定的經濟基礎與研發資源支持。在 1990 年代初期爆發的波斯灣戰爭，美軍在行動中廣泛應用高科技武器、全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)、先進的通訊和監控技術，展現快速調度和精準打擊能力，並透過衛星影像即時轉播，令各國對美軍實力留下深刻印象，不僅展現科技優勢對戰爭勝利的關鍵作用，也改變此後的戰爭型態 (謝游麟、葛惠敏，2015)。

若說 19 世紀生產效率與工業能力是提升國家國際地位的動力，20 世紀石油資源與核武技術是美、蘇稱霸的關鍵，Keohane 和 Nye 認為廣義的資訊能力 (information capability) 將成為 21 世紀國家最核心的力量資源。儘管資訊革命帶來的效果——包含資訊流通速度提升、去中心化、降低市場進入成本與技術壁壘等等——有利於增強小國和非國家行為者的力量，然而先進大國的優勢地位也因為規模經濟依然存在、新資訊的收集與生產需要鉅額投資、領域先行者即是資訊系統標準和架構的創建者、整合軍事系統的能力等等原因而被加強，因此資訊革命未必真正達到分散或平衡國家間力量的預期效果，反倒令大國地位更加穩固 (Keohane & Nye, 2011, pp. 216-219)。

資通訊技術對當代國際事務的影響尤為廣泛，Charles Weiss 認為資通訊技術的影響分為四種：(1) 改變國際體系的架構，例如權力分配格局、組織與安全概念、行為者之間的權力關係等等；(2) 改變國際體系運作的過程，包含外交、戰爭、行政、政策制定、商業、金融、貿易、情報蒐集、資訊傳播、危機管理等等；(3) 在外交政策運作環境中創造新的議題領域、政治制約 (political constraints) 與權衡 (trade-offs)；(4) 為國際體系的運作提供新的見解、資訊來源與透明度，並為國際關係理論提供新的概念與想法 (Weiss, 2005, p. 295)。

科學技術對近代國際事務有著根本性影響，無論是武器技術改變了戰爭型態與地緣政治局勢，或技術傳播、產業離岸外包等全球化貿易型態使跨國關係更加緊

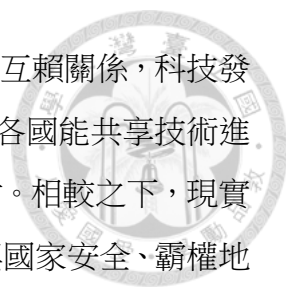


密互賴，抑或科學研究的進步使全球性議題被提出並納入國際議程；科學交流能令國家更廣泛地合作，科技競爭亦能引發軍備競賽與技術民族主義（*techno-nationalism*，或稱技術國家主義）。科技創新與技術管理能力的提升改變了國際體系成員（包含國家行為者與非國家行為者）之間的雙邊與多邊關係，包含重塑國家間軍事力量或經濟力量層級結構、重新界定國際經濟關係、形成新的聯盟、創造新資源或新的國際合作工具、引發或解決國際問題、開闢新的合作與競爭領域等（Weiss, 2005, p. 303）。這些現象使國際關係學界越來越重視科技對國際關係的影響，並將科學與技術潛力、知識與資訊資源所構成的智慧資本（*intellectual capital*）視為能影響國際體系權力轉變的關鍵屬性（*key attribute*）——既是國家機構或特定行為者用以鞏固自身權力的工具，亦是允許非國家行為者打破國家壟斷、在國際場域中獲得權力地位的資源。科技權力（*technological power*），即引發科技進步、應用、轉移與控制技術的能力，不僅是一種能影響國際權力競爭與權力重分配的特殊權力形式，也是建構政治、經濟、社會、文化、意識形態等其他權力領域的催化劑（Szkarglat & Mojska, 2016, p. xii）。

時至今日，技術進步已成為社會、經濟和政治變革的主要推動力，「軍民兩用技術革命」（*revolution in dual-use technologies*）從根本上改變了財富和權力的創造方式，以及軍事應用與戰爭型態。下一代微電子技術、奈米技術、生物技術、機器人技術、人工智慧、超級運算等先進技術的發展將令未來戰爭技術的擴散難以被任何軍備控制協議或防擴散機制所阻止，進而改變國家在戰場上的軍事投射力量、顛覆既有的權力平衡和世界秩序。在全球化的世界中，國家在區域與全球階層中的地位取決於其所擁有的關鍵技術與科技能力，國家間或通過提升自身技術與經濟實力，或通過封鎖其他國家的科技與經濟發展來進行競爭、維護地位或壓制對手。而技術領先的國家不僅能獲得先發優勢，還擁有制定國際規範與標準的權力，因此各國對技術主導地位的競逐也成為新興技術發展的驅動力（Malik, 2012）。

第二節 技術擴散對霸權地位的影響

在國際關係領域，自由主義學者與現實主義學者對於科技發展對霸權地位的影響看法截然不同。自由主義者認為 1970 年代以後資通訊技術進步、跨國公司促



進技術轉移、跨國資本流動、全球化貿易活動等發展加深國家間互賴關係，科技發展被視為促進國際合作的機會，透過國際機構合作與規範制定，各國能共享技術進步成果、降低技術競爭帶來的衝突，使科技進步成為全球公共財。相較之下，現實主義學者則認為科技發展是影響國際權力競爭的關鍵變數，且與國家安全、霸權地位穩定密切相關。其中，Robert Gilpin 即是最早表達擔憂技術擴散將威脅美國霸權地位的學者之一。

與自由主義學者認為跨國企業是能對國際政治產生顯著影響的獨立行為者，且其興起能促進全球經濟互賴的觀點相反，Robert Gilpin 強調跨國企業的經濟活動仍受特定政治框架制約。他認為是霸權國根據其自身利益和目標提供了一個可供跨國經濟活動安穩擴展於其中的經濟空間，而霸權的政治價值與安全利益決定了該框架的方向，使活動其中的跨國行為者服務於優勢（dominant）政治集團的戰略目標。換言之，Gilpin 認為跨國行為者並非真正獨立，而是受制於主導國或霸權國的安全利益，國際經濟活動則反映了全球經濟和軍事力量的平衡（Gilpin, 1971）。

儘管 Gilpin 同意跨國企業的擴張能在短期內幫助美國獲得經濟利益、增強美國霸權的國際影響力，卻對其長期影響持較悲觀看法。他認為跨國企業擴張會加速霸權國的技術與產業創新在國際間擴散，從而削弱霸權國權力基礎所仰賴的技術與經濟優勢，最終動搖其全球領導地位。儘管如重商主義者所言，民族國家試圖掌控經濟與技術力量並將其導向自身利益，但經濟成長與工業化的擴散無法被阻止，長遠而言，產業與技術擴散將削弱主導強權的地位（1975, p. 42）。Gilpin 也擔憂美國霸權可能陷入過度擴張而損害國內經濟發展：他認為對外直接投資（foreign direct investment, FDI）不僅無法帶來與國內產業發展相當的淨回報，甚至會對美國經濟造成潛在負面影響，包含政府稅收減少、國內資本流失、美國勞工收入下降、壟斷現象加劇、東道國政府施壓風險增加等等。他警告，若美國繼續透過對外投資大量輸出自身的資本、技術與實務知識（know-how）以換取未來的出口收益，而非強化國內創新與生產，將導致美國生產力增長潛能被削弱，最終恐淪為仰賴投資收益卻缺乏技術創新能力的食利社會（rentier society）（Krasner, 1976, p. 362）。

基於此憂慮，Gilpin（1975）在其著作 *U.S. Power and the Multinational Corporation* 中呼籲美國政府調整政策，例如改革稅收體系以遏止對外投資，並主張政府應推動國家工業戰略（national industrial strategy）、鼓勵國內工業生產與國際貿易，將生產資源與資本引導至美國經濟中被低度投資的領域，透過技術創新來

振興經濟、提升國際競爭力。這不僅有助於延續美國霸權地位，也能確保美國擁有足夠力量維持一個相對開放且穩定的國際經濟秩序。

許多學者對於 Gilpin 在書中深入探討美國霸權、跨國企業與國際政治經濟之間的複雜關係給予正面評價，尤其該書反映了 1970 年代美國社會對國家經濟不振、競爭力下降與全球領導力衰退的憂慮情緒，但也有部分學者指出 Gilpin 的政策建議可行性與對外投資的負面看法有值得進一步討論的空間。例如 Stephen Krasner (1976) 認為 Gilpin 可能誇大了經濟實力在政治目標中的可運用性，並指出 Gilpin 的政策建議——希望維持開放貿易體系的同時卻試圖限制對外投資——本身即存在內部矛盾，且其他國家也可能會設立貿易壁壘來保護本國高科技產業發展，使美國的戰略難以執行。Mennis (1978) 則批評 Gilpin 未能詳細闡述美國政府應如何具體落實其政治經濟戰略，且 Gilpin 討論美國政府與跨國企業的關係時，時而主張兩者之間的互補性、時而指出其內部矛盾，Mennis 認為釐清二者的角色關係對 Gilpin 倡導的改革至關重要。Doran (1976) 則質疑美國生產力與創新能力的下降趨勢與對外投資擴張之間是否存在因果關係，且認為 Gilpin 僅因為跨國貿易在技術與利潤轉移方面的速度不如直接投資，便得出貿易優於對外投資的結論並不合理。Doran 進一步指出，美國大部分對外投資仍集中於資源開採產業，在某些壟斷性較強的領域，透過直接投資獲取原材料比單純依賴貿易更具成本效益與效率。此外，美國擁有龐大的國內市場、豐富的資源基礎與安全保障能力，這些因素都能降低對外投資風險，使 Gilpin 的憂慮可能被誇大。

Gilpin (1981) 在下一部著作 *War and Change in World Politics* 中以「不均衡成長法則」(law of uneven growth)³為霸權穩定論補充霸權更迭與秩序變遷的動態解釋，探討霸權如何建立與維持國際秩序、國際秩序為何無法免於崩潰、霸權戰爭 (hegemonic war) 的成因，以及戰後如何重建秩序。Gilpin 認為國際體系處於持續變動的過程：霸權國透過提供國際公共財（如安全保障、自由貿易規則）建立並維持秩序穩定，以符合自身利益的方式塑造國際經濟、政治與安全結構，然而這種穩定並非永久，隨著時間推移，霸權國會因經濟成長趨緩、技術擴散 (technological

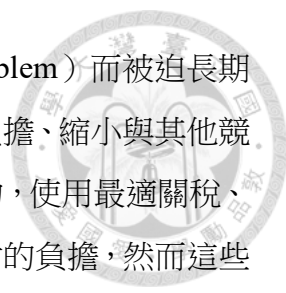
³ 在 *War and Change in World Politics* 中，Robert Gilpin 傾向以「不均衡成長法則」(law of uneven growth) 來強調在零和競爭的國際體系中，各國經濟與軍事發展速度差異將影響國家改變體系現狀的成本與動機，並將權力轉移理論 (theory of power transition) 視為更嚴格版本的不均衡成長法則 (Gilpin, 1981, pp. 94-96)。

diffusion)、過度擴張導致軍事負擔加重等原因走向衰退，而崛起國則在此期間發展國力、掌握能挑戰霸權的力量，若霸權無法透過「和平調適」(peaceful accommodation)適應體系權力變遷，終會爆發「霸權戰爭」以重新確立國際秩序。

Gilpin 指出，國際體系變革主要來自兩大因素：一是國際權力分配的變化，即國家軍事、經濟與技術能力的變革；二是國內政治變革導致國內偏好變化並重新定義國家利益。國際體系的結構反映主導國家的利益，但這些利益會隨著時間變化，因經濟或軍事技術進步而獲得優勢的行為者將透過領土、政治或經濟擴張尋求有利自身的體系變革，直到變革的邊際成本等於或超過邊際利益、體系內再無行為者能透過變革獲得更多利益時，體系會趨於均衡(equilibrium)，但當權力分配與國家利益變化導致體系失衡(disequilibrium)時，戰爭可能成為實現新均衡的手段(1981, Chapter 1)。Gilpin 認為，一旦擴張的成本與收益達成均衡，內部發展困境或外部環境變化便會開始侵蝕均衡的穩定性，使得霸權維持現狀的成本逐漸超過其所獲之資源利益，對霸權國造成財政負擔，最終導致霸權國的經濟與政治衰退，此時國際體系便會進入不均衡狀態，而且這種衰退與增長的循環過程因現代經濟與技術變革加速而被大幅縮短(1981, pp. 156-158)。

在 *War and Change in World Politics* (1981) 第四章中，Gilpin 歸納了霸權衰退的五個內部原因及兩個外部原因。五個內部原因分別是：(1)成熟社會的經濟成長趨緩、知識創新停滯；(2)軍事技術向外擴散提高霸權國戰爭與防禦成本，且人民對戰爭的接受度降低，令財政預算出現優先順序的衝突；(3)富裕國家的私人消費與公共福利支出增長速度快於整體經濟成長；(4)由服務業主導的成熟經濟體成長速度遜於新興經濟體的農、工業生產力成長；(5)富裕社會易安於現狀、甚至因道德腐化和優越感而削弱治理效率。Gilpin 認為這些因素的核心問題在於如何將國民收入合理分配於國防、消費與農工業投資，反映了從增長型政治(politics of growth)轉變為分配型政治(politics of distribution)的矛盾。當整體國民收入保持成長便能緩和各方利益衝突，然而一旦國民收入減少、經濟成長趨緩時，關於如何分配經濟剩餘的社會與政治衝突便會加劇，導致國家衰弱(1981, p.166-167)。

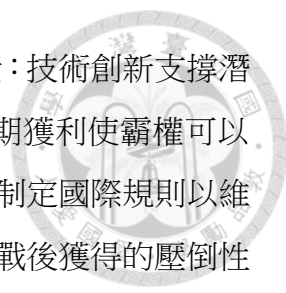
除上述五個內部因素，霸權衰落還涉及兩個外部因素：(1)維持政治主導地位的成本上升；(2)喪失經濟和技術領導地位。先進武器技術的擴散不僅提高霸權防禦支出，競爭國崛起亦迫使霸權國需投入更多資源以維持其在體系中的軍事與政治優勢地位。此外，霸權國透過為體系成員提供公共財以換取後者對現狀的支持、



鞏固體系支配地位，但霸權國也會因搭便車問題（free-rider problem）而被迫長期支付遠超其應承擔份額的公共財成本，從而對霸權國造成財政負擔、縮小與其他競爭者的實力差距。雖然霸權可以利用其地位對體系成員施加壓力，使用最適關稅、貨幣操縱或其他經濟干預手段來改善貿易條件、緩和提供公共財的負擔，然而這些策略在實務上會受到多重限制，例如對自由市場和公平競爭原則的承諾使得霸權國難以公開採取上述措施；強硬的經濟手段也會引發盟友不滿和疏遠，甚至可能導致報復行動、國際合作破裂。因此，儘管霸權國確實擁有利用其經濟和政治優勢改善自身貿易條件的能力，上述種種考量卻限制霸權國家採用最大化經濟利益的策略，最終導致自身力量被削弱（Gilpin, 1981, Chapter 4; Gilpin & Gilpin, 1987, Chapter 3）。學界也有許多學者從古典自由貿易與關稅理論、囚徒困境或安全外部性等角度對此「霸權困境」（hegemon's dilemma）進行深入討論（Olson & Zeckhauser, 1966; Conybeare, 1983, 1984; Stein, 1984; Gowa, 1989, 1994）。

另一方面，一國的權力增長源自相對於其他國家的軍事或生產能力優勢，這兩者都與技術發展密切相關。然而，主導國家的技術優勢會因技術擴散到體系內其他國家而逐漸減弱，加上維持主導地位的成本上升，最終動搖其政治、軍事或經濟地位的根基。諷刺的是，向較落後國家擴散軍事和經濟技術本身就是較先進國家向外擴張的一種手段，卻同時成為導致國際權力重新分配的關鍵因素。Robert Keohane 將霸權定義為「在世界政治經濟中處於物質資源優勢地位者」，霸權國能夠控制關鍵原料、主要資金來源、維持龐大的進口市場、在生產高價值商品上具有競爭優勢，甚至能產出相對較高的薪資和利潤（1984, p. 32）。高附加價值商品的競爭優勢便是奠基於科技創新領域的領先地位。然而，新技術的研發過程雖然困難且成本高昂，一但創造出來後便相對容易被他人採納、模仿和傳播，即便先進國家可以通過壟斷關鍵資源、加強對既有技術的投資、建立保護性貿易壁壘、甚至迫使其他經濟體選擇其他生產方式來鞏固技術領先地位，延緩構成其軍事或經濟實力之技術向外傳播，卻無法徹底阻止。市場經濟短期內有利於較先進、生產效率較高的經濟體獲得財富，但長遠來看，技術與財富必定會透過國際貿易、外國投資、技術轉移等經濟活動從已成熟的城市中心擴展至新興經濟體，後者因享有「後發優勢」（advantages of backwardness）而能跳過最初的研究開發階段，直接採用最先進且已被驗證的技術，從而趕超原本的經濟中心（Gilpin, 1981, pp. 178-179）。

長週期理論也支持技術擴散將削弱霸權的相對優勢，最終導致其衰落的觀點。



在長週期理論中，科技創新與擴散是導致霸權興衰的關鍵性因素：技術創新支撐潛在霸權國在全球戰爭中獲得勝利，創新所帶來的技術租金與長期獲利使霸權可以將資本持續投入基礎建設和軍事建設，並在戰後確立領導地位、制定國際規則以維持全球影響力。然而，若霸權無法或無意持續創新技術，則其在戰後獲得的壓倒性優勢只是暫時的。隨著時間推移，霸權將面臨內外部挑戰、經濟與技術外溢效果使霸權與崛起國之間的知識與利潤差距日益縮小，掌握新興技術的崛起國最終也能與霸權國家競爭領導地位，開啟下一場全球戰爭（Chase-Dunn & Grimes, 1995; Goldstein, 1988, Chapter 12-13; Modelski, 1978;）。當一個擁有高工資、大額投資與先進技術的技術領導者因既有的研究開發成本與既得利益而不再有動力使用更新的革命性技術時，技術上相對落後、擁有廉價勞動力且貨幣被低估的經濟體便會將發明革命性技術視為超越既存領導者的手段，是以技術領導者難以避免在全球經濟競爭中落後的可能（Gilpin & Gilpin, 2001, pp. 138-140）。經濟學的新成長理論（new growth theory）亦有「技術跨越」（technological leapfrogging）一詞，便是形容當後進國突然進入更高層次的生產效率與技術發展時，將劇烈逆轉與領導國之間的相對地位，從而引發衝突、改變國際體系結構和權力層級（Brezis et al., 1993; Brezis & Krugman, 1997）。

討論國際政治變遷時不能忽略權力轉移理論。權力轉移理論認為導致國際政治權力變化的決定性因素不在於軍事力量和聯盟，而是國家的人口規模、政治組織效率、工業力量與經濟發展（Organski, 1968, p. 338），雖然該理論未直接提及科技和技術創新，但人口增長、工業生產效率與經濟成長無一不與技術發展息息相關。由於他國工業化是無法被阻止的，面對競爭對手工業化成長可能帶來的潛在威脅，Organski 列出數種受威脅國可以採取的對策，態度從友好至敵對分別是：（1）協助對方國家工業化，建立友誼、避免未來的敵對關係；（2）以消極、不干涉的方式延遲對手國工業化進程，例如拒絕提供援助、實行保護主義、設置貿易障礙、實施禁運、金融控制等等；（3）積極阻礙對手國工業化發展，例如將該國控制為殖民地、鼓勵該國專注於出口農產品與原物料、限制其發展輕工業等；（4）顛覆對手國當前政府並扶持傀儡政權；（5）發起預防性戰爭（preventive war），將未來的大國扼殺於萌芽階段。後三種方式在當前的國際社會中已難以實施，且道德上站不住腳。因此隨著時間推進，後進者的工業化發展速度終究會趕上成長速度趨緩的先行者，對其形成壓力（1968, pp. 346-349）。

若發現後進國有機會崛起且具備成為大國的客觀條件，但願意繼續遵守有利於主導國及其集團的利益規則時，則接受後進國和平崛起、避免無謂的戰爭對主導國來說或許是更明智的選擇；然而，當後進國崛起速度過快、堅持改變體系權力分布，且主導國與挑戰國之間競爭激烈、不存在傳統友誼時，主導國難以接受和平調整，雙方爆發戰爭的風險升高。在政治和經濟空間差距縮小導致衝突加劇的情況下，人們傾向在自認為有利的時機點利用「先發制人的戰爭」(preemptive war) 解決問題，但當事態發展脫離掌控時，「霸權戰爭」便會爆發(Organski, 1968; Gilpin, 1981)。

在冷戰背景下、文革正發生時，Organski 便已預言中國不僅會取代蘇聯領導共產集團，還會成長為與美國並駕齊驅的國家，更在書中列舉了六點支持美中之間極可能爆發戰爭的理由，直言除非中國無法完成現代化，或者中國快速完成工業化且實力遙遙領先所有對手時，才可能避免中國與西方國家開戰(1968, pp. 488-489)。這種「美中注定一戰」的擔憂隨著近年美中力量差距縮小而越發明顯，Graham Allison 在 2017 年的著書 *Destined for War: Can America and China Escape Thucydides's Trap?* 以著名的「修昔底德陷阱」(Thucydides's Trap) 比喻美中關係的安全困境(security dilemma)，將美中競爭的緊張局勢擺上檯面，顯示中國在經濟、軍事和技術方面快速崛起已對美國霸權及其盟國帶來不小壓力。

在當前國際關係中，技術發展無疑已成為大國競爭的重要組成部分，深刻影響著國際秩序的穩定與變化。身為體系霸權國家，美國長期透過技術輸出管制、選擇性技術分享、制定國際標準和持續投入研發創新來維持其技術優勢，確保其在全球經濟和安全體系中的領導地位。而作為挑戰者的中國擁有後發者優勢，正嘗試透過技術引進、逆向工程(reverse engineering)、自主創新等策略縮小與美國的技術差距，甚至意圖在特定領域內實現技術跨越，以改變自身在全球權力結構中的相對地位。美國對中國科技競爭的迫切威脅感正源於此，也反映在其近年對中國科技發展實施的遏制戰略，包括限制先進半導體與人工智慧技術出口、強化對關鍵技術供應鏈的掌控、促進盟友間技術合作並共同圍堵中國獲得先進技術的管道等等。

Goldstein 在其著作 *Long Cycles: Prosperity and War in the Modern Age* 中指出，二戰結束後，美國主導的世界體系重心將逐漸由歐洲轉向太平洋，除了發展核子武器、探索太空領域外，隨著世界進入資訊時代(information age)，各國之間的競爭將逐步演變為科技戰爭(technological wars)(1988, p. 285)。然而，儘管意識到電腦技術與資訊經濟的重要性將會引發各國對科技霸權的競爭，在 21 世紀高科技產

業戰場上，現代科學和技術的涵蓋範圍、生產規模與成本已過於龐大，任何一國都難以再像過去的英國和美國那樣，單獨取得壓倒性的技術領先與壟斷地位。正如 Gilpin 於 21 世紀初所預言，對「神經中樞」(nerve centers) 的控制權將成為這場競爭的關鍵 (2001, p. 141)。在當代科技發展的進程中，半導體已是現代電子設備的核心構成基礎，包括微處理器、記憶體、各類電子控制元件，從日常生活中的智慧型手機、電腦、電氣設備、汽機車，到需要運算技術的大型農工業生產機械、基礎設施、國防安全與武器系統，無一不依賴半導體技術。控制半導體生產與供應鏈意味著擁有對現代技術和經濟活動的巨大影響力，因此將半導體譽為各國爭相競逐控制權「神經中樞」不可謂不貼切。

第三節 美中科技競爭背景

本節旨在從更宏觀的角度觀察美中兩國在科研領域競爭日益激烈的背景，以及美國面對中國科技崛起所感受到的壓力。筆者參考多家專業機構發布的國家科技技術表現報告，具體展示中國在先進關鍵技術、高影響力研究論文發表、專利數量等方面的顯著成長，反映中國全球科研競爭中的地位變化，也可以更清楚地理解其崛起如何對美國的科技霸權地位構成壓力與挑戰。本論文的主題——美中在全球半導體產業的競爭、雙方優勢與挑戰，將在第三章進行更深入的探討。

壹、新興技術領域學術研究表現

2022 年國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心發布一份研究報告《美中科技戰的現實主義視角分析與因應》，比較 2011-2020 年美國與中國在新興科技領域的「科研文獻產出」與「專利產出」變化。在科研文獻產出方面，該研究以科睿唯安公司 (Clarivate Analytics) 的 Web of Science 學術期刊論文索引資料庫為基礎，比較兩國「被收錄的期刊論文數量」、「高被引論文篇數」，以及「高影響力論文百分比」的數值變化⁴ (李正通，2022，頁 20)。表 1 為筆者整理該報告所列美、中兩

⁴ 根據該報告定義，「高被引論文篇數」(Highly Cited Papers) 是指近十年間 (2011-2021) 被引用次數列為全球該領域前 1% 的論文數量，「高影響力論文百分比」(% Documents in Top 1%) 是指當年度被引用次數為全球該領域前 1% 的論文佔該國所有該領域同類文獻的百分比 (李正通，2022，頁 20)。

國在十二個新興科技領域的文獻產出能量，雖無法在表中詳列兩國的論文數量與百分比變化，但從該報告呈現的趨勢變化可發現除了太空科學、量子（資訊）科技與生物科技外，中國在其餘新興領域的研究發表數量和高被引用論文數量逐漸超越美國，2020 年中國在多個新興技術領域的高影響力論文貢獻也正式超越美國。

表 1 2011-2020 年美中兩國在新興科技領域的科研文獻產出能量

		收錄論文數量	高被引用論文數量	高影響力論文百分比
1	人工智慧	中國保持領先	中國保持領先	2020 年中國超越美國
2	半導體	2014 年 中國超越美國	2015 年 中國超越美國	2020 年中國超越美國
3	高速運算及高階電腦軟硬體	2015 年 中國超越美國	2017 年 中國超越美國	2020 年中國超越美國
4	量子（資訊）科技	2015 年 中國超越美國	美國保持領先	美國保持領先
5	機器人、自動化與高階製造	中國保持領先	2015 年 中國超越美國	2020 年中國超越美國
6	高階通訊、沉浸式科技	2020 年 中國超越美國	2020 年 中國超越美國	2020 年美國高於中國，但兩國差距極小
7	生物科技、醫學、基因體、合成生物學	2020 年美國高於中國，但兩國差距極小	美國保持領先	美國保持領先
8	資料儲存管理、資安識別、生物識別、分散式帳本	2014 年 中國超越美國	2015 年 中國超越美國	2020 年中國超越美國
9	能源科技	中國保持領先	2013 年 中國超越美國	2020 年美國高於中國，但兩國差距極小
10	先進材料、複合材料	中國保持領先	2015 年 中國超越美國	2020 年美國高於中國，但兩國差距極小
11	航空工程	2019 年 中國超越美國	2018 年 中國超越美國	2020 年中國高於美國（過去十年互有領先）
12	太空科學	美國保持領先	美國保持領先	美國保持領先

資料來源：美中科技戰的現實主義視角分析與因應（頁 20-41、頁 50-51），李正通，2022，國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心。表格由筆者重新繪製。

註：「保持領先」是指該國數據在 2011-2021 年間長期維持高於另一方、未被超越。



在專利產出方面，該研究查詢了美國專利局（United States Patent and Trade Mark Office, USPTO）、歐洲專利局（European Patent Office, EPO）、世界智慧財產權組織（World Intellectual Property Organization, WIPO）等三大專利資料庫，比較 2016-2020 年美、中兩國所申請和持有的專利數量，並檢視與以下九個新興技術領域相關的專利數量變化：（1）人工智慧與機器學習；（2）半導體及高速運算；（3）量子資訊科技；（4）機器人、自動化與無人機；（5）沉浸式科技；（6）基因工程；（7）資安科技、區塊鏈與分散式帳本；（8）再生能源；（9）火箭與衛星科技等。在上述領域中，美國所申請或持有的專利數量皆高於中國，保持穩定領先的態勢，但在部分領域出現美國的專利件數緩步下滑、中國成長快速的趨勢，導致兩國差距逐漸縮小，例如半導體領域、無人機技術、區塊鏈與分散式帳本技術、再生能源、火箭與衛星科技領域（李正通，2022，頁 41-50）。

2023 年澳洲戰略政策研究所（Australian Strategic Policy Institute, ASPI）開啟一項「關鍵技術追蹤計畫」（Critical Technology Tracker），欲透過追蹤各國在先進技術領域的「高影響力研究」（high-impact research）表現來判斷該國是否在特定技術領域處於領先地位。⁵該計畫以論文引用次數來判定「影響力」，並依據特定技術領域中前 10%被引用次數最多的論文來源、評估國家和機構學術影響力的「H 指數」（Hirsch index）⁶，以及擁有在全球表現前 10-20 名的研究機構數量來判斷該國在某一領域的研究集中度和主導地位（Gaida et al., 2023, p. 11）。此外，該報告還建構「技術壟斷風險」（technology monopoly risk）指標，用以凸顯單一國家在特定技術領域的專業知識集中度，該指標包含排名第一的國家擁有全球前十大研究機構的數量，以及第一名國家相對於最接近競爭者的領先幅度（兩國在前 10%研究出版物中的比例差異），並將風險程度分為高、中、低三等級（Gaida et al., 2023, p. 51）。

2023 年該計畫追蹤了 44 項技術，範圍涉及七大領域：先進材料與製造（advanced materials and manufacturing）；人工智慧、計算與通訊（artificial intelligence, computing and communications）；能源與環境（energy and environment）；量子（quantum）；生物技術、基因技術和疫苗（biotechnology, gene technology and vaccines）；感測、定時與導航（sensing, timing and navigation）；國防、太空、機器

⁵ 有鑑於英語仍是目前學術研究的通用語言且覆蓋範圍較廣，此資料集分析的論文以英文文獻為主。

⁶ 一種混合量化指標，以研究者的論文數量及其論文被引用的次數計算，原用於評估研究人員個人的學術產出數量、產出水平，顯示其學術成果的影響力與學術年齡。

人和交通 (defense, space, robotics and transportation) 等。結果顯示中國在 37 項關鍵技術中居於領先地位，且在其中 8 項關鍵技術擁有高度壟斷優勢、在 15 項關鍵技術的壟斷風險程度中等；而美國在這 37 個領域中，多數排名第二，但在某些技術領域落後印度與韓國。在總共 44 項被追蹤的關鍵技術中，美國僅在七個技術領域排名第一：高效能運算 (high performance computing)、先進積體電路設計與製造 (advanced integrated circuit design and fabrication)、自然語言處理 (包括語音和文字辨識分析) (natural language processing (incl. speech and text recognition and analysis))、量子計算 (quantum computing)、疫苗和醫療應對措施 (vaccines and medical countermeasures)、小型衛星 (small satellites)、太空發射系統 (space launch systems)。但在這七個領域中，美國皆非居於技術壟斷地位，且緊追在後的最接近競爭者皆是中國 (Gaida et al., 2023, pp. 51-55)。

2024 年該計畫追蹤的關鍵技術由 44 項增加至 64 項，資料集時間從五年 (2018-2022) 延長到 21 年 (2003-2023)，並新增了兩個領域：先進資訊與通訊科技 (advanced information and communication technologies)、AUKUS 相關獨特技術 (unique AUKUS-relevant technologies)⁷；此外，有鑑於盟邦之間會針對特定技術進行研究合作與資源共享，因此除了分析個別國家，ASPI 也加入了國家集團分析，將歐盟 (EU)、北約 (NATO)、美日印澳四方安全對話 (Quad)、澳英美三方安全夥伴關係 (AUKUS)、五眼聯盟 (Five Eyes, FVEY) 等國家集團納入能力比較。⁸2024 年報告分析結果顯示，中國排名第一的技術總計為 57 項，且其中 24 項被列為高度壟斷、19 項被列為中度壟斷，值得注意的是被中國高度壟斷的許多技術與國防應用相關；而美國排名第一的項目仍只有 7 項，且皆不居於技術壟斷優勢地位，分別是自然語言處理 (natural language processing)、基因工程 (genetic engineering)、核子醫學和放射治療 (nuclear medicine and radiotherapy)、疫苗和醫療應對措施 (vaccines and medical countermeasures)、小型衛星 (small satellites)、量子計算 (quantum

⁷ ASPI 在 2024 年的追蹤報告中加入了國家集團分析，ASPI 在此次報告中特別比較了 AUKUS 的「第二支柱」能力。AUKUS 目前協議內容有兩大支柱，其一是幫助澳洲獲得第一支常規武器核動力潛艦艦隊 (conventionally armed, nuclear-powered submarine fleet)，其二則著重於由澳、英、美三國共同發展先進技術能力 (advanced capabilities)、提高技術共享與武裝部隊的互通性 (interoperability)。在 2024 年追蹤報告中，ASPI 針對 AUKUS 關注的第二支柱先進技術 (分為 6 個技術領域、共計 19 個子項目)，將 AUKUS 三國以及日本、韓國的研究份額 (research share) 相加後與中國比較 (Leung et al., 2024a, pp. 9-10)。

⁸ 該報告也提供探索網站連結，供讀者針對感興趣的技術領域進行單一國家或國家集團間的比較，詳見網站「Techtracker ASPI」(網址：<https://techtracker.aspi.org.au/>)。檢索日期 2025 年 4 月 24 日。

computing)、原子鐘 (atomic clocks) (Leung et al., 2024a, pp. 41-46)。

值得注意的是，雖然美國排名第一的技術項目數量維持，但基因工程、核子醫學和原子鐘是 2024 年追蹤報告中才新增的分析項目；在 2023 年報告中，美國在「高效能運算」、「先進積體電路設計與製造」，以及「太空發射系統」等三個技術領域居於領先地位，但 2024 年追蹤報告顯示美國在此三個領域已被中國超越，成為第二名 (Leung et al., 2024a, pp. 41-46)。該計畫還比較了前 5 年 (2018-2022) 和前 21 年 (2003-2023) 兩個時期內技術領先國家的變化以及年發表率 (annual publication rate) 出現轉折的年份，分析顯示在 64 項先進技術中，有 18 項技術研究在前 21 年是由美國領先，但在近 5 年間中國的高影響力研究發表率已顯著增加並超越美國 (Leung et al., 2024a, pp. 57-58)。

貳、研發投資

根據全球最大的非營利科學組織——美國科學促進會 (American Association for the Advancement of Science, AAAS) 在 2024 年發布的報告 *U.S. R&D and Innovation in a Global Context: The 2024 Data Update*，以及美國國家科學委員會 (National Science Board, 以下簡稱 NSB) 每兩年向美國總統和國會準備的《科學與工程指標》(Science and Engineering Indicators)，我們可以進一步了解並比較美國與其他前幾大競爭國 (尤其中國) 在全球研發投資支出、發表數量和專利申請的表現，從而對中國的研發能力成長速度有較明確的定位。

一、研發投資支出

從總支出來看，美國長年居於全球第一，2021 年美國國內研發投資支出已達到 8060 億美元；中國自 2000 年代中期開始增加國內研發支出，在 2009 年超越日本、2013 年超過歐盟，2021 年中國、歐盟、日本的研發支出分別為 6676 億美元、4741 億美元和 1774 億美元，分別居於第二、第三與第四名 (NSB, 2024c, pp. 21-22)。事實上，自 2002 年以來中國的研發支出年成長率達 14%，成長幅度居於所有國家之首 (Zimmermann, 2024, p. 3)。若進一步依執行部門 (performing sector) 來劃分國家總體研發支出的去向，2009-2023 年間美國商業部門 (business sector) 所佔總支出比例持續成長，從 69.87% 增加至 78.42%，而政府部門佔比則從 12.19%

降低到 7.93%，高等教育部門佔比從 13.59%降至 10.68%，私人非營利部門維持佔比約 3%~4.5%；同時期中國商業部門佔研發總支出比例從 73.23%微幅增長至 77.71%，政府部門佔比從 18.71%下降至 14.04%，高等教育部門維持佔比約 7%~8%（OECD Data Explorer, 2025）。⁹這些數據顯示商業部門不僅貢獻了大部分的研發經費，更是國家科技創新的重要動力來源。若從研發支出佔 GDP 比例——研發強度（R&D intensity）——來看，2022 年美國的研發強度為 3.59%，排名世界第四，居於以色列（6.02%）、南韓（5.21%）與台灣（3.96%）之後；中國則為 2.56%，世界排名第 13 名（World Bank Group, 2025a；國家科學及技術委員會，2024）¹⁰。

二、研究人員與發表數量

美國科學促進會的分析報告顯示中國的研究發表總數量在過去十年翻了四倍，並於 2021 年超越美國，成為全球研究發表數量最多的國家，美國之後則是印度、英國、德國緊追在後；尤其中國在科學與工程領域的研究發表數量自 2016 年超越美國後便持續保持領先（Zimmermann, 2024, p. 8; NSB, 2024a, p. 22）。中國之所以能在研究產出上取得顯著成績，部分原因可歸因於其龐大的人口基數。早在 2013 年中國便超越歐盟，成為擁有最多研究人員的國家，且該國近兩成研究人員服務於政府部門，此比例在全球僅次於希臘，顯示中國政府在研發活動中扮演重要角色。然而，從人均角度來看，中國每千名勞動人口中僅有三到四位研究人員，該國研究人員密度與其他高研發投入國家相比仍存在顯著差距（Zimmermann 2024, pp. 6-8）。從影響力發表（influential publications）來看，2024 年科睿唯安公司（Clarivate Analytics）公布 2024 年全球「高被引學者」（Highly Cited Researchers）名錄人數達 6636 人，其中有 2507 人來自美國（36.4%）、1405 人來自中國（20.4%）、563 人來自英國（8.2%），自 2019 年中國超越英國成為高被引學者來源國第二名以來，排名第二的中國與排名第三的英國之間差距逐漸擴大（Clarivate, 2024）。進一步觀察 Web of Science 資料庫中被引用次數最高的前 1%研究發表來源國可發現，2015-

⁹ 在經濟合作暨發展組織（OECD）的數據資料庫中，美國的研發支出執行部門分為商業、政府、高等教育、私人非營利四類，中國的研發支出執行部門只分商業、政府、高等教育三類。百分比由筆者下載數據庫資料後計算得出。

¹⁰ 截至 2025 年 4 月，世界銀行數據庫中僅有少數國家將國內研發支出佔 GDP 比例數據更新至 2023 年，故此處統一使用 2022 年數據。此外，由於臺灣的資料不會顯示在世界銀行數據庫中，筆者在此列出國家科學及技術委員會統計數據，並加入排名。

2023 年間中國在化學和電腦科學（包含人工智慧、資訊系統、軟體開發）領域長期居於主導地位，美國則在應用生命科學（包含普通科與內科醫學、實驗醫學、傳染病學）領域長期佔據主導地位，不過 2023 年中國在生物科學領域的高被引論文數量已超越美國（Zimmermann, 2024, pp. 9-10）。

三、專利申請

自 2010 年代以來，中國的專利申請總量持續成長，2015 年美國的國際專利申請總數是中國的兩倍以上，但 2021 年時中國已超越美國，歐盟與日本則排在美國之後（NSB, 2024a, pp. 24-25）。根據世界智慧財產權組織（WIPO）專利資料庫，美國在生物醫學領域長期居於主導地位，然而，儘管疫情為全球帶來了大量的醫療技術突破，美國在醫療技術（medical technology）、製藥（pharmaceutical）和生物技術（biotechnology）等三個生物醫學領域的專利數量都在 2021 年出現下降；相較之下，中國在疫情過後急起直追，更在 2022 年超越美國，成為生物技術與製藥領域申請最多專利的國家。在電機工程（electrical engineering）和半導體領域，雖然日本長期主導半導體專利領域，但中國的半導體專利申請數量已於 2022 年超過日本，日本之後依序是南韓與美國；在晶片領域，技術微型化（miniaturization）也是重要競爭方向，中國在微結構與奈米技術（microstructural and nanotechnology）方面的專利申請數量自 2013 年以來便排名世界第一且高速成長，這與中國政府在「十二五規劃」中將奈米技術列為七大新興產業之一、積極推動該領域發展有很大關係。資訊與通訊技術（information and communications technology, ICT）也是被中國列入「十二五規劃」的重點產業，中國在 2020 年後已成為擁有最多資通訊技術專利的國家，其 5G 和 6G 技術的專利家族（patent families）數量也遠超其他國家（Zimmermann, 2024, pp. 12-14）。

參、綜合討論

眾多分析報告與數據顯示中國的基礎科學研究實力在過去十年間已有長足進步，甚至在數個新興與關鍵技術領域的科研產出與專利申請數量超越各國，建立了潛在的研究壟斷地位，令人不免擔心美國正在失去技術優勢地位，但研究者們並未就此斷定中國的科研實力已經超越美國。



首先，中國的學術研究發表數量與論文被引用率數據表現較高可能與該國學閥之間彼此相互引用或自我引用有關（李正通，2022，頁 50）。2024 年「科學」（Science）期刊報導兩份來自日本與德國的研究證實這個現象確實存在，並推測造成此現象的可能原因，包含中國研究人員數量快速成長使其產出越來越多高品質的研究成果、語言隔閡導致中國學者引用國內研究的比例顯得異常突出、中國文化看重「關係」的傳統促進中國學者之間的相互引用，或是蓄意使用「引用堆疊」策略（citation stacking），即，為提升同事與機構的引用數而加入與論文內容無關的參考文獻等等（Normile, 2024a, 2024b）。此外，中國研究人員的發表與晉升壓力令中國的地下論文工廠（paper mills）成為規模產業，也造成嚴重的學術造假問題（Van Noorden, 2025；王剛，2023）。

其次，中國的專利申請數量快速增長不僅反映創新能力，也與該國推動的戰略目標有關。2011 年中國政府頒布「第十二個五年規劃綱要」，首次將「每萬人口發明專利擁有量」列為經濟社會發展的衡量指標；2021 年中國政府發布的「第十四個五年規劃和 2035 年遠景目標綱要」再進一步將「每萬人口高價值發明專利擁有量」列為衡量创新的主要指標（中華人民共和國國家發展和改革委員會，2011，頁 7；2021，頁 10）。在中國的政策鼓勵下，專利申請人不論是否通過申請、成功授權並投入商業化生產都能獲得補助，專利數量成長是必然趨勢。有研究者指出，中國專利的實際授權與商業化比例平均低於其他國家，儘管不能以市場應用數據直接衡量專利品質，但理解各國的專利申請動機與規則將更有助於全面的分析（Zimmermann, 2024, pp. 11-12）。事實上，中國政府也已注意到無差別補貼政策所導致的專利申請作假或灌水行為，2021-2022 年間中國國家知識產權局陸續發布「關於進一步嚴格規範專利申請行為的通知」以及「關於持續嚴格規範專利申請行為的通知」，欲加強專利申請管理並調整專利資助政策，先在 2021 年 6 月底前全面取消各級專利申請階段的資助，並在「十四五」期間逐步減少對專利授權的各類財政資助，規劃於 2025 年以前終止所有專利補貼（中華人民共和國國家知識產權局，2021，2022）。2025 年之後中國的專利申請數量是否因此變化仍有待後續觀察。

儘管學術論文與專利申請是衡量科技創新的最常見指標，但眾所周知，實驗室的研究成果距離落地應用、投入商業化生產仍有一段很長的過程。雖然中國的智慧財產權與專利申請數量已居全球之冠，但中國透過專利授權將技術轉化為實際經濟利益的能力仍有待提升。以世界銀行資料庫公布的 2023 年各國的智慧財產權使

用費（charges for the use of intellectual property）¹¹收入與支出為例，美國的智慧財產權使用費收入全球排名第一（約 1344.41 億美元），中國的智慧財產權使用費收入全球排名第十（約 109.77 億美元），兩國收入相差 12 倍；在支付智慧財產權使用費方面，美國排名全球第二（約 475.37 億美元），中國則排名全球第四（約 427.24 億美元），兩國差距較小（World Bank Group, 2025b, 2025c）。美國的使用費收入遠大於支出，顯示該國仍是全球技術與創新主要輸出國，而中國是智慧財產權的淨輸入國，說明該國在產業創新發展上仍高度仰賴外國專利技術。

另一方面，隨著技術逐漸成熟、達到基礎科學研究難以克服的物理條件限制，成熟產業的創新速度會越來越慢，或從硬體技術創新轉向軟體與應用層面創新，後者因其更新迭代快速而較多透過商業機密或開源方式發展，較少依賴申請專利保護，且部分國家對軟體專利的標準較嚴格而影響申請意願，故若以專利數量作為衡量指標顯然會低估軟體與應用層面的創新發展。因此專利申請數量的增減僅能表現國家關注的技術發展趨勢，無法就此斷定一國在特定技術領域是否處於領先地位、是否缺乏創新能力，以及能否將專利技術成功應用於市場上（Jaques, 2023; Zimmermann, 2024, pp. 11-14）。

除了智慧財產權的變現能力，也有學者從金融市場體制與人力資本面向探究中國的科技發展潛力限制。不同於美國擁有開放且完善的金融市場制度、促進科技創新的政策以及鼓勵中小企業創新的投資環境，中國的金融體系對於中小型民營企業的融資支持相對不足；雖然特定產業在中國政府的戰略需求與優惠政策指導下快速成長，但缺乏政府關注的產業也容易被排除於金融市場之外，使中國國內新創企業與創投資本需投入較多成本與政府部門建立關係。此外，中國市場存在金融法治不透明、實施外資管制、政府干預、政策環境不夠穩定而有投資風險高、本地募資困難等問題，從而限制該國新創企業的長期發展（周冠竹，2024，頁 44-46）。

美國厚實的科技創新能力以及亮眼的研發表現很大程度上要歸功於美國高等教育體系吸納了來自各國科學與工程領域（science and engineering，以下簡稱 S&E）¹²的頂尖人才。根據國際教育協會（Institute of International Education，以下簡稱 IIE）

¹¹ 根據世界銀行定義，「智慧財產權使用費」（charges for the use of intellectual property）是指居民與非居民之間因專有權利授權所支付或收到的款項。這些權利包括但不限於專利、商標、著作權、工業流程與設計（如商業機密）、特許經營權等。因此，國內居民之間的智慧財產權授權交易（例如國內企業間的專利授權）不會被計入該數據統計範圍。

¹² 在美國國家科學委員會（NSB）的報告中，科學與工程領域（science and engineering, S&E）涵蓋

與美國國家科學委員會（NSB）發布的統計報告，2021/22 年赴美國就讀大學學位（undergraduate）的國際學生總計 344,532 人、赴美國攻讀碩、博士學位的研究生（graduate）人數總計 385,097 人，攻讀碩、博士學位的國際學生中分別有 57%、83% 選擇 S&E 領域，相比之下，攻讀碩、博士學位的本地學生（公民或永久居民）分別只有 19%、59% 選擇該研究領域。2021 年美國 S&E 領域有 34% 的碩士學位以及 35% 的博士學位授予持有臨時簽證的留學生（IIE, 2023; NSB, 2024a, pp. 8-9）。

儘管 S&E 領域學生畢業後滯留率（stay rate）¹³會因不同學科專業和不同國籍身分而有所差異，但截至 2021 年，2015-2017 年間畢業的外國籍博士生平均滯留率超過 70%（五年滯留率）、2010-2012 年間畢業的外國籍博士生平均滯留率仍有 65%（十年滯留率），足見這些在美國獲得學位的國際學生是美國市場中重要的理工人才來源。值得注意的是，中國不僅是美國 S&E 領域博士留學生的最大來源國，其博士畢業生的留美比率也居各國之首：2021 年的數據顯示，中國籍博士生畢業後五年滯留率高達 88%，畢業後十年滯留率仍達 81%；印度籍博士生滯留率則排名第二，其畢業後五年滯留率為 79%、畢業後十年滯留率為 77%（NSB, 2024b, pp. 45-47）。與其他國家相比，只有這兩國學生的畢業後滯留率高於平均，也反映這兩個國家有大量高端人才並未回流母國。

對「美國夢」的嚮往以及美國高等教育體系的學術聲望吸引了全球眾多留學生赴美攻讀學位、尋求職業發展。自 2015 年以來，每年都有超過一百萬位國際學生赴美求學（除 2020-2022 年間受疫情影響，赴美留學生人數不滿百萬），相較之下，2019 年以後赴中國留學的國際學生才突破每年二十萬人次，顯示中國高教體系對國際學生的吸引力有限（IIE, 2024a; Migration Data Portal, 2025）。儘管美、中雙邊政治關係緊張，美國仍是眾多中國學子趨之若鶩的留學目的地：2014-2020 年間每年有超過三十萬中國學生赴美留學，直到 2023 年之前中國都是美國最大的留學生來源地（2023/24 年印度超越中國成為美國最大的留學生來源國）；雖然 2020 年之後中國學生赴美留學人數開始減少，但 2023/24 年仍有超過 27.7 萬人，近三成中國留學生選擇前往美國。相反地，美國赴中國留學人數則出現銳減趨勢：在 2018-

以下學科：生物、農業、健康與環境生命科學（Biological, agricultural, health, and environmental life sciences）、電腦與數學科學（Computer and mathematical sciences）、物理科學（Physical sciences）、社會科學（Social sciences）以及工程學（Engineering）。

¹³ 「滯留率」是指畢業後仍留在美國的比例，包含持臨時簽證者、取得永久居留權（綠卡）或歸化為美國公民的情況。

2019 年間從 11,639 人驟減至 2,481 人，2020 年後每一年赴中留學的美國學生甚至不到五百人(IIE, 2024a, 2024b)。雖然美國政府並未實施禁止學生赴中留學的政策，但雙邊關係惡化、美國升高對中國的旅行警示、基於國安風險和政治考量縮減學術合作、停止在中國和香港運作的學術資助計畫（例如 Fulbright Program）、擔憂中國政府的政治審查等等因素都降低了美國學生赴中留學的誘因。

綜上所述，美國憑藉其卓越的學術聲望、豐富的研究資源以及自由開放的學術環境，持續吸引來自世界各地的優秀人才為美國的科學研究環境提供支持。雖然中國近年在新興科技領域取得長足的進展，但美國成熟的科研生態、完善的金融市場體系以及鼓勵創新的投資環境使該國在應用技術研究上保有絕對優勢，能將上游基礎科學的研究成果有效地轉換為下游可實際執行的產業技術，進一步鞏固其全球科技領導地位。儘管由此看來，美國尚無須過度擔憂來自中國的競爭，但仍有學者提醒科研文獻產出代表著科學能量的根本基礎，逐漸喪失學術論文優勢是政府衡量科研競爭力與制定科技政策時應積極重視的警訊（李正通，2022，頁 52）。建立科學能力並維持科學研究的卓越性需要長期的戰略規劃與投資，若因已取得優勢地位或為節省預算而放緩或停止資金投入、放棄製造能力、無法善用新興技術，民主國家可能會因此失去得來不易的技術領導地位（Leung et al., 2024b）。

第四節 美國對半導體產業與新興技術的關注提升

壹、中國獲取技術方式引起美國政府警惕

網路安全是美國政府最早開始關注中國的科技議題，也是歐巴馬任內美中關係的重要焦點。隨著一系列揭露美國監聽友邦與對手國、中國長期透過網路駭客攻擊竊取美國商業機密的報導公開後，「美中戰略與經濟對話」(US-China Strategic and Economic Dialogue, S&ED)¹⁴在 2013 年設立工作小組專責處理網路安全議題，但

¹⁴ 2009 年歐巴馬執政後，振興國內經濟和控制美國在海外的戰爭成本成為最優先事項。在經濟與戰略方面，美國傾向與成為全球第二大經濟體的中國保持貿易合作關係，將原先小布希政府發起的美中「戰略經濟對話」(Strategic Economic Dialogue, SED)升級為「美中戰略與經濟對話」(US-China Strategic and Economic Dialogue, S&ED)，對話內容從原先的金融與經貿議題擴展到其他軍事安全、外交、氣候變遷、核武等領域，促進「G2」關係發展；在撤軍方面，國防部也將「全球反恐戰爭」(global war on terror)改稱為「海外緊急行動」(overseas contingency operation, OCO)，以降低戰爭色彩和財政壓力，也表明美國無意進行全球性、無止盡的軍事行動，而要轉向更靈活、理性的外

此對話在 2014 年美國司法部起訴五名中國解放軍駭客後中止，2015 年 6 月美國聯邦人事管理局資料外洩案進一步加劇雙邊緊張關係。2015 年 9 月習近平前往美國進行首次國是訪問，美中雙方就網路安全問題達成協議，承諾政府不會從事、也不會在知情下支持竊取智慧財產權和機密商業資訊的網路活動（林正義，2020）。協議達成後中方駭客入侵活動一度趨緩，但 2018 年川普發動對中貿易戰後，削弱美國對中國的經濟影響力以及中方遵守協議的誘因，中方駭客活動再度活躍。事實上，網路攻擊是地緣政治緊張局勢的展現，當美國無法提供足夠誘因或建立具有實質威嚇效果的制裁機制改變對手行為時，僅憑強化自我防禦與有限的嚇阻措施不僅難以觸及威脅根源，更遑論從根本上提升美國網路安全（Alperovitch, 2022）。

下一任總統川普特別關注損害美國經濟利益、導致貿易逆差的「不公平貿易行為」，是令美國對中態度轉向對抗的重要關鍵。川普上任後指示美國貿易代表署（Office of the United States Trade Representative，以下簡稱 USTR）對中國發起「301 條款調查」，著重檢視中國在技術轉移、智慧財產權和創新方面的法律與政策是否構成「不公平貿易行為」。2018 年公布的調查結果認定中國政府透過不公平的技術轉移制度、歧視性許可限制、引導對外投資與技術收購，甚至非法入侵美國商業電腦網路、竊取智慧財產權和敏感商業資訊等損害美國企業智慧財產權與創新技術發展的方式來推進「中國製造 2025」等科技戰略、破壞全球貿易體系（USTR, 2018a）。

中國政府和企業在國內外以非市場競爭方式取得技術優勢的做法引發全球關注，且有不少報告探討相關議題。例如 2018 年史丹佛大學胡佛研究所（Hoover Institute）也發布一份中國影響力研究報告 *China's Influence & American Interests: Promoting Constructive Vigilance*，報告指出中國企業和學術研究機構多次被指控參與技術竊取活動，參與者涉及中國國民、華裔美國人、學生、研究人員等等，竊取途徑包含公開研究（open-source research）、人員交流、倡議團體和合作組織、共同研究、網路間諜活動、或模仿改造等其他盜用手段，故各國在與中國進行技術合作時應加強警惕，嚴格管理技術出口和投資（Diamond & Schell, 2019, Chapter 8）。美中經濟與安全審查委員會（US-China Economic and Security Review Commission）在 2019 年發布的報告 *How Chinese Companies Facilitate Technology Transfer from the United States* 中指出中國企業在中國政府的指導和協助下，經常利用外國直接

交政策（Wilder, 2009；Wilson & Kamen, 2009）。

投資、創業投資、合資企業、授權協議、網路間諜活動、人才招聘等六種方式秘密轉移或強制性取得美國的技術和智慧財產權（O'Connor, 2019, p. 3）。

2021 年美國國家情報總監辦公室轄下的國家反情報與安全中心（National Counterintelligence and Security Center，以下簡稱 NCSC）發布一份標題為 *Protecting Critical and Emerging U.S. Technologies from Foreign Threats* 的情況說明書，表示 NCSC 將會就人工智慧（artificial intelligence, AI）、生物經濟（bio-economy）、自主系統（autonomous systems）、量子資訊科學與技術（quantum information science and technology）以及半導體等五個對美國經濟和國家安全具最大潛在利益的技術領域擴大反間諜活動（counterintelligence），此行動將擴及美國私部門、學術研究社群以及外部的利益相關者（external stakeholders）。該文件指明中國和俄羅斯兩個戰略競爭對手正制定全面的國家戰略，利用各種合法、準合法（quasi-legal）或非法手段與美國競爭新興技術領域的領先地位，而 NCSC 將向前述相關單位提供有關外國間諜活動的威脅資訊以及降低情報洩漏風險的建議步驟（NCSC, 2021）。NCSC 警示中、俄兩國從美國或其他國家獲取技術和專門知識的途徑如下：

表 2 中國與俄羅斯從他國獲取技術知識的途徑

中國	● 北京政府特別關注其認為未來對經濟與軍事至關重要的技術，包括生物技術、先進運算、人工智慧等領域，因其擁有充足資源且全面的策略以獲取技術、推進國家目標而被美國視為首要戰略競爭對手。 ● 該國主要透過軍民融合政策（military-civil fusion policy）和《國家情報法》（National Intelligence Law）進行技術移轉與情報蒐集，該法規定所有中國實體必須與中國軍方、情報機構和安全部門共享技術與資訊。 ● 中國的技術獲取途徑包含但不限於：情報機構、科學與技術投資、學術合作、合資企業、合併與收購、非傳統技術收集者（包括受策反的內部人員）、人才招聘計畫、研究夥伴關係、掛名公司、法律監管行動等等。
俄羅斯	● 俄羅斯將先進科學與技術的發展視為國安優先事項，但因資源有限，故該國的本土研發主要集中在少數支持國家層級戰略行動的關鍵軍事與情報技術，且仰賴外部資源來推動國內研發計畫，例如使用非法採購網絡、與西方企業合資尋求技術轉移、要求科技公司進入俄羅斯市場時提供原始碼等等。 ● 俄羅斯的技術獲取途徑包含但不限於：情報機構、國際科學合作、學術合作、合資企業與商業夥伴關係、非傳統技術收集者（包括受策反的內部人員）、人才招聘、外國投資、政府間協議、法律監管行動等等。

表格由筆者整理繪製。資料來源：*Protecting Critical and Emerging U.S. Technologies from Foreign Threats* (pp. 2-3), National Counterintelligence and Security Center, 2021.

貳、美國政府提高對關鍵新興技術的重視

美國政府對半導體產業及相關新興技術的關注最早可追溯到白宮總統科學技術顧問委員會（President's Council of Advisors on Science and Technology，以下簡稱 PCAST）於 2017 年 1 月提交的報告：《確保美國在半導體領域的長期領導地位》（Ensuring Long-Term U.S. Leadership in Semiconductors）。報告背景是 PCAST 已注意到中國政府大力扶植國內半導體產業的做法可能導致美國失去在半導體技術創新和製造領域的領先地位，恐不利於美國國家安全與經濟發展。為此，PCAST 以強化美國國內外半導體產業供應為目標成立新的工作小組，負責審視美國半導體產業政策，並為該產業面臨的挑戰提供行動建議。雖然這份報告是臨近歐巴馬卸任前夕才發布，但這些評估內容卻是美國日後在半導體領域對中科技戰行動的濫觴。

該報告審視了當時美國半導體產業的市場變化及其所面臨之主要挑戰，包含研發成本提升與技術限制導致創新速度放緩、產業集中度提高導致難有新進企業加入競爭，以及透過非市場手段參與競爭的中國。該報告尤其關注中國的產業政策威脅，例如提供大規模補貼、收購外國企業、隱性技術轉移或要求以智慧財產權換取市場准入等等，這些政策被認為中國有意對美國的全球半導體領導地位構成直接挑戰。對此，該報告建議美國政府應與業界、學界密切合作，從三個面向著手：

（1）擬定反制中國產業政策的策略，包含透過雙邊或多邊機制提高中國政策透明度、與盟國一起協調和加強投資和出口管制；（2）改善美國半導體產業的商業競爭環境，例如制定吸引人才和資助研究開發的政策、改革公司稅法、簡化高科技設施的施工與營運審查流程；（3）由政府帶頭支持、鼓勵半導體技術應用領域的創新投資，期待終端應用的技術發展能促進前端的半導體技術研發，形成正向循環（PCAST, 2017）。PCAST 也在報告中羅列了多項未來將從半導體技術發展受益的關鍵應用產業，前瞻性地建議政府給予積極支持（見表 3）。這些項目大部分都成為後來川普政府與拜登政府積極關注、被認定為攸關美國國家安全的「關鍵新興技術」（Critical and Emerging Technologies, C&ET）（見後文表 4）。



表 3 PCAST 建議美國政府支持發展的半導體技術應用產業

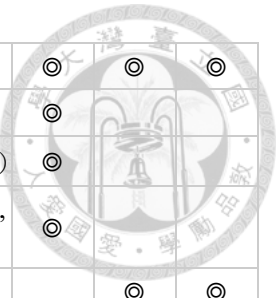
業界興趣強烈、 政府應積極協助 發展的產業	1. 大數據分析 (Big Data Analytics) 2. 人工智慧與機器學習 (Artificial Intelligence and Machine Learning) 3. 生物科技、人類健康技術 (Biotechnologies, Human Health Technologies) 4. 機器人、自主系統 (Robotics, Autonomous Systems) 5. 遠端臨場、虛擬實境、混合實境 (Telepresence, Virtual Reality, Mixed Reality) 6. 機器視覺 (Machine Vision) 7. 語音辨識與合成 (Speech Recognition and Synthesis) 8. 奈米級系統與製造技術 (Nanoscale Systems and Manufacturing) 9. 超高效能無線通訊 (Ultra-High Performance Wireless) 10. 全方位安全系統 (Holistic Secure Systems)
業界興趣疲弱、 須由政府帶頭領 導的產業	1. 計算化學 (Computational Chemistry) 2. 先進材料科學與製造技術 (Advanced Materials Science and Manufacturing) 3. 建模與模擬技術 (Modeling and Simulation) 4. 太空技術 (Space Technologies)

表格由筆者重新繪製。資料來源：Report to the President on Ensuring Long-Term U.S. Leadership in Semiconductors (p. 21), President's Council of Advisors on Science and Technology, 2017.

2020 年 10 月川普政府發布《關鍵與新興技術國家戰略》(National Strategy for Critical and Emerging Technologies)，表示在面對中、俄等競爭對手投入大量資源、甚至以非法手段強化新興技術領域競爭力的同時，美國作為關鍵新興技術的世界領導者，比任何時候都需要加強其在科學技術領域的主導地位。除了與盟友保持合作關係、妥善管理技術風險外，政府還需專注於兩個戰略目標：推進美國國家安全創新基礎以及保護美國科技優勢。該戰略文件除列出政府的政策行動外，還列出「關鍵新興技術清單」(Critical and Emerging Technologies List, CET List)，指示這些技術領域應是各部門機構和國家安全委員會成員的優先關注事項 (White House, 2020, p. A-1)。拜登政府接任後，國家科學技術委員會 (National Science and Technology Council) 分別於 2022 年與 2024 年兩次更新該清單。雖然該委員會表示列出技術清單目的是為指明攸關美國國家安全的關鍵技術，不應被解釋為優先發展政策或優先資助的目標 (National Science and Technology Council, 2022, p. 1)，但我們仍可從清單內容變化了解美國政府關注的核心技術發展方向 (見表 4)。

表 4 2020-2024 年美國關鍵新興技術清單內容變化

關鍵新興技術領域		2020 川普	2022 拜登	2024 拜登
人機介面技術 (Human-Machine Interfaces)		◎	◎	◎
半導體與微電子技術 (Semiconductors and Microelectronics)		◎	◎	◎
材料與製造	先進工程材料 (Advanced Engineering Materials)	◎	◎	◎
	先進製造 (Advanced Manufacturing)	◎	◎	◎
量子技術	量子資訊科學 (Quantum Information Science)	◎		
	量子資訊技術 (Quantum Information Technologies)		◎	
	量子資訊與增強技術 (Quantum Information and Enabling Technologies)			◎
運算與資料	先進運算 (Advanced Computing)	◎	◎	◎
	資料科學與儲存 (Data Science and Storage)	◎		
	分散式帳本技術 (Distributed Ledger Technologies)	◎		
	資料隱私、資料安全與網路安全技術 (Data Privacy, Data Security, and Cybersecurity Technologies)			◎
人工智慧與自動化	人工智慧 (Artificial Intelligence)	◎	◎	◎
	自主系統 (Autonomous Systems)	◎		
	自主系統與機器人技術 (Autonomous Systems and Robotics)		◎	
	高度自動化、自主與無人系統、機器人技術 (Highly Automated, Autonomous, and Uncrewed Systems, and Robotics)			◎
網路與感測	通訊與網路技術 (Communication and Networking Technologies)	◎	◎	
	整合通訊與網路技術 (Integrated Communication and Networking Technologies)			◎
	先進感測技術 (Advanced Sensing)	◎		
	先進與網路化感測及特徵管理 (Advanced and Networked Sensing and Signature Management)		◎	◎
	網路化感測與感知 (Networked Sensors and Sensing)		◎	
	定位、導航與定時技術 (Positioning, Navigation, and Timing Technologies)			◎
能源與環境	能源技術 (Energy Technologies)	◎		
	先進核能技術 (Advanced Nuclear Energy Technologies)		◎	
	可再生能源發電與儲存 (Renewable Energy Generation and Storage)		◎	
	清潔能源發電與儲存 (Clean Energy Generation and Storage)			◎
航太	太空技術 (Space Technologies)	◎		
	太空技術與系統 (Space Technologies and Systems)		◎	◎
	航空引擎技術 (Aero-Engine Technologies)	◎		
	先進燃氣渦輪引擎技術 (Advanced Gas Turbine Engine Technologies)		◎	◎
	極音速技術 (Hypersonics)		◎	◎



生物技術與醫學	生物技術 (Biotechnologies)	◎	◎	◎
	醫療與公共衛生技術 (Medical and Public Health Technologies)	◎		
國防與軍事技術	先進常規武器技術 (Advanced Conventional Weapons Technologies)	◎		
	化學、生物、放射與核防護技術 (Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Mitigation Technologies)	◎		
	定向能量 (Directed Energy)		◎	◎
農業技術 (Agricultural Technologies)		◎		
金融技術 (Financial Technologies)			◎	
主清單所列關鍵新興技術項目數量		20	19	18

表格由筆者整理繪製。資料來源：National Strategy for Critical and Emerging Technologies (p. A-1), The White House, 2020. Critical and Emerging Technologies List Update (p. 2), National Science and Technology Council, 2022. Critical and Emerging Technologies List Update (p.2), National Science and Technology Council, 2024.

註：2020 年《國家關鍵新興技術戰略》僅列出主要技術領域，2022 年與 2024 年《關鍵新興技術清單更新》除主要技術清單外還詳細列出子領域 (subfield) 技術項目。為方便比較，本統整表格僅列出主清單所列項目。

在《晶片與科學法案》通過後，2022 年 9 月 PCAST 向時任總統拜登提交了第二份以半導體為主題的報告——《振興美國半導體生態系》(Revitalizing the U.S. Semiconductor Ecosystem)，為拜登政府從該法案獲得用於執行「晶片研發計畫」(CHIPS Research and Development programs) 的 110 億美元財政撥款提供預算分配與政策實施建議 (PCAST, 2022a)。有鑑於半導體產業開發與製造成本高、投資報酬回收時間長等特性，使得越來越少學術機構和新創企業能夠負擔半導體研發費用，這將阻礙新公司和新產品的誕生，因此 PCAST 認為應由政府主導創建國家半導體技術中心 (National Semiconductor Technology Center，以下簡稱 NSTC) 以及「國家先進封裝製造計劃」(National Advanced Packaging Manufacturing Program，以下簡稱 NAPMP)，為學術界與產業界提供共享的先進半導體製造與封裝原型設施，降低研發創新成本。PCAST 報告所提建議多是圍繞設立 NSTC 的組織架構及其工作目標與資金分配，重點內容整理如下：

一、組織架構建議：

1. PCAST 建議商務部將 NSTC 設為公私合作的獨立法人實體，由政府、學術界與產業界成員共組董事會（業界成員需來自半導體生態系上中下游），以加強產官學合作與投資協同作用。NSTC 被鼓勵與國外類似組織進行合作，但基於國家安全與全球競爭的角度，不允許外國

實體成為董事會或技術諮詢委員會的成員；

2. NSTC 的組成應涵蓋美國半導體系統所需六大關鍵技術：先進邏輯（advanced logic）、先進記憶體（advanced memory）、模擬與混合訊號（analog and mixed-signal）、架構、設計和工具（architecture, design and tools）、NAPMP 與封裝（packaging）、新興技術與生命科學應用（emerging technologies and life science applications）等，並加強此六大領域的學術研究、新創設計與產業活動。PCAST 也建議所有獲得 NSTC 資助、使用 NSTC 共享資源開發取得的智慧財產權（IP）也應盡可能以最好的條件授權給其他 NSTC 會員，以利降低新創公司和學術研究門檻，縮短從「實驗室到工廠」的時間；

二、工作目標設定：

1. 商務部應與國家科學基金會（NSF）協調支持在 2023 年底前在全國範圍內建立國家微電子教育和培訓網絡，確保美國擁有穩定且平等的人才培訓管道，並在五年內撥款 10 億美元用於升級學術機構實驗室所需之設備與軟體工具、支付教育設施營運成本、支持培訓課程開發與共享、增聘專業師資等等；
2. PCAST 建議商務部應確保 NSTC 在 2023 年底前設立一個約 5 億美元的投資基金作為半導體新創公司的孵化器，為其在草創初期提供足夠的投資金流、專業知識與實務工具支持，協助降低新創企業進入門檻、打造公平的競爭環境、加速生態系創新；
3. 商務部應確保 NSTC 在 2025 年底前資助創建支援完整軟體堆疊的「小晶片」平台（“chiplet” platform），使新創公司和學術機構未來僅需設計系統的創新部分便可將其設計的客製化晶片與 NSTC 支援的晶片平台結合，有利於降低開發成本、縮短將產品推向市場的時間；

三、資金分配建議：

1. 商務部應確保 NSTC 資助的研究計畫每年能為整體教育界與研究界提供約 2500 份獎學金，鼓勵學生攻讀和完成與微電子相關的學位，或用於與產業界合作保證畢業生就業；
2. 商務部應確保 NSTC 每年將所分配資金的 30%-50% 用於直接資助國家級研究計畫，並涵蓋以下關鍵研究議程：材料、製程與製造技術

(materials, process, and manufacturing technologies)、封裝與互連技術(packaging and interconnect technologies)、節能運算和特定領域計算加速器(energy-efficient computing and domain-specific accelerators)、自動化設計工具與設計方法(design automation tools and methods)、半導體與系統安全(semiconductor and system security)、半導體與生命科學(and semiconductors and life sciences)等；

3. PCAST 建議 NSTC 將部分研究資金用於「國家級重大挑戰」(national grand challenges)，促進 NSTC 資助的研究團隊、NSTC 產業會員、新創公司和政府一起合作進行大型長期研究專案，並涵蓋以下主題：(1) 先進運算技術進入「Zettascale¹⁵」時代，為實現此種可大幅提升運算規模與效率的複雜運算能力需要跨學科研究合作；(2) 創建平台、方法和工具以提高生產力、降低半導體設計複雜性與成本，目標使晶片設計所需時間縮短為目前的十分之一；(3) 為應用於生命科學領域的先進半導體技術創造節能、可擴展的安全平台架構，並在感測、運算和通訊方面進行重大改革；

四、其他建議：

1. 建議國土安全部考慮改革移民管理法規，重點關注 STEM 領域 (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) 國際人才的招聘與保留，為在微電子領域擁有高學歷、具專業技能的新移民簽證申請提供優先處理服務、尋求國家利益豁免 (National Interest Waiver)，以確保美國能夠吸引來自全球的頂尖人才；
2. 在聯邦層級協調各部門對半導體產業的投資措施、設計績效評估指標，以提升投資工作透明度。PCAST 建議做法包含：聯邦機構定期彙整並發布半導體年度投資數據、鼓勵半導體研發與投資機構積極使用 NSTC 的設施與資源、推薦 NSTC 擴大並共同資助公私合作研究項目、商務部應制定績效評估指標以定期評估《晶片與科學法案》措施進展並向總統報告 (PCAST, 2022b)。

¹⁵ 根據國際單位制，「zetta」(以符號 Z 標示)代表 10^{21} ；「Zettascale」超級電腦的目標是使其速度比目前最快的超級電腦快 1000 倍，但每次運行所消耗的能量僅為目前系統能耗的百分之一。

在拜登政府任內，美國大幅提升對關鍵新興技術的重視，除了通過法案扶持國內半導體產業，也強化先進技術與投資出口管制以阻礙競爭對手的追趕（詳見第四章）。正如美國商務部在 2024 年發布的第一份國家安全戰略 *The Decisive Decade: Advancing National Security at the Department of Commerce* 中所言，關鍵新興技術的快速發展反映了民主社會與威權社會之間激烈的技術競爭，關鍵與新興技術的領導優勢不僅限於該技術當下所提供的經濟和軍事競爭力，還有未來這些技術應用、部署和治理規範的標準制定權，這些優勢會隨著時間的推移不斷被自我強化（self-reinforcing），最終難以撼動。因此，美國及其盟友必須在關鍵新興技術的研發與生產上保持領導地位，才能維護其國家利益、技術安全與隱私權保障，並遏止不公平競爭與威權模式擴張、保障民主自由繁榮發展的前景（U.S. Department of Commerce, 2024, pp. 10-11）。

第五節 小結

本章首先回顧二戰之後「科技」逐漸被國際關係學者納入國力要素、提升研究重要性的過程。二戰甫結束時，Morgenthau、Organski、Waltz 等國際政治理論巨擘對科技發展的討論多是作為發展軍事力量或提升經濟生產力的一部份要素而被提及。1970 年代資訊技術進步促進貿易自由化與跨國合作，促使學者們開始探究科技與資本流動對國際關係、世界經濟與國際建制的影響。值得注意的是，有別於 Keohane、Nye 等自由主義學者們樂觀認為科技發展有利於國家互賴與霸權擴張，甚至成為政治與經濟以外的新型權力來源，Gilpin 表達了跨國企業、對外投資擴張與技術擴散可能導致美國霸權衰退的擔憂。

身為霸權穩定論的重要學者，Gilpin 指出體系變革同時受到國家軍事、經濟與技術能力的變化以及國內重新定義國家利益的政治變化所影響，並總結導致霸權走向衰退的數個內、外部因素：內部因素包含經濟成長速度趨緩、經濟結構由製造業轉向服務業、財政支出優先順序衝突、治理效率降低等等，外部因素則包含維持霸權地位的防禦成本提高、喪失經濟與技術領導地位。矛盾的是，技術擴散是新興霸權在全球戰爭中獲得勝利、向外擴張的重要手段，但當霸權達到擴張極限後，技術擴散反而削弱霸權的技術優勢地位，享有後發優勢的崛起國則有機會實現技術

跨越，獲得挑戰體系現狀的能力。從現實主義與權力轉移理論的觀點，若來自新興強權的工業化競爭無可避免，且既有霸權與新興強權缺乏傳統友誼基礎、不接受體系權力和平轉移，為維持霸權地位，既有霸權必須拉開與新興強權的權力差距，或是提升自身創新能力、經濟成長或軍事實力，或是抑制競爭者的追趕速度。

「讓美國再次偉大」(Make America Great Again)的口號吸引力背後隱含著美國人民對於美國霸權相對衰退的擔憂，「將中國視為戰略競爭對手」展現的是美國霸權想要擴大與崛起中國之間權力差距的目標。雖然美國在軍事、經濟、科技等各層面保持領先地位，但中國急起直追的速度仍令美國感受到壓力；儘管中國政府強調「和平崛起」以降低各國對「中國威脅論」的擔憂，但中國與西方相左的政治意識形態、專制政體、富有野心的戰略目標和遊走於灰色地帶、不透明的國力提升手段都進一步激化了美國對中國的不信任感與負面情緒，也堅定美國要抑制中國科技發展以維持自身霸權地位的決心。

如今科技實力發展已成大國競爭焦點，中國試圖透過「技術跨越」實現技術自主、獲得主導國際標準制定的話語權，美國則擔憂一旦中國實現技術跨越、大幅提升國力後將挑戰其霸權地位與現行世界秩序。為鞏固其霸權所依賴的權力基礎，美國不僅要強化自身的創新與生產能力、維持技術與經濟優勢，還必須減緩先進關鍵技術向中國擴散的速度。諸多新興技術的未來發展皆以半導體為核心基礎，美國唯有確保對最先進半導體產品的控制權，才能享有更多餘裕投入研發新興技術；當美國能在新興技術領域取得領先，不僅能獲得相應的經濟與軍事競爭優勢，更能掌握這些技術的未來應用與治理主導權，從而進一步拉大與中國之間的國力差距。

第三章 半導體產業成為美國科技戰主戰場



第一節 背景

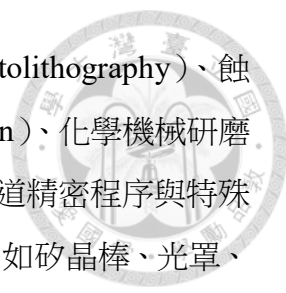
壹、半導體產業生產模式介紹

半導體產業，又稱積體電路產業或晶片產業，是現代科技發展最關鍵的領域之一。「半導體」(semiconductor)是一種導電能力介於導體與絕緣體之間的物質，其導電性可透過摻雜(doping)其他元素、電場、光照或溫度變化來調節，使其成為製造電子元件的理想材料。半導體材料是製造「晶圓」(wafer)的基礎，而「積體電路」(integrated circuit, IC)是指經過多道精密製程在晶圓片上集成多個電子元件(如電晶體、電阻、電容)，以形成具備訊號處理、運算、儲存或通訊功能的電子電路。從晶圓切割下來、嵌有積體電路的小塊半導體晶體稱為「裸晶」(die)，裸晶經過封裝(packaging)處理後成為「晶片」(chip)。晶片會被安裝在封裝基板(substrate)上，與其他電子元件連接整合形成電路板(例如主機板)，成為電子設備的核心運算與控制單元。常見的半導體產品可大致分為四類：積體電路(IC)、離散元件(discrete components)、光電元件(optoelectronic devices)、感測器與致動器(sensors and actuators)，IC產品可再進一步分為記憶體IC(memory IC)¹⁶、邏輯IC(logic IC)、類比IC(analog IC)、微元件IC(micro IC)，其中記憶體IC與邏輯IC兩種產品便佔半導體產業超過五成市場份額，所有IC產品在半導體產業的市場份額達八成以上(World Semiconductor Trade Statistics, 2024)。

半導體生產鏈自上而下可大致分為IC設計、IC製造、IC封測三個階段。IC設計階段是指運用「電子設計自動化軟體」(electronic design automation, EDA)和「半導體智慧財產權核」(semiconductor intellectual property core, 常簡稱為矽智財、Semiconductor IP或IP core)來設計電路圖。¹⁷IC製造(fabrication)階段是將設計

¹⁶ 記憶體IC用於儲存數據資料，並分為「揮發性」(volatile)與「非揮發性」(non-volatile)兩種：「揮發性記憶體」如動態隨機記憶體(DRAM)與靜態隨機記憶體(SRAM)在停止供電後資料便會消失，而「非揮發性記憶體」如唯讀記憶體(ROM)、快閃記憶體(NAND Flash)在停止供電後仍會保存資料。

¹⁷ EDA是指輔助規劃積體電路佈局的設計軟體，IP core是指已經預先設計好、經驗證可重複使用的積體電路功能模組。在晶片設計過程中結合使用EDA軟體和IP core模組可以提高IC設計效率、縮短設計週期、降低開發成本，這兩者是貫穿於IC設計、製造、封測等生產鏈各環節的必要軟體



好的電路圖透過光學成像的原理轉印到晶圓上，經過曝光（photolithography）、蝕刻（etching）、薄膜沉積（deposition）、離子植入（ion implantation）、化學機械研磨/平坦化（chemical mechanical polishing/planarization, CMP）等多道精密程序與特殊工法在晶圓上製造出積體電路，過程中需要材料商提供原材料（如矽晶棒、光罩、稀土金屬）、化學溶劑和特殊氣體等，以及設備商提供生產製造所需之設備與工具。IC 封測階段包含組裝、測試、封裝（assembly, test and packaging，常合併簡稱為 ATP），是將加工後的晶片用不同封裝材料包覆以避免汙染，並測試晶片的品質與功能，以便後續裝配於電子產品中。

當前半導體生產模式主要分為兩種，一種是將設計、製造、封測、組裝、銷售等各階段垂直整合於同一企業內完成，或由公司自行生產半導體產品供自己使用的「IDM 模式」，此類廠商被稱為「整合元件製造商」(Integrated Device Manufacturer, IDM)；另一種則是由專注 IC 設計的無晶圓廠公司（fabless）、專注 IC 製造的晶圓代工廠（foundry）以及專注封裝測試環節的外包廠商（outsourced semiconductor assembly and test，常合併簡稱為 OSAT）組成垂直專業化分工的「晶圓代工模式」。在晶圓代工模式下，掌握產品設計核心技術和客戶功能需求的無晶圓廠公司通常能透過其設計的創新晶片而在市場上獲得較高的品牌溢價與利潤，晶圓代工廠雖是實際製造產品的重要角色，卻因須承擔高昂的生產成本與設備投資而壓縮了利潤空間，供應鏈下游的 OSAT 廠商則因 ATP 環節的技術可取代性高導致其定價能力較弱，面臨市場價格競爭。¹⁸

自 1987 年台積電成立、首創純晶圓代工的商業模式以來，全球半導體製造業的產業結構逐漸改變。晶圓代工模式允許上游的 IC 設計公司無須負擔興建、營運晶圓廠的龐大成本，降低產業進入門檻，使其可以專注於開發市場需求與設計創新晶片功能，快速推動半導體產業需求提升。相較於無晶圓廠的客戶需求快速增加，IDM 公司自有工廠的擴產進程卻相對緩慢，使得晶片市場供不應求，部分 IDM 公司基於產能或成本考量選擇將部分產品委外交付晶圓代工廠生產，讓晶圓代工模式在全球市場銷售額持續增加，2002-2021 年間 IDM 公司在 IC 銷售市場上的市佔

工具（元象資本，2023）。

¹⁸ 一般情況下，晶圓代工廠與委外封測廠需仰賴無晶圓廠公司的訂單，難以突破無晶圓廠公司的主導地位，但台積電因其擁有稀缺的先進製程技術，能透過高訂單需求來獲取利潤，是少數能在 IC 製造環節擁有高營收、能與 IDM 企業和無晶圓廠公司競爭營收排名的晶圓代工廠（見表 6）。

率則從 87% 下降至 65.2% (Ariat Tech, 2021; Design & Reuse, 2022; 鐘映庭, 2022)。此外，技術節點更先進、尺寸更小的產品也越來越多採用晶圓代工模式生產。至 2023 年，全球 28 奈米以下的邏輯晶片有 75%、28-90 奈米的邏輯晶片有 70%、28-90 奈米的類比晶片超過 90% 都是來自晶圓代工廠而非 IDM 公司 (Office of Technology Evaluation, 2023, pp. 25-26)。不過，在全球銷售的晶片中仍有三分之二是由 IDM 公司完成 (且幾乎涵蓋所有記憶體晶片)，顯示 IDM 模式在全球半導體製造業仍扮演主要供應角色。¹⁹

表 5 呈現當前半導體產業不同生產模式的市場規模以及各國的市佔率，其中美國擁有全球無晶圓廠七成收入、全球 IDM 企業四成收入，顯示美國在半導體設計領域的優勢，臺灣則因擅長半導體製造而在晶圓代工和 ATP 方面擁有高市佔率。表 6 展示了 2022-2023 年全球營收排名前 25 的半導體企業，其中過半數都是 IDM 公司；這 25 間企業中也有過半數的企業總部位於美國，更展現美國在全球半導體產業的領導地位。

表 5 2022 年半導體產業不同生產模式的市場規模以及各國市佔率

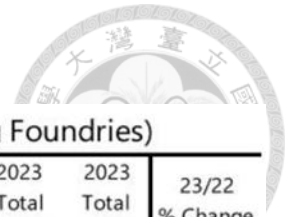
Market Share of Process Roles by Location of Company Headquarters						
	Fabless	IDM	Total Semiconductor Providers	Foundry	AT&P	Total Outsourced Manufacturing
Total (Billions USD)	\$248	\$412	\$660	\$139	\$50	\$190
United States	72%	42%	53%	6%	15%	8%
Taiwan	14%	2%	6%	65%	58%	63%
South Korea	1%	22%	14%	16%	1%	12%
Japan	1%	17%	11%	1%	0%	0%
China (PRC)	12%	2%	6%	9%	20%	12%
Germany	0%	5%	3%	1%	0%	0%
Switzerland	0%	4%	3%	0%	0%	0%
Netherlands	0%	4%	2%	0%	0%	0%

Sources: Company financial reports, Aggregated BIS survey data, BIS estimates

資料來源：Assessment of the Status of the Microelectronics Industrial Base in the United States (p.17), by Office of Technology Evaluation, 2023, Bureau of Industry and Security.

