

台北外匯市場發展基金會委託計畫

台灣電子產業鏈概況

研究人員：王薪棉

日期：112 年 11 月

*中央銀行外匯局研究人員感謝任職單位長官與委託單位的指正與建議，本研究僅代表個人觀點，不代表中央銀行立場。

目錄

壹、 半導體產業發展與政經背景	1
一、 美國矽谷的崛起(1947-1980)：電晶體的發明與半導體產業創立期.....	1
二、 美國半導體產業轉型再度崛起(1980-1990)：日本半導體產業興衰.....	1
三、 半導體產業加速全球化(1990-2000)：無廠半導體(純 IC 設計)模式興起.....	2
四、 中國大陸半導體崛起(2000-現在).....	3
貳、 台灣電子供應鏈	4
一、 半導體業.....	4
二、 通訊網路業與 5G 供應鏈.....	6
三、 光電業.....	8
四、 電子零組件業、電腦及週邊設備業、資訊服務業、電子通路業及其他電子業.....	8
參、 美中衝突之分鏈、雙元供應鏈與斷鏈	9
一、 分鏈.....	9
二、 雙元供應鏈.....	10
三、 斷鏈.....	11
肆、 供應鏈展望	12
一、 台灣電子產業成長動能來自半導體產業，AI 市場將帶來新動能.....	12
二、 分鏈、雙元供應鏈與斷鏈對台灣電子供應鏈的影響.....	14
三、 美國晶片禁令下，半導體產業之競合.....	15
伍、 參考資料	19
附錄一、電子產業之劃分定義	20
附錄二、IC 製造過程	21
附錄三、COWOS 封裝	22

壹、半導體產業發展與政經背景

一、美國矽谷的崛起(1947-1980)：電晶體的發明與半導體產業創立期

1945 年 AT&T Bell Labs 的 William Shockley、Walter Brattain 與 John Bardeen 共同發明電晶體。1958 年 Texas Instruments(簡稱 TI)¹的 Jack Kilby 提出將許多電晶體整合在一起稱為積體電路(Integrated Circuit)，簡稱晶片(chip)；Fairchild Semiconductor 的 Robert Noyce 和 Jean Hoerni 成功在同一矽晶片上製造多個電晶體，IC 雛型誕生。

美蘇冷戰時期，美蘇軍備競爭激烈，1957 年蘇聯發射第一顆人造衛星，刺激美國加速發展半導體應用於飛彈等軍事武器與設備，在美國政府大量的軍備預算支持下，半導體產業以 TI 與 Fairchild Semiconductor 為中心，開始在美國矽谷蓬勃發展；1965 年美國國防部購買的 IC 占總產出的比重高達 72%。

1960 年代，美國國防部長 Robert McNamara 改革軍事採購政策，嚴重衝擊當時高度依賴軍事預算的電子產業，Fairchild Semiconductor 的創始人兼執行長 Robert Noyce 開始積極將晶片從軍事應用轉型至消費應用。

Robert Noyce 致力於將半導體導入消費應用市場，首要任務便是降低價格，然而在講求勞權的美國，控制晶片製造成本並不容易，於是亞洲低廉的勞工成本吸引了他的目光，1963 年 Fairchild Semiconductor 在香港的第一間海外晶片封裝廠開始運作，開啟了美國設計海外製造的先河。

Robert Noyce 和 Gordon Moore 離開 Fairchild Semiconductor 後，於 1968 年創立 Intel，2 年後他們推出記憶體晶片 DRAM 取代磁碟記憶體，不僅尺寸大幅縮小外，也讓電子產品的處理器可以做更多複雜精細的運算。

二、美國半導體產業轉型再度崛起(1980-1990)：日本半導體產業興衰

日本半導體產業從消費電子開始發展，Sony 的創始人兼執行長盛田昭夫看到了機會，他向美國半導體商購買晶片，申請半導體技術授權，努力開發與行銷 IC 電子產品；以美國主導半導體技術，由日本行銷製造電子產品的美日產業鏈逐漸成形。

¹ 以生產國防電子相關裝置起家。

日本廠商開始從下游 IC 消費產品發展到上游 DRAM²與晶片製造設備，由於日本廠商使用更精密的晶片製造機台，提供良率更高的晶片產品，晶片拉貨逐漸從美國廠商轉向日本廠商，DRAM 市占不斷萎縮的美國半導體廠商³開始轉往其他領域發展，如 Intel 轉向發展處理器、IBM 第一台個人電腦問世、通訊半導體廠 Qualcomm 成立。

因借貸成本低廉，日本 DRAM 廠商即使面對虧損仍持續投資擴產，再加上美國對日本 DRAM 加徵關稅與限額等反傾銷措施，DRAM 開始供過於求；再加上搭載 Intel 處理器的個人電腦需求快速成長，日本 DRAM 廠與多數半導體廠商沒有抓住電腦市場崛起的機會⁴，日本的半導體產業逐漸喪失領先地位，美系半導體廠市占率回升。

三、半導體產業加速全球化(1990-2000)：無廠半導體(純 IC 設計)模式興起

美國矽谷新創半導體公司的資金不足以建立具經濟規模的製造廠，依賴整合大廠(IDM⁵)製造，不僅面臨設計外洩的風險，當產能吃緊，大廠也優先製造自己的產品，純晶片代工公司台積電成立後，美國新創晶片設計公司再也不用擔心高昂的設備投資資本，開始快速的蓬勃發展，如 NVIDIA 專注發展 GPU，系統品牌廠 Apple 致力於軟體與晶片設計；不同於 Intel 與 TI 的 IDM 模式，無廠半導體(純 IC 設計)模式崛起；相對於 Intel x86 架構，英國成立的新創公司 ARM，以授權更精簡的架構與晶片設計技術為主要事業(IP 專利技術產業)，進一步促進半導體產業分工發展。