¹⁹ 根據 BIS 調查，2022 年記憶體佔全球晶圓產能 30%、佔 IDM 產能 40%，全球的記憶體幾乎由三星（韓國）、SK 海力士（韓國）、鎧俠/威騰電子（日本合資企業）和美光（美國）這四間 IDM 大廠提供，中國（長江存儲、長鑫存儲）和臺灣（南亞、華邦、旺宏）則各自擁有不到 5% 的市佔率，營收落在 10-30 億美元之間 (Office of Technology Evaluation, 2023, p. 28)。

表 6 2022-2023 年全球半導體企業營收排名前 25 名



2023 Top 25 Semiconductor Sales Leaders (\$M, including Foundries)										
2023 Rank	2022 Rank	Company	Headquarters	2022 Total IC	2022 Total O-S-D	2022 Total Semi	2023 Total IC	2023 Total O-S-D	2023 Total Semi	23/22 % Change
1	2	TSMC (1)	Taiwan	75,851	0	75,851	69,276	0	69,276	-9%
2	3	Intel	U.S.	60,096	0	60,096	51,505	0	51,505	-14%
3	1	Samsung	South Korea	73,002	3,843	76,845	48,363	2,541	50,904	-34%
4	8	NVIDIA (2)	U.S.	24,503	0	24,503	49,618	0	49,618	102%
5	4	Qualcomm (2)	U.S.	36,722	0	36,722	30,913	0	30,913	-16%
6	6	Broadcom (2)	U.S.	23,972	2,661	26,633	26,980	2,970	29,950	12%
7	5	SK hynix	South Korea	33,292	1,613	34,905	23,276	1,730	25,006	-28%
8	9	AMD (2)	U.S.	23,601	0	23,601	22,680	0	22,680	-4%
9	14	Infineon	Europe	10,566	5,210	15,776	11,634	5,730	17,364	10%
10	13	ST	Europe	10,765	5,337	16,102	11,713	5,526	17,239	7%
11	7	Micron	U.S.	25,637	0	25,637	16,711	0	16,711	-35%
12	11	TI	U.S.	17,818	1,175	18,993	15,611	1,040	16,651	-12%
13	10	Apple* (2)	U.S.	17,824	0	17,824	16,500	0	16,500	-7%
14	12	MediaTek (2)	Taiwan	18,506	0	18,506	13,891	0	13,891	-25%
15	15	NXP	Europe	11,622	1,263	12,885	11,958	1,075	13,033	1%
16	16	Analog Devices	U.S.	11,789	599	12,388	11,188	590	11,778	-5%
17	19	Sony	Japan	837	9,021	9,858	1,056	9,941	10,997	12%
18	17	Renesas	Japan	8,859	2,459	11,318	8,186	2,200	10,386	-8%
19	24	Microchip	U.S.	6,757	1,126	7,883	7,147	1,263	8,410	7%
20	21	onsemi	U.S.	3,582	4,745	8,327	3,622	4,631	8,253	-1%
21	22	GlobalFoundries (1)	U.S.	8,108	0	8,108	7,392	0	7,392	-9%
22	20	UMC (1)	Taiwan	9,362	0	9,362	7,146	0	7,146	-24%
23	18	Kioxia	Japan	10,595	0	10,595	6,715	0	6,715	-37%
24	25	SMIC (1)	China	7,273	0	7,273	6,322	0	6,322	-13%
25	23	WD/SanDisk	U.S.	8,022	0	8,022	5,905	0	5,905	-26%
Top-10 Total				372,370	18,664	391,034	345,958	18,497	364,455	-7%
Top-25 Total				538,961	39,052	578,013	485,308	39,237	524,545	-9%

(1) Foundry (2) Fabless

TechInsights

Copyright © 2024 TechInsights Inc. All rights reserved.

資料來源：“TSMC No.1 and Nvidia posts triple-digit growth in TechInsights 2023 top-25 chip suppliers rankings,” by TechInsights, 2024, DIGITIMES Asia.

註：表格中「O-S-D」用以統稱積體電路（IC）以外的半導體元件——光電元件（optoelectronics）、感測器與致動器（sensors/actuators）與離散元件（discretes）。

貳、全球供應鏈地理分布

半導體產品是一種製程高度複雜的產品，且該產業擁有資本密集、技術密集、景氣高波動性與高風險等特性，對技術知識和製造規模的高強度資本需求令其供應鏈生產趨於高度專業化分工（易志成，2004）。各國擁有的生產優勢、政策環境與市場競爭程度不同，使半導體供應鏈各環節在貿易全球化之下得以依照不同生產要素需求在世界各地形成專業分工。從表 7 呈現的產業價值鏈來看，美國、歐

盟、日本、韓國、臺灣、中國是半導體產業的重要參與者，且各自在不同領域佔有優勢：美國因其在提供 EDA、IP core 與半導體製造設備方面擁有過半數或近半數的全球市場份額，使其在半導體價值鏈和供應鏈上游的 IC 設計領域佔據主導地位；相較之下，韓國擅長記憶體 IC 的設計與製造，臺灣擅長製造 22 奈米以下的先進製程晶片，且與中國在 28 奈米以上的成熟製程晶片以及 ATP 生產環節各自貢獻約三成的全球產能，日本與中國則各自擁有全球 25% 的 DAO 元件產能（詳見表 7）。

表 7 2022 年全球半導體產業生產價值鏈

		USA	EU	JP	SK	TW	PRC	RoW	Method
Overall Value Chain (100%)		38%	11%	12%	12%	11%	11%	5%	-
EDA & IP core (3%)		68%	25%	<1%	<1%	3%	3%	0%	HQ revenue
Design (56%)		51%	10%	9%	13%	8%	6%	4%	HQ revenue
	Logic (30%)	65%	9%	4%	3%	11%	5%	4%	HQ revenue
	DAO (17%)	41%	17%	18%	4%	5%	9%	6%	HQ revenue
	Memory (9%)	25%	<1%	7%	60%	4%	3%	<1%	HQ revenue
Equipment & Tools (12%)		47%	18%	26%	3%	0%	3%	2%	HQ revenue
Materials (5%)		9%	6%	12%	18%	28%	18%	10%	HQ revenue
Wafer fabrication (19%)		10%	8%	17%	17%	18%	24%	7%	site capacity
	Logic (<10nm)	0%	0%	0%	31%	69%	0%	0%	site capacity
	Logic (10-22nm)	28%	13%	<1%	4%	40%	6%	8%	site capacity
	Logic (28 nm+)	8%	4%	10%	5%	30%	33%	9%	site capacity
	DAO	14%	17%	25%	7%	5%	25%	9%	site capacity
	Memory (DRAM)	3%	0%	7%	52%	20%	18%	0%	site capacity

Memory (NAND)	3%	<1%	30%	30%	4%	26%	7%	site capacity
ATP (6%)	4%	3%	6%	9%	27%	30%	20%	site capacity

表格由筆者整理繪製。資料來源：*Emerging Resilience in the Semiconductor Supply Chain* (pp. 10-11, p. 14, p. 21), by R. Varadarajan et al., 2024, Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association.

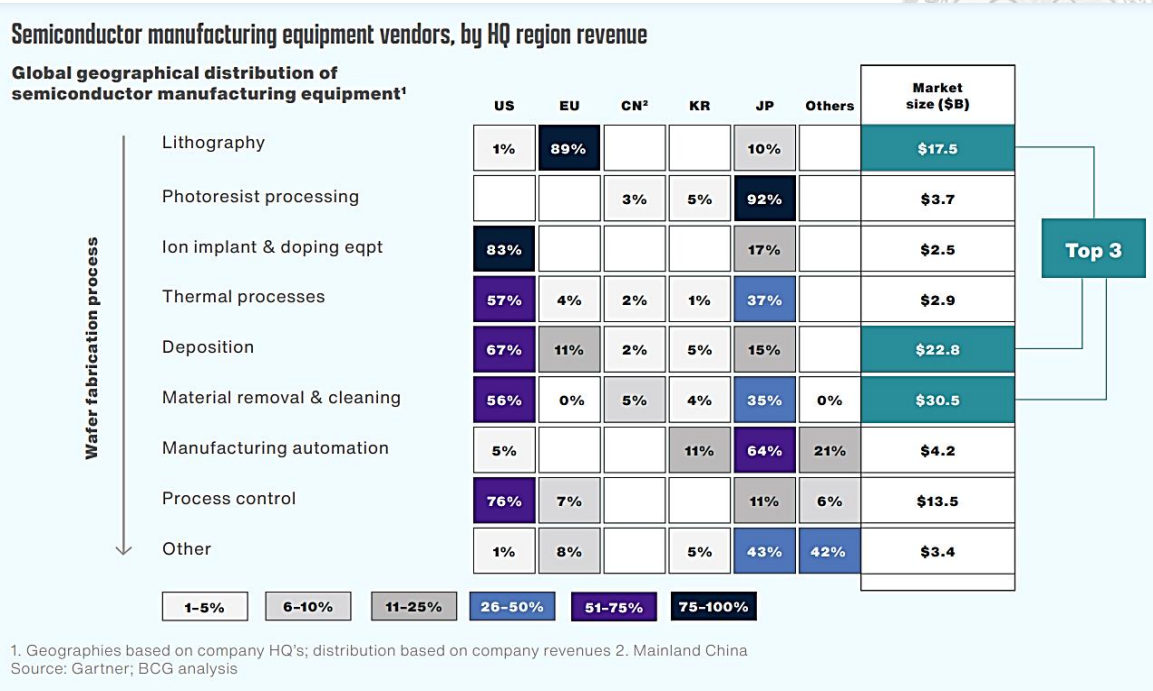
註一：「DAO」包含離散元件 (discrete)、類比元件 (analog) 與光電元件 (optoelectronic)。

註二：本表數值是四捨五入取整數，故會出現總值大於 100 的情況。

註三：本表格數據資料取自波士頓顧問集團 (BCG) 與美國半導體產業協會 (SIA) 共同於 2024 年發布的半導體供應鏈報告 *Emerging Resilience in the Semiconductor Supply Chain*，筆者彙整 Exhibit 2、Exhibit 3、Exhibit 6、Exhibit 13 後呈現。然而該報告在 Exhibit 2 與 Exhibit 3 展示中國在「EDA & core IP」價值佔比的數據有所不同，經筆者查詢 SIA 於 2022 年與 2021 年發布的兩份報告，並參考其他產業報告和新聞報導後，推測 Exhibit 2 的數據為誤植，最終以 Exhibit 3 呈現的數據為準。

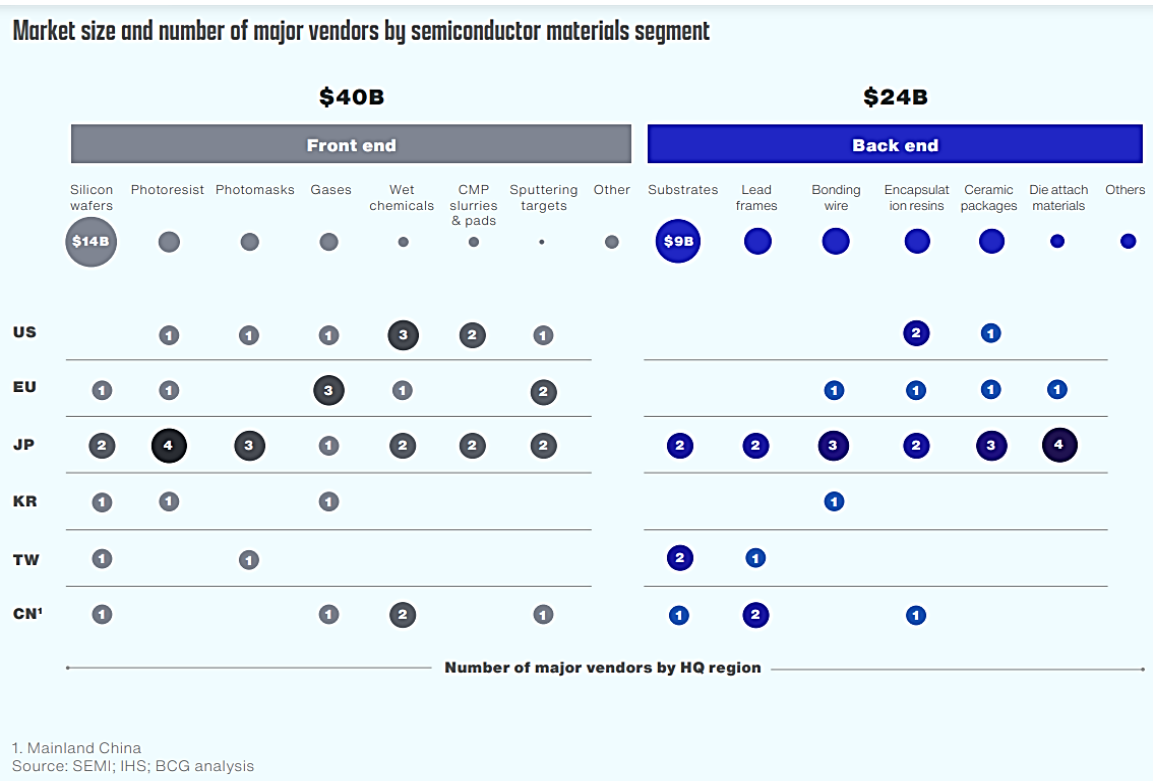
雖然日本與歐洲在半導體生產價值鏈中各自僅佔約一成的份額，但這兩個區域在提供半導體製造設備與生產材料方面扮演著關鍵角色。在製造設備方面，供應商高度集中於美國、歐盟與日本（見圖 1）。以曝光、沉積和材料去除清洗（material removal & cleaning）三類市場規模較大的半導體製造設備為例，以荷蘭的 ASML（艾司摩爾）為首，歐盟佔據了 89% 的曝光設備市場，美國和日本兩國加起來更掌握了全球 82% 的薄膜沉積設備市場以及 91% 的材料清洗設備市場；此外，美國在離子植入與摻雜設備以及製程控制（process control）設備的市佔率分別超過八成與七成，日本在光阻處理（photoresist processing）設備與生產自動化（manufacturing automation）設備的市佔率則分別超過九成與六成。在生產材料方面，市場主要供應商同樣集中於日本、美國和歐盟（見圖 2）。尤其日本不僅能生產製造半導體所需的各類設備與工具，其材料供應能力也最為完整，幾乎涵蓋半導體前、後端生產所需之所有材料和化學品。

圖 1 半導體製造設備供應商全球地理分布（依企業總部區域收入劃分）



資料來源：Emerging Resilience in the Semiconductor Supply Chain (p. 18), by R. Varadarajan et al., 2024, Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association.

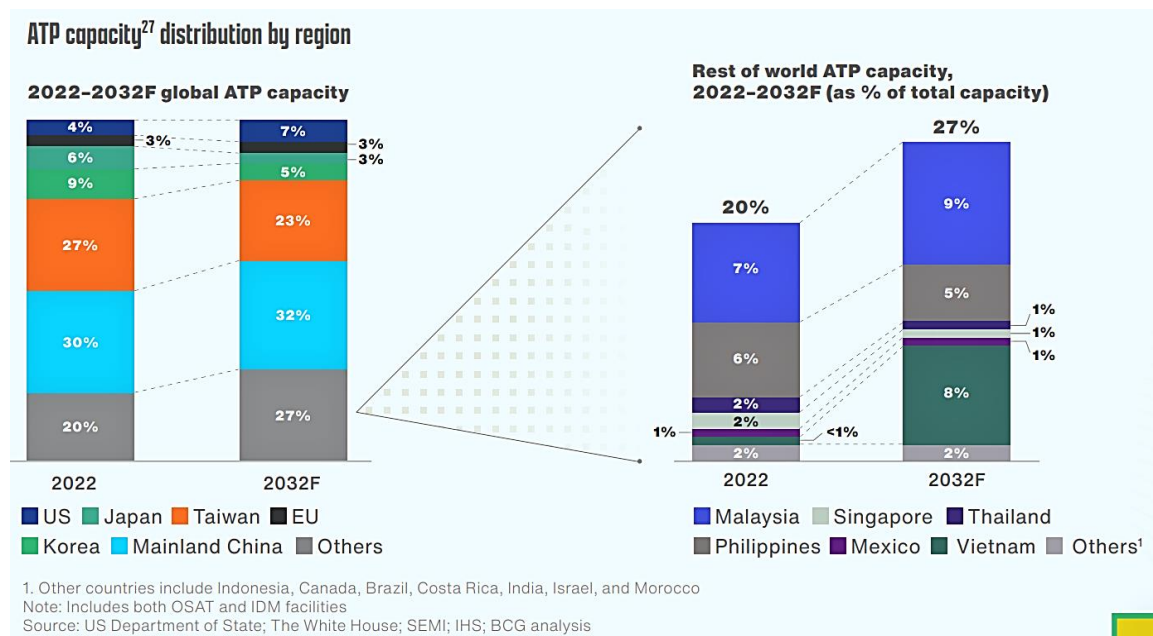
圖 2 半導體材料領域的市場規模和主要供應商數量



資料來源：Emerging Resilience in the Semiconductor Supply Chain (p. 19), by R. Varadarajan et al., 2024, Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association.

在半導體產業朝向專業化分工演進的趨勢中，日本、韓國、臺灣、中國、新加坡等發展型國家（developmental state）在建立半導體製造產業方面具有明顯優勢，除了擁有穩定供應的水電基礎建設、教育程度高且豐富的勞動人口，還有政府積極主導產業政策，提供稅收與貸款優惠、補貼、設立產業園區吸引上中下游廠商進駐等，有利於形成群聚效應與規模經濟，提高生產效率、降低生產成本與投資風險。2022 年全球總計約 76% 的晶圓製造產能來自上述四個國家，其中只有臺灣與韓國掌握了 10 奈米以下的先進製程技術，分別擁有 69% 和 31% 的全球市佔率（見表 7）。相比於晶圓製造，晶片生產鏈下游 ATP 環節所需之技術和資本密集度較低、勞力密集度較高，當前全球約六成的 ATP 產能集中於中國與臺灣，但由於近年來美、中之間地緣政治局勢緊張、中國勞動成本提升以及東南亞新興市場崛起，越來越多 IDM 公司的 ATP 部門和 OSAT 服務供應商將目光轉向勞動成本較低的東南亞和拉丁美洲發展中國家，預估 2032 年東南亞地區的 ATP 產能全球佔比會由當前的 20% 成長至 27%（見圖 3）。

圖 3 2022-2032 年 ATP 產能區域成長趨勢預測



資料來源：《Emerging Resilience in the Semiconductor Supply Chain》(p. 20), by R. Varadarajan et al., 2024, Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association.

參、半導體製造業的國際分工型態變遷



得益於自由貿易與全球化發展，半導體供應鏈各環節得以在不同國家進行專業化生產，全球各地的企業能夠根據自身技術和生產成本優勢進行分工合作，不僅大幅降低製造成本、提升生產效率，也促進了各國間經貿往來。然而，新冠疫情期間供應鏈中斷的經驗暴露了「地理專業化」(geographic specialization)對半導體製造業的潛在挑戰。當前供應鏈中下游的晶圓製造與封裝階段主要集中在東亞地區，然而東亞地區不僅容易受到地震、颱風等自然災害影響，同時也面臨地緣政治局勢緊張的風險。為確保半導體生產的安全性與穩定性，避免過度依賴單一國家或地區的供應，各國政府開始尋找可能的解決方案，主要有兩種途徑：一是各國建立自給自足的本地供應鏈，二是透過生產環節地域多元化來提高供應鏈韌性。

在實務上，要建立完全自給自足的本地供應鏈極其困難。首先，半導體的生產技術高度專業化且研發資本密集度高。根據波士頓顧問集團 (Boston Consulting Group, BCG) 與美國半導體產業協會 (Semiconductor Industry Association, SIA) 於 2021 年共同發布的報告，2019 年研發和資本支出各佔半導體產業年度總收入約 22% 和 26%，尚無其他產業能達到同等的投資強度；除了先進製造技術和材料研發需要長期資本投入和技術積累，高研發強度所創造的規模優勢以及對智慧財產權的保障也加強了大企業的壟斷地位，以致對產業新進者構成高門檻障礙 (Varas et al., 2021, p. 22, p. 26)。其次，半導體生產需要鉅額資本投入，包括建造廠房設施、研發中心、培訓專業人才等等，這些過程背後都需要政府大力支持，例如國家有完善的基礎建設可以供給穩定的水電、通訊網路以及暢通快速的物流運輸系統；或由政府規劃產業扶持政策，包括研發資金補貼、低利貸款、投資獎勵、租稅優惠、設立科學園區等等，這些政策可以大幅度降低企業的經營成本，並鼓勵企業增加研發投資。此外，半導體產業需要大量的高技術勞動力和專業研發人員，這也仰賴國家長期的教育政策和資源投入，才能維持創新技術的研究動能。

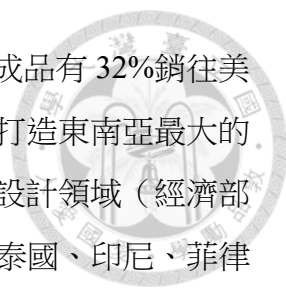
根據該報告估算，若每個地區都建立自給自足的、上中下游完整的本地供應鏈來滿足當前的半導體消費水平 (以 2019 年作為估計基準)，需要約 0.9-1.23 兆美元的增量前期投資 (incremental upfront investment)，相當於整個半導體產業研發投資和資本支出總和的六倍，企業每年的經常性營運成本也會相應增加約 450-1250 億美元。除了大規模資金投入，晶圓廠本身也需要二至四年才能建成，且需要招募三

至六千名熟練技術人員才能投入商業生產。若各國都想打造自給自足的半導體生產鏈，最終結果將導致全球產能過剩，且營運成本提升預計將使半導體產品總價上漲 35-65%，增加終端用戶的電子設備使用成本，失去外國競爭壓力也可能令國內產業喪失效率和創新能力（Varas et al., 2021, pp. 43-46）。

相比之下，多元化生產來源是較可行的方法，不僅可以分散風險，還能提高供應鏈彈性和穩定性。在全球科技競爭的背景下，特別是考量到與中國之間日益激烈的戰略競爭，美國、歐盟等國家除了自主研發能力外，也希望保有一部分製造先進晶片的能力，確保涉及國家安全系統和關鍵基礎建設的晶片需求不會受制於他國，也能降低單一地區或國家對全球供應鏈的影響力；在美、中對抗的壓力下，跨國企業也紛紛採取避險策略，將部份產能從中國移往東南亞、東歐或拉丁美洲等新興市場，這些發展中國家也期待能藉此促進國內製造業投資與經濟成長。此外，有鑑於人工智慧（AI）、高效能運算（high-performance computing, HPC）、自動駕駛、5G 與 6G 通訊、量子技術等新興技術領域發展都取決於先進製程晶片的效能，與國家科技發展、經濟實力和國防安全密切相關，因此有能力的先進國家除了提升在地化生產能力，也競相投資、研發先進製程技術，試圖掌握未來科技競爭的主導權。

意識到關鍵新興技術發展對先進半導體的強烈需求，各國陸續提出支持半導體產業、加強本土晶片製造的投資政策，例如日本於 2021 年發布「半導體與數位產業戰略」與「半導體緊急強化方案」、韓國在 2021 年提出「K-半導體戰略」（K-Semiconductor Strategy）、美國在 2022 年通過了《晶片與科學法案》（CHIPS and Science Act）、歐盟的《歐洲晶片法案》（European Chips Act）於 2023 年生效，臺灣在 2023 年通過號稱「台版晶片法案」的《產業創新條例》修正案，並於 2024 年啟動「晶片驅動臺灣產業創新方案」，而中國國務院則是早在 2014 年便推出《國家集成電路產業發展推進綱要》、成立專門投資國內半導體製造業的「國家集成電路產業投資基金」（簡稱「國家大基金」），2020 年更進一步提出「新時期促進集成電路產業和軟件產業高質量發展若干政策」（徐遵慈、鐘雲曦，2023）。

在東南亞國家中，新加坡與馬來西亞兩國在 1970 年代便開始發展半導體產業，且兩國產業相互補充：新加坡國內擁有 IC 設計、IC 製造與 IC 封測產業，是東協（ASEAN）國家中半導體供應鏈最完整的國家，且星國政府正推動成立「新加坡半導體技術轉化創新中心」，希望強化新加坡的研發能力；馬來西亞的強項則是生產鏈下游的 ATP 環節，2022 年全球完成封測的晶片成品有 9% 來自馬來西亞，是



全球排名第四（僅次於臺灣、韓國及中國），其國內生產的晶片成品有 32%銷往美國，亦是美國最大的晶片成品來源地，2024 年馬國政府宣布要打造東南亞最大的積體電路設計園區，將目光朝向產業鏈更上游的 IC 製造與 IC 設計領域（經濟部國際貿易署，2024；徐遵慈，2024）。其他東南亞國家如越南、泰國、印尼、菲律賓以及印度等尚須時間完善國內基礎建設、水電供應與人才培育，目前國內半導體生產多以國際 IDM 大廠的封測產線為主，但隨著電子組裝、電動車、硬碟製造等國際業者轉向東南亞，這些國家也希望透過吸引外資進駐設廠來帶動國內產業發展，逐步延伸、建立國內半導體供應鏈鏈（劉佩真，2023）。

第二節 美國在全球半導體供應鏈中的優勢與挑戰

壹、優勢：在供應鏈上游居於主導地位

身為在冷戰期間發明半導體技術的先驅國家，美國擁有由市場驅動的創新生態系統、全球最大的高科技企業聚集重鎮矽谷，以及全球頂尖大學培育的眾多工程人才，使其至今仍掌握半導體領域大部分的核心研發技術與智慧財產權，在全球半導體供應鏈中扮演著無可替代的角色。美國在半導體產業的優勢在於其在供應鏈上游環節居於主導地位，尤其是提供設計半導體產品所需的 EDA 與 IP core、IC 設計服務以及生產製造設備與工具。

2023 年全球半導體 EDA 市場規模達 146.6 億美元、半導體 IP 市場規模達 69.3 億美元（Polaris Market Research, 2024; SNS Insider, 2025），雖然 EDA 與 IP core 在半導體整體價值鏈中僅佔 3%，但所有晶片在設計時都需要使用 EDA 與 IP core，這不僅關乎晶片設計效率，還關乎晶片功能創新與生產可行性，是晶片生產過程中不可或缺的工具。在 EDA 與 IP core 領域，美國擁有全球近七成的營收市佔率，其中主導 EDA 市場的美國公司 Synopsys 與 Cadence 分別擁有 45.8%與 32.1%的全球市佔率；而在 IP core 市場佔據主導地位的則是英國公司 ARM 與美國公司 Synopsys，分別擁有 41.8%與 21.9%的市佔率（見表 8、表 9）。當美國限制 EDA 與 IP core 對中國出口時，將限制中國可使用的設計架構，導致中國難以獲得更新的軟體以精準模擬和提升產品功能與良率，這會阻礙中國向先進製程過渡的速度，甚至可能導致未來中國設計的晶片無法與全球標準兼容，從而削弱其產品市場競爭力。

表 8 2024 年全球半導體 EDA 領域市佔率排名前三大企業

EDA 公司	總部	2024 年		2021 年	
		排名	市佔率	排名	市佔率
Synopsys（新思科技）	美國	1	32%	1	32%
Cadence（益華電腦）	美國	2	29%	2	30%
Siemens EDA（西門子）	美國	3	13%	3	13%
其他		-	26%	-	25%

表格由筆者整理繪製。資料來源：“New US EDA Software Ban May Affect China's Advanced IC Design, Says TrendForce,” by Trendforce, 2022a. “[News] Korean HBM Giants Cutting Chinese EDA Risks Higher Costs, Supply Chain Disruptions,” by Trendforce, 2025a.

註：2016 年之前 EDA 市佔率排名第三的是美國企業明導國際（Mentor Graphics），該公司在 2016 年 11 月被德國西門子集團宣布收購，並在隔年完成合併。

表 9 2022-2023 年全球半導體 IP core 領域市佔率排名前十大企業

IP core 公司	總部	2023 年		2022 年	
		排名	市佔率	排名	市佔率
Arm（安謀）	英國	1	41.8%	1	41.1%
Synopsys（新思科技）	美國	2	21.9%	2	19.7%
Cadence（益華電腦）	美國	3	5.6%	3	5.4%
Alphawave	加拿大	4	3.1%	5	2.6%
Imagination Technologies（進想）	英國	5	2.2%	4	2.8%
Silicon Storage Technology（SST）	美國	6	1.7%	8	1.8%
Verisilicon（芯原微電子）	中國	7	1.5%	7	2.0%
Ceva	美國	8	1.4%	6	2.0%
eMemory Technology（力旺電子）	臺灣	9	1.4%	9	1.6%
Rambus	美國	10	1.2%	10	1.3%
其他		-	18.3%	-	19.7%

表格由筆者整理繪製。資料來源：“Design IP revenues grew 20% last year,” by D. Manners, 2023, Electronics Weekly. “Design IP revenues have 10.8% CAGR 2016-23 to \$7.04bn,” D. Manners, 2024, ElectronicsWeekly.



IC 設計是半導體產業的核心，在半導體生產價值鏈中約 56% 的價值會流向 IC 設計產業。IC 設計的流程是先針對晶片產品的規格、功能、性能、製程等目標需求進行編碼後，使用 IP core 和 EDA 來規劃線路佈局結構、模擬功能、分析檢驗等等，最後轉換成可供後續轉印在矽晶圓上的電路圖。在 IC 設計領域，美國也是擁有全球過半營收市佔率的領先國家，在價值較高的邏輯晶片和 DAO 元件設計上，美國在全球市佔率排名第一，各自擁有 65% 與 41% 的全球市佔率；在價值較低的記憶體設計方面也有 25% 的市佔率，是全球排名第二（見表 7）。

1990 年代跨國晶圓代工產業鏈成形後，美國半導體產業逐漸轉向專注設計的無廠半導體（fabless）模式，將設計與製造分離的好處在於 IC 設計公司無須負擔高昂的廠房建設成本，可將資金集中於研發與設計創新，對初入產業的新創企業較友善，也符合美國以創新經濟為導向的市場環境。這種分工模式提升了美國 IC 設計企業的競爭力，透過持續創新帶動相關技術快速發展，也奠定美國在全球半導體設計市場上的主導地位。2023 年全球前十大 IC 設計公司的營收總計約 1676.42 億美元，其中美國公司佔據六席，擁有超過全球八成的營收市佔率（見表 10）（Trendforce, 2024d）。

這樣的市場優勢具體不僅體現在美國 IC 設計公司的數量與營收，也可以從當代最重要的電子產品上觀察。以用於伺服器、個人電腦、手機、平板電腦的中央處理器（central processing unit, CPU）、圖形處理器（graphic processing unit, GPU）和手機應用處理器（application processor, AP）三種晶片產品為例，全球「x86 架構」CPU 都來自英特爾（Intel）與超微（AMD）兩間美國企業²⁰，全球 GPU 市場則主要由輝達（NVIDIA）、超微兩間美國企業瓜分；在 AP 領域，排名第二與第三的美國公司高通（Qualcomm）與蘋果（Apple）總計擁有的全球市佔率也超過四成，足見美國在當代 IC 設計市場上無可取代的地位（見表 11）。

²⁰ 全球 PC 處理器以英特爾與超微設計生產的 x86 架構 CPU 為主，ARM（安謀）架構處理器則在手機、平板等移動式裝置上擁有約九成市佔率，但隨著蘋果轉向 ARM 架構處理器、在 2020 年推出 M 系列自研晶片，以及近年 AI 晶片對低功耗、強運算的需求，使得 ARM 架構在 PC 處理器的市佔率逐步提升，目前約佔全球一成（吳金榮，2024a）。

表 10 2022-2023 年全球市佔率排名前十大 IC 設計企業（Fabless）

IC 設計企業	總部	2023 年		2022 年	
		排名	市佔率	排名	市佔率
NVIDIA（輝達）	美國	1	33%	2	18%
Qualcomm（高通）	美國	2	18%	1	24%
Broadcom（博通）	美國	3	17%	3	18%
AMD（超微）	美國	4	14%	4	16%
MediaTek（聯發科）	臺灣	5	8%	5	12%
Marvell（邁威爾/美滿）	美國	6	3%	6	4%
Novatek（聯詠）	臺灣	7	2%	8	2%
Realtek（瑞昱）	臺灣	8	2%	7	2%
Will Semiconductor（上海韋爾半導體）	中國	9	2%	9	2%
MPS（芯源系統）	美國	10	1%	-	-
Cirrus Logic（思睿邏輯/凌雲邏輯）	美國	-	-	10	1%

表格由筆者整理繪製。資料來源：“Top 10 IC Design Houses’ Combined Revenue Grows 12% in 2023, NVIDIA Takes Lead for the First Time, Says TrendForce,” by Trendforce, 2024d.

表 11 2022-2024 年全球 CPU、GPU 與 AP 主要供應商市佔率

x86 架構中央處理器（CPU）				
公司	總部	2024	2023	2022
Intel（英特爾）	美國	76%	70.5%	71%
AMD（超微）	美國	24%	29.5%	29%
圖形處理器（GPU）				
公司	總部	2024	2023	2022
NVIDIA（輝達）	美國	88%	81.5%	81.9%
AMD（超微）	美國	11.75%	17.17%	16.8%
Intel（英特爾）	美國	0.25%	1.33%	1.3%

手機應用處理器（AP）				
公司	總部	Q2 2024	Q2 2023	Q2 2022
MediaTek（聯發科）	臺灣	32%	31%	39%
Qualcomm（高通）	美國	31%	29%	29%
Apple（蘋果）	美國	13%	19%	14%
UNISOC（紫光展銳）	中國	13%	14%	11%
Samsung（三星）	韓國	6%	6%	6%
HiSilicon（海思半導體）	中國	4%	0%	0.4%
其他		1%	1%	0.6%

表格由筆者整理繪製。資料來源：CPU 市佔率資料來自 Douglas（2025a）；GPU 市佔率資料來自 Douglas（2025b）；AP 市佔率資料來自 Team Counterpoint（2022, 2025）。

2024 年半導體製造設備的全球銷售額達到 1171.4 億美元（SEMI, 2025），而美國在供應半導體製造設備與工具方面則是擁有全球 47% 營收市佔率的重要國家。從圖 1 列出晶圓製造過程的八個主要步驟來看，美國廠商在其中五個步驟的製造設備供應上擁有超過五成的市佔率，分別是離子植入與摻雜、熱處理（thermal processing）、沉積、材料清洗、製程控制。全球前五大半導體製造設備供應商中有三間是美國公司，主導了超過四成的半導體設備市場，且各家廠商在不同領域佔有寡佔地位，例如柯林研發（Lam Research）與科磊（KLA）各自在蝕刻、清洗與測量檢測設備上有過半市佔率，應用材料（Applied Materials）不僅在薄膜沉積、離子植入、化學機械研磨設備上有高市佔率，還可以生產曝光機以外的各類半導體製造設備，涉及業務範圍廣泛（見表 12）（吳宥蓁，2023a）。

表 12 2022-2023 年全球前五大半導體製造設備供應商及其收益

半導體製造設備供應商	總部	收益（億美元）		主力產品
		2023 年	2022 年	
ASML（艾司摩爾）	荷蘭	298	220.3	微影曝光
Applied Materials（應用材料）	美國	265	260.7	蝕刻、薄膜沉積、離子植入、化學機械研磨、熱處理、量/檢測
Lam Research（科林研發）	美國	143.2	190.5	蝕刻、薄膜沉積、清洗

Tokyo Electron (東京威力科創)	日本	131.8	169.7	塗佈顯影、蝕刻、薄膜沉積、清洗、熱處理
KLA (科磊)	美國	96.8	104.8	清洗、量/檢測

表格由筆者整理繪製。廠商收益資料來自 Team Counterpoint (2024)；廠商主力產品資料參考自吳金榮 (2024b)、吳宥蓁 (2023b)。

貳、劣勢：國內晶圓先進製造與封裝產能不足

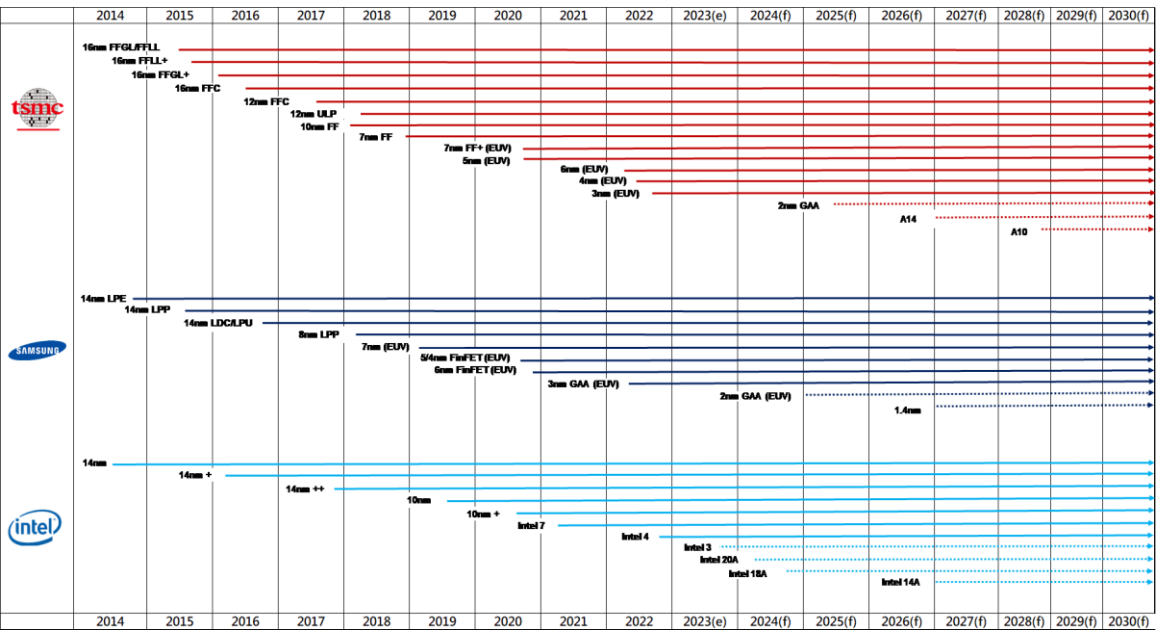
國內產能不足、製造能力外流是美國在半導體產業面臨的主要挑戰。1990 年代以後將研發與製造分離的晶圓代工模式逐漸成形，美國國內半導體製造業務遂逐步轉移至勞動成本較低、環境法規較寬鬆，且積極為製造業提供生產補貼與稅收減免的東亞國家，使半導體供應鏈中下游出現產地集中化的現象。目前美國在全球晶圓製造與 ATP 環節的市場份額較低，根據 SIA 於 2024 年發布的半導體供應鏈報告，2022 年美國的晶圓製造產能只佔全球 10%、ATP 產能僅佔全球 4%，除了 10-22 奈米製程的晶片以及 DAO 元件的產能較高外，美國在記憶體晶片與 28 奈米以上的晶片產能分別只有 3%與 8%，預計 2025 年之後才會有量產和銷售 10 奈米以下本土製先進晶片的能力。²¹截至 2023 年，全球一半以上半導體裝置銷售收入流向美國企業，美國佔全球半導體市場總需求 25%，但其製造能力僅佔全球 12%、ATP 產能不足 2%；美國企業銷售的晶片高達 85%是由臺灣、中國、南韓與馬來西亞完成封裝，顯示美國在 IC 製造與封測環節缺乏滿足國內半導體需求的本土製造能力 (Office of Technology Evaluation, 2023, p. 95; Danelly, 2023, p. 6)。

雖然美國有臺灣、日本、韓國等盟友可以提供半導體製造與封測支持，但從國家安全的角度來看，美國仍希望提高國內晶片自給率，降低其半導體供應鏈在東亞地緣政治緊張時被中斷的風險。尤其美國國內幾乎不具備生產與封裝最先進製程晶片的能力，完全依賴臺灣與韓國廠商供應，且國內技術最先進的廠商英特爾的製造能力與台積電和三星相比，已出現技術落差。2018 年底台積電與三星開始量產 7 奈米晶片時，英特爾還未進入 10 奈米製程；2023 年底英特爾開始量產 7 奈米製

²¹ 根據台積電官網，2024 年第四季台積電位於美國亞利桑那州的美國一廠開始進行 N4 製程技術 (4 奈米) 的高產量生產 (high-volume production)，美國二廠預計於 2028 年投入營運並採用 N3 製程技術。美國企業英特爾在亞利桑那州新建的兩座晶圓廠 (Fab 52、Fab 62) 於 2025 年第一季開始試產 18A 晶圓，有望於 2025 年下半年進入量產 (TSMC, n.d.; Trendforce, 2025b)。

程（Intel 4）時，台積電與三星已進入 3 奈米製程的量產階段，顯示美國的先進製程晶片製造能力落後臺灣與韓國約三至四年、至少兩代製程（見圖 4）。先進製程晶片不僅與電腦、手機的運算能力有關，在武器系統朝向 AI 化、自動化與無人化的趨勢下，先進製程晶片的運算效能和系統反應速度將會對一國的軍事攻防能力產生決定性影響，因此美國政府積極招募台積電與三星赴美國設廠，希望能藉此加強國內先進製程產能，最快 2025 年台積電便能在美國亞利桑那州量產 4 奈米晶片（Shivakumar & Wessner, 2022）。

圖 4 台積電、三星、Intel 先進製程技術發展比較



資料來源：“半導體製程技術演進與國際大廠競爭態勢”，黃慧修，2024，經濟部產業技術司。

在 2021 年美國政府公布的關鍵供應鏈審查報告中，先進封裝（advanced packaging）與半導體製造並列為美國需要加強本土製造能力的關鍵供應鏈。隨著晶片微縮技術接近物理極限，先進封裝被認為是能進一步提升晶片效能的關鍵技術。比起傳統的單一平面封裝技術，先進封裝技術是以立體形式將不同製程和功能的晶片堆疊，進而縮小尺寸面積、提升晶片性能、降低功耗，此技術涉及更複雜的製造流程與精確性要求，但在生產價值鏈中具有較高附加價值，適用於有密集運算需求的應用場景，例如 AI、高效能運算、自動駕駛等。尤其近年 AI、高效能運算、物聯網（Internet of Things, IoT）、顯示技術等領域的快速發展推動市場對先進封裝的需求，除了台積電、三星與英特爾等已深耕 3D 先進封裝技術數年的先進晶片製

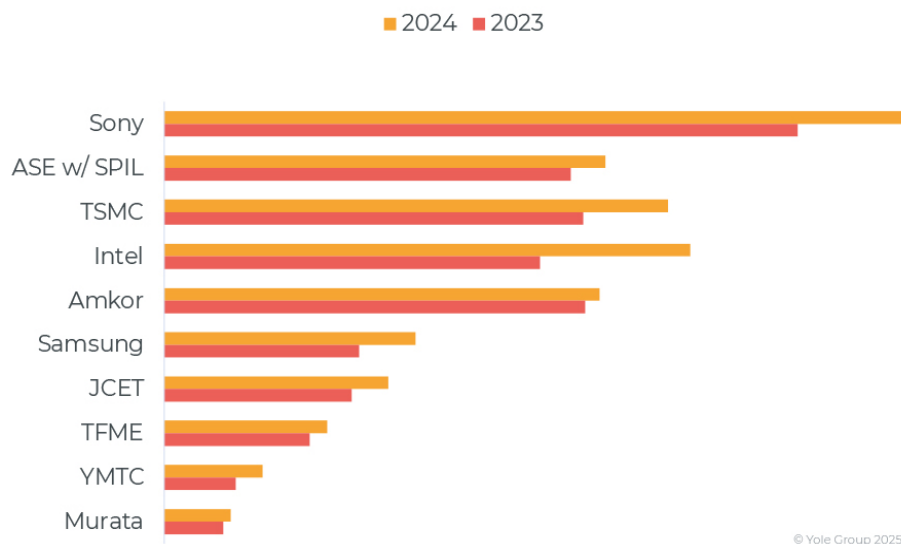
造商，封測大廠日月光、力成、京元電、艾克爾（Amkor）也紛紛加入先進封測領域。根據調研機構 Yole Group 報告，2014 年先進封裝在整體封裝市場的佔比約 38%，2020 年該數據成長至 45%，並預測 2025 年先進封裝市場佔比將超過傳統封裝市場，顯見先進封裝市場的強勁成長（Kumar et al., 2021, p. 21；張瑞益，2025）。

在圖 5 所列 2023-2024 年全球收入排名前十大先進封裝技術供應商當中，美國雖然有英特爾和艾克爾（Amkor）兩間企業上榜，然而美國國內目前只有英特爾在新墨西哥州設有先進封裝廠（2024 年 1 月開幕），擁有 14% 全球市佔率、全球第二大 OSAT 企業艾克爾在美國卻沒有任何 ATP 產能，高達 97% 的員工與廠房設備資產都放在亞洲，其中 60% 的廠房設於韓國，其在亞利桑那州投資新建的先進封裝廠預計 2027 年才會竣工，在此之前，台積電於美國製造的先進製程晶片還是須要先運回臺灣進行封裝，凸顯美國國內缺乏先進封裝產能的困境（Intel Newsroom, 2024a; Office of Technology Evaluation, 2023, p. 33；邱立玲，2024）。

圖 5 2023-2024 年全球排名前十大先進封裝技術供應商（依收入排名）

2023 vs 2024 - top 10 advanced packaging suppliers revenue (\$M)

(Source: Advanced Packaging Market Monitor Q1 2025, Yole Group, March 2025)

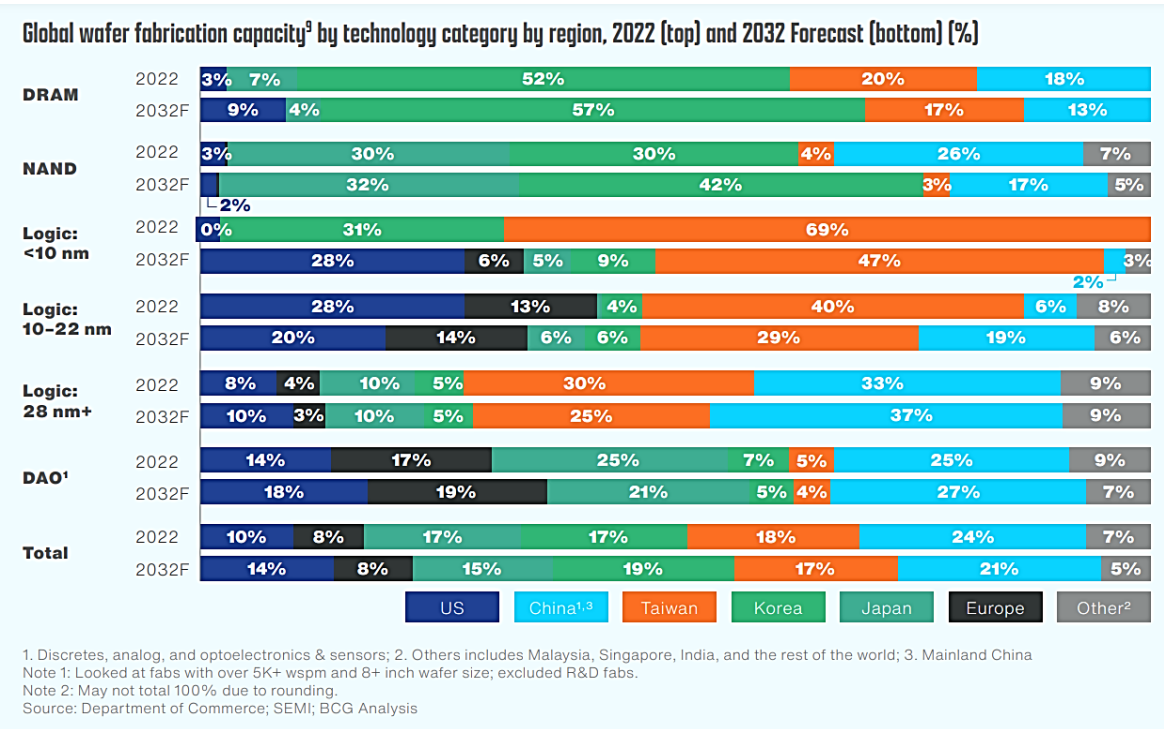


資料來源：“2023 vs 2024 - top 10 advanced packaging suppliers revenue (\$M),” by Yole Group, 2025, *Advanced Packaging Market Monitor*.

SIA 在 2024 年發布的報告中預估了未來十年全球晶圓產能結構可能出現的變化趨勢（見圖 6）。其中變化最明顯的是 10 奈米以下的先進邏輯晶片，2022 年只有臺灣和韓國有能力製造並瓜分全球市場，但美國希望在 2032 年之前能夠擁有生產

10 奈米以下先進晶片的技術，且達到 28%的市佔率。除了先進製程晶片與先進封裝外，美國也有意增加 DRAM 和 DAO 晶片產能，前者用於快速存取臨時數據以及大量運算；後者主要用於控制和處理光電訊號，例如感測器、驅動器、控制系統等等。美國未來十年的產能規劃也反映其對人工智慧、大數據分析運算、國防安全、先進製造、通訊技術、能源與環境等領域發展的重視，希望確保自身在全球科技與戰略競爭中的領先地位。

圖 6 2022 年與 2032 年(預測)全球晶圓製造能力比較(依晶片類別與區域劃分)



資料來源：Emerging Resilience in the Semiconductor Supply Chain (p. 14), by R. Varadarajan et al., 2024, Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association.

參、其他潛在挑戰與機會

一、特定供應鏈環節仰賴外國提供

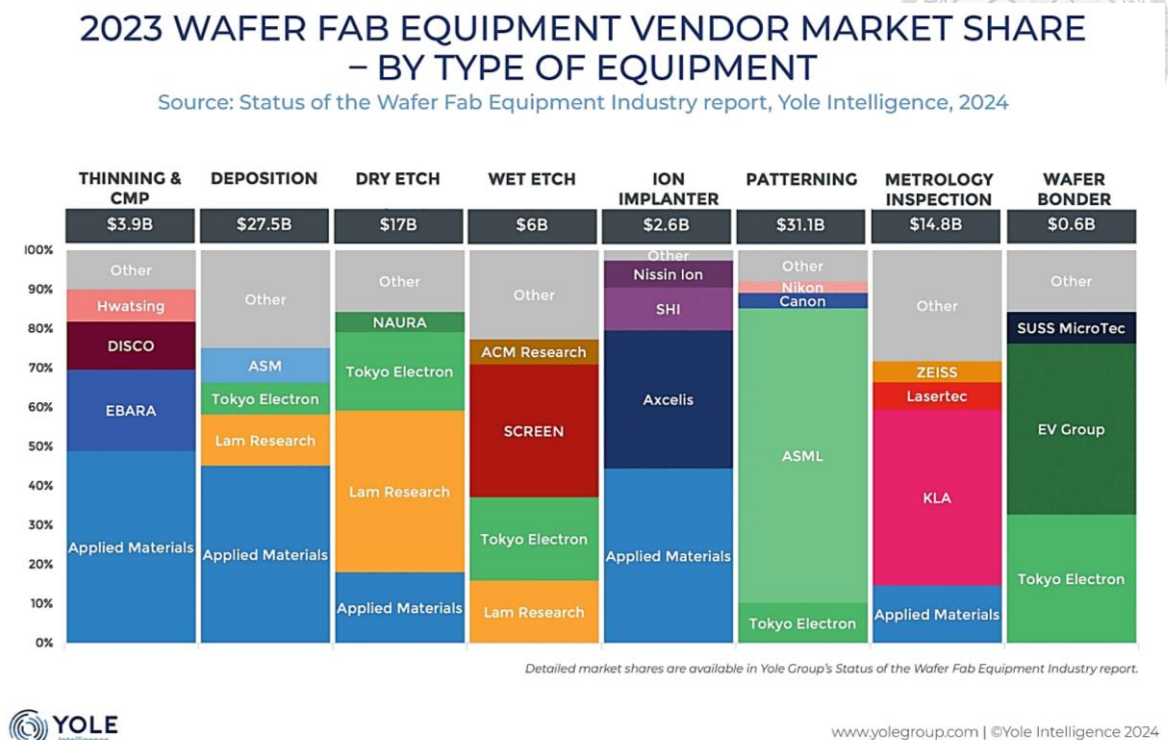
過去三、四十年間全球半導體產業朝向專業化分工，各製程環節與關鍵技術分散在不同國家，發揮比較利益，也意味著沒有國家可以壟斷半導體生產的全部過程（洪友芳，2024），同時部分關鍵環節更只被少數國家所掌握，例如技術節點最小、製程最先進的晶片生產技術由臺灣與韓國掌握，全球 91%的光阻劑來自日本，且

用於製造 7 奈米以下晶片的極紫外光（extreme ultraviolet, EUV）光阻劑只有日本生產、在半導體上游生產工序中用於轉印電路圖案的「光掩膜基板」（mask blanks，又稱光罩）則由豪雅（HOYA）、信越化學與艾杰旭（AGC）三間日本企業壟斷全球市場份額（邵逸琦，2024；藤生貴子、岡田江美，2024；豬俣里美等人，2024）。

微影（lithography）和光阻（photoresist）處理是將 IC 設計的電路圖案轉印到晶圓表面的必要步驟，且轉印技術與圖案的精細程度將影響晶片良率與性能。若細看圖 7 所示製造過程中各步驟的設備供應商，可發現除了「圖案化」（patterning）技術與「晶圓接合」（wafer bonder）外，美國廠商應用材料（AMAT）、科林研發（LAM）與科磊（KLA）在其他類型的晶圓製造設備市場上都有一定程度的市場主導地位。「晶圓接合」設備用於半導體製造程序後端，使兩片或多片晶圓在不使用黏接媒介物的情況下結合，以整合不同材料或異質元件，此類設備的主要供應商是 EV Group（來自奧地利）與 SUSS MicroTec（來自德國）；「圖案化」是指將 IC 設計的積體電路圖形轉印至矽晶圓表面的前端製程，其中步驟包含微影、沉積、蝕刻等。值得注意的是，如圖 1 所示，在微影和光阻兩個領域，歐盟與日本各自擁有約九成的市佔率，目前 7 奈米以下先進製程需使用的極紫外光曝光設備（extreme ultraviolet lithography, 簡稱 EUV 曝光機）只有荷蘭 ASML 掌握可以量產的技術與專利，用於製造 7-28 奈米之間先進製程晶片的深紫外光曝光設備（deep ultraviolet lithography, 簡稱 DUV 曝光機）只有荷蘭 ASML 以及日本的佳能（Canon）、尼康（Nikon）共三間公司可以量產。

根據美國商務部產業安全局（Bureau of Industry and Security, BIS）統計其 2023 年收集來自美國半導體設計、製造與銷售商的 194 份調查回覆，美國國內製造廠所須大部分類型的半導體製造設備都可以從其他美國廠商獲得供應，唯獨微影設備和光阻處理設備須仰賴荷蘭與日本提供：在微影設備方面，荷蘭 ASML 擁有三分之二的美國市場份額，日本的佳能和尼康則佔據了剩餘市場份額；在光阻處理設備方面，東京威力科創（Tokyo Electron）則在美國市場擁有高達九成的市佔率（Office of Technology Evaluation, 2023, p. 42）。因此，若要在國內建立並確保半導體產能與供應鏈順暢，美國必須與荷蘭、日本保持友好關係；若美國想要阻礙中國先進晶片製造進程，也無法僅靠單邊制裁，而必須聯合荷蘭、日本兩位盟友阻斷中國取得 DUV 和 EUV 設備與技術服務的管道。

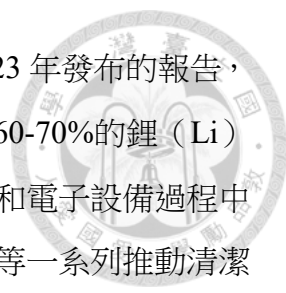
圖 7 2023 年晶圓製造設備供應商市佔率（依設備類別區分）



資料來源：“Global Wafer Fab Equipment (WFE) revenue poised to surge: projected to hit \$165 billion by 2029 (1), amid semiconductor devices market fluctuations,” Yole Group, 2024.

另一方面，美國政府也十分關注中國在全球稀土元素（rare earth elements）和關鍵礦物（critical minerals）供應鏈的主導地位，美國川普政府與拜登政府皆曾發布行政命令強調仰賴中國供應稀土和關鍵礦產的經濟行為恐會損害美國利益、影響國家安全。例如川普於 2020 年 9 月發布的第 13953 號行政命令中指出，在美國內政部所列的 35 種關鍵礦物中²²，有 14 種美國國內並不生產、完全仰賴進口，且美國所需的稀土元素高達八成是從中國進口，這種對中國的高度依賴被視為美國關鍵礦產供應鏈的嚴重威脅，因此川普下令積極支持國內採礦與加工產業以降低對外國對手（foreign adversaries）的進口依賴。2021 年拜登初上任時發布第 14017 號行政命令要求政府各部門於百日內對美國關鍵供應鏈進行全面審查時，包含稀土在內的關鍵礦產被國防部定義為對國家安全至關重要的戰略材料，是供應鏈韌性審查的重點產業之一。

²² 2017 年 12 月 20 日美國總統川普發布第 13817 號行政命令，指示內政部對關鍵礦產進行審查，以確保供應鏈安全穩定並減少對外依賴。內政部依行政命令、在其他行政部門協助下，根據以下三個準則，將 35 種礦物列為關鍵礦物：一、對美國經濟和國家安全至關重要；二、其供應鏈容易受到干擾；三、在產品製造中發揮重要作用，若缺乏該礦產將對美國的經濟或國家安全產生重大影響。



根據國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 於 2023 年發布的報告，中國供應了全球 60% 的稀土開採、90% 的稀土精煉加工，以及 60-70% 的鋰 (Li) 和鈷 (Co) (IEA, 2023)。稀土由 17 種礦物組成，是製造半導體和電子設備過程中所需之重要材料，而鋰和鈷則是風力渦輪機、電動車電池、電網等一系列推動清潔能源轉型所需的關鍵礦物。中國對於鍺 (Ge) 和鎵 (Ga) 也享有近乎壟斷的地位，透過控制東南亞國家的礦物開採，中國掌握全球 68% 的精煉鍺，並生產了全球 98% 的鎵 (Cytera, 2023)。鍺是一種半導體材質，主要應用於光纖通訊、熱成相儀、太陽能板等等；鎵則用於製造光電元件和處理高頻電磁波的射頻晶片 (radio frequency chips)，是行動裝置、衛星通訊的核心組件，應用於遠程飛彈、噴射機和雷達系統。

中國也持續透過「帶路倡議」和參與「拉丁美洲與加勒比海國家聯盟」(Community of Latin American and Caribbean States, CELAC) 與「77 國集團高峰會」(Group of 77 summit) 擴大其在拉丁美洲與加勒比海地區的影響力，進而獲得開採該區域關鍵礦產的機會。有研究顯示中國在此區域的關鍵礦產開採量比美國高出 20-25%，中國鎖定投資或收購的目標包含但不限於位於阿根廷、玻利維亞與智利之間的鋰礦 (或稱「鋰三角」、智利與祕魯的銅礦、巴西的鈮礦與磷礦、牙買加的鋁冶煉廠等等。這些都是可以協助中國發展自動駕駛、再生能源，甚至是中國解放軍開發武器系統、增加中國戰略競爭力的關鍵礦產 (Camplone et al., 2024)。

中國對全球稀土和關鍵金屬的控制也使其能以限制礦物材料出口作為反制外國制裁的手段。例如中國商務部會同海關總署宣布自 2023 年 8 月開始，以維護國家安全為由對金屬鎵、鍺及其化合物實施出口管制；2024 年 9 月對金屬銻及其化合物、冶煉與分離技術、超硬材料及相關機械設備實施出口管制；2024 年 12 月公告禁止對美國軍事終端出口或轉移軍民兩用品項、不允許對美國出口或轉移鎵、鍺、銻、超硬材料相關兩用品項，並對石墨兩用產品實施更嚴格的終端用戶與用途審查；2025 年 2 月對鎢、碲、鉍、鉬、銻等五種礦產及其化合物，以及此類物質的生產工藝技術資料實施出口管制；2025 年 4 月中國宣布再將七種稀土元素 (鈹、鐮、鎢、釷、釷、釷、釷) 及其化合物與永磁材料列入出口管制 (中華人民共和國商務部、海關總署，2023，2024，2025a，2025b；中華人民共和國商務部，2024)。

雖然在中國宣布出口管制後，部分礦物的市場價格因供給減少而大幅上漲，導致企業生產成本增加，但目前尚未對美國造成致命性傷害，因為美國對於受管制材料的用量並不大，且在不計成本的情況下美國也有能力開發其他替代來源 (王剛，

2024)。但長遠來看，若中國持續擴大對全球稀土資源與關鍵礦產的掌控力，且美國及其盟友未能透過開發替代供應來源、提升國內產能(包含提煉與回收技術)來降低對中國依賴時，關鍵礦產的短缺恐會影響高科技產業、新能源技術、國防武器與軍工產業的發展需求，從而強化中國的市場主導地位。



二、中國市場依賴風險

中國是全球最大的半導體需求市場，佔全球市場份額達三成，美國企業長年通過向中國出口大量晶片與設備產品來獲得穩定的銷售收入，並將這些收入投入研發，從而維持美國在供應鏈上游的技術領先地位。以 2022 年美國營收前六大半導體公司為例，當年度全球營收排名第四的高通（Qualcomm）有高達 64%的營收來自中國、排名第六的博通（Broadcom）有 35%營收來自中國，英特爾（Intel）、超微（AMD）、輝達（NVIDIA）的收入也有約二至三成由中國市場貢獻（見圖 8），美國排名第七的德州儀器（Texas Instruments, TI）也有 49%的營收仰賴中國（Lee & Goh, 2023; Imperiali, 2023）。同時，美國不斷加強的出口管制措施也刺激中國市場對半導體生產設備的強勁需求：2023 年中國佔全球半導體設備銷售額超過三成，應用材料（Applied Materials）、科林研發（Lam Research）與科磊（KLA）等美國前三大半導體設備供應商對中銷售額也大幅成長，當前度企業營收超過四成來自中國（見圖 9）（Savov, 2023; TrendForce, 2024e）。相較之下，亞洲晶圓代工龍頭如台積電與三星僅有約一成收入來自中國，凸顯中國市場對美國半導體企業的財務表現有著不容忽視的影響力（Imperiali, 2023）。

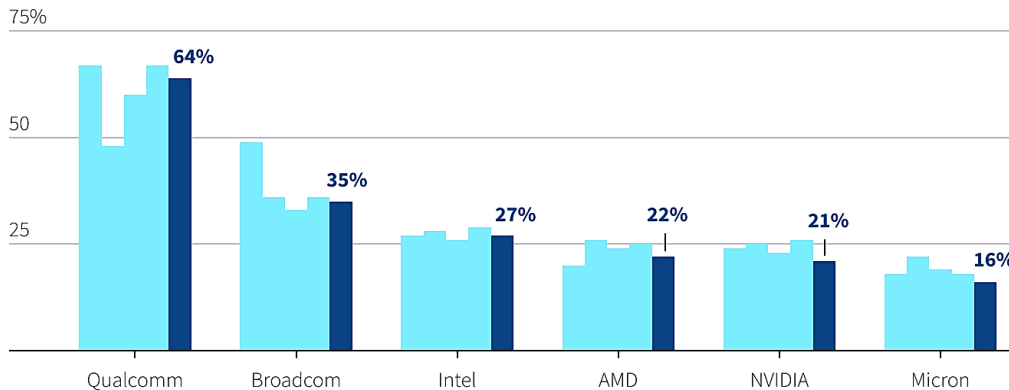
圖 8 2018-2022 年美國前六大半導體企業營收來自中國的比例

How dependent is Micron on China?

Micron had a relatively smaller share of revenue from China (including Hong Kong) compared to its peers in the last five years.

Fiscal year:

● 2018 ● 2019 ● 2020 ● 2021 ● 2022



Source: Refinitiv Eikon, Company annual reports | Reuters, May 22, 2023 | By Kripa Jayaram and Sumanta Sen

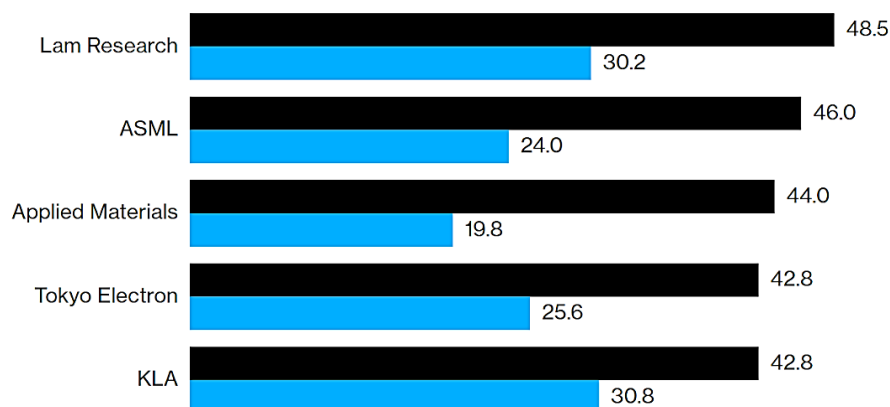
資料來源：“Micron expects revenue impact following China ban,” by J. Lee, & B. Goh, 2023, Reuters.

圖 9 2022-2023 年全球前五大半導體設備供應商營收來自中國的比例

China's Silicon Surge

Producers of chipmaking equipment see revenue from the country soar

■ Sept. 2023 ■ Sept. 2022



Percentage of sales from China in the September quarter

Source: Company reports, Bloomberg

Note: Applied Materials' numbers are for October quarters

資料來源：“Chipmaking Gear Companies Get More Sales From China Than Ever,” by V. Savov, 2023, Bloomberg.



中國市場在不同企業營收的佔比差異和波動變化主要可歸因於企業銷售的產品類型、主要客群以及中國市場的特殊需求。例如高通與博通作為全球領先的 5G 手機晶片、無線通訊晶片與網路晶片供應商，其晶片廣泛應用於中國製造的智慧型手機、電信設備與通訊基礎建設中；德州儀器則在類比 IC 市場上長期居於主導地位，類比晶片廣泛應用於工業自動化、車用與通訊設備、智慧建築系統與消費性電子產品等領域。這些產品皆是中國政府當前推動產業升級與智慧城市發展的重要組成，使其在中國擁有穩定的需求來源。反觀台積電與三星，兩者主要承接美國 IC 設計公司委託製造的高階晶片，而中國本土設計企業因在先進製程技術上能力有限，尚難以成為台積電與三星的主要客戶。此外，在美國政府的管制下，台積電自 2020 年起便被禁止向中國華為及其關聯企業供貨，且 2024 年年底被進一步要求停止供應七奈米以下晶片給所有中國客戶，進一步壓縮其中國市場收入（Tobin & Swanson, 2024）。另一方面，受益於中國快速擴張本土產能以及為因應制裁風險而興起的「囤貨潮」，全球設備供應商近年從中國市場獲得大量訂單，但此需求成長可能是短期現象（多部田俊輔，2024a），未來隨著中國廠房建設完成、需求趨緩，對中設備銷售額可能下滑，並轉向以售後服務與技術維護為主的長期收入來源。

儘管不同企業對中國市場的依賴程度有所差異，但對整體產業而言，中國市場仍是許多美國企業難以忽視的重要收入來源，這也使得美國企業對任何可能引發中國市場波動的風險因素具高度敏感性，不論是東亞地緣政治局勢緊張、無法預期的自然災害、美國政府的經濟制裁政策等等，都可能對公司銷售與財務狀況產生負面影響。儘管美國政府希望透過對中國實施出口管制來遏制中國的技術發展速度，但當美國單方面實施出口管制而未與其他盟友達成聯合封鎖行動的共識時，不僅會打擊美國企業在中國的市場銷售，也可能導致美國企業原先在中國的市場份額被其他國家或本土廠商取代（Schleich & Denamiel, 2024）。

國安考量與商業利益之間的衝突使美國政府在制定出口管制政策時面臨兩難：從國家安全角度出發，寬鬆的政策將為中國追趕美國技術發展提供機會，然從經濟角度觀之，嚴格的管制措施則可能損害美國企業在國際市場上的競爭力與長遠發展。此外，管制政策的具體影響還需視所針對的製程技術與產品而定，尤其是在人工智慧、量子運算等新興技術迅速演進的背景下，行政部門需不斷進行動態調整以即時因應變化，也讓政策實施的成本效益評估更具爭議性。

以美國管制半導體技術出口為例，雖然美國目前在限制中國取得先進晶片、設



計軟體與高階製程設備方面取得成效，短期內有效遏止中國發展先進製程技術，美國半導體製造業者因此減輕來自中國的競爭壓力，且可趁機擴展全球市佔率，但同時美國廠商也失去了中國高階半導體市場的營收來源，包含先進 AI 晶片產品、高階生產設備的銷售與售後技術服務，從而減少企業未來可投入技術研發的資源、削弱企業創新的動能；此外，美國的制裁也可能反向激勵中國提升技術自主與國產替代的速度，當中國成功降低對西方技術的依賴時，管制政策也將失去效果(陳婕洺，2025)。在成熟製程領域，美國政府目前並未全面禁止相關材料與設備出口中國，相關企業所受衝擊較小且仍能維持在中國市場的獲利，但中國亦趁勢在國內加速興建廠房、增加成熟製程產能，美國設備供應商因對中銷售大幅增加而受益(包含非高階製程設備的銷售以及售後服務)，但長遠而言，大量中國製晶片以低價進入市場恐將擠壓其他晶片製造商的生存空間，進而對整體產業結構帶來潛在衝擊。

此類權衡的難處也反映在許多動態調整的政策上，以延長華為禁令的臨時許可期限為例，2019 年 5 月和 8 月美國商務部將華為與 114 間關聯企業列入出口管制實體清單，禁止華為公司獲得美國商品，但為便於美國企業及相關通訊業者因應與維持後續維護服務，美國政府同意核發臨時通用許可證(temporary general license, TGL)以允許有限度的商業活動，並數次延展許可證到期日。然而，華為及其旗下的海思半導體持續利用美國的軟體技術來設計晶片，並透過使用美國設備的海外製造工廠來生產產品以規避美國政府的出口管制規定。因此美國政府在 2020 年 5 月修改出口管裡規定，要求涉及美國軟體、技術和設備的業者必須在取得美國政府許可後才能為華為提供技術或生產產品，且臨時通用許可證在第四次展延、於 2020 年 8 月 13 日到期後不再延長豁免。此案例表明儘管政府以維護國家安全、防止關鍵技術外溢為目標制定出口管理政策，但執行過程仍須根據企業利益、供應鏈穩定性以及實際市場需求進行動態調整。

隨著對中國的出口管制政策逐步收緊，美國企業也須思考應對策略以減輕該政策對公司營收的傷害。2022 年 8 月美國商務部以產品可能作軍事用途為由，限制輝達(NVIDIA)及超微(AMD)對中國出口用於加速機器學習任務的 AI 晶片和高端圖形處理器(GPU)。2022 年 10 月拜登政府發布其任內第一次大規模的半導體禁令，擴大對先進晶片的出口管制範圍，包含特定 AI 晶片、高效能運算晶片、裝有此類高階晶片的產品，以及製造 14/16 奈米以下先進邏輯晶片、18 奈米以下 DRAM 記憶體、128 層以上 NAND 快閃記憶體的製程設備等等，在境外使用美國

設備或技術製造、用於先進運算或超級電腦 (supercomputer) 的特定晶片產品也在受管制之列。此次禁令還規定「美方人員」(U.S. Persons) 未經事前許可不得支援特定中國境內半導體廠商發展或生產晶片²³。在此規範下，美國設備供應商陸續撤離派駐在中國的半導體工程師，荷蘭 ASML 為避免違反規定也暫停旗下具美方身分者與中國客戶的交易服務 (林佳宜，2022)。而被禁止向中國出口高階晶片的半導體企業如輝達、超微與英特爾皆有約五分之一的公司營收來自中國，為維持對中國的市場銷售，這些公司選擇推出「降規晶片」以符合美國政府的管制要求。然而，隨著封鎖政策逐漸收緊，為中國市場設計的不同世代降規晶片相繼被列入出口管制範圍，導致美國 IC 設計公司被迫持續調整晶片設計規格、自行消化產品被禁止銷售所衍生的庫存與採購承諾費用，同時也須面對來自中國本土低價晶片的市場競爭壓力 (陳律安，2025；集邦科技，2024；廖立人，2024)。

值得注意的是，自美國發布對中半導體禁令以來，限制範圍逐漸從針對企業實體的進出口貿易管制擴大到半導體生產設備、零件材料和特定規格的半導體產品，從中國自美國進口半導體的數據來看，2021-2024 年進口額從 17% 降低至 10%，收縮趨勢明顯。然有中國研究機構發現，美國官方公布之半導體設備對中出口銷售雖明顯減少，美國半導體設備公司在業績報告中公布之對中銷售總額卻顯著高於官方出口資料，兩者間明顯的數據差異說明可能存在「迂迴貿易」(roundabout trade) 的現象，即美國企業或第三方業者透過非管制國家繞道轉口中國、規避美國政府的出口管制 (滿投財經，2024)。

三、地緣政治風險促供應鏈調整，惟美國國內產能提升緩慢

面對美國政府越來越嚴格的出口限制，有些企業選擇設計符合管制規定的「降規晶片」以保持中國市場的收入來源，或以迂迴貿易的方式規避管制措施，有些企業則選擇調整公司的跨國供應鏈，將部分中國產能轉移到東南亞和印度，並加速開拓其他市場以減少對中國依賴、避開美中對抗的地緣政治風險。例如美國企業格羅方德 (GlobalFoundries)、超微 (AMD)、應用材料 (AMAT) 和臺灣的聯電 (UMC) 都計劃在新加坡建立新工廠或擴大當地既有的研究投資活動；科林研發 (LAM)、

²³ BIS 對「美方人員」(U.S. Persons) 的定義甚廣，包含美國公民、綠卡持有者、受美國法令保護者、在美自然人，以及依美國法律成立之法人 (BIS, 2022e, pp. 3-4)。

英特爾 (Intel)、美光 (Micron)、德州儀器 (TI) 等增加了在馬來西亞的投資項目、新設晶圓製造基地與先進封裝廠；艾克爾 (Amkor) 在越南設立先進封裝工廠，韓國的三星和美國的新思科技 (Synopsys) 也在越南設立新的半導體設計研發中心，欲將 EDA 設計活動從中國轉移到越南；美國的輝達 (NVIDIA)、超微、美光，以及臺灣的力積電 (PSMC) 也承諾將擴大在印度投資 (Hsueh, 2023; Lee, 2024)。

許多跨國企業選擇臨近中國的東南亞國家做為重新配置供應鏈的替代地點，不僅為避開地緣政治風險，也因為這些國家的政治環境相對穩定、勞動成本低，且這些政府正積極提出製造產業優惠政策，希望吸引有意轉移供應鏈的廠商前往設廠、在國內建立半導體產業聚落 (李晨光，2023)。在各國紛紛祭出產業政策、加強參與全球半導體經濟的同時，美國政府也推出《晶片與科學法案》，欲吸引半導體製造業回流美國、提升國內產能。

自 2020 年以來，台積電、三星、格羅方德、英特爾、德州儀器、美光等廠商陸續宣布要在美國新建半導體生產設施 (Micron, 2022; Shilov, 2022)，但這些建廠計畫卻因種種原因導致工程延宕，包括環境評估審查與政府補貼申請流程冗長、材料與設備採購仰賴亞洲進口而提升物流成本、當地缺乏興建廠房所需之建築人才以及營運生產設備所需之技術人才、美國的勞動力與建設成本高於亞洲國家、公司管理制度與工作文化差異等等，三星與英特爾也因先進製程的生產良率不如預期而延後原本的量產計畫 (Atkinson, 2024; Orr, 2024)。美國政府原先希望能透過招募台積電、三星等先進晶圓代工廠在美國設廠，從而帶動相關中下游產業 (包括設備、材料、封測) 進駐，但由於晶片製造廠的建設與投產進度比預期緩慢，使得相關的設備與材料供應商決定放慢投資腳步、謹慎觀望當地市場需求 (郭妍希，2024a)，可能因此減緩美國政府預期在國內重建半導體生態系的速度，難以提高供應鏈的協同效率。

四、美國半導體產業政策長期成效有待觀察

根據半導體產業協會 (SIA) 與牛津經濟研究院 (Oxford Economics) 於 2021 年 5 月發布的合作研究，2020 年美國半導體產業在 49 州直接雇用了超過 27.7 萬名研發、設計和製造人員，並為美國創造 185 萬個永久性職位。該報告認為 500 億

美元的聯邦投資計劃²⁴將可有效激勵國內半導體製造業，若 2021-2026 年間能持續興建半導體製造設施，每年將可帶動 246 億美元的經濟產出，並創造 18.5 萬個臨時就業機會，在此六年間這些投資預計將為美國 GDP 貢獻 1477 億美元、增加 110 萬個臨時職位，涵蓋從晶圓廠興建、營運、供應鏈採購、水電和交通運輸，以及勞工消費所帶動的就業機會，對美國經濟、消費與薪資提升產生直接或間接的刺激效果。同時，聯邦投資計劃也會顯著提高國內對半導體人才的需求，使 2027 年半導體產業直接雇用人數達到 31.9 萬，相關經濟的永久性職位成長至 213 萬個（SIA & Oxford Economics, 2021）。

2022 年 8 月美國國會通過《晶片與科學法案》，預期此政策能加速推動美國國內半導體生產投資，讓美國在十年內將其先進晶片的全球產能從 0% 提升至近 30%（White House, 2024）。根據 SIA 統計，截至 2025 年 3 月，美國 28 州已有 106 個廠房新建或擴建投資計劃，投資總額超過 5000 億美元，預估可創造 50 萬個就業機會，包含 6.8 萬個製造廠職位、12.2 萬個營建業職位與 32 萬個其他相關產業職缺（SIA, 2025）。美國商務部亦已宣布向 32 間企業、共 48 個投資項目提供總額超過 325.4 億美元的直接補助和高達 58.5 億美元的貸款（其中 20 個投資計劃尚在初步協議階段²⁵），目前獲得最多聯邦補助的企業前四名分別是英特爾（獲補助 78 億美元）、台積電（獲 66 億補助與 50 億貸款）、美光（獲 61 億補助）以及三星（獲 47.45 億補助）（見表 13）。此外，2024 年 9 月拜登政府宣布向唯一有能力生產先進晶片的美國企業英特爾額外提供高達 30 億美元的直接補助，專門用於替美軍生產軍用晶片的「安全領地」計畫（Secure Enclave），該專款補助計劃由商務部和國防部共同執行（Intel Newsroom, 2024b; U.S. Department of Defense, 2024b）。

²⁴ 此指 2021 年 1 月通過的《2021 財政年度國防授權法》（FY2021 NDAA）當中促進國內半導體產業生產的激勵措施，並以激勵措施規模達 500 億美元為估計前提。

²⁵ 初步協議階段是指美國商務部已與企業簽署不具拘束力的初步條款備忘錄（preliminary memorandum of terms, PMT），待商務部對擬議補助的投資項目完成全面調查後，才會和企業簽訂最終補助授予文件，最終授予文件的條款可能與初步條款備忘錄的內容不一致。

表 13 拜登總統任內獲美國 CHIPS 計畫辦公室補助建廠的企業列表

企業 (總部所在地)	廠址 (州)	生產項目 (建設形式)	投資規模 (美元)	CHIPS 補助 (美元)	CHIPS 貸款 (美元)	預估職缺 (營建與營運)
Intel (US)	OR	晶圓廠 (擴建/現代化)	360 億	18.6 億	N/A	5700
	AZ	晶圓廠 (新建/現代化)	320 億	39.4 億	N/A	10000
	OH	晶圓廠 (新建)	280 億	15 億	N/A	10000
	NM	封裝廠 (現代化)	40 億	5 億	N/A	4300
TSMC (TW)	AZ	晶圓廠 (新建)	1650 億	66 億	50 億	55000
Micron (US)	NY	晶圓廠 (新建)	1000 億	46 億	N/A	13500
	ID	晶圓廠 (新建)	250 億	15 億	N/A	6500
Samsung (SK)	TX	晶圓廠 (新建)	370 億*	47.45 億*	N/A	15500*
	TX	晶圓廠 (擴建)				
GlobalFoundries (US)	NY	晶圓廠 (新建/擴建)	131 億	14.5 億	N/A	9100
	VT	晶圓廠 (現代化)	9 億	1.25 億	N/A	1000
Texas Instruments (US)	TX	晶圓廠 (新建)	300 億	9 億	N/A	23800*
	UT	晶圓廠 (新建)	110 億	7 億	N/A	
SK hynix (SK)	IN	封裝廠 (新建)	38.7 億	4.58 億	5 億	Not Available
Amkor (US)	AZ	封裝廠 (新建)	17 億	4.07 億	N/A	4000
GlobalWafers (TW)	TX	材料廠 (新建)	40 億*	3.8 億	N/A	1950
	MO	材料廠 (新建)		0.2 億	N/A	630
Hemlock (US)	MI	材料廠 (新建)	8.25 億	3.25 億	N/A	1180
Polar (US)	MN	晶圓廠 (擴建/現代化)	5.25 億	1.23 億	N/A	166
Infinera (US)	PA	封裝廠 (新建)	Not Available	0.93 億*	N/A	1700*
	CA	晶圓廠 (新建)	Not Available		N/A	
Entegris (US)	CO	設備廠 (新建)	7.22 億	0.77 億	N/A	900
Absolics (SK)	GA	材料廠 (新建)	3.43 億	0.75 億	N/A	1200
HP (US)	OR	晶圓廠 (擴建/現代化)	Not Available	0.53 億	N/A	250
BAE Systems (UK)	NH	晶圓廠 (現代化)	1.05 億	0.355 億	N/A	Not Available
Corning (US)	NY	材料廠 (擴建)	3.15 億	0.32 億	N/A	305
Rocket Lab (SolAero) (US)	NM	晶圓廠 (擴建/現代化)	0.975 億	0.239 億	N/A	100
Edwards Vacuum (UK)	NY	設備廠 (新建)	3.19 億	0.18 億	N/A	600

資料來源：“Semiconductor Supply Chain Investments,” by SIA, March 7, 2025. Retrieved April 10, 2025, from <https://www.semiconductors.org/chip-supply-chain-investments/>

註一：兩地合併計算以「*」標註。

註二：此表僅列出已獲商務部 CHIPS 計劃辦公室（CHIPS Program Office）核准撥款補貼廠房建設的企業（並依據企業所獲補貼總額排序），不列入尚在初步協議階段的投資計劃，亦不包含其他獲得晶片研發計畫補助的中小企業或學術研究單位。本表所列受補助企業中，除 Hemlock 和 Absolics 外，其餘企業皆獲得聯邦投資稅額減免（investment tax credit, ITC）。

《晶片與科學法案》目標為美國半導體製造業提供 390 億美元撥款以及 750 億美元的政府貸款，在拜登執政期間美國商務部敲定了超過 330 億美元的補貼獎勵，意味著還有至少 50 億美元的補貼待分配（Shepardson, 2025）。然而，新任總統川普不僅在競選時公開批評該法案，其上任後再於國會演講中重申反對立場，主張徵收關稅才能有效鼓勵國內製造，並稱該法案對於富有企業的補貼是浪費性贈與，希望取消補貼並將剩餘資金用於削減國債或其他支出項目。有鑑於《晶片與科學法案》是在兩黨支持下通過，許多共和黨選區也受益於該法案帶來的投資和就業機會，川普的主張並未獲得國會支持，但川普政府可能會透過行政手段拖延或凍結該法案執行，例如對負責分配 CHIPS 資金的國家標準暨技術研究院（National Institute of Standards and Technology，簡稱 NIST）進行裁員、調整政策執行規定，或是凍結尚未完成最終協議的補助審查計畫以拖延補貼發放。川普政府的反對態度也影響產業投資信心，由於補助金是在企業達成指定建設進度後陸續支付，而美國政府目前僅實際發放 40 億美元補助，雖然行政部門無法廢除法案，卻可能透過主張重新協議條款內容或聲稱建設進度未達成以逃避履行合約，從而影響企業投資擴張計劃，企業甚至可能因卻乏替代資金而引發財務風險（Myles, 2025; Owens, 2025）。

產業政策在美國有著悠久歷史，卻不是每一次執行都能獲得成功：歷史經驗顯示，當產業政策著重於促進技術研發與投資基礎建設而非貿易保護或扭曲市場時，其成效通常較為顯著（Hufbauer & Jung, 2021）。根據美國智庫彼得森國際經濟研究所（Peterson Institute for International Economics, PIIE）於 2025 年 1 月發布的評估報告 *Industrial Policy through the CHIPS and Science Act*，《晶片與科學法案》推行至今已展現初步成效，包含促進國內研發投資、創造就業機會、為中小企業提供生產補貼、提升國內先進晶片產能等等，但更多效果仍有待長期觀察，例如該法案能否有效降低美國對進口晶片的依賴、能否讓美國的先進晶片產能佔比在 2030 年之前提升至全球 20%、補貼政策是否有助於加速美國晶片技術發展、研發獎勵與稅

收優惠是否比直接補貼更具成本效益等等 (Hufbauer et al., 2025)。簡而言之，該法案規劃之研發獎勵與製造補貼計畫對於提升美國本土產能、吸引供應鏈回流、培育技職人才的實質貢獻與具體成效將是未來學界與產業界的重要研究議題。



第三節 中國在全球半導體供應鏈中的優勢與挑戰

壹、優勢：內需龐大、在成熟製程具價格優勢與高市佔率

中國在全球半導體市場中能佔有一席之地的主要原因在於其龐大且強勁的市場需求與製造能力。中國在 2005 年成為全球最大的半導體單一市場，該國的 IC 產能也在 2018 年和 2019 年超越美國和日本，躍居全球第三，僅次於臺灣與韓國 (Dieseldorff, 2021；湯士萱，2022，頁 4)。受益於 AI 技術發展帶動對高頻寬記憶體 (high bandwidth memory, HBM)²⁶與 GPU 需求，2024 年全球半導體市場總營收預計達到 6202 億美元，而中國的市場規模預計為 1865 億美元，佔全球半導體市場份額約三成，其進出口均位於世界首位 (鍾詠翔，2024)。2023 年中國進口積體電路達 4795.6 億塊，進口金額約 3493.77 億美元，其需求佔了全球 67% 的營收；2023 年中國出口積體電路達 2678.3 億塊，出口金額約 1359.74 億美元，佔全球晶片供給市場的 26% (Kiki，2024；盧伯華，2024)。2024 年中國積體電路進口數量為 5492 億塊，進口金額達 3856 億美元，進口晶片當中超過一半是處理器與控制器，顯示中國對於高階運算晶片的需求；在出口方面，2024 年中國積體電路出口數量為 2981.1 塊，出口金額約 1594.9 億美元，晶片超越手機、服裝等傳統出口強項，成為中國出口額最高的單一商品 (電子工程專輯，2025)。

在美國的技術封鎖下，中國難以發展先進製程晶片，但其國內積極興建中低階晶片的半導體製造廠，欲以價低量大的優勢搶攻海外市場。中國也正加速半導體國產化以降低對外國依賴，該國的半導體自給率在 2014-2023 年間從 14% 提升至 23%，預計在 2027 年時自給率會接近 27% (多部田俊輔，2024b)。儘管在貿易數據上，中國的晶片出口數量持續成長，但中國的晶片進出口長期存在貿易逆差，是晶片的

²⁶ 高頻寬記憶體 (high-bandwidth memory, HBM) 是一種新型的記憶體晶片，透過 3D 堆疊架構與矽穿孔技術 (Through-Silicon-Via, TSV) 垂直連接多個 DRAM 晶片層，可以在大幅縮小尺寸與功耗的同時，增加單位面積內的記憶體容量、提升資料處理與傳輸速度。

淨進口國，再加上 AI、電動車與物聯網技術的快速發展，因此對全球半導體業者來說，中國仍是一個極具吸引力且不容忽視的市場。

除了市場規模龐大，中國也擁有低成本、高效率的電子產品組裝生態系統，是全球最大的電子產品製造基地，顯著的規模經濟效應使中國在中低階晶片的封裝生產與消費市場中深具影響力。如表 7 所示，在 2022 年全球半導體供應鏈當中，中國在供應鏈中下游組裝、封測階段（ATP）的產能市佔率高達三成，是全球最高；中國在 28 奈米以上的成熟製程晶片領域同樣佔據重要市場地位，其產能在 2022 年全球市佔率為 33%，且 SIA 預估未來十年中國的市佔率將會成長至 37%（見圖 6）。要注意的是，SIA 報告是以區域產能呈現，但中國的半導體產能很大一部分是來自在中國設廠的外國公司，目前中國本土晶圓代工企業在全球代工市場上只有大約一成的營收市佔率（見表 14）；在 ATP 領域，中國本土封測廠商的營收市佔率大約佔全球四分之一（見表 15）。中國本土廠商的市佔率與中國區域產能的全球市佔率在數據上存在落差，反映出海外廠商對中國半導體製造產業的支持與影響力。

表 14 2022-2024 年全球前十大晶圓代工企業營收排名與市佔率

晶圓代工企業	總部	2024 年		2023 年		2022 年	
		排名	市佔率	排名	市佔率	排名	市佔率
TSMC（台積電）	臺灣	1	64.0%	1	58.9%	1	55.4%
Samsung（三星）	韓國	2	9.9%	2	12.0%	2	16.0%
SMIC（中芯國際）	中國	3	5.7%	5	5.4%	5	5.3%
UMC（聯電）	臺灣	4	5.2%	4	6.1%	3	6.8%
GlobalFoundries（格羅方德）	美國	5	4.9%	3	6.3%	4	6.0%
Huahong Group（華虹集團）	中國	6	2.4%	6	2.7%	6	3.1%
Tower（高塔半導體）	以色列	7	1.1%	7	1.2%	8	1.3%
VIS（世界先進）	臺灣	8	1.0%	8	1.1%	8	1.3%
Nexchip（晶合集成）	中國	9	0.9%	10	1.0%	8	1.3%
PSMC（力積電）	臺灣	10	0.9%	8	1.1%	7	1.7%
其他		-	4%	-	4.2%	-	1.8%

表格由筆者重新繪製。資料來源：“台積電市佔 67.1%再創新高！晶圓代工 10 強，中芯獲利砍半、力積電墊底...駐星代表童振源：神山地位難撼動”，童振源，2025，今周刊。

表 15 2022-2023 年全球前十大委外封測企業營收排名與市佔率

公司	總部	2023 年		2022 年	
		排名	市佔率	排名	市佔率
ASE（日月光）	臺灣	1	25.87%	1	27.05%
Amkor（艾克爾）	美國	2	14.09%	2	14.05%
JCET（長電科技）	中國	3	10.27%	3	10.68%
TFME（通富微電）	中國	4	7.90%	4	6.78%
PTI（力成科技）	臺灣	5	5.78%	5	6.10%
TSHT（天水華天）	中國	6	3.99%	7	3.47%
WiseRoad（智路封測）	中國	7	3.67%	6	3.77%
KYEC（京元電）	臺灣	8	2.67%	8	2.67%
ChipMOS（南茂科技）	臺灣	9	1.75%	10	1.71%
Chipbon（頤邦科技）	臺灣	10	1.65%	9	1.74%
其他		-	22.35%	-	21.97%

表格由筆者重新繪製。資料來源：“2023 年全球委外封測榜單”，芯思想，2024，電子工程專輯。

註：此名單不包含 IDM 企業對外封測部門和晶圓代工企業提供的封測服務營收。投資公司 Khaveen Investments 預估 IDM 企業英特爾與晶圓代工企業台積電各自擁有 OSAT 市場約一成的市佔率（Khaveen Investments, 2023）。

在美國的圍堵壓力下，為提高中國自身半導體生產能力、降低對進口依賴，中國政府積極推動產業政策和地方補貼計畫來扶植本土半導體廠商，大舉擴充生產目前不受美國政府出口限制的成熟製程晶片。根據調研機構 TrendForce 統計，截至 2023 年底，中國國內有 44 座正在營運的晶圓廠、另有 22 座正在興建、10 座正在規劃，因此 2024 年之後會再有 32 座新建成的晶圓廠加入市場，且全部專注於成熟製程、以製造 12 吋晶圓為主。TrendForce 也預測在全球晶圓代工方面，2023-2027 年間成熟製程（28 奈米以上）和先進製程（16 奈米以下）的全球產能比重大約會維持在 7：3，且在中國積極加速 IC 國產化的政策下，2023-2027 年中國製成熟製程晶片全球市佔率預估會從 29% 提升至 33%（Trendforce, 2023, 2024a）。有鑑於 28 奈米以上的成熟晶片佔據全球四分之三左右的市場需求，且用途廣泛，涵蓋

高階以下手機、電腦、電視、冰箱等各類消費性電子產品與家用電器，以及汽車、醫療設備、能源、電信、物聯網基礎設施等等（林宸誼，2024），中國在未來五至十年內對於成熟製程晶片的全球市場價格將會有不小影響力。

與先進製程相比，成熟製程晶圓的製造技術目前已趨於穩定，所需資本投入與技術門檻較低，因此在不受美方管制以及中國產業政策支持下，中國供應商可以加速廠房建設；中國在擴大成熟製程產能方面也具備幾項關鍵優勢，例如有政府提供生產補貼、基礎建設投資，國內也設有近五十個的半導體產業園區，有利於本地供應鏈整合，使其國內晶片代工廠能以較低成本擴張產能，從而具備較強大的市場價格競爭力。然而，中國大舉擴產的行動也引發市場擔憂，除了中國本土廠商可能通過低價策略搶佔市場份額而讓海外企業感受到競爭壓力，供過於求的情況也會導致全球產能過剩、行業產能利用率低的情況²⁷，甚至可能在競爭激烈的價格戰中出現「白菜價」、「見骨價」，吸引更多中低階產品應用需求轉向中國供應商，從而擴大中國廠商的全球市佔率、改變供應鏈比重。

貳、劣勢：先進製程技術與關鍵生產設備對外依存度高

一、中國本土 IC 設計工具難以打破西方技術壁壘

2023 年中國 EDA 市場規模達 120 億人民幣（預估 2024 年達 135 億），佔全球 EDA 市場規模約 10%，而 EDA 領域三大巨頭——益華電腦（Cadence）、新思科技（Synopsys）與西門子 EDA（Siemens EDA，前身為明導國際）——主導七到八成的全球與中國市場。以華大九天、概倫電子與廣立微電子為首，2020-2023 年中國本土供應商在中國 EDA 市場的市佔率由 7% 上升到 14%，但在全球 EDA 市場上市佔率仍低於 2%（楊紹麗，2024；魏國金，2024）。IP core 領域的情況類似，2023 年中國半導體 IP 市場規模達 142.8 億人民幣，但其國內仍由安謀（ARM）、新思、益華等外國供應商佔據市場主導地位，中國本土最大、全球排名第八的 IP core 供應商芯原微電子（或稱芯原股份）在全球市佔率不足 2%（梁曉晟，2025），顯示中國在 IC 設計領域高度仰賴美國，成為美國可以遏制中國的咽喉點（choke point）。

²⁷ 在 2024 年 11 月中芯國際的業績說明會中，中芯國際聯合首席執行官趙海軍表示在正常狀況下，全球的晶圓產能利用率應在 85%，但 2024 年平均產能利用率僅為 70%，顯示全球晶圓產能過剩，且短期內恐不會好轉（姬曉婷，2024）。

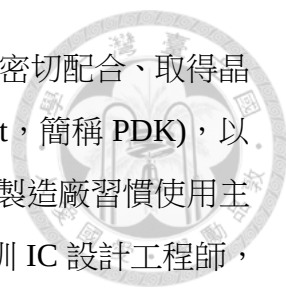
表 16 2023 年中國國內半導體 EDA 市場市佔率

中國國內半導體 EDA 供應商	企業總部	2023 年市佔率
Cadence (益華)	美國	32%
Synopsys (新思科技)	美國	29.1%
Siemens EDA (西門子)	美國	16.6%
Empyrean Technology (華大九天)	中國	5.9%
Ansys (安矽思)	美國	4.8%
Keysight (是德科技)	美國	3.3%
其他		8.3%

表格由筆者重新繪製。資料來源：“EDA 軟件行業全景分析：市場格局、技術挑戰與國產替代前景”，衛湛松等人，2024，國新諮詢。

儘管與半導體生產以及其他半導體技術應用領域相比，EDA 產業的產值與市場規模較小，然 EDA 軟體因其在半導體製造過程中不可或缺的地位而被譽為「晶片之母」。美中貿易戰激起中國應加速扶持本土半導體產業的危機意識，而 EDA 三巨頭掌控了中國約八成的市場，對外國廠商的高度依賴成為中國實現技術自主戰略的一大隱憂。自 2019 年美國對華為實施制裁以來，中國中央及各地方政府相繼頒布針對 EDA 產業的研發資助、採購補貼或免稅政策，使國內註冊的 EDA 公司數量大幅成長，達到全球第一（2023 年全球 140 間 EDA 企業中有 87 間是中國公司）（何明彥，2024）。目前中國本土 EDA 產品大多只能支援 28 奈米以上的成熟製程，雖然本土 EDA 巨頭華大九天有部分產品可支援特定設計環節達 5 奈米製程，其他知名企業如概倫電子、廣立微電子、上海國微思爾芯分別能提供達到 3 奈米、4 奈米和 10 奈米的「單點工具」(point-tool，針對特定設計流程或細分領域的 EDA 工具)，但中國在 28 奈米以下先進製程領域尚未形成涵蓋全流程的完整 EDA 工具鏈（何明彥，2024；鮑金玲，2022，頁 6）。

中國政府當前正積極透過大力注資提升本土 EDA 技術並推動國產替代，但在實務層面上仍面臨數項挑戰。首先，EDA 屬於高度專業且複雜的軟體工程，要形成完整涵蓋半導體製造上中下游各環節的 EDA 工具鏈需涉及跨領域專業知識與多種工具，研發難度高且資金投入巨大，新開發的 EDA 系統亦需經過長時間的驗證期才能投產，這些因素使中國本土企業難以在短時間內追趕已成產業標準的外國



老牌 EDA 廠商。其次，EDA 開發過程中需與中下游晶圓代工廠密切配合、取得晶圓廠製程資料與持續更新參數的製程設計套件(Process Design Kit，簡稱 PDK)，以確保晶片設計符合晶圓廠製程標準。在多數 IC 設計廠商與晶圓製造廠習慣使用主流 EDA 工具的情況下，轉換為本土 EDA 系統不僅需要重新培訓 IC 設計工程師，還需與晶圓廠協作開發新的 PDK，已和老牌 EDA 綁定合作、形成完整生態系的晶圓廠未必願意負擔因此衍生的系統轉換成本，且中國本土 EDA 技術也還無法支持先進製程節點。第三，中國 EDA 產業人才短缺嚴重，目前中國在 EDA 領域的從業人數不足萬人，甚至不及新思或益華的員工數量，且中國超過半數的 EDA 人才服務於外資企業，更凸顯人才短缺已成為阻礙中國本土 EDA 產業發展的長期結構性問題（何明彥，2024；億渡數據，2022，頁 30-33）。

面對美國對 EDA 軟體工具與先進製造設備的出口限制，中國也有不同的因應之策。2023 年華為發表智慧型手機 Mate 60 Pro，該系列手機搭載由華為海思設計、中芯國際製造的 7 奈米級 5G 晶片，且大部分手機零件由中國公司製造，履行其本土化生產的承諾（Schneider, 2023）。華為的成就引發外界高度關注，並激起各種對中國如何突破美國技術封鎖的猜測，可能的做法包含：華為海思使用破解版或盜版 EDA 軟體設計晶片後投片予中芯國際等可配合生產的本土晶圓廠、外國 EDA 供應商設計符合法規限制的「降規版」軟體供中國企業使用，或透過成立與實體清單無關的空殼公司、合資企業或中介機構作為「白手套」，從海外進口先進 EDA 工具（Welch, 2024）。與此同時，中國晶圓代工廠積極發展多重曝光技術（multiple patterning），利用現有的 DUV 設備製造七奈米甚至是五奈米晶片，儘管生產週期較長、成本較高且良率較低，但在無法從海外取得先進晶片與高階 EUV 設備的情況下，提升多重曝光技術成為短期內較可行的替代方案（Pao, 2024）。在中長期策略方面，除了加大對國產 EDA 軟體的研發投資以及國內 EDA 人才培育外，中國亦可透過併購外國 EDA 公司或延攬海外人才回國（或赴中）創業與傳授技術，以快速提升本土 EDA 實力（何明彥，2024）。

未來，中國有可能透過採用開源 EDA 架構或組合單點工具的方式逐步建立獨立的 EDA 生態系、突破美國封鎖。然而，目前開源 EDA 技術多用於教育與低階應用，尚無法滿足商業生產需求，且在缺乏晶圓廠 PDK 與精密製程模擬資料的前提下，開源 EDA 難以成為開發先進製程 IC 的有效替代方案。另一方面，組合單點工具的實現需要仰賴具備整合產業資源的龍頭企業，由其建立一個能支援所有



設計環節的單一平台，確保市面上不同小型公司研發的單點工具都能在該平台上相容運作，這將相當考驗中國 EDA 產業的整合能力。

二、半導體生產設備國產能力有限

自 2014 年中國推動「國家大基金」以來，中國市場的半導體設備銷售額逐漸提升，並在 2020 年成為全球半導體生產設備的最大消費國，尤其近幾年為應對美國隨時可能加強的制裁，以及為提升自給率而在國內大舉興建半導體製造廠，中國從半導體設備市場上提前大量採購，使其資本支出快速增加，也讓全球半導體設備銷售紀錄屢創新高。2020-2024 年全球半導體設備總銷售額從 711.9 億美元成長至 1171.4 億美元，中國市場銷售額則從 187.2 億成長至 495.5 億美元，在此期間中國市場佔全球銷售額比例從 26.3%上漲至 42.3%，顯見中國的強勁需求對全球半導體設備市場的影響力（見圖 10）。對日本、荷蘭、新加坡等全球主要半導體生產機械出口國來說，中國都是其最大的出口市場，尤其日本有超過四成的半導體生產機械與工具向中國出口；儘管拜登政府對中國實施先進半導體製造技術出口管制，但截至 2023 年美國仍有超過兩成的半導體生產機械與工具銷往中國（見表 17）。對這些國家來說，中國是難以輕易放棄的龐大市場。另一方面，中國也高度依賴從外國進口半導體生產機械，成為其產業升級、推進技術自主可控戰略過程中最具挑戰性的環節之一。

表 17 2023 年生產半導體等機械主要出/進口地區統計

2023 年生產半導體等機械主要出/進口地區之相關統計										
單位：億美元；%										
世界排名	出口 1	2	3	4	進口 1	2	3			
出進口值	日本 252	荷蘭 248	新加坡 216	美國 201	中國大陸 396	中華民國 196	南韓 173			
出進口市場比重	1 中國大陸 42.9	中國大陸 27.4	中國大陸 36.0	南韓 22.3	日本 28.9	荷蘭 28.8	荷蘭 31.2			
	2 中華民國 16.5	南韓 27.2	中華民國 15.6	中國大陸 21.9	荷蘭 19.0	日本 20.4	美國 22.4			
	3 南韓 15.0	中華民國 24.8	南韓 14.6	中華民國 17.2	新加坡 14.3	美國 19.0	日本 20.5			
	4 美國 14.0	美國 10.6	美國 12.0	日本 8.3	美國 11.5	新加坡 11.8	新加坡 11.7			
	5 新加坡 2.6	以色列 4.3	日本 5.6	新加坡 7.3	南韓 8.1	德國 6.1	馬來西亞 4.8			
	6 以色列 1.8	日本 1.9	香港 4.7	荷蘭 6.2	中華民國 5.7	馬來西亞 3.3	德國 4.7			

資料來源：Global Trade Atlas (GTA)、財政部統計處。

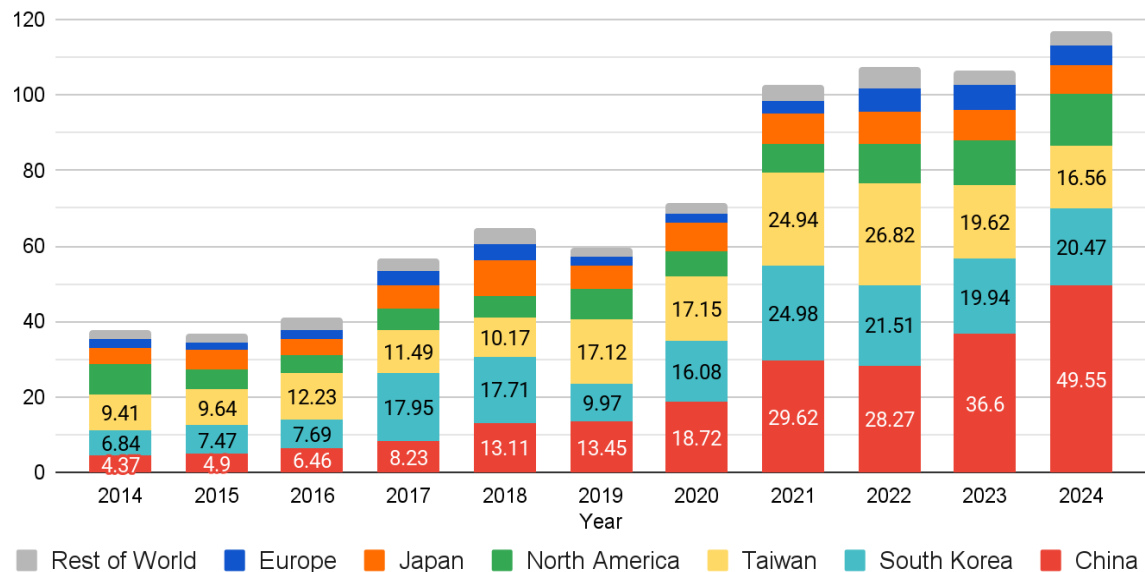
資料說明：生產半導體等機械係指 HS code 8486，金屬加工工具機係指 HS code 8456-8463。

資料來源：“我國生產半導體等機械出口 10 年來成長 2.6 倍，今年 1-7 月佔機械總出口已突破 2 成”，李震宇，2024，財政統計通報。

圖 10 2014-2024 年全球各區域半導體設備銷售統計（單位：十億美元）

Semiconductor Equipment Market Revenue by Region

US\$ Billions



資料來源：SEMI 國際半導體產業協會發布之「全球半導體設備市場統計報告」(Worldwide Semiconductor Equipment Market Statistics Report)。圖表由筆者彙整歷年數據後繪製。

雖然有少數中國廠商在特定類型的半導體生產設備上能加入全球競爭，例如在蝕刻設備市場上中微公司與北方華創擁有約 1.7% 全球市佔率、在熱處理設備市場上北方華創與屹唐半導體共享約 5% 全球市佔率、在測試設備市場上華峰測控擁有 3% 全球市佔率，但中國在半導體生產設備方面的製造能力仍非常有限（今日光電，2023）。自美國發動科技戰以來，中國積極提升半導體設備國產化比例，試圖減輕美國出口管制影響，在 2018-2023 年間其半導體設備國產化比例從 4.19% 提升至 17.57%，但整體平均仍不足 20%，且不同類型和工藝程度的半導體設備國產能力落差極大（滿投財經，2024）。整體來說，中國本土製造商在除膠設備（中國稱去膠機）方面國產能力最高，國產化率可達 80% 以上，在清洗、蝕刻設備方面國產化率達 50% 以上，在熱處理和化學機械研磨設備方面國產化率為 30%-40%，在薄膜沉積、離子植入（離子注入）、光阻塗佈顯影（塗膠顯影）、量/檢測設備方面國產化率落在 5%-20%，曝光設備（光刻機）的國產化率最低，幾乎完全仰賴外國提供；從製程工藝來看，除了離子植入與曝光技術，中國已有能力生產大部分 28 奈米及以上製程技術所需的半導體製造設備，但在 14 奈米以下的製造工藝方面，中

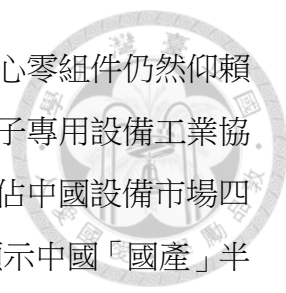
國大部分尚未能攻克（見表 18）。²⁸此外，中國也高度仰賴從外國進口半導體製造過程所需材料，包含矽晶片、光罩（光掩模）、光阻劑（光刻膠）、濺射鍍膜材料、化學機械研磨過程所需之拋光墊與拋光液、電子氣體等等，成為其提升技術自主與國產化程度的另一大阻礙（中商產業研究院，2024a；滿投財經，2024）。

表 18 2023 年中國半導體設備本土企業與製造設備國產化情況

設備類別	中國主要本土企業（可量產製程節點）		國產化率
清洗	北方華創（28 奈米）、盛美上海（14 奈米）、至純科技（28 奈米）、芯源微、中國電科		50%-60%
薄膜沉積	物理氣相沉積（PVD）	北方華創（28 奈米）	10%-20%
	化學氣相沉積（CVD）	拓荆科技（28 奈米）、北方華創、中微公司、盛美上海、萬業企業	5%-10%
	原子層沉積（ALD）	微導納米（28 奈米）、拓荆科技、北方華創、中微公司、盛美上海、萬業企業	5%-10%
光阻塗佈顯影	芯源微（28 奈米）、盛美上海		5%-10%
曝光	上海微電子（90 奈米）、中國電科		<1%
蝕刻	北方華創（14 奈米）、屹唐半導體（10 奈米）、中微公司（5 奈米）、芯源微、萬業企業		55%-65%
除膠	屹唐半導體（5 奈米）、芯源微、浙江宇謙、上海稷以		>80%
離子植入	萬業企業		10%-20%
熱處理	北方華創（28 奈米）、盛美上海、屹唐半導體、萬業企業		30%-40%
化學機械研磨 拋光	華海清科（28 奈米）、盛美上海		30%-40%
量/檢測	精測電子（28 奈米）、中科飛測（28 奈米）、上海微電子		<10%

表格由筆者重新整理繪製。資料來源：西部證券發展中心（2024）、中商產業研究院（2024b）、北風窗（2025）。

²⁸ 2024 年 9 月中國工業與信息化部（工信部）公布《首台（套）重大技術裝備推廣應用指導目錄（2024 年版）》，當中列出中國已研發出兩款國產 DUV 曝光機（中國稱為光刻機），分別是氟化氬（KrF）曝光機（分辨率≤110nm、套刻精度≤25nm）與氟化氬（ArF）乾式曝光機（分辨率≤65nm、套刻精度≤8nm），將進入應用推廣階段。其中分辨率≤65nm 的氟化氬乾式曝光機若能達成量產，則可將中國現有的 90 奈米製程技術推進至 65 奈米製程，甚至可以透過重複曝光技術生產出線寬更小的晶片，但使用重複曝光技術不僅會增加製程步驟，也可能出現良率下降、成本增加的問題（中華人民共和國工業和信息化部，2024）。



此外，即便是中國「國產」的半導體製造設備，其中部分核心零組件仍然仰賴外國進口，或由外國企業在中國設立的子公司供應。根據中國電子專用設備工業協會的數據，2022 年中國半導體關鍵製造設備的零件進口金額約佔中國設備市場四成，而部分國產半導體設備公司的零件進口額甚至高達六成，顯示中國「國產」半導體製造設備中仍有許多核心創新技術需要仰賴海外提供（李哲、占豪，2024，頁 10）。中微公司董事長尹志堯在 2024 年接受採訪時便表示其公司生產的蝕刻機有六成零件是從國內採購、有機金屬化學氣相沉澱設備（簡稱 MOCVD 設備，該設備用於磊晶製程和生產 LED）的零件有二至四成仰賴進口，但即便另外六至八成零件是從國內採購，其中仍有一部分是來自海外供應商在中國設立的子公司，而非中國本土廠商所擁有的技術。因此在加強零組件本土生產「自主可控」的同時，中國的半導體設備廠商也正努力尋求非美系的外國供應商支持（芯智訊，2024）。

三、美國半導體禁令限制中國發展先進製程

美國對中科技戰最初起於爭奪全球 5G 通訊技術和產業話語權。2018 年 4 月美國政府先是以中國第二大電信設備商中興通訊違反美國禁運政策為由對該公司實施制裁，隔年 2019 年 5 月宣布再針對中國電信巨頭華為公司發布「華為禁令」，不僅禁止美國政府部門和承包商使用中興通訊與華為的產品與服務，也禁止美國企業向其出售高階的 5G 手機晶片，2020 年 5 月更進一步禁止華為及其關聯企業取得使用美國技術生產的手機處理器晶片。此舉令華為在 5G 手機的發展上受挫，也讓美國看見可以遏制中國技術提升的咽喉點——先進晶片，並自此展開對中國半導體產業的科技封鎖。2020 年 12 月美國將中國晶圓代工龍頭企業中芯國際列入實體清單，限制其取得 EUV 曝光機等 10 奈米以下製程的半導體製造設備，同時也力促其他國家的半導體製造商與設備供應商配合管制措施，限縮中國取得美國先進技術與產品的管道。

而在拜登政府任內，美國逐步構築出一套涵蓋半導體供應鏈上中下游的多層次科技封鎖架構，目的是全方位阻止中國取得發展先進製程技術所需之關鍵資源（詳見第四章）。具體而言，在半導體設計階段，美國自 2022 年起便限制用於開發 3 奈米以下晶片的 EDA 軟體出口中國，意圖從源頭斷絕中國設計先進晶片的能力；2025 年川普重返白宮後再擴大 EDA 出口禁令，欲進一步阻止中國現有之 EDA 軟體獲得升級。在生產設備與材料層面，美國不僅限制對中國出口發展第四代半導體

所需之關鍵材料（金剛石、氧化鎵），還與荷蘭、日本協調切斷中國取得 16/14 奈米以下製程設備的管道。在產品端，美國禁止晶片製造商向中國銷售可支援訓練大型 AI 模型的高階圖形處理晶片，並逐步調高可出口晶片之運算效能門檻，限制中國建立資料中心與運算基礎設施的能力。同時，美國也擴大對超級電腦組裝零組件及 AI 模型應用的出口管制，並強化對終端使用者與再出口國家之審查，防範中國透過第三地間接獲取受管制技術產品。

在資本流動方面，美國不僅透過《晶片與科學法案》禁止受補助企業在中國擴建 28 奈米以下製程產能，還設立「境外投資安全計畫」(Outbound Investment Security Program)，限制美國資金流入中國半導體、量子運算與人工智慧等敏感技術領域；另一方面，自 2018 年美國國會通過《外國投資風險審查現代化法案》(FIRRMA) 以來，美國外資審查委員會 (CFIUS) 逐漸強化對中國企業投資美國科技業、關鍵基礎設施與戰略性不動產的審查機制，防止中國藉由海外併購獲取商業機密或美國人民個資。在人才與知識交流層面，美國不只以法規限制美國籍人士為中國半導體產業提供技術支援與顧問服務，還對學術交流與技術研發合作活動加強管制，進一步阻斷中國學習外國技術的機會。從整體觀察，美國的半導體禁令已從單一產品的出口限制擴展為一套橫跨市場、技術、資本、人力與跨國制度協調的科技封鎖網絡，其戰略目標不僅是拖延中國進入七奈米以下先進製程商業化生產的時程，更要削弱其產業升級與達成技術自主的潛力。

中國半導體產業長期面臨 IC 設計、製造技術與生產設備對外國供應商依存度高、國內自給率低的結構性困境，而美國的封鎖措施針對這些技術瓶頸進行精準打擊，目前已成功阻礙中國在先進半導體（七奈米及以下）的商業化生產能力，並延滯其在人工智慧和超級運算等技術領域的發展速度。雖然中國企業嘗試透過調整公司業務與發展重心，或提升國產化比例來降低對外依賴，但短期內仍難以克服因製造技術有限而導致的市場競爭劣勢和經濟損失。目前觀察，美國的半導體禁令已成為中國半導體產業升級的最大外部障礙，而能否在美國封鎖下成功建立本土自主體系將是決定中國未來科技競爭力與全球戰略地位的關鍵。

參、其他潛在機會與風險



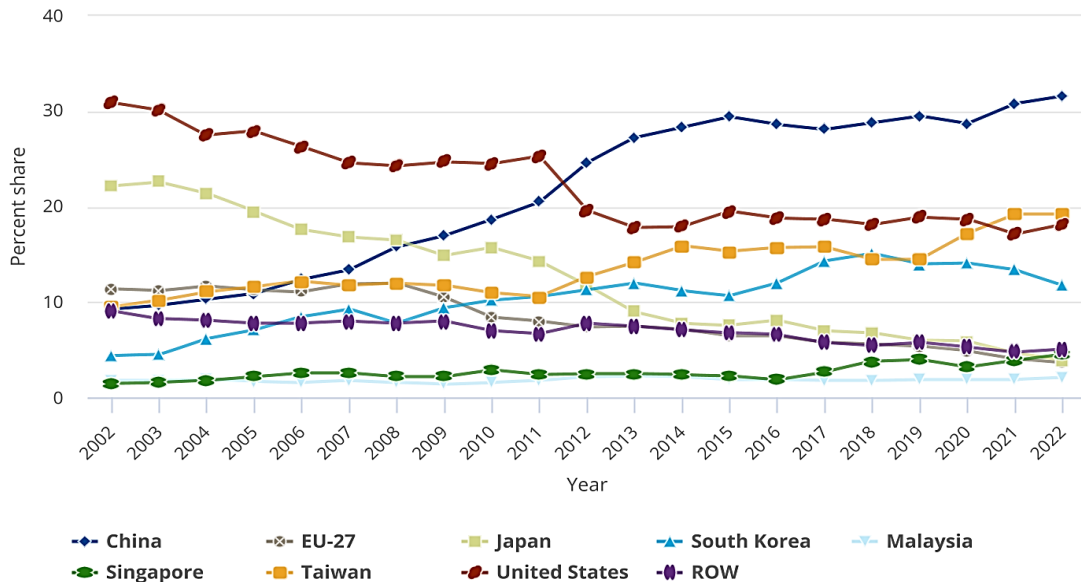
一、中國政府積極推動半導體產業政策

根據美國國家科學委員會（National Science Board, NSB）的報告，過去 20 多年間中國在全球半導體製造附加價值鏈中的佔比成長快速，2012 年便已超越美國，並在 2022 年時達到全球三成的市場份額（見圖 11）。在 2013-2023 年間，中國國內營運的 12 吋晶圓廠數量從 7 座迅速成長至 25 座，加上 6 吋與 8 吋晶圓產線，已建成並營運的晶圓廠總計達 44 座之多，且 2024 年還有 22 座正在興建、10 座正在規劃，提供全球約三成晶片產能。而中國之所以能在電子產品組裝產業、低階成熟晶片製造、封測生產環節快速成長並形成規模經濟，很大程度有賴於中國政府針對提升半導體製造能力所實施的產業政策。

圖 11 2002-2022 年全球半導體製造附加價值市場份額

Figure KT1-8

Global share of value added for semiconductor manufacturing for selected economies: 2002-22



資料來源： *Science and Engineering Indicators 2024: Production and Trade of Knowledge- and Technology-Intensive Industries* (p. 29), by National Science Board, 2024d, National Science Foundation.

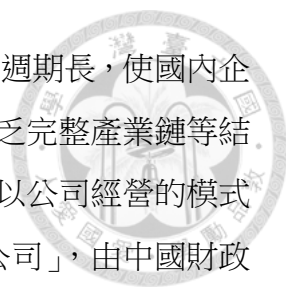
中國的半導體產業政策發展可大致區分為三階段：2000 年以前、2000-2014 年、2014 年之後。中國的積體電路製造產業始於 1970 年代，後為加強產業發展管理，1982 年中國國務院成立「電子計算機和大型集成電路領導小組辦公室」，負責協調

分散在全國各地的晶圓廠生產，以及制定半導體相關產業發展規劃，例如在「六五」（1981-1985）期間對半導體工業進行技術改造、在「七五」（1986-1990）期間推行「531 發展戰略」，即「普及推廣 5 微米技術、開發 3 微米技術、進行 1 微米技術科技攻關」。此後中國在「八五」（1991-1995）和「九五」（1996-2000）期間陸續實施「908 工程」和「909 工程」，支持國內建立六吋與八吋晶圓產線。「九零工程」是中國對半導體產業的第一次大投入，中國政府在工程實施過程中借鑒韓國、新加坡的半導體產業政策，學習將政府資源與市場化管理方式融合，推動民間和外資合作投資晶圓廠建設，並鼓勵國內半導體企業朝市場經濟發展，許多如今耳熟能詳的中國 A 股半導體公司都是發展自此時期（Sumzi, 2021；中國科學院半導體研究所，2008；劉玉書，2021）。

2001 年年底中國加入 WTO 後，其廣大的消費市場、低廉的勞動成本以及產業優惠政策吸引許多半導體廠商將技術含量較低、勞動密集需求高的 ATP 生產環節轉移至中國。儘管中國政府當時也成立了 IC 產品設計中心與產業基地，但在國內創新體系與產能不足的情況下，中國政府傾向以晶圓代工推動 IC 設計發展，並透過稅收優惠等產業政策來鼓勵研發創新、扶持國內半導體產業（湯士萱，2022；劉玉書，2021）。2000-2014 年中國國務院發布數項扶持半導體產業發展的政策文件²⁹，尤其在 2006 年頒布的《國家中長期科學和技術發展規劃綱要（2006 年-2020 年）》當中，「核心電子電器、高端通用芯片及基礎軟件產品」與「極大規模集成電路製造技術及成套工藝」被列為 16 項國家科技發展重大專項的第一與第二項（又稱 01 專項、02 專項）；在該綱要中，中國將「信息產業及現代服務業」視為要積極發展的重點領域，為此需掌握「集成電路及關鍵元器件、大型軟體、高性能計算、寬帶無線移動通信、下一代網絡等核心技術」（中華人民共和國國務院，2006）。

2014 年中國國務院發布《國家集成電路產業發展推進綱要》，成立千億人民幣規模的「國家集成電路產業投資基金股份有限公司」（或稱「大基金」），是中國對半導體產業的第二次重大投入，也是中國政府實施半導體產業政策的重要里程碑。

²⁹ 相關文件包含：2000 年 6 月中國國務院公布實施《鼓勵軟件產業和集成電路產業發展的若干政策》（國發〔2000〕18 號）；2005 年 12 月國務院頒布《國家中長期科學和技術發展規劃綱要（2006-2020）》；2008 年 1 月信息產業部發布《集成電路產業「十一五」專項規劃》；2011 年 2 月國務院發布《進一步鼓勵軟件產業和集成電路產業的若干政策》（國發〔2011〕4 號）；2012 年 5 月財政部、國稅總局發布《關於進一步鼓勵軟件產業和集成電路產業發展企業所得稅政策的通知》（財稅〔2012〕27 號）；2012 年 7 月國務院發布《國務院關於印發「十二五」國家戰略性新興產業發展規劃的通知》（國發〔2012〕28 號）。



為解決中國半導體產業的發展問題，例如產業資金需求大、投資週期長，使國內企業難憑一己之力擴大規模，導致私人投資意願較低，以及國內缺乏完整產業鏈等結構性困境，有別於過去由政府直接提供補貼的政策，「大基金」以公司經營的模式運作，其所有權隸屬於「國家集成電路產業投資基金股份有限公司」，由中國財政部與國開金融、中國煙草、北京亦庄國投、上海國盛等等國有實體或企業做為出資股東，透過私募股權、基金投資、市場投資等方式取得公司股份的方式，為國內半導體公司提供支持，也希望國家資金的加入能為市場投資人增加信心，進而「撬動」私部門資本投資（湯士萱，2022）。

「大基金」項目迄今已推進至第三期。第一期始於 2014 年，註冊資本為 987.2 億人民幣（最終募資規模達 1387.2 億人民幣），投資重點放在 IC 製造業，佔資金流向 67%，而 IC 設計佔 17%、設備材料佔 6%、封測佔 10%。第二期始於 2019 年，註冊資本為 2041.5 億人民幣，其中 75%投入 IC 製造、IC 設計佔 10%、設備材料佔 10%、封測佔 2.6%、應用佔 2.4%（李哲、羅松，2024）。由於 IC 製造環節的建廠支出較高，在兩期投資中金額佔比皆是最重，但相異處在於大基金第一期著重製造與封測環節，主攻下游各產業鏈龍頭企業，目標提升國內晶圓製造技術、增加代工產能，而第二期開始時正值美中貿易戰，因此中國轉向增加對供應鏈中上游產業的投資金額，提高對製造設備、零件與材料的投資與自主生產能力，以降低美國制裁影響（閻啟，2024）。

「大基金」第三期始於 2024 年，註冊資本達 3440 億人民幣，規模超過前兩期大基金投資總和。值得注意的是，中國國家大基金第三期是首次有商業銀行參與出資，參與的六間國有銀行分別是工商銀行、農業銀行、建設銀行、中國銀行、交通銀行、郵儲銀行，彰顯中國政府對於該產業的重視。儘管還未見明確的資金投資流向，但有鑑於數位經濟與人工智慧的快速發展，以及美國對中國實施的半導體技術與設備出口限制措施持續加強，業界預估第三期大基金主要投資方向除了持續推動半導體國產化進程，加大對半導體生產設備（如曝光機）和材料（如光阻劑）的研發支持外，也可能將高頻寬記憶體（HBM）等高附加價值的 DRAM 晶片、AI 晶片、先進製程與封裝環節等列為重點投資方向（財聯社，2024；張渝彬，2024）。

中國半導體產業發展特徵是由國家強力主導產業發展，對重點產業實行直接且大規模的補貼措施，包含稅收優惠、土地補助、低利貸款、直接投資，或由官方主導跨境收購、要求合資與技術轉讓等等，範圍涵蓋研發、製造、市場擴張等整條

產業鏈，使中國企業能以低成本價在全球市場上競爭（湯士萱，2022）。採取股份公司制、股權投資等市場化手段成立國家大基金的好處在於有統管道整合、集中資金支援本土企業技術研發、發展關鍵產業並提升產能，同時在資金運作上嘗試引入市場機制、引導社會資本投入，以提升資金規模與使用效率、分散政府財政壓力、建立長期規劃。儘管該基金操作試圖在形式上淡化政策直接補貼可能引發的不公平貿易爭議風險，但實際上難以抹除中國政府主導干預的色彩。

「國家大基金」是中國政府結合國家資本主義與市場機制的產業政策治理工具，2014 年成立時意在及早布局、解決國內晶片產能缺口問題，然而 2019 年美科技戰升溫、美國切斷對華為供應關鍵技術與零組件後，中國政府加速推動國產替代和「技術自主可控」戰略，致力於在國內建立涵蓋設計、製造與封測的完整半導體供應鏈。在此背景下，國家大基金的資金規模與投資速度急遽擴張，也將執行過程中有關缺乏審查與風險控制機制、治理透明度低與資源錯置等問題推向檯面。

紫光集團破產、武漢弘芯倒閉以及多起地方投資項目爛尾即是暴露大基金政策結構性問題的象徵性案例。作為中國「半導體國家隊」的代表企業，紫光集團於 2010 年代中期受益於大基金投資支持，透過大量舉債併購海內外企業的方式擴張版圖、獲取外國技術，然其自身技術研發能力有限、過度依賴外資與技術輸入，且企業內部疏於財務管理與風險控制，在美國實施出口管制與海外併購受阻之下，紫光集團最終爆發債務危機並於 2021 年宣告破產重組（金博、田簫，2022）。2017 年 11 月成立的武漢弘芯標榜要引入先進製程生產 10 奈米晶片、突破美國技術封鎖，號稱投資規模達 1280 億人民幣，並從各地延攬知名專業技術人才為其背書，成為武漢和湖北政府支持的重點關注投資項目。武漢弘芯的生產廠房原訂於 2019 年底開始運轉，然廠房建設與設備採購進度嚴重滯後，甚至將從 ASML 新購得之曝光機抵押套現，2020 年公司創辦人被發現偽造身份資歷騙取政府補貼與市場投資，且公司存在嚴重財務問題，地方政府介入調查後確認武漢弘芯資金鏈斷裂的事實，並揭露此「千億大騙局」（許寧，2021）。

武漢弘芯是中國半導體投資計劃爛尾的最著名案例。事實上，自中國中央政府將發展高科技產業作為戰略目標以來，地方政府爭相以土地補貼、稅收優惠等手段招商引資、向中央爭取經費，在「造芯熱潮」的帶動下，2020-2021 年中國新註冊成立的半導體相關企業總計逾七萬間（郭妍希，2022）。然而，地方政府缺乏專業審查與追蹤機制，加上美國限制技術出口與設備供應、疫情復甦後去庫存壓力與市

場需求疲軟，許多建設計畫未能進入實質生產階段便淪為爛尾工程。隨後中國半導體產業更迎來倒閉潮，2022-2024 年已有超過三萬間晶片相關企業宣告倒閉或註銷，但 2024 年新註冊晶片相關企業數量超過五萬間，兩極化發展趨勢顯示該產業可能正處於轉型重組階段（李綺雯，2023a；賴瑩綺，2024）。與此同時，國家補貼資金流向不明、產業投資亂象頻傳亦引發監管部門關注，2022 年起中國紀檢監察機關對半導體產業展開大規模反貪腐調查，多位半導體投資企業高層與大基金管理層因涉嫌嚴重違法違紀而被帶走調查，且部分人員已遭判刑³⁰，這些貪腐案件與背後的政治鬥爭極可能是大基金投資成效不彰的原因之一（Cheng，2022；中央社，2025）。

儘管上述案例揭示了大基金在資金分配、投資項目審核與內部治理上的重大缺失，但大基金第三期的啟動及其更龐大的資金規模顯示該基金未來仍會在中國的半導體政策中扮演關鍵角色，是以中國政府必須建立有效的風險評估與問責機制、提升大基金管理層的治理透明度，防範官商勾結和貪腐問題，重建市場對大基金的投資信心。此外，補貼浮濫與審查寬鬆導致多起投資項目違約、倒閉和爛尾的現象表明「資本驅動」的產業政策並非長遠之計，中國政府需要強化對投資案件的專業審查能力，精準引導投資目標避免資金錯置，並將政策重心轉向「創新驅動」，更加重視長期的人才培育與技術研發投入，方能在美中競爭與國際供應鏈重組的壓力下實現可持續發展。

二、透過國家發展戰略提升技術能力

2015 年 5 月中國國務院發布《中國製造 2025》行動綱領，目標是推動中國長期產業結構調整與重點產業升級突破³¹，不僅要提高國內生產自給率，還要增加中國製產品在全球市場的市佔率，讓中國在 2025 年從「製造大國」轉型成為「製造強國」，並在國內科技發展與產業供應鏈上加強自主性、降低對外國依賴（中華人

³⁰ 中國政府針對半導體產業的反貪腐調查涉及多位高層，包含時任國家大基金總經理丁文武、大基金旗下深圳子基金管理人王文忠、紫光集團董事長趙偉國、紫光集團聯席總裁刁石京、紫光科技服務集團董事長李祿媛、華芯投資總裁路軍、華芯投資副總裁高松濤、任凱、中國工信部部長肖亞慶、華芯投資總監杜洋、華芯投資總經理劉洋、華芯投資副總經理楊征帆等人。截至 2025 年 5 月，除趙偉國因貪污罪被判死緩刑，其餘人等的司法調查結果尚未公開（Cheng，2022；中央社，2025）。

³¹ 根據「國務院關於印發《中國製造 2025》的通知」（國發〔2015〕28 號），中國政府欲大力推動的十大重點產業分別是新一代信息技術產業（包含集成電路及專用裝備、信息通信設備、操作系統及工業軟體）、高檔數控機床和機器人、航空航天裝備、海洋工程裝備及高技術船舶、先進軌道交通裝備、節能與新能源汽車、電力裝備、農機裝備、新材料、生物醫藥及高性能醫療器械（中華人民共和國國務院，2015）。

民共和國國務院，2015）。2020 年 3 月、2021 年 10 月中國國家標準化管理委員會、中國共產黨中央委員會和國務院先後發布《2020 年全國標準化工作要點》與《國家標準化發展綱要》，目標在 15 年內建立「中國標準 2035」，除加強國內標準體系建設與管理外，還要積極參與國際標準制定與國際標準組織治理、透過「帶路倡議」推廣「中國標準」、實施中國標準外文版行動計畫，希望中國能從國際標準的追隨者成為產業標準的主導制定者（中華人民共和國國家標準化管理委員會，2020；中國共產黨中央委員會、中華人民共和國國務院，2021）。

中國透過「中國製造 2025」和「中國標準 2035」公開宣示其推動科技與產業發展、目標成為科技強國的戰略方向，具體做法包括但不限於針對外國企業提出合資要求、股權上限、強制技術轉讓、產業准入限制等規定，或由政府提供財政補貼、貸款優惠、實施採購限制等方式扶持重點企業，甚至支持中資在全球投資、收購外國企業以擴大影響力、掌握產業關鍵技術。然而，美國在《301 條款調查報告》指出中國也會透過惡意併購、網路入侵、竊取智慧財產權等非市場行為吸收外國技術或獲取敏感資訊，從而縮小中國與先進國家的技術差距、在國內與國際市場上取代外國競爭對手，以實現其官方產業政策目標，並削弱美國企業在全球市場公平競爭的能力（USTR, 2018b, pp. 110-120）。除此之外，中國政府長期透過軍民融合策略與「千人計劃」等較隱蔽的方式來招募海外人才、加速本土技術能力發展，使外界難以追蹤其實際的科技發展情況，也讓中國面臨美國技術封鎖時，仍能透過各種管道獲取關鍵技術，持續推進其全球科技競爭戰略。

（一）軍民融合政策

中國「軍民融合」（military-civil fusion, MCF）的概念始於毛澤東於 1950 年代提出國防工業要「軍民兩用」的主張，毛澤東之後的領導人亦提出過「軍民結合」、「寓軍於民」、「軍民融合」等相似概念。在習近平任內，「軍民融合」在中國國家戰略發展中的地位大大提升——2015 年習近平將「軍民融合」上升到國家戰略層級，並提出要將「軍民融合」列入「十三五規劃」（2016-2020 年），2017 年更成立「中央軍民融合發展委員會」，彰顯中國政府決心積極推動該戰略（劉家明，2022）。

美國國會技術評估辦公室（Office of Technology Assessment, OTA）將「民軍整合」（civil-military integration, CMI）定義為「國防科技工業基礎與更大的商業科技工業基礎合併形成統一的國家科技工業基礎的過程」（Office of Technology

Assessment, 1994, p. 44)，意指透過軍方與民間雙向的生產資源流通與整合過程來滿足國防與商業需求，從而加強國家工業基礎。而中國式的「軍民融合」更強調由國家，更準確地說是由中國共產黨，領導統籌國家經濟建設與國防軍武的發展方向，透過引入社會資本、動員民間部門來提升軍事力量。³²相較於軍事技術，民用生產技術因須適應快速變化的市場而具備開發週期短、低成本、應用層面廣泛等特色，且由於「軍轉民」的審查嚴格、轉化門檻高，中國的軍民融合策略更常透過「民參軍」的形式³³，藉由對民間企業實施讓利、補貼等措施，借助民間力量帶動科技研發動能，吸引高科技人才或研究軍民兩用技術的企業投入軍事工業，使軍民技術高度結合、共享研究資源（洪子傑，2018；劉家明，2022）。

表面上以合法商業手段發展科技產業、實則帶有擴張國家軍事能力目標的「軍民融合」體制被美國視為中國技術發展迅速的關鍵。自 2018 年美中貿易戰以來，為防範中國透過國際貿易取得用於發展軍事力量的技術，美國採取一系列措施，包含重新修訂出口管制規定中關於「軍民兩用」貨品與技術的定義與範圍，以及加強對轉運、出口目的地、最終用途與終端使用者的限制；川普與拜登任內皆簽署行政命令禁止美國政府部門、美國企業與民眾投資中國軍工企業或商業合作，避免間接以美國資金與技術支持中共軍事與情報機構發展；美國國防部與商務部也持續擴大實體清單的出口管制對象，除了與中國解放軍活動有直接關聯的官方研究機構外，也開始納入開發軍民兩用技術的民間企業和可能參與技術轉移的高教機構。然而，這些做法仍無法完全阻斷中國利用軍民融合策略獲得新興技術的管道，一方面在於學術研究、商用技術與軍用技術之間的界線模糊且涉及層面複雜，使得管制範圍難以劃定，另一方面在於難以輕易辨認中國國內高教機構和民間企業與政府（軍方）的實際關係，尤其中國有大量中小企業參與跨國貿易，也增加了美國政府的追蹤難度。因此，美國的制裁和出口管制措施很難在不影響雙方商業往來的情況下有效針對中國軍方活動。

³² 根據 2017 年中國政府發布的《國務院辦公廳關於推動國防科技工業軍民融合深度發展的意見》（國辦發〔2017〕91 號），軍民融合發展策略的首要基本原則是「國家主導，市場運作」，即「在中央統一領導下，加強國防科技工業軍民融合政策引導、制度創新，健全完善政策，打破行業壁壘、推動軍民資源互通共享」，具體做法包含「發揮有關部門和地方政府作用，調動軍工集團公司、軍隊科研單位和中科院、高等學校以及包括民營企業在內的其他民間單位……形成各方密切合作」、「依托高等學校設立國防科技重點實驗室和國防重點學科實驗室……支持高等學校與軍工單位加強產學研用合作和人才培養」等等（中華人民共和國國務院辦公廳，2017）。

³³ 「軍轉民」是指將軍工業技術轉移至民間生產，可促進民營企業的產品升級；「民參軍」則是鼓勵民間企業投入國防產業或投資國防相關企業。

（二）千人計劃

2008 年 12 月中國政府啟動「海外高層次人才引進計劃」，又稱「千人計劃」，是中國首項國家層級的海外人才引進計劃³⁴。該計劃目標是在五至十年間，在中國國家重點實驗室、國有企業和高新技術產業開發園區等單位引進一批「能夠突破關鍵技術、發展高新產業、帶動新興學科的戰略科學家和科技領軍人才」回到中國或來到中國進行創新創業。除了提供資金與研究空間，中央政府也要求各部門與地方政府提供優惠待遇措施，並鼓勵民間單位與政府一起開展人才引進工作（中國共產黨中央委員會辦公廳，2008）。2012 年中國再推出「國家高層次人才特殊支持計劃」（又稱「萬人計劃」），計劃十年內從國內高教體系遴選、培育一萬名本土「高層次創新創業人才」，為其提供經費與政策支持。中國政府規劃透過「千人計劃」與「萬人計劃」兩者並行以統籌海內外人才資源、完善國內人才培育體系（中國共產黨中央委員會組織部，2012）。

吸引海外人才是各國壯大國家人才隊伍的通行做法，中國政府希望能透過該計畫幫助國內產業在短時間內突破關鍵技術瓶頸、提升中國科技實力。根據官方網站「千人計劃網」介紹，截至 2018 年該計劃已引進六千餘位來自美國、英國、德國、日本、加拿大等發達國家的高層次專業人才，這些人或是正在進行國際上最前沿科學研究的專家學者，或是擁有豐富跨國企業管理經驗、能將成熟度高的科技成果與專利項目進行轉化的科技創業者，被視為能幫助中國產業升級的重要動力（楚月，2015；千人計劃網，未註明）。然而，這些被招募的高端人才在近年開始被質疑有竊取他國智慧財產權、敏感技術與機密情報並傳回中國的疑慮。

2018 年 11 月美國政府啟動「中國行動計畫」（China Initiative），欲調查並消除在美國國內的中華人民共和國間諜、防止中國竊取美國的技術與智慧財產權（Sessions, 2018），美國聯邦調查局（FBI）將「千人計劃」參與學者列為調查重點，更有數人因確有竊取商業機密、洩漏研究技術或隱瞞參與計畫、收取鉅額補助等情事而被起訴判刑，此後「千人計劃」轉入地下低調進行，中國官方不僅下令媒體暫停宣傳與報導「千人計劃」、不再公開計畫參與學者名單，甚至於 2020 年 4 月之後

³⁴ 1994 年中國科學院曾啟動一項目標從海內外吸引優秀青年學術人才的「百人計畫」，透過為入選者提供科研經費、儀器設備費與住房補貼等支持，以吸引優秀人才留在國內發展，但該計畫是由中國科學院從其單位經費中撥專款設立，並由中科院主導規劃管理。

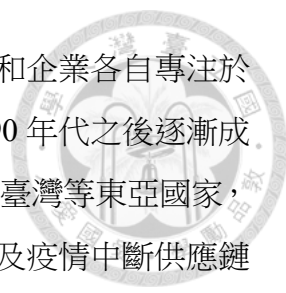
便難以在中國的網站上搜索到相關資訊³⁵（甄樹基，2020）。2023 年 8 月路透社報導傳出目前「千人計劃」已改名，由中國工業和信息化部（簡稱工信部）監督的「啟明計畫」取代實施，同時科技部也有一項長期專注於創建科技公司的「火炬計畫」。與「千人計劃」不同，「啟明計畫」不僅沒有出現在中央政府網站，也不公布獲獎者，反映其低調性，但報導指出「啟明計畫」的招募對象涵蓋從事半導體等敏感機密技術領域的歸國學者與外國專家，並與中國政府支持的半導體企業合作招聘活動，可能著重於填補國內晶片產業人才短缺（艾米，2023）。

在執行「中國行動計畫」期間，美國司法部針對國內數百名美籍華裔學者或與中國有合作交流計畫的科學家發起調查或進一步提出訴訟，該計畫雖在打擊中國技術竊取、加強部門間情報合作方面有一定成果，卻也因引發種族歧視、打擊學術自由的爭議而在 2022 年被拜登政府叫停，但美國對於涉及中方的商業投資、技術合作與學術交流仍抱持高度警戒。例如 2022 年 10 月美國政府發布之半導體禁令中便明確禁止擁有美國公民或永久居民身分的個人為中國先進半導體生產提供技術支援與服務；2023 年 9 月發布《晶片與科學法案》國家安全護欄條款之最終規則中，除了禁止受補助企業十年內不得於受關注國家進行半導體擴產，也限制受補助人與有國安疑慮的外國實體展開聯合研究或技術授權活動（蔡晴雯，2023）。除此之外，美國也積極向國內私部門、學術研究社群以及利益相關者宣導反間諜活動（counterintelligence），提供有關外國間諜活動的威脅警示資訊以及降低情報洩漏、技術竊取風險的建議步驟，也要求研究人員、高教機構與學術單位應主動揭露外國資助來源（NCSC, 2021）。儘管美國已開始採取行動防範中國透過「軍民融合」與「千人計劃」竊取先進技術、秘密招募人才，但這些計畫的隱蔽性和模糊性仍令美國政府難以全面應對中國滲透的威脅。

第四節 小結

本章首先從半導體產業生態與供應鏈地理分布等宏觀面向說明全球半導體產業當前的發展與挑戰，以及美國、歐盟、日本、韓國、臺灣、中國六大半導體玩家

³⁵ 千人計劃官方網站「千人計劃網」最近更新時間停留在 2020 年 3 月 18 日。檢索日期 2025 年 4 月 29 日，取自 <https://web.archive.org/web/20200318033532/http://www.1000plan.org.cn/news>



在供應鏈各環節的影響力。得益於貿易全球化發展，由不同國家和企業各自專注於設計、製造、封裝、銷售等不同生產階段的晶圓代工模式於 1990 年代之後逐漸成形，使半導體製造業從美國先轉移至日本，再轉移至韓國、中國、臺灣等東亞國家，出現生產地理區位集中化的現象。然而，受美中地緣政治競爭以及疫情中斷供應鏈經驗的影響，半導體企業開始尋求分散產能以降低風險，各國為加強供應鏈韌性也紛紛祭出產業政策欲加強本土半導體製造能力。

本章第二節與第三節著重展現美國與中國各自在全球半導體供應鏈中的優、劣勢，並列出其面臨之潛在挑戰或發展機會。

美國在半導體產業的主要優勢體現於其掌握了供應鏈上游所需之生產工具，包含 IC 設計技術（EDA 軟體與 IP core）以及半導體製造設備。由於 EDA 產業具有研發成本高、技術門檻高、客戶黏著度強、產品驗證週期長等市場進入壁壘，自 1980 年代 EDA 技術邁向商業化以來，該產業即由美國主導，且美國企業迄今仍在全球 EDA 市場佔據難以撼動的優勢地位。隨著半導體產業逐步形成跨國專業分工的生產模式，美國專注於提升晶片設計技術與經營品牌影響力。時至今日，世界前 25 大半導體企業逾半數為美國公司，全球涉及電腦運算、人工智慧和 5G 網路通訊的 CPU、GPU、AI 晶片、通訊晶片產品中幾乎都由美國公司主導設計或內含其所提供之關鍵技術，成為美國政府對中國實施技術管制的主要著力點。在半導體製造設備方面，美國企業佔據全球近半數的市場銷售營收，可謂支撐了全球半導體產線的營運；即便荷蘭與日本在高階曝光顯影設備與部分特殊材料供應方面佔據壟斷地位，這些設備在生產過程中所涉及之技術或零組件仍大量仰賴美國的專利授權。這允許美國政府透過法規阻止海內外企業向中國出口含有美國技術的晶片產品和軟硬體生產工具，從而遏止其半導體技術升級步伐。

相對地，國內先進製造與封裝產能不足成為美國在半導體領域的主要劣勢。雖然在承平時美國可仰賴臺灣、韓國等盟友供應滿足國內需求，但美中地緣政治緊張局勢以及新冠疫情導致斷供的經驗提高了美國國內對半導體自主供應能力的關注。然長年製造業外流導致美國如今半導體製造能力相對落後，且與台灣和韓國相比已出現技術落差：美國晶片製造龍頭英特爾在製成微縮方面遭遇瓶頸，不僅落後三星與台積電約兩代製程，2024 年該公司更因研發進度落後與財務壓力而傳出要拆分設計與製造業務的消息（Tsai & Wu, 2024）。有鑑於未來國家關鍵基礎建設與軍事國防系統的攻防速度日益仰賴先進晶片的運算效能，國內缺乏先進製造與封

裝技術以及可供自給自足的產能被視為對美國國家安全的潛在重大威脅，強化本土製造能力因而成為美國國防與產業政策的核心目標之一。

當前美國推動的半導體產業政策中，《晶片與科學法案》最受矚目。該法案規劃為國內科學研究、技職人才教育與區域製造業復興挹注大量資金，並積極邀請擁有先進製程技術的國際製造商赴美投資，期望藉此機會重建本土半導體生態系。然而，考量地緣政治局勢、新興市場發展機會、政府招商政策誘因，以及建廠生產成本（如建設工期、運輸、環評、人力招募等）等諸多因素，多數半導體廠商（尤其技術門檻較低且勞力密集的封測業者）更傾向將生產鏈從中國移往鄰近的東南亞地區而非遷回美國本土。另一方面，即便台積電與三星等具備先進製程的企業已應邀赴美設廠，建廠進度延宕、生產成本居高不下（可能影響產品定價與市場競爭力）、企業管理文化差異，以及美國政局變動（例如川普政府可能終止補貼計畫）等風險，使得中下游配套之設備與材料供應商仍在謹慎觀望是否跟進進駐美國，這些因素皆令美國提升本國先進製程產能之路充滿波折，更為美國強化供應鏈安全的規劃增添不確定性。

除亟需提升國內產能外，美國亦面臨其他潛在挑戰。例如在建立自主供應鏈方面，美國仍須仰賴荷蘭與日本提供特定生產環節所需之高階曝光設備，也需要中國提供稀土礦產作為關鍵生產材料。對於荷蘭和日本，美國不僅需要維持友好外交關係以獲得穩定供應，還需要積極遊說、協調兩國政府配合美國的設備出口管制政策，以確保對中科技圍堵防線完整。

面對美國的技術封鎖，中國則以其在稀土供應鏈中的主導地位限制國內精煉礦物出口作為反制手段，導致市場價格上漲，進一步推升美國企業的生產成本。此舉雖無法在短期內對美國構成重大打擊，但若中國持續擴大對全球稀土資源的掌控力，且美國未能及時開發替代來源降低對中依賴、分散風險，精煉稀土的短缺將影響高科技產業如半導體、新能源與軍工業之穩定生產，進而對美國國家安全構成潛在風險。此外，過去二十年來中國在成熟製程晶片市場上逐漸擴大市場份額，美國甚至全球各產業買家對中國低價晶片的需求難以替代；中國龐大的內需市場也為美國半導體企業貢獻可觀營收，使得美國企業在政府的出口管制下仍積極尋找維持中國市場的策略。在這場美中科技競爭中，美國政府不僅要將中國可能的反制行動納入博弈計算，還要在保障國家安全與維持商業利益之間取得平衡，爭取產業界對其出口管制政策的理解與配合。



相較於美國在中上游晶片設計技術與製造設備領域居於主導地位，中國憑藉龐大的內需市場、充沛的勞動力以及政府長期施行的產業扶持政策，在 28 奈米以上成熟製程與封裝領域具備一定技術基礎與規模經濟優勢。在「中國製造 2025」的戰略框架下，中國政府自 2014 年起成立「國家大基金」，目標提高中國半導體產業自給率、降低對外國依賴；美國發起貿易戰與科技戰、限制中國取得在先進製程技術與設備的背景下，中國將目標轉向擴建 28 奈米以上成熟製程產能、強化小晶片（chiplet）封裝技術、投資國產設備研發與關鍵環節技術自主等，以鞏固中國製成熟晶片的全球市佔率，同時緩解美國先進晶片出口禁令所帶來的壓力。為預防美國進一步擴大出口管制範圍，中國近兩年在半導體設備與晶片市場上大舉採購、提前囤積的行為也刺激該產業強勁的成長表現；即便在地緣政治局勢日益緊張的情勢下，中國對全球半導體企業與設備材料供應商來說仍是難以輕易放棄的市場，龐大的內需無疑成為中國政府可對全球半導體產業發揮影響力的槓桿之一。

儘管中國政府積極建構本土半導體供應鏈、提升國產化比例，然目前不論是先進製造技術、軟體工具，抑或是生產設備與材料仍高度仰賴外國供應——不僅 28 奈米以下 IC 設計所需之 EDA 軟體工具幾乎由美國企業壟斷，國產半導體設備亦未能完全覆蓋 28 奈米以下製程所需，此一結構性劣勢成為美國選擇該產業作為對中科技戰主戰場的關鍵。在美國及其盟友的聯合圍堵下，中國的先進晶片製造技術發展遭遇顯著瓶頸。以中國晶片製造龍頭中芯國際為例，該公司於 2019 年年底具備量產 14 奈米製程的能力，然 2023 年 5 月卻傳出該公司將 14 奈米製程的代工服務自官網撤下、停止接受客戶投片，外界普遍認為此舉係因美國出口禁令導致該公司無法取得為客戶代工所需之先進設備與最新技術（Shilov, 2023）。此外，2023 年搭載中芯國際自製 7 奈米晶片的華為手機推出引發關注，但外界質疑中芯國際為配合政府政策，以不合理的成本和低良率強行生產 7 奈米晶片，成為導致中芯國際獲利下降的主因。相關報導進一步指出，若中芯國際想以現有的 DUV 設備配合多重曝光技術進一步製造 5 奈米晶片，產品良率可能降至 15%（崔有植，2024）。這些案例或可展示美國對中國科技圍堵手段所取得的成效。

面對美國日益收緊半導體禁令，中國並未消極以對。中國政府一方面仿效美國設立出口管制名單和「不可靠實體清單」、制定《反外國制裁法》、對美國產品加徵報復性關稅、對關鍵礦產實施出口管制等手段做為反擊行動，另一方面中國也持續推進「國家大基金」等半導體產業政策，傾力為國內半導體相關企業提供研發獎勵



與生產補貼，力求突破美國封鎖。雖然在大基金政策執行過程中暴露資金配置失當、風控機制不足、治理貪腐等問題，但隨著國內成熟製程產能逐步擴張，預計 2025 年中國製成熟製程晶片將大規模進入全球市場，以低價競爭市佔率(Grimm, 2025)。這與中國當前在鋰電池、電動車與太陽能面板產業中所採取的低價競爭策略相似，引發各界擔心未來中國晶片可能傾銷全球、衝擊市場價格。此外，中國長期運用多元策略提升技術能力，例如軍民融合政策、透過私部門併購投資獲取外國公司技術、以「千人計劃」招攬海外優秀人才或滲透外國企業與學術機構、透過網路攻擊取得商業機密或政府情報等手段。中國市場的龐大利潤也對外國企業形成誘因，使其願意採取迂迴貿易或非法走私方式維持與中國合作。這些具高度隱蔽性且邊界模糊的非傳統戰略行動令各國防不勝防，也成為中國突破美國技術封鎖的潛在機會。

第四章 美國對中半導體圍堵具體做法



第一節 出口管制

壹、美國出口管制規定改革歷程

在歐巴馬政府之前，美國的出口貿易由兩個不同官僚機構管理兩份管制清單和許可證頒發規定：「美國軍需物品清單」(U.S. Munitions List, USML) 由國務院轄下國防貿易管制局 (Directorate of Defense Trade Controls, DDTC) 擬定，依《國際武器貿易條例》(International Traffic in Arms Regulations, ITAR) 管制軍用商品、武器系統、國防機密、技術資料出口；「商業管制清單」(Commerce Control List, CCL) 則由商務部工業安全局 (Bureau of Industry and Security, 以下簡稱 BIS) 根據《出口管理條例》(Export Administration Regulations, EAR) 制定，管理不直接涉及軍事用途，但具有軍民兩用功能的物品、軟體和技術的出口和轉移。除上述兩個出口管制清單外，還有美國財政部轄下外國資產管理局 (Office of Foreign Assets Control, OFAC) 負責管理對伊朗、俄羅斯、委內瑞拉等特定國家或區域的經濟制裁。然而各部門審查規則與管理系統各自獨立，以致執法權限重疊、難以統一行動，無法確保清單上敏感項目能被及時更新且不被遺漏。如此複雜的管制規定令盟友合作和企業貿易往來手續變得困難，阻礙美國公司能接觸的潛在客戶和市場份額，也難以有效防止中國政府或企業獲取敏感技術 (Cheng, 2010; Stricker & Albright, 2017)。

為此，歐巴馬政府在 2010 年推動「出口管制改革倡議」(Export Control Reform Initiative, ECR Initiative)，內容包含整合並簡化冷戰時期形成的出口管制體系，解除約三分之一的管制項目，只留下與國防相關的物品與技術項目；成立「出口執法協調中心」(Export Enforcement Coordination Center, E2C2) 加強跨部門協調與資訊共享；提出新的審查標準、許可分級與清單管理流程，例如使用正面清單 (positive list)、為術語提供補充定義使規範更加清晰，使用統一的電子許可系統提升執法效率等等 (White House, 2010a, 2010b)。這些現代化改革的主要目標除了防止敏感技術流向可能對美國構成國安威脅的國家和實體，也希望減輕行政部門監管負擔、避免不必要的限制，促進美國的進出口貿易競爭力。但放鬆管制項目、將部分商品分類從軍品清單移至商業清單的做法也引來擔憂和批評，認為在美國政府未能有足

夠人力資源確認、管理敏感技術和關鍵零件流向的情況下，放鬆管制將導致犯罪組織或敵對團體更容易取得對美國國家安全構成威脅的武器、削弱美國政府的執法力度。也有人擔心更新後的分級管理制度無法加強管理、避免美國高科技產品與軍民兩用技術流向美國的對手國家（中國），質疑政府為了微小的經濟利益而讓國家安全承擔風險（木風，2010；Stricker & Albright, 2017）。這項旨在促進貿易的行政措施隨後被川普政府延續，成為後來 2018 年《出口管制改革法案》（Export Control Reform Act of 2018, ECRA）的基礎框架，但立法目標轉為加強國家安全與防止新興技術與敏感技術外流的針對性政策。

歐巴馬政府的「出口管制改革倡議」（ECR Initiative）以及川普任內通過的《出口管制改革法》（ECRA）都是美國出口管制體系改革歷史上的重要政策，但兩者在法律性質、政策範圍和執行方式上存在明顯差異。「出口管制改革倡議」以促進貿易便利化為優先，目標是更新管理系統、重新分類軍民兩用技術與商品清單，以及簡化冷戰時期遺留的複雜行政管理規則、放寬非核心技術和低風險工業品的出口管制以提高美國出口效率與企業競爭力。然而該倡議並無正式立法，而是仰賴總統在《國際緊急經濟權力法》（International Emergency Economic Powers Act, IEEPA）授權下發布行政命令實施。《出口管制改革法》（ECRA）則標誌著美國出口政策核心由貿易便利化轉向國家安全，以維護美國國家安全與科技領先優勢為目標。此法案為美國商務部現行之《出口管理條例》（Export Administration Regulations, EAR）授予正式、穩定的權力基礎，並引入針對高科技、新興與敏感技術的新式分類與外流風險評估，防止中國或其他對手國家獲取關鍵的軍民兩用技術。

表 19 「出口管制改革倡議」與《出口管制改革法》比較

	出口管制改革倡議（ECR Initiative）	出口管制改革法（ECRA）
時任總統	歐巴馬（2010）	川普（2018）
法律位階	無正式立法，仰賴總統在《國際緊急經濟權力法》（IEEPA）授權下發布行政命令。	正式立法，具永久法律約束力。
目標	以貿易便利化為目標，簡化出口管制清單、提升出口效率，避免對盟友企業過度限制。	以維護美國國家安全與科技領先優勢為目標，防止新興技術與敏感技術外流。
針對	無針對對象，聚焦於簡化和友好國家間的	直接針對中國與其他對手國家，限制

對象	出口管制程序。	其獲取軍民兩用物品與關鍵技術。
技術管制範圍	放寬非核心技術與低風險工業品的出口管制，將部分項目由軍品管制清單移至商業管制清單。	引入針對高科技、敏感與新興技術的新式分類與嚴格審查。

表格由筆者整理繪製。

貳、ECRA 作為對中科技戰重要執法工具

雖然新通過的《出口管制改革法》（以下簡稱 ECRA）在制度架構上延續了既有的管理措施，但該法案最重要的內容變化是授權美國商務部識別（identify）對國家安全至關重要的「新興和基礎技術」（emerging and foundational technologies），並就此類技術制定專門的識別程序以及相應的出口、轉口與境內轉讓管制措施。根據 ECRA 第 1758 條，此識別程序應考量相關技術在外國的發展程度、管制措施對該技術在美國發展的潛在影響，以及其限制技術外流的有效性等因素（Export Control Reform Act of 2018, 2018, § 1758）。值得注意的是，ECRA 不僅針對具戰略價值的有形貨品實施出口管制，更直接將「技術本身」納入管制範圍。根據《出口管理條例》（以下簡稱 EAR），包含技術文件、軟體、原始代碼、設計圖、公開展示內容、口頭知識傳遞等無形轉移形式（intangible transfers），在法律上皆會被認定為「視同出口」（deemed export）。此外，若某項產品涉及受管制技術或有助於敵對國家發展該技術，該產品及相關服務也可能被納入管制範圍（Export Administration Regulations, n.d.-b）。

由於 ECRA 並未明定新興技術與基礎技術的定義，商務部工業安全局（BIS）在 2018 年 11 月透過聯邦公告發出「擬制法規預先通知」（advance notice of proposed rulemaking, ANPRM），向大眾徵求定義、辨識 14 項「新興技術」³⁶的標準與審查意見，以期能有效管理新興技術的出口流向，維持美國國家安全以及美國在科學、

³⁶ BIS 列出 14 項欲納入出口管制之新興技術類別，包含生物科技（biotechnology）、人工智慧和機器學習（artificial intelligence and machine learning technology）、定位導航授時技術（Position, Navigation, and Timing technology）、微處理技術（microprocessor technology）、先進運算技術（Advanced computing technology）、資料分析技術（data analytics technology）、量子資訊及感測技術（quantum information and sensing technology）、物流技術（Logistics technology）、積層製造（additive manufacturing）、機器人（robotics）、腦機介面（brain-computer interfaces）、極音速（Hypersonics）、先進材料（advanced materials）、先進監控技術（advanced surveillance technologies）等。

技術、工程和製造業的領導地位 (BIS, 2018b)。2020 年 8 月，BIS 發布新一則 ANPRM 公告，欲針對「基礎技術」的具體範圍界定和評估標準徵求公眾意見，以便為此類產品與技術建立新的管制層級分類，避免這些品項流向可能危害美國國家安全的軍事終端使用者，例如半導體製造設備和相關軟體、雷射、感測器、水下系統等技術都可能被中國、俄羅斯、委內瑞拉等國家或犯罪組織用於軍事創新、開發大規模殺傷性武器、進行外國情報蒐集活動等等 (BIS, 2020c)。至今 BIS 並未就先前徵詢公眾意見的新興技術和基礎技術提出全面性的統一規範或審查標準，據悉可能是因為美國業界對於政府的管制措施存在不同意見 (顏慧欣，2020)，目前 BIS 僅對部分產品與技術 (如先進晶片設計軟體、半導體製造設備、超級電腦所需之冷卻設備、特定規格的 AI 晶片產品、AI 模型等) 實施較具體的出口管制規定，並透過逐案審查的方式來加強相關技術和產品的出口管制。

ECRA 確立了《出口管理條例》(EAR) 等次級出口管制政策的框架原則與 BIS 的執法權限。除了將技術管制範疇從傳統的軍民兩用技術擴及至被認為與國家安全有關的新興與基礎技術，並要求滾動式調整管制清單內容外，該法案也將 EAR 當中「微量原則」(de minimis rules) 和「外國直接產品規則」(foreign direct product rule, FDPR) 法制化，擴大 BIS 管轄範圍並強化其對全球供應鏈中敏感技術流向的管控。在 ECRA 的授權下，EAR 有權對出口商品與出口對象進行分類分級動態管理，並根據終端使用者 (end-user) 與最終用途 (end-use) 核發出口許可，行政部門也能針對企業違反 EAR 的行為處以罰款、扣押貨物、撤銷許可或頒布出口禁令等行政處分，以提升威懾效果。

出口管制政策的管理方式分為兩種，一種是針對終端使用者建立管理清單，另一種則是針對出口貨品實施分類管制。

一、終端使用者管理清單

在 BIS 依據 EAR 進行貿易出口管制時，針對接收受列管出口貨品的終端使用者建置了四份名單，分別是被拒人士清單 (denied persons list, DPL)、軍事終端使用者清單 (military end user list, MEU)、未經核實清單 (unverified list, UVL)、實體清單 (entity list)。³⁷其中，列於「被拒人士清單」者是被全面禁止直接或間接參與

³⁷ 除了 BIS，美國財政部外國資產管理辦公室 (Office of Foreign Assets Control, OFAC) 進行金融

涉及管制貨品的交易活動，無法取得出口許可，相關企業也不得與其有業務往來；「軍事終端使用者清單」則修訂於 2020 年，被列於該清單之個人或實體被認為有向外國軍隊、警察、情報、偵查組織等軍事終端使用者提供貨品或協助軍事活動之高度風險，須經許可才能取得受 EAR 管制之貨品（BIS, 2020g）。

EAR 要求交易方應了解最終目的地、最終用途、終端使用者以及其他與交易活動相關之事實，以確保不違反 EAR 規定。若 BIS 無法驗證商品流向與最終用途、無法核實交易者的真實性，或交易方不配合調查，則交易者將被列於「未經核實清單」，與列於該名單上的個人或實體進行出口交易時，不論交易貨品與技術是否受到管制，都必須向 BIS 申請許可證以取得合法交易的機會。若 BIS 基於具體事實認定特定對象或實體已涉及參與或存在違反美國國家安全和外交政策利益的重大風險時，會將其列入「實體清單」，與列於該名單上的個人或實體進行出口交易時，將被要求根據相應的規定向商務部提出特別許可申請（劉昱辰，2019，頁 29-30）。然而，BIS 的「許可證審查政策」（license review policy）對申請案件原則上採取「推定拒絕」（presumption of denial），即，若無法證明交易行為不會對美國國安與外交政策產生不利影響，BIS 將拒絕發放許可。

二、出口貨品分類管制清單

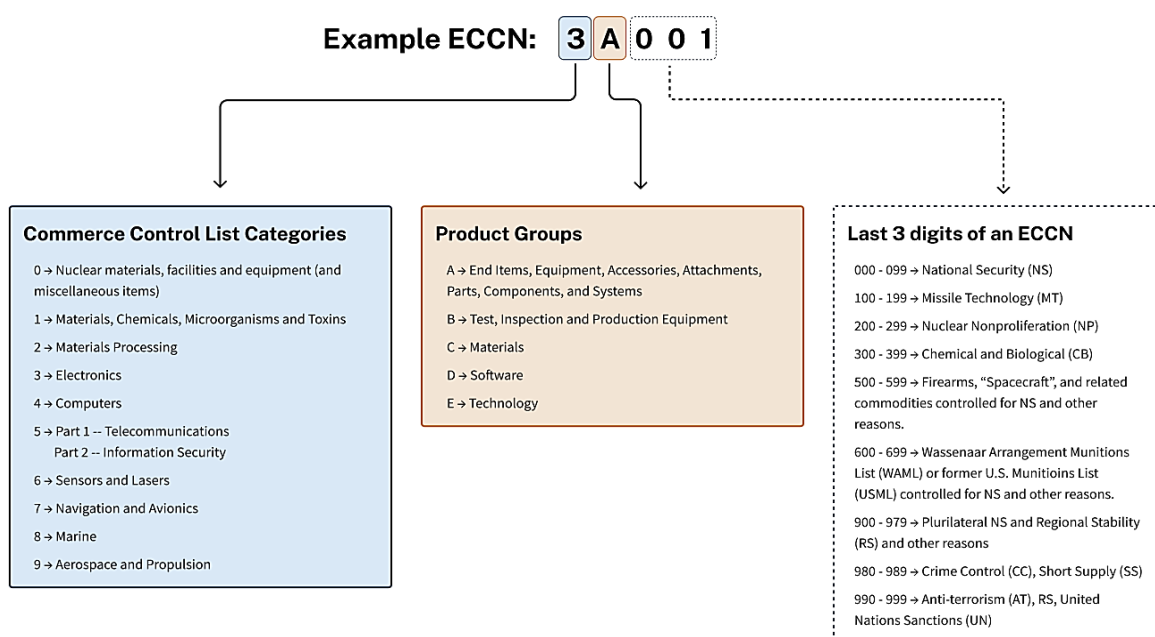
在美國出口貨品管理體系中，受列管的出口貨品可分為三大類：由 BIS 依據 ECRA 與 EAR 管理規範軍民兩用技術與產品的「商業管制清單」（commerce control list，以下簡稱 CCL）、由國務院國防貿易管制局（DDTC）依據《國際武器貿易條例》（ITAR）管理涉及國防軍事用品和技術服務的「美國軍需物品清單」（USML），以及由美國核能管理委員會（Nuclear Regulatory Commission, NRC）與能源部

交易制裁時除了針對特定國家或地區（如伊朗、北韓、敘利亞、古巴、烏克蘭境內特定區域）實施「廣泛性制裁」（comprehensive sanctions），也會針對特定個人或實體實施「名單式制裁」（list-based sanctions）。名單式制裁意指涉及名單指定對象的交易活動會被施以不同程度的限制或禁止，可進一步細分為「特別指定國民和被封鎖人士名單」（specially designated nationals and blocked persons list, SDN list）與針對特定行業或交易行為的「非特別指定清單」（non-SDN lists），例如「非特別指定中國軍工綜合體公司名單」（Non-SDN Chinese Military Industrial Complex Companies List, NS-CMIC List）、「非特別指定巴勒斯坦立法委員會清單」（Non-SDN Palestinian Legislative Council List, NS-PLC List）、「非特別指定表列式制裁清單」（Non-SDN Menu-Based Sanctions List, NS-MBS List），除此之外還有「行業制裁認定清單」（Sectoral Sanctions Identifications List, SSI List）、「外國逃避制裁者清單」（Foreign Sanctions Evaders List, FSE List）、「外國金融機構通匯帳戶制裁清單」（List of Foreign Financial Institutions Subject to Correspondent Account or Payable-Through Account Sanctions, CAPTA List）等等（Office of Foreign Assets Control, n.d.；永豐銀行，2024）。

(Department of Energy, DOE) 依據《原子能法》(Atomic Energy Act, AEA) 和《出口管理條例》(EAR) 規範核子材料、設備與技術的「核管理委員會管制清單」(nuclear regulatory commission controls, NRCC)。

「商業管制清單」(CCL) 涉及十種類別和五種產品分類 (見下圖 12)。CCL 上每一項貨品或技術都會被賦予一個由五個字元組成的出口管制分類編號 (Export Control Classification Number, ECCN)，並標示管制理由 (reasons for control)³⁸，不同國家適用的出口管制理由不同，許可證申請要求也會有所差異。交易廠商有責任正確歸類交易貨品或向 BIS 提出歸類請求，並在確認 ECCN 編號後根據管制理由與商業國家列表 (commerce country chart) 繳交相應的資料申請出口、轉口或轉讓許可 (Office of Exporter Services, 2018)。

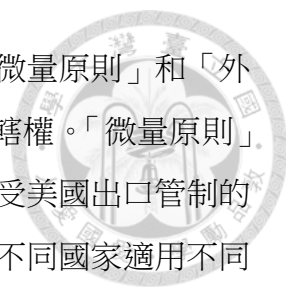
圖 12 商業管制清單 (CCL) 出口管制貨品編號規則



資料來源：“What is an ECCN?” by Bureau of Industry and Security, n.d.-b. Retrieved April 30, 2025, from <https://www.bis.gov/licensing/classify-your-item#WhatisanECCN?>

註：ECCN 編號結構原則上為「1 數字+1 字母+3 數字」。受美國商務部管轄但未列在 CCL 中的物品會標示為「EAR99」，編碼為 EAR99 的貨品在多數情況下是不需要許可證的低技術消費品，除非目的地是禁運國家、受關注的終端使用者或被禁止支援的最終用途。

³⁸ 管制理由以代碼表示，理由包含生化武器 (Chemical & Biological Weapons, 代碼 CB)、核不擴散 (Nuclear Nonproliferation, NP)、國家安全 (National Security, NS)、導彈技術 (Missile Technology, MT)、區域穩定 (Regional Stability, RS)、槍枝公約 (Firearms Convention, FC)、犯罪管制 (Crime Control, CC)、反恐怖主義 (Anti-Terrorism, AT) 等 (Office of Exporter Services, 2018, p. 5)。



除了以 CCL 管理從美國出口的產品流向，BIS 也能使用「微量原則」和「外國直接產品規則」(FDPR) 對美國境外生產的產品執行域外管轄權。「微量原則」是指即便是在美國境外製造的貨品，若其中使用美國原產成分、受美國出口管制的製造技術與軟體、受美國出口管制之元件價值超過一定比例時(不同國家適用不同規定，通常是 10%-25%)，該貨品出口時便受美國 EAR 法令規範。「外國直接產品規則」則是指若某產品在設計、製造過程中使用了美國管制出口的技術、軟體、設備、零件等，即使該產品在海外生產、非從美國出口，也會受到 EAR 約束(Export Administration Regulations, n.d.-a, § 732.3)。簡而言之，「微量原則」是依成分比例計算，「外國直接產品規則」則是以生產技術、設備來源作為判斷標準。

這兩項規則意味著 EAR 的適用對象不僅限於美國的出口商，而是全球任何使用美國技術生產的公司，BIS 可以對未遵守規範的企業施加罰款、限制出口甚至列入實體清單，將出口管制權力延伸至全球，確保美國的技術和產品不會被「受關注國家」(country of concern) 輕易取得。儘管美國以維護國家安全與外交利益為由主張擴展 EAR 管轄範圍的正當性，並訴諸共同價值觀和供應鏈安全合作來獲得盟友支持，但這些做法在國際法與國際貿易規範上也存在一定的爭議性，例如長臂管轄權(long-arm jurisdiction) 的適用性、域外措施的合規性、是否違反 WTO 規則並構成歧視性貿易行為、影響企業獨立性和市場競爭力等等(王庚，2024；史際春、吳鏡俊，2021)。

參、美國對中出口管制規範升級

一、川普政府時期(2017-2021)

(一) 對中國發起「301 條款調查」

2017 年川普上任後高舉美國優先政策，對一系列外國商品啟動反傾銷暨反補貼調查，試圖以提高進口關稅來打擊貿易逆差、保護國內產業，相關行動諸如依據《1974 年貿易法》(The Trade Act of 1974) 第 201 條對進口太陽能電池模組產品與洗衣機啟動防衛措施(safeguard measure) 調查(又稱 201 條款調查)、依據《1962 年貿易擴張法》(The Trade Expansion Act of 1962) 第 232 條先後對進口鋼鐵與鋁製品、進口汽車及其零件啟動國家安全調查(又稱 232 條款調查)、依據《1974 年貿易法》第 301 條對中國在技術轉移、智慧財產權與創新方面的法律和政策作為

啟動不公平貿易行為調查（又稱 301 條款調查）等等。川普政府根據調查結果對諸多商品課徵保護性關稅或實施配額限制，引發各國反彈，部分國家選擇依據 WTO 防衛協定（agreement on Safeguard）向美國提出諮商豁免請求，部分國家則因諮商未果而向 WTO 提起爭端解決程序或採取報復性措施反擊（Bown & Kolb, 2025）。

在美、中競爭的過程中，川普政府根據 301 條款調查結果對中國採取的貿易制裁措施尤其具有重要意義。2018 年 3 月美國貿易代表署（United States Trade Representative, USTR）公布 301 條款調查結果，主張以下四點，包含：（1）中國政府不僅利用外資所有權限制迫使美國公司向中國實體轉移技術，也利用行政審查和許可程序要求或施壓技術轉讓，損害美國投資和技術價值，以及美國企業的全球競爭力；（2）中國政府大量限制和干預美國企業的投資和活動，剝奪美國技術擁有者制定技術轉移條款與定價的能力，尋求技術許可的美國公司必須依照有利於中國的不公平條款方能獲得許可；（3）中國政府引導並促進中國企業系統性投資和收購美國企業和資產，以獲得尖端技術和智慧財產權，並在中國政府產業計劃關注的重點產業進行大規模技術轉移；（4）中國政府支援入侵和竊取美國公司電腦網路行為，使中國能夠獲取未經授權的智慧財產權和機密商業資訊，並用於支持中國科技發展、軍事現代化、經濟成長等戰略發展目標（White House, 2018b）。

川普總統隨後依據 301 條款調查報告結果簽署「中國經濟侵略總統備忘錄」（Presidential Memorandum Targeting China's Economic Aggression）。在簽署演講中，時任貿易代表 Robert E. Lighthizer 表示中國存在國家資本主義，透過強制技術移轉、壓低授權金、私人企業投資活動以及網路竊盜等行為，使其能以非經濟的方式進入美國購買技術（White House, 2018c）。在川普總統的指示下，美國將對中國展開以下行動，包含：（1）美國將對收購產業重要技術的中國個人和實體實施具體的投資限制並加強出口管制；（2）美國會繼續針對中國在智慧財產權授權方面的歧視性做法向 WTO 提起訴訟；（3）美國將對價值 500 億美元從中國進口、含有產業重要技術、與「中國製造 2025」計畫密切相關的商品徵收 25%關稅。這些做法旨在保護美國國內技術與智慧財產權、停止中國的非經濟性技術移轉，並要求中國取消貿易壁壘、擴大市場准入，使雙方貿易業務平等互惠（White House, 2018d）。

上述宣示成為美國政府後續對中國發起貿易戰的重要方向。川普政府自 2018 年 7 月 6 日起對中國課徵 301 關稅，中國隨即回以報復性關稅行動，美中貿易戰正式爆發、關稅範圍逐漸擴大。經過來回談判，雙方在 2020 年 1 月簽署第一階段



貿易協議，協議內容涉及貿易平衡、關稅、智慧財產權保護、貨幣政策、金融市場准入等等（陳文彬，2020）。除了貿易調查，美國司法部也在 2018 年 11 月宣布展開「中國行動計畫」（China Initiative），欲打擊中國在美國的經濟間諜與商業機密竊盜行為，而第一起訴訟案便是美國司法部指控受中國政府支持的福建晉華集成電路有限公司與臺灣聯華電子公司共謀竊取美國記憶體公司美光科技（Micron Technology）的商業機密，協助福建晉華開發 32 奈米 DRAM 相關製程技術。³⁹美光不僅是美國唯一的 DRAM 生產公司，也供應了全球 20-25% 的 DRAM（Sessions, 2018）。2018 年 10 月美國商務部將福建晉華列入實體清單，禁止美國企業向該公司出售原料、零件、軟體與技術產品，理由是該公司即將量產的 DRAM 晶片將損害美國軍方晶片供應商的利益，可能威脅美國軍事系統關鍵零件供應（BIS, 2018a）。福建晉華因此成為第一個正式被列入「實體清單」的中國半導體公司，該案件也成為美國開始以「國家安全」與「竊取智慧財產權」為由，對中國半導體公司實施出口管制的先例。

（二）關注 5G 議題並頒布華為禁令

在高科技議題上，川普政府最初聚焦於 5G 通訊與網路安全。在歐巴馬政府時期，美國已開始關注中國對美國的非法網路攻擊與竊盜行動，並為此與中國政府展開對話。在川普執政時期，美國政府格外重視中國的 5G 技術發展以及中國在該領域的市場領先地位。美國政府對 5G 技術議題的重視不僅是基於國安考量，防範外國（尤其是中國）利用 5G 網路在美國進行間諜活動、竊取機密數據，甚至影響國內關鍵基礎建設系統運作，還在於 5G 技術是未來數位經濟發展的核心，涵蓋物聯網、自動駕駛等新興產業，若中國透過供應低成本的 5G 通訊設備參與各國數位基礎建設的長期部署，將擴大中國政府在各國掌握用戶數據傳輸流向與情報蒐集的滲透能力，威脅美國在全球技術標準、數據治理方面的主導權。

為了遏止中國在 5G 技術領域的發展，美國採取以下行動：（1）在國內立法禁止聯邦機構、政府承包商與接受政府資金補助的電信業者採購、使用或續約中國政府支持的業者（如華為、中興通訊、海康威視、海能達、大華科技等）及其關聯企

³⁹ 臺灣聯電於 2020 年 10 月認罪並同意支付罰款、承諾協助美國檢方調查後從被告中除名。美光與福建晉華之間的記憶體專利訴訟案經六年審理，雙方於 2023 年 12 月達成和解、撤回指控，2024 年 2 月美國法院裁定因美國檢方未能證明福建晉華竊取美光公司的專利數據而判福建晉華無罪。

業提供之通訊裝置、影像監控設備與網路技術服務，並禁止這些中國企業參與美國國內數位經濟、通訊與監控系統基礎建設計畫，降低潛在的國安與情蒐風險⁴⁰；(2) 切斷中國獲取美國公司技術服務與晶片供應渠道，影響其核心業務和市場份額，從而減緩中國在 5G 領域的技術發展速度；(3) 透過「清潔網路倡議」(Clean Network) 呼籲盟友共同將中國企業排除於國內基礎建設與電信設備市場之外，在全球 5G 市場中排擠中國企業以削弱中國在 5G 領域的市佔率與國際影響力。此外，2018 年 3 月川普總統以行政命令阻止新加坡公司博通 (Broadcom) 併購美國公司高通 (Qualcomm) 的交易案，便是擔心高通在 5G 領域技術及專利研發能力會在併購案後被削弱，給予華為、Nokia、Ericsson 等其他外國競爭廠商迎頭趕上的機會 (White House, 2018a；李淑蓮，2018)。⁴¹

而美國對華為公司發起制裁，是開啟美中科技戰全面對抗的第一槍。2019 年 5 月 15 日川普總統簽署第 13873 號行政命令宣布國家進入緊急狀態，以強化管制資通訊產品供應鏈安全性為由，授權行政部門禁止涉及「外國對手」(foreign adversary) 所擁有或掌控之資通訊技術服務的交易活動 (Executive Office of the President, 2019)。隔日 BIS 便以華為違反美國國家安全與外交政策利益為由，公告將華為及其位於 26 個目的地的 68 間附屬公司列入出口管制實體清單，任何欲向清單上實體出口、轉口或轉讓 EAR 管轄物品的交易活動皆須事前申請許可，並實施推定拒絕 (presumption of denial) 的許可審查政策 (BIS, 2019a)。5 月 20 日，BIS 為上述 69 個實體設立為期 90 日的臨時通用許可 (temporary general license, TGL)，為以下有限度之交易活動提供臨時授權，包含：為現有手機、網路設備與軟體提供維護運作之必要支援與服務、網路安全研究與漏洞揭露，或在制定 5G 標準過程中進行之必要接觸，以利美國公司和個人有足夠時間轉向其他非華為及其關聯企業生產的設備與軟體系統 (BIS, 2019b)。同年 8 月 19 日，BIS 再新增 46 間、分布於 25 個國家的華為關聯企業進入實體清單 (總計達 115 間)，並再次延長臨時通用許可有效期限至同年 11 月 18 日 (BIS, 2019c, 2019d)。許多企業也積極

⁴⁰ 相關立法例如《2018 財政年度國防授權法》(第 1656 條)、《2019 財政年國防授權法案》(第 889 條)、2019 年《安全與可信通訊網路法》(Secure and Trusted Communications Networks Act of 2019)，以及根據前述法條修訂的《聯邦採購規則》(Federal Acquisition Regulation, FAR) 與《國防部聯邦採購條例補充規定》(Defense Federal Acquisition Regulation Supplement, DFARS) 等。

⁴¹ 2018 年全球營收前五大 IC 設計業者依序是博通、高通 (當時全球最大的手機晶片商)、輝達 (當時全球最大的 AI 晶片商)、聯發科與超微 (姚嘉洋，2019)。2018 年 3 月博通對高通的併購案被阻止後，為消除美國政府擔心的國安風險，博通於 2018 年 4 月將總部由新加坡遷至美國。

跟進配合華府禁令，暫停與華為的業務往來，包含高通、博通、英特爾、美光、賽靈思（Xilinx）、科沃（Qorvo）、英飛凌（Infineon）、安謀（ARM）等國際知名半導體業者暫停對華為供應晶片、零件或半導體設計服務，Google、Facebook、微軟（Microsoft）等相繼停止為華為設備提供應用程式與社群媒體服務，英國、日本、臺灣等盟友國內部份電信商也跟進停止對華為供貨或暫停華為產品在國內的銷售（陳之麒、沈恆立，2020）。

經過四次延長為期 90 日的臨時通用許可證有效期限後，美國政府在 2020 年 5 月宣布進一步收緊華為禁令。2020 年 5 月 15 日 BIS 宣布由於華為被列入實體清單後仍持續使用美國技術與軟體在國外設計、製造半導體，並委託海外工廠使用美國設備進行生產，為阻止其破壞美國出口管制政策，BIS 在 ECRA 的授權下修訂針對華為及其關聯企業的「外國製造直接產品規則」（foreign-produced direct product rule）⁴²適用範圍，將受出口管制的貨品項目範圍擴大，包含：（1）華為及實體清單上關聯企業（如海思半導體）使用受美國 CCL 列管之技術或軟體所生產、開發之半導體產品，以及（2）根據清單上實體使用美國列管技術與軟體所開發、設計，並在美國境外工廠使用 CCL 列管項目製造的半導體商品（BIS, 2020a）。這項規定旨在從生產源頭中便禁止華為使用受 EAR 管制的製造技術、軟體與設備，同時限制華為公司內部自行設計、對外採購與委外代工的能力。

2020 年 8 月 17 日，BIS 宣布三項措施，包括再將 38 間位於 21 個不同目的地的華為關聯企業列入實體清單、終止臨時通用許可證（並保留部分內容成為永久性規定），並再次擴大「外國直接產品規則」管制範圍至以下交易：（1）當美國軟體和技術是外國製造產品的基礎，而該產品將被用於開發、製造由清單上實體生產或訂購的任何零組件或設備；（2）在此類交易中，若清單上實體是任一階段交易過程的參與者（例如購買方、中間收貨方、最終收貨人、終端使用者等等），即受到「外國直接產品規則」規範。這項規定進一步阻止華為繞過美國出口管制措施、取得或使用美國軟體技術生產的同等級外國製晶片、電子產品與零組件（BIS, 2020b）。

⁴² 「外國直接產品規則」（Foreign Direct Product Rule, FDPR）與「外國製造直接產品規則」（Foreign-Produced Direct Product Rule）在表達時經常被互換使用，但「外國直接產品規則」（FDPR）是用於美國《出口管理條例》（EAR）中的正式法律術語，而使用「外國製造直接產品規則」一詞是為了在表述上強調「非美國境內生產製造」。

表 20 華為禁令時間軸

生效日期	內容
2019/5/16	BIS 以參與違反美國國家安全與外交政策利益活動，且存在欺騙、阻撓行為以規避美國執法部門為由，將華為及其位於 26 個目的地的 68 間非美國關聯公司列入實體清單。
2019/5/20-2019/8/19	BIS 為上述 69 個實體設立為期 90 天的臨時通用許可證，為有限度的交易活動提供臨時授權，包含為現有之手機、網路設備與軟體提供維護運作的支援與服務、網路安全研究與漏洞揭露、制定 5G 標準過程中進行必要接觸等等。
2019/8/19	BIS 將另外 46 間華為關聯企業列入實體清單，理由是其存在參與違反美國國家安全或外交政策利益活動的重大風險，且終端使用者審查委員會 (End-User Review Committee, ERC) 認為華為可能利用這些關聯實體逃避實體清單限制。
2019/8/19-2019/11/18	BIS 將為華為公司及其他 114 間關聯企業核發之臨時通用許可證有效期限延長 90 天至 2019 年 11 月 18 日 (第一次延長)。
2019/11/18-2020/2/16	BIS 將為華為公司及其他 114 間關聯企業核發之臨時通用許可證有效期限再延長 90 天至 2020 年 2 月 16 日 (第二次延長)。
2020/2/13-2020/4/1	BIS 將上述 115 間實體清單企業的臨時通用許可證有效期再延長 45 天至 2020 年 4 月 1 日 (第三次延長)，強調被允許的交易活動僅限於：支援與修補現有設備與網路運作、研究網路安全與漏洞揭露，不得增強原始軟體與設備功能，亦不得將設備轉用於一般商業用途或非支持現有營運網路之活動 (例如半導體生產)。此外，出口商、轉口商或轉讓人與清單上實體交易時必須獲得認證聲明，以說明交易行為符合臨時通用許可規定並保存相關紀錄以備 BIS 查驗。
2020/3/10-2020/5/15	BIS 修改臨時通用許可到期日，將上述 115 間實體清單企業的臨時通用許可證有效期限再延長 45 天至 2020 年 5 月 15 日 (第四次延長)。
2020/5/15	BIS 在 ECRA 的授權下修訂「外國直接產品規則」，限制華為及其關聯企業使用美國技術、軟體與設備在海外生產半導體的行為。
2020/5/15-2020/8/13	BIS 將上述 115 間實體清單企業的臨時通用許可證有效期限再延長 90 天至 2020 年 8 月 13 日 (第五次延長)。
2020/8/17	BIS 宣布再將另外 38 間華為關聯企業列入實體清單，不再展延臨時通用許可證有效期限，並再次擴大「外國直接產品規則」適用範圍。

資料來自美國聯邦公報網站 (Federal Register)，表格由筆者整理後繪製。

美國政府除了禁止本國企業與可能構成國安風險的外國通訊業者合作，也持續遊說其他國家採取類似措施，一同抵制華為參與當地 5G 產業發展，以避免使用中國製設備系統可能引發的網路安全疑慮。2020 年 8 月時任國務卿龐佩奧 (Mike Pompeo) 進一步宣布了「清潔網路」計畫 (Clean Network program)，旨在與可信賴的夥伴聯盟合作建立國際公認的數位信任標準，以應對專制惡意行為者對個人

與商業機密資料、隱私、通訊安全、人權、情報蒐集和道德合作的威脅與攻擊，希望各國在通訊網路載體、應用程式及其商店、雲端空間、電纜、5G 網路流量等各方面能積極排除中國供應商參與（U.S. Department of State, n.d.）。

各國對此響應程度各有不同，但隨著遊說推進，越來越多國家加入美國的倡議。2019 年 5 月華為禁令甫實施時，只有日本、澳洲、紐西蘭表達明確支持，並積極禁止華為參與國內 5G 網路建設，加拿大、英國、荷蘭等歐洲國家仍持觀望態度，而韓國、印度和參與帶路倡議的東南亞國家則未回應美國要求限制使用華為設備的期待（BBC 中文網，2019a）。在美國政府持續敦促下，截至 2021 年 1 月川普卸任時，已有近 50 個國家和 170 家電信公司加入清潔網路倡議，其中 36 個國家明確表態會拒絕使用華為等中國公司提供的設備與技術，其他參與國則承諾不會在 5G 建設過程中使用「不可信任的」供應商提供之產品和服務（Perez, 2021a）。

儘管美國政府試圖遊說各國共同封鎖華為以抑制中國在 5G 領域的領導地位，但實際推行上卻遭遇許多挫敗，這點最直接體現在願意表態拒絕使用華為設備以及接受、支持使用華為設備的國家數量差距。在被美國制裁前，華為的 4G 網路設備與服務已部署在全球 170 個國家，即便後來受到華為禁令的影響，華為與中興通訊等中國業者被擠出歐美主要市場，但他們仍長期擁有超過全球三成的 5G 基地台市佔率，且在亞洲、非洲和拉丁美洲等發展中國家的市場未被限制，依然保有強大的競爭潛力。中國通訊業者能在全球擁有高市佔率的主要原因在於擁有技術與價格競爭力：在技術方面，中國企業貢獻了全球 5G 標準必要專利佔比達 35%，與歐洲企業的貢獻佔比相近，卻是美國企業的兩倍以上，即使中國製電信設備被禁止，各國仍須付費以獲得使用中國專利製造的設備；在價格方面，華為有中國政府提供的市場補貼、研發資金，以及壟斷中國國內市場所獲得的收入支持，使其在全球市場上能以比歐洲競爭對手便宜二至三成的價格優勢販售基地台通訊設備（Perez, 2021a, 2021b；川上尚志，2019）。

雖然美國政府向各國強調華為可能構成的國家安全風險，但未能提供具有競爭力的 5G 建設替代方案，加上中國在發展中國家的廣泛影響力，即使禁用華為，全球電信基地台的設備仍仰賴中國供應鏈；而美國身為華為禁令的發起國，在禁止國內通訊系統建設中使用中國製設備一事上也耗費很大力氣，包括數次延後臨時

通用許可的到期時間、提供資金彌補國內業者更換設備的成本⁴³等等，顯示美國政府要求國內電信業者與消費者全面改用其他替代產品的難度，也凸顯在全球封殺華為的做法可謂不切實際。

2020 年 12 月，川普政府在卸任前夕將目光轉向中國企業規模最大的半導體晶圓代工業者——中芯國際。12 月 22 日 BIS 公告，經終端使用者審查委員會(ERC)認定中芯國際在中國軍民融合(MCF)政策下與「中國軍工綜合體公司清單中的受關注實體」(entities of concern in the Chinese military industrial complex)互動密切，將中芯國際以及其他 10 間關聯企業納入實體清單，限制這些實體取得美國技術的能力。與此同時，專門用於生產 10 奈米或以下先進技術節點半導體產品所需之物件與設備(包含 EUV 曝光機)之出口許可申請將被推定拒絕，以防止此類關鍵技術被用於支援中國軍事現代化行動(BIS, 2020e)。隔日 BIS 進一步宣布，為回應香港國安法修法，BIS 修改 EAR 規定取消了香港的優惠待遇地位，此後香港在 EAR 下與中國內地享有同等貿易出口管制待遇，並受軍事最終用途規範，以杜絕中國企業透過香港的特殊地位規避美國出口管制措施(BIS, 2020f)。

在打壓華為的過程中，美國政府意識到，即使對華為實施制裁，該公司仍能從其他非美系供應商獲取關鍵半導體來維持其 5G 設備的生產，美國也無法徹底封鎖華為在全球市場的銷售業務。此外，單純針對 5G 領域的制裁並不足以遏止中國高科技產業發展，因為只要中國仍能取得先進半導體，便可持續推進 AI、5G 通訊(甚至是 6G)、超級電腦等技術發展。因此，美國政府判斷必須從供應鏈更上游處——半導體產業——切斷其核心技術來源，才能遏制中國在新興技術領域的發展。

二、拜登政府時期(2021-2025)

在拜登甫上任時，為專心應對美國國內疫情與經濟衰退問題，對於半導體產業並無立即的政策指示，但外界仍可從一系列行動中觀察拜登政府對於半導體產業的重視。2021 年 2 月 24 日，拜登上任一個月便頒布第 14017 號行政命令，指示相

⁴³ 2020 年 3 月美國第 116 屆國會通過《2019 年安全可信通訊網路法》(Secure and Trusted Communications Networks Act of 2019)，限制可能構成國安風險的通訊設備或服務進入美國網路。該法案不僅要求聯邦通訊委員會(Federal Communications Commission, FCC)制定設備與服務限制清單，禁止政府將聯邦資金用於向此類構成國安風險的供應商採購，也要求美國電信公司拆除並更換可疑的外國網路設備，並建立「安全可信通訊網路補償計畫」(Secure and Trusted Communications Networks Reimbursement Program)，以提供資金彌補國內業者更換設備的成本。

關部門於百日內完成針對美國半導體製造與先進封裝、大容量電動車電池、關鍵礦物與材料、醫藥品與活性藥物成分等四大關鍵領域的供應鏈韌性進行審查，「關鍵供應鏈審查報告」本身即展現半導體產業是拜登政府應對中國競爭的重要戰略目標；3月31日拜登政府宣布目標重建美國基礎建設的「美國就業計畫」(American Jobs Plan)，呼籲國會根據稍早通過的《為美國半導體生產建立激勵措施法案》(Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America Act, CHIPS for America Act)⁴⁴向美國半導體產業製造與研發投入 500 億美元(White House, 2021b)。

2021 年 4 月拜登召開「半導體與供應鏈韌性執行長高峰會」(CEO Summit on Semiconductor and Supply Chain Resilience)，邀請總計 19 間企業高層共同商討如何因應晶片短缺、強化美國半導體產業。與會企業包含台積電、三星、英特爾、格羅方德(GlobalFoundries)、美光(Micron)、恩智浦(NXP)、天水科技(SkyWater)等七間半導體供應製造方，以及美國電話電報公司(AT&T)、Alphabet(Google 母公司)、戴爾(Dell)、惠普(HP)、福特汽車、通用汽車、斯泰蘭蒂斯(Stellantis)、帕卡(Paccar)、康明斯(Cummins)、匹斯頓(Piston)、諾斯洛普格魯曼(Northrop Grumman)、美敦力(Medtronic)等十二間半導體需求方(Doubleday, 2021)。

除了在供應鏈審查報告中從國家安全角度分析美國半導體供應的困境，美國政府也積極徵求產業界的實務意見。2021 年 9 月 23 日美國商務部以了解和量化晶片短缺情況、提高供應鏈透明度、促進各環節供應商資訊流通與溝通互信為由，向半導體設計公司、製造商、材料與設備供應商、經銷商等供應鏈相關業者「徵求意見」，請業者們在 45 天內向政府「自願分享」供應鏈相關資訊，包含企業設計、製造的半導體產品、材料、設備類型與技術節點、產品銷售、訂單與庫存數據、企業生產與銷售困境、銷售對象與客戶名單等等(BIS, 2021; U.S. Department of Commerce, 2021)。儘管商務部聲稱其發出的是「自願性資訊調查請求」(a voluntary Request for Information)並承諾保護商業機密，但商務部部長雷蒙多(Gina Raimondo)表示若企業不回應調查，將會使用其他工具請企業提供數據，甚至不排除實施《國防生產法》(Defense Production Act of 1950, DPA)(Moss, 2021)。這

⁴⁴ 美國國會自 2020 年起陸續推動吸引半導體製造業回流美國的激勵措施，例如《為美國半導體生產建立激勵措施法案》(Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America Act, CHIPS for America Act)以及《美國半導體晶圓代工法》(American Foundries Act of 2020)，兩者的主要內容被納入 2021 年 1 月通過之《2021 財政年度國防授權法》(National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021, 2021NDAA)成為正式法律，但仍需經過獨立的預算撥款程序落實。

項要求因企業方（尤其是非美國籍企業）擔心美國政府要求的數據涉及敏感訂單資訊而備受爭議，但最終台積電、三星等業者們表示會在「不洩漏客戶機密」的情況下回應美國商務部的資訊請求（Taipei Times, 2021）。

2022 年 1 月商務部公布其透過資訊請求獲得 150 多份回覆，從中總結半導體產業因轉型、能源短缺、疫情停產等一系列原因導致庫存短缺嚴重，尤其是用於醫療設備、網路寬頻和汽車的傳統邏輯晶片（legacy logic chips）、類比晶片（analog chips）和光電晶片（optoelectronics chips）供不應求的情況最為嚴重，且因疫情停產、運輸困難等緣故難以在短期內迅速增產成為主要瓶頸，以此呼籲國會通過法案加強國內晶圓產能（U.S. Department of Commerce, 2022）。雖說商務部表示向業者蒐集數據資料的目的是為協助釐清晶片短缺問題、提升供應鏈透明度，但有鑑於半導體供應鏈涉及全球各國企業、中國在半導體供應鏈中的影響力，以及非美國籍的跨國企業也收到來自美國商務部的資訊調查請求，這項數據蒐集行動也被外界解讀為美國政府欲藉此了解中國在全球供應鏈結構中的地位，為後續的半導體出口管制措施做準備。

（一）第一波半導體禁令（2022）

2022 年 8 月美國通過《晶片與科學法案》，除了透過產業政策撥款五年 390 億支援國內半導體製造與先進封裝，還設下限制赴中國投資的護欄條款，阻礙中國晶片製造業達成 7 奈米先進製程量產目標（詳見第四章第二節）。美方針對中國的半導體出口管制政策也從此時開始升級。2022 年 8 月 15 日，BIS 宣布根據 2021 年 12 月《瓦聖納協定》（Wassenaar Arrangement）⁴⁵會議結果，將兩種超寬能隙半導體（ultra-wide bandgap semiconductors）的基板材料（氧化鎵與金剛石）、為開發環繞閘極場效電晶體（Gate-All-Around Field-Effect Transistor, GAAFET）結構積體電路

⁴⁵ 《瓦聖納協定》，全稱《關於常規武器與兩用產品和技術出口控制的瓦聖納協定》（The Wassenaar Arrangement on Export Controls for Conventional Arms and Dual-Use Goods and Technologies），是當前全球四個國際多邊出口管制機制之一，其餘三個分別是「核供應國集團」（Nuclear Suppliers Group, NSG）、防止生化武器擴散的「澳大利亞集團」（Australia Group, AG）和「飛彈技術管制協議」（Missile Technology Control Regime, MTCR）。《瓦聖納協定》前身是冷戰時期成立的「多邊出口管制協調委員會」（Coordinating Committee for Multilateral Export Controls, CoCom），目前共有 42 個參與國（以西方發達經濟體為主），是一個不具法律約束力、管理傳統武器以及軍民兩用貨品與技術的多邊出口管制機制。該協定成員國透過共識決議出口管制項目，並定期交換關於傳統武器與軍民兩用貨品與技術的出口、轉移資訊以提升透明度、促進區域和國際安全穩定。該協定也限制成員國不得將管制產品輸往「敏感國家」（states of concern），但並未明列管制國家名單，也不干涉各國制定的出口管制措施（BIS, n.d.-a；王煜翔、聶廷榛，2022）。

而須使用的電子電腦輔助設計軟體（Electronic Computer Aided Design (ECAD) software）⁴⁶，以及用於生產和開發燃氣渦輪引擎零件或系統的增壓燃燒（pressure gain combustion, PGC）技術等四種技術列入出口管制（BIS, 2022a）。其中，氧化鎵與金剛石是發展下一代第四類半導體的關鍵材料，而 GAAFET 技術是將半導體製造擴展至 3 奈米以下、能大幅提升晶片效能的關鍵技術（劉佩真，2022）。此次半導體禁令的管制目標是中國尚未發展成熟的第四類半導體以及尚未引入的 3 奈米製程技術，加上以晶片法案限制先進製程技術進入中國投資，外界評論美國政府欲將「中國 IC 設計卡死在五奈米、製造卡死在七奈米」⁴⁷，顯示美方為阻礙中國的先進半導體發展而在材料、工具、製造技術等面向設下層層預防性措施，欲進一步擴大中國與國際技術水準差距。

2022 年 8 月 31 日，媒體報導輝達（NVIDIA）和超微（AMD）兩間專門製造 GPU 的美國企業證實被美國政府要求不得向中國出口用於人工智慧和超級電腦的高階性能晶片（受影響範圍包含輝達 A100/H100 系列產品、超微 MI250 系列產品），以防這些晶片被中國和俄國轉作軍事用途（Clark & Swanson, 2022）。儘管美國政府當下並未對此發表官方聲明，但 BIS 在相隔一個多月後發表臨時最終規則（interim final rule）昭告拜登任內第一波重大半導體禁令證實了這個消息。2022 年 10 月 7 日，BIS 宣布升級針對中國的半導體出口管制措施，限制其取得先進運算晶片、開發超級電腦和製造先進半導體的能力。筆者整理重點內容如下：

1. 將特定的先進與高效能運算晶片、包含此類晶片的電腦商品、特定半導體製造設備及相關項目新增至 CCL 並建立新的 ECCN 編號；
2. 修訂「外國直接產品規則」（FDPR）和目的地範圍規定，將 EAR 適用範

⁴⁶ 在 2020 年 8 月 15 日公告之臨時最終規則（interim final rule）中，BIS 將「電子電腦輔助設計軟體」（Electronic Computer Aided Design, ECAD）定義為一種用於設計、分析、最佳化和驗證積體電路或印刷電路板效能的軟體工具，與業界通稱之電子自動化設計軟體（Electronic Design Automation, EDA）並無太大差別（BIS, 2022a）。

⁴⁷ 儘管目前美國對中實施之先進半導體製造設備出口限制主要以「16/14 奈米及以下邏輯製程」作為技術門檻，外界普遍認為其實質目標乃封鎖中國在 7 奈米以下製程的商業化量產能力。原因在於中國即便能透過 14 奈米以上製程對應的 DUV 設備搭配重複曝光技術勉力生產 7 奈米晶片，但在良率、成本與產能方面仍難以支撐大規模商業出貨。在 EUV 設備取得受限的情況下，更遑論將商業化量產能力推進至 5 奈米及以下節點。因此，雖然政策文件設定技術門檻為 14 奈米，然考量其對中國先進製程技術發展曲線與商業生產規模的壓制效果，外界遂傾向以 7 奈米作為中國晶片製造「被卡死」的關鍵節點。採用 EUV 技術生產的 7 奈米晶片在性能、功耗和經濟效益上都有顯著提升，可大幅降低 5G、AI 運算和資料中心建置的成本，被業界視為半導體製造的重要分水嶺。

圍擴大至使用美國軟體或技術、在外國生產、用於超級電腦、達到特定性能參數的先進運算產品或其零件；

3. 針對用於開發或生產超級電腦、特定半導體及其製造設備的相關物品新增出口許可要求，且對運往中國企業生產設施的出口許可證申請實施推定拒絕原則、對運往跨國企業生產設施的申請採取個案審查。出口許可證要求適用於生產以下規格產品的製造設備：採用 16 奈米或 14 奈米及以下的非平面電晶體架構（non-planar transistor architectures，例如 FinFET 或 GAAFET 技術）先進邏輯晶片、半間距 18 奈米以下的 DRAM 記憶體晶片、128 層以上的 NAND 快閃記憶體晶片；
4. 限制「美國人士」（U.S. person）⁴⁸非經許可不得支援中國境內特定半導體設施進行 IC 開發與生產活動（包含運輸、轉移、維修等服務）；
5. 對 28 個中國實體（已在實體清單上）擴大需取得出口許可的外國製造產品範圍；
6. BIS 將設立臨時通用許可證與 FPDR 合規認證以協助企業適應新政策，減少對供應鏈影響；
7. 將 31 個中國實體新增至有待接受 BIS 最終用途檢查的「未經核實清單」（UVL）（BIS, 2022b, 2022c, 2022d）。

此次禁令有幾項重要意涵。首先，CCL 管制內容擴大，限制先進運算晶片和先進半導體、記憶體製造設備進入中國，顯示美國意在箝制中國製造、獲得 14 奈米以下邏輯晶片並用來開發超級電腦、發展 AI 與高速運算的能力。其次，過去外國直接產品規則（以下簡稱 FDPR）僅適用於被列在實體清單上的企業（例如華為、中芯國際），其他供應商向中國出口時只要符合微量原則規定即可，但此次禁令更新將 FDPR 適用範圍擴大至所有出口至中國的超級電腦、先進半導體產品與技術，不再限於特定企業。換言之，不論貿易對象是否在實體清單上，只要產品符合規定的技術門檻，即受 FDPR 約束。美國的出口管制措施從「針對特定企業」轉變為「針對特定技術領域」，可以有效降低行政管理成本，既避免中國政府透過秘密成立新公司或研究單位向外獲取技術，亦防範中國企業透過更換名稱、結構重組、建

⁴⁸ 根據 BIS 說明，「美國人士」（U.S. person）包含具美國公民、永久居民身分、受美國法令保護之個人、居住美國的自然人士，以及根據美國法律、在美國境內成立之法人（BIS, 2022e, p. 3）。

立子公司或與未受管制之第三方代理商合作繞過制裁，2019-2020 年間不斷增列華為及其關聯企業的實體清單即是例子。此外，新規定針對特定技術領域與製造規格也更容易與盟友達成一致的行動方向，盟友可以參考美國所列之技術門檻來制訂本國的出口管制措施，比單獨列管企業的方式更加有效。此次禁令也是美國政府首次從人力資源下手，限制美國籍人士協助中國發展半導體技術，斷絕美國半導體人才為中國提供技術服務的可能。許多跨國企業為避免違反禁令，紛紛停止公司轄下美籍人員在中國的業務活動。

2022 年 12 月 16 日 BIS 以涉及支持中國軍民融合與軍事現代化行動、與中國政府組織密切相關、違反出口管制規定（非法出口至受管制國家與受管制實體）、涉及大規模人權侵犯行動等理由，宣布將長江存儲、寒武紀科技等 36 間主攻記憶體、AI 晶片研發以及半導體製造設備的中國企業加入實體清單，限制其繼續購買來自美國的關鍵技術與零件（BIS, 2022f）。此舉延續了美國政府在兩個月前下達的第一波半導體禁令，有鑑於記憶體是資料儲存和高速運算的必要元件，長江存儲作為中國最大、當時全球排名第六（全球市佔率約 5%）的 NAND 快閃記憶體大廠，成為這波制裁的主要關注對象。尤其長江存儲在美國政府下達半導體禁令後宣布已有能力生產堆疊 232 層的 3D 快閃記憶體並投入市場，不僅領先三星、美光等其他競爭者，也引發外界對美國現行之出口管制政策可能不足以遏止中國技術發展的質疑（Foster, 2022）；除此之外，長江存儲也被視為中國政府扶植國內半導體產業的成功案例，因其獲得中國政府的大量補貼（獲大基金一期投資 136 億人民幣、二期投資 129 億人民幣）而令美國政府擔憂其可能利用低價策略銷售晶片、破壞市場價格，對其他競爭者造成壓力（段智恆，2023）。

2022 年 10 月第一波半導體禁令明定限制對中出口技術項目後，美國政府也積極說服荷蘭、日本等盟友一同針對向中國出口之半導體生產設備設下管制，以確保中國無法繞過美國禁令、從第三國獲得先進製造設備（Reuters, 2022）。隔年日本、荷蘭陸續加入對中出口管制的行列，使美國圍堵中國的防線更加完整。

2023 年 3 月日本政府宣布將於 7 月 23 日實施新規定，對生產電路線寬 14 奈米以下邏輯晶片、10 奈米以下半導體所需之 23 種高階半導體設備實施出口管制，包含 11 項薄膜沉積設備、4 項微影曝光設備、3 項清洗設備、3 項刻蝕設備、1 項熱處理設備、1 項測試設備等；限制對象包含中國在內達 160 多個國家，除了美國、臺灣、新加坡等 42 個友好國家與地區外，其餘皆須個別申請出口許可。儘管日本

強調新的管制規定是根據《瓦聖納協定》，為避免技術流向軍事用途而加強監管，並否認針對特定國家，但當時日本是中國最大的半導體設備進口來源國，中國也是日本半導體製造設備產業最大的出口市場(日本半導體製造設備產業規模約 300 億美元，其中 100 億美元的訂單來自中國)，這項新規定對日本設備製造商造成衝擊，卻也顯示日本政府配合美國政府出口管制政策的決心 (BBC 中文網，2023；李綺雯，2023b；陳怡菱，2023)。

荷蘭政府則是在 2023 年 6 月宣布考量軍民兩用貨品與技術可能被用於發展先進武器系統、威脅公共安全，將於 9 月 1 日開始針對半導體製造設備實施出口管制，欲出口至歐盟以外目的地的設備廠商須申請出口許可 (Ministerie van Buitenlandse Zaken, 2023)。在此之前，荷蘭政府在川普政府要求遵守《瓦聖納協定》的壓力之下，自 2019 年起便一直禁止艾司摩爾 (以下稱 ASML) 向中國出口最先進的 EUV 曝光機 (用於生產 7 奈米以下晶片)，而此次措施除了正式將 EUV 曝光機及相關技術與材料列入出口管制外，還將範圍擴大至 ASML 生產的三款高階浸潤式 DUV 曝光機 (型號 TWINSCAN NXT:2100i、NXT:2050i、NXT:2000i)⁴⁹、ASM 國際 (ASM International N.V.) 生產的原子層沉積 (atomic layer deposition, ALD) 設備，以及開發、使用上述設備的軟體與技術等等 (中國國際貿易促進委員會北京市分會，2023；莫紹晉，2023)。

此令一出隨即引發中國企業的設備採購熱潮，加上經 ASML 與荷蘭政府溝通後，荷蘭政府允許該公司至 2024 年 1 月前仍可向在 2023 年 9 月前下單並獲得出口許可的客戶出貨部分高階 DUV 曝光機，使得 2023 年下半年中國訂購的設備數量激增並推高市場價格。ASML 光是 2023 年第三季與第四季營收分別有 46% 和 39% 來自中國，相較之下，該公司 2022 年與 2023 年全年營收分別只有 14% 和 29% 來自中國，顯示管制措施所引發的強勁市場需求 (Trendforce, 2024b)。此外，因擔憂出口管制措施可能隨時加嚴，除了即將受管制的先進製造設備外，中國半導體製造商對於尚未受到管制、較低階的半導體設備需求也大幅成長，從而帶動其他半導體設備廠商在中國市場的銷量 (Trendforce, 2024c；美國之音，2023；許祺安，2023)。

⁴⁹ 2023 年 6 月荷蘭政府宣布出口管制措施後，ASML 有數款解析度≤38 奈米、以氟化氬 (ArF) 為光源、以水為介質的浸潤式 DUV 曝光機受到關注，型號分別為 TWINSCAN NXT:2100i、NXT:2050i、NXT:2000i，這三款疊對精度在 2 奈米及以下的高階浸潤式 DUV 曝光機及所有 EUV 曝光機都被列入 2023 年 9 月 1 日生效的出口管制清單中 (周爾雙、李文意，2024，頁 79)。

(二) 第二波半導體禁令 (2023)

2023 年 8 月 29 日華為推出新型 5G 智慧型手機 Mate 60 Pro，其中搭載由華為海思設計、中芯國際製造的 7 奈米製程晶片（麒麟 9000s）引發各界關注，尤其華為與中芯國際在 2020 年底便已被美國加入貿易黑名單。雖然美國在 2022 年第一波半導體禁令中限制美國企業向中國出口 14 奈米以下半導體製造設備，但仍花了幾個月的時間說服荷蘭與日本加入圍堵，給予中國廠商從其他國家採購設備的緩衝期。加上早前便有媒體報導指出華為在前一年獲得中國政府約 300 億美元的補助，以其他公司的名義收購或建造晶圓廠，秘密建立華為的晶片供應鏈以規避美國制裁 (Lipscombe, 2023)。在無法取得 EUV 曝光設備與製造技術的情況下，中國仍能使用手上所有之 DUV 設備，並透過多重曝光程序生產 7 奈米級晶片，儘管生產成本高、良率低，但中國有能力生產 7 奈米晶片之事實被視為突破美國封鎖，也縮小了外界預期的技術差距 (陳建鈞，2023)。

面對中國「突圍」，拜登政府在第一波半導體禁令屆滿一年之際祭出第二波半導體禁令。2023 年 10 月 BIS 發布對超級電腦和半導體產品出口管制的更新規則 (11 月 17 日生效)，筆者整理重點內容如下：

1. 將摩爾線程、壁仞科技等 13 間中國實體列入實體清單，限制其取得採用美國技術生產之外國製產品，因其涉及參與開發先進運算晶片、提供 AI 技術，進而協助中國政府發展大規模毀滅性武器、先進武器系統和高科技監控應用技術，違反美國國家安全和外交政策利益 (此項於 2023 年 10 月 17 日生效) (BIS, 2023b)；
2. 在 CCL 中新增多項超級電腦、先進積體電路、半導體製造設備、軟體與技術，並補充術語定義與功能說明，尤其對 EUV 曝光設備、DUV 曝光設備 (解析度 $\leq 45\text{nm}$ 、疊對精度 $\leq 2.4\text{nm}$ ⁵⁰) 和專門為其設計的零件新增「0%

⁵⁰ 在 2023 年 11 月 17 日 BIS 更新《出口管理條例》(EAR) 商業管制清單 (CCL) 中針對項目編號「3B001」的出口管制規格，對於使用光學或 X 射線加工晶圓的步進式 (step and repeat) 和掃描式 (step and scan) 曝光機的出口管制標準載明於 3B001.f.1 項，管制規格如下：(1) 光源波長 $< 193\text{nm}$ (極紫外光)，或 (2) 光源波長 $\geq 193\text{nm}$ (深紫外光) 且「最小可解析特徵尺寸」(Minimum Resolvable Feature size, MRF) $\leq 45\text{nm}$ 、「指定載台疊對精度」(dedicated chuck overlay, DCO) $\leq 2.4\text{nm}$ 。「特徵尺寸解析度」是晶圓上最小的壓印特徵，可決定每個電晶體的特性、效能，進而影響晶片的速度與耗能情況，在業界報告中，「最小可解析特徵尺寸」(MRF) 常被稱作「解析度」(resolution)，中國稱為「分辨率」；「指定載台疊對精度」(DCO) 是微影圖案層疊刻印在晶圓上的精準度，在 CCL 的規格說明中也稱為「同一型號設備的重合精度」(single machine overlay)，在業界報告中常以「疊對

微量規則」(0% de minimis rule) 限制。換言之，只要該產品涉及任何美國技術和零件就會受到美國出口規定管制（或原出口國同等程度出口管制措施）約束；

3. 將超級電腦、半導體製造設備和零件的出口許可要求擴大至澳門、中國（含香港）及其他被美國實施武器禁運的目的地（被 EAR 列為 D5 國家組）⁵¹，並將受管制品片的出口許可要求擴大至四十多個可能向中國轉運的高風險國家。BIS 將為此建立全球性的許可要求規範以防止受管制實體透過轉運、轉移等方式規避制裁、獲取先進積體電路以及使用先進積體電路建立資料中心的行為，BIS 也將為新規定提供指南和設立臨時通用許可，讓中小型廠商有更多時間尋找替代供應來源並協助其辨識潛在風險；
4. 調整需要出口許可證的運算晶片的性能密度參數（performance density parameter）規定，將可用來建立強大資料中心或訓練 AI 系統的低階晶片納入管制，避免廠商透過大量購買小型晶片（chiplet）後加以組合提升運算效能的行為；
5. 完善限制美國人和美國公司能為中國先進半導體前中後端生產活動提供支持行為的定義，以及該規定的適用場域與對象（BIS, 2023c, 2023d）。

第二波半導體禁令除了更新出口管制措施，防堵受列管之晶片產品與半導體設備從第三地轉口中國的行為，還提升對 AI 晶片規格和半導體製造設備成分的限制，防止中國取得可用於發展 AI 與超級電腦的先進半導體，並將該技術發展軍事能力。此次禁令對輝達、英特爾、超微等 AI 晶片大廠的衝擊尤其受到討論，因為這三間企業有超過五分之一的營收來自中國。在 2022 年第一波半導體禁令下，這些公司為符合出口管制規定推出降規版晶片以維持中國市場（例如輝達的 A800/H100 系列產品與英特爾的 Gaudi 2/3 系列產品），如今降規版晶片再被列入對中出口管制範圍，使得部份中國企業選擇轉向國產晶片，最終恐衝擊美國企業在中國市場的銷售（Reuters, 2023；陳冠榮，2023）。

精度」(overlay accuracy) 表示，中國稱為「套刻精度」。《出口管理條例》商業管制清單規定請見 *Export Administration Regulations*. (2023) 15 C.F.R. Part 774, Supplement No. 1。

⁵¹ 《出口管制條例》國家分組清單請見 *Export Administration Regulations*. (n.d.-c). 15 C. F. R. Part 740, Supplement No. 1 - Country Groups. Electronic Code of Federal Regulations. Retrieved March 13, 2025, from <https://www.ecfr.gov/current/title-15/part-740>

根據 2023 年 6 月荷蘭政府發布的出口管制規定，ASML 仍被允許向中國出口中階浸潤式 DUV 曝光機（型號 NXT:1980Di 與 NXT:1970Di），但這些型號也因解析度 $\leq 45\text{nm}$ 、疊對精度 $\leq 2.4\text{nm}$ 而被美國列入出口管制範圍。⁵²有報導指出，荷蘭政府在美國的禁令壓力下吊銷了在 2023 年 9 月之前為部分高階 DUV 曝光機（型號 NXT:2100i 與 NXT:2050i）核發的出口許可，提前停止 ASML 對中國發貨，時任 ASML 執行長 Peter Wennink 與財務長 Roger Dassen 表示新的限制措施可能影響該公司在中國市場約 10-15% 的銷售額，但成熟製程的設備市場需求旺盛，因此雖然改變區域銷售結構，但公司長期財務前景不受影響（ASML, 2023; The Straits Times, 2024；王一鳴，2024）。

2024 年 4 月 BIS 對第二波半導體禁令的內容做出技術性更正與澄清，除了使受管制晶片產品與半導體設備的詳細功能與參數規定更加明確外，其他重點內容包含：（1）若電腦或其他產品含有需要在出口前通知 BIS 的積體電路，則此類產品也需要在出口前通知 BIS；（2）最終目的地是用於在中國組裝半導體製造設備的零組件需獲得 BIS 出口許可；（3）針對向澳門、中國和其他美國列管的武器禁運國出口的半導體產品將採取推定拒絕原則，並對向中國出口的 AI 半導體產品採取逐案審查（case-by-case review）政策，針對技術層級、客戶身分、合規計畫等進行全面審查，以便 BIS 根據實際情況與潛在風險做出彈性的許可決定（BIS, 2024a, 2024b）。此次更新規則主要是針對舊有條款進行更嚴密的修訂，包括明確受管制的晶片產品功能參數、強化並擴大出口審查程序，減少從第三方轉運、轉賣或黑市走私以規避制裁的交易行為；此外，新規定提及搭載受管制晶片的高階個人電腦出口前需經 BIS 核可，提高中國透過購買高階筆電獲得高階顯卡的難度，被認為將影響中國的 PC 市場（康彰榮，2024；集邦科技，2024）。

（三）第三波半導體禁令（2024）

2024 年 9 月 BIS 宣布與志同道合的國際合作夥伴就量子運算、半導體製造和其他先進技術達成廣泛技術協議，並對關鍵和新興技術實施管制，以確保美國及其盟友的集體安全。BIS 尋求針對以下特定項目實施全球多邊出口管制，包含：（1）

⁵² NXT:1980Di 與 NXT:1970Di 兩款都是以氟化氬（ArF）為光源、以水為介質的中階浸潤式 DUV 曝光機，前者的解析度（resolution） $\leq 38\text{nm}$ 、疊對精度（overlay accuracy）達到 1.6/2.5nm，後者的解析度 $\leq 38\text{nm}$ 、疊對精度達到 2.0/3.5nm，皆在美國第二波半導體禁令的設備出口管制範圍內（曝光設備的解析度 $\leq 45\text{nm}$ 、疊對精度 $\leq 2.4\text{nm}$ ）（周爾雙、李文意，2024，頁 79）。

量子電腦 (quantum computer) 以及可用於開發與維護量子電腦的相關設備、零組件、材料、軟體和技術；(2) 生產先進半導體裝置所需之製造機台與工具；(3) 環繞閘極場效電晶體 (GAAFET) 技術：生產或開發可用於超級電腦的高效能運算晶片技術；(4) 積層製造 (additive manufacturing) 產品：用於生產金屬或合金零件的設備、零組件、技術與軟體 (BIS, 2024c, 2024d)。

為此，BIS 在 EAR 中設立了新的出口許可政策與「許可證申請豁免機制」(License Exception Implemented Export Controls)，允許特定受管制品項出口至已同意採取與美國同等程度出口管制措施的國家，並在 BIS 官網上建立即時清單列出每一項貨品可豁免申請出口許可證的國家，對其許可證申請採取預設批准的審查態度 (BIS, 2024f)。這份滾動式調整清單意味著美國欲在《瓦聖納協定》的繁複程序與共識決效能不彰之外、無須尋求俄羅斯支持的情況下發展新的多邊管制機制，透過建立新的許可證豁免機制以認可並獎勵與美國採取同等出口管制措施的國家，使美國盟友更容易獲得發展新興技術所需之產品，也減少貿易商重複申請出口許可的成本 (謝彥民，2024)。

2024 年 12 月 2 日拜登政府釋出第三波半導體禁令，旨在進一步削弱中國生產先進節點積體電路 (advanced-node ICs) 的能力，防止該技術被用於發展下一代先進武器系統、軍用人工智慧與先進運算，並加強 BIS 阻止中國採購和生產軍事現代化所需技術的能力。此次規則重點內容如下：

1. 對以下項目實施新的出口監管措施：24 種用於生產先進節點積體電路的製造設備，包含蝕刻、沉積、曝光、離子植入、熱處理、測量檢查和清潔等工具；3 種生產或開發先進節點積體電路、用於提高先進機器產能或允許舊式設備生產先進晶片的軟體工具；美國原產或受 FDPR 管制的外國製高頻寬記憶體 (HBM)；
2. 限制電子電腦輔助設計 (ECAD) 和技術電腦輔助設計 (Technology Computer Aided Design, TCAD) 軟體和技術出口至澳門、中國和其他武器禁運國 (D5 國家)，防止被這些國家用來設計或生產先進節點積體電路；
3. 擴大 FDPR 管轄範圍與相應的微量原則規定：若「知悉」外國製商品的最終目的地是澳門、中國和其他武器禁運國，或「知悉」交易涉及實體清單

中被標記為「腳註五」(footnote 5, FN5)的實體⁵³，則擴大 FDPR 對特定外國生產的半導體製造設備和相關物件的管轄權，且上述 FDPR 皆適用於 0%微量原則規定，即上述外國生產的半導體製造設備與相關物件中若含有任何美國生產的積體電路成分，皆在管轄範圍內；

4. 確認當前出口管制措施適用於允許使用特定軟、硬體或更新既有軟、硬體使用權的軟體金鑰 (software key) 的出口、轉口與國內轉讓。這意味著所有仰賴軟體金鑰開啟或定期更新的軟、硬體產品都會受到出口管制措施動態檢視；
5. 在實體清單中新增 140 個中國實體，其中包括半導體晶圓廠、設備製造商和投資公司，理由是這些實體依北京要求行事，在對美國及其盟友構成國安風險的情況下推進中國的先進晶片目標 (BIS, 2024e, 2024g, 2024h)。

此次措施是拜登任內遏阻中國獲取先進半導體製造技術的第三波大規模行動，不僅劍指中國發展 AI 與先進運算能力所需之 DRAM 記憶體晶片和高階晶片設計軟體，也擴大實體清單和 FDPR 管轄權：包含新加坡、馬來西亞、韓國、臺灣、以色列等國家的業者在內，只要產品含有美國晶片技術，美國便有權管控，進而阻止世界各地生產之半導體製造設備與晶片產品運往中國 (星洲日報，2024)。BIS 在聲明中強調此新規定凸顯「小院高牆」戰略 (“small yard, high fence” strategy)，主要目標是減緩中國發展可能改變未來戰爭的先進 AI 和高效能運算能力，並阻止中國以美國及其盟友的國家安全為代價建立本土半導體生態系統 (BIS, 2024e)。

2025 年 1 月 15 日 BIS 發布新規則，更新稍早針對先進運算積體電路 (advanced computing ICs) 的第三波半導體禁令內容，欲透過加強對先進晶圓代工廠、封裝廠與 OSAT 業者的管制，要求代工廠確認核實其生產的晶片沒有被轉移至受管制實體，以確保防堵中國獲取對其軍事發展至關重要的高階晶片的管道。本次規則修訂的重點內容包含：

1. 建立「獲批准的 IC 設計商與 OSAT 廠商名單」(List of Approved IC designers and OSATs)，並針對可能存在高轉移風險的新客戶改善交易報告機制；
2. 更新 EAR，包含對 2024 年 12 月 2 日的出口管制措施進行技術修正、更

⁵³ 此類實體因為特定的國家安全與外交政策考量而被列入實體清單的配套規則，例如透過生產先進節點積體電路並用於軍事用途或參與、支持中國軍事現代化活動。

新術語定義、將「人工智慧擴散框架」(Framework for Artificial Intelligence Diffusion)納入規則等⁵⁴，以確保僅獲批准(approved)或授權(authorized)的 IC 設計公司能夠享有許可豁免；

3. 對無法滿足以下任一條件、尋求出口先進晶片的代工廠和封裝廠實施更廣泛的出口許可要求：(1) 出口對象是獲得批准或授權的 IC 設計商，且該公司聲明其輸出之晶片產品性能低於管制要求；(2) 晶片是由位於澳門和 D5 國家之外的前端晶圓製造商 (front-end fabricator) 進行封裝，且該製造商驗證最終晶片的電晶體 (transistor) 數量；(3) 晶片是由獲得批准的 OSAT 公司進行封裝，且由該製造商驗證最終晶片的電晶體數量；
4. 將 14 間中國實體與 2 間新加坡實體列入實體清單，因其存在受北京政府指示、向中國公安終端使用者供貨或向華為轉移的風險，且參與支援或直接促進先進運算積體電路的開發，進而推動中國發展先進武器系統、大規模殺傷性武器和高科技監控應用；同時還有另外 11 個中國實體被列入清單，理由包含開發用於先進節點製造設施的曝光技術，使中國能自主生產用於軍事的先進積體電路，以及透過開發和整合先進 AI 研究推動中國軍事現代化 (BIS, 2025c, 2025d, 2025e, 2025f)。

(四) 拜登卸任前轉向 AI 技術圍堵 (2025)

除了第三波半導體禁令，拜登政府還在卸任前夕 (2025 年 1 月 13 日) 宣布針對先進運算晶片和先進 AI 模型技術傳播發布監管框架 (Framework for Artificial Intelligence Diffusion)，防止先進 AI 模型落入惡意行為者 (malicious actors) 手中。根據 BIS 說明，該框架採用三管齊下的出口管制策略，相關豁免措施整理如下：

- A. 方向一：更新對先進運算晶片的管制措施，擴大對出口、轉口與轉移的授權要求與管制國家範圍，同時提供許可豁免與授權機制，使 AI 技術得以在不構成國安風險的前提下被廣泛共享，相關豁免機制包含：
 1. 人工智慧授權許可豁免 (New License Exception Artificial Intelligence Authorization)：允許向特定盟友和合作夥伴出口、轉口貨轉移先進運算晶片，無須額外授權；

⁵⁴ 2025 年 1 月 13 日 BIS 宣布針對先進人工智慧技術的傳播建立監管框架，詳見下一段落說明。

- 
2. 先進運算製造許可豁免 (New License Exception Advanced Compute Manufacturing)：為防止供應鏈中斷，以 2023 年 10 月的臨時通用許可規則為基礎，允許與晶片開發、生產及儲存用途相關的出口、轉口或轉移活動，但不得輸往武器禁運國；
 3. 低處理效能許可豁免 (New License Exception Low Processing Performance)：允許有限數量的運算資源在全球流通，但不得輸往武器禁運國⁵⁵；
 4. 更新「數據中心驗證終端使用者計畫」(Data Center Validated End User (VEU) Program)，被列為以下兩類驗證終端使用者在指定地點建立數據中心的行為無須獲得額外授權：
 - (1) 通用驗證終端使用者 (Universal VEU, UVEU)：允許美國、特定盟友與合作夥伴獲得單一授權，在武器禁運地區以外建立數據中心，但須確保至少 75% 的受管制先進晶片留在美國、特定盟友與合作夥伴國家，且不得在單一其他國家（非許可豁免國，亦非武器禁運國）裝設超過 7% 的受管制晶片，總部設於美國的 UVEU 則須確保至少 50% 的先進晶片留在美國；
 - (2) 國家驗證終端使用者 (National VEU, NVEU)：允許總部位於非武器禁運國的企業獲得授權，在特定地點建立數據中心，其配額與國家級配額分開計算，且少量的交易訂單也不計入國家配額；
 5. 在特定國家或地區的晶片出口量達到特定分配額度前，該國的出口許可申請採取「推定批准」(presumption of approval)，達到配額後採取「推定拒絕」(presumption of denial)。若涉及武器禁運國家，無論數量皆維持「推定拒絕」政策。
- B. 方向二：管制訓練計算量達 10^{26} 次或以上、最先進的「封閉式權重 AI 模型」(closed-weight AI models)⁵⁶，設立新的出口/轉口/轉移許可要求，

⁵⁵ 根據 2025 年 1 月發布的人工智慧傳播框架臨時最終規則，若單一終端收貨者每年出口與轉口高級運算 IC 數量總計不超過 26,900,000 總處理性能 (total processing performance, TPP)，則會被視為不構成重大國安風險的少量運算資源，只要最終用途和終端使用者不在澳門、中國等其他禁運地區，便可獲得「低處理效能許可豁免」(BIS, 2025b)。

⁵⁶ 「權重」(weights) 是指 AI 模型在訓練過程中學習到的數值參數，這些數值決定模型如何處理輸入數據並產生輸出結果，反映模型的學習成果與決策機制。權重的數值並非固定，而是透過大量訓練不斷調整，使模型能更準確地執行語言辨識、語言理解、圖像分類、預測結果等特定任務。

適用更廣泛的管制國家範圍，並設立新的 FDPR，將此規定擴展至使用美國技術或設備生產之先進運算晶片訓練出來的特定模型權重。針對此新規則的相關豁免機制包含：

1. 人工智慧授權許可豁免：與先進運算晶片的管制豁免措施相同，在不輸往武器禁運國的前提下，允許美國及特定盟友與合作夥伴出口、轉口或轉移受管制的封閉式 AI 模型權重，無須額外授權；
2. 開放權重模型（open-weight models）或低於最先進開放式權重模型的封閉式模型皆不受管制。

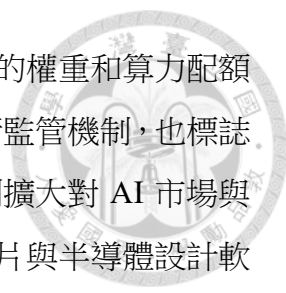
C. 方向三：BIS 將在轉移風險高的目的地實施安全條件以確保最先進的 AI 模型在該地區的儲存安全，以保護美國國家安全並減少先進模型、運算晶片與積體電路建設被轉移的風險（BIS, 2025a, 2025b）。

美國政府發布此管理 AI 晶片和 AI 模型傳播框架的目標在於加強對中國 AI 產業發展的封鎖，防止高性能 AI 晶片與先進模型技術流入中國。其中，讓各界最為關注的是美國政府為確保先進運算晶片與先進 AI 模型技術不會流入有疑慮的國家，對能取得高階晶片的國家、配額數量與運算力（以總處理效能為衡量指標）進行分級管制。美國根據信任程度將目的地國家分為三級：第一級是美國的關鍵盟友與合作夥伴，包含澳洲、比利時、加拿大、丹麥、芬蘭、法國、德國、愛爾蘭、義大利、日本、荷蘭、紐西蘭、挪威、南韓、西班牙、瑞典、臺灣、英國等 18 個國家，這些國家被認為竊盜和轉移風險較低，可不受出口監管限制；第三級國家則是被美國認定嚴格禁止輸入任何先進晶片與技術的武器禁運國，包含中國（香港、澳門）、俄羅斯、北韓、伊朗等 23 個國家和地區；其餘被歸為第二級的 150 多個發展中國家則仍會受到程序複雜的出口管制措施，即便獲得 UVEU 和 NVEU 豁免，總運算能力也會受到限制（BIS, 2025b; Simpson Thacher & Bartlett LLP, 2025）。

這項針對 AI 技術管制的新措施有幾項重要意涵。首先，除了延續並強化對先

「封閉式權重模型」（closed-weight model）是指未公開發布模型權重的 AI 模型，通常僅提供應用程式介面或特定服務讓使用者存取模型的推理結果，例如 OpenAI 公司推出的「ChatGPT」。此類模型往往由企業或研究機構掌控，基於商業或安全考量而限制外部存取，使用者無法自行下載或修改模型權重，只能依賴原始開發者的授權進行應用開發。

「開放式權重模型」（open-weight model）是指公開發布模型權重的 AI 模型，可供使用者自由下載、調整模型權重，並進行二次開發或應用，例如 Meta 公司推出的「Llama」與中國的「DeepSeek」。此類模型通常具備透明性與可重複使用性（reusability），允許使用者查看並根據自身需求修改權重，而不受原始開發者的技術或商業限制。



進運算晶片的出口管控政策，這也是美國政府首次針對 AI 模型的權重和算力配額進行出口控制，顯示美國欲對新興技術和服務建立更嚴密的技術監管機制，也標誌著 AI 競爭進入新階段。其次，美國政府藉由新的許可申請機制擴大對 AI 市場與企業的管控，展現前所未有的長臂管轄權，未來不只美系 AI 晶片與半導體設計軟體，連 AI 模型技術的出口都需獲得美方的審查與實體認可，進一步加強美國對全球 AI 供應鏈的控制。再次，三級管制名單的設立明確劃分美國的盟友與競爭對手，有助於簡化當前的行政程序並減少與友好國家之間的貿易壁壘，防止先進技術流向轉運風險高的國家（例如新加坡）；而管制名單中的第三級國家除了中國外，多數並非 AI 伺服器的主要買家，甚至部分國家採購數量為零，更凸顯該政策針對中國的戰略意圖（尹慧中、蕭君暉，2025）。最後，自美國對中國發起科技戰以來，中國致力於推動本土自研晶片來因應制裁，但在建立大規模算力方面，國產晶片的效能仍難以完全取代美系 GPU，因此美國此舉意在透過限制中國取得最先進的 AI 軟、硬體技術，從而阻礙中國的 AI 發展進程（劉佩真，2025）。

然而，由於該政策發布於新舊任總統過渡期間，儘管規劃一年後才會生效，但仍遭到美國半導體產業協會（SIA）、資訊科技產業委員會（Information Technology Industry Council）等業界團體批評該政策推出前未與業界充分諮詢，恐影響美國企業的全球競爭力。首先，業界擔憂監管行動涉及太過廣泛、繁重且複雜的許可要求，不僅可能會削弱輝達等美國晶片大廠與雲端計算企業外銷 AI 晶片與運算系統的能力，且需要額外設計不同規格的晶片以符合不同出口管制層級需求將提高生產成本；美國的基礎建設系統與雲端運算服務業者將先進 AI 模型的權重轉移、外包給海外子公司或外國客戶時，也須提高警覺以免觸法。其次，對於被列為二級管制的國家來說，可預期美國的管制措將導致先進晶片短缺，尤其當市場龐大的發展中國家（如印度、巴西、沙烏地阿拉伯、阿拉伯聯合大公國等）想建立 AI 運算能力或其他與運算相關的基礎建設系統時，其國內發展需求會因美國的算力配額限制而無法得到滿足。這可能會促使這些國家轉向發展非美系供應鏈、支持非美系晶片製造商，以避免受美國政策所限；這些晶片需求缺口可能為中國企業提供進入這些國家的市場機會，尤其中國企業可以在中國政府的補貼下以低價進入填補短缺，從而控制市場，就像過去華為在全球 5G 市場上的擴張行動（Horowitz, 2025; Simpson Thacher & Bartlett LLP, 2025；劉佩真，2025）。

長遠來看，業界擔心新規定恐會讓美國企業將全球市場份額拱手相讓給美國

以外的新興晶片製造商、刺激非美系的 AI 系統發展，從而削弱美國在全球運算市場上的優勢地位，讓美、中兩大陣營的壁壘更加明顯 (Villasenor, 2025)。另一方面，法規在一年後生效的規劃固然給予企業們適應政策的緩衝時間，但短期內仍會激起各國對 AI 晶片的高度需求，尤其第二、第三級國家可能會在法規生效前透過大量掃購、囤貨、或借助第三方白手套轉售、走私等方式加速取得管制晶片。因此，新規定的管制效果仍有待觀察，且川普上任後是否會強制執行或修改條款猶未可知，增加了全球科技產業的不確定性 (劉佩真，2025)。

第二節 外資審查與投資管制

壹、美國加強外資審查

一、外國投資審查委員會的組成與改革歷程

美國負責審查外國投資的行政部門是「外國投資審查委員會」(Committee on Foreign Investment in the United States, CFIUS)，該委員會於 1975 年由福特總統 (Gerald R. Ford) 發布第 11858 號行政命令成立，目的協助總統審查任何可能導致外國人控制美國企業的併購交易，避免可能危及國家利益、軍事安全或導致本國高科技技術外流的外國投資活動。

CFIUS 自設立以來歷經幾次立法改革，逐步強化其法定權力與審查程序 (見表 21)，也逐漸擴大委員會成員組成。甫成立時成員僅有國務卿、財政部長、國防部長、商業部長、總統經濟事務助理 (the assistant to the president for economic affairs)、外交經濟委員會執行董事 (the executive director of the Council on Foreign Economic Policy) 六人，但隨著跨國企業與外國直接投資 (foreign direct investment, FDI) 金額成長、投資形式與內容趨於多元，以及九一一事件後對反恐戰爭、情報與資通訊安全、國防戰略物資等專業議題需求使得越來越多部門被納入 CFIUS，如今委員會組成包含財政部長 (擔任主席)、國務卿、國防部長、國土安全部長、商務部長、能源部長、總檢察長、美國貿易代表、科學技術政策辦公室主任等九名成員⁵⁷，這

⁵⁷ 除上述固定參與的各部門主要負責人外，2007 年《外國投資與國家安全法》(FINSIA) 進一步將國家情報總監和勞動部長納入 CFIUS，成為提供建議但不參與決策、無投票權的「當然成員」(ex

些部門分別代表美國政府在外交、產業、商業、國安等多個層面的政策立場與利益，對外資進行更多元、周全的跨部門審視，也意味著審查考量從商業經濟逐漸轉移為政治與國家安全（U.S. Department of the Treasury, n.d.-a；邱奕宏，2014，頁 9-12）。

表 21 美國外資審查機制強化歷程

年份	美國外資審查機制強化歷程
1975	福特總統發布第 11858 號行政命令成立 CFIUS。
1976	國會通過《國際投資調查法》（International Investment Survey Act），為 CFIUS 蒐集、使用國際投資相關資訊提供明確法律授權。
1988	國會修訂《1950 年國防生產法》（Defense Production Act of 1950）第 721 條，增加「艾克森-佛里歐條款」（Exon-Florio Provision），賦予總統有權力在有可信證據認為該投資會損害國家安全且無其他適用法律的情況下，阻擋已提議或進行中之外國合併、兼併、收購交易，無須訴諸國家緊急狀態。
1991	財政部制定相關規則以落實「艾克森-佛里歐條款」，明訂從事相關交易的企業應「基於自願」對 CFIUS 提出審查申請，而企業大多會遵守該條款、先向 CFIUS 申請審查以避免日後被要求撤資的風險。
1993	國會通過「柏德修正案」（Bryd Amendment）修訂「艾克森-佛里歐條款」，要求 CFIUS 審查可能影響國家安全、代表外國政府或由其持有、控制之外國公司對美國企業的收購案。
2006	小布希政府修改 CFIUS 審查程序，允許當 CFIUS 認為交易案相關方未能依照「特殊安全安排」（Special Security Arrangement）同意國家安全的相關配置規定時，可在任何時候重啟對外資併購案的審查或推翻其先前的批准。此行政程序的改變意味著 CFIUS 的決定不再是最後裁決，增加外國企業在美投資的風險與不確定性。
2007	國會通過《外國投資與國家安全法》（Foreign Investment and National Security Act of 2007, FINSa），為 CFIUS 建立法定權限、增列成員，並將國土安全與關鍵基礎建設列入審查考量因素，強化國會監督權與總統裁決權。此法案壓縮了 CFIUS 自行斟酌裁決的空間，要求 CFIUS 對所有外來投資交易進行調查，並將舉證責任從 CFIUS 轉移到外國企業，換言之，任何與外國政府有關的外國企業若想在美國從事投資行為，必須主動提出證據說明不會對美國國家安全造成威脅。
2018	國會通過《外國投資風險審查現代化法案》（Foreign Investment Risk Review Modernization Act, FIRRMA）。

資料來源：“美國外來投資審查及「外來投資與國家安全法」之發展”，邱奕宏，2014，貿易政策論叢，（21），1-45。筆者統整後繪製表格。

officio member），白宮辦公室轄下的經濟顧問委員會、國家安全委員會、國家經濟委員會、國土安全委員會、管理與預算辦公室等部門官員則會酌情參與 CFIUS 活動，總統可以適時透過這些部門代表表達意見，也可以在委員會成員發生歧見時出面調停（U.S. Department of the Treasury, n.d.-a；邱奕宏，2014，12）。

在流程上，CFIUS 收到企業的併購交易聲明(declaration)或申報通知(notice)後會先進行審查(review)，或在審查結束後針對潛在國安風險啟動進一步調查(investigation)，若調查後 CFIUS 認為無法透過協議解決潛在風險，或投資方拒絕 CFIUS 提出的國安風險緩解協議(mitigation agreement)時，才會將案件上呈總統裁決(U.S. Department of the Treasury, 2024b, pp. x-xi)。在多數情況下，若交易申請未通過 CFIUS 第一階段審查或投資方不接受 CFIUS 第二階段調查後提出的協議條件時，投資方會主動撤回申請、放棄或調整併購措施後重新提出申請，因此走到最後階段、上呈總統裁決的案件數極少。1988-2023 年間總計有 4614 件外資交易申報通知(notice)，但僅有 16 件交易案發展至上呈總統裁決的最後階段，且自 CFIUS 成立以來，僅發生過六次美國總統以行政命令否決交易的裁決行動，其中四次都與中國有關(見表 22)。尤其在 2018 年通過《外國投資風險審查現代化法案》(Foreign Investment Risk Review Modernization Act of 2018, FIRRMA)後，CFIUS 審查的交易型態與範疇擴大，也更嚴密地監管來自中國的外資交易。

表 22 歷史上美國總統介入否決的外國投資案件(截至 2025 年 1 月)

年份	總統	交易案內容與否決理由
1990	老布希	中國國有企業中國航空技術進出口公司欲收購位於西雅圖的飛機金屬零組件製造公司 Mamco Manufacturing Inc.。該交易案因中國可能藉此取得美國的航空航太技術與軍用技術而被否決。此案是 CFIUS 成立以來總統首次根據其建議阻止的外國投資交易案。
2012	歐巴馬	中國三一重工集團在美國的子公司 Ralls 欲收購四座鄰近奧勒岡州海軍基地的風力發電廠。由於發電廠鄰近軍事設施，總統基於國安疑慮否決該交易。此案是 1990 年以來美國總統首次否決的外資收購案。
2016	歐巴馬	中國福建宏芯投資基金欲收購德國半導體沉積設備製造商愛思強(Aixtron)及其美國境內資產。該交易案因涉及可能將關鍵半導體技術轉移至中國而被否決。儘管愛思強是德國公司，但因其在美國的業務使該交易受 CFIUS 審查，體現美國對全球技術轉讓的關注。
2017	川普	中資背景私募基金凱橋(Canyon Bridge)欲收購美國萊迪斯半導體公司(Lattice Semiconductor)。由於萊迪斯半導體是可規劃邏輯晶片(programmable logic chips)的製造商，該晶片常用於軍事通訊，該交易案因擔憂中資涉入美國軍方半導體供應鏈而被否決。
2018	川普	新加坡公司博通欲收購美國通訊晶片大廠高通。因博通公司執行長與中國企業有合作關係，CFIUS 擔心該交易會令高通的關鍵技術外流中國、

		影響美國國家安全而建議總統否決。 ⁵⁸
2025	拜登	新日本製鐵公司（Nippon Steel）計劃收購美國鋼鐵公司（US Steel）。美國鋼鐵公司是美國國內第二大鋼鐵公司，該交易案因擔憂美國的關鍵基礎建設供應鏈將受外國控制而被總統否決。

筆者整理自美國聯邦公報（Federal Register）與網路資料後繪製表格。

二、中國對美國科技產業投資增長

在《301 條款調查報告》中，美國貿易代表署（USTR）指出中國的對外直接投資（outbound foreign direct investment, OFDI）除了受到財務多元化、生產本地化、應對人民幣貶值、獲取技術與研發設施等各種商業因素驅動，中國政府的干預力量也不能忽視：中國政府能透過外匯管制、政府支持的融資計畫和掌握對外投資審批程序等措施引導和促進中國企業在外國的投資活動。不論中央還是地方層級政府均主導推動中國企業系統性投資或收購美國科技密集型產業公司與資產的活動，尤其中國企業投資美國的產業標的與中國欲發展的產業政策方向高度相關：中國對美國汽車、航空、電子、能源、健康與生物技術、工業機械（包含機器人）與資訊技術等七大產業的投資額在 2009 年還只有 4.96 億美元，2016 年時該數據已成長至 98.17 億美元，且 2013-2016 年間中資對這些產業的年均投資額達 69 億美元（USTR, 2018b, pp. 97-102）。此外，2009-2020 年間中國對美直接投資總金額中將近三成是由中國國有企業（此指中國政府擁有至少 20% 所有權的實體）執行，也顯示中國國有企業在這些資本流動當中具有一定影響力（Rhodium Group & National Committee on U.S.-China Relations, n.d.）。

值得注意的是，2016 年是中國對美直接投資的最高峰，投資金額達 484.8 億美元，而中國對上述七個產業的投資便佔當年度對美直接投資額五分之一。然而 2017 年川普總統上任，且 2018 年國會通過 FIRRMA 法案加強對中國的外資審查後，中國對美投資急遽減少，2017 年還有 368.1 億美元，2018 年卻不足 80 億美元。2016-2020 年間美、中兩國對彼此的外國直接投資總額從約 624.8 億美元減少

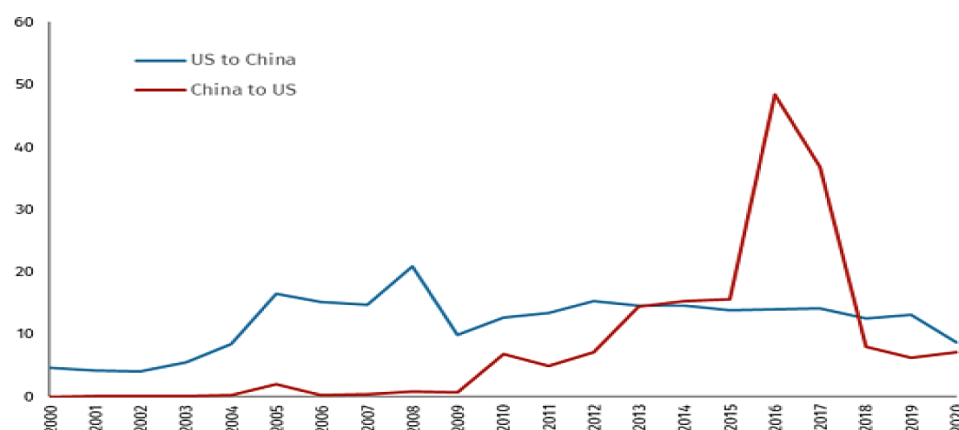
⁵⁸ 美國博通公司（Broadcom Corporation）最早成立於 1991 年，是全球領先的無線通訊與網路晶片製造商，2016 年新加坡安華高科技公司（Avago Technologies）收購美國博通公司，沿用該公司品牌名稱並改制為博通有限公司（Broadcom Limited），是當時半導體產業最大規模的收購案。2018 年美國總統川普以國家安全為由阻止博通有限公司對美國高通（Qualcomm）的收購案，為緩解美國政府對其「外資背景」的疑慮、降低政治阻力，2018 年博通有限公司將總部遷至美國，並將公司名稱改為現在的博通股份有限公司（Broadcom Inc.）。

至 158.9 億美元（2020 年美國對中投資近 86.9 億美元，中國對美投資僅剩 72 億美元），投資總額跌幅達 75%。從產業別來看，科技產業的外國投資受美中經濟脫鉤的趨勢影響最大，下降了 96%（Hoecker et al., 2021, pp. 60-61; Rhodium Group & National Committee on U.S.-China Relations, n.d.）。2018 年以後中國對美投資也從資通訊技術、金融與商業服務、房地產等轉向較不敏感的領域，例如娛樂業、消費性產品與服務業，以及健康與生物技術（Hanemann et al., 2021, pp. 20-22）。

圖 13 2000-2020 年美國與中國之間外國直接投資金額變化

Figure ES-1: Annual Value of FDI Transactions between the US and China, 2000-2020

USD billion



Source: Rhodium Group.

資料來源：Two-Way Street: 2021 Update US-China Investment Trends (p. 9), by T. Hanemann et al., 2021, Rhodium Group.

除了關注中國對美國科技產業的投資成長，美國貿易代表署在 301 條款調查中也注意到中國對美投資模式發生轉變。根據美中投資中心（U.S.-China Investment Hub）的數據顯示，2000-2008 年中國對美直接投資當中，「併購投資」（acquisitions）（獲得至少 10% 股份）佔總投資額 77%、「綠地投資」（greenfield investments）佔 23%，2009-2016 年併購投資的比例成長至 92%、綠地投資佔比則降為 8%。相較於綠地投資，併購投資可以幫助中國企業更快速、直接獲取美國企業已有之技術、資產、市場份額甚至是既有供應鏈和研發團隊，既能減少前期資本投入（如購買土地、新建廠房），與當地企業合作或股權投資也較設立新企業更容易通過法規審批、降低市場抗拒。⁵⁹在中國政府管控資本外流的情況下，許多中國企業更傾向透過融

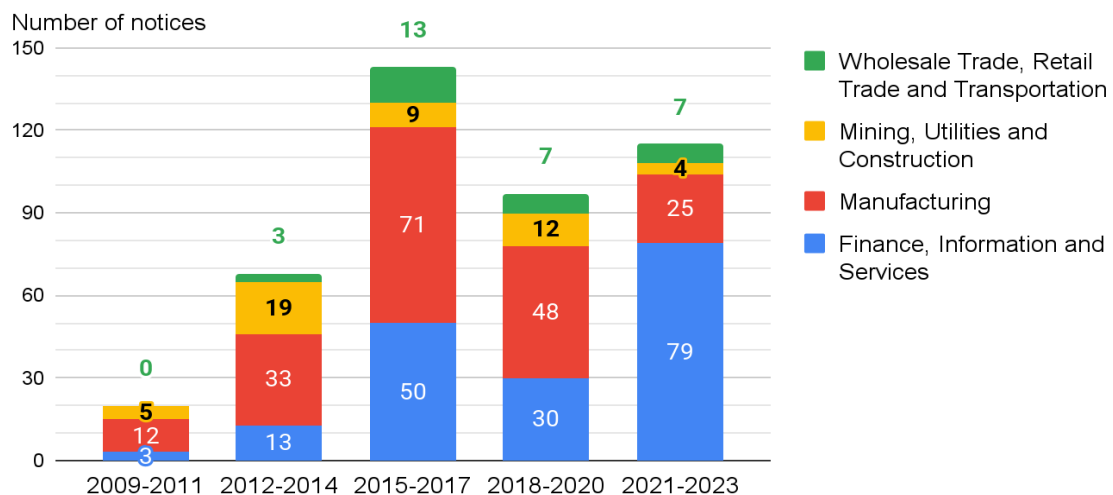
⁵⁹ 對外投資可大致分為「併購投資」（acquisitions）與「綠地投資」（greenfield investments）兩類，

資的方式投資、併購美國的敏感產業並獲得美國企業的關鍵技術。在美國政府開始加強審查中國投資後，2017-2020 年間中國對美國的併購投資佔比降至 85%、綠地投資佔比升高為 15%，同時期美國對中國的併購投資與綠地投資佔比分別為 32% 與 68%（Rhodium Group & National Committee on U.S.-China Relations, n.d.）。

設立 CFIUS 的第 11858 號行政命令規定該委員會有責任監管外來投資對美國的影響、提供分析報告與建議、協調美國政策在此類投資上之執行，並對呈交至委員會的資訊予以保密（邱奕宏，2014，頁 8）。儘管 CFIUS 的審查具有保密性，不會公開具體的交易案件申請資訊，但我們仍可從相關統計中看到中國對美國的投資成長趨勢。尤其在 2015 年之後，來自中國企業的受管制交易通知（covered transaction notices）數量增加迅速，引起美國政府關注：與中國相關的申請案件數從 2015 年 29 件增加至 2016 年 54 件、2017 年 60 件，一度達到案件申請總數三成，且多數與製造、金融與資訊服務業相關；CFIUS 審查涉及美國關鍵技術的中國公司收購申請案件在 2015 年僅 5 件，但 2016 年成長為 17 件、2017 年為 21 件，一度達到當年度科技公司收購申請案總數五分之一（見圖 14、表 23）。

圖 14 2009-2023 年中國企業涉及受管轄交易的申報通知數量與產業類別

CFIUS Notices Involving Acquirers from China by Target Sector, 2009–2023



資料來源：CFIUS 歷年年度報告（U.S. Department of the Treasury, 2024a）。圖表由筆者整理數據後繪製。

前者是指對既有企業的資產與股權進行合併收購（mergers and acquisitions, M&A），直接獲取該企業在當地的業務、資源、技術及市場地位，可降低市場進入壁壘、迅速獲得市場份額，缺點是需支付溢價收購費用，且可能面臨整合問題；後者是指從頭開始建立全新業務，包含購買土地、建設廠房、招募員工、設立研發中心或辦公室等，好處是企業可依自身需求打造業務模式、掌控投資計畫，缺點是前期資本支出較高、投資回報期較長，且受當地社區、營運法規或環境審核約束。

表 23 2008-2023 年 CFIUS 受理之受管轄交易聲明與申報通知數量

Year	Covered Transaction Declarations		Covered Transaction Notices		Covered Transactions Involving U.S. Critical Technology Companies	
	China	Total	China	Total	China	Total
2008	-	-	6	155	2	165
2009	-	-	4	65	3	98
2010	-	-	6	93	5	79
2011	-	-	10	111	4	114
2012	-	-	23	114	6	111
2013	-	-	21	97	5	85
2014	-	-	24	147	7	108
2015	-	-	29	143	5	130
2016	-	-	54	172	17	73
2017	-	-	60	237	21	105
2018	0	20	55	229	8	76
2019	3	94	25	231	3	92
2020	5	126	17	187	5	122
2021	1	164	46	272	10	184
2022	5	154	36	286	8	181
2023	2	109	33	233	7	153

資料來自 CFIUS 歷年年度報告 (U.S. Department of the Treasury, 2024a)，表格由筆者整理數據後繪製。

註一：此表格呈現 CFIUS 收到的聲明 (declarations) 與申報通知 (notices) 案件總數，並非實際完成的交易案件。

註二：針對第 13936 號行政命令生效 (2020 年 7 月 14 日) 之後結案的 CFIUS 案件，若外國收購方的來源地被標示為香港，在 CFIUS 報告中一律視為來自中國，但此前的數據仍將中國與香港分開計算。本表格依照 CFIUS 年度報告所列數據呈現。

註三：在 2018 年 8 月通過的 FIRRMA 授權下，CFIUS 於 2018 年 11 月 10 日啟動名為「Pilot Program」的試行計畫，針對涉及指定產業與關鍵技術的外資交易案件引入強制聲明 (mandatory declaration) 規定，故 CFIUS 自 2018 年開始將聲明案件列入年度報告統計。該試行計畫終止於 2020 年 2 月 13 日，同時 CFIUS 根據 FIRRMA 正式落實擴大審查權與強制聲明制度。

雖然無從得知 CFIUS 審核批准或否決的案件數量，但自歐巴馬第二任後期開始，外界便可從一系列中國投資美國半導體企業卻被 CFIUS 審查阻止的報導觀察到美國政府已開始密切注意中國對美國高科技產業的收購行為，例如中資金沙江創投基金欲收購荷蘭皇家飛利浦公司旗下 LED 封裝與照明事業 Lumileds 八成股權（2015 年）、中國紫光集團欲收購美光科技和入股美商威騰電子（Western Digital Corporation, WD）（2015 年）、中國華潤集團與北京清芯華創欲收購矽谷先驅快捷半導體公司（Fairchild Semiconductor）（2015 年）、中國福建宏芯投資基金收購德國半導體沉積設備大廠愛思強（Aixtron）及其美國子公司（2016 年）、中國三安光電欲收購在臺灣掛牌的加州砷化鎵廠環宇通訊半導體（2016 年）等等。川普總統任內則有總統以行政命令叫停具中資背景的私募基金凱橋（Canyon Bridge）對美國萊迪斯半導體公司（Lattice Semiconductor）的收購案（2017 年）、否決新加坡公司博通（Broadcom Limited）對美國高通（Qualcomm）的收購案、美國半導體測試設備供應商艾科斯羅（Xcerra）撤回中資湖北鑫炎股權投資合夥企業收購申請（2018 年）等知名投資申請案（葉長城，2021，頁 65）。

三、FIRRMA 作為美國加強審查中資的執法工具

2017 年川普總統以國家安全為由否決了中資私募基金對美國萊迪斯半導體公司的收購案，成為美國提出《外國投資風險審查現代化法案》（Foreign Investment Risk Review Modernization Act, FIRRMA）的動機，目的是擴大 CFIUS 管轄範圍，以處理傳統上不屬於 CFIUS 管轄、但可能被外國用於威脅美國國家安全的新型態投資。相較於此前的《外國投資與國家安全法》（Foreign Investment and National Security Act of 2007, FINSAs），2018 年通過的 FIRRMA 有幾項重要變革。

首先，FIRRMA 擴大了 CFIUS 有權審查的「受管轄交易」（covered transaction）範圍。過去 FINSAs 僅規範 CFIUS 需審查「控制權交易」（covered control transaction），即可能導致非美籍人士控制美國企業、有國安疑慮的交易案，而 FIRRMA 將 CFIUS 的審查範圍擴大至「非具控制權的投資」（non-controlling investments）⁶⁰和「不動

⁶⁰ 根據美國財政部投資安全辦公室（Office of Investment Security）於 2020 年 1 月公布之 FIRRMA 最終規則，「非具控制權的投資」系指非美籍人士雖未取得美國企業過半控制權，但可直接或間接參與美國企業經營之權利，包含取得企業重要的非公開技術資訊、擔任或投票任命董事會成員（或同等成員資格）、實質參與攸關敏感個資、關鍵技術或關鍵基礎建設之決策交易（U.S. Department of the Treasury, 2020, p. 2；尚子雅，2019，頁 8；鄭昀欣、顏慧欣，2022，頁 182-183）。

產交易」(real estate transactions)⁶¹。且在 2020 年 1 月公布之 FIRRMA 施行細則進一步將涉及關鍵技術、關鍵基礎建設以及敏感個人資訊之企業(critical technology, critical infrastructure, and sensitive personal data, 統稱為美國 TID 產業)列入審查範圍⁶², 外國若欲投資涉及「生產、設計、測試、製造、組裝或研發關鍵技術」、「擁有、營運、製造、供應或維護關鍵基礎設施」或是「蒐集或持有可能威脅美國國家安全之敏感個人資訊」的美國企業, 均可能受 CFIUS 審查 (U.S. Department of the Treasury, 2020; 李貴英, 2021; 尚子雅, 2019; 鄭昀欣、顏慧欣, 2022)。

其次, 在 FIRRMA 生效前, CFIUS 採自願性申報機制, 在交易一方提出聲明或通知後才會啟動審查程序, 而 FIRRMA 則新增事前強制聲明程序 (mandatory declarations), 規定特定類型的交易必須事前向 CFIUS 遞交聲明請求審查, 例如外國投資人 (或其背後的外國政府) 可透過該交易取得對美國 TID 企業之「實質性利益」(substantial interest)⁶³, 或是該交易能令外國投資人取得美國 TID 企業之控制權, 且該企業涉及生產、設計、測試、製造或研發關鍵技術。雖然 CFIUS 大部分的審查仍採自願性申報, 但若交易方被發現未遵守強制性聲明規定並向 CFIUS 請求事前審查, 仍將被處以高額罰款, 甚至被 CFIUS 撤銷已完成的交易。而在施行細則中則對「非具控制權的投資」和「不動產交易」分別訂有「例外國家」(excepted foreign state) 與「例外投資人」(excepted investors)⁶⁴的審查排除條款, 豁免其對

⁶¹ 根據 2020 年 1 月公布之 FIRRMA 最終規則, CFIUS 得審查外國人在美國境內之公私立不動產購買、租賃或取得特許等交易行為, 尤其當該不動產具有地理特殊性、鄰近美國政府、軍事設施、空港、海港等, 或外國人可能在該不動產基地上獲得美國情資、有暴露於外國監測之風險者, 均應受 CFIUS 審查 (U.S. Department of the Treasury, 2020, pp. 3-5; 尚子雅, 2019, 頁 11; 鄭昀欣、顏慧欣, 2022, 頁 183)。

⁶² 關鍵技術係指受美國軍需品清單 (USML)、商業管制清單 (CCL) 與 ECRA 規範的軍民兩用、新興和基礎技術; 關鍵基礎建設是指對美國極為重要的實體或虛擬資產或系統, 若其毀損或失去功能時會嚴重影響美國國家安全者, 範圍涉及國防工業基地、能源、電信、水力、電力、交通公共設施、金融服務、關鍵原物料等等; 敏感個資系指特定類型的可識別與可追蹤資訊, 包含針對美國政府部門人員活動的可識別資訊、生物辨識或基因資訊 (無論是否構成可識別性), 或擁有超過一百萬人的個人資訊的企業 (U.S. Department of the Treasury, 2020, pp. 2-3; 尚子雅, 2019, 頁 9-10; 鄭昀欣、顏慧欣, 2022, 頁 183)。

⁶³ 實質性利益的判斷標準包含: (1) 外國投資人直接或間接持有美國企業至少 25% 的表決權 (voting interest), 且單一外國政府持有該投資人至少 49% 的表決權; (2) 在外國企業之經營活動主要由合夥人、經理人負責管理、控制的情況下, 外國政府持有該合夥人或經理人 49% 以上的權益 (interest); (3) 若某實體為另一實體的母公司時, 該母公司對其子公司應視為擁有 100% 的權益 (Office of Investment Security, 2020, p. 3133; 鄭昀欣、顏慧欣, 2022, 頁 183)。

⁶⁴ 「例外國家」是指經 CFIUS 認定為「合格外國」(eligible foreign state), 即該國已與美國建立健全有效的程序以分析外資國安風險、促進與美國的投資安全合作事項。「例外投資人」則是指例外國家的國民、政府, 或與例外國家有實質聯繫的實體, 且過去未曾向 CFIUS 做出虛假陳述、違反美國法律的紀錄。基於集體安全防禦安排、情報共享與國防工業基礎, 目前美國將澳洲、加拿大、

特定交易的強制申報義務和 CFIUS 後續的國安審查程序(李貴英, 2021; 鄭昀欣、顏慧欣, 2022)。

第三, 雖然 FIRRMA 未在法案中明確定義國家安全, 但在該法案第 1702(c) 條中明定並擴大了 CFIUS 進行國安審查時應考量之若干重要因素, 包含: (1) 受管轄的交易 (covered transaction) 是否涉及受特別關注之國家 (country of special concern), 該國的戰略目標乃獲得可影響美國在國家安全相關領域領導地位的關鍵技術或關鍵基礎建設; (2) 外國政府或外籍人士對關鍵基礎建設、能源資產、關鍵材料或關鍵技術的累積控制或近期交易可能對國家安全產生的影響; (3) 與美國企業進行交易的外籍人士是否有遵守美國法規的歷史紀錄; (4) 外籍人士對美國產業和商業活動的控制是否可能影響美國滿足國家安全要求的能力, 包括人力資源、產品、技術、材料、其他物資供給和服務的可用性 (availability); (5) 受管轄交易可能在多大程度上直接或間接地將美國公民的個人識別資訊、基因資訊或其他敏感資料洩露給外國政府或外國人, 使其能利用這些資訊威脅國家安全; (6) 受管轄交易是否可能加劇或造成新的網路安全漏洞, 或可能導致外國政府獲得參與針對美國之惡意網路活動、影響聯邦選舉結果的能力 (FIRRMA, 2018, §1702(c); 李貴英, 2021, 頁 603)。

值得注意的是, FIRRMA 法案特別強調要關注來自中國的投資。該法案第 1719(b) 條要求美國商務部長應在法案通過後每兩年便向國會和 CFIUS 遞交一份關於中國在美國的 FDI 交易報告, 報告內容除了中國在美國的 FDI 總額, 還要依照金額大小、北美產業分類系統 (NAICS)、投資形式 (新設立企業或收購企業)、投資方 (政府/非政府) 等進行投資規模、投資產業與類型分類, 並詳細列出中國實體在美國的子公司數量、僱員人數、公司估值, 以及中國政府投資購買的美國註冊公司清單。此外, 報告中還應比對中國在美國與其他國家的 FDI 情況, 進一步分析這些投資模式是否與中國政府在「中國製造 2025」中所列出的目標一致 (FIRRMA, 2018, §1719(b))。在 FIRRMA 法案中並沒有對其他國家有相同的報告要求, 這樣細緻的報告內容規定也反映出美國政府高度警惕中國資本進入美國, 尤其是中資流入的背後是否有中國政府驅動、與推進「中國製造 2025」的目標直接掛鉤。

英國、紐西蘭等五眼聯盟成員國判定為合格國家 (U.S. Department of the Treasury, n.d.-b; 鄭昀欣、顏慧欣, 2022, 頁 184)。

四、拜登要求 CFIUS 強化國安審查

2022 年 9 月 15 日拜登總統發布第 14083 號行政命令，要求 CFIUS 加強對關鍵產業及相關技術領域的外資審查流程，並增加 CFIUS 審查時應考慮的要素，識別其中可能涉及之國安問題與新興威脅以保護美國的技術領先地位、供應鏈韌性和美國公民的敏感數據安全，尤其是直接或間接涉及外國對手或其他受關注國家的投資案件，因其看似基於商業目的進行的經濟交易背後可能會因外國實體或外國政府的法律環境、意圖與能力而對美國國家安全構成不可接受的風險（Executive Office of the President, 2022b）。

該命令列舉可能構成特殊風險的關鍵產業包含微電子、人工智慧、生物技術和生物製造、量子運算、先進清潔能源（如電池存儲和氫氣）、氣候適應技術、關鍵材料（如鋰與稀土元素）、與糧食安全相關的農工業基礎等，並指示 CFIUS 進行國安風險審查時不僅要將維護「美國技術領導地位」與「供應鏈韌性與安全性」納入，還要進一步考慮以下三個要素：（1）整體產業投資趨勢：外國人是否有可能透過一系列公司股權收購、所有權轉移或技術轉讓交易，使美國逐漸喪失對某一產業、技術或關鍵材料資源的開發或控制權，或在未來更容易受到供應中斷影響；（2）網路安全：外國人對美國企業的投資是否使其有能力且有意圖進行網路入侵或惡意網路活動，或擁有訪問、利用資訊數據庫和相關系統的權限，進而侵蝕美國的網路安全、機密通訊、資訊數據庫，影響美國國內選舉結果和關鍵基礎建設系統運作；（3）與敏感資料相關的風險：外國人對美國企業的投資能否使其存取、向第三方轉移美國人民及特定群體的敏感資料，包含健康狀況、數位身分、生物數據等任何可用於區分、追蹤、監視、定位個人身分的數據（Executive Office of the President, 2022b; U.S. Department of the Treasury, 2022）。

除上述三個重點考量外，該命令也要求 CFIUS 對外資交易進行審查時，應在符合國家安全要求的前提下酌情考慮以下事項，包括但不限於：（1）外國投資對國內產能滿足國安需求的影響；（2）對關鍵產業供應鏈韌性與安全性的影響，無論該交易是否涉及國防工業基礎，包含但不限於製造能力、服務、關鍵礦產資源、關鍵技術等；（3）參與交易的外國實體在美國供應鏈中的參與程度，以及該實體或與其有關聯之第三方是否可能採取危害美國國家安全的行動；（4）美國在製造、服務、關鍵礦產資源或技術方面的能力；（5）美國供應鏈中替代供應商（包括來自盟國或

夥伴經濟體的供應商)的多樣化程度;(6)參與交易的美國企業是否為美國政府、能源產業或國防工業的直接或間接供應商;(7)該外國人在特定供應鏈中的所有權或控制權集中程度;(8)促進國內創新的外資交易是否涉及可能對國家安全構成威脅的外國人及有關聯之第三方;(9)該交易是否涉及對美國技術領導地位與國家安全至關重要的製造能力、服務、關鍵礦產資源或技術領域等;(10)該交易是否可能在促成未來技術的進步與應用時反而削弱美國國家安全;(11)其他 CFIUS 認為可以判斷交易是否削弱關鍵供應鏈韌性,從而影響國家安全的適當因素(Executive Office of the President, 2022b)。

此行政命令雖未直接點名中國,但當中強調 CFIUS 審查外資時應關注的三大要素都頗具針對性。首先,在考量整體產業投資趨勢方面,自歐巴馬政府時期 CFIUS 便以防止技術外流、維護美國國家安全與技術主導地位為由,阻止一系列中國企業與中國投資基金對美國半導體公司的收購案。這表明美國政府早已將中國視為可能透過投資收購取得產業關鍵技術、削弱美國競爭力的主要對手。

其次,在資通訊與網路安全以及敏感數據保護方面,川普政府與拜登政府任內皆頒布數項行政命令與法案,防範來自外國對手的滲透威脅。例如 2019 年 5 月 15 日發布第 13873 號行政命令禁止國內行政機關與電信業者使用華為、中興通訊等外國對手政府控制之實體所提供之設備、技術與服務,並在《2019 年安全可信通訊網路法》(Secure and Trusted Communications Networks Act of 2019)的授權下由政府提供業者拆除、更換設備系統的資金。拜登總統更在第 14034 號行政命令中明確指出,持續危害美國國家安全、外交政策和經濟的「外國對手」(foreign adversary)正是中國人民共和國,行政機關應嚴防外國對手透過連接軟體應用程式 (connected software applications) 或商業間諜軟體 (commercial spyware) 蒐集、傳輸、存取美國公民與政府的敏感資料,並警惕中國政府利用 AI 與演算法追蹤、分析、操縱這些資料所帶來的情報安全與人權風險。⁶⁵此外,2023 年 3 月發布的《國家網路安全戰略》(National Cybersecurity Strategy)中也直接將中國、俄羅斯、伊朗與北韓認定為漠視網路人權與法治的惡意行為者 (malicious actor),進一步凸顯

⁶⁵ 相關內容可參考美國總統拜登 2021 年 6 月 9 日發布之第 14034 號行政命令(Protecting Americans' Sensitive Data From Foreign Adversaries)、2023 年 3 月 27 日發布之第 14093 號行政命令(Prohibition on Use by the United States Government of Commercial Spyware That Poses Risks to National Security)、2024 年 2 月 28 日發布之第 14117 號行政命令(Preventing Access to Americans' Bulk Sensitive Personal Data and United States Government-Related Data by Countries of Concern)等。

中國對美國數據安全的潛在威脅（White House, 2023, p. 3）。

最後，在供應鏈韌性方面，川普與拜登兩位總統都十分關注中國在稀土與關鍵礦產上的主導地位，以及對全球半導體生產鏈的影響力。川普任內頒布之第 13953 號行政命令（2020 年 9 月 30 日）以及拜登總統初上任即頒布之 14017 號行政命令（2021 年 2 月 24 日）皆指明美國高度仰賴中國出口之稀土和關鍵礦產可能會損害美國利益，因此 2021 年 11 月通過之《基礎設施投資和就業法案》（Infrastructure Investment and Jobs Act, IIJA）進一步限制中國在關鍵供應鏈中對美國的影響力，包含要求國內關鍵基礎設施（如寬頻、交通）建設過程中所涉及之敏感通訊設備材料、技術與系統不得由中國提供，亦不得將補助金提供給使用中國進口關鍵礦物的電池製造商，或將關鍵礦物與回收材料出口至中國的企業。2022 年 8 月發布之《晶片與科學法案》也設置了限制接受美國產業補貼的半導體企業投資中國的護欄條款。這些措施都清楚顯示美國在關鍵產業技術、關鍵供應鏈韌性、敏感數據與網路安全等面向上防範中國滲透的謹慎態度。

貳、美國限制對中投資禁令升級

除了通過 FIRRMA 和 CFIUS 加強審查進入美國的中國投資，防止中國政府與企業藉機接觸美國高科技產業與敏感技術，或是參與建設美國的關鍵基礎設施系統，美國政府也開始實施對中投資禁令，希望避免美國市場資金為中國的技術與經濟發展提供助力。

一、川普政府任期（2017-2021）

2020 年 1 月，在美國國會「美中經濟安全審查委員會」（U.S.-China Economic and Security Review Commission）舉辦的聽證會上，商務部國際貿易管理局（International Trade Administration, ITA）提供的數據顯示，在 2013 年至 2019 年底中國企業在美國進行 119 次新上市並籌集了超過 480 億美元，此金額超過其他外國企業在美國籌集的資金總額；截至 2019 年 9 月，在美國三大證交所上市的中國公司共有 172 家，總市值超過 1 兆美元。2018 年中國企業透過在美國交易所首次公開募股（initial public offerings, IPO）籌集超過 94 億美元，佔美國跨境 IPO 籌資金額 51%；2019 年中國企業則籌集了 38 億美元，佔美國跨境 IPO 籌資金額 42%。



國際貿易管理局助理部長 Nazak Nikakhtar 認為這些數據表明即使中國資本市場日益成熟，中國企業仍對在美國市場籌措資金抱持高度興趣，不僅是因為美國市場有更深的資本池、能提高中國企業在國內的聲譽，採用雙重股權結構（*dual-class stock structure*）也允許與中國政府有關的個人或實體維持他們對公司的控制權。此外，美國交易所允許新興但尚未獲利的公司上市，使得中國公司可以透過反向併購、以合資企業的形式進入美國市場，中國國有企業也有機會以營利公司的形式進入美國籌措資金（Nikakhtar, 2020b）。

從美國政府的角度來看，中國企業進入美國資本市場的隱憂在於中國的軍民融合策略令任何一個中國企業或民間部門都可能在海外代表中國政府或軍方行事，中國政府建立的企業信用系統（*corporate credit system*）也會影響在中國營運的本地或跨國企業，因為中國的《國家情報法》規定私人企業必須配合「國家情報工作」，其可能會被要求將內部資料（包含敏感個人資料、監控或專有技術資訊）傳輸給中國政府，並存放於中國境內，以隨時配合政府檢查。同時，美國公共會計監督委員會（*Public Company Accounting Oversight Board, PCAOB*）也指出，中國企業的審計品質和透明度有待加強，因為該機構轄下註冊的會計師事務所無法對其客戶涉及中國和香港的業務進行審計檢查，這意味著美國的個人和機構投資者無法獲得中國企業的真实財務狀況，導致他們不僅需要承擔資訊揭露不足和法律追訴困難的風險，也可能在不知情的情況下為正在從事違反美國利益活動、資助中國軍事建設和受到美國制裁的公司提供資金（Nikakhtar, 2020a, 2020b）。

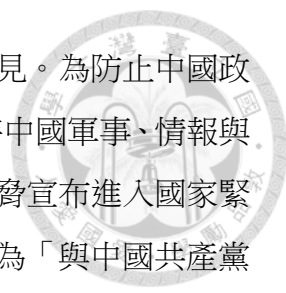
事實上，早在 2019 年美中貿易戰緊張局勢加劇時，美國部分國會議員與國家安全委員會（*National Security Council*）的政府官員們已開始呼籲投資人重新檢視中國在其股票、基金投資組合中的地位，並要求美國證券交易委員會（*Securities and Exchange Commission*）加強對中國公司的財務透明度審查。受到討論的議題還包含指數的權重設定以及美國聯邦政府與各州的退休基金（Pletka & Scissors, 2019）。由於越來越多投資者轉向以基金作為穩健的被動投資，即一籃子證券的基金會參考一個主要指數作聯動，因此若指數供應商增加中國股票的權重，意味著為中國市場吸引資金，有助於提升人民幣的國際形象，但這些指數組成中可能包含與中國政府密切相關、涉入軍事活動或人權迫害行動、或已被美國列入黑名單的實體，因此若美國政府的退休基金投資與此類指數聯動，將被認為是間接協助中國政府破壞美國國家安全。對此，時任共和黨參議員 Marco Rubio、民主黨參議員 Jeanne Shaheen

等數位參議員不僅跨黨派聯名致信要求管理節儉儲蓄計畫(Thrift Savings Plan, TSP)的美國聯邦退休儲蓄投資委員會(Federal Retirement Thrift Investment Board, FRTIB)停止將資產轉移至包含中國公司在內的指數基金，也向國會提案要求有條件地禁止聯邦僱員退休基金投資中國企業股票(Swanson, 2019；美國之音，2019)。

2020年5月美國聯邦退休儲蓄投資委員會(FRTIB)發布聲明，稱由於「與疫情相關的經濟環境變化」，委員會決定無限期推遲調整其國際基金投資組合原先欲投資中國股票的計畫。背後原因不僅是因為對新冠疫情的起源爭執加劇了美中緊張關係，還有白宮與國會批評中國金融體系不透明而對委員會造成的壓力(Swanson, 2020；杰西，2020)。直到2023年11月美國聯邦退休儲蓄投資委員會宣布，將改變其國際基金所遵循的基準指數，確認2024年的投資計畫將會排除在中國和香港上市的股票(藍孝威，2023)。在這段期間，個別州政府也陸續通過立法或發布命令，限制各自州內公共退休基金投資特定中國公司，或要求退休基金從中國公司撤資，例如印第安那州、佛羅里達州、密蘇里州、奧克拉荷馬州、堪薩斯州、賓西法尼亞州等。截至2024年年底，已有來自15州的財政官員致信敦促州內的公共退休基金受託人從中國撤資(陳霆，2024；程雯，2024)。

從聯邦退休儲蓄基金停止對中國投資開始，美國對中國的投資禁令逐步升級。2020年6月美國國防部根據《1999財政年度國防授權法》第1237條向國會提出一份列有20間在美國直接或間接營運、有中國解放軍背景的「共產中國涉軍企業」(Communist Chinese military companies, CCMC)名單(或稱1237清單)，包含華為、海康威視、中科曙光、熊貓電子、中國電信、中國移動、中國船舶重工集團、中國航空工業集團、中國核工集團等等，這些企業的業務範圍涉及大數據與超級電腦、影像監控、電子通訊、航天航空、核能、船舶艦艇、兵器裝備等(王綉雯，2020)。雖然這份名單本身並沒有法律制裁效力，卻會成為後續美國政府實施金融與商業制裁的參考，也直接影響了美國政府的供應鏈承包商，因為稍早通過的2018年與2019年《國防授權法》與《聯邦採購規則》(Federal Acquisition Regulation, FAR)皆已明確規定美國聯邦機構不得直接或間接採購、使用、續約此類企業及相關廠商提供之產品與技術服務(Wysong et al., 2020)。

2020年11月12日，川普總統發布第13959號行政命令「應對為中共軍事公司提供資金的證券投資威脅」(Addressing the Threat From Securities Investments That Finance Communist Chinese Military Companies)(後經2021年1月13日第13974



號行政命令修訂)，內容呼應商務部在年初聽證會中所表達的意見。為防止中國政府在軍民融合戰略下，透過民間和私人企業在美國籌集資金支持中國軍事、情報與安全機構發展，進而擴大中國軍工複合體規模，川普總統對此威脅宣布進入國家緊急狀態，自 2021 年 1 月 11 日起禁止美國個人或實體對被認為「與中國共產黨軍方有關聯」的企業進行公開投資交易，包含購買股票、衍生證券與投資包含特定中國企業的新興市場基金，並規定美國投資者在 2021 年 11 月 11 日之前進行資產剝離、出售此類企業的證券股票與基金資產。該命令也列出被禁止投資的「非特別指定中共軍事企業名單」(Non-SDN Communist Chinese Military Companies List, NS-CCMC List)，該名單所列 31 間企業與前述國防部所列之「共產中國涉軍企業」(1237 清單)有部分重疊，是被國防部與財政部認定具有中國軍方背景、支持中國人民解放軍現代化計劃、對美國國家安全構成威脅的實體(Executive Office of the President, 2020c)。直到 2021 年 1 月 14 日，美國國防部又進一步指定 13 間與中國軍方有關聯之企業，包含中芯國際、中國海洋石油公司、北京中關村發展投資中心等等，使列入國防部投資黑名單的中國企業總數達到 44 間，涉及航空航天、造船、建築、化工、半導體技術與通訊等領域(U.S. Department of Defense, 2021a)。

二、拜登政府時期(2021-2025)

(一) 第一階段：禁止美國投資中國涉軍企業

儘管川普在卸任前發布了對中共軍工企業的投資禁令，但該禁令在實行上卻出現困難，例如名單上所列的公司多半是國有企業，一般海外投資人本就無法直接投資，以及雖然財政部解釋清單上所列 44 間實體旗下的子公司都屬於禁令範圍，但這些子公司數量超過 1100 間，投資人其實難以辨別。甚至有數間被列入投資黑名單的中國企業向美國法院發起訴訟，且在成功勝訴後被移出投資黑名單。⁶⁶美國財政部也兩度延後了正式黑名單的公布與投資禁令執行時間，令投資人、證券交易商與基金指數公司無所適從(今周刊編輯團隊，2021)。

2021 年 6 月 3 日拜登總統簽署第 14032 號行政命令，修訂並擴大了川普執政

⁶⁶ 小米集團(智慧型手機製造商)和籬筐科技(互動式定位服務與大數據處理科技公司)兩家中國企業在美國法院的判決中都獲得了暫停投資限制的裁決結果，小米公司於 2021 年 5 月被移出「涉軍黑名單」(Tzinova & Jin, 2021)。

時期頒布的 13959 號行政命令⁶⁷，除了針對參與軍事、情報、安全研發計畫和武器相關設備生產的中國軍工複合企業及相關實體實施投資禁令，還將範圍擴及在中國境外開發、使用監控技術協助人權壓迫、威脅民主的中國公司。該命令於 2021 年 8 月 2 日生效後，美國個人與實體被禁止購買或出售這些企業的證券與衍生性金融商品，並規定投資人一年內要完成撤資（Executive Office of the President, 2021c）。此行政命令公布的黑名單高達 59 間（從原清單上的 44 間中刪除了 18 間後又新增了 33 間），但大部分都是在中國股票市場掛牌、經營監控技術、國防及相關物資的企業，投資者較容易辨認並執行政策。

與先前川普發布的投資黑名單不同，此份名單是拜登依據《國際緊急經濟權力法》（IEEPA）和《國家緊急法》（National Emergencies Act, NEA）授權財政部外國資產管制辦公室（OFAC）另擬定一份「中國軍工複合體清單」（Non-SDN Chinese Military-Industrial Complex Companies List, NS-CMIC List）以取代原本的「中共軍事企業名單」（CCMC List），除了將指定實體的制裁權力由國防部轉向財政部，還擴大定義範圍、納入「軍民融合企業」。同日，國防部在《2021 財政年國防授權法》第 1260H 條的授權下，首次發布在美國直接或間接運營的「中國軍事企業名單」（Chinese military companies, CMC List）（或稱 1260H 清單，其前身為 1237 清單），共有 47 間中國實體被列入，涉及半導體、電信通訊、伺服器、能源、航空航太等領域（U.S. Department of Defense, 2021b）。至此，拜登手上便有兩份清單，一份是財政部擬定的投資黑名單——「中國軍工複合體清單」（CMIC List），另一份則是國防部擬定、限制國防部門採購、沒有其他附加制裁條款的「中國軍事企業名單」（CMC List）。這兩份清單互有重疊、可以滾動調整，加強了投資禁令的威嚇力道（Norton Rose Fulbright, 2021；今周刊編輯團隊，2021）。

2021 年 12 月 16 日美國財政部外國資產管制辦公室（OFAC）宣佈再將八間中國科技公司列入投資黑名單，禁止美國個人與實體購買或出售與這些企業有關的公開交易證券，因其配合中國政府開發監控技術、蒐集生物辨識資料以及協助鎮壓少數民族與宗教群體，而被認定屬於中國軍工複合體。這八間中國科技公司中有當時世界上最大的無人機製造商大疆，以及曙光資訊、曠視科技等致力於開發生物辨

⁶⁷ 2021 年 6 月 3 日拜登總統簽署 14032 號行政命令撤銷 13974 號行政命令，並修訂、擴大 13959 號行政命令中提及的國家緊急狀態範圍，2021 年 11 月 9 日拜登政府通知再將緊急狀態延長一年（Executive Office of the President, 2021e）。

識、追蹤監控、大數據運算與雲端資料庫等技術的七間企業。這八間企業同時被商務部與財政部列入貿易管制實體清單與禁止投資清單（U.S. Department of the Treasury, 2021）。將監控技術公司列入制裁對象是美國基於人權價值對中國在新疆地區鎮壓維吾爾人的回應，而將無人機製造商大疆列入投資黑名單則是為了反擊中國軍民融合策略。

2022 年 10 月國防部更新了前一年六月發布、列有 47 間實體的中國軍事企業名單（CMC List），再將大疆創新、華大基因、浙江大華等 13 間積極參與中國政府「軍民融合」策略的實體列為禁止投資對象，這些企業業務涉及無人機、生物科技、監控技術、雲端大數據、網路資安等領域（U.S. Department of Defense, 2022）。2024 年 1 月國防部第二次更新中國軍事企業名單，刪除 3 個實體（中芯國際香港公司、中國國際工程諮詢公司、福建火炬電子公司），並新增 17 個實體，其中包含中國最大的半導體製造設備供應商中微半導體（AMEC）、中國記憶體巨頭長江存儲（YMTC）、AI 公司曠視科技、雷達製造商禾賽科技等等，涵蓋半導體、人工智慧、自動化技術、建築工程、電信、航天、風險投資等多個領域（U.S. Department of Defense, 2024a）。⁶⁸2025 年 1 月國防部第三度更新中國軍事企業名單，使被列入該名單的實體總數達 134 間，中國多家科技企業上榜，包括網路與社群媒體巨擘騰訊控股、DRAM 記憶體製造商長鑫存儲、電池製造商寧德時代、AI 公司商湯科技，同時有六間中國企業被移出，包含電子資訊設備商科思科技、曠視科技、中國電信、中國鐵建、中國船舶、中國建築（U.S. Department of Defense, 2025；賴瑩綺，2025）。

值得注意的是，中國軍事企業名單（CMC List）是國防部根據其情報分析後認定與中國軍事機構密切相關的「軍民融合企業」，以此作為其他政府部門制定行動的參考意見，然該清單本身並無制裁效果。換言之，被國防部列入 CMC 名單的實體除了被禁止與美國國防部及其轄下機構進行商品與服務採購交易外，並不會立即成為美國政府的制裁對象，除非該實體被進一步列入商務部的出口管制實體清單或財政部的投資黑名單。截至本文完成時，財政部的 CMIC 清單最後更新時間仍維持在 2021 年 12 月 16 日⁶⁹，意味著在此之後並沒有更多中國企業被美國政府

⁶⁸ 中國公司禾賽科技、中微半導體和中國知名投資機構 IDG 資本被國防部列入黑名單後向美國聯邦法院提起訴訟，2024 年 10 月與 12 月國防部先後將這三間實體移出中國軍事企業指定名單（U.S. Department of Defense, 2024c, 2024d）。

⁶⁹ 請見 Office of Foreign Assets Control. (n.d.) *Additional Sanctions Lists*. U.S. Department of the Treasury. Retrieved May 3, 2025, from <https://ofac.treasury.gov/other-ofac-sanctions-lists>

系統性施以明確的投資制裁，相較之下，美國政府選擇更頻繁地使用商務部的出口貿易管制措施——包含實體清單（entity list）和商業管制清單（CCL）——對中國企業進行貿易制裁。



（二）第二階段：以《晶片與科學法案》禁止受補助企業擴大投資中國半導體產業

除了透過投資黑名單阻止國內投資人為中國的軍事與科技發展提供資金，美國政府也透過《晶片與科學法案》限制聯邦生產獎勵補助的接受者在受關注國家（中國）投資先進半導體製造或擴大產能，以確保與國內技術出口管制政策一致。

2022 年 8 月拜登總統簽署通過《晶片與科學法案》（CHIPS and Science Act），該法案將提供總計 2800 億美元支持國內半導體生產以及補助聯邦科學機構研究計畫，旨在提升美國的半導體產能和科學研發能力，希望加強美國的製造業與工業基礎、供應鏈韌性和國家安全，保持美國在半導體、奈米技術、清潔能源、量子運算等未來產業的長期領導地位，並降低對中國及其他脆弱或過度集中的外國供應鏈的依賴。這部法案被視為美國科技與產業政策的重大里程碑，反映了美國在科學和國防領域加強自主能力的戰略轉變：不僅要提升美國半導體本土製造競爭力、創造工作機會和提升國內勞動力發展、降低對外國依賴（尤其是中國），也象徵著美國政府在高科技領域的政策從放任市場自由競爭的模式轉向產業干預與戰略投資，同時加強美國政府在全球市場上對其他國際企業投資生產的干預力量。

事實上，在拜登上任前，行政部門與國會兩黨已形成共識，認為美國應推出旨在加強國內製造業與科技創新能力以應對中國科技崛起、保持美國領導地位的法案。2020 年 5 月參議院提出《無盡邊疆法案》（Endless Frontier Act of 2020），目標強化美國科技創新，此法案後來併入《2021 年美國創新與競爭法案》（United States Innovation and Competition Act of 2021, USICA），增加半導體投資與中國競爭條款，並在 2021 年 6 月於參議院通過。2022 年 2 月眾議院通過的《2022 年美國競爭法案》（America Creating Opportunities for Manufacturing, Pre-Eminence in Technology and Economic Strength Act of 2022, America COMPETES Act）則是涵蓋範圍和投資金額更為龐大的版本，側重於供應鏈議題，並增列參議院法案未納入之氣候變遷與人權措施。兩者在強調對前沿技術領域的研究與教育投資、支持國內製造、保護智慧財產權、強化供應鏈韌性並減少對外國依賴（尤其中國）等層面目標一致，但具體內容和優先事項有所不同（科技產業資訊室，2022；黃哲融，2022）。經參、眾

兩院協商，最終兩個法案的核心內容被整合呈現於《晶片與科學法案》，使其成為一個涵蓋科技創新、半導體製造、國際競爭等多面向的綜合性法案。

《晶片與科學法案》內容分為三部分：A 部分為《2022 年晶片法案》(CHIPS Act of 2022)、B 部分為《研究、發展、競爭和創新法案》(Research and Development, Competition, and Innovation Act)、C 部分為《2022 年最高法院安全資金法案》(Supreme Court Security Funding Act of 2022)，其中 A、B 兩部分最為重要。

A 部分《2022 年晶片法案》是半導體生產激勵措施，並為此建立規模約 527 億美元的財政援助計畫，除此之外，政府還為半導體製造與半導體生產設備製造提供 25% 的「先進製造投資稅收抵免」(advanced manufacturing investment credit)，估計價值達 240 億美元；另有 15 億美元將用於建立「公共無線供應鏈創新基金」(Public Wireless Supply Chain Innovation Fund)，以促進行動寬頻市場的無線技術發展 (CHIPS and Science Act, 2022, §§ 106-107)。拜登政府預期這些激勵措施將能確保國內晶片供應穩定，並為美國本土創造數以萬計的建築業工作崗位、數以千計的製造業工作崗位和數千億美元的私人投資 (White House, 2022a)。總計 527 億美元的財政援助資金將流向四個基金：

1. 五年內撥款 500 億美元成立「激勵美國半導體生產基金」(Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America Fund, CHIPS for America Fund)，並由商務部管理執行：
 - (1) 分配 390 億美元用於建設半導體製造設施，通過提供補助金和貸款擔保等形式吸引更多半導體公司在美國設廠，激勵本土製造業發展，其中 20 億美元專門用於生產汽車和國防系統所需之成熟製程晶片、60 億美元用於直接貸款和貸款擔保的成本。
 - (2) 分配 110 億美元用於執行「晶片研發計畫」(CHIPS Research and Development programs)，投入半導體生產、製造設備與先進封裝技術研發、人才培育等，包含建立美國國家半導體技術中心 (National Semiconductor Technology Center, NSTC)、國家先進封裝製造計畫 (National Advanced Packaging Manufacturing Program, NAPMP)、資助美國晶片製造研究所 (CHIPS Manufacturing USA Institute)、晶片量測計畫 (CHIPS Metrology Program) 等等。

- 
2. 五年內撥款 20 億美元成立「國防基金」(CHIPS for America Defense Fund)，由國防部管理執行，用以促進國防應用相關的半導體研發與生產，包含以公私立合作方式加強大學、實驗室與工廠之間的連結，形成讓半導體技術能從實驗研究過渡至規模化量產的全國性微電子共享網路，惟該資金不得用於建造設施。
 3. 五年內撥款 5 億美元成立「國際科技安全與創新基金」(CHIPS for America International Technology Security and Innovation Fund)，由國務院與美國國際開發署 (USAID)、美國進出口銀行 (Export-Import Bank) 和美國國際開發金融公司 (United States International Development Finance Corporation) 協調運用，用以提升國際資通訊技術安全和強化半導體供應鏈管理，目標包含支持安全可信的電信技術發展與應用、確保半導體供應鏈安全、推動其他新興技術等。
 4. 五年內撥款 2 億美元成立「勞動力與教育基金」(CHIPS for America Workforce and Education Fund)，由國家科學基金會 (National Science Foundation, NSF) 管理使用，作為執行微電子領域勞動力發展計劃的教育基金，以促進高技能勞動力增長 (CHIPS and Science Act, 2022, § 102；曾耀民、陳淑敏，2022，頁 24-27；黃禾田、李淳，2022，頁 180-181)。

B 部分《研究、發展、競爭和創新法案》則規劃於五年內提供超過 1700 億美元用以促進美國的科學研究，其中較大筆的資金分配與撥款對象包含：

1. 能源部與轄下各類科學辦公室預計獲得 680 億美元撥款，用以支持與能源科學、生物環境、先進科學運算、核子物理、聚變能源、加速器研發、儀器與設備等等研究計畫；
2. 國家標準暨技術研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 預計獲得 96.8 億美元撥款，用於各類測量與計量研究、網路與軟體安全研究、數位身分管理研究、生物識別研究、人工智慧開發、技術標準制定、製造業擴展合作計畫 (Hollings Manufacturing Extension Partnership)、美國製造計畫 (Manufacturing USA Program) 等；
3. 國家科學基金會 (National Science Foundation, NSF) 預計獲 810 億美元撥款，用於支持國內 STEM 教育與勞動力培訓，以及資助相關研究活動；

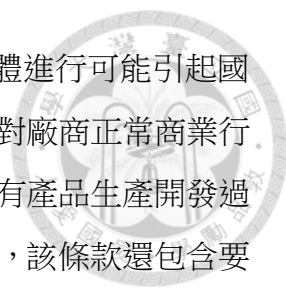
4. 商務部預計獲得 110 億美元，將用於在全國各地建立區域創新和技術中心，匯集地方政府、企業工會以及社區高等教育機構等產官學資源，增加就業機會與創新能力，並消弭區域發展不均（曾耀民、陳淑敏，2022）。

《晶片與科學法案》除了為美國在科技和創新領域規劃中長期戰略方向，其通過也標誌著美國兩黨在應對中國挑戰方面已達成共識。該法案指明了中國與北韓、俄羅斯、伊朗等國都是美國國務院認定為敏感的「受關注國家」（foreign country of concern）（CHIPS and Science Act, 2022, § 10638）。法案當中還有其他數條與中國相關的內容，包含要求獲得此法案財政援助的業者在十年內不能在中國或其他受關注國境內擴充、建置 28 奈米以下製程的先進半導體產能（即後文提到的「護欄條款」）（CHIPS and Science Act, 2022, § 103）；在美國製造計畫（Manufacturing USA Program）中，須對來自敏感國家的外資企業予以審查，中國公司未經豁免批准不得參與（CHIPS and Science Act, 2022, § 10263）；停止向與孔子學院簽訂協議的高等教育機構撥付款項，除非協議內容符合法案要求的豁免條款（例如明文保障學術自由、禁止外國法律干涉），並要求這些機構每年提供摘要文件揭露來自外國的財務支援（CHIPS and Science Act, 2022, §§ 10339A-10339B）。

2023 年 9 月美國商務部進一步就《晶片與科學法案》公布「防止不當利用晶片法補助」（Preventing the Improper Use of CHIPS Act Funding）之最終規則與「國家安全護欄條款」（national security guardrails），該規則於 2023 年 11 月 24 日生效。

護欄條款的核心方向有二。其一是擴產限制：禁止接受該法案補助的業者於十年內在受關注國家境內實質性擴張半導體製造能力，並明確定義「實質性擴張」的標準，例如透過實質擴建（material expansion）使現有設施產能提高 5%，或是透過重大整修（significant renovations）改造空間使現有設施產能提高 10%。但若受補助業者在受關注國境內以現有設施生產成熟製程的傳統半導體（legacy semiconductor）⁷⁰，或是在受關注國境內新建設施生產傳統半導體供應於受關注國者，則不在此限。

⁷⁰ 在 2023 年 9 月公布之「防止不當利用晶片法補助」（Preventing the Improper Use of CHIPS Act Funding）最終規則中，「傳統半導體」（legacy semiconductor）包含直徑 8 英吋（或 200 毫米）及更小的矽晶圓、直徑 6 英吋（或 150 毫米）及更小的化合物晶圓、28 奈米及以上的數位或類比邏輯晶片、18 奈米以上的 DRAM 記憶體、128 層以下的 NAND 記憶體、不使用新興記憶體技術的快閃記憶體、不採用先進 3D 整合封裝的半導體或在其他公告中指明的半導體（National Institute of Standards and Technology, 2023b）。



其二是科研限制：禁止受補助業者與有國安疑慮的外國實體進行可能引起國安問題的聯合研究或技術授權工作，但在無國安疑慮下，為降低對廠商正常商業行為之影響，部分情形不受此限，例如共同參與國際標準制定、現有產品生產開發過程之分工溝通、為合作廠商提供保固與客戶服務等等。除此之外，該條款還包含要求補助資金僅能用於在美國境內建造或改善半導體生產設施，不得用於發放股利或實施庫藏股，否則美國政府可以向違反護欄條款者收回援助資金（National Institute of Standards and Technology, 2023a, 2023b；方華香，2024）。護欄條款旨在防止聯邦補助資金流向可能對美國國安構成威脅的敏感國家與外國實體，以及避免被用於補助受關注國家生產傳統半導體後外銷他國，以確保資金使用確實符合美國的國家安全與經濟利益，然而這些條款也被認為是美國試圖發揮「長臂管轄」，擴大其法律監管的海外影響力。

（三）第三階段：限制美國企業在中國投資三大敏感技術

2023 年 8 月 9 日拜登總統簽署第 14105 號行政命令宣布海外投資審查新制，將美國投資人對中國的投資限制範圍從涉軍企業擴展到涉及三大敏感技術領域的公司。該命令指示國務院、國防部、商務部、能源部和國土安全部等相關部門討論、辨識出「涉及國家安全技術和產品」的交易項目，並禁止美國人直接或間接與「受監管外國人士」（covered foreign persons）以及「受關注國家」（country of concern）所管轄的個人與實體就上述項目進行境外投資交易（包含股權收購或轉換、綠地投資、企業擴張、合資企業、債務融資等等），以防止關鍵技術流出，使受關注國家提升軍事、情報、監視和網路能力，實現軍事主導地位，對美國構成重大安全風險（Executive Order No. 14105, 2023）。

根據 14105 號行政命令，「涉及國家安全的技術和產品」是指半導體與微電子、量子資訊技術和人工智慧等三大領域的技術和產品；「受關注國家」則明列是中華人民共和國、香港特別行政區與澳門特別行政區，這些國家與地區被認定正在實施全面、長期的戰略以獲得敏感技術和對其情報、監視或網路能力發展至關重要的產品，將對美國國安構成威脅（Executive Office of the President, 2023b）。將香港、澳門與中國同列為待遇相同的投資管制與出口管制目的地，不僅為阻止中國國內轉移行為，也讓香港即便能招攬國際人才也無法獲得美國資金投入研發和製造，外資也可能受美國投資禁令影響而離開香港，使香港的經濟與創新科技發展受挫。

此海外投資審查新制還規劃將涉及「受關注實體」的投資審查分為「須通報交易」(notifiable transactions)與「被禁止交易」(prohibited transactions)兩類，前者是指可能對美國國家安全構成威脅之交易，財政部不會對所有美國對外投資案件進行逐案審查，但交易方應主動向美國財政部通報交易資訊；後者則是禁止美國投資人直接或間接參與⁷¹可能顯著提升受關注國軍事情報能力、對美國國家安全構成嚴重威脅之交易。此外，與半導體管制禁令相互配合，此審查規定所指涉之「美國人」包含具美國公民或永久居民身分、居住於美國境內人士、基於美國司法管轄權內設立的實體及其海外分支機構等等，在此定義下，不僅是設立於美國境內的基金投資機構、受美國個人與實體控制的境外投資機構或企業皆須遵守此投資審查新制 (Office of Investment Security, 2023；聶廷榛，2023)。

拜登總統透過第 14105 號行政命令授權財政部與相關部門諮商後制定正式法規，確認列管項目與交易範圍、通報程序、違規罰則等等。在財政部針對該命令相繼發布擬制法規預先通知 (Advance Notice of Proposed Rulemaking, ANPRM) 與擬制法規通知 (Notice of Proposed Rulemaking, NPRM) 蒐集公眾意見後，2024 年 10 月 28 日財政部公布了此海外投資審查新制的最終規則，並設立「境外投資安全計畫」(Outbound Investment Security Program) 正式實施 14105 號行政命令 (該命令也被稱為「Outbound Order」)，該最終規則於 2025 年 1 月 2 日生效，並由財政部投資安全辦公室轄下新設「全球交易辦公室」(Office of Global Transactions) 管理該計畫。在最終規則中，除了定義實施該計畫的關鍵術語與條文細節，也明確列出了被監管和禁止美國人海外投資交易的三大類敏感技術和產品內容 (見表 24)，以及排除於規則之外的「例外交易」(excepted transaction) 和豁免條件 (U.S. Department of the Treasury, 2024d, 2024e)。

⁷¹ 禁止「間接」參與的情況包含在「已知」或「可以預期未來」情況下所指導的交易行為，以及由美國個人或實體所控制的外國實體進行交易。

表 24 美國實體被限制境外投資的三大類敏感技術產業與交易內容

半導體與微電子	
禁止交易	● 開發或生產 ○ 用於積體電路或先進封裝設計的 EDA 軟體 ○ 用於批量製造積體電路、晶圓或基板與先進封裝的設備 ○ 專門用於 EUV 曝光設備的相關商品、材料、軟體與技術 ● 設計符合或超過出口管制清單性能參數規定的積體電路產品 ● 製造以下類型的積體電路： ○ 使用非平面晶體管架構（non-planar transistor architecture）或 16/14 奈米及以下製程技術的邏輯晶片 ○ 128 層及以上的 NAND 快閃記憶體晶片 ○ 18 奈米及以下的 DRAM 晶片 ○ 使用鎵基化合物半導體、石墨烯晶體管或碳奈米管製造的積體電路 ○ 設計用於 4.5 克耳文（K）或更低溫度運行的積體電路 ● 開發、安裝、銷售或生產由先進積體電路組成的超級電腦
須申報交易	不在上述禁止交易範圍內，但涉及成熟製程的積體電路設計、製造與封裝的投資皆為須申報
量子資訊技術	
禁止交易	● 開發或生產量子電腦的關鍵零組件，包含冷卻裝置 ● 設計開發或生產 ○ 用於軍事、政府情報或大規模監視的量子感測平台（quantum sensing platform） ○ 用於破解或攻擊加密技術、或其他應用於軍事、政府情報或大規模監視的量子網絡（quantum network）或量子通訊系統（quantum communication system）
人工智慧系統	
禁止交易	● 開發用於軍事、政府情報或大規模監視的 AI 系統 ● 開發系統訓練計算量超過 10^{24}（基於生物序列數據）或 10^{25} 次（整數或浮點計算）的 AI 系統
須申報交易	● 不在上述禁止交易範圍內，但 AI 系統涉及以下描述者： ○ 用於軍事、政府情報或大規模監視 ○ 受管制的外國實體意圖用於網路安全應用、數位鑑識工具（digital forensics tools）、滲透測試工具（penetration testing tools）、機器人系統控制等 ○ 訓練計算量超過 10^{23} 次計算操作

表格由筆者整理繪製。資料來源：“Additional Information on Final Regulations Implementing Outbound Investment Executive Order (E.O. 14105),” by U.S. Department of the Treasury, 2024e.

三、川普重返白宮後延續對中投資限制

2024 年 12 月 20 日，美國國會通過一項臨時撥款法案——「2025 美國救濟法案」(American Relief Act, 2025)，讓聯邦政府獲得足以持續運作到 2025 年 3 月中旬的資金，避免政府陷入停擺。根據報導，該法案是經過刪減調整的第三版，被刪除的內容包含議員加薪、藥品福利管理作業改革、九一一醫療基金、對中國投資限制以及總統當選人川普要求的凍結國家債務上限兩年（以便國會日後更容易通過巨額減稅方案）等，留下的法案重點內容包含將政府運作資金延長至 2025 年 3 月 14 日、為災民提供 1000 億美元救災資金、為農民提供 100 億美元經濟援助並將《2018 年農業改善法案》(Agriculture Improvement Act of 2018) 延長一年、擴展聯邦醫療保險、公共衛生計劃與資金支持等等（張婷等人，2024；蕭麗君，2024）。

此法案協商過程一波三折、備受爭議的原因之一在於共和黨籍眾議院議長 Mike Johnson 原先納入臨時撥款法案的「2024 年全面對外投資國家安全法案」(Comprehensive Outbound Investment National Security Act of 2024, COINS Act) 在最終通過的版本中遭到刪除，而部分支持該法案的議員批評這是因遭到總統當選人川普及其顧問馬斯克 (Elon Musk) 高調的政治干預而受阻。「2024 年全面對外投資國家安全法案」是共和黨在參、眾兩院主導推動的法案，內容旨在制定明確的護欄來保護美國人的儲蓄和退休基金，並授權行政部門限制企業赴中國投資先進半導體、AI、超級電腦與高效能運算、超音速導彈、量子資訊科學等等關鍵領域，防止美國為中共的技術發展、軍事現代化和人權侵犯行為提供資金 (The Select Committee on the CCP, 2024)。而馬斯克的政治干預被解讀為維護其公司特斯拉 (Tesla) 在中國的重大投資與商業利益，也令外界擔心馬斯克作為川普高度信任的幕僚，其友中立場可能影響川普在投資議題上對中國的態度 (石秀娟，2024)。

2025 年 2 月中，路透社報導美國國會將重新提出限制對中投資法案 (Martina & Alper, 2025)。2 月 21 日川普總統簽署了一份標題為「美國優先投資政策」(America First Investment Policy) 的投資備忘錄，同時指示了「嚴格審查中資」與「限制對中投資」兩大方向。在加強對中資審查方面，CFIUS 被要求持續加強、限制中國在敏感技術（尤其是人工智慧）、關鍵基礎建設、醫療保健、農業、能源、原料和其他戰略領域的對美投資，並擴大 CFIUS 對「新興與基礎技術」的審查職權範圍，禁止與中國有關聯的人士收購美國關鍵企業與資產，包含敏感設施附近的房地產

與農田。此外，美國也欲建立「快速通道」，包括加快對超過 10 億美元投資案件的环境審查、停止為來自對手國家（中國、古巴、伊朗、北韓、俄羅斯、委內瑞拉）的投資審查案件提供緩解協議、增加來自特定盟友的外資，甚至要求外國投資者避免與美國的外國對手合作（White House, 2025）。

在限制對中投資方面，該投資備忘錄指示將限制退休基金、大學捐贈基金和其他有限合夥投資人（limited-partner investors）的對中投資，受投資限制的中國產業範圍擴及半導體、人工智慧、量子、生物技術、極音速（hypersonics）、航空航天、先進製造、定向能量（directed energy）等中國軍民融合策略涉及領域，受限制的投資類型也將擴大，預計包含私募股權、風險資本、綠地投資、企業擴張、公開交易證券投資等。美國政府也正考慮暫停或終止《1984 年美國-中國所得稅公約》（United States-The People's Republic of China Income Tax Convention），取消中國人在美收入的所得稅優惠稅率（White House, 2025）。

儘管限制對中投資法案最終因政治因素而未能在拜登任內順利過關，但從川普上任後發布的投資備忘錄來看，川普會對中國維持強硬路線，持續加強限制對中投資與嚴格審查中資的政策。這顯示無論是民主黨或共和黨執政，美國對中國的投資審查與限制已成為長期趨勢，且可能隨時因地緣政治競爭加劇而進一步收緊，對美中經濟關係及全球資本流動產生深遠影響。

第三節 聯合盟友加強圍堵力道

如第三章對半導體產業的介紹中所提到，半導體產業在數十年的全球化發展下已形成高度專業化分工的跨國供應鏈，而美國在供應鏈中的最大優勢在於掌握上游多個關鍵技術環節，包括用於設計先進晶片的 EDA 軟體與 IP core、半導體製造技術與生產設備供應。然而，美國國內的晶圓代工產能不足且先進封裝技術落後，導致其設計出來的先進晶片仍需要仰賴臺灣、韓國以及東南亞的代工廠完成後續的製造與封裝程序，除此之外，美國在某些關鍵供應鏈環節仍須仰賴盟國提供，例如荷蘭與日本壟斷了生產先進晶片所需之 EUV 與 DUV 曝光設備、工具、光阻劑、光罩材料等等。儘管美國已開始透過《晶片與科學法案》加強本土半導體製造能力，但在圍堵中國半導體產業發展一事上仍難憑一己之力，而必須仰賴盟友合作。美國

為此積極拉攏其餘四大供應鏈玩家——臺灣、日本、韓國與歐盟，相關行動包含與日本、荷蘭共組「半導體出口管制聯盟」，與日本、韓國、臺灣組成「晶片四方聯盟」(Chip 4/ Fab 4)，以及與歐盟成立「美歐貿易和技術委員會」(U.S.-E.U. Trade and Technology Council, TTC)，試圖掌握未來新興技術的標準制定主導權。

壹、美、日、荷共組半導體設備出口管制聯盟

荷蘭與日本在半導體供應鏈中的重要性體現於其壟斷了微影製程 (lithography) 環節所需之製造設備與材料。例如，中國目前還無法生產任何先進的曝光設備如 EUV 掃描儀 (extreme ultraviolet scanner)、氟化氫浸沒式掃描儀 (argon fluoride immersion scanner)⁷²，這些設備由荷蘭 ASML 與日本尼康 (Nikon) 獨家供應；中國目前也無法自行生產微影成像技術 (photolithography) 所需之光罩對準器 (mask aligner)、使用電子束、雷射和離子束的無光罩曝光技術 (maskless lithography) 設備、壓印微影 (imprint lithography) 設備以及光罩檢查和修復設備 (photomask inspection & repair)，這些需仰賴德國、日本、奧地利、美國、瑞典等國家提供。此外，在沉積、快速熱處理、刻蝕和清潔、化學機械研磨、製程控制、測試和包裝等各階段，美國與日本都是主要的生產設備或材料供應商，也控制了用於 10 奈米以下節點的先進原子層刻蝕技術 (atomic layer etching, ALE) 工具以及先進邏輯晶片所需的超高劑量離子植入設備 (ultra high dose doping implanter) (Khan et al., 2021)。

根據美國 BIS 的評估報告，美國擁有全球一半的半導體設備市場份額，而美國、荷蘭與日本三國掌握了約九成的市場 (Office of Technology Evaluation, 2023, p. 42)，因此在 2022 年 10 月美國發布第一波半導體禁令限制對中出口的半導體產品、設備與技術項目後，美國政府也積極說服荷蘭、日本等盟友加入對中出口管制行列，共同限制對中出口 16/14 奈米以下半導體生產設備與技術，以確保中國無法繞過美國禁令、從第三國獲得先進製造設備。隔年日本、荷蘭陸續加入對中出口管制的行列，使美國圍堵中國半導體產業發展的防線更加完整。

⁷² EUV 掃描儀是量產 5 奈米節點晶片的必需設備、ArF 浸潤式掃描儀則是在 45 奈米以下節點製程佔主導地位，EUV 掃描儀和 ArF 浸潤式掃描儀結合起來則可以量產 28~7 奈米節點晶片，而荷蘭 (ASML) 與日本 (Nikon) 是這些設備的獨家供應商 (Khan et al., 2021, p. 33)。

一、日本

日本是最先公開回應美國的盟友。2023 年 3 月日本政府宣布同年 7 月 23 日將實施新規定，以根據《瓦聖納協定》、防止敏感技術流向軍事用途為由，對生產電路線寬 14-10 奈米以下半導體產品所需之 23 種高階半導體設備實施出口管制（包含 11 項薄膜沉積設備、4 項微影曝光設備、3 項清洗設備、3 項刻蝕設備、1 項熱處理設備、1 項測試設備），除了美國、臺灣、新加坡等 42 個友好國家與地區外，包含中國在內的其餘國家皆須個別申請出口許可。

時隔一年後，2024 年 7 月日本經濟產業省宣布增列出口管制清單（2024 年 9 月 8 日生效），將涉及半導體、量子運算相關的五項產品或技術列入出口管制，包含量子電腦、用於量子電腦的低溫 CMOS 電路（low-temperature complementary metal oxide semiconductor circuits）、用於設計和製造 GAAFET 架構積體電路的技術、在半導體製造階段用於分析奈米粒子影像的掃描電子顯微鏡（scanning electron microscopes）、用於上述顯微鏡技術並轉換影像數據的生成多層 GDS II（Graphic Data System II）數據的軟體程式（Hasegawa et al., 2024；日本國經濟產業省，2024；林卓元，2024）。

日本此次修訂的出口管制清單項目呼應了 BIS 在 2024 年 9 月宣布「與美國盟友就量子運算、半導體製造和其他先進技術達成的廣泛技術協議內容」（BIS, 2024c）。除此之外，2024 年 4 月日本經濟產業省產業構造審議會（Industrial Structure Council）之下所設「安全保障貿易管理小委員會」（Subcommittee on Security Export Control Policy）發布的期中報告討論了日本現行出口管制制度的修法方向，也回應了美國敦促日本加強出口管制措施的訴求。例如對於常規武器（conventional weapon）出口，原先日本廠商在申請出口許可時僅需確認貨品出口終端非流向聯合國武器禁運國或非用於軍事活動，未來將改成只要出口對象不是被認定為友好的「A 組國家」⁷³便需要出口許可證。經濟產業省也將與「A 組國家」建立更密切的情報共享與執法合作以防止規避出口管制的轉口交易，針對軍民兩用技術的交易與轉移事項與出口商建立事前通報與對話機制，以及根據安全風險程度針對半

⁷³ 在日本出口管制規範中，「A 組國家」包含阿根廷、澳洲、奧地利、比利時、保加利亞、加拿大、捷克、丹麥、芬蘭、法國、德國、希臘、匈牙利、愛爾蘭、義大利、南韓、盧森堡、荷蘭、紐西蘭、挪威、波蘭、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、英國、美國等（Matake et al., 2024, p. 2）。

導體製造零件、機械工具和武器設備等建立更有效的出口管制架構等(Matake et al., 2024；林卓元，2024)。

2025 年 1 月 31 日，日本政府再次將跟進美國、宣布擴大出口管制措施，包含製造量子電腦所需之先進晶片、曝光設備和低溫冷卻設備等產品將被納入出口管制商品清單，以防止這些產品被應用於武器開發和軍事情報活動。新規定預計於 2025 年 5 月生效。此外，日本政府也在 2 月 5 日將 42 間新實體列入最終用途管制清單，目前已有約 110 家中國企業、研究機構等實體列於名單上(Negishi, 2025)。

二、荷蘭

荷蘭則是在 2023 年 6 月宣布跟進美國的出口管制措施，並於同年 9 月 1 日開始對半導體製造設備實施出口管制，理由是防止這些產品被用於開發先進軍事武器以及可能因此衍生之公共安全風險。受管制項目包含 EUV 薄膜(EUV pellicles)、EUV 光罩生產設備、用於生產 7 奈米以下晶片的 EUV 曝光機⁷⁴、高階 DUV 曝光機(解析度 $\leq 45\text{nm}$ 、疊對精度 $\leq 1.5\text{nm}$)、原子層沉積(ALD)設備，以及使用上述設備所需之材料、軟體與技術等等。但這些項目尚未被列入歐盟層級的「2021/821 兩用管制規定」(EU Dual-Use Regulation 2021/821)，而是荷蘭政府自訂的單邊管制項目(Ministerie van Buitenlandse Zaken, 2023; Christiaans & Amberg, 2023)。

在 2023 年 6 月公告時，荷蘭政府原先仍允許 ASML 可以在 2024 年 1 月前持續交付設備予在管制措施生效前獲得出口許可的廠商。然而，2023 年 10 月美國政府在第二波半導體禁令中對 EUV 和 DUV 曝光設備(解析度 ≤ 45 奈米、疊對精度 ≤ 2.4 奈米)和專門為其設計的零件新增 0%微量規則限制，即，只要產品中含有任何美國技術和零件就會受到美國出口管制政策約束，導致 ASML 連中階 DUV 曝光設備(型號 NXT:1980Di、NXT:1970Di)都無法再向中國出口，荷蘭政府也吊銷了先前為部分高階 DUV 設備核發的出口許可，提前終止 ASML 向中國客戶交付訂單。在此限制下，部分中國晶圓廠可從 ASML 購得的最新型 DUV 曝光機是 2013 年推出的 NXT:1965Ci，與 2025 年 ASML 開始出貨的 NXT:2150i 相差六代(中央社，2024；林志佳，2024)。

⁷⁴ 在遵守《瓦聖納協定》和川普政府的壓力下，荷蘭從未向中國交付過用於生產 7 奈米以下節點晶片的 EUV 曝光設備。



2024 年 9 月荷蘭政府宣布擴大對先進半導體製造設備的出口管制措施，使荷蘭與美國保持一致的出口管制標準，並將兩款中階 DUV 浸潤式曝光設備（型號 NXT:1980Di、NXT:1970Di）正式列管，從美國手中收回對這些產品的出口控制權，此後 ASML 需向荷蘭政府而非美國政府申請出口許可證（Ministerie van Buitenlandse Zaken, 2024a; Shilov, 2024；美國之音，2024）。同年 10 月，荷蘭政府針對軍民兩用產品與技術項目建立新的貿易管制規定，受管制項目涉及與量子電腦、量子測量、晶片製造、金屬積層製造等相關的產品與軟體技術，非經申請並獲允許前不得出口、代理、技術援助、轉口和轉讓至歐盟以外的國家（Ministerie van Buitenlandse Zaken, 2024b; Christiaans et al., 2024）。2025 年 1 月底，荷蘭政府宣布第二次更新半導體出口管制措施，用於製造先進半導體的特定測量和檢測設備與軟體技術將於 2025 年 4 月 1 日起被納入出口管制（Ministerie van Buitenlandse Zaken, 2025; Ministry of Foreign Affairs, 2025）。

貳、美、日、臺、韓共組晶片四方聯盟

一、晶片四方聯盟成員涵蓋上中下游供應鏈

有鑑於 COVID-19 大流行期間晶片短缺問題嚴重，美國總統拜登於 2022 年 3 月邀請日本、臺灣、韓國與美國共組「晶片四方聯盟」（Chip 4/ Fab 4），目標是建立「民主半導體供應鏈」，希望整合四個國家的半導體生產資源、達成優勢互補，並在建立生產供應鏈預警系統、提升供應鏈安全與韌性的同時，也減少對中國製晶片的依賴，隱含著供應鏈「去中化」的目的。

美國不僅是基於民主價值的理由邀請這些亞洲盟友，還因為這些國家是涵蓋全球半導體供應鏈上中下游的最重要玩家，全球半導體收入超過 80% 流向總部位於此四國的企業（Office of Technology Evaluation, 2023, p. 21）。美國本身在 IC 產品設計與技術研發方面居於領導地位，擁有全球四分之三的無晶圓廠半導體設計公司營收與超過四成的 IDM 企業營收，除了有英特爾、輝達、高通、蘋果等知名 CPU、GPU 設計企業，還有益華電腦、新思科技等為全球提供大部分 EDA 軟體與 IP core 的矽智財公司，以及應用材料、科林、科磊等全球前五大半導體製造設備供應商（Office of Technology Evaluation, 2023, pp. 15-17）。

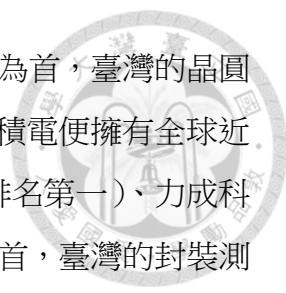
日本在半導體材料、製造設備、光電子（optoelectronic）、感測器（sensor）和



離散元件設計活動 (discrete design activity) 等方面具備強大實力，能提供半導體生產各階段所需設備及材料。在半導體設備方面，日本的全球市佔率為 31%，僅次於美國 (市佔率 35%)，其中東京威力科創 (TEL)、愛德萬測試 (Advantest)、迪恩士半導體 (SCREEN)、日立先端科技 (Hitachi High-Tech) 是在全球營收排名前十的日本半導體設備供應商 (陳怡樺，2023)；索尼 (Sony) 和韓國三星掌握了一半以上的圖像感測器市場；佳能 (Canon)、尼康 (Nikon) 與荷蘭 ASML 一起壟斷了曝光設備市場；日本也是最先進 EUV 和 ArF 浸潤式微影技術 (immersion lithography) 所需光阻處理工具的唯一供應國。在半導體材料方面，日本則坐擁 48% 的高市佔率，遠高於其他國家，例如全球 90% 的光阻劑來自富士軟片 (Fujifilm)、東京應化工業 (Tokyo Ohka Kogyo, TOK)、Kayaku Advanced Material (日本化藥旗下子公司) 和 JSR Micro (日本合成橡膠旗下子公司) 等四間日本廠商，全球 50% 以上矽晶圓由信越化學 (Shin-Etsu Chemical) 和勝高 (SUMCO) 提供，富士底片控股等三間日本企業亦佔據了全球 48% 的化學機械研磨液市佔率 (Khan et al., 2021; Office of Technology Evaluation, 2023; 藤生貴子、岡田江美，2024)。在特殊應用晶片製造方面，日本也佔有一席之地，例如日本在功率半導體方面擁有全球約四分之一產能，知名企業索尼在 CMOS 圖像感測器市場市佔率排名第一、鎧俠 (Kioxia) 是全球前五大 NAND 快閃記憶體製造商、瑞薩電子 (Renesas) 是全球前五大微控制器與車用晶片供應商等等 (永豐銀行，2023)。

韓國則是專精於晶片製造，尤其是記憶體 (包含 NAND Flash、DRAM 和 HBM) 與小於 10 奈米的先進邏輯晶片。韓國的三星 (記憶體) 和 SK 海力士分別是僅次於美國英特爾、世界排名第二與第三的 IDM 企業，兩者擁有超過全球一半的記憶體市場；三星 (積體電路代工) 也是僅次於台積電、排名世界第二的晶圓代工廠，全球市佔率約佔一成。受益於近年 AI 熱潮帶動記憶體需求，韓國市佔第一的 OSAT 企業 Hana Micron 在 2024 年全球委外封測領域營收排名第八，首次進入前十名榜單 (芯思想，2025)。韓國也有能力生產包含光阻處理、沉積、快速熱處理、蝕刻和清潔、化學機械研磨、製程控制、測試等環節所需之部分設備、工具與材料 (晶圓、光罩、包材等) (Khan et al., 2021; Office of Technology Evaluation, 2023)。

臺灣擁有全球最先進的晶圓代工製造技術與封裝產業。根據 2024 年臺灣半導體產業協會 (Taiwan Semiconductor Industry Association, TSIA) 以及 2025 年調研機構 TrendForce 的報告，在晶圓代工領域，以台積電 (2024 年全球營收排名第一)、



聯電（排名第四）、世界先進（排名第八）、力積電（排名第十）為首，臺灣的晶圓製造產業（共 15 間公司）在全球市佔率超過 75%，其中光是台積電便擁有全球近 65% 的市佔率；在封測領域，以日月光控股（2024 年全球營收排名第一）、力成科技（排名第五）、京元電（排名第九）、南茂科技（排名第十）為首，臺灣的封裝測試產業（共 36 間公司）擁有超過五成的全球市佔率，其中日月光的封測產能在全球市佔率超過 45%；在 IC 設計領域，以聯發科（2024 年全球營收排名第五）、瑞昱（排名第七）與聯詠（排名第八）為首，臺灣的 IC 設計產業（超過 250 間公司）在全球擁有約 20% 市佔率（Taiwan Semiconductor Industry Association, 2024；TrendForce, 2025c, 2025d；童振源，2025）。除此之外，臺灣材料廠環球晶圓是全球第三大矽晶圓供應商，市佔率約 15-20%，僅次於日本信越化學與勝高。臺灣在先進製程方面尤為專精，目前全球只有台積電、三星進入大規模量產五奈米與三奈米以下晶片，兩間企業也都預計在 2025 年下半年開始量產兩奈米晶片（Atkinson，2024），但台積電以其品質穩定與高良率著稱，配合其研發的先進封裝技術「CoWoS」⁷⁵，使其可以以市場先行者之勢優先獲得大廠訂單和高市佔率。

二、晶片四方聯盟合作進展緩慢

可惜的是，Chip 4 目前仍只是一個非正式的國際聯盟。回顧拜登政府提議組建 Chip 4 聯盟至今的新聞，只有美國在臺協會（American Institute in Taiwan, AIT）主持的兩次會議獲得公開報導，分別是 2022 年 9 月 28 日舉行的局長級官員預備會議以及 2023 年 2 月 16 日舉辦的資深官員視訊會議，會議聚焦於設計「早期預警機制」以提升供應鏈韌性。在 2023 年之後再無相關會議消息，雖無法得知四國政府間是否舉行其他閉門會議，但或許這也意味著 Chip 4 的進展不如預期。而 Chip 4 面臨的挑戰主要源於成員國之間政治關係存在隔閡、對中國的顧慮，以及在技術保護與產業競爭上的利益衝突。

⁷⁵ CoWoS 全稱為「Chip-on-Wafer-on-Substrate」，是指將功能各異的小晶片（chiplet）水平排列或上下堆疊、整合封裝於同一塊中介層（interposer）與基板（substrate）上的技術，該技術可實現異質整合，有助於縮小晶片模組尺寸、提升傳輸效率和降低功耗。傳統的單晶片設計是將所有功能集中於單一裸晶（die）上，但複雜的功能需求會令晶片面積難以縮小，且增加製造成本，為因應這些挑戰，業界逐漸轉向設計 Chiplet 架構，將不同功能模組拆分為多個微小裸晶，再透過先進封裝技術進行整合。隨著晶片微縮製程尺寸逼近物理極限，以先進封裝技術改善封裝架構被視為提升晶片效能表現的新方向。

（一）日、韓政治關係隔閡

日本與南韓因殖民歷史賠償問題而長期存在緊張的政治關係。兩國近年最大的衝突是 2019 至 2023 年間的貿易戰，衝突導火線源自 2018 年底韓國法院判決日本企業需向二戰時期被日本強制勞役的韓國人進行賠償，但日本政府不予接受，導致南韓國內民族主義情緒高漲，甚至發起抵制日貨行動。日本政府於 2019 年 8 月將韓國從貿易優惠「白名單」中移除，並針對智慧型手機、顯示螢幕、晶片等韓國重要產業所需之材料出台了出口限制，南韓也將日本移出「出口白名單」作為反制，甚至考慮以不續簽日韓軍事情報保護協定（GSOMIA）來施壓日本，只是後來因美國反對而作罷（王聖閔，2020）。儘管日本方面聲稱是因為韓國政府對敏感材料「管理不當」，涉嫌違反聯合國禁止向北韓出口特定材料和戰略物資的規定，但外界仍認為日本政府此舉與韓國法院的判決有關（BBC 中文網，2019b）。

當韓國被日本從白名單中刪除時，意味著有超過 1100 種產品將可能受到日本出口管理單位的加強審查，且審查期可能長達 90 天。在這場日韓貿易戰中，三種製造半導體的關鍵化學材料尤其受到關注——用於半導體製造的光阻劑、高純度氟化氫（hydrogen fluoride），以及用於製造顯示器螢幕和 OLED 面板的氟聚醯亞胺（fluorinated polyimide）。日本供應了全球 90% 的光阻劑、氟聚醯亞胺以及 70% 的氟化氫，而韓國高達 90% 的光阻劑、氟聚醯亞胺，以及超過 40% 的氟化氫皆進口自日本（Ezell, 2020; Goodman, 2019）。

除了化學品，韓國的半導體產業所需的製造設備、零組件與材料也多仰賴外國提供。表 25 展示了 2019-2023 年間韓國半導體產業對外依存度超過 70% 的品項數量及進口國，這些產品的進口來源前三名依序是日本、中國（含香港）與美國，分別佔有 39%、28% 與 14.9%，尤其進口依存度高達 70% 的半導體製造設備與材料零件分別約有 57.9%、51.1% 仰賴日本提供⁷⁶（Jeong, 2024, pp. 7-8）。而半導體產業佔韓國出口貿易份額約 20~25%，因此日本對關鍵材料的出口管制不僅會阻礙韓國製造商後續的採購和生產進度，也會對韓國半導體產業價值超過千億美元的出口貿易以及韓國電子產品供應鏈產生影響（Jeong, 2024, p. 2）。

⁷⁶ 根據報告中提供的表格數據，2019-2023 年間韓國半導體產業對外依存度超過 70% 的進口品項共有 415 件，其中半導體製造設備品項總計 145 件，日本佔其中 84 件（佔比約 57.93%）；材料與零件品項總計 139 件，日本佔其中 71 件（佔比約 51.08%）（Jeong, 2024, p. 8）。

表 25 2019-2023 年韓國半導體產業對外依存度超過 70% 的品項類別、數量與進口來源

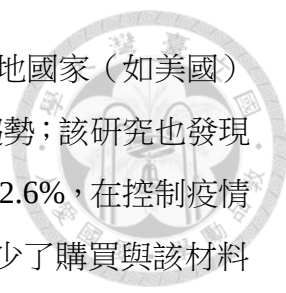
進口來源 項目類別	日本	中國 (含香港)	美國	臺灣	荷蘭	其他	總數 (件)	佔比 (%)
系統半導體	1	15	22	9	0	7	54	13%
光電元件與離散元件	5	25	0	10	0	5	45	10.8%
記憶體半導體	1	20	1	3	0	2	27	6.5%
矽晶圓	0	5	0	0	0	0	5	1.2%
半導體製造設備	84	17	14	5	9	16	145	34.9%
材料與零件	71	34	25	0	0	9	139	33.5%
總額	162	116	62	27	9	39	415	100%
進口依存度 (%)	39	28	14.9	6.5	2.2	9.4	100	

表格由筆者重新繪製。資料來源：“Analyzing South Korea’s Semiconductor Industry: Trade Dynamics and Global Position,” by H. Jeong, 2024, *World Economy Brief*, 14(8), p. 8.

註：各項目所含子分類請見前述報告資料附錄頁（Jeong, 2024, p. 17）。

美國也致力於消弭日、韓衝突，穩固美、日、韓三方關係。日韓貿易僵局在 2023 年 3 月之後緩和：2023 年 3 月 6 日南韓尹錫悅政府首先釋出善意，宣布不再要求日本企業賠償二戰徵用工，而是改由韓國行政安全部設立基金會代償，此舉在南韓國內引發部分反彈，但獲美國與日本正面回應；十日後尹錫悅總統訪問日本、與日本首相岸田文雄會晤破冰，會後日本確認解除對韓國的半導體原料出口限制，南韓也撤回先前向 WTO 提出的訴訟，這場貿易戰最終在日、韓互將彼此重新納入貿易白名單後落下帷幕（Choe, 2023；楚良一，2023）。在此過程中，美國雖未公開介入調解，但持續的三邊接觸為日韓雙方營造達成協議的政治環境（Cha & Johnstone, 2023）。2023 年 8 月時任美國總統拜登、日本首相岸田文雄以及韓國總統尹錫悅一同在大衛營（Camp David）舉行三邊領導人峰會，並在會後發表聯合聲明表示未來將定期進行高層磋商對話，就軍事演習、飛彈防禦、經濟安全、供應鏈彈性、打擊假訊息、新興技術等議題進行合作，開啟美日韓三邊夥伴關係並延續至今（2025 年）（U.S. Embassy & Consulates in Japan, 2023；U.S. Department of State, 2025）。

在日韓貿易戰發生前，2017 年南韓半導體材料自產率僅五成，且在光阻劑、高純度氟化氫的產量趨近於零（劉佩真，2019），因此在這場貿易戰中韓國是受影響較大的一方。日本經濟產業研究所（RIETI）的研究發現，受管制商品氟化氫因



此出現「迂迴貿易」(roundabout trade)的現象，即日本對第三地國家(如美國)的出口量增加，而韓國從相同第三地國家的進口量也呈現增加趨勢；該研究也發現韓國從荷蘭與德國進口的半導體製造設備分別減少了 54.7%和 72.6%，在控制疫情影響的變量下，研究者推測是因為無法獲得關鍵生產材料而減少了購買與該材料互補的製造設備。此外，在衝突期間，韓國也開始推動原料進口管道多元化、關鍵材料技術國產化、日本在韓子公司增加產能以規避出口管制、或將產能轉移至中國等應對策略 (Makioka & Zhang, 2023)。雖然尚無法完全擺脫日本在光阻劑和氟聚醯亞胺等材料上的掣肘，但南韓已開始推動「K-半導體戰略」，在國內建立完整的半導體產業生態系，也積極尋找其他材料供應來源，以降低對日本的進口依賴。

(二) 韓國對中國的顧慮

面對拜登組建聯盟的邀請時，南韓是態度謹慎、表態最晚的國家，原因在於南韓經濟高度仰賴中國市場，且在南北韓議題上也有賴於中國居中協調。中國是南韓最大的進出口貿易夥伴，從中國進口的關鍵原材料和中間產品對於南韓多個重要製造產業，如半導體、電動車電池、石化、鋼鐵等等至關重要。以 2023 年韓國半導體產業進口貿易為例，中國與香港佔韓國的進口總額達 26.3%(規模約 279.37 億美元)，但出口總額佔比卻將近 50%(約 654.28 億美元)，顯示南韓高度仰賴中國作為其半導體產品出口市場 (Jeong, 2024, p. 4)。

中國不僅是南韓最大的半導體產品銷售市場，更是韓國半導體製造業最大的海外工廠以及關鍵材料進口國。在半導體海外製造方面，韓國三星電子唯一在海外設立的 NAND 記憶體生產基地就座落於中國西安，該工廠產量佔三星企業的 NAND 總產量高達四成，也是全球 NAND 產能最大的工廠，貢獻全球 17%的 NAND 產能；SK 海力士在中國大連的工廠(2020 年收購自英特爾)則佔其 NAND 總產量約兩成，為全球貢獻了超過 9%的 NAND 產能。SK 海力士在中國無錫還設有 DRAM 製造廠，該工廠為 SK 海力士貢獻了超過四成的 DRAM 總產量，佔全球產能超過 13% (Trendforce, 2022b；敖國鋒等人，2023)。而在關鍵材料供應方面，中國也是南韓半導體原材料的最大供應國，且南韓對中國的進口依賴度持續上升。韓國進出口銀行海外經濟研究所 (Korea Eximbank Overseas Economic Research Institute) 在報告中指出，2022-2023 年間除了用於製造氫氟酸的螢石 (fluorite) 進口依賴度微幅下降，南韓對中國的矽、稀土、鎢、鎳、鎂、銻等半導體製造重要原

料的進口依賴度都上升，其中矽和鎢的依賴度約 75%，依賴度最低的鎳和鈦也超過 46% (Kim, 2024)。儘管韓國政府在日韓貿易戰期間積極推動多元化進口原料來源，疫情後全球半導體供應鏈也朝向多元化調整的趨勢，但這些數據仍展示了韓國半導體產業生產與銷售對中國的高度依賴。

另一方面，韓國的關鍵產業也面臨來自中國的激烈競爭。根據韓國《朝鮮日報》(The Chosun Daily) 報導，最近十年韓國和中國在石化業、半導體、顯示器、蓄電池、無線通訊設備、船舶、汽車、鋼鐵等八大關鍵產業的全球市佔率競爭中，除石化業以外七個領域中國的市佔率都已超過韓國且差距逐漸拉大，韓國石化產業雖仍有競爭力，但也面臨中國激進定價策略的挑戰 (The Chosunilbo, 2024)。其國內半導體產業不僅面臨人才與技術外流，螢幕面板產業也面臨來自中國的惡性競爭，使韓國失去了全球顯示器龍頭地位。儘管如此，韓國的總體經濟與產業供應鏈仍高度仰賴中國、難以輕易捨棄中國市場，因此美中競爭對於夾處其中的韓國政府與企業來說備感壓力。在 2022 年美國發布半導體出口管制禁令後，三星與 SK 海力士積極向美國政府爭取豁免許可，希望允許韓國企業的中國工廠能繼續獲得美國的半導體製造工具，以便繼續在中國生產晶片 (BIS, 2023a)。韓國政府面對美國邀請共組 Chip 4 一事上也抱持低調、謹慎的態度，一方面要降低中國的不滿、維持中國市場，另一方面也要避免美國進一步加強禁令導致韓國企業無法持續獲得美國的生產設備與技術支持。

(三) 成員國間技術競爭與利益衝突

Chip 4 成員之間的技術競爭與利益衝突可能也是 Chip 4 進展緩慢的主因之一。身為全球半導體技術的領導者，美國的戰略目標是透過管制中上游半導體設計軟體、技術和設備出口來對中國實施技術封鎖、限制其科技發展。為此，美國不僅限制本國企業對中國出口先進半導體產品、生產設備與軟體技術，更透過「微量成分規則」與「外國直接產品規則」要求使用美國技術或設備的外國企業遵守出口管制措施，但此舉也意味著要求其他國家的企業與美國企業一起放棄中國市場這一龐大收益來源，使盟友在配合美國戰略時亦須承擔相應的經濟代價。美國另一個戰略目標是提升其本土半導體產能以降低對外國依賴、確保供應鏈韌性，並為此推出《晶片與科學法案》提供國內半導體製造業生產補貼，積極邀請台積電、三星等擁有先進製程技術與封裝技術的企業赴美設廠，但同時也以護欄條款要求獲得補助

的企業不得擴大對中國的產能投資，使得受補助企業的產能調度靈活性大大受限。此外，2021 年年底美國政府曾以釐清晶片短缺問題為由，要求全球半導體企業提供有關庫存、客戶訂單與產能利用率等敏感資訊，引發外界對美國產業政策透明度的質疑，韓國與台灣產業界也表達了擔憂企業機密外洩的顧慮，凸顯即便為盟友，彼此在技術與資訊層面的信任與合作仍存在界線。

除了韓國，中國市場對於日本半導體設備產業也有舉足輕重的影響力，尤其在 2022 年底美國頒布半導體禁令後，中國對於尚未受到管制的製造設備需求激增，自 2023 年 7-9 月以來日本連續三個季度出口的半導體製造設備超過五成銷往中國，中國產能擴張加上 AI 應用需求熱潮使得日本晶片設備銷售紀錄屢創新高(Kanaoka, 2024；蔡承啟，2025)。根據日本經濟新聞報導，2024 年 4-6 月中國市場在各家半導體製造設備大廠所佔銷售額比例，排名世界前十之內、日本前四大設備廠東京威力科創（Tokyo Electron）的數據高達 50%、迪恩士（SCREEN）為 51%、迪思科（DISCO）為 32%、愛得萬測試（Advantest）為 26%，同時期荷蘭 ASML 的數據為 49%、美國應用材料的數據則為 32%（細川幸太郎，2024）。儘管在戰略層面上日本政府願意配合美國的出口管制政策以維護與美國安全同盟的一致性，但美、日雙方在「去風險化」和「脫鉤」一事上的產業承受能力並不一致：美國希望封鎖中國提升生產技術的機會，但日本產業界因此面臨是否犧牲全球最大客戶市場的抉擇。這種共同維護盟友安全戰略與確保自身產業利益之間的矛盾亦是 Chip 4 成員國之間協調困難的根源之一。

從臺灣的立場來看，自 2020 年美國川普政府要求台積電赴美設廠，生產先進製程晶片以來，臺灣內部便出現擔心可能導致關鍵技術外流、削弱臺灣技術壟斷地位的討論；對於台積電來說，美國尚未建立完整的半導體生態系，先進製程前後端生產所需之工具材料仍仰賴從美國境外輸入，加上美國本地勞動力不足、設施營建成本高、環境法規與工作文化差異等等因素都會推高晶片生產成本，可能影響美國工廠的產品定價與利潤（Office of Technology Evaluation, 2023, pp. 45-46）。對於台積電而言，在美國設廠並非最具經濟效益的生產策略，然而在權衡地緣政治風險升高、美中科技戰加劇，以及美國以生產補貼作為誘因、以產業安全論述施加政治壓力的多重情勢下，台積電最終仍選擇赴美設廠以維繫與美國政界與產業界的戰略合作關係，確保其在全球半導體供應鏈中的地位不被動搖。

Chip 4 成員國在先進半導體製造上也互為技術競爭關係。2022 年下半年三星



與台積電相繼宣布具備量產 3 奈米晶片的技術，但直到 2024 年年底三星的第一代三奈米製程良率僅 50-60%，第二代三奈米製程良率僅 20%，皆不到能吸引客戶下單的程度，使得輝達、超微、英特爾、高通、聯發科、Apple、Google 等客戶紛紛選擇優先採用台積電的 3 奈米製程（當時良率約 60-70%），因此拉大了台積電與三星之間的市場份額差距，2024 年三星的全球晶圓代工市佔率因此跌至 10%。而客戶訂單轉移也導致三星關閉了部分晶圓代工產線、撤回美國廠工作人員以擰節營運成本（Choi, 2024；友子，2024；郭妍希，2024b；陳麗珠，2024）。而由於在提升 3 奈米製程良率上遇到瓶頸，三星考慮提前轉向、和台積電一起加入攻克 2 奈米製程節點的競爭；與此同時，美國的英特爾、日本新成立的「Rapidus」⁷⁷也想跳過 5 奈米與 3 奈米製程，直接研發生產 2 奈米製程晶片。這四個國家在先進製程技術上互為難以合作的競爭者，且隨著元件製造尺寸越來越接近物理極限，這些企業也紛紛將資源投入開發先進封裝技術，以便在市場競爭中獲得更多客戶訂單。

綜上所述，儘管 Chip 4 旨在強化半導體供應鏈合作，但成員國彼此間或在生產上存在技術競爭與利益衝突、或在政治上存在不信任與緊張關係，或基於對中國市場的顧慮，導致無法在技術共享、供應鏈安全和市場利益分配上達成共識，這些都是 Chip 4 未能進一步推進、難以發揮戰略效益的潛在原因。

參、美歐貿易和技術委員會

除了與日本、荷蘭共組出口管制聯盟，以及邀請日本、臺灣與韓國共組 Chip 4 之外，美國也持續推進與歐盟之間的技術合作，深化美歐雙邊關係，希望能在 21 世紀新興技術領域掌握制定規則與標準的全球領導權。2021 年 6 月 15 日於布魯塞爾舉行的美歐峰會上，美國拜登總統與歐盟委員會（European Commission）主席馮德萊恩（Ursula von der Leyen）宣布成立「美歐貿易和技術委員會」（EU-US Trade and Technology Council, TCC），旨在成為美國和歐盟協調全球關鍵技術、經濟與貿易議題，並在共享民主價值的基礎上深化跨大西洋經貿、投資和創新合作關係的論

⁷⁷ Rapidus 是 2022 年 8 月由八家日本公司共同投資成立的半導體製造商，目標是提升日本先進半導體的國產能力。這八家企業分別是索尼（SONY，全球知名電子產品企業）、豐田汽車（TOYOTA，全球知名汽車製造企業）、電裝（DENSO，世界第二大汽車零件供應商）、鎧俠（KIOXIA，世界第二大 NAND 記憶體廠商）、日本電氣（NEC，日本住友集團旗下資訊科技公司）、日本電信電話（NTT，日本國內最大的電信事業集團）、軟銀（日本軟銀集團旗下電信公司、日本三大綜合電信業者之一）、三菱日聯銀行（MUFG Bank，日本最大銀行）。

壇。除了在科技、數位與供應鏈等關鍵政策上展開合作外，雙方也希望能制定相容的國際標準以避免技術貿易壁壘、解決新興技術貿易在國防安全領域引發的潛在風險、促進雙邊出口監管與執法政策合作等等（European Commission, 2021a）。

2021 年 9 月「美歐貿易和技術委員會」（以下簡稱 TCC）第一次部長級會議由時任美國國務卿布林肯（Antony Blinken）、美國商務部長雷蒙多（Gina Raimondo）、美國貿易代表戴琪（Katherine Tai），以及兩位歐盟委員會執行副主席 Margrethe Vestager 和 Valdis Dombrovskis 共同主持，除了建立「聯合技術競爭政策對話機制」（Joint Technology Competition Policy Dialogue）以共同制定科技領域競爭政策外，TCC 也就以下十個議題分別設立工作小組來推進後續合作目標，包含新興技術標準合作、氣候與綠色科技、半導體供應鏈安全、資通訊技術服務安全與競爭力、資料治理與技術平台、濫用科技威脅安全與人權、出口管制、投資審查、促進中小企業獲取和使用數位技術、全球貿易挑戰等（European Commission, 2021a, 2021b）。

在第一次部長級會議的會後聲明中，雙方強調了對半導體供應鏈議題的重視，在加強國內半導體生態系統與供應鏈安全的同時，雙方也需建立平衡、互惠的夥伴關係，加強溝通與透明度以解決供需失衡問題、避免補貼競賽。雙方也針對投資審查、出口管制合作、人工智慧與全球貿易議題提出聯合聲明，雖未直接提及特定國家，但聲明中某些用詞卻隱含針對中國的意味，例如：「某些行為者採取的技術取得策略，包括經濟強制措施和軍民融合政策」損害了美國與歐盟的安全利益、對國際標準的規則控制構成挑戰；美國與歐盟對於「專制政府試行社會評分系統以實施大規模社會控制、壓制言論表達活動、強化非法監視系統等威脅基本自由與法治的制度」表示嚴重關切，並認為需要對網路監控技術等特定軍民兩用敏感技術的貿易進行管控，防止嚴重侵犯人權或違反國際人道法的行為；美國與歐盟作為民主市場經濟體，將重點關注「非市場經濟體」所帶來的挑戰，包括但不限於強制技術移轉、國家支持的智慧財產權盜竊、政府提供扭曲市場的產業補貼、支持國有企業的反競爭和非市場行為、對外國公司實施歧視性待遇等等（European Commission, 2021b）。

TCC 自 2021 年成立至今已舉辦六次部長級會議，最近一次舉辦於 2024 年 4 月。儘管不確定川普上任後會如何維持美、歐雙邊合作，但 TCC 在拜登任內已形成常態的運作模式。雙方在這六次會議中持續探討強化半導體供應鏈以及為新興技術的發展制定標準等議題，例如 2023 年雙方開始針對半導體生產中所需之全氟

/多氟烷基物質 (per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS)⁷⁸進行替代研究；自 2023 年 8 月中國對鎘和鉍實施管制後，歐盟和美國也啟動應對供應鏈中斷的聯合預警機制，加強協調關鍵原料供應。截至 2024 年年底，雙方在半導體領域實施了防止供應鏈中斷的早期預警系統，以及防止補貼競賽的補貼透明度協議，並深化雙方晶片法案的合作。在強化半導體供應鏈韌性之外，雙方在會議中也討論了關於 AI 模型、積層製造技術、材料回收、6G 無線通訊系統、後量子加密 (post-quantum encryption)、物聯網網路安全、重型電動車 (heavy-duty vehicle) 充電系統等新興技術領域的聯合標準制定，以促進共同的戰略利益 (European Commission, n.d.)。

肆、其他小多邊主義合作機制

與前任川普政府高舉「美國優先」單邊主義路線不同，拜登政府更重視利用小多邊主義 (minilateralism) 來與盟友合作應對中國崛起的挑戰。小多邊主義在大國分歧日益擴大以致多邊主義難以推進、解決全球性議題的背景下興起，相比於傳統的多邊主義和巨型國際組織，小多邊主義的合作模式通常是由少數志同道合的國家組成，其特徵是強調共同利益，而非共同價值或意識形態，因此各國可以就關鍵問題進行更有效率的合作；各國也可以透過與不同對象建立不同的小多邊主義合作機制來應對不同需求，是更加靈活、功能導向的合作模式。例如拜登政府在實施印太戰略上，在軍事方面與澳洲、英國達成 AUKUS 協議，三國組成軍事外交安全合作夥伴關係；在應對中國崛起的議題上，則與日本、澳洲和印度重啟「四方安全對話」機制 (Quadrilateral Security Dialogue, Quad)。

在對中科技圍堵方面，美國拜登政府主要透過與日本、荷蘭組成出口管制聯盟，阻止中國取得生產先進半導體的關鍵設備與技術；美國也試圖尋求與其他半導體關鍵生產者——日本、韓國、臺灣——共組「晶片四方聯盟」，以確保美國在東亞的半導體供應鏈安全；美國還與歐盟共組「貿易與技術委員會」，不僅為增進雙邊技術貿易合作，也希望透過共同制定技術標準的行動來確保美國未來在新興技術領域的領導力量、阻止「中國標準 2035」的野心。除上述小多邊行動外，在 2023

⁷⁸ 全氟/多氟烷基物質 (per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS) 是目前半導體生產過程中必要之化學品，同時因該物質具有抗汙、阻燃、防沾黏、高穩定等特性而被廣泛應用於市面上多種產品，但也因其具生物累積性、難以在環境中降解而被《斯德哥爾摩公約》列為持久性有機污染物 (POPs)，近年來各國相繼在國內提案逐步淘汰 PFAS (SGS 台灣，2024)。

年舉行於日本廣島的七大工業國集團峰會（G7）中，AI 技術發展、半導體與稀土供應鏈議題成為已開發國家的重要議程；五眼聯盟的成員國（英國、加拿大、澳洲、紐西蘭）在更早之前便在 5G 議題上與美國站在同一陣線，共同抵制中國華為參與國內通訊網路建設，該組織的情報分享需求也從傳統的軍事、反恐任務擴展至網路攻擊與商業間諜活動、智慧財產權與技術竊取、假訊息宣傳等新興議題，例如五眼聯盟在 2023 年 10 月首次發表聯合聲明指責中國竊取智慧財產權並利用人工智慧進行駭客攻擊和間諜活動，涉及人工智慧、生物技術、機器人技術、量子技術等廣泛領域，支持了美國政府過往對中國政府的指控（Siddiqui, 2023; 古莉，2023）。

美國政府透過小多邊行動圍堵中國至今取得了一定成效，包含成功拉攏盟國參與一致對中的出口管制措施，限制了中國半導體產業的發展速度，並逐漸降低半導體供應鏈對中國的依賴，但這些行動也面臨潛在風險與挑戰，例如嚴格的出口管制措施不僅衝擊美國企業的自身利益，也會造成盟友在中國市場上的利益衝突或顧慮，而中國的應對方式則是積極發展本土半導體產業、提升中國成熟晶片的生產自主率與全球市佔率，加強與其他國家（例如俄羅斯、東南亞）的合作，甚至從第三國（新加坡）轉口或走私受管制的設備與技術。未來美國能否妥善處理盟友的利益分歧、維持聯盟合作也將是決定對中科技圍堵成效的關鍵。

第四節 小結

美國在全球半導體供應鏈的優勢地位使其得以透過多重手段建立戰略性技術壁壘封鎖中國，防止其取得新興技術與未來軍事優勢。本章詳細檢視了美國政府在半導體領域圍堵中國的做法，並將其分為三大方向：出口管制、投資限制以及聯合盟友。以下總結各方向具體做法並提出相關發現。

壹、出口管制

出口管制是美國國家安全治理的決定性工具，也是阻止中國獲得先進半導體產品、設計軟體、製造技術與生產設備工具的最主要手段。美國出口制度管理方式分為兩種，一種是針對受管制貨品的終端使用者建立管理清單（共四份清單），另一種則是針對不同類型的貨品實施出口分類管制（共三份管制清單）。BIS 主要使

用「實體清單」以及「商業管制清單」管理可獲得美國產品的外國企業與軍民兩用技術流向。在 2018 年《出口管制改革法》(ECRA) 授權下，除傳統軍民兩用商品與技術外，被認定與美國國家安全相關的「新興與基礎技術」也被納入商業管制清單，BIS 的執法權限亦被擴大，例如對出口許可證申請案件採「推定拒絕」審查原則、可對不遵守規範的企業實施處罰等；該法亦允許 BIS 使用「微量原則」和「外國直接產品規則」將世界各地包含美國製造成份、使用美國製設備、零件、軟體工具與技術所設計和生產的商品都納入美國《出口管理條例》(EAR) 的約束範圍，以確保美國的技術和產品不會被對手輕易取得。

筆者歸納拜登任內美國政府出口管制措施變化趨勢如下：

- 一、美中科技戰始於川普政府對 5G 通訊與網路安全的關注，美國政府發現對華為制裁與呼籲各國抵制成效不如預期後，轉向圍堵中國半導體產業發展，限制出口項目從先進半導體產品、製造設備與設計軟體出口擴大至超級電腦設備組件與 AI 模型技術等半導體應用領域，反映其圍堵重點從最靠近市場需求的終端產品逐步提升至製造技術與生產供應鏈，再擴展至演算資源與知識技術。
- 二、由於「軍民融合」策略使外界難以追蹤中國企業與中共政府和軍方的實際互動關係，美國政府的出口管制措施從「針對受關注實體」轉向「針對特定技術規格」，以修改商業管制清單與出口管理規則為主、增列實體清單為輔的做法不僅能加強防範中國企業規避制裁的手段、降低行政管理成本，也能提供盟友具體的出口政策制定標準，易使外國政府達成一致行動。
- 三、拜登政府任內先後頒布三輪大規模半導體出口管制措施，逐步修改法規、擴大限制出口的產品與對象，主要管制方向包含：
 - (一) 除半導體產品外，也限制半導體製造設備、零組件與設計軟體出口，擴大被限制出口的生產設備製程節點、降低可出口的運算晶片性能密度參數，並進一步管制先進運算晶片及其產品出口數量；
 - (二) 限制出口項目由硬體生產設備擴大至用於設計產品、運作生產設備、提高機器產能的軟體工具，並將用於啟動或更新設備的軟體金鑰也納入出口管制範圍，使中國現有 EDA 軟體與生產設備無法獲得後續升級與維護；
 - (三) 持續修訂並擴大「微量規則」與「外國直接生產規則」的適用範圍，

凡是由外國廠商製造但內含美國關鍵技術的產品與設備均納入美國《出口管理條例》之管轄範圍；

(四) 擴大限制出口的最終目的地，不僅將半導體、超級電腦製造設備和零件的出口許可要求擴大至所有被美國實施武器禁運的目的地，還將先進運算晶片的出口許可要求擴大至四十多個可能向中國轉運的高風險國家，以防範受管制實體規避制裁；

(五) 美國政府要求配合制裁政策的對象隨「微量規則」與「外國直接生產規則」適用範圍變化而增加，從欲向中國出口之美國企業擴大至使用美國技術與設備生產之海外企業，再到限制境外美國籍人士支援中國半導體生產活動，並於 2025 年進一步要求海外晶圓製造廠、封裝廠與 OSAT 業者應核實其生產的先進晶片未被轉移至受管制實體，否則將實施更嚴格的出口許可要求。

2025 年 1 月，拜登政府於卸任前夕針對先進運算晶片和 AI 模型技術之傳播頒布出口分級制度與授權監管框架。此舉不僅加強對半導體產品之嚴格出口管制，並首次將屬於人工智慧與軟體演算法領域的 AI 模型技術納入出口審查體系，體現美國的科技戰戰略重心已從控制硬體生產供應鏈延伸至涵蓋軟體、數據與運算能力等高階關鍵技術，標誌著美中科技競爭進入新的階段。

筆者推測此政策轉向考量有二。首先，在發布三波半導體禁令後，美國難以在不全面干擾全球電子產品供應鏈與合乎自身與盟友商業利益的前提下繼續擴大對成熟製程（28 奈米以上）半導體產品與生產設備的出口限制，其次，生成式 AI 技術的突破大幅提升學術界與產業界大規模運算與資料分析能力，使 AI 技術在科學研究、製造技術改善、密碼破解、戰場模擬等領域具有極高戰略價值。為防範中國透過大量採購小型晶片（包含裝載此類晶片的電腦產品）加以重組後建立訓練 AI 所需之資料中心、提升運算效能，並利用 AI 運算尋找突破當前技術瓶頸的方法，美國不僅要限制中國取得先進運算晶片的數量與管道，還規劃設立出口國家分級管制名單，僅將美國 AI 模型技術授權給少數盟友國家，便是要進一步防範美國 AI 技術流向對手國，顯示其圍堵策略已由「阻止技術供應」擴大至「防範技術擴散」。

2024 年 12 月發布的第三波半導體禁令中，美國商務部首次明文規定凡仰賴軟體金鑰開啟或定期更新的軟體與硬體產品未來都會受到動態調整的出口管制措施

檢視，提升美國阻礙中國產業與技術發展的靈活性。只要中國的半導體製造廠仍仰賴美國企業的軟體授權才能啟用和更新生產設備和 EDA 軟體，美國便能掌握中國企業對美國技術的存取情況，並根據情勢變化停止為中國的生產工具提供維護服務。這也意味著美國的技術封鎖策略從將「IC 設計卡死在五奈米、IC 製造卡死在七奈米」的單一技術節點限制轉變為一套可即時控制技術提供並持續干擾的動態監管體系，使中國半導體製造能力難以維持穩定運作。若美國將此規定應用至其他仰賴美國技術生產的製造領域，將可進一步阻止中國的產業升級進程。

貳、投資限制

為防範中國政府透過「軍民融合」策略滲透美國資本市場，並藉由不動產投資、科技公司併購、參與美國關鍵基礎建設計畫等手段獲取美國的市場資金、關鍵技術、涉及政府與人民的敏感資訊，進而提升中國科技實力與解放軍軍事能力，甚至危害美國民主選舉，美國遂對中國實施雙向投資限制，一方面加強外資進入美國的審查機制，另一方面則管制美國國內資本對中投資，以降低國安風險、保護關鍵產業與敏感技術、避免為中國的發展提供助力。

在加強外資審查方面，注意到中國對美國科技產業投資增長、形式多元且深具策略性，CFIUS 自 2015 年以來已擋下多起中國對美國科技企業的投資收購案。在 2018 年《外國投資風險審查現代化法案》（FIRRMA）授權下，CFIUS 的審查權限擴大，其對外資交易內容進行國安審查時須斟酌考量的要件也逐漸增加：

- 一、CFIUS 審查範圍由「控制權交易」擴大至「非具控制權的投資」、鄰近敏感地點的不動產交易，以及涉及關鍵技術、關鍵基礎建設以及敏感個人資訊之美國企業（統稱為 TID 產業）投資案。對於上述「受管轄交易」，FIRRMA 新增事前強制聲明程序與申報義務，要求交易方在交易前主動申報請求 CFIUS 審查，若此類交易未經事前審查且在事後被認定存在國安風險，交易將被撤銷且交易方須支付高額罰款。
- 二、2018 年 FIRRMA 規定國安審查需考量範圍包含對美國關鍵基礎建設、能源資產、關鍵材料供應鏈韌性、關鍵技術領導地位、個人敏感資料存取和網路安全的影響、受管轄交易方的守法紀錄以及對美國產業掌控力；2022 年拜登總統發布行政命令進一步列出可能構成特殊風險的關鍵產業，並

要求 CFIUS 審查關鍵產業交易時應積極考慮該產業整體投資趨勢、資通訊與網路安全，以及涉及敏感資料的風險，識別其中可能涉及之國安問題與新興威脅以保護美國的技術領先地位與產業供應鏈韌性。



在限制美國對中投資方面，美國政府自 2020 年之後才有較明確的措施。為避免美國市場的資金與技術流入中國，間接支持中國涉軍企業發展和人權迫害行動，2020 年 5 月美國聯邦退休儲蓄基金與部分州政府的公共退休基金陸續停止對中國投資，此後美國對中國的投資禁令逐步升級：

- 一、2020 年 6 月美國國防部提出「共產中國涉軍企業名單」，禁止美國聯邦機構直接或間接採購、使用、續約名單上企業提供之產品與技術服務。2020 年 11 月川普總統以此名單為基礎，發布行政命令禁止美國投資者投資被認定與中共軍方有關的中國企業，並限期完成資產剝離。2021 年 6 月拜登總統擴大前述行政命令，將投資禁令範圍由中國國有企業與軍工複合企業擴及積極參與軍民融合策略、開發先進軍民兩用技術、協助人權壓迫的民間科技公司。此外，國防部與財政部各自擬有「中國軍事企業名單」（CMC List）與「中國軍工複合體清單」（CMIC List），前者僅對美國國防體系具約束效力並作為其他政府機構的行動制定參考，後者則是具實際制裁效力的投資黑名單。
- 二、2022 年 8 月美國通過《晶片與科學法案》為國內半導體生產提供投資獎勵、人才培訓與研發促進措施，並在隔年 9 月公布「國家安全護欄條款」，限制接受聯邦生產獎勵補助者在受關注國家（中國）擴大 28 奈米以下先進半導體產能投資，並禁止有國安疑慮的聯合研究與技術授權，以確保與技術出口管制政策一致。
- 三、2023 年 8 月拜登總統宣布海外投資審查新制（2024 年 10 月財政部公布最終規則），將對中國的投資範圍限制從涉軍企業擴展到涉及半導體與微電子、量子資訊技術和人工智慧等三大技術領域的中國公司，並將香港、澳門列為與中國內地待遇相同的投資管制與出口管制目的地，由美國籍人士控制或受美國法律管轄之海內外投資機構與企業實體皆須遵守新規定，並主動向美國財政部通報涉及受關注實體的投資交易。
- 四、2024 年 12 月美國國會提出「2024 年全面對外投資國家安全法案」（COINS

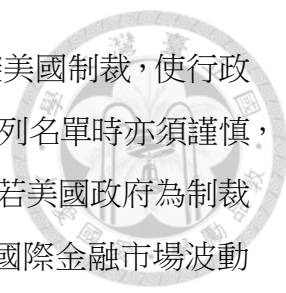
Act)，旨在保護美國人民的儲蓄和退休基金，並授權行政部門限制企業赴中國投資先進關鍵技術領域，防止美國為中共的技術發展、軍事現代化和人權侵犯行為提供資金。該法案預計將於新一屆國會持續討論。

五、2025 年 2 月新任總統川普以投資備忘錄形式指示「嚴格審查中資」與「限制對中投資」兩大政策方向，延續前任政策，顯示美國對中國的外資審查與投資限制已成為長期趨勢。

截至本文完成時，筆者注意到美國國防部的「中國軍事企業名單」最後更新時間是 2025 年 1 月（第三次更新），財政部的「中國軍工複合體清單」最後更新時間則停留在 2021 年 12 月 16 日。有鑑於「中國軍事企業名單」僅對美國國防部及其轄下機構具有管束效果，被列入「中國軍工複合體清單」者則會立即成為美國政府的制裁對象，這意味著自 2022 年至今未有更多中國企業在資本市場上被美國系統性施以明確的投資制裁，相較之下，美國主要仰賴商務部主導的出口管制措施對中國企業進行貿易制裁。

筆者分析美國政府傾向使用貿易管制措施的主因在於貿易管制能發揮比投資禁令更即時、直接、明確的封鎖效果。使用商業管制清單能更精確地瞄準中國供應鏈缺乏之關鍵技術與設備，一旦中國企業被美國列入需申請出口許可的實體清單、限制取得先進技術產品的管道，中國工廠的生產將立即被影響；相較之下，投資禁令雖可以在資本市場上禁止美國投資者投資中國企業，中國企業仍能從政府補助、國內融資或非美國投資者等其他管道獲得資金支持、降低美資離開的負面影響，更無法直接阻止中國企業從美國境內外獲取生產技術與設備。投資禁令的震懾效果也不如貿易管制長遠。在川普與拜登相繼對中國企業頒布投資禁令後，投資市場已出現資本撤離潮，待投資人完成資本避險後再發布之投資制裁措施所能引發的邊際效益已然下降。此外，因目前尚無專門法律授權，使財政部增列投資黑名單時需涉及多道行政程序並尋找法源依據，導致其制裁手段彈性不如商務部的出口管制工具，且合法性易受質疑，例如部分中國企業向美國法院提起行政訴訟後成功自黑名單除名。因此，美國政府需轉向具明確法源依據、制定程序更嚴謹的制裁措施，這也是促使國會提出限制對中投資法案的原因之一。

另一方面，若美國以增列投資黑名單作為限制對中投資的主要手段，亦會面臨與制裁華為類似的問題，即，中國企業能透過變更公司名稱、成立新公司或境外控



股公司，或將資產轉移至未被列入名單的關係企業等方式來規避美國制裁，使行政部門必須持續更新名單，導致執行困難與監管疲勞；美國政府增列名單時亦須謹慎，避免誤傷與中國企業仍有正常商業往來之盟國企業。另一方面，若美國政府為制裁中國而頻繁修訂投資黑名單或濫用二級制裁，可能導致美國與國際金融市場波動較大，進而動搖投資者對美國的信心。就像美國無法阻止其他國家使用華為設備，美國政府亦無法直接禁止外國投資者將資金投入中國，然而若無全球金融體系共同配合，投資黑名單實際作用有限，易流於象徵性政策。

雖然美國限制對中國投資的政策較晚形成且尚未成熟，但從出口管制措施變革的經驗中，政府已經意識到建立制度性框架更有助於美國構築穩定的長期戰略。拜登政府於 2023 年宣布海外投資審查新制、國會於 2024 年提出限制對中國投資法案，顯示政府欲從逐一列出制裁實體的「投資黑名單模式」轉向建立可以系統性監管對中技術擴散與資本投放的機制。然而，依總統行政命令授權制定的海外投資審查制度雖可作為取代財政部投資黑名單的工具，但在實務層面上仍有諸多不確定性，例如該制度雖限制投資中國三大敏感技術產業，目前卻採用「須通報交易」與「被禁止交易」並存的雙軌機制，且仰賴企業主動申報而非由行政部門逐案審查，恐令該制度的執行效力與透明度不及投資黑名單的直接制裁效果、對市場投資行為的震懾效果有限。究其原因，或許與國會尚未通過專門法律明確授權行政部門有關。因此，短期內美國政府應仍會仰賴出口管制作為對中制裁主要手段，但若限制對中投資法案能獲兩黨支持並順利通過，將能為行政部門提供執法依據，成為未來約束美國資本與技術流向中國的強力機制。

參、聯合盟友

與持單邊主義的川普政府不同，拜登政府傾向透過小多邊主義協調美國與盟國間關係，以加強合作圍堵中國的力道。本文整理美國主要做法有三：一、說服荷蘭政府與日本政府配合美國出口管制政策，共同限制先進半導體設備與工具（尤其是 EUV 曝光機與高階 DUV 曝光機）出口中國，以確保跨國出口管制政策當中技術規格的一致性；二、與日本、韓國、臺灣共組「晶片四方聯盟」，並積極邀請、補助先進晶圓代工企業和供應鏈廠商赴美設廠，希望彌補美國先進半導體生產劣勢、重建國內半導體生態系、整合民主盟友之間的生產資源以強化供應鏈韌性；三、

與歐盟成立「美歐貿易和技術委員會」，除了深化雙邊貿易合作，也希望藉由與歐盟共同制定新興技術標準與倫理規範的行動來確保美國未來依然能在新興技術領域享有領導地位、排除中國技術在全球市場的影響力。

不論是出口管制還是投資限制，美國都需要盟友合作才能形成完整的技術封鎖防線。例如，在美國積極遊說下，荷蘭與日本皆配合調整國內出口管制措施與美國達成一致標準；2024 年年底台積電與三星也應美國商務部要求停止為中國客戶供應七奈米晶片。自第二波半導體禁令起，美國政府便有意遏止中國企業從第三方國家轉運或走私產品的制裁規避行為，並將出口許可要求擴大至武器禁運國與高風險轉運國，卻發現成效不彰（第五章將討論走私問題），因此拜登在卸任前公布 AI 模型技術傳播監管框架，分級管理可獲得美國 AI 晶片與 AI 模型技術的國家，並設立出口配額、許可豁免與技術授權機制，可謂是要進一步區分、確認美國與其他國家的盟友或非盟友關係；該監管框架將出口許可標準從「禁止出口至特定禁運目的地與高風險轉運國」轉變為「只能向盟國與盟友企業出口」，也代表美國要加強阻斷中國從其他立場模糊或較親中的國家獲取受管制商品的走私管道。

多邊合作策略對美國圍堵中國的戰略目標具顯著意義，拜登政府整合盟友資源的做法在半導體產業圍堵上已見成效，但美國未來仍須謹慎處理與盟友關係。一方面，盟國的經濟利益、國內政治壓力與戰略考量不盡相同，即便荷蘭與日本已同步實施管制措施，歐盟內部仍有意見分歧，尤其中國是歐盟前三大貿易進出口夥伴⁷⁹，各國對中國的經貿依賴程度不同，加上歐洲當前須處理更急迫的俄烏戰爭，導致歐盟對中國的態度不如美國強硬。另一方面，美國以維護國家安全為由要求使用美國技術的外國廠商配合其出口管制要求，或是「積極邀請」先進晶片製造業者擴大對美國投資，對這些企業來說卻是美國政府干預市場使其被迫犧牲營收、承擔較高生產成本與風險，若美國無法提供足夠誘因來穩固多邊技術聯盟、平衡各方利益、降低市場風險與不確定性，部份國家工商業界可能因此對國內政府施壓、引發政治反彈，導致跨國監管政策配合力道鬆動甚至合作破裂。

⁷⁹ 2024 年歐盟前三大進口夥伴依序是中國（21.3%）、美國（13.7%）與英國（6.8%），前三大出口夥伴依序是美國（20.6%）、英國（13.2%）與中國（8.3%）。在歐盟國家中，從中國進口額最大的三個國家分別是荷蘭（近 1090 億歐元）、德國（近 960 億歐元）與義大利（近 500 億歐元），對中國出口額最大的三個國家分別是德國（近 900 億歐元）、法國（近 240 億歐元）與荷蘭（近 240 億歐元）。除了愛爾蘭與盧森堡兩國外，歐盟其他 25 國對中國均有貿易逆差，且荷蘭是貿易赤字最大的國家（超過 850 億歐元）（Eurostat, 2025）。

第五章 結論



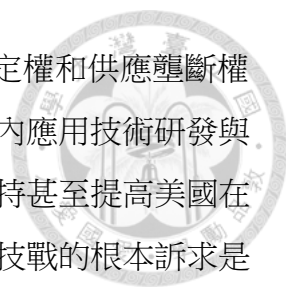
自 2018 年美中貿易戰爆發以來，美國逐步強化對中國科技實力的打擊與限制措施，逐漸形成一套具備戰略深度與政治目標的科技圍堵政策，成為當代國際政治與科技治理交織下最具代表性的戰略對抗案例。作為結論章節，本章嘗試分析美國對中科技圍堵的戰略目標、管制政策持續擴張的驅動因素、科技戰背後的地緣政治意涵以及實施過程中所面臨的挑戰，釐清科技戰作為國家權力工具的制度邏輯與實踐侷限，回應本文對於科技與權力互動的研究關懷。

第一節 美國科技戰的戰略目標與行動邏輯

美國針對中國科技產業的限制措施逐步升級，反映出其科技戰略背後的多重目標。本文將從四個層面——確保國家安全、鞏固技術優勢地位、維持經濟利益、擴展政治影響力——分析美國的戰略目標與其相應行動。

首先，在國家安全層面，面對國際體系的無政府狀態，理論上在國內建立上中下游皆能自給自足的本土供應鏈是最能夠確保國家安全的方式，但實務上各國難以避免需要仰賴跨國供應鏈取得必要材料或更廉價的生產要素，從而降低生產成本並將更多資源投入技術研發或提升生活品質。在全球化貿易與比較利益驅動下，半導體產業已形成高度專業分工的跨國生產模式，使得建立完全自給自足的本土供應鏈幾乎不可能實現。在此背景下，美國當前最優先的戰略目標是確保軍事國防領域所需之高階晶片能自給自足。有鑑於在未來戰爭中，先進晶片的運算效能將直接決定軍事設備與武器系統的應對速度甚至是戰場勝負，美國必須要確保擁有最先進的軍用晶片技術以及軍用晶片供給不受地緣政治風險威脅，才能確保美軍的科技力量優勢，因此除了力邀擁有先進製造技術的外國供應商赴美設廠外，美國商務部和國防部還計劃為國內晶片製造龍頭英特爾額外提供軍用晶片生產補貼。在致力於提升軍用晶片產能、滿足國防需求的同時，美國也積極推動其次要目標——強化供應鏈韌性、降低對中國依賴，包含對內提升本土產能以滿足民用需求，以及對外強化「友岸外包」以實現來源多元化與供應鏈去中化。

其次，在鞏固技術優勢方面，美國尤其關注在全球科技治理秩序中維持主導地位；美國所定義的關鍵與新興技術領導優勢不僅限於特定技術在當前可帶來的經

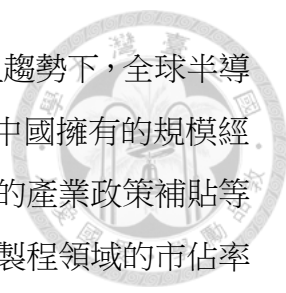


濟生產和軍事競爭力，還包含美國未來在該技術領域的標準制定權和供應壟斷權（U.S. Department of Commerce, 2024）。因此，美國必須強化國內應用技術研發與高科技人才培育能量、保障以鼓勵創新為導向的商業環境，以維持甚至提高美國在關鍵新興技術領域的研發突破速度。另一方面，美國對中發起科技戰的根本訴求是延滯中國在半導體、人工智慧、高效能運算等關鍵技術領域的追趕速度，削弱中國升級軍事技術後挑戰美國霸權的能力。為此，美國在這場科技戰中採取多元手段，從多面向防堵中國從海外取得先進科技產品、生產技術與軟體工具、研發資金、高科技研究人才與無形技術知識的管道，阻礙中國欲實現技術自主的戰略目標。

在國防工業產品無法避免全球化貿易與跨國生產的當代，對美國霸權來說，最理想的狀態是與體系各國維持不對稱的互賴關係：在這段不對稱關係中，美國壟斷了軍事武器或其他先進科技的系統開發與整合技術，因此即便犧牲部份經濟利益與武器生產的自主性，美國仍能以其所掌控的核心技術對他國發揮政治影響力，甚至將技術供應作為一種維持盟友依賴、排除潛在對手的外交政策工具。此不對稱關係所形成之政治優勢即是美國霸權的權力來源（Caverley, 2007）。而半導體作為一種同樣需要跨國專業化生產的戰略性物資，美國正積極確保其在半導體供應鏈上游的壟斷地位，維持美、中兩國間的不對稱互賴關係，使中國必須仰賴美國供應核心技術才能進行利潤有限的生產活動；美國更希望能藉此掌控中國的科技發展速度，從而確保自身處於技術領先地位。相對地，對美國而言最具風險的情境則是中國達成技術自主，不僅擁有在國內建立獨立科技生態系的能力，甚至試圖向外輸出該系統作為各國的替代選項，挑戰美國的科技治理地位。

第三，在經濟利益層面，美國面臨全面技術封鎖（先進製程與成熟製程）與部分技術封鎖（僅限先進製程）的戰略兩難。全面技術封鎖可以極大限制中國科技發展、削弱該國產品未來在全球市場的競爭力，有助於美國達成鞏固技術領導地位、延緩中國發展的戰略目標，卻也會導致美國企業失去龐大中國市場，且若美國無法及時開發替代來源，成熟晶片市場供不應求將增加美國內部生產成本與消費者負擔。反之，若採取部分封鎖策略，美國仍能保有對中國出口低階製造設備的收益，卻難以阻止中國擴張成熟製程產能後提升對全球市場影響力和價格操縱力，中國亦可將成熟製程的利潤用於本土研發與低階技術替代，爭取時間突破技術瓶頸，甚至可能實現彎道超車，發展為美國最不樂見的情勢。

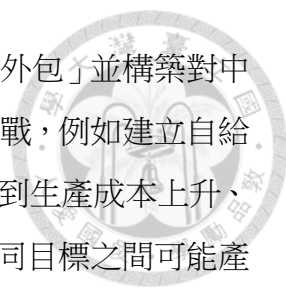
自美中貿易戰開始以來，在關鍵產業實現供應鏈去中化和技術脫鉤是美國政



府積極推動的戰略目標之一。儘管在地緣政治避險和供應鏈重組趨勢下，全球半導體製造商已開始將位於中國的生產鏈逐步移往東南亞地區，但中國擁有的規模經濟生產優勢，包含充沛的勞動力、完善的基礎建設系統以及豐厚的產業政策補貼等等，是東南亞國家在短期內難以提供的生產條件，使中國在成熟製程領域的市佔率難以被輕易取代。事實上，中斷貿易的作法被認為只在持久戰或不對稱戰爭中才可能起到威懾衝突的作用（Grinberg, 2021），除非美蘇冷戰的極端情況再現，否則美中雙方不太可能走向全面脫鉤，因此美國更傾向將可能被中國用於在短時間內提升軍事能力的商品列入封鎖清單，並推動全球供應鏈去中化，重新分配高科技產品的生產空間和利潤。對於非戰略性物資與低階製造業，儘管當前川普政府正以關稅政策施壓中國，並以全面脫鉤作為終極目標，但在確保足夠的替代來源之前，美國仍會保持與中國的貿易聯繫，避免對國內產業與市場價格造成衝擊，影響選民支持。

最後，在這場科技戰中也能看見美國政府將出口管制政策與供應鏈重組作為確認盟友關係的工具，相關手段包含：積極遊說擁有先進製程技術國家採取與美國一致的出口管制標準；要求全球半導體供應商遵守美國的出口管制規定、放棄部分中國市場收益；力邀先進晶片國際製造商赴美投資設廠；推動「友岸外包」策略和擬訂「AI 技術擴散監管框架」，僅向政治上可信賴的盟國出口先進技術產品、增加經貿往來等等。這些做法與 Gowa（1994）提出的理論觀點相呼應——由於在無政府狀態下，自由貿易會衍生安全外部性與集體行動困境，導致國家更傾向與可信任的友好國家貿易、避免間接支持對手國發展國力，從而進一步界定敵我關係、形成同盟結構。在當代科技競爭中，美國同時面臨中國崛起所帶來之國家安全挑戰（安全外部性）和國際秩序衝擊（秩序外部性），促使其積極採取行動捍衛對自身有利的體系規則和聯盟主導地位（Kennedy & Lim, 2018）。在此加強劃分敵我關係的脈絡下，美國政府開始向私人企業提出「國家安全優先於公司營利」的政治訴求，顯示非國家行為者已被納入國家安全戰略規劃的一環。企業在追求利潤的同時也被期待承擔更多維護國家安全的責任，反映出國家與私部門之間越發緊密且複雜的權力互動關係。

總體而言，美國對中國採取的科技戰圍堵政策反映出其多重戰略考量與明顯的國家安全導向，並逐漸發展為一套具有系統性架構的戰略手段。在上述戰略目標中，部分目標已初見成效，例如限制中國取得 EUV 曝光設備、EDA 軟體工具和先進 AI 晶片，使其先進晶片製造和 AI 訓練能力受到壓制；部分目標正持續推進，



例如透過產業政策提升本土產能，以及建立科技同盟推動「友岸外包」並構築對中技術封鎖的多層防線。然而，亦有若干目標在執行過程中面臨挑戰，例如建立自給自足的本土供應鏈、促使全球供應鏈去中化等，在推動過程中受到生產成本上升、國際貿易摩擦、市場反彈和盟友協調困難等因素制約。此外，不同目標之間可能產生內部張力與矛盾，例如「加強技術封鎖」與「維持開放市場、保護美國企業經濟利益」之間相互衝突，使美國政府在政策設計過程中需謹慎平衡各方利益和戰略目標。另一方面，中國持續透過多元應對策略減輕美國圍堵壓力，包括發展成熟製程、擴大相關產業應用（如車用晶片、智慧家電、物聯網系統等），以及轉向灰色技術貿易、採取報復性關稅和限制關鍵礦產出口等反制措施。儘管美國已在部分技術領域取得優勢，但在中國也持續調整策略、尋求突破封鎖，雙方科技實力差距能否如美國預期般擴大仍存在高度不確定性，整體戰略成效有待長期觀察。

第二節 科技戰手段轉變的驅動因素與戰略意涵

美國的戰略路徑從初期針對華為、中興等中國代表性科技企業進行市場封鎖，逐漸轉向對技術源頭本身的管控，涵蓋高效能運算晶片、先進製程設備、EDA 設計工具、關鍵技術人才流動與科研合作等環節。從「削弱中國企業對全球市場的影響力」升級為「防止中國取得關鍵技術資源」凸顯美國的科技戰重心已從市場封鎖轉向技術圍堵，也顯示美國試圖藉由主導關鍵技術供應來重塑國際權力結構。

壹、美國科技管制政策擴張的驅動因素

儘管在科技戰初期美國期望以有限手段達成遏制中國技術發展的目標，降低對自身企業與全球產業鏈的不利影響，然實際執行成效不如預期，促使出口管制政策的範圍與強度不斷擴張，其背後受到多重因素推動。

首先，新興與基礎技術本身因具有高度流動性而難以輕易界定範圍，尤其具雙重用途特性（dual-use）的技術隨商業化發展而不斷拓展應用場景、快速演化，使得行政機關難以一次性擬定具前瞻性且覆蓋全面的限制規則，須視市場運作情況持續修正政策、補充管制清單。

其次，中國展現出極高的調適能力，透過第三方中轉出口、企業改名重組、調

整產品設計規格、利用灰色貿易通道等多元策略規避美國制裁，美國為此必須不斷填補漏洞、調整規定細節以加強執行機制和管制效果，使得原本具有針對性的封鎖措施逐漸朝向更廣泛、全面的制度設計發展，也凸顯強化行政部門管理能力的需求。

第三，在推動政策的過程中，美國須面對來自國際盟友、國內產業、國會與民間輿論等多方壓力。首先，盟國政府雖有與美國共同遏制中國的利益與動機，但在具體政策上仍存在商業利益與地緣政治立場的分歧，美國需投入外交資源進行協調，遊說盟友配合科技封鎖行動。其次，國內企業與產業界普遍對中國市場存在高度依賴（不論是出口收益或是供應鏈依存），使部分業者不願或難以完全配合政策；美國產業界內部也存在利益衝突：高階晶片與先進設備出口商不願損失中國市場、積極尋求維持對中銷售管道，本土晶圓製造商則期望藉此排除中國競爭、獲得補貼支持。再次，中國不僅對美國封鎖措施祭出報復性政策反擊，亦頻繁釋出技術突破訊息，引發美國國內輿論質疑政策效益，迫使行政機關須展現更強硬立場以回應民意與選舉壓力，進一步推動管制政策走向更全面的技術圍堵。

宏觀而言，先進技術不再只是服務於生產力提升的工具，而被視為可以塑造國際規範與地緣政治結構的戰略資源和結構性權力；技術之於國家安全的意義與日俱增，在國家安全優先於經濟利益的考量下，國安部門開始介入主導國家科技發展與技術貿易政策的制定。美國的科技管制政策正從「防止流向軍事用途」轉向「管控一切可能增強中國整體算力與科技能力的技術」，呈現由防衛型經濟政策轉向進攻型安全戰略的趨勢。

貳、美國科技封鎖策略的政治意涵

科技戰不僅是經濟競爭，更是建構科技治理的權力手段。這場科技戰的政治意涵有三。首先，美國已開始意識到對技術規則與關鍵資源的控制權將直接影響霸權的秩序建構能力以及未來國際體系的價值導向，並重新評估科技供應鏈的戰略重要性。美國已將關鍵新興技術視為國際競爭的戰略高地，試圖透過掌握核心技術供應和標準制定權來建立制度性槓桿，確保其在全球秩序中維持主導地位。

其次，科技戰的出現意味著未來國家間的經貿競爭將升級為科技治理競爭。美國的封鎖策略並非單純抑制中國在特定產業的競爭力或全球市場影響力，其核心目標是從根本上切斷中國技術升級與自主創新的可能性，阻止中國實現技術跨越、

全面崛起。這也是對中國舉國體制、軍民融合政策與技術民族主義的直接回應和預防性封鎖。

第三，科技戰也將全球供應鏈政治化，影響非中國企業與第三方國家的行為。控制上游供應鏈節點與技術規範使美國能對其盟友施加外交槓桿，要求其配合美國制定的出口管制與供應鏈重組策略，使中國即便透過舉國體制投注資源，也難以跨越美國與盟友共同設置的技術門檻。此舉不僅強化以美國為核心的科技陣營內部整合與互賴，也鞏固其在全球範圍內的科技外交與結構性霸權，使其對全球技術秩序的影響力更為深遠。

以國際關係理論觀之，美國對中國發起科技戰的舉動可視為攻勢現實主義的具體展現，即國家透過主動出擊與先發制人的方式削弱潛在挑戰者的戰略能力，維持自身絕對優勢。儘管美國也會提及「維護國家安全」或「防止技術流向軍事用途」等守勢語言，但其具體行動如預防性阻礙中國技術升級、壟斷關鍵技術供應主導權、跨領域施壓等做法展現出主動出擊、擴張權力與防止挑戰者崛起的意圖，更符合攻勢現實主義的邏輯。另一方面，美中在半導體產業的互動亦挑戰了自由主義的理論假設。儘管當前美中貿易難以立即脫鉤，但雙方各挾其掌控的關鍵技術節點或關鍵材料迫使對手讓步的行為支持了「武器化互賴」(weaponized interdependence)的概念。一旦國家感受到根本性安全威脅，維持貿易互賴和共享經濟利益將不再是優先考量；此時國家傾向追求技術自主與國防供應鏈在地化生產，將戰略自主置於經濟效率之上。這反映出大國之間即便因經濟合作而建立互賴關係，此種互賴僅能延後而無法避免地緣政治衝突的發生，因為當一方完成國內產能重建，制度性合作所產生的和平穩定便可能迅速瓦解。此外，美國透過持續擴張定義模糊的國家安全概念，以及操作對中國威脅的安全化(securitization)論述來合理化其管制政策，也體現自由秩序內部正經歷對國家安全利益的重新詮釋與制度性調整。

從 Robert Gilpin 的觀點來看，美國對中國的技術封鎖策略展現了典型的霸權矛盾心理。霸權國憑藉科技創新確立其體系支配地位，並透過技術擴散鞏固、延伸其秩序影響力，令各國採用其制定的技術標準，但隨著技術外溢的邊際效益遞減、他國因吸收新技術而壯大國力時，霸權反而需承擔更高的安全風險與遏制成本，促使其回頭加強技術封鎖與資源管控，防止權力移轉。Joanne Gowa 亦指出政治聯盟與貿易合作之間存在顯著的正向關聯，美國要求其盟友共同對中國設限，並規劃僅向盟友供應先進技術，體現界定敵我的同盟性，進一步說明科技戰已超越商業競爭，

成為體系權力、制度與價值體系競爭的一部分。當前科技戰展現的是一種以「控制關鍵技術外溢程度與流向」取代傳統軍事威脅的新型科技霸權維繫機制，此趨勢將深刻影響全球科技治理與國際秩序的未來走向，而美國的科技戰略核心挑戰在於如何明確辨識和精確控制關鍵技術和重要資源輸出，以維持自身技術優勢地位、防範競爭對手崛起。

綜上所述，美國科技戰的出發點是對中國國力提升與挑戰體系秩序的战略回應，反映出霸權國家對關鍵新興技術發展的重視和戰略性布局，也預示著科技治理可能成為未來重新建構全球秩序的戰場。封鎖重心由市場端轉向技術端的過程呈現美國政策手段的擴張性和前瞻性，不僅從此改變全球科技產業競爭格局，也揭示美國意圖將科技權力嵌入制度性權力結構，主導未來技術規則制定與價值分配機制，實踐新型科技霸權。

第三節 對中科技圍堵的政策挑戰

本論文第四章詳細整理了美國封鎖中國半導體產業的主要手段，包括透過出口管制、投資限制、加強科技同盟等方式阻止中國獲取先進製造技術與設備，減緩其高階晶片設計、先進製造以及人工智慧應用等新興技術領域的成長速度。本文分析這些政策已展現初步成果，包含阻礙中國產業升級進程、推動全球晶片供應鏈重組、增加本土產能投資等等，然而美國的圍堵政策仍面臨數個亟需應對的挑戰。

壹、走私問題

美國出口管制政策當務之急便是處理晶片走私問題。隨著美國政府收緊出口管制措施，中國企業也利用複雜的全球供應鏈網絡發展出多種規避美國制裁的走私手段。2024 年 4 月美國智庫戰略暨國際研究中心（Center for Strategic and International Studies, CSIS）發布研究報告 *Mapping the Chip Smuggling Pipeline and Improving Export Control Compliance*，揭示在初期採購、海關查驗、出口、轉運等各階段可能發生的十一種晶片走私手段。該報告指出這十一種走私手段中有七種較可能發生在發展中國家，因其缺乏識別走私行為的能力（例如基礎建設與海關檢驗設備較落後、缺乏完善的查驗、追蹤系統或出入境管理程序）、優先考慮本國發

展目標（促進本國貿易和港口收入）而非配合美方政策，或貪腐問題嚴重。貨品一但進入轉運網絡後便要動用更多跨國監管資源來追蹤貨品流向，然而 BIS 不具備監管全球港口走私網絡的能力，因此該報告認為更好的做法應是專注於從走私管道的上游——晶片採購到離開原產地港口之前——進行源頭控管 (Harithas, 2024)。

2024 年下半年美國參議院常設調查小組委員會 (Permanent Subcommittee on Investigations, PSI) 發布兩份以「美國技術助長俄羅斯在烏克蘭的戰爭」(The U.S. Technology Fueling Russia's War in Ukraine) 為主題的報告，報告背景源於烏克蘭在戰場上發現俄羅斯使用的軍事裝備與軍事系統中含有大量美國製造的半導體，且基輔經濟學院研究所 (KSE Institute) 於 2024 年年初揭露向俄羅斯出口最多戰場物資的前十五大企業中有九間是美國企業，且向俄羅斯武器系統出口技術前五名企業中有四間來自美國，分別是英特爾、德州儀器、超微（及其子公司 Xilinx）以及亞德諾半導體 (Analog Devices)，但這些公司聲稱對客戶與分銷商的轉移行為並不知情，且消極回應外部組織對其銷售產品的追蹤請求 (Permanent Subcommittee on Investigations, 2024a, p. 10)。調查報告亦指出中國正持續利用現行管制措施的重大漏洞獲取美國晶片並用於發展 AI 技術，不僅許多美國公司積極尋找能繼續向中國銷售產品的方法，中國企業也透過黑市走私、幕後交易、偽造運輸標籤等非法手段繞過美國政府制裁，這些都令美國行政單位難以追蹤、確認受管制的先進晶片或其他軍民兩用技術項目不會流入中國 (Permanent Subcommittee on Investigations, 2024b, pp. 10-12)。

為探究美國的技術產品流入俄羅斯武器系統和中國 AI 技術的原因，這兩份報告分別調查了美國半導體製造商出口管制合規情況並檢視 BIS 半導體出口管制政策執法成效，發現針對俄羅斯和中國的半導體出口管制效果不如預期的原因，並指出美國出口管制的兩大問題。

第一個問題是美國半導體製造商主動識別、控制產品流向的努力不足，且試圖逃避其分銷商(distributor)與經銷商(reseller)將產品轉移至俄羅斯和中國的責任。小組委員會調查上述四間美國半導體指標性企業後發現，這些企業僅對客戶進行粗略檢查以完成最低限度的法律要求，且美國企業雖配合政府禁止對俄羅斯與中國實體的出口政策，卻放任對其他高風險轉運國的出口數量大幅增加。儘管 BIS 持續強化出口管制措施，但這些政策很大程度上仍需仰賴企業配合採取嚴格的合規措施、主動核實分銷鏈銷售紀錄並控管產品流向才能發揮效力 (Permanent

Subcommittee on Investigations, 2024a)。

第二個問題是 BIS 執法能力與積極度不足導致出口管制成效不彰。舉例來說，BIS 缺乏可以執行國家安全業務的足夠預算與專業人員（例如精通特定外語、區域或國別研究的專業職員、資料分析師、資訊技術人員等等），以及 BIS 現有資訊系統創建於 2006 年且未得到妥善更新，系統過於老舊以致無法用來分析所有數據並進行跨部門整合，故難以建立有效追蹤貨品轉移、打擊走私行為的出口管理系統。此外，BIS 未能充分利用 ECRA 和 EAR 等法規賦予的法定權力來強力執行出口管制，反而是將如何遵守法律的決定權交給企業，既未對企業的出口管制計畫提出具體內容要求，亦未定期對企業計畫進行外部審查，BIS 甚至沒有積極對已知存在的違規行為提出指控或實施處罰，迫使企業遵守規定（Permanent Subcommittee on Investigations, 2024b）。

這些問題背後反映的是美國國內政府與企業之間複雜的利益衝突，以及美國行政部門執行政策的改進空間。從拜登卸任前發布的第三波半導體禁令與防止 AI 技術擴散監管框架來看，不論是建立「獲批准的 IC 設計商與 OSAT 廠商名單」、研擬許可豁免與授權機制、要求中下游代工製造與封裝廠核實產品流向，或是正面表列可出口 AI 晶片與授權 AI 技術的低風險國家名單等做法，都顯示美國已將打擊走私轉運行為視為下一階段出口管制措施的重點目標。未來除了觀察美國政府如何改善 BIS 科技執法能力、強化對國內供應商管理、跨國物流追蹤技術與情報共享機制外，還可深入探究跨境轉運網絡的組成、第三方國家扮演的角色、如何運用大數據或區塊鏈等新興技術識別制裁規避行為，以及民主體制政府如何平衡國家安全與私部門商業利益。

貳、對成熟製程半導體實施管制

隨著對中圍堵政策持續推進，美國下一步可能面臨是否要將出口管制措施擴大至成熟製程半導體與生產設備的兩難。與先進製程晶片相比，成熟製程晶片的生產門檻已經降低且市場需求量大，被廣泛應用於消費性電子產品、物聯網、汽車、家電、醫療裝置等眾多民生與工業領域；成熟製程晶片佔據全球四分之三的晶片市場，而中國擁有高達三成的產能。若美國欲擴大對此類產品與生產設備的出口限制，不僅會對全球供應鏈與電子產品市場價格造成負面衝擊，也意味著強迫本土企業

與盟友企業放棄在中國市場的龐大商業利益。基於上述顧慮，可預期美國未來的出口管制措施仍會聚焦於先進製程技術，並透過更嚴密的技術規格限制以及加強跨國合作防範走私行為來補強現行管制措施的漏洞。

中國至今仍能取得並生產 16/14 奈米以上的半導體產品與相關製造設備，加上國家大基金的持續挹注與生產補貼，中國已在國內大規模興建成熟製程晶圓廠，目標實現晶片自主與設備國產化、降低對外國（尤其美國）的依賴，預估 2025 年之後會有大量成熟製程晶片從中國外銷到國際市場，進而衝擊全球晶片價格。美國對中國傾銷晶片的潛在風險亦有所回應，2024 年 12 月美國貿易代表署（USTR）宣布針對中國的基礎半導體（亦稱傳統或成熟節點半導體）生產以及含有傳統晶片的下游產品啟動 301 條款調查，以釐清中國的生產補貼政策是否會對美國商業造成不公平的歧視性貿易待遇（USTR, 2024）。此舉延續川普政府時期對中國發起貿易戰、課徵懲罰性關稅的做法，也預示美國未來對中國的圍堵手段可能從先進技術封鎖擴展至壓制中國在成熟技術供應鏈的地位。

2024 年 12 月 BIS 發布了一份關於美國關鍵基礎設施供應鏈中使用中國製成熟節點晶片的調查報告，報告結果顯示 97 間受訪公司（產品中包含傳統晶片的產業最終用戶，佔全球晶片銷售額六分之一）中，僅有 17% 受訪公司能夠確認其提供的產品中不包含由中國晶圓代工廠生產的晶片，38% 受訪公司表示其產品中使用一定比例的中國製晶片，但還有 44% 受訪公司無法確認其產品是否包含此類晶片，顯示產品製造商與中國晶片供應商之間缺乏直接互動，且產業最終用戶（包含大部分提供國防產品的公司）對其產品中使用的晶片來源了解有限。儘管缺乏對晶片來源的完整了解，BIS 根據受訪公司的回覆估計出中國晶片在數量上佔所有晶片的 2.8%、在價值上佔所有晶片的 1.3%，雖然中國晶片在單一產品所使用的晶片總數中所佔比例很小，但其分布非常廣泛，市面上超過三分之二的美國公司產品含有中國製晶片（BIS, 2024i; Office of Technology Evaluation, 2024, pp. 3-6）。

另一方面，調查顯示雖然美國公司銷售的晶片中有四分之三來自非中國的晶圓代工廠，但對於使用中國晶圓代工廠的晶片供應商來說，基於中國代工成本較低、供應鏈採購多樣化、專業生產技術等原因，他們無法在中國以外找到可以承接其業務的晶圓代工廠，也缺乏足以促使這些供應商到中國以外生產晶片的市場激勵措施。這凸顯中國政府補貼生產、擴張產能的行為可能阻礙中國以外的晶圓代工廠投資、限制消費者可選擇的替代供應商，甚至讓其他晶片供應商面臨巨大的價格下行

壓力（Office of Technology Evaluation, 2024, pp. 6-10）。

儘管針對中國成熟半導體的 301 條款調查結果尚未出爐，美國已開始防範中國晶片產能過剩、傾銷全球可能帶來的風險，例如當前美國政府試圖利用關稅來抵銷中國在半導體產業的不公平貿易行為與非市場活動，並正在制定規則以實施《2023 財政年國防授權法》（James M. Inhofe National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2023）第 5949 條，預計自 2027 年 12 月起禁止美國政府部門從特定中國企業採購半導體產品與服務（Office of Technology Evaluation, 2024, p. 2）。從目前情勢來看，美國對中國晶片及其產品課徵關稅勢在必行，但在實務上可能面臨挑戰，例如某些供應商可能將詳細的零件來源資訊視為商業機密、廠商缺乏對特定零件材料資訊的追蹤系統，以及經銷商在貿易網絡中的層層分銷，使得美國政府需投入大量資源建立溯源或驗證系統以辨識零組件與終端產品當中的晶片來源（Office of Technology Evaluation, 2024, p. 6）。美國政府亦須審慎評估對何種類型的產品課稅才能達成政治效果：有鑑於成熟製程晶片的利潤空間有限，且考量最終產品使用中國製晶片的比例偏低，若僅針對中國晶片課稅零件關稅可能難以對最終產品的成本產生實質影響——製造商可能選擇自行吸收成本或轉嫁消費者，未必能達到遏制中國的政策目的；反之，若對最終產品課稅使價格明顯上漲，雖可能迫使製造商轉向採購非中國製晶片，但物價上漲對消費者造成的壓力可能會進一步引發國內選民對政策不滿（Cytera, 2025；羅家彤，2025）。此外，若不區分「中國廠製造但非中國品牌」的晶片，關稅措施亦會波及在中國設有成熟晶圓代工廠的外資企業（包括美國的盟友企業），使這些企業面臨受限於沉沒成本和提前撤出中國市場的兩難，也會衝擊全球晶片供應鏈布局。

參、中國的反制措施

美國憑藉其在全球技術供應鏈的主導地位對中國進行封鎖，使中國在追趕美國時面臨極大的技術與資金門檻。為反制美國的貿易戰與半導體圍堵，中國在法律、貿易、供應鏈與技術獲取等各層面加速推動反制措施，例如：發布《不可靠實體清單規定》、《出口管制法》、《阻斷外國法律與措施不當域外適用辦法》與《反外國制裁法》等針對性法規；效法美國的制裁政策反向制裁美國企業，例如 2023 年 5 月中國政府以存在涉及國家安全的網路安全問題為由，禁止本國企業與國內關鍵訊

息基礎建設營運商購買美國美光公司的記憶體晶片（限制向其出口軍民兩用物項）；以違反對臺軍售或防止敏感技術擴散為由將美國企業列入不可靠實體清單（禁止從事與中國有關的進出口貿易或投資活動）或出口管制清單（限制出口軍民兩用物項）；自 2024 年底開始陸續對輝達、Google、杜邦（DuPont，世界排名第二的化工公司）等美國企業展開反壟斷調查等等。

此外，中國也試圖利用其在全球稀土與關鍵礦產供應鏈中的優勢地位對特定材料實施出口限制，以此對仰賴中國供應原料的美國企業施加壓力，增加談判籌碼。在拜登任職總統期間，中國已對金屬鎵、銻、銻、超硬材料、石墨等元素及其化合物與相關兩用品項進行出口管制，川普第二次就任總統至今（2025 年 4 月）中國宣布再將 12 種稀土元素或關鍵金屬納入出口管制，這些材料被廣泛應用於太陽能板、電動車電池、強力磁鐵、導彈、雷達等先進武器系統與精密電子設備，其戰略價值不容小覷。此舉確實對美國企業與國防產業構成一定程度的供應鏈壓力，包含提高生產成本和原料供應不確定性，但鑒於這些材料在產品製造過程中所佔用量有限、業者尚保有一定庫存可供調度，且供應衝擊尚未直接波及關鍵武器系統生產之核心環節，短期內中國的出口限制措施尚不至於對美國構成致命性打擊。

然而，在美中地緣政治競爭的脈絡下，美國若希望確保稀土與其他關鍵礦產資源的穩定來源，勢必要承擔一系列經濟、環境和地緣政治上的代價，以加速供應鏈重組和去風險化。例如，在經濟層面，美國需投入大量資金重啟國內稀土開採與冶煉設施，並提升關鍵礦產的探勘、冶煉與回收提煉能力，這將涉及高昂的前期資本投入、產能擴張時間與技術提升之長期成本；在環境層面，稀土開採與精煉過程經常伴隨嚴重的環境汙染與廢棄物處理問題，若美國欲恢復本土產能，政府勢必要在環保法規、土地使用與地方民意之間進行謹慎的政治協商與政策調整，恐難以避免來自環境團體的阻力或地方反彈；在地緣政治上，美國亦須加強與關鍵稀土出口國之間的外交合作，或透過提供經濟援助、技術轉移或長期採購合約以換取穩定供應，然部分出口國可能存在政局不穩、法治薄弱與透明度不足等風險，可能對美國的投資安全或價值倡議構成挑戰。上述複雜的政治、經濟、環境與時間成本是美國追求供應鏈重組和實現戰略資源自主時難以迴避的結構性挑戰，也為中國提供了反制美國的戰略操作空間和機會窗口。

在半導體先進製程領域，由於 EDA 軟體和高階製程設備遭美國嚴格限制出口，導致中國的高階晶圓設計與代工量產能力受到壓制，然而中國並未坐以待斃，反而

積極調整產業政策與投資方向、尋求多元化策略以突破封鎖。儘管這些策略未必能從根本上解決技術瓶頸與經濟效益受限的結構性困境，亦可能在未來遭遇新的外部挑戰，但這些手段至少能在一定程度上減緩當前美國封鎖所帶來的壓力，並爭取時間推動本土技術突破與逐步替代。

首先，在國家大基金的挹注下，中國正積極強化其在成熟製程領域的競爭力。有鑑於全球對成熟製程晶片有持續且龐大的需求，中國可透過提升製程技術與擴大全球市佔率來獲取穩定獲利，並將收益反哺支持國內技術研發，在中低階製程與設備方面逐步推動國產替代。惟需擔憂若美國進一步將管制範圍擴及成熟製程，或對中國製晶片課徵高關稅，將可能阻礙中國在該領域的技術升級與市場擴張潛力。

其次，由於無法取得 EUV 曝光設備，中國業者正嘗試以 DUV 設備配合多重曝光技術來生產七奈米以下先進製程晶片，此做法雖在實驗室中具可行性，但在大規模商業量產上卻會面臨生產成本高昂、良率偏低和獲利困難等問題，使中國業者難與使用 EUV 技術的外國供應商競爭。因此，中國積極發展先進封裝技術、整合 chiplet 架構，試圖藉由先進封裝技術提升成熟晶片模組的效能，以彌補先進晶片製造的不足。此類技術確實能在一定程度上彌補效能落差，在特定應用場景下具有替代潛力，惟其開發與整合過程須與晶片前端設計與測試同步進行，不僅技術複雜度高、資本投入可觀，且難以完全取代先進製程晶片的性能優勢。

第三，中國也試圖建立本土科技生態系統，例如以國產晶片搭配本土企業研發的作業系統（如鴻蒙、麒麟、統信 UOS、深度 Linux 等等），並在國產手機、個人電腦、智慧家電、車用系統等應用場景逐步實現國產替代。此舉可滿足部分國內需求、減少對外國技術依賴，但其產業可持續性與國際競爭力有待觀察。從根本而言，若中國欲實現真正的技術自主，須在供應鏈上游便啟用國產 EDA 工具與半導體生產設備。儘管開源技術的興起在理論上為中國打造獨立的本土技術體系提供契機，但實務上中國仍需跨越先進製程的技術門檻、具備自主生產高階設備的能力，而後才能考慮從頭建立自主生態系以及全面替換現有系統的高昂成本與技術整合挑戰。

除產業政策外，中國亦持續推進「中國製造 2025」與「中國標準 2035」等國家戰略，試圖挑戰西方主導的全球技術標準體系。為取得技術突破，中國發展出多元技術獲取手段，例如透過海外人才招攬、跨國併購、合資企業、合作研究計畫、逆向工程、網路攻擊、強制或非法技術移轉，以及智慧財產權盜竊等方式從外國引入先進技術知識；中國也善用軍民融合策略和《國家情報法》強化政府部門（和軍

方)對國內企業的技術控制、情報共享與資源整合，允許中國政府將影響力延伸、滲透至在海外中資企業與研究機構，增加外國政府和外國廠商對中國企業真實背景的辨識難度。此外，隨著全球供應鏈重組，中國以「帶路倡議」增進區域經濟發展為名，積極與俄羅斯、伊朗、中亞、東南亞、南美、非洲等非西方國家或地區合作形成灰色技術貿易網絡，並以新加坡、印度等持不結盟原則的「中立國」作為轉運節點，規避美國行政部門的查緝與貿易管制。

總體而言，雖然上述策略難以對美國構成立即性威脅，但中國多層次、系統性的長期戰略佈局令外國政府難以全面防範其滲透，成為美國制定技術管制政策和重塑供應鏈時不可忽視的潛在挑戰。尤其在 AI、量子運算等新興技術的快速發展下，中國未來可能利用 AI 運算提升研發效率、尋找改進製程的方法，或是深化與新興市場和友好國家的合作以獲得轉移技術和關鍵情報，提高實現技術自主可控、突破美國封鎖的可能性。與美國高舉之單邊主義政策相反，中國積極表態支持多邊主義和全球貿易秩序的做法有助於其在國際組織中推動有利於自身利益的國際規範和技術標準，並在國際治理體系中與美國、歐盟等傳統強權競爭話語權，進一步擴展其制度性影響力與地緣競爭優勢，挑戰美國霸權建立的自由主義國際秩序。

肆、美國圍堵目標轉向防範新興 AI 技術擴散

在拜登政府任期進入尾聲之際，美國對中科技圍堵從半導體出口管制轉向防範 AI 模型技術擴散，此轉變在 2025 年 1 月中國公司「深度求索」開發的 AI 模型「Deepseek」橫空出世後顯更加急迫。DeepSeek 是主打低成本、高效能的開源模型，該模型聲稱在不依賴大量高階晶片與龐大運算資源的情況下亦能達成媲美當前市場上最先進的美系 AI 封閉式模型「ChatGPT」，挑戰了大型 AI 模型複雜程度取決於海量 GPU 堆疊累積運算能力的傳統觀念，外界將該模型對全球 AI 產業與金融市場的震撼稱為「DeepSeek Shock」。目前各界仍在研究中國 AI 技術的發展程度，部分研究者認為 DeepSeek 可能是透過「模型蒸餾技術」(distillation)，即參考現有高階 AI 模型的輸出結果以降低開發成本、縮短訓練時間，部份研究者則質疑 Deepseek 使用的晶片數量與開發成本是否如其所宣稱那般節省，亦有研究者擔憂 DeepSeek 存在內容審查機制、蒐集個人隱私與資料傳輸安全性不足等風險 (Huang, 2025; Mok, 2025；王薇瑄，2025)。

在政治上，DeepSeek 的革命性出現顯示中國企業可能找到了能巧妙規避美國出口管制的方法，美國以控制高階運算能力為中心的管制措施也被質疑能否有效限制中國技術發展，但多數研究者與政策制定者並不認為 DeepSeek 的成功意味著美國出口管制的失敗，而是反映了出口管制政策的「貓捉老鼠」性質以及政策落地的時間滯後效果（time-lag effect）（Mok, 2025）。深度求索公司聲稱 Deepseek 模型是用輝達 H800 系列晶片所訓練，此系列產品最初便是輝達為符合 2022 年半導體禁令而為中國市場專門設計的降規晶片，雖然隔年美國政府將輝達 H800 系列產品納入出口管制，但中國趕在該系列產品被禁止出口前大量囤貨，輝達則在禁令升級後再度推出降規版晶片 H20 系列。⁸⁰雖然中國展示了不使用高階晶片即能開發、訓練卓越 AI 模型的可行性，但全球 AI 產業對運算能力的需求只增不減，若中國想要應對快速迭代的市場需求、執行越來越複雜的功能任務，便需仰賴更高階的晶片提升運算效率。因此研究者們認為只要美國持續收緊出口管制措施、加強防範跨國走私，雙方 AI 技術與運算效能的結構性差距應會繼續擴大，從而限制中國訓練下一代模型和大規模部署 AI 技術的能力（Huang, 2025）。

儘管美國在 AI 領域處於領先地位，但不能否認中國正緊隨其後，且中國展現了以晶片數量擴大算力以外更具成本效益的創新技術，可能挑戰美國主導的全球 AI 格局。對於南方國家來說，開發和部署 AI 模型的巨大成本是採用 AI 技術的主要障礙，美國對 AI 技術的壟斷成為其對其他國家發揮影響力的另一個槓桿，但 DeepSeek 可能成為這些國家的替代選項，不僅使其更容易獲得 AI 技術、降低其國內部署的門檻，也能降低對美國昂貴晶片與技術的依賴，符合國家對於數位主權與科技自主性的需求，從而削弱美國對全球 AI 技術的壟斷地位。事實上，DeepSeek 揭示了一個「悖論」：美國嘗試透過出口管制和加強保護智慧財產權來維持其技術優勢，避免技術擴散削弱其霸權地位，然而在新興技術領域，能讓自身技術被廣泛傳播、應用於各國的技術擁有者才能成為最終受益的標準制定者（Chi, 2025）。美國政府與業界必須意識到中國有實力且有計畫性地競爭美國在 AI 生態系統的主導地位，且中國 AI 模型具備開源理念、可負擔成本、能降低對美依賴的特色可能會

⁸⁰ 2025 年 4 月 9 日美國政府再下令將輝達 H20 系列產品列入對中國(含港澳)以及 D5 類國家出口管制，並於 4 月 14 日進一步通知許可證要求將無限期有效，輝達在 4 月 15 日向美國證券交易委員會（U.S. Securities and Exchange Commission）提交的通知文件中表示該公司 2026 會計年度第一季財報預計將認列約 55 億美元與 H20 系列產品相關費用，包含庫存、採購承諾和相關準備金等（NVIDIA Corporation, 2025）。

更受全球南方國家歡迎（Huang, 2025; Mok, 2025）。

根據 2025 年最新發布的 AI 技術監管框架，美國政府擬針對 AI 晶片出口與 AI 技術授權設置國家分級清單，並建立授權風險評估機制來設立 AI 技術擴散防火牆，防止走私轉運行為。然而，防範 AI 模型擴散可能較為困難，因 AI 模型是可以跨境存在的軟體，不似以硬體形式存在、可透過物流和原產地查核方式追蹤運輸流向的半導體產品，加上 AI 技術不斷自我學習、升級迅速的特性，傳統的立法與監管流程恐怕無法及時跟上技術變革的步伐，現行多邊出口管制機制亦難以適用。因此，美國若要防止 AI 模型擴散，除了投入更多資源制定有效的 AI 技術管理措施與出口審查標準，也需要聯合盟友國家共同制定國際使用規範。

第四節 結語

在當前科技加速政治化、戰略化的時代，美中雙方在科技戰當中的政策互動不僅是一場國家間的權力競爭實例，更揭示了科技如何轉化為爭奪國際秩序主導權的權力工具和政策手段。透過出口管制、投資限制與強化科技聯盟等多管齊下的策略，美國試圖抑制中國科技發展進程，確保自身在關鍵新興技術領域的領先地位；中國則展現高度適應能力，積極開發能繞過制裁、從海外取得先進技術的替代路徑，並持續加強投資國內教育與產業研發，尋求突破美國封鎖、實現技術跨越。目前美國在半導體領產業的科技圍堵措施已初見成效，且封鎖範圍逐步擴大至人工智慧、量子運算等新興技術應用領域，將其對上游核心技術供應的控制作為對體系各國施加外交影響力的槓桿工具；中國則以擴張成熟製程產能、限制關鍵礦產出口進行反制，並強化在新能源、重化工業和電子製造等產業的市場地位以維持對全球科技供應鏈的影響力。美中雙方在關鍵與新興技術領域的博弈互動不僅深刻影響兩國間的權力競爭，亦將牽動地緣政治局勢、全球供應鏈安全、國際貿易規範以及科技治理體系的未來走向，甚至可能形成「全球科技冷戰」。因此，如何在日益激烈的科技競爭態勢下維持全球合作與國際秩序穩定將成為美中雙方乃至整體國際社會亟需面對的核心課題。

參考文獻



一、中文文獻

- Atkinson (2024)。人才短缺與文化衝突，半導體企業在美建晶圓廠大喊好難。TechNews 科技新報，8 月 19 日。<https://technews.tw/2024/08/19/semiconductor-companies-complain-about-the-difficulty-of-building-wafer-fabs-in-the-united-states/>
- Atkinson (2025)。先進製程 2 奈米之戰，台積電維持領先，三星、英特爾能否彎道超車。TechNews 科技新報，2 月 11 日。<https://technews.tw/2025/02/11/2025-semiconductor-special/>
- BBC 中文網 (2019a)。華為危機：除美國還有哪些國家對華為 5G 說不。5 月 27 日。<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-48394191>
- BBC 中文網 (2019b)。日韓貿易爭端 你需要知道的幾件事。8 月 9 日。<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-49292261>
- BBC 中文網 (2023)。日本加入限制芯片設備出口陣營 美國完成對華合圍。5 月 26 日。<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-65710230>
- Cheng, J. (2022)。中國半導體業「大基金」掀肅貪風暴。EE Times Taiwan，8 月 11 日。<https://www.eettaiwan.com/20220811nt11-china-big-fund/>
- Choe, S.-H. (2023)。韓國放棄要求日本公司賠償「二戰」勞工受害者。紐約時報中文網，3 月 7 日。<https://cn.nytimes.com/asia-pacific/20230307/south-korea-japan-forced-labor/zh-hant/>
- Kiki (2024)。2023 年中國芯片：進口額下滑 15.4%，進口量下降 10.8%。全球半導體觀察，1 月 16 日。<https://www.dramx.com/News/IC/20240116-35592.html>
- SGS 台灣 (2024)。淺談 PFAS 於半導體業的近況與未來。9 月 5 日。<https://www.sgs.com.tw/news-media-resources-content/page?id=1325>
- Sumzi (2021)。SEMICON China：中國半導體產業 30 年發展歷程的見證者。Sumzi 響拇指，9 月 6 日。https://www.sumzi.com/englishnew/news_info.aspx?id=9434
- 千人計劃網 (未註明)。千人計劃介紹。檢索日期 2025 年 4 月 29 日，取自 <https://web.archive.org/web/20200313080106/http://www.1000plan.org.cn/qrih/section/2?m=rcrd>
- 川上尚志 (2019)。華為「5G」基地台供貨超過 20 萬個。日經中文網，9 月 4 日。<https://zh.cn.nikkei.com/china/ccompany/37188-2019-09-04-08-47-04.html>
- 中央社 (2024)。路透：ASML 證實再多一款曝光機不能出口中國。1 月 26 日。<https://www.cna.com.tw/news/acn/202401260185.aspx>
- 中央社 (2025)。一張「死亡合影」道盡多少事 中國晶片界引以為恥。5 月 20 日。<https://www.cna.com.tw/news/acn/202505200174.aspx>
- 中商產業研究院 (2024a)。2024 年中國半導體材料行業市場前景預測研究報告 (簡版)。中商情報網，6 月 4 日。<https://m.askci.com/news/chanye/20240604/083448271746128855363254.shtml>
- 中商產業研究院 (2024b)。2024 年中國半導體設備產業鏈圖譜研究分析 (附產業鏈全景圖)。中商情報網，6 月 6 日。https://www.askci.com/news/chanye/20240606/092005271763606977008203_6.shtml
- 中國共產黨中央委員會、中華人民共和國國務院 (2021)。中共中央 國務院印發《國家標準化發展綱要》。中華人民共和國中央人民政府門戶網站，10 月 10 日。https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/10/content_5641727.htm
- 中國共產黨中央委員會組織部 (2012)。關於印發《國家高層次人才特殊支持計劃》的通知。中國人才網，8 月 17 日。<http://cpc.people.com.cn/n/2013/0129/c355107-20361611.html>
- 中國共產黨中央委員會辦公廳 (2008)。中共中央辦公廳轉發《中央人才工作協調小組關於實施海外高層次人才引進計劃的意見》的通知。千人計劃網，12 月 25 日。<https://web.archive.org/web/20120114075549/http://www.1000plan.org/qrih/article/339>
- 中國科學院半導體研究所 (2008)。中國半導體產業發展歷史大事記 (至 1999 年)。11 月 5 日。

- http://www.semi.cas.cn/kxcb/kpwz/201408/t20140818_4186219.html
中國國際貿易促進委員會北京市分會（2023）。荷蘭出口管制新規生效之際 中國半導體設備進口創新高。9月16日。
https://www.ccpitbj.org/web/static/articles/catalog_40fcc036830c53550183597640d5026e/article_40fcc036830c5355018a9b76bbb03f73/40fcc036830c5355018a9b76bbb03f73.html
- 中華人民共和國工業和信息化部（2024）。首台（套）重大技術裝備推廣應用指導目錄（2024年版）。中華人民共和國中央人民政府門戶網站，9月2日。
<https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202409/P020240915739390210902.pdf>
- 中華人民共和國商務部（2024）。商務部公告 2024 年第 46 號 關於加強相關兩用物項對美國出口管制的公告。中華人民共和國商務部產業安全與進出口管制局，12月3日。
https://aqygzi.mofcom.gov.cn/flzc/gzjgfwj/art/2024/art_daaa02c05d8946179dcf5d1ba499ac46.html
- 中華人民共和國商務部、海關總署（2023）。商務部 海關總署公告 2023 年第 23 號 關於對鎢、鉕相關物項實施出口管制的公告。中華人民共和國商務部，7月3日。
<https://m.mofcom.gov.cn/article/zwgk/gkzcfb/202307/20230703419666.shtml>
- 中華人民共和國商務部、海關總署（2024）。商務部 海關總署公告 2024 年第 33 號 關於對銻等物項實施出口管制的公告。中華人民共和國商務部產業安全與進出口管制局，8月15日。
https://aqygzi.mofcom.gov.cn/qdml/art/2024/art_b907a108e35945db9f8b04e1cd77b659.html
- 中華人民共和國商務部、海關總署（2025a）。商務部 海關總署公告 2025 年第 10 號 公布對鎢、銻、鉕、鉬相關物項實施出口管制的決定。中華人民共和國商務部，2月4日。
https://www.mofcom.gov.cn/zwgk/zcfb/art/2025/art_e623090907fc4e1092f0a4db72f57b95.html
- 中華人民共和國商務部、海關總署（2025b）。商務部 海關總署公告 2025 年第 18 號 公布部分中重稀土相關物項實施出口管制的決定。中華人民共和國商務部，4月4日。
https://www.mofcom.gov.cn/zwgk/zcfb/art/2025/art_9c2108ccaf754f22a34abab2fedaa944.html
- 中華人民共和國國家知識產權局（2021）。國家知識產權局關於進一步嚴格規範專利申請行為的通知。1月27日。
https://www.cnipa.gov.cn/art/2021/1/27/art_545_156433.html
- 中華人民共和國國家知識產權局（2022）。國家知識產權局關於持續嚴格規範專利申請行為的通知。1月25日。
https://www.cnipa.gov.cn/art/2022/1/25/art_75_172922.html
- 中華人民共和國國家發展和改革委員會（2011）。中華人民共和國國民經濟和社會發展第十二個五年規劃綱要。檢索日期 2025 年 5 月 7 日，取自
<https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gifzgh/201109/P020191029595702423333.pdf>
- 中華人民共和國國家發展和改革委員會（2021）。中華人民共和國國民經濟社會發展第十四個五年規劃和 2035 年遠景目標綱要。檢索日期 2025 年 5 月 7 日，取自
<https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202103/P020210323538797779059.pdf>
- 中華人民共和國國家標準化管理委員會（2020）。國家標準化管理委員會關於印發《2020 年全國標準化工作要點》的通知（國標委發〔2020〕8 號）。3月10日。
<http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/24/5494968/files/cb56eedbcacf41bd98aa286511214ff0.pdf>
- 中華人民共和國國務院（2006）。國家中長期科學和技術發展規劃綱要（2006-2020 年）。中華人民共和國中央人民政府門戶網站。檢索日期 2025 年 5 月 7 日，取自
http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/gongbao/content/2006/content_240244.htm
- 中華人民共和國國務院（2015）。國務院關於印發《中國製造 2025》的通知（國發〔2015〕28 號）。中華人民共和國中央人民政府門戶網站，5月8日。
http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/gongbao/content/2015/content_2873744.htm
- 中華人民共和國國務院辦公廳（2017）。國務院辦公廳關於推動國防科技工業軍民融合深度發展的意見（國辦發〔2017〕91 號）。中華人民共和國中央人民政府門戶網站，12月4日。
https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-12/04/content_5244373.htm
- 今日光電（2023）。【今日分享】詳解半導體設備市場現狀及最新國產化情況。電子工程專輯，12月14日。
<https://www.eet-china.com/mp/a274627.html>



今周刊編輯團隊 (2021)。拜登對總市值 26 兆中企出手！補強川普留下的制裁手段「新版黑名單」威嚇效果再升級。今周刊，7 月 27 日。

<https://www.businessstoday.com.tw/article/category/183025/post/202107270038/>。

元象資本 (2023)。半導體產業上游——EDA&IP 行業概覽。12 月 19 日。

<https://metaegh.com/2023/12/19/%E5%8D%A%E5%B0%8E%E9%AB%94%E7%94%A2%E6%A5%AD%E4%B8%8A%E6%B8%B8-edaip%E8%A1%8C%E6%A5%AD%E6%A6%82%E8%A6%BD/>

友子 (2024)。2 奈米製程有望徹底改變半導體產業，2025 年台積電和三星將在此較量。科技產業資訊室，12 月 23 日。<https://iknow.stpi.niar.org.tw/post/Read.aspx?PostID=21360>

太田泰彥 (2022)。半導體地緣政治學 (卓惠娟譯)。野人文化股份有限公司。(原著出版於 2021)

尹慧中、蕭君暉 (2025)。美管制禁令一年後生效 AI 晶片將掀搶貨潮。經濟日報，1 月 14 日。

<https://money.udn.com/money/story/5612/8487925>

方華香 (2024)。外國企業在臺設置研發中心之補助法制研析-以美國法之補助追回為借鏡 (編號：R02514)。立法院法制局，6 月。

https://www.ly.gov.tw/Pages/ashx/File.ashx?FilePath=~/File/Attach/241416/File_19814503.pdf

木風 (2010)。奧巴馬宣布出口管制改革方案。美國之音，8 月 31 日。

<https://www.voachinese.com/a/article-20100901-white-house-plan-ease-export-control/767212.html>

王一鳴 (2024)。ASML2023 全年淨銷售額達 276 億歐元 第四季度新增訂單 92 億歐元。證券時報網，1 月 24 日。<https://www.stcn.com/article/detail/1102618.html>

王庚 (2024)。美國外國直接產品規則：歷史演進、國際法合法性及中國應對。國際法研究，(5)，145-160。[Wang, G. (2024). Foreign Direct Product Rules of the United States: Historical Evolution,

International Legitimacy and China's Response. *Chinese Review of International Law*, (5), 145-160.]

https://guojifayanjiu.ajcass.com/Admin/UploadFile/Issue/201707170103/2024/10/20241016014051WU_FILE_0.pdf?utm_source=chatgpt.com

王剛 (2023)。論文工廠造假猖獗已成規模產業 中國尤為重災區。美國之音粵語網，5 月 11 日。

<https://www.voacantonese.com/a/academics-worry-paper-mill-production-becomes-alarmingly-common-20230511/7088337.html>

王剛 (2024)。繼鎔和鎢後 中國限制稀有戰略金屬銻的出口 美國會被“報復”到嗎。美國之音粵語網，9 月 8 日。<https://www.voacantonese.com/a/china-antimony-export-us-20240908/7775983.html>

王煜翔、聶廷榛 (2022)。國際經貿規範動態分析月報 2022 年 1 月。中華經濟研究院 WTO 及 RTA 中心，2 月 10 日。<https://web.wtocenter.org.tw/Page/38/366997>

王綉雯 (2020)。美國公布中國軍方企業黑名單之觀察。國防安全雙週報，(7)，33-37。

<https://indsr.org.tw/respublicationcon?uid=12&resid=780&pid=1925>

王聖閔 (2020)。日韓貿易戰之影響分析及其對產業鏈的衝擊。臺灣經濟研究月刊，43 (1)，50-56。

[https://doi.org/10.29656/TERM.202001_43\(1\).0008](https://doi.org/10.29656/TERM.202001_43(1).0008)

王薇瑄 (2025)。發現微趨勢／當 DeepSeek 遇上 ChatGPT...。經濟日報，2 月 17 日。

<https://money.udn.com/money/story/122331/8554252>

北風窗 (2025)。超 50 億美元！半導體裝置中國國產化率 13.6%，刻蝕推進到 3nm，大多至 14nm、7nm。鉅亨號，2 月 7 日。<https://hao.cnyes.com/post/133991>

古莉 (2023)。五眼聯盟情報局局長就中國“竊取”知識產權發出警告。法國國際廣播電台，10 月 18 日。<https://rfi.my/A1so>

史際春、吳鏡俊 (2021)。論如何阻斷“長臂管轄”。經貿法律評論，(5)，38-47。[Shi, J., & Wu, Y. (2021). On How to Block Foreign “Long Arm Jurisdiction.” *Business And Economic Law Review*, (5), 38-47.]

<https://law.uibe.edu.cn/docs/2021-10/86e34478b7ba415497c4aa475ab4ec0c.pdf>

永豐銀行 (2023)。日本半導體 30 年寒冬將逝 Rapidus 目標 6 年超韓趕美。永豐商業銀行主題趨勢報，7 月。<https://bank.sinopac.com/upload/sinopac/spbtBookMark/189200164eb0000082a6.pdf>

永豐銀行 (2024)。您不可不知的國際規範-解鎖國際經濟制裁。11 月 28 日。

<https://mma.sinopac.com/MMA8/mma/html/news/news20241205.pdf>

石秀娟 (2024)。美限制對中科技投資法未通過 分析：川普任內變數增。中央社，12 月 27 日。



- <https://www.cna.com.tw/news/aopl/202412270018.aspx>
多部田俊輔 (2024a)。中國半導體製造設備市場 2025 年或縮小。日經中文網, 11 月 8 日。
- <https://zh.cn.nikkei.com/industry/itelectric-appliance/57185-2024-11-08-05-00-56.html>
多部田俊輔 (2024b)。中國半導體自給率提高, 或變向突破。日經中文網, 11 月 20 日。
- <https://zh.cn.nikkei.com/china/ccompany/57295-2024-11-20-05-01-07.html>
艾米 (2023)。路透社: 中國“千人計畫”易名後 已悄然在海外招募半導體精英。法國國際廣播電台, 8 月 24 日。 <https://rfi.my/9sA1>
- 西部證券研究發展中心 (2024)。西部研究 | 2025 年度策略 (電子篇)。新浪財經, 12 月 25 日。
<https://finance.sina.com.cn/roll/2024-12-25/doc-inearzcr0826951.shtml>
- 何明彥 (2024)。美高科技新戰場: 中國「電子設計自動化 (EDA)」的發展與策略。科技、民主與社會研究中心, 2 月 23 日。 <https://dset.tw/research/00005/>
- 吳金榮 (2020)。海思未來的生存之道。數位時代, 9 月 18 日。
<https://www.bnext.com.tw/article/59236/hisilicon-semiconductor>
- 吳金榮 (2024a)。【觀點】AI PC 點火 CPU 戰場, 高通 Arm 架構狂搶英特爾生意! 蘇姿丰也全力應戰。數位時代, 6 月 3 日。 <https://www.bnext.com.tw/article/79311/ai-pc-copilot-arm-pc-cpu>
- 吳金榮 (2024b)。【圖解】中國半導體默默布局, 自製設備會成科技戰最大破口? 3 張圖解密新競爭態勢。數位時代, 7 月 23 日。 <https://www.bnext.com.tw/article/79833/china-developing-semiconductor-equipment-industry>
- 吳有蓁 (2023a)。【美股研究報告】應用材料 Applied Materials FY22Q4 營收創新高, 後市仍能逆風高飛還是迴光返照。美股放大鏡, 1 月 12 日。 <https://magnifier.cmoney.tw/applied-materials-fy22q4/>
- 吳有蓁 (2023b)。【產業動態】SEMI 最新報告出爐, 半導體設備股守得雲開見月明, 2024 年設備支出有望重返成長, 誰將成為大贏家。美股放大鏡, 3 月 27 日。
<https://www.forecaststock.tw/article/yolandawu-a4535del-d95a-11ef-aafe-0ab827b31086>
- 李正通 (2022)。美高科技戰的現實主義視角分析與因應。財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心, 9 月。[Li, A. (2022). *A Realist Analysis of US-China Competition in Science and Technology*. Science & Technology Policy Research and Information Center (STPI).]
<https://www.airitilab.com/abc/P20221116045/9789576193361.pdf>
- 李哲、占豪 (2024)。半導體零部件國產化程度低, 蘊含巨大投資機會。民生證券, 8 月 11 日。
https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202408111639232303_1.pdf
- 李哲、羅松 (2024)。大基金三期啟航, 半導體進入上行週期。民生證券, 6 月 9 日。
https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202406091635914020_1.pdf
- 李晨光 (2023)。芯片大廠奔赴東南亞。半導體行業觀察, 2 月 23 日。
<https://mp.weixin.qq.com/s/H0u58hgKGnsyqMZaoKiL3A>
- 李淑蓮 (2018)。川普任內連十禁: 博通高通併購破局跟華為有什麼關係。北美智權報, 207 期。
https://www.naipo.com/Portals/1/web_tw/Knowledge_Center/Industry_Economy/IPNC_180321_0701.htm
- 李貴英 (2021)。歐盟與美國外資安全審查機制之比較研究。歐美研究, 51(3), 597-651。[Li, C. (2021). A Comparative Study of the EU and the US Approaches in Screening Foreign Direct Investment on Security Grounds. *EurAmerica*, 51(3), 597-651.] [https://doi.org/10.7015/JEAS.202109_51\(3\).0005](https://doi.org/10.7015/JEAS.202109_51(3).0005)
- 李綺雯 (2023a)。中國爛尾晶圓廠下場竟淪養雞場。自由財經, 1 月 11 日。
<https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/4180683>
- 李綺雯 (2023b)。日本比美國狠 中國半導體舉步唯艱。自由財經, 8 月 4 日。
<https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/4382770>
- 李震宇 (2024)。我國生產半導體等機械出口 10 年來成長 2.6 倍, 今年 1-7 月佔機械總出口已突破 2 成。財政統計通報, (15), 8 月 15 日。
<https://service.mof.gov.tw/public/Data/statistic/bulletin/113/%E7%AC%AC15%E8%99%9F-%E6%A9%9F%E6%A2%B0%E5%87%BA%E5%8F%A3.pdf>
- 周冠竹 (2024)。誰遙遙領先: 論美高科技權力評估。問題與研究, 63(3), 29-77。[Chou, K. (2024). Leadership in Technology: Analyzing the US-China Dynamic in Technological Power. *Issues & Studies*,

- 63(3), 29-77.] [https://doi.org/10.30390/ISC.202409_63\(3\).0002](https://doi.org/10.30390/ISC.202409_63(3).0002)
- 周爾雙、李文意 (2024)。海外半導體設備巨頭巡禮系列：詳解光刻巨人 ASML 成功之奧妙。東吳證券，10 月 15 日。https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202410151640308315_1.pdf?1729025931000.pdf
- 尚子雅 (2019)。簡介美國《外人投資風險審查現代化法案》之細則草案。經貿法訊，(261)，6-11。
<https://tradelaw.nccu.edu.tw/epaper/no261/2.pdf>
- 易志成 (2004)。全球化下的高科技半導體產業移轉——兼論臺灣半導體產業西移與國家安全（外交部九十三年度中高級人員出國進修）。公務出國報告資訊網。檢索日期 2025 年 5 月 7 日，取自
<https://report.ndc.gov.tw/ReportFront/ReportDetail/detail?sysId=C09402765#a>
- 杰西 (2020)。美聯邦退休基金暫停在華投資 此舉或產生重大影響。美國之音中文網，5 月 14 日。
<https://www.voachinese.com/a/pension-government-fund-coronavirus-20200513/5418754.html>
- 松元則雄、渡邊直樹 (2020)。拆解華為 5G 基地台：美國零部件佔 3 成。日經中文網，10 月 13 日。
<https://zh.cn.nikkei.com/china/ccompany/42328-2020-10-13-04-59-06.html?start=0>
- 林正義 (2020)。美中關係的網路安全問題。遠景基金會季刊，21 (4)，1-57。[Lin, C. (2020). The Cybersecurity Problem in U.S.-China Relations. *Prospect Quarterly*, 21(4), 1-57.]
<https://www.pf.org.tw/tw/pfch/17-7728.html>
- 林志佳 (2024)。全面禁光刻機和先進技術！美國聯手荷蘭擴大對華芯片出口限制，今年中國已“掃貨”250 億美金。網易，9 月 9 日。<https://www.163.com/dy/article/JBKJ39PB05118O92.html>
- 林佳宜 (2022)。近期美國對中晶片禁令之發展及對台影響。國防安全雙週報，(70)，7-12。
<https://indsr.org.tw/respublicationcon?uid=12&resid=1935&pid=3615>
- 林卓元 (2024)。日本將提出未來出口管制改革方向。中華經濟研究院 WTO 及 RTA 中心，5 月 8 日。
<https://web.wtcenter.org.tw/Page/510/398132>
- 林宸誼 (2024)。歐盟盯陸成熟製程半導體 可能進一步制定應對措施。經濟日報，7 月 7 日。
<https://money.udn.com/money/story/12926/8078319>
- 芯思想 (2024)。2023 年全球委外封測榜單。電子工程專輯，2 月 28 日。<https://www.eet-china.com/mp/a293152.html>
- 芯思想 (2025)。2024 全球委外封測榜單，韓國公司首次入選。電子工程專輯，2 月 24 日。
<https://www.eet-china.com/mp/a384232.html>
- 芯智訊 (2024)。國產半導體設備四巨頭論道“自主可控”。騰訊網，8 月 3 日。
<https://news.qq.com/rain/a/20240803A03ZW100>
- 邱立玲 (2024)。輝達先進 AI 晶片可能在台積電亞利桑那新廠生產 卻要送台灣封裝。信傳媒，12 月 6 日。<https://www.cmmedia.com.tw/home/articles/51054>
- 邱奕宏 (2014)。美國外來投資審查及「外來投資與國家安全法」之發展。貿易政策論叢，(21)，1-45。
<https://wto.cnfi.org.tw/upload/file/Dir004/Cat073/21-01.pdf>
- 邵逸琦 (2024)。日本半導體，悶聲發大財。富途牛牛，5 月 7 日。
https://news.futunn.com/hk/post/41951183/japanese-semiconductors-make-a-fortune-in-silence?level=1&data_ticket=1731856120307225
- 金博、田籥 (2022)。大基金反腐風暴背後交集：丁文武、趙偉國以及頻繁的百億投資。財聯社，7 月 30 日。<https://www.cls.cn/detail/1086267>
- 姚嘉洋 (2019)。TrendForce：2018 年全球前十大 IC 設計公司營收排名出爐，僅高通、聯發科衰退。Trendforce，2 月 27 日。<https://www.trendforce.com.tw/presscenter/news/20190227-3824.html>
- 星洲日報 (2024)。美祭出半導體新禁令 出口管控擴至馬新等。12 月 3 日。
<https://www.sinchew.com.my/news/20241203/nation/6122807>
- 段智恆 (2023)。中國大基金二期出資人民幣 129 億元 入股長江存儲。鉅亨網，3 月 2 日。
<https://news.cnyes.com/news/id/5101910>
- 洪子傑 (2018)。中國近期發展軍民融合概要。國防安全週報，(25)，1-6。
<https://indsr.org.tw/respublicationcon?uid=12&resid=678&pid=3319&typeid=3>
- 洪友芳 (2024)。林本堅：半導體設備無法由單一個國家壟斷。自由財經，4 月 2 日。
<https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/4628066>
- 科技產業資訊室 (2022)。美眾議院通過 3500 億美元美國競爭法 但參眾兩院版本整合是大挑戰 對

半導體晶片投資 520 億美元。2 月 7 日。<https://iknow.stpi.niar.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=18766>

美國之音 (2019)。不顧政治壓力 美聯邦退休金將投資中國股票。美國之音粵語網, 11 月 14 日。
<https://www.voacantonese.com/a/china-investment-security-federal-pension-20191113/5165639.html>

美國之音 (2023)。東京電子：中國面對多國出口禁令正大肆採購其較不先進的芯片製造設備。美國之音粵語網, 12 月 17 日。<https://www.voacantonese.com/a/tokyo-electron-says-china-is-snapping-up-its-less-advanced-chip-tools-amid-export-controls-20231216/7400955.html>

美國之音 (2024)。荷蘭擴大光刻機出口管制 中國表示“不滿”。美國之音粵語網, 9 月 8 日。
<https://www.voacantonese.com/a/china-is-dissatisfied-with-new-dutch-export-controls-20240908/7775887.html>

倪安 (2012)。美國會認定華為中興對美國國家安全構成威脅。法國國際廣播電台, 10 月 9 日。
<https://www.rfi.fr/tw/%E4%B8%AD%E5%9C%8B/20121009-%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E6%9C%83%E8%AA%8D%E5%AE%9A%E8%8F%AF%E7%82%BA%E4%B8%AD%E8%88%88%E5%B0%8D%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E5%AE%B6%E5%A%E%89%E5%85%A8%E6%A7%8B%E6%88%90%E5%A8%81%E8%84%85>

姬曉婷 (2024)。產能利用率超 90%，中芯國際趙海軍作出回應。中國半導體行業協會, 11 月 11 日。
<https://web.csia.net.cn/newsinfo/7738828.html>

徐遵慈 (2024)。東南亞半導體產業的展望與局限。聯合報, 9 月 13 日。
<https://udn.com/news/story/123296/8224970>

徐遵慈、鐘雲曦 (2023)。歐盟、中國大陸和韓國晶片法案政策解析。中華經濟研究院 WTO 及 RTA 中心, 7 月 26 日。<https://web.wtcenter.org.tw/Page/250/387458>

財聯社 (2024)。機構解讀：國家大基金三期會頭向哪些領域。東方財富網, 5 月 28 日。
<https://finance.eastmoney.com/a/202405283088945045.html>

國家科學及技術委員會 (2024)。112 年全國科技動態調查結果。檢索日期 2025 年 4 月 24 日, 取自
<https://www.nstc.gov.tw/nstc/attachments/47ce0ec7-2318-45e2-88b8-2091059d82bf>

崔有植 (2024)。“華為是燒錢的黑洞”...中國 SMIC 為其供貨遭遇“業績衝擊”。朝鮮日報中文版, 5 月 20 日。
<https://cnnews.chosun.com/client/news/viw.asp?nNewsNumb=20240560963&cate=C01&mcate=M1002>

康彰榮 (2024)。美對中晶片禁令 燒向高階筆電。工商時報, 3 月 31 日。
<https://www.ctee.com.tw/news/20240331700017-439901>

張文暉 (2018)。232 和 301 中美貿易摩擦中最火的兩個數是什麼意思。中國新聞網, 4 月 7 日。
<https://m.chinanews.com/wap/detail/cht/zw/8485133.shtml>

張婷、林燕、陳霆 (2024)。更新：參議院通過支出法案 避免政府停擺。大紀元新聞網, 12 月 20 日。
<https://www.epochtimes.com/b5/24/12/20/n14395014.htm>

張渝彬 (2024)。六大行宣布 10 年內實繳到位, 各期國家大基金實繳、投資情形如何。銀柿財經, 5 月 30 日。<https://www.yinsfinance.com/article/1341890.shtml>

張瑞益 (2025)。先進封裝將躍封測大當家 一表看三大封測廠布局。工商時報, 1 月 2 日。
<https://www.ctee.com.tw/news/20250102700057-439901>

敖國鋒、喬安、王豫琪。(2023)。TrendForce：美晶片法限制嚴苛將降低業者投資意願，中國半導體未來十年發展將受限。TrendForce, 4 月 13 日。
<https://www.trendforce.com.tw/presscenter/news/20230413-11643.html>

梁曉晟 (2025)。2024 年中國半導體 IP 產業發展現況及趨勢分析，產業發展迅速，國產替代不斷突破「圍」。華經情報網, 1 月 22 日。<https://www.huaon.com/channel/trend/1048436.html>

細川幸太郎 (2024)。雙重中國因素讓日本半導體設備股難回暖。日經中文網, 10 月 17 日。
<https://zh.cn.nikkei.com/politicsaeconomy/stockforex/56969-2024-10-17-05-00-53.html?start=0>

莫紹晉 (2023)。【重大事件】荷蘭宣布新晶片製造設備出口管制 2023 年 9 月生效, ASML 和 ASM 將會受到多大影響。美股放大鏡, 7 月 12 日。<https://www.forecaststock.tw/article/josh-5745e44c-d95a-11ef-823d-ad51922b37c5>

許祺安 (2023)。荷蘭對中國半導體設備管制生效 ASML 年前持續出貨陸企、明年停運。香港 01,

- 9月1日。https://www.hk01.com/article/936168?utm_source=01articlecopy&utm_medium=referral
許寧 (2021)。弘芯千億“芯騙”工程落幕 全民“大煉鋼”的翻版。美國之音中文網，3月6日。
<https://www.voachinese.com/a/china-tech-investment-fraud-20210305/5803152.html>
- 郭妍希 (2022)。陸半導體企業先倒閉潮 統計：1~8月數量刷歷史高。MoneyDJ理財網，9月16日。
<https://www.moneydj.com/kmdj/news/newsviewer.aspx?a=8d49f8dc-ee8d-42aa-988f-212fbafd6d8a>
- 郭妍希 (2024a)。赴美建廠挑戰大？台積、Intel 供應商傳推遲進度。MoneyDJ理財網，3月19日。
<https://technews.tw/2024/03/19/building-a-factory-in-the-us-is-challenging/>
- 郭妍希 (2024b)。傳三星二代3奈米良率僅20%、連韓企都投靠台積電。MoneyDJ理財網，11月12日。
<https://www.moneydj.com/kmdj/news/newsviewer.aspx?a=8bd76290-d2ea-49f6-a3ae-e83151b0d277>
- 陳之麒、沈恆立 (2020)。美國對中國大陸科技限制措施之動向觀察。經濟前瞻，(187)，59-64。
<https://www.cier.edu.tw/site/cier/public/data/187-059-064-%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E5%B0%8D%E4%B8%AD%E5%9C%8B%E5%A4%A7%E9%99%B8%E7%A7%91%E6%8A%80%E9%99%90%E5%88%B6%E6%8E%AA%E6%96%BD%E4%B9%8B%E5%8B%95%E5%90%91%E8%A7%80%E5%AF%9F-%E9%99%B3%E4%B9%8B%E9%BA%92%E6%B2%88%E6%81%86%E7%AB%8B.pdf>
- 陳文彬 (2020)。美中第一階段貿易協定對全球體系之影響。APEC 通訊，(244)，13-18。
<https://www.apecstudycenter.org.tw/storage/publications/2020%E5%B9%B4%E6%9C%88%E7%AAC%AC244%E6%9C%9F.pdf>
- 陳怡菱 (2023)。日本出口管制納入23項先進半導體設備 範圍擴及14奈米以下。報呱，4月7日。
<https://pourquoi.tw/intlnews-neasia-230331-230406-2/>
- 陳怡樺 (2023)。日本半導體設備市場現況及布局。經濟部產業技術司，12月13日。
https://www.moea.gov.tw/mns/doit/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=513
- 陳冠榮 (2023)。憂買不到 NVIDIA GPU，百度傳向華為下單昇騰 AI 晶片。TechNews 科技新報，11月8日。
<https://technews.tw/2023/11/08/baidu-placed-ai-chip-order-from-huawei-in-shift-away-from-nvidia/>
- 陳建鈞 (2023)。Mate 60 Pro 驚人拆解：近半零件中國產！OLED 面板、7奈米晶片，中國技術進展有多快。數位時代，11月13日。
<https://www.bnext.com.tw/article/77394/mate-60-pro-teardown>
- 陳律安 (2025)。輝達突圍 開發陸降規晶片 預期 B30 符合美方規範。經濟日報，6月2日。
<https://money.udn.com/money/story/5612/8778226>
- 陳婕洺 (2025)。國際特稿：美國晶片籠子圍困 中國智能提速破陣。聯合早報，5月11日。
<https://www.zaobao.com.sg/news/world/story20250511-6303343>
- 陳霆 (2024)。美15州財務官員促公共養老金從中國撤資。大紀元新聞網，11月2日。
<https://www.epochtimes.com/b5/24/11/2/n14362865.htm>
- 陳麗珠 (2024)。放棄贏台灣？韓媒嘆三星3奈米良率僅2成打不過台積電。自由財經，12月23日。
<https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/4901911>
- 曾耀民、陳淑敏 (2022)。美國晶片及科學法概要及可能影響之簡析 (編號：1608)。立法院法制局。
https://www.ly.gov.tw/Pages/ashx/File.ashx?FilePath=~/File/Attach/222101/File_19747784.pdf
- 湯士萱 (2022)。中國大陸推動半導體產業之發展與影響。經濟研究，22，(13)1-(13)37。
<https://reurl.cc/zYKLyk>
- 湯京平 (2015)。第八章 個案研究。載於瞿海源、畢恆達、劉長萱、楊國樞 (編)，社會及行為科學研究法：質性研究法 (頁249-279)。臺灣東華書局股份有限公司。
- 程雯 (2024)。從中國撤資 美國越來越多州在積極行動。大紀元新聞網，7月29日。
<https://www.epochtimes.com/b5/24/7/29/n14300763.htm>
- 童振源 (2025)。台積電市佔67.1%再創新高！晶圓代工10強，中芯獲利砍半、力積電墊底...駐星代表童振源：神山地位難撼動。今周刊，3月11日。
<https://www.bustoday.com.tw/article/category/183025/post/202503110045/>
- 集邦科技 (2020)。美擴大對華為禁令對記憶體與晶圓代工影響。EE Times Taiwan，5月19日。
<https://www.cettaiwan.com/20201519nt22-expanded-us-rules-sanctioning-huawei/>

集邦科技 (2024)。TrendForce：美國再更新先進半導體禁令，對產業實際影響將不顯著。

TrendForce，4月9日。<https://www.trendforce.com.tw/presscenter/news/20240409-12109.html>

黃禾田、李淳 (2022)。美歐晶片法案之重要內涵及意義。當代法律，(5)，178-185。

<https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=P20240521001-N202410310018-00028>

黃哲融 (2022)。美國眾議院通過《2022年美國競爭法》。中華經濟研究院 WTO 及 RTA 中心，2月10日。<https://web.wtcenter.org.tw/Page/503/366993>

黃慧修 (2024)。半導體製程技術演進與國際大廠競爭態勢。經濟部產業技術司，6月5日。

https://www.moea.gov.tw/MNS/doit/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=538

楊紹麗 (2024)。2024年中國 EDA 軟件行業現狀及競爭格局研判：EDA 軟件行業蓬勃發展，人工智能為其加速擴張注入了強勁動力[圖]。智研諮詢，7月30日。

<https://www.chyxx.com/industry/1193542.html>

楚月 (2015)。從“千人計劃”到“萬人計劃”。人民網，8月。

http://paper.people.com.cn/rmzk/html/2015-08/10/content_1617500.htm

楚良一 (2023)。韓國總統尹錫悅訪日 日韓關係完全正常化。法國國際廣播電台，3月16日。

<https://rfi.my/9FeB>

經濟部國際貿易署 (2024)。新加坡媒體專題報導指出，新加坡與馬來西亞產業互補，可共享半導體大餅。中華民國對外貿易發展協會，5月13日。

https://www.taitra.org.tw/News_Content.aspx?n=104&s=89078#

葉長城 (2021)。近期美國對中科技政策的形成、轉變及其主要可能影響研析：以半導體產業為例。全球政治評論，(76)，55-83。[Yeh, C.-C. (2021). The Formation, Evolution and Major Possible Influence of the US's Technology Policy toward China: A Case Study of the Semiconductor Industry. *Review of Global Politics*, (76), 55-83.]

<https://gioip.nchu.edu.tw/Front/Publication/ReviewofGlobalPolitics/News.aspx?id=QxC8fpvDLH0=&page=2&Sn=476>

電子工程專輯 (2025)。海關公布中國 2024 年芯片進出口數據，出口首破萬億元。EE Times China，2月5日。<https://www.eet-china.com/news/202502059154.html>

廖立人 (2024)。【美股新聞】美中科技戰火加劇！中國力阻企業購買輝達 H20 晶片，恐面臨巨額損失。9月30日。<https://www.forecaststock.tw/article/renliao-8c39b1cb-d95a-11ef-871c-677381bbd371>

廖修武 (2019)。剖析華為風波後全球 5G 發展變局。兩岸經貿月刊，(327)，4-7。

<https://www.sef.org.tw/files/10324/92D0D53E-DD43-440B-857C-3DB223498060.pdf>

滿投財經 (2024)。美國制裁落地之際，中國半導體國產化情況如何。OFweek 維科網，12月10日。

<https://mp.ofweek.com/ee/a156714331517>

甄樹基 (2020)。多人被美國通緝逮捕後“千人計畫”突然消失中國網絡。法國國際廣播電台，5月7日。<https://rfi.my/5rXe>

億渡數據 (2022)。2022 年中國 EDA 行業深度研究報告。深圳市億渡數據科技有限公司，5月。

https://pdf.dcfw.com/pdf/H3_AP202208301577860551_1.pdf

劉玉書 (2021)。我國半導體早期發展與 908 和 909 工程。半導體芯科技，12月10日。

<https://www.siscmag.com/news/show-4694.html>

劉佩真 (2019)。日韓貿易戰對半導體業的影響與啟示。交流雜誌，(167)，33-36。

<https://www.sef.org.tw/article-1-129-4608>

劉佩真 (2022)。美國《晶片法案》及相關措施牽動美中臺半導體發展趨勢。兩岸經貿網，9月7日。

<https://www.seftb.org/cp-4-1749-07cd7-1.html>

劉佩真 (2023)。全球變局下 東南亞國家建立半導體供應鏈態度積極。科技產業資訊室，11月1日。

<https://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=20127>

劉佩真 (2025)。論美國祭出最新 AI 晶片三級管制措施的影響層面。科技產業資訊室，1月21日。

<https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=21448>

劉昱辰 (2019)。美國對中國大陸的進出口管制措施。經濟前瞻，(185)，27-32。

<https://www.cier.edu.tw/site/cier/public/data/185-027-032-%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E5%B0%8D%E4%B8%AD%E5%9C%8B%E5%A4%A7%E9%99%>

- [B8%E7%9A%84%E9%80%B2%E5%87%BA%E5%8F%A3%E7%AE%A1%E5%88%B6%E6%8E%AA%E6%96%BD-%E5%8A%89%E6%98%B1%E8%BE%B0.pdf](https://doi.org/10.6737/JDP.202209_(37).04)
- 劉家明 (2022)。習近平時代的中共軍民融合發展－以軍工集團為例。發展與前瞻學報，(37)，77-101。[Liu, C.-M. (2022). Military-Civilian Fusion Policy of CCP in Xi Jinping Era-The Case of Military-Industrial Groups. *Journal of Development and Prospect*, (37), 77-101.] [https://doi.org/10.6737/JDP.202209_\(37\).04](https://doi.org/10.6737/JDP.202209_(37).04)
- 蔡承啟 (2025)。中國需求+AI 日本 24 年度晶片設備銷售額將創史高。MoneyDJ 理財網，1 月 17 日。 <https://www.moneydj.com/kmdj/news/newsviewer.aspx?a=d60e2def-d34c-450d-9ec1-70b2c94544c3>
- 蔡晴雯 (2023)。美國商務部發布《晶片與科學法案》最終國家安全護欄規則。中華經濟研究院 WTO 及 RTA 中心，10 月 4 日。 <https://web.wtocommerce.org.tw/Page/120/389707>
- 衛湛松、劉賓、杜漢頤 (2024)。EDA 軟件行業全景分析：市場格局、技術挑戰與國產替代前景。國新諮詢，12 月 25 日。 <https://www.crhcc.com/hydj/2024/12/7b587fa522f84123a36705c2a7e65ad3.htm>
- 豬俣里美、藤生貴子、小河愛實、坂野日向子 (2024)。全球份額調查：日本成為半導體材料大國。日經中文網，9 月 11 日。 <https://zh.cn.nikkei.com/industry/manufacturing/56664-2024-09-10-16-51-50.html>
- 鄭昀欣、顏慧欣 (2022)。以關鍵技術、基礎建設與個資為核心的外資審查法制改革：以美歐為例。當代法律，(7)，181-188。 <https://web.wtocommerce.org.tw/Page/15484/396232>
- 盧伯華 (2024)。中國晶片產業仍高速發展 2023 年進口佔全球 67% 出口佔 26%。中時新聞網，2 月 16 日。 <https://www.chinatimes.com/realtimenews/20240216004250-260409?chdtv>
- 蕭麗君 (2024)。美通過臨時撥款 解關門危機 馬斯克被嘲諷「影子總統」。工商時報，12 月 22 日。 <https://www.ctee.com.tw/news/20241222700062-439901>
- 賴瑩綺 (2024)。陸晶片市場兩極化 今年倒超過 1.46 萬家 新加入 5.2 萬家。工商時報，12 月 23 日。 <https://www.ctee.com.tw/news/20241223701449-430804>
- 賴瑩綺 (2025)。騰訊、寧德時代 被美拉黑。工商時報，1 月 8 日。 <https://www.ctee.com.tw/news/20250108700048-439901>
- 閻啟 (2024)。3440 億大基金三期來了 未來投向何方。南方財經網，6 月 1 日。 <https://m.sfcen.com/2024/6-1/4NMDE0MDRfMTkyMzA4Nw.html>
- 鮑金玲 (2022)。2022 年中國 EDA 行業概覽 (摘要版)。頭豹研究院，3 月。 https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202204211560705251_1.pdf?1650575333000.pdf
- 謝彥民 (2024)。美國針對新興科技之出口管制新策略。經貿法訊，(337)，16-21。 <https://tradelaw.nccu.edu.tw/epaper/no337/4.pdf>
- 謝游麟、葛惠敏 (2015)。論戰爭型態之發展與因應。國防雜誌，30 (1)，79-99。[Shei, Y.-L., & Ko, H.-M. (2015). A Study on the Development and Necessary Adaptation of the Form of War. *National Defense Journal*, 30(1), 79-99.] [https://doi.org/10.6326/NDJ.2015.30\(1\).4](https://doi.org/10.6326/NDJ.2015.30(1).4)
- 鍾詠翔 (2024)。2024 年全球半導體市場規模佔超過 6,000 億美元 中國增速最快。鉅亨網，12 月 6 日。 <https://news.cnyes.com/news/id/5799775>
- 聶廷榛 (2023)。拜登政府公布海外投資審查新制。中華經濟研究院 WTO 及 RTA 中心，8 月 23 日。 <https://web.wtocommerce.org.tw/Page/251/388327>
- 藍孝威 (2023)。美國聯邦養老基金 不再投資陸港股票。中時新聞網，11 月 20 日。 <https://www.chinatimes.com/newspapers/20231120000631-260303?chdtv>
- 顏慧欣 (2020)。【轉載】貿易戰走向科技衝突之美國政策與影響。中華經濟研究院 WTO 及 RTA 中心，3 月 26 日。 <https://web.wtocommerce.org.tw/Page/438/338080>
- 顏慧欣、李淳 (2021)。美國供應鏈檢討報告之結論與意義：以半導體為例。中華經濟研究院 WTO 及 RTA 中心，9 月 2 日。 <https://web.wtocommerce.org.tw/mobile/page?pid=360918&nid=126>
- 魏國金 (2024)。晶片設計遭美鎖喉 中國 EDA 全球市佔率低於 2%。自由財經，10 月 27 日。 <https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/4843260>
- 羅家彤 (2025)。由美國對中國製傳統晶片啟動 301 調查看新川普政府對中之經貿圍堵。經貿法訊，

(340), 5-9。 <https://tradelaw.nccu.edu.tw/epaper/no340/2.pdf>
藤生貴子、岡田江美 (2024)。日本半導體產業從上游發力。日經中文網，5月14日。
<https://zh.cn.nikkei.com/industry/itelectric-appliance/55537-2024-05-14-05-00-11.html?start=1>
蔡文江 (2020)。拆解華為 Mate30，看到美國影響。日經中文網，5月15日。
<https://zh.cn.nikkei.com/china/ccompany/40567-2020-05-15-09-04-57.html?start=0>
鐘映庭 (2022)。TrendForce：2022 年聚焦十二吋產能擴充，預估成熟製程產能年增 20%。TrendForce，
6月23日。 <https://www.trendforce.com.tw/presscenter/news/20220623-11272.html>

二、日文文獻

日本国經濟産業省 (2024)。「輸出貿易管理令別表第一及び外国為替令別表の規定に基づき貨物又は技術を定める省令の一部を改正する省令」等の改正の概要について。7月8日。
[Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. (2024). *Outline of the revision to the ministerial ordinance partially amending the ministerial ordinance that designates goods or technologies under the provisions of Appended Table 1 of the Export Trade Control Order and the Appended Table of the Foreign Exchange Order*. July 8.]
https://www.meti.go.jp/policy/anpo/law_document/shourei/20240708_gaiyo.pdf

三、西文文獻

Allison, G. (2017). *Destined for War: Can America and China Escape Thucydides's Trap?* Houghton Mifflin Harcourt.

Alperovitch, D. (2022). The case for cyber-realism: geopolitical problems don't have technical solutions. *Foreign Affairs*, 101(1), 44-51. <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2021-12-14/case-cyber-realism>

American Relief Act, 2025. (2024). Public Law No. 118-158, 138 Stat. 1722-1772.
<https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/10545/text>

Ariat Tech. (2021.) *IC Insights: Last year Fabless accounted for 33% of the total revenue of the global semiconductor market, a record high*. Retrieved April 26, 2025, <https://www.ariat-tech.com/news/IC-Insights-Last-year-Fabless-accounted-for-33-of-the-total-revenue-of-the-global-semiconductor-mark.html>

ASML. (2023). *Statement regarding US government's export control regulations announcement*. October 17. <https://www.asml.com/en/news/press-releases/2023/statement-regarding-us-governments-export-control-regulations-announcement>

Bown, C. P., & Kolb, M. (2025). *Trump's Trade War Timeline: An Up-to-Date Guide*. Peterson Institute for International Economics, January 20. <https://www.piie.com/sites/default/files/documents/trump-trade-war-timeline.pdf>

Brezis, E. S., & Krugman, P. R. (1997). Technology and the Life Cycle of Cities. *Journal of Economic Growth*, 2(4), 369-383. <http://www.jstor.org/stable/40215966>

Brezis, E. S., Krugman, P. R., & Tsiddon, D. (1993). Leapfrogging in International Competition: A Theory of Cycles in National Technological Leadership. *The American Economic Review*, 83(5), 1211-1219. <http://www.jstor.org/stable/2117557>

Bureau of Industry and Security. (2018a). *Addition of Fujian Jinhua Integrated Circuit Company, Ltd (Jinhua) to the Entity List*. U.S. Department of Commerce, October 29. <https://2017-2021.commerce.gov/news/press-releases/2018/10/addition-fujian-jinhua-integrated-circuit-company-ltd-jinhua-entity-list.html>

Bureau of Industry and Security. (2018b). Review of Controls for Certain Emerging Technologies. *Federal Register*, 83(223), 58201-58202. <https://www.federalregister.gov/d/2018-25221>

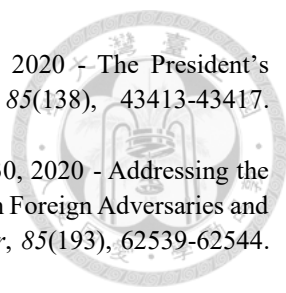
Bureau of Industry and Security. (2019a). Addition of Entities to the Entity List. *Federal Register*, 84(98),

- 22961-22968. <https://www.federalregister.gov/d/2019-10616>
- Bureau of Industry and Security. (2019b). Temporary General License. *Federal Register*, 84(99), 23468-23471. <https://www.federalregister.gov/d/2019-10829>
- Bureau of Industry and Security. (2019c). Temporary General License: Extension of Validity, Clarifications to Authorized Transactions, and Changes to Certification Statement Requirements. *Federal Register*, 84(162), 43487-43493. <https://www.federalregister.gov/d/2019-17920>
- Bureau of Industry and Security. (2019d). Addition of Certain Entities to the Entity List and Revision of Entries on the Entity List. *Federal Register*, 84(162), 43493-43501. <https://www.federalregister.gov/d/2019-17921>
- Bureau of Industry and Security. (2020a). *Commerce Addresses Huawei's Efforts to Undermine Entity List, Restricts Products Designed and Produced with U.S. Technologies*. U.S. Department of Commerce, May 15. <https://2017-2021.commerce.gov/news/press-releases/2020/05/commerce-addresses-huaweis-efforts-undermine-entity-list-restricts.html>
- Bureau of Industry and Security. (2020b). *Commerce Department Further Restricts Huawei Access to U.S. Technology and Adds Another 38 Affiliates to the Entity List*. U.S. Department of Commerce, August 17. <https://2017-2021.commerce.gov/news/press-releases/2020/08/commerce-department-further-restricts-huawei-access-us-technology-and.html>
- Bureau of Industry and Security. (2020c). Identification and Review of Controls for Certain Foundational Technologies. *Federal Register*, 85(167), 52934-52935. <https://www.federalregister.gov/d/2020-18910>
- Bureau of Industry and Security. (2020d). *Commerce Adds China's SMIC to the Entity List, Restricting Access to Key Enabling U.S. Technology*. U.S. Department of Commerce, December 18. <https://2017-2021.commerce.gov/news/press-releases/2020/12/commerce-adds-chinas-smic-entity-list-restricting-access-key-enabling.html>
- Bureau of Industry and Security. (2020e). Addition of Entities to the Entity List, Revision of Entry on the Entity List, and Removal of Entities From the Entity List. *Federal Register*, 85(246), 83416-83432. <https://www.federalregister.gov/d/2020-28031>
- Bureau of Industry and Security. (2020f). Removal of Hong Kong as a Separate Destination Under the Export Administration Regulations. *Federal Register*, 85(247), 83765-83792. <https://www.federalregister.gov/d/2020-28101>
- Bureau of Industry and Security. (2020g). Addition of 'Military End User' (MEU) List to the Export Administration Regulations and Addition of Entities to the MEU List. *Federal Register*, 85(247), 83793-83804. <https://www.federalregister.gov/d/2020-28052>
- Bureau of Industry and Security. (2021). Notice of Request for Public Comments on Risks in the Semiconductor Supply Chain. *Federal Register*, 86(183), 53031-53033. <https://www.federalregister.gov/d/2021-20348>
- Bureau of Industry and Security. (2022a). Implementation of Certain 2021 Wassenaar Arrangement Decisions on Four Section 1758 Technologies. *Federal Register*, 87(156), 49979-49986. <https://www.federalregister.gov/d/2022-17125>
- Bureau of Industry and Security. (2022b). *Commerce Implements New Export Controls on Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items to the People's Republic of China (PRC)*. October 7. <https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/about-bis/newsroom/press-releases/3158-2022-10-07-bis-press-release-advanced-computing-and-semiconductor-manufacturing-controls-final/file>
- Bureau of Industry and Security. (2022c). Revisions to the Unverified List; Clarifications to Activities and Criteria That May Lead to Additions to the Entity List. *Federal Register*, 87(197), 61971-61977. <https://www.federalregister.gov/d/2022-21714>
- Bureau of Industry and Security. (2022d). Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Entity List Modification. *Federal Register*, 87(197), 62186-62215. <https://www.federalregister.gov/d/2022-21658>
- Bureau of Industry and Security. (2022e). *FAQs for Interim Final Rule - Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Entity List Modification* (87 Fed. Reg. 62186). October 28. <https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/product-guidance/3181-2022-10-28-bis-faqs-advanced->

- 
- [computing-and-semiconductor-manufacturing-items-rule-2/file](#)
- Bureau of Industry and Security. (2022f). Additions and Revisions to the Entity List and Conforming Removal From the Unverified List. *Federal Register*, 87(242), 77505-77518. <https://www.federalregister.gov/d/2022-27151>
- Bureau of Industry and Security. (2023a). *Commerce Issues Rule to Strengthen National Security Partnership to Secure Semiconductor Supply Chains with Republic of Korea*. October 13. <https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/about-bis/newsroom/press-releases/3351-2023-10-13-bis-press-release-rok-veus/file>
- Bureau of Industry and Security. (2023b). Entity List Additions. *Federal Register*, 88(201), 71991-71994. <https://www.federalregister.gov/d/2023-23048>
- Bureau of Industry and Security. (2023c). Export Controls on Semiconductor Manufacturing Items. *Federal Register*, 88(205), 73424-73455. <https://www.federalregister.gov/d/2023-23049>
- Bureau of Industry and Security. (2023d). Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Updates and Corrections. *Federal Register*, 88(205), 73458-73517. <https://www.federalregister.gov/d/2023-23055>
- Bureau of Industry and Security. (2024a). *Commerce Releases Clarifications of Export Control Rules to Restrict the PRC's Access to Advanced Computing and Supercomputing Items and Semiconductor Manufacturing Equipment*. April 4. <https://media.bis.gov/press-release/commerce-releases-clarifications-export-control-rules-restrict-prcs-access-advanced-computing>
- Bureau of Industry and Security. (2024b). Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Updates and Corrections; and Export Controls on Semiconductor Manufacturing Items; Corrections and Clarifications. *Federal Register*, 89(66), 23876-23905. <https://www.federalregister.gov/d/2024-07004>
- Bureau of Industry and Security. (2024c). *Department of Commerce Implements Controls on Quantum Computing and Other Advanced Technologies Alongside International Partners*. September 5. <https://www.bis.gov/press-release/department-commerce-implements-controls-quantum-computing-other-advanced-technologies-alongside>
- Bureau of Industry and Security. (2024d). Commerce Control List Additions and Revisions; Implementation of Controls on Advanced Technologies Consistent With Controls Implemented by International Partners. *Federal Register*, 89(173), 72926-72956. <https://www.federalregister.gov/d/2024-19633>
- Bureau of Industry and Security. (2024e). *Commerce Strengthens Export Controls to Restrict China's Capability to Produce Advanced Semiconductors for Military Applications*. December 2. <https://www.bis.gov/press-release/commerce-strengthens-export-controls-restrict-chinas-capability-produce-advanced-semiconductors-military>
- Bureau of Industry and Security. (2024f). *License Exception Implemented Export Controls (IEC) Eligible Items and Destinations*. December 2. Retrieved March 13, 2025, from <https://www.bis.gov/iec>
- Bureau of Industry and Security. (2024g). Foreign-Produced Direct Product Rule Additions, and Refinements to Controls for Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items. *Federal Register*, 89(234), 96790-96830. <https://www.federalregister.gov/d/2024-28270>
- Bureau of Industry and Security. (2024h). Additions and Modifications to the Entity List; Removals From the Validated End-User (VEU) Program. *Federal Register*, 89(234), 96830-96854. <https://www.federalregister.gov/d/2024-28267>
- Bureau of Industry and Security. (2024i). *BIS Publishes Assessment on the Use of Mature-Node Chips*. December 6. <https://www.bis.gov/press-release/bis-publishes-assessment-use-mature-node-chips>
- Bureau of Industry and Security. (2025a). *Biden-Harris Administration Announces Regulatory Framework for the Responsible Diffusion of Advanced Artificial Intelligence Technology*. January 13. <https://www.bis.gov/press-release/biden-harris-administration-announces-regulatory-framework-responsible-diffusion-advanced-artificial>
- Bureau of Industry and Security. (2025b). Framework for Artificial Intelligence Diffusion. *Federal Register*, 90(9), 4544-4584. <https://www.federalregister.gov/d/2025-00636>
- Bureau of Industry and Security. (2025c). *Commerce Strengthens Restrictions on Advanced Computing Semiconductors to Enhance Foundry Due Diligence and Prevent Diversion to PRC*. January 15. <https://www.bis.gov/press-release/commerce-strengthens-restrictions-advanced-computing->

- [semiconductors-enhance-foundry-due-diligence-prevent](#)
- Bureau of Industry and Security. (2025d). Addition of Entities to and Revision of Entry on the Entity List. *Federal Register*, 90(10), 4617-4620. <https://www.federalregister.gov/d/2025-00704>
- Bureau of Industry and Security. (2025e). Additions to the Entity List. *Federal Register*, 90(10), 4621-4624. <https://www.federalregister.gov/d/2025-00480>
- Bureau of Industry and Security. (2025f). Implementation of Additional Due Diligence Measures for Advanced Computing Integrated Circuits; Amendments and Clarifications; and Extension of Comment Period. *Federal Register*, 90(10), 5298-5321. <https://www.federalregister.gov/d/2025-00711>
- Bureau of Industry and Security. (n.d.-a). *Multilateral Export Control Regimes*. Retrieved May 1, 2025, from <https://www.bis.doc.gov/index.php/policy-guidance/multilateral-export-control-regimes>
- Bureau of Industry and Security. (n.d.-b). *What is an ECCN?* Retrieved April 30, 2025, from <https://www.bis.gov/licensing/classify-your-item#WhatisanECCN?>
- Camplone, L., Santana-Rodda, D., & Mooney, M. (2024). *China's Investment in LAC Critical Minerals help its Military Modernization*. Jack D. Gordon Institute for Public Policy of Florida International University, July 15. Retrieved April 27, 2025, from <https://gordoninstitute.fiu.edu/research/student-spotlight/chinas-investment-in-critical-mining-in-lac-helps-its-military-modernization.pdf>
- Caverley, J. D. (2007). United States Hegemony and the New Economics of Defense. *Security Studies*, 16(4), 598–614. <https://doi.org/10.1080/09636410701740825>
- Cha, V., & Johnstone, C. B. (2023). *Japan and South Korea Turn the Page*. Center for Strategic & International Studies, March 6. <https://www.csis.org/analysis/japan-and-south-korea-turn-page>
- Chase-Dunn, C., & Grimes, P. (1995). World-Systems Analysis. *Annual Review of Sociology*, 21, 387–417. <http://www.jstor.org/stable/2083416>
- Cheng, D. (2010). *Export Controls and Hard Case of China*. The Heritage Foundation, December 13. <https://www.heritage.org/trade/report/export-controls-and-the-hard-case-china>
- Chi, Z. (2025). *DeepSeek Reflects Both the Success and Failure of US Tech Containment Against China*. The Diplomat, February 21. <https://thediplomat.com/2025/02/deepseek-reflects-both-the-success-and-failure-of-us-tech-containment-against-china/>
- CHIPS and Science Act*. (2022). Public Law No. 117-167, 136 Stat. 1366-1758. <https://www.congress.gov/117/plaws/publ167/PLAW-117publ167.pdf>
- Choi, J. (2024). *Samsung Foundry Struggles with Yield and Power Efficiency Issues*. BusinessKorea, June 18. <https://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=219277>
- Christiaans, D., & Amberg, P. (2023). *The Netherlands to introduce supplemental export controls for advanced semiconductor production equipment*. Global Sanctions and Export Controls Blog - A Blog by Baker McKenzie, June 30. <https://sanctionsnews.bakermckenzie.com/the-netherlands-to-introduce-supplemental-export-controls-for-advanced-semiconductor-production-equipment/>
- Christiaans, D., Amberg, P., Muller, F., & Gielen, P. (2024). *The Netherlands to introduce supplemental export controls for emerging technology items*. Global Sanctions and Export Controls Blog - A Blog by Baker McKenzie, October 23. <https://sanctionsnews.bakermckenzie.com/the-netherlands-to-introduce-supplemental-export-controls-for-emerging-technology-items/>
- Clarivate. (2024). *Highly Cited Researchers 2024*. Retrieved April 24, 2025, from <https://clarivate.com/highly-cited-researchers/>
- Clark, D., & Swanson, A. (2022). *U.S. Restricts Sales of Sophisticated Chips to China and Russia*. The New York Times, August 31. <https://www.nytimes.com/2022/08/31/technology/gpu-chips-china-russia.html>
- Congressional Research Service. (2022). *Summary: H.R. 4346 — 117th Congress (2021-2022)*. CONGRESS.GOV, August 9. <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346?q=%7B%22search%22%3A%22china%22%7D&s=6&r=8>
- Conybeare, J. A. C. (1983). Tariff Protection in Developed and Developing Countries: A Cross-Sectional and Longitudinal Analysis. *International Organization*, 37(3), 441–467. <http://www.jstor.org/stable/2706451>
- Conybeare, J. A. C. (1984). Public Goods, Prisoners' Dilemmas and the International Political Economy. *International Studies Quarterly*, 28(1), 5–22. <https://doi.org/10.2307/2600395>
- Crawford, W. R. (1949). [Review of *Technology and International Relations*, by W. F. Ogburn]. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 264, 127–128. <http://www.jstor.org/stable/1028100>

- Cytera, C. (2023). *Gallium, Germanium, and China - The Minerals Inflaming the Global Chip War*. Center for European Policy Analysis, August 8. Retrieved April 27, 2025, from <https://cepa.org/article/china-gallium-and-germanium-the-minerals-inflaming-the-global-chip-war/>
- Cytera, C. (2025). *Legacy Chips: The Next Tech Battle with China*. Center for European Policy Analysis, January 24. <https://cepa.org/article/legacy-chips-the-next-tech-battle-with-china/>
- Dahad, N. (2020). *Teardown Reveals Huawei's Reliance on U.S. Sourcing*. EE Times Asia, April 6. https://www.eetasia.com/teardown-reveals-huaweis-reliance-on-us-sourcing/?_gl=1*83bz0x*_ga*MzQ5MTI5NDEuMTc0MDQ3NTc2Nw..*_ga_ZLV02RYCZ8*MTc0NTMwNzA0Ny43LjEuMTc0NTMwNzU3Ny4yMC4wLjA
- Danely, C. (2023). CHIPS Act: America Steps Up Its Game. In *The US–China Chip Rivalry: A Battle for Semiconductor Manufacturing Supremacy* (pp. 6-8). Citi Research, December. https://ir.citi.com/kV_qA_ti_-GZ4yZ_bFOred7bY1NK-OcvyBfYJpCI7EVhKok24ETi2uL9ngZNZBmi1_XL-0BLJ3Ey-A-kGFSbudPfYcOZCPPhrSQpA6Dm1ED53XLaRkhrVFpvUvfr54Cpe
- Desch, C. H. (1950). [Review of *Technology and International Relations*, by S. F. Ogburn]. *International Affairs* (Royal Institute of International Affairs 1944-), 26(2), 298–298. <https://doi.org/10.2307/2605732>
- Design & Reuse. (2022). *Fabless Suppliers Hold Record 34.8% Share of Global IC Sales*. July 8. Retrieved April 26, 2025, <https://www.design-reuse.com/news/52302/fables-system-versus-idm-company-ic-sales.html>
- Diamond, L., & Schell, O. (2019). Chapter 8 Technology and Research. In *China's Influence & American Interests: Promoting Constructive Vigilance* (pp. 139-150). Hoover Institution Press. https://www.hoover.org/sites/default/files/research/docs/diamond-schell_chineseinfluence_oct2020rev.pdf
- Dieseldorff, C. G. (2021). *China Surges Past Americas and Japan in IC Capacity*. SEMI, January 25. <https://www.semi.org/en/blogs/business-markets/china-surges-past-the-americas-and-japan-in-ic-capacity>
- Doran, C. F. (1976). [Review of *U. S. Power and the Multinational Corporation: The Political Economy of Foreign Direct Investment.*, by R. Gilpin]. *The Journal of Politics*, 38(4), 1052–1053. <https://doi.org/10.2307/2129513>
- Doubleday, J. (2021). *Biden meets with CEOs to push \$50B semiconductor plan*. Inside Defense, April 12. <https://insidedefense.com/insider/biden-meets-ceos-push-50b-semiconductor-plan>
- Douglas, E. (2025a). *AMD vs. Intel CPU Market Share: History and Prediction*. PCViewed, March 19. <https://pcviewed.com/amd-vs-intel-cpu-market-share/>
- Douglas, E. (2025b). *NVIDIA vs. AMD Discrete GPU Market Share (2010 to 2025)*. PCViewed, April 14. <https://pcviewed.com/nvidia-vs-amd-discrete-gpu-market-share/>
- European Commission. (2021a). *EU-US launch Trade and Technology Council to lead values-based global digital transformation*. June 15. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_2990
- European Commission. (2021b). *EU-US Trade and Technology Council Inaugural Joint Statement*. September 29. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/lv/STATEMENT_21_4951
- European Commission. (n.d.). *EU-US Trade and Technology Council*. Retrieved May 5, 2025, from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/stronger-europe-world/eu-us-trade-and-technology-council_en
- Eurostat. (2025). *China-EU - international trade in goods statistics*. Statistics Explained, February. Retrieved April 9, 2025. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/55157.pdf>
- Executive Office of the President. (1975). Executive Order 11858 of May 7, 1975 - Foreign Investment in the United States. *Federal Register*, 40(91), 20263-20264. https://archives.federalregister.gov/issue_slice/1975/5/9/20259-20264.pdf
- Executive Office of the President. (2017). Executive Order 13817 of December 20, 2017 - A Federal Strategy To Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals. *Federal Register*, 82(246), 60835-60837. <https://www.federalregister.gov/d/2017-27899>
- Executive Office of the President. (2019). Executive Order 13873 of May 15, 2019 - Securing the Information and Communications Technology and Services Supply Chain. *Federal Register*, 84(96), 22689-22692. <https://www.federalregister.gov/d/2019-10538>



Executive Office of the President. (2020a). Executive Order 13936 of July 14, 2020 - The President's Executive Order on Hong Kong Normalization. *Federal Register*, 85(138), 43413-43417. <https://www.federalregister.gov/d/2020-15646>

Executive Office of the President. (2020b). Executive Order 13953 of September 30, 2020 - Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain From Reliance on Critical Minerals From Foreign Adversaries and Supporting the Domestic Mining and Processing Industries. *Federal Register*, 85(193), 62539-62544. <https://www.federalregister.gov/d/2020-22064>

Executive Office of the President. (2020c). Executive Order 13959 of November 12, 2020 - Addressing the Threat From Securities Investments That Finance Communist Chinese Military Companies. *Federal Register*, 85(222), 73185-73189. <https://www.federalregister.gov/d/2020-25459>

Executive Office of the President. (2021a). Executive Order 13974 of January 13, 2021 - Amending Executive Order 13959—Addressing the Threat From Securities Investments That Finance Communist Chinese Military Companies. *Federal Register*, 86(11), 4875-4876. <https://www.federalregister.gov/d/2021-01228>

Executive Office of the President. (2021b). Executive Order 14017 of February 24, 2021 - America's Supply Chains. *Federal Register*, 86(38), 11849-11854. <https://www.federalregister.gov/d/2021-04280>

Executive Office of the President. (2021c). Executive Order 14032 of June 3, 2021 - Addressing the Threat From Securities Investments That Finance Certain Companies of the People's Republic of China. *Federal Register*, 86(107), 30145-30149. <https://www.federalregister.gov/d/2021-12019>

Executive Office of the President. (2021d). Executive Order 14034 of June 9, 2021 - Protecting Americans' Sensitive Data From Foreign Adversaries. *Federal Register*, 86(111), 31423-31426. <https://www.federalregister.gov/d/2021-12506>

Executive Office of the President. (2021e). Notice of November 9, 2021 - Continuation of the National Emergency With Respect to the Threat From Securities Investments That Finance Certain Companies of the People's Republic of China. *Federal Register*, 86(215), 62711-62712. <https://www.federalregister.gov/d/2021-24848>

Executive Office of the President. (2022a). Executive Order 14080 of August 25, 2022 - Implementation of the CHIPS Act of 2022. *Federal Register*, 87(167), 52847-52849. <https://www.federalregister.gov/d/2022-18840>

Executive Office of the President. (2022b). Executive Order 14083 of September 15, 2022 - Ensuring Robust Consideration of Evolving National Security Risks by the Committee on Foreign Investment in the United States. *Federal Register*, 87(181), 57369-57374. <https://www.federalregister.gov/d/2022-20450>

Executive Office of the President. (2023a). Executive Order 14093 of March 27, 2023 - Prohibition on Use by the United States Government of Commercial Spyware That Poses Risks to National Security. *Federal Register*, 88(61), 18957-18963. <https://www.federalregister.gov/d/2023-06730>

Executive Office of the President. (2023b). Executive Order 14105 of August 9, 2023 - Addressing United States Investments in Certain National Security Technologies and Products in Countries of Concern. *Federal Register*, 88(154), 54867-54872. <https://www.federalregister.gov/d/2023-17449>

Executive Office of the President. (2024). Executive Order 14117 of February 28, 2024 - Preventing Access to Americans' Bulk Sensitive Personal Data and United States Government-Related Data by Countries of Concern. *Federal Register*, 89(42), 15421-15430. <https://www.federalregister.gov/d/2024-04573>

Export Administration Regulations. (2023). 15 C.F.R. Part 774, Supplement No. 1 - The Commerce Control List, Category 3, 3B001, pp. 40-46. Bureau of Industry and Security, November 17, 2023. <https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/regulations-docs/2334-ccl3-8/file>

Export Administration Regulations. (n.d.-a). 15 C.F.R. § 732.3 - Steps regarding the ten general prohibitions. Electronic Code of Federal Regulations. Retrieved March 13, 2025, from <https://www.ecfr.gov/current/title-15/part-732/section-732.3>

Export Administration Regulations. (n.d.-b). 15 C.F.R. Part 734 - Scope of the Export Administration Regulations. Retrieved May 13, 2025, from <https://www.ecfr.gov/current/title-15/part-734>

Export Administration Regulations. (n.d.-c). 15 C.F.R. Part 740, Supplement No. 1 - Country Groups. Electronic Code of Federal Regulations. Retrieved March 13, 2025, from <https://www.ecfr.gov/current/title-15/part-740>

Export Control Reform Act of 2018. (2018). Public Law No: 115-232, 132 Stat. 2208-2238.

- <https://www.congress.gov/115/statute/STATUTE-132/STATUTE-132-Pg1636.pdf>
- Ezell, S. (2020). *Understanding the South Korea-Japan Trade Dispute and Its Impacts on U.S. Foreign Policy*. Information Technology & Innovation Foundation, January 16.
<https://itif.org/publications/2020/01/16/understanding-south-korea-japan-trade-dispute-and-its-impacts-us-foreign/>
- Foreign Investment Risk Review Modernization Act of 2018*. (2018). Public Law No: 115-232, 132 Stat. 2174-2207. <https://www.congress.gov/115/statute/STATUTE-132/STATUTE-132-Pg1636.pdf>
- Foster, S. (2022). *Why US really blacklisted China's YMTC*. Asia Times, December 19.
<https://asiatimes.com/2022/12/why-us-really-blacklisted-chinas-ymtc/>
- Gaida, J., Leung, J. W., Robin, S., & Cave, D. (2023). *ASPI's Critical Technology Tracker: The global race for future power*. Australian Strategic Policy Institute. https://ad-aspi.s3.ap-southeast-2.amazonaws.com/2023-08/ASPIs%20Critical%20Technology%20Tracker.pdf?VersionId=nVmWySgLSX2FMaSIU.uQVgQvvd_W427G
- Gilpin, R. (1971). The Politics of Transnational Economic Relations. *International Organization*, 25(3), 398–419. <http://www.jstor.org/stable/2706047>
- Gilpin, R. (1975). *U.S. Power and the Multinational Corporation: The Political Economy of Foreign Direct Investment*. Basic Books.
- Gilpin, R. (1981). *War and Change in World Politics*. Cambridge University Press.
- Gilpin, R., & Gilpin, J. M. (1987). *The Political Economy of International Relations*. Princeton University Press.
- Gilpin, R., & Gilpin, J. M. (2001). *Global Political Economy: Understanding the International Economic Order*. Princeton University Press.
- Goldstein, J. S. (1988). *Long Cycles: Prosperity and War in the Modern Age*. Yale University Press.
- Goodman, S. M., Kim, D., & VerWey, J. (2019). *The South Korea-Japan Trade Dispute in Context: Semiconductor Manufacturing, Chemicals, and Concentrated Supply Chains* (Working Paper ID-062). Office of Industries, United States International Trade Commission, October.
https://www.usitc.gov/publications/332/working_papers/the_south_korea-japan_trade_dispute_in_context_semiconductor_manufacturing_chemicals_and_concentrated_supply_chains.pdf
- Goodrich, L. M. (1949). [Review of *Technology and International Relations*, by W. F. Ogburn]. *Political Science Quarterly*, 64(3), 437–438. <https://doi.org/10.2307/2144814>
- Gowa, J. (1989). Bipolarity, Multipolarity, and Free Trade. *American Political Science Review*, 83(4), 1245–1256. doi:10.2307/1961667
- Gowa, J. (1994). *Allies, Adversaries, and International Trade*. Princeton University Press.
- Grimm, D. (2025). *China's mature chips to make up 28% of world production, creating oversupply — Western companies express concern for their survival*. Tom's Hardware, February 27.
<https://www.tomshardware.com/tech-industry/chinas-mature-chips-to-make-up-28-percent-of-world-production-creating-oversupply-western-companies-express-concern-for-their-survival>
- Grinberg, M. (2021). Wartime Commercial Policy and Trade between Enemies. *International Security*, 46(1), 9-52. https://doi.org/10.1162/isec_a_00412
- Hanemann, T., Rosen, D. H., Witzke, M., Bennion S. & Smith, E. (2021) *Two-Way Street: 2021 Update US-China Investment Trends*. Rhodium Group, May 19. https://rhg.com/wp-content/uploads/2021/05/RHG_TWS-2021_Full-Report_Final.pdf
- Harithas, B. (2024). *Mapping the Chip Smuggling Pipeline and Improving Export Control Compliance*. Center for Strategic & International Studies, April. https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/2024-04/240409_Harithas_Chip_Smuggling.pdf?VersionId=894hzMieB.qJHkVVH2HS7g2m49.a92KR
- Hasegawa, T., Tozawa, M., Fujiwara, S., Takanami, T., & Suetomi, J. (2024). *Japan updates Listed Controlled Items to include sensitive items such as quantum computers*. Global Sanctions and Export Controls Blog - A Blog by Baker McKenzie, October 15. <https://sanctionsnews.bakermckenzie.com/japan-updates-listed-controlled-items-to-include-sensitive-items-such-as-quantum-computers/>
- Hoecker, A., Harris, K., & Wang, J. (2021). The US and China Are Decoupling, and Other Countries Are

- Following. In *Technology Report 2021* (pp. 60-63). Bain & Company.
https://www.bain.com/globalassets/noindex/2021/bain_report_technology-report-2021.pdf
- Horowitz, M. C. (2025). *What to Know About the New U.S. AI Diffusion Policy and Export Controls*. Council on Foreign Relations, January 13. <https://www.cfr.org/blog/what-know-about-new-us-ai-diffusion-policy-and-export-controls>
- Hsueh, C. (2023). *ASEAN Holds the Key to Reducing US Dependence on Taiwan's Chip Industry*. The Diplomat, December 1. <https://thediplomat.com/2023/12/asean-holds-the-key-to-reducing-us-dependence-on-taiwans-chip-industry/>
- Huang, K.-S. (2025). *China's AI Shock? What DeepSeek Disrupts (and Doesn't)*. The Diplomat, January 31. <https://thediplomat.com/2025/01/chinas-ai-shock-what-deepseek-disrupts-and-doesnt/>
- Hufbauer, G. C., & Jung, Euijin. (2021). *Scoring 50 Years of US Industrial Policy, 1970–2020* (PIIE Briefing 21-5). Peterson Institute for International Economics, November. <https://www.piie.com/sites/default/files/documents/piieb21-5.pdf>
- Hufbauer, G. C., Hogan, M., & Chen, M. (2025). *Industrial Policy through the CHIPS and Science Act* (PIIE Briefing 25-1). Peterson Institute for International Economics, January. <https://www.piie.com/sites/default/files/2025-01/piieb25-1.pdf>
- IEA. (2023). *Clean Energy Supply Chains Vulnerabilities*. In *Energy Technology Perspectives 2023*. International Energy Agency. Retrieved September 29, 2024, from <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023/clean-energy-supply-chains-vulnerabilities>
- Imperiali, C. (2023). *US-China semiconductor trade row deepens*. Bloomberg Professional Services, July 20. <https://www.bloomberg.com/professional/insights/markets/us-china-semiconductor-trade-row-deepens/>
- Institute of International Education. (2023). *International Students by Detailed Academic Level, 1990/00–2022/23*. Open Doors Report on International Educational Exchange. Retrieved April 25, 2025, from <https://opendoorsdata.org/>
- Institute of International Education. (2024a). *International Students by Place of Origin, Selected Years, 1949/50 - 2023/24*. Open Doors Report on International Educational Exchange. Retrieved April 25, 2025, from <https://opendoorsdata.org/>
- Institute of International Education. (2024b). *Destinations of U.S. Study Abroad Students, 1999/00 - 2022/23*. Open Doors Report on International Educational Exchange. Retrieved April 25, 2025, from <https://opendoorsdata.org/>
- Intel Corporation. (2021). *Intel Breaks Ground on Two New LeadingEdge Chip Factories in Arizona*. September 24. <https://www.intc.com/news-events/press-releases/detail/1501/intel-breaks-ground-on-two-new-leading-edge-chip-factories>
- Intel Newsroom. (2024a). *Updates: Intel's 10 Largest Construction Projects*. April 15. <https://newsroom.intel.com/corporate/updates-intel-10-largest-construction-projects#gs.igrblb>
- Intel Newsroom. (2024b). *Intel Awarded up to \$3B by the Biden-Harris Administration for Secure Enclave*. September 16. <https://newsroom.intel.com/corporate/2024-intel-news>
- Jaques, D. (2023). *Biomedical Engineering: The Patent Landscape*. Gill Jennings & Every LLP, February 15. <https://www.gje.com/resources/biomedical-engineering-the-patent-landscape/>
- Jeong, H. (2024). *Analyzing South Korea's Semiconductor Industry: Trade Dynamics and Global Position*. *World Economy Brief*, 14(8), 1-17. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4854445>
- Kanaoka, H. (2024). *China accounts for half of Japan's chipmaking equipment exports*. Nikkei Asia, June 12. <https://asia.nikkei.com/Economy/Trade/China-accounts-for-half-of-Japan-s-chipmaking-equipment-exports>
- Kennedy, A. B., & Lim, D. J. (2018) *The Innovation Imperative: Technology and US-China Rivalry in the Twenty-first Century*. *International Affairs*, 94(3), 553–572. <https://doi.org/10.1093/ia/iyy044>
- Keohane, R. O. (1984). *After Hegemony: Cooperation and Discord in the World Political Economy*. Princeton University Press.
- Keohane, R. O., & Nye J. S. (2011). *Power and Interdependence* (4th ed.). Pearson.
- Khan, S. M., Mann, A., & Peterson, D. (2021). *The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness*. Center for Security and Emerging Technology, January. <https://gwern.net/doc/cs/hardware/2021-khan.pdf>
- Khaveen Investments. (2023). *TSMC And ASE: World's Largest Foundry And World's Largest OSAT*.

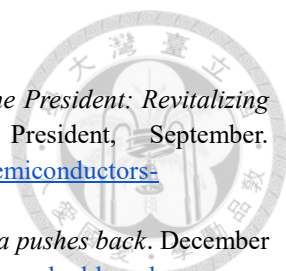
- Seeking Alpha, May 10.
https://money.tmx.com/en/quote/TSM:US/news/6644242476264632/TSMC_And_ASE_Worlds_Largest_Foundry_And_Worlds_Largest_OSAT
- Kim, E. (2024). *South Korea's Growing Reliance on China for Semiconductor Raw Materials Detailed in New Report*. BusinessKorea, September 24.
https://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=225651&utm_source=chatgpt.com
- Krasner, S. D. (1976). [Review of *U. S. Power and the Multinational Corporation: The Political Economy of Foreign Direct Investment*., by R. Gilpin]. *Political Science Quarterly*, 91(2), 361–363.
<https://doi.org/10.2307/2148433>
- Kumar, S., Chitoraga, S., & Shoo, F. (2021). *Status of the Advanced Packaging Industry 2021*. Yole Development. Retrieved April 26, 2025, from
<https://medias.yolegroup.com/uploads/2021/09/YINTR21223-Status-of-the-Advanced-Packaging-Industry-2021.pdf>
- Laskai, L. (2018). *Why Does Everyone Hate Made in China 2025?* Council on Foreign Relations, March 28.
<https://www.cfr.org/blog/why-does-everyone-hate-made-china-2025>
- Lee, J. (2024). *Southeast Asia and the Chip Wars: Navigating a Decoupling World*. Fulcrum, April, 18.
<https://fulcrum.sg/southeast-asia-and-the-chip-wars-navigating-a-decoupling-world/>
- Lee, J., & Goh, B. (2023). *Micron expects revenue impact following China ban*. Reuters, May 23.
<https://www.reuters.com/markets/asia/south-koreas-sk-hynix-shares-rise-slightly-after-china-fails-us-rival-micron-2023-05-22/>
- Leung, J. W., Robin, S., & Cave, D. (2024a). *ASPI's two-decade Critical Technology Tracker: The rewards of long-term research investment*. Australian Strategic Policy Institute, August. https://ad-aspi.s3.ap-southeast-2.amazonaws.com/2024-08/ASPIs%20two-decade%20Critical%20Technology%20Tracker_1.pdf?VersionId=1p.Rx9MIuZyK5A5w1SDKIpE2EGNB_H8r
- Leung, J. W., Robin, S., & Cave, D. (2024b). *ASPI's two-decade Critical Technology Tracker: The rewards of long-term research investment*. Australian Strategic Policy Institute, August 28.
<https://www.aspi.org.au/report/aspi-two-decade-critical-technology-tracker>
- Lipscombe, P. (2023). *Huawei accused of building secret supply network for chips - reports*. Data Center Dynamics, August 24. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/huawei-accused-of-building-secret-supply-network-for-chips-reports/>
- Makioka, R., & Zhang, H. (2023). *The Impact of Export Controls on International Trade: Evidence from the Japan–Korea Trade Dispute in Semiconductor Industry* (RIETI Discussion Paper Series 23-E-017). Research Institute of Economy, Trade and Industry, March.
<https://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/23e017.pdf>
- Malik, M. (2012). Technopolitics: How Technology Shapes Relations Among Nations. In V. Watson (Ed.), *The Interface of Science, Technology & Security: Areas of Most Concern, Now and Ahead* (pp. 21-27). Asia-Pacific Center for Security Studies. https://dkiapecss.edu/wp-content/uploads/2013/02/S_T_PUBLICATION.pdf
- Manners, D. (2023). *Design IP revenues grew 20% last year*. ElectronicsWeekly, April 24.
<https://www.electronicsweekly.com/news/business/design-ip-revenues-grew-20-last-year-2023-04/>
- Manners, D. (2024). *Design IP revenues have 10.8% CAGR 2016-23 to \$7.04bn*. ElectronicsWeekly, April 22. <https://www.electronicsweekly.com/news/business/design-ip-revenues-have-10-8-cagr-2016-23-2024-04/>
- Martina, M. & Alper, A. (2025). *Bill to curb US investment in China to be reintroduced, US lawmaker says*. Reuters, February 12. <https://www.reuters.com/world/us/bill-curb-us-investment-china-be-reintroduced-us-lawmaker-says-2025-02-11/>
- Matake, Y., Osawa, O., Okada, T., & Ai, S. (2024). *The policy directions for Japan Export Control Reform–The issuance of the Interim Report by METI Subcommittee on Security Export Control Policy*. Nagashima Ohno & Tsunematsu, August. https://www.noandt.com/wp-content/uploads/2024/06/internationaltrade_en_no2_2.pdf
- Mennis, B. (1978). [Review of *U.S. Power and the Multinational Corporation: The Political Economy of Foreign Direct Investment*, by R. Gilpin]. *The American Political Science Review*, 72(2), 789–790.

- <https://doi.org/10.2307/1954249>
- Micron. (2022). *Micron Announces Historic Investment of up to \$100 Billion to Build Megafab in Central New York*. October 4. <https://investors.micron.com/news-releases/news-release-details/micron-announces-historic-investment-100-billion-build-megafab>
- Migration Data Portal. (2025). *Total number of international students in tertiary education (by destination country)*, 2022. Retrieved April 25, 2025, from https://www.migrationdataportal.org/international-data?i=stud_in_&t=2022&cm49=840
- Ministerie van Buitenlandse Zaken. (2023). *Regeling van de Minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking van 23 juni 2023, nr. MinBuza.2023.15246-27 houdende invoering van een vergunningplicht voor de uitvoer van geavanceerde productieapparatuur voor halfgeleiders die niet zijn genoemd in bijlage I van Verordening 2021/821 (Regeling geavanceerde productieapparatuur voor halfgeleiders)*. Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden 2023, 18212. [Ministry of Foreign Affairs. (2023). *Regulation of the Minister for Foreign Trade and Development Cooperation of 23 June 2023, No. MinBuza.2023.15246-27, introducing a licensing requirement for the export of advanced semiconductor manufacturing equipment not listed in Annex I of Regulation 2021/821 (Regulation on advanced semiconductor manufacturing equipment)*. Official Gazette of the Kingdom of the Netherlands 2023, 18212.] <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2023-18212.html>
- Ministerie van Buitenlandse Zaken. (2024a). *Regeling van de Minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingshulp van 2 september 2024, nr. BZ2404162, tot wijziging van de Regeling geavanceerde productieapparatuur voor halfgeleiders in verband met een uitbreiding van de vergunningplicht en technische wijzigingen in de bijlage behorende bij de regeling*. Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden 2024, 29008. [Ministry of Foreign Affairs. (2024a). *Regulation of the Minister for Foreign Trade and Development Cooperation of 2 September 2024, No. BZ2404162, amending the Regulation on Advanced Semiconductor Manufacturing Equipment in connection with an expansion of the licensing requirement and technical amendments to the annex to the regulation*. Official Gazette of the Kingdom of the Netherlands 2024, 29008.] <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2024-29008.html>
- Ministerie van Buitenlandse Zaken. (2024b). *Regeling van de Minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingshulp van 11 oktober 2024, nr. BZ2405833 houdende invoering van een vergunningplicht voor de uitvoer van producten die niet zijn genoemd in bijlage I van Verordening 2021/821 (Regeling aanvullende controlemaatregelen op de Verordening producten voor tweërlei gebruik)*. Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden 2024, 33838. [Ministry of Foreign Affairs. (2024b). *Regulation of the Minister for Foreign Trade and Development Cooperation of 11 October 2024, No. BZ2405833, introducing a licensing requirement for the export of products not listed in Annex I of Regulation 2021/821 (Supplementary Control Measures Regulation on the Regulation for Dual-Use Products)*. Official Gazette of the Kingdom of the Netherlands, 2024, 33838.] <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2024-33838.html>
- Ministerie van Buitenlandse Zaken. (2025). *Regeling van de Minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingshulp van 13 januari 2025, BZ2411160, tot wijziging van de Regeling geavanceerde productieapparatuur voor halfgeleiders in verband met een uitbreiding van de vergunningplicht en technische wijzigingen in de bijlage behorende bij de regeling*. Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden 2025, 1894. [Ministry of Foreign Affairs. (2025). *Regulation of the Minister for Foreign Trade and Development Cooperation of 13 January 2025, No. BZ2411160, amending the Regulation on Advanced Semiconductor Manufacturing Equipment in connection with an expansion of the licensing requirement and technical amendments to the annex to the regulation*. Official Gazette of the Kingdom of the Netherlands, 2025, 1894.] <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2025-1894.html>
- Ministry of Foreign Affairs. (2025). *Klever: export controls on advanced semiconductor manufacturing equipment to be tightened*. Government of the Netherlands, January 15. <https://www.government.nl/topics/export-controls-of-strategic-goods/news/2025/01/15/klever-export-controls-on-advanced-semiconductor-manufacturing-equipment-to-be-tightened>
- Modelske, G. (1978). The Long Cycle of Global Politics and the Nation-State. *Comparative Studies in Society and History*, 20(2), 214–235. <http://www.jstor.org/stable/178047>
- Mok, C. (2025). *Taking Stock of the DeepSeek Shock*. Stanford Cyber Policy Center, Freeman Spogli Institute for International Studies, February 5. <https://cyber.fsi.stanford.edu/publication/taking-stock-deepseek->

- [shock](#)
- Morgenthau, H. J. (1948). *Politics Among Nations: The Struggle for Power and Peace*. Alfred A. Knopf, Inc.
- Moss, S. (2021). *Biden Admin considers using Defense Production Act to get semiconductor supply chain data*. Data Center Dynamics, September 29. https://www.datacenterdynamics.com/en/news/biden-admin-considers-using-defense-production-act-to-get-semiconductor-supply-chain-data/?utm_source=chatgpt.com
- Myles, D. (2025). *How Trump could scrap Chips Act funding*. fDi Intelligence, March 27. <https://www.fdiintelligence.com/content/e67bel10-fe76-4e75-8475-d3298d80fc57>
- National Counterintelligence and Security Center. (2021). *Protecting Critical and Emerging U.S. Technologies from Foreign Threats*. Office of the Director of National Intelligence, October 21. https://www.dni.gov/files/NCSC/documents/SafeguardingOurFuture/FINAL_NCSC_Emerging%20Technologies_Factsheet_10_22_2021.pdf
- National Institute of Standards and Technology. (2023a). *Biden-Harris Administration Announces Final National Security Guardrails for CHIPS for America Incentives Program*. U.S. Department of Commerce, September 22. <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2023/09/biden-harris-administration-announces-final-national-security>
- National Institute of Standards and Technology. (2023b). Preventing the Improper Use of CHIPS Act Funding. *Federal Register*, 88(184), 65600-65620. <https://www.federalregister.gov/d/2023-20471>
- National Science and Technology Council. (2022). *Critical and Emerging Technologies List Update*. Biden White House Archives, February. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/02/02-2022-Critical-and-Emerging-Technologies-List-Update.pdf>
- National Science and Technology Council. (2024). *Critical and Emerging Technologies List Update*. Biden White House Archives, February. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2024/02/Critical-and-Emerging-Technologies-List-2024-Update.pdf>
- National Science Board. (2024a). *Science and Engineering Indicators 2024: The State of U.S. Science and Engineering* (NSB-2024-3). National Science Foundation. <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb20243>
- National Science Board. (2024b). *Science and Engineering Indicators 2024: The STEM Labor Force: Scientists, Engineers, and Technical Workers* (NSB-2024-5). National Science Foundation. <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb20245/>
- National Science Board. (2024c). *Science and Engineering Indicators 2024: Research and Development: U.S. Trends and International Comparisons* (NSB-2024-6). National Science Foundation. <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb20246/>
- National Science Board. (2024d). *Science and Engineering Indicators 2024: Production and Trade of Knowledge- and Technology-Intensive Industries* (NSB-2024-7). National Science Foundation. <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb20247>
- Negishi, M. (2025). *Japan plans to curb exports of chips and quantum-computing tech*. The Japan Times, February 1. <https://www.japantimes.co.jp/business/2025/02/01/tech/japan-plans-chip-export-curbs/>
- Nikakhtar, N. (2020a). Opening Statement of Nazak Nikakhtar, Assistant Secretary for Industry and Analysis, U.S. Department of Commerce, International Trade Administration. In *Hearing on China's Quest for Capital: Motivations, Methods, and Implications* (Hearing Transcript, pp. 14-15). U.S.-China Economic and Security Review Commission, 116th Congress. January 23. <https://www.uscc.gov/sites/default/files/2020-02/January%2023%2C%202020%20Hearing%20Transcript.pdf>
- Nikakhtar, N. (2020b). Testimony Before the United States China Economic and Security Review Commission China's Quest for Capital: Motivations, Methods, and Implications. In *Hearing on China's Quest for Capital: Motivations, Methods, and Implications* (Hearing Transcript, pp. 17-21). U.S.-China Economic and Security Review Commission, 116th Congress. January 23. <https://www.uscc.gov/sites/default/files/2020-02/January%2023%2C%202020%20Hearing%20Transcript.pdf>
- Normile, D. (2024a). *China's scientists often cite work from their own nation. Is that skewing global research rankings?* Science, September 24. <https://www.science.org/content/article/china-s-scientists-often-cite-work-their-own-nation-skewing-global-research-rankings>
- Normile, D. (2024b). A 'home bias' in citations boosts China's global science ranking. *Science*, 386(6717),

- 11–12. <https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.adt5690>
- Norton Rose Fulbright. (2021). *US expands sanctions targeting investments in securities of Chinese military companies*. June 17. <https://www.nortonrosefulbright.com/en-bi/knowledge/publications/2d19bb99/us-expands-sanctions-targeting-investments-in-securities-of-chinese-military-companies>
- NVIDIA Corporation. (2025). *Form 8-K*. U.S. Securities and Exchange Commission, April 9. <https://www.sec.gov/ix?doc=/Archives/edgar/data/0001045810/000104581025000082/nvda-20250409.htm#fact-identifier-3>
- Nye, J. S., & Keohane R. O. (1971). Transnational Relations and World Politics: A Conclusion. *International Organization*, 25(3), 721–748. <http://www.jstor.org/stable/2706066>
- O'Connor, S. (2019). *How Chinese Companies Facilitate Technology Transfer from the United States*. US-China Economic and Security Review Commission, May 6. <https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/How%20Chinese%20Companies%20Facilitate%20Tech%20Transfer%20from%20the%20US.pdf>
- OECD Data Explorer. (2025). *Gross domestic expenditure on R&D by sector of performance and type of R&D*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Retrieved April 24, 2025, from [https://data-explorer.oecd.org/vis?fs\[0\]=Topic%2C0%7CScience%252C%20technology%20and%20innovation%23INT%23&pg=0&fc=Topic&bp=true&snb=34&vw=tb&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DS_D_RDS_GERD%40DF_GERD_TORD&df\[ag\]=OECD.STI.STP&df\[vs\]=1.0&dq=CHN%2BUS.A..T%2BPNP%2BHES%2BGOV%2BBES.....USD_PPP.V&pd=2009%2C2023&to\[TIME_PERIOD\]=false](https://data-explorer.oecd.org/vis?fs[0]=Topic%2C0%7CScience%252C%20technology%20and%20innovation%23INT%23&pg=0&fc=Topic&bp=true&snb=34&vw=tb&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DS_D_RDS_GERD%40DF_GERD_TORD&df[ag]=OECD.STI.STP&df[vs]=1.0&dq=CHN%2BUS.A..T%2BPNP%2BHES%2BGOV%2BBES.....USD_PPP.V&pd=2009%2C2023&to[TIME_PERIOD]=false)
- Office of Exporter Services, Bureau of Industry and Security. (2018). *Introduction to Commerce Department Export Controls*. U.S. Department of Commerce, November. Retrieved May 3, 2025, from <https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/regulations-docs/142-eccn-pdf/file>
- Office of Foreign Assets Control, Department of the Treasury. (n.d.) *Additional Sanctions Lists*. Retrieved May 3, 2025, from <https://ofac.treasury.gov/other-ofac-sanctions-lists>
- Office of Investment Security, Department of the Treasury. (2020). Provisions Pertaining to Certain Investments in the United States by Foreign Persons. *Federal Register*, 85(12), 3112-3156. <https://www.federalregister.gov/d/2020-00188>
- Office of Investment Security, Department of the Treasury. (2023). Provisions Pertaining to U.S. Investments in Certain National Security Technologies and Products in Countries of Concern. *Federal Register*, 88(155), 54961-54972. <https://www.federalregister.gov/d/2023-17164>
- Office of Investment Security, Department of the Treasury. (2024). Provisions Pertaining to U.S. Investments in Certain National Security Technologies and Products in Countries of Concern. *Federal Register*, 89(221), 90398-90473. <https://www.federalregister.gov/d/2024-25422>
- Office of Technology Assessment. (1994). *Assessing the Potential for Civil-Military Integration: Technologies, Processes, and Practices* (OTS-ISS-611). U.S. Congress, September. https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc39728/m2/1/high_res_d/9402.pdf
- Office of Technology Evaluation. (2023). *Assessment of the Status of the Microelectronics Industrial Base in the United States*. Bureau of Industry and Security, December. <https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/technology-evaluation/3402-section-9904-report-final-20231221/file>
- Office of Technology Evaluation. (2024). *Public Report on the Use of Mature-Node Semiconductor*. Bureau of Industry and Security, December 6. <https://www.bis.gov/media/documents/public-report-use-mature-node-semiconductors-december-2024.pdf>
- Office of the United States Trade Representative. (2018a). *Findings of the Investigation into China's Acts, Policies, and Practices Related to Technology Transfer, Intellectual Property, and Innovation under Section 301 of the Trade Act of 1974: Executive Summary*. Executive Office of the President, March 22. <https://ustr.gov/sites/default/files/enforcement/301Investigations/301%20Draft%20Exec%20Summary%203.22.ustrfinal.pdf>
- Office of the United States Trade Representative. (2018b). *Findings of the Investigation into China's Acts, Policies, and Practices Related to Technology Transfer, Intellectual Property, and Innovation under Section 301 of the Trade Act of 1974*. Executive Office of the President, March 22.

- <https://ustr.gov/sites/default/files/Section%20301%20FINAL.PDF>
- Office of the United States Trade Representative. (2024). *USTR Initiates Section 301 Investigation on China's Acts, Policies, and Practices Related to Targeting of the Semiconductor Industry for Dominance*. Executive Office of the President, December 23. <https://ustr.gov/about-us/policy-offices/press-office/press-releases/2024/december/ustr-initiates-section-301-investigation-chinas-acts-policies-and-practices-related-targeting>
- Ogburn, W. F. (1949). Preface. In W. F. Ogburn (Ed.), *Technology and International Relations* (pp. v-vi). University of Chicago Press. <https://archive.org/details/technologyintern00ogbu/page/n9/mode/2up>
- Oliver, J. W. (1949). [Review of *Technology and International Relations*, by W. F. Ogburn]. *The American Historical Review*, 55(1), 98–99. <https://doi.org/10.2307/1841095>
- Olson, M., & Zeckhauser, R. (1966). An Economic Theory of Alliances. *The Review of Economics and Statistics*, 48(3), 266–279. <https://doi.org/10.2307/1927082>
- Organski, A. F. K. (1968). *World Politics* (2nd ed.). Alfred A. Knopf, Inc.
- Orr, A. (2024). *Arizona TSMC facility continues to fight cultural battles, rising costs & logistical hurdles*. AppleInsider, April, 25. <https://appleinsider.com/articles/24/04/25/arizona-tsmc-facility-continues-to-fight-cultural-battles-rising-costs-logistical-hurdles>
- Owens, N. (2025). *Trump wants to end the 'horrible, horrible' CHIPS Act. It's not that simple*. Supply Chain Dive, March 12. <https://www.supplychaindive.com/news/trump-to-kill-chips-act-not-that-simple-defunding/741963/>
- Pao, J. (2024). *SMIC to sell Huawei costly, inefficient 5nm chips*. Asia Times, February 8. <https://asiatimes.com/2024/02/smic-to-sell-huawei-costly-inefficient-5nm-chips/#>
- Perez, C. (2021a). *5G Explained - Part One: Technology and Infrastructure*. Foreign Policy Analytics, February 23. <https://foreignpolicy.com/2020/01/22/5g-cellular-huawei-china-networks-technology-infrastructure-power-map/>
- Perez, C. (2021b). *5G Explained - Part Two: The Competitive Landscape*. Foreign Policy Analytics, February 23. <https://foreignpolicy.com/2020/02/24/5g-cellular-huawei-china-networks-supply-chain-competitive-landscape-power-map/>
- Permanent Subcommittee on Investigations. (2024a). *The U.S. Technology Fueling Russia's War in Ukraine: Examining Semiconductor Manufacturer's Compliance with Export Controls*. U.S. Senate Committee on Homeland Security and Governmental Affairs, September 10. <https://www.hsgac.senate.gov/wp-content/uploads/09.10.2024-Majority-Staff-Report-The-U.S.-Technology-Fueling-Russias-War-in-Ukraine.pdf>
- Permanent Subcommittee on Investigations. (2024b). *The U.S. Technology Fueling Russia's War in Ukraine: Examining the Bureau of Industry and Security's Enforcement of Semiconductor Export Controls*. U.S. Senate Committee on Homeland Security and Governmental Affairs, December 18. <https://www.hsgac.senate.gov/wp-content/uploads/The-U.S.-Technology-Fueling-Russias-War-in-Ukraine-Examining-BISs-Enforcement-of-Semiconductor-Export-Controls.pdf>
- Perry, S. E. (1949). [Review of *Technology and International Relations*, by W. F. Ogburn]. *Psychiatry*, 12(3), 314–316. <https://doi.org/10.1080/00332747.1949.11022743>
- Pletka, D., & Scissors, D. (2019). *Stop Investing in China's Brutality*. The New York Times, December 5. <https://www.nytimes.com/2019/12/05/opinion/stop-investing-in-china.html>
- Polaris Market Research. (2024). *Semiconductor Intellectual Property (IP) Market Size/Share Analysis Estimated Reach USD 14.28 Billion By 2032, at 8.4% CAGR*. GlobeNewswire, February 20. <https://www.globenewswire.com/news-release/2024/02/20/2831695/0/en/Semiconductor-Intellectual-Property-IP-Market-Size-Share-Analysis-Estimated-Reach-USD-14-28-Billion-By-2032-at-8-4-CAGR-Polaris-Market-Research.html>
- President's Council of Advisors on Science and Technology. (2017). *Report to the President on Ensuring Long-Term U.S. Leadership in Semiconductors*. Executive Office of the President, January. https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast_ensuring_long-term_us_leadership_in_semiconductors.pdf
- President's Council of Advisors on Science and Technology. (2022a). *PCAST Releases Report on Revitalizing the U.S. Semiconductor Ecosystem*. Biden White House Archives, September 20. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/pcast/briefing-room/2022/09/20/pcast-releases-report-on->

- 
- [revitalizing-the-u-s-semiconductor-ecosystem/](#)
- President's Council of Advisors on Science and Technology. (2022b). *Report to the President: Revitalizing the U.S. Semiconductor Ecosystem*. Executive Office of the President, September. https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/09/PCAST_Semiconductors-Report_Sep2022.pdf
- Reuters. (2022). *U.S. consults with Japan, Netherlands on chip restrictions as China pushes back*. December 13. <https://www.reuters.com/technology/japan-netherlands-join-us-china-chip-curbs-bloomberg-news-2022-12-12/#:~:text=Dec%2013%20%E2%BC%88Reuters%E2%BC%89%20%2D%20The,China%2C%20and%20Beijing%20hitting%20back>
- Reuters. (2023). *Exclusive: Baidu placed AI chip order from Huawei in shift away from Nvidia*. November 8. <https://www.reuters.com/technology/baidu-placed-ai-chip-order-huawei-shift-away-nvidia-sources-2023-11-07/>
- Rhodium Group & National Committee on U.S.-China Relations. (n.d.). *Making The US-China Capital Flows More Transparent: Explore FDI Data*. The US-China Investment Hub. Retrieved May 2, 2025, from <https://www.us-china-investment.org/fdi-data>
- Rogers, M., & Ruppertsberger, C. A. D. (2012). *Investigative report on the U.S. national security issues posed by Chinese telecommunications companies Huawei and ZTE*. U.S. House of Representatives, Permanent Select Committee on Intelligence. <https://purl.fdlp.gov/GPO/gpo140697>
- Samsung Newsroom. (2021). *Samsung Electronics Announces New Advanced Semiconductor Fab Site in Taylor, Texas*. November 24. <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-announces-new-advanced-semiconductor-fab-site-in-taylor-texas>
- Savov, V. (2023). *Chipmaking Gear Companies Get More Sales From China Than Ever*. Bloomberg, November 17. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-11-17/chipmaking-gear-companies-get-more-sales-from-china-than-ever?utm_source=website&utm_medium=share&utm_campaign=copy
- Schleich, M., & Denamiel, T. (2024). *Why US Semiconductor Export Controls Backfire*. The Diplomat, May 23. <https://thediplomat.com/2024/05/why-us-semiconductor-export-controls-backfire/>
- Schneider, J. (2023). *Huawei's Breakthrough: The Strategic Implications*. ChinaTalk, September 12. <https://www.chinatalk.media/p/huaweis-breakthrough-the-strategic>
- SEMI. (2025). *Global Semiconductor Equipment Billings Surged to \$117 Billion in 2024, SEMI Reports*. SEMI, April 9. <https://www.semi.org/en/semi-press-release/global-semiconductor-equipment-billings-surged-to-117-billion-dollars-in-2024-semi-reports>
- Semiconductor Industry Association & Oxford Economics. (2021). *Chipping In: The Positive Impact of the Semiconductor Industry on the American Workforce and How Federal Industry Incentives will Increase Domestic Jobs*. May. https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/SIA-Impact_May2021-FINAL-May-19-2021_2.pdf
- Semiconductor Industry Association. (2025). *Semiconductor Supply Chain Investments*. March 7. Retrieved April 10, 2025, from <https://www.semiconductors.org/chip-supply-chain-investments/>
- Sessions, J. (2018). *Attorney General Jeff Sessions Announces New Initiative to Combat Chinese Economic Espionage*. U.S. Department of Justice, November 1. <https://www.justice.gov/archives/opa/speech/attorney-general-jeff-sessions-announces-new-initiative-combat-chinese-economic-espionage>
- Shepardson, D. (2025). *Trump wants to kill \$52.7 billion semiconductor chips subsidy law*. Reuters, March 5. <https://www.reuters.com/technology/trump-wants-kill-527-billion-semiconductor-chips-subsidy-law-2025-03-05/>
- Shilov, A. (2022). *U.S. Semiconductor Renaissance: All the Upcoming Fabs*. Tom's Hardware, August, 29. <https://www.tomshardware.com/news/new-us-fabs-everything-we-know>
- Shilov, A. (2023). *SMIC Removes Mentions of 14nm Node: US Sanctions at Work?* Tom's Hardware, May 16. <https://www.tomshardware.com/news/smic-removes-mentions-of-14nm-node>
- Shilov, A. (2024). *Dutch government retakes export control over ASML's fab tools*. Tom's Hardware, September 6. <https://www.tomshardware.com/tech-industry/dutch-government-retakes-export-control-over-asmls-fab-tools>
- Shivakumar, S., & Wessner, C. (2022). *Semiconductors and National Defense: What Are the Stakes?* Center

- for Strategic & International Studies, June 8. <https://www.csis.org/analysis/semiconductors-and-national-defense-what-are-stakes>
- Siddiqui, Z. (2023). *Five Eyes intelligence chiefs warn on China's 'theft' of intellectual property*. Reuters, October 19. <https://www.reuters.com/world/five-eyes-intelligence-chiefs-warn-chinas-theft-intellectual-property-2023-10-18/>
- Simpson Thacher & Bartlett LLP. (2025). *BIS Announces Worldwide Export Controls on Advanced Chips and AI Models*. Simpson Thacher, January 15. <https://www.stblaw.com/about-us/publications/view/2025/01/15/bis-announces-worldwide-export-controls-on-advanced-chips-and-ai-models>
- Smigel, E. O. (1949). [Review of *Technology and International Relations*., by W. F. Ogburn]. *American Sociological Review*, 14(3), 440–441. <https://doi.org/10.2307/2086904>
- SNS Insider. (2025). *Electronic Design Automation (EDA) Market to Surpass USD 32.75 Billion by 2032, at 9.35% CAGR*. GlobeNewswire, March 14. <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/03/14/3042986/0/en/Electronic-Design-Automation-EDA-Market-to-Surpass-USD-32-75-Billion-by-2032-at-9-35-CAGR-SNS-Insider.html>
- Stein, A. A. (1984). The Hegemon's Dilemma: Great Britain, the United States, and the International Economic Order. *International Organization*, 38(2), 355–386. <http://www.jstor.org/stable/2706445>
- Stricker, A., & Albright, D. (2017). *U.S. Export Control Reform: Impacts and Implications for Controlling the Export of Proliferation-Sensitive Goods and Technologies, A Policy Document for the New President and Congress*. Institute for Science and International Security, May 17. <https://isis-online.org/isis-reports/detail/u.s.-export-control-reform-impacts-and-implications/>
- Swanson, A. (2019). *Chinese Investment Pits Wall Street Against Washington*. The New York Times, October 28. <https://www.nytimes.com/2019/10/28/business/china-investment-federal-employees.html>
- Swanson, A. (2020). *Federal Retirement Fund Halts Planned China Investment Under Pressure*. The New York Times, May 13. <https://www.nytimes.com/2020/05/13/business/economy/china-tsp-federal-retirement-fund.html>
- Szkarłat, M., & Mojska, K. (2016). Introduction. In M. Szkarłat & K. Mojska (Eds.), *New Technologies as a Factor of International Relations* (pp. xi-xviii). Cambridge Scholars Publishing.
- Taipei Times. (2021). *TSMC answers US chip supply chain request*. November 9. <https://www.taipeitimes.com/News/front/archives/2021/11/09/2003767570>
- Taiwan Semiconductor Industry Association. (2024). *Overview on Taiwan Semiconductor Industry (2024 Edition)*. June 26. <https://www.tsia.org.tw/EN/PublOverview?nodeID=60>
- Team Counterpoint. (2022). *Infographic: Global Smartphone AP Market Share | Q2 2022*. Counterpoint, September 21. <https://www.counterpointresearch.com/insight/infographic-global-smartphone-ap-market-share-q2-2022>
- Team Counterpoint. (2024). *Top 5 Wafer Fab Equipment Makers' Revenue Declined 1% YoY in 2023; ASML on Top*. Counterpoint, March 6. <https://www.counterpointresearch.com/insights/top-5-wafer-fab-equipment-makers-revenue-declined-in-2023-asml-on-top/>
- Team Counterpoint. (2025). *Global Smartphone AP-SoC Market Share: Quarterly*. Counterpoint, March 24. <https://www.counterpointresearch.com/insight/global-smartphone-apsoc-market-share-quarterly>
- TechInsights. (2024). *TSMC No.1 and Nvidia posts triple-digit growth in TechInsights 2023 top-25 chip suppliers rankings*. DIGITIMES Asia, April 17. <https://www.digitimes.com/news/a20240417PR200/globalfoundries-nvidia-pure-play-foundry-revenues-samsung-sk-hynix-smic-techinsights-tsmc-umc.html>
- The Chosunilbo. (2024). *Editorial: S. Korea's market decline reflects industrial losses to China*. The Chosun Daily, December 3. <https://www.chosun.com/english/opinion-en/2024/12/03/4MSQUTOL5JAFDNU66PBSXPQWGM/>
- The Select Committee on the CCP. (2024). *COINS Act*. United States House Select Committee on Strategic Competition between the United States and the Chinese Communist Party, December 24. <https://selectcommitteeontheccp.house.gov/media/bills/coins-act>
- The Straits Times. (2024) *US pushed Dutch chip equipment maker to block some exports to China before curb deadline*. January 2. <https://www.straitstimes.com/business/us-pushed-dutch-maker-of-chip-equipment-to-block-some-exports-to-china-before-deadline>

- 
- Tobin, M., & Swanson, A. (2024). *TSMC Stops Advanced Chip Shipments to Chinese Customer*. The New York Times, November 9. <https://www.nytimes.com/2024/11/09/business/tsmc-ai-chips-china.html>
- TrendForce. (2022a). *New US EDA Software Ban May Affect China's Advanced IC Design, Says TrendForce*. August 15. <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20220815-11338.html>
- TrendForce. (2022b). *U.S. Department of Commerce Again Imposes Restrictions on China, Expanding Scope of Sanctions from Logic ICs to Memory Sector, Says TrendForce*. October 8. <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20221008-11411.html>
- TrendForce. (2023). *China's Wafer Fabs Hits 44 with Future Expansion 32, Mainly Targeting on The Mature Process*. November 14. <https://www.trendforce.com/news/2023/11/14/a-closer-look-at-chinas-dynamic-wafer-foundry-landscape-current-44-with-future-expansion-of-32/>
- TrendForce. (2024a). *[News] China's Chip Production Capacity Reportedly Set to Grow 60% in 3 Years, Doubling in 5 Years*. January 15. <https://www.trendforce.com/news/2024/01/15/news-chinas-chip-production-capacity-reportedly-set-to-grow-60-in-3-years-doubling-in-5-years/>
- TrendForce. (2024b). *[News] Despite U.S. Semiconductor Export Restrictions, ASML Reports Doubling of Revenue Share from China in 2023*. January 25. <https://www.trendforce.com/news/2024/01/25/news-despite-u-s-semiconductor-export-restrictions-asml-reports-doubling-of-revenue-share-from-china-in-2023/>
- TrendForce. (2024c). *[News] Overview of the Latest Financial Reports from the Top Five Equipment Giants Amid the Intense US-China Tech War*. February 16. <https://www.trendforce.com/news/2024/02/16/news-overview-of-the-latest-financial-reports-from-the-top-five-equipment-giants-amid-the-intense-us-china-tech-war/>
- TrendForce. (2024d). *Top 10 IC Design Houses' Combined Revenue Grows 12% in 2023, NVIDIA Takes Lead for the First Time, Says TrendForce*. May 9. <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20240509-12134.html>
- TrendForce. (2024e). *[News] China Contributes Over 40% of U.S. Chip Equipment Makers' Revenue despite Export Controls*. July 16. <https://www.trendforce.com/news/2024/07/16/news-china-contributes-over-40-of-u-s-chip-equipment-makers-revenue-despite-export-controls/>
- TrendForce. (2025a). *[News] Korean HBM Giants Cutting Chinese EDA Risks Higher Costs, Supply Chain Disruptions*. February 28. <https://www.trendforce.com/news/2025/02/28/news-korean-hbm-giants-cutting-chinese-eda-risks-higher-costs-supply-chain-disruptions/>
- TrendForce. (2025b). *[News] Intel's Initial 18A Wafers Reportedly Roll Out in Arizona; Early Mass Production Likely to Follow*. March 14. <https://www.trendforce.com/news/2025/03/14/news-intels-initial-18a-wafers-reportedly-roll-out-in-arizona-early-mass-production-likely-to-follow/>
- TrendForce. (2025c). *Global Top 10 IC Design Houses See 49% YoY Growth in 2024, NVIDIA Commands Half the Market, Says TrendForce*. March 17. <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20250317-12519.html>
- TrendForce. (2025d). *Top 10 OSAT Companies of 2024 Revealed—China Players See Double-Digit Growth, Reshaping the Global Market Landscape, Says TrendForce*. May 13. <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20250513-12577.html>
- Tsai, M., & Wu, J. (2024). *To split or not to split: Intel's dilemma has no clear-cut solution*. DIGITIMES Asia, November 6. <https://www.digitimes.com/news/a20241101PD208/intel-manufacturing-design-business.html>
- TSMC. (2020). *TSMC Announces Intention to Build and Operate an Advanced Semiconductor Fab in the United States*. May 15. <https://pr.tsmc.com/english/news/2033>
- TSMC. (n.d.). *TSMC Arizona*. Retrieved April 27, 2025. <https://www.tsmc.com/static/abouttsmc/az/index.htm>
- Tzinova, A. I., & Jin, S. (2021). *U.S. Removes Xiaomi from List of Banned Chinese Companies*. Holland & Knight, May 27. <https://www.hklaw.com/en/insights/publications/2021/05/us-removes-xiaomi-from-list-of-banned-chinese-companies>
- U.S. Department of Commerce. (2021). *Opening Remarks by U.S. Secretary of Commerce Gina Raimondo at the White House Semiconductor Convening*. September 23. <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2021/09/readout-biden-administration-convening-discuss-and-address>
- U.S. Department of Commerce. (2022). *Results from Semiconductor Supply Chain Request for Information*. January 25. <https://www.commerce.gov/news/blog/2022/01/results-semiconductor-supply-chain->

- [request-information](#)
- U.S. Department of Commerce. (2024). *The Decisive Decade: Advancing National Security at the Department of Commerce*. December. <https://www.commerce.gov/sites/default/files/2024-12/The-Decisive-Decade-Advancing-National-Security-at-the-Department-of-Commerce.pdf>
- U.S. Department of Defense. (2021a). *DOD Releases List of Additional Companies, In Accordance with Section 1237 of FY99 NDAA*. January 14. <https://www.defense.gov/News/Releases/release/article/2472464/dod-releases-list-of-additional-companies-in-accordance-with-section-1237-of-fy/>
- U.S. Department of Defense. (2021b). *DOD Releases List of Chinese Military Companies in Accordance With Section 1260H of the National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021*. June 3. <https://www.defense.gov/News/Releases/release/article/2645126/dod-releases-list-of-chinese-military-companies-in-accordance-with-section-1260/>
- U.S. Department of Defense. (2022). *DOD Releases List of People's Republic of China (PRC) Military Companies in Accordance With Section 1260H of the National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021*. October 5. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/article/3180636/dod-releases-list-of-peoples-republic-of-china-prc-military-companies-in-accord/>
- U.S. Department of Defense. (2024a). *DOD Releases List of People's Republic of China (PRC) Military Companies in Accordance With Section 1260H of the National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021*. January 31. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/article/3661985/dod-releases-list-of-peoples-republic-of-china-prc-military-companies-in-accord/>
- U.S. Department of Defense. (2024b). *Department of Defense & Department of Commerce Joint Statement: Announcement in Support of the Manufacture of Microelectronics and Advanced Semiconductors for National Security*. September 16. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3906926/department-of-defense-department-of-commerce-joint-statement-announcement-in-su/>
- U.S. Department of Defense. (2024c). Notice of Removal of Designated Chinese Military Companies. *Federal Register*, 89(205), 84555. <https://www.federalregister.gov/d/2024-24726>
- U.S. Department of Defense. (2024d). Notice of Removal of Designated Chinese Military Companies. *Federal Register*, 89(243), 102868-102869. <https://www.federalregister.gov/d/2024-30018>
- U.S. Department of Defense. (2025). *DOD Releases List of Chinese Military Companies in Accordance with Section 1260H of the National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021*. January 7. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/4023145/dod-releases-list-of-chinese-military-companies-in-accordance-with-section-1260/>
- U.S. Department of State. (2025). *Joint Statement on the Trilateral United States – Japan – Republic of Korea Meeting in Munich*. February 15. <https://www.state.gov/joint-statement-on-the-trilateral-united-states-japan-republic-of-korea-meeting-in-munich/>
- U.S. Department of State. (n.d.) *The Clean Network*. Retrieved April 30, 2025, from <https://2017-2021.state.gov/the-clean-network/index.html>
- U.S. Department of the Treasury. (2020). *Fact Sheet: Final CFIUS Regulations Implementing FIRRMA*. January 13. <https://home.treasury.gov/system/files/206/Final-FIRRMA-Regulations-FACT-SHEET.pdf>
- U.S. Department of the Treasury. (2021). *Treasury Identifies Eight Chinese Tech Firms as Part of The Chinese Military-Industrial Complex*. December 16. <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0538>
- U.S. Department of the Treasury. (2022). *Statement by Secretary of the Treasury Janet L. Yellen on President Biden's Executive Order on the Committee on Foreign Investment in the United States*. September 15. <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy0951>
- U.S. Department of the Treasury. (2024a). *CFIUS Reports and Tables*. Retrieved May 5, 2025, from <https://home.treasury.gov/policy-issues/international/the-committee-on-foreign-investment-in-the-united-states-cfius/cfius-reports-and-tables>
- U.S. Department of the Treasury. (2024b). *Committee on Foreign Investment in the United States - Annual Report to Congress (Report Period CY 2023)*. <https://home.treasury.gov/system/files/206/2023CFIUSAnnualReport.pdf>
- U.S. Department of the Treasury. (2024c). *Covered Transactions, Withdrawals, and Presidential Decisions 2008-2023*. Retrieved May 2, 2025, from <https://home.treasury.gov/system/files/206/Covered->

- [Transactions-Withdrawals-Presidential-Decisions-2008-2023.pdf](#)
- U.S. Department of the Treasury. (2024d). *Treasury Issues Regulations to Implement Executive Order Addressing U.S. Investments in Certain National Security Technologies and Products in Countries of Concern*. October 28. <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy2687>
- U.S. Department of the Treasury. (2024e). *Additional Information on Final Regulations Implementing Outbound Investment Executive Order (E.O. 14105)*. October 28. https://home.treasury.gov/system/files/206/TreasuryOutboundFinalRuleAdditionalInformation_0.pdf
- U.S. Department of the Treasury. (n.d.-a). *CFIUS Overview*. Retrieved May 2, 2025, from <https://home.treasury.gov/policy-issues/international/the-committee-on-foreign-investment-in-the-united-states-cfius/cfius-overview#:~:text=The%20members%20of%20CFIUS%20include,Department%20of%20Homeland%20Security>
- U.S. Department of the Treasury. (n.d.-b). *CFIUS Frequently Asked Questions*. Retrieved May 2, 2025, from <https://home.treasury.gov/policy-issues/international/the-committee-on-foreign-investment-in-the-united-states-cfius/cfius-frequently-asked-questions>
- U.S. Embassy & Consulates in Japan. (2023). *Trilateral Leaders' Summit of the United States, Japan, and the Republic of Korea*. August 19. <https://jp.usembassy.gov/trilateral-leaders-summit-us-japan-south-korea/>
- Van Noorden, R. (2025). Exclusive: These universities have the most retracted scientific articles. *Nature*, 638(8051), 596–599. <https://doi.org/10.1038/d41586-025-00455-y>
- Varadarajan, R., Koch-Weser, I., Richard, C., Fitzgerald, J., Singh, J., Thornton, M., Casanova, R., & Isaacs, D. (2024). *Emerging Resilience in the Semiconductor Supply Chain*. Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association, May. https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2024/05/Report_Emerging-Resilience-in-the-Semiconductor-Supply-Chain.pdf
- Varas, A., Varadarajan, R., Goodrich, J., & Yinug, F. (2021). *Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era*. Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association, April. https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf
- Villasenor, J. (2025). *The new AI diffusion export control rule will undermine US AI leadership*. The Brookings Institute, January 23. <https://www.brookings.edu/articles/the-new-ai-diffusion-export-control-rule-will-undermine-us-ai-leadership/>
- Waltz, K. N. (1979). *Theory of International Politics*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Weiss, C. (2005). Science, Technology and International Relations. *Technology in Society*, 27(3), 295-313. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.04.004>
- Welch, N. (2024). *Holes In the Chip Design Software Export Controls*. ChinaTalk, May 1. <https://www.chinatalk.media/p/holes-in-the-chip-design-software>
- White House. (2010a). *Fact Sheet on the President's Export Control Reform Initiative*. Obama White House Archives, April 20. <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/fact-sheet-presidents-export-control-reform-initiative>
- White House. (2010b). *President Obama Lays the Foundation for a New Export Control System To Strengthen National Security and the Competitiveness of Key U.S. Manufacturing and Technology Sectors*. Obama White House Archives, August 30. <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2010/08/30/president-obama-lays-foundation-a-new-export-control-system-strengthen-n>
- White House. (2018a). *Presidential Order Regarding the Proposed Takeover of Qualcomm Incorporated by Broadcom Limited*. Trump White House Archives, March 12. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/presidential-order-regarding-proposed-takeover-qualcomm-incorporated-broadcom-limited/>
- White House. (2018b). *Presidential Memorandum on the Actions by the United States Related to the Section 301 Investigation*. Trump White House Archives, March 22. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/presidential-memorandum-actions-united-states-related-section-301-investigation/>
- White House. (2018c). *Remarks by President Trump at Signing of a Presidential Memorandum Targeting China's Economic Aggression*. Trump White House Archives, March 22. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/briefings-statements/remarks-president-trump-signing->

- [presidential-memorandum-targeting-chinas-economic-aggression/](#)
- White House. (2018d). *Statement on Steps to Protect Domestic Technology and Intellectual Property from China's Discriminatory and Burdensome Trade Practices*. Trump White House Archives, March 29. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/briefings-statements/statement-steps-protect-domestic-technology-intellectual-property-chinas-discriminatory-burdensome-trade-practices/>
- White House. (2020). *National Strategy for Critical and Emerging Technologies*. Trump White House Archives, October. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2020/10/National-Strategy-for-CET.pdf>
- White House. (2021a). *Remarks by President Biden at Signing of an Executive Order on Supply Chains*. Biden White House Archives, February 24. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/speeches-remarks/2021/02/24/remarks-by-president-biden-at-signing-of-an-executive-order-on-supply-chains/>
- White House. (2021b). *FACT SHEET: The American Jobs Plan*. Biden White House Archives, March 31. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2021/03/31/fact-sheet-the-american-jobs-plan/>
- White House. (2022a). *FACT SHEET: CHIPS and Science Act Will Lower Costs, Create Jobs, Strengthen Supply Chains, and Counter China*. Biden White House Archives, August 9. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2022/08/09/fact-sheet-chips-and-science-act-will-lower-costs-create-jobs-strengthen-supply-chains-and-counter-china/>
- White House. (2022b). *National Security Strategy*. Biden White House Archives, October. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/11/8-November-Combined-PDF-for-Upload.pdf>
- White House. (2023). *National Cybersecurity Strategy*. Biden White House Archives, March. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2023/03/National-Cybersecurity-Strategy-2023.pdf>
- White House. (2024). *FACT SHEET: Two Years after the CHIPS and Science Act, Biden-Harris Administration Celebrates Historic Achievements in Bringing Semiconductor Supply Chains Home, Creating Jobs, Supporting Innovation, and Protecting National Security*. Biden White House Archives, August 9. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2024/08/09/fact-sheet-two-years-after-the-chips-and-science-act-biden-%E2%81%A0harris-administration-celebrates-historic-achievements-in-bringing-semiconductor-supply-chains-home-creating-jobs-supporting-inn/>
- White House. (2025). *America First Investment Policy*. February 21. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/02/america-first-investment-policy/>
- Wilder, D. (2009). *The U.S.-China Strategic and Economic Dialogue: Continuity and Change in Obama's China Policy*. The Brookings Institute, May 15. Retrieved September 30, 2024, from <https://www.brookings.edu/articles/the-u-s-china-strategic-and-economic-dialogue-continuity-and-change-in-obamas-china-policy/>
- Wilson, S., & Kamen, A. (2009). 'Global War on Terror' Is Given New Name. Washington Post, March 3. Retrieved September 30, 2024, from <https://web.archive.org/web/20110513092854/http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2009/03/24/AR2009032402818.html>
- World Bank Group. (2025a). *Research and development expenditure (% of GDP)*. Retrieved April 24, 2025, from https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?end=2022&most_recent_value_desc=true&start=1996
- World Bank Group. (2025b). *Charges for the use of intellectual property, receipts (BoP, current US\$)*. Retrieved April 25, 2025, from https://data.worldbank.org/indicator/BX.GSR.ROYL.CD?most_recent_value_desc=true&start=2014
- World Bank Group. (2025c). *Charges for the use of intellectual property, payments (BoP, current US\$)*. Retrieved April 25, 2025, from https://data.worldbank.org/indicator/BM.GSR.ROYL.CD?most_recent_value_desc=true&start=2014
- World Semiconductor Trade Statistics. (2024). *Global Semiconductor Market Poised for Strong Growth in 2024 and 2025*. December 3. https://www.wsts.org/esraCMS/extension/media/f/WST/6765/WSTS_FC-Release-2024_11.pdf

- Wysong, W., Rathbone, M., Hurst, P. R., Burney, A., & Baj, A. (2020). *US Department of Defense Publishes List of “Communist Chinese Military Companies” Operating Directly or Indirectly in United States Pursuant to Section 1237 of the National Defense Authorization Act for Fiscal Year 1999 (the “Act”)*. Steptoe, June 26. <https://www.steptoelaw.com/en/news-publications/international-compliance-blog/us-department-of-defense-publishes-list-of-communist-chinese-military-companies-operating-directly-or-indirectly-united-states-pursuant-section-1237-national-defense-authorization-act-fiscal-year-1999.html>
- Yole Group. (2024). *Global Wafer Fab Equipment (WFE) revenue poised to surge: projected to hit \$165 billion by 2029 (1), amid semiconductor devices market fluctuations*. October 23. <https://www.yolegroup.com/press-release/global-wafer-fab-equipment-wfe-revenue-poised-to-surge-projected-to-hit-165-billion-by-2029-1-amid-semiconductor-devices-market-fluctuations/>
- Yole Group. (2025). *Advanced Packaging Market Monitor*. March. <https://www.yolegroup.com/product/quarterly-monitor/advanced-packaging-market-monitor/>
- Zimmermann, A. (2024). *U.S. R&D and Innovation in a Global Context: The 2024 Data Update*. American Association for the Advancement of Science (AAAS), April 23. <https://www.aaas.org/sites/default/files/2024-04/AAAS%20Global%20RD%20Update%202024.pdf>