隨晶片微縮技術進入奈米級，Intel 開始 EUV 機台的研究案，然而美國設備廠 GCA 早就退出了市場，Intel 也不願意分享製造技術給日本設備廠 Nikon 與 Canon，最後選擇投資荷蘭商 ASML 開發先進製造設備；製造設備商 ASML 與製造商台積電緊密的合作關係與技術發展，使海外製造供應鏈開始加速成長。

² Toshiba 和 NEC。

³ 美國半導體業者分析，日本廠商在半導體市場處於更優勢地位，因：(1)戰後日本軍事預算被限制，所有政府預算投入經濟發展，尤其是補貼半導體產業；(2)日本低廉的借貸成本，日本利率長期較美國低，且即使日本企業虧損或倒閉風險，仍可以輕鬆借貸資金；(3)日本透過商業間諜抄襲美國技術；(4)日本國內市場保護主義；(5)日本公司呈集團及互助合作商業模式，與美國半導體多單打獨鬥不同；(6)以工作為第一優先的勞動環境。

⁴ 僅 Sony 成功開發新產品如影像感測晶片在半導體市場仍具高市占率。

⁵ Integrated Device Manufacture 又稱一條龍製造，指從 IC 設計到製造的整合商業模式。

四、中國大陸半導體崛起(2000-現在)

基於商業考量，許多歐美半導體公司與大陸做技術交換；Qualcomm 為了拓展伺服器市場，再加上中國大陸手機廠商是重要客戶，同意合資成立華信通半導體並合作研發 ARM 架構伺服器晶片，與中國大陸飛騰分享技術，推出 ARM 架構伺服器晶片；AMD 面臨財務困難時接受中國大陸公司的資金，共同分享研發 Zen 系列晶片；英國 ARM 被日本 Softbank 收購後，Softbank 將中國大陸 ARM 51%的股權賣給大陸投資者，其中含超級電腦的晶片技術；因 Edward Snowden 事件，美國政府利用資訊通訊設備竊取他國機敏資料的疑慮增加，中國大陸禁止 IBM 在國內銷售雲端設備，後來 IBM 提出以超級電腦晶片技術做交換以獲得銷售許可。

趙偉國帶領中國大陸紫光集團積極投資國內外半導體公司，甚至企圖收購美國 Micron 與 Lattice Semiconductor，然而被美國以國安為由拒絕；趙偉國雖然聲稱投資不具政治考量，然而他的舉動正符合中國大陸主席習近平發展半導體產業的目標，美國官方仍懷疑中國大陸政府企圖透過紫光集團入主先進半導體產業。

任正非帶領的華為從基地台起家，大舉投資研發人才及僱用美國矽谷科技顧問，將華為發展成國際級公司，美國通訊設備商 Alcatel-Lucent 與加拿大 Nortel 不敵華為低價競爭，相繼倒閉或被併購，現在僅剩芬蘭 Nokia 與瑞士 Ericsson 與華為等 3 家通訊設備廠獨大，且華為憑藉其研發實力成為最大的 5G 設備廠商。

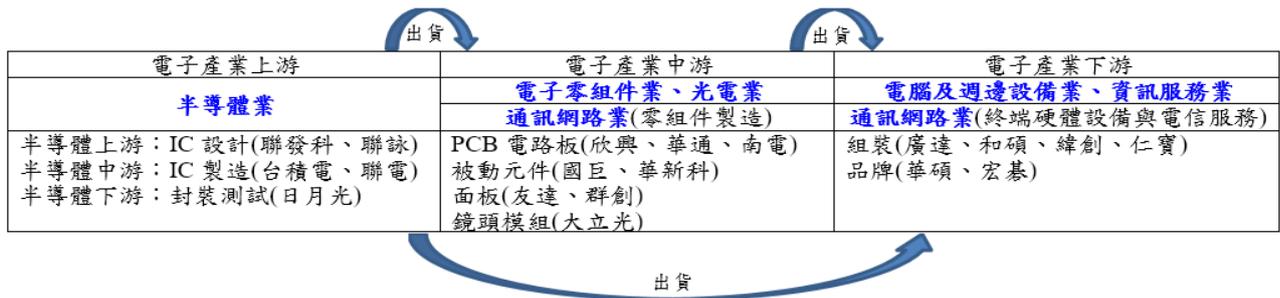
華為 5G 設備的發展及習近平提出 2025 年中國晶片自主計畫，使美國警覺中國大陸先進晶片發展可能會造成未來軍事威脅；中國大陸積極發展超級電腦與人工智慧，未來的軍備競賽將朝向自主無人機及通訊技術發展，無人機具備 AI 學習運算，可以監控偵測甚至攻擊，而這次俄烏戰爭，俄羅斯已成功研發非 GPS/衛星導航定位系統以躲避烏克蘭的偵測，顯示無線通訊頻譜技術發展也至關重要。台灣廠商掌握先進晶片的製造技術，成為中美晶片競爭的關鍵戰場。

貳、台灣電子供應鏈

依據櫃買中心「上櫃公司產業分類」將上市、上櫃及興櫃之電子公司分為 8 大類：半導體業、光電業、通訊網路業、電子零組件業、電腦及週邊設備業、資訊服務業、電子通路業及其他電子業⁶。簡單粗分上中下游，半導體業屬電子產業上游，光電業及電子零組件業屬電子產業中游⁷，電腦及週邊設備與資訊服務業屬電子產業下游。

由於手機及通信網路應用廣泛，電子產業中下游特別獨立出通訊網路業，手機及通信網路設備相關零組件製造屬中游，終端硬體設備及電信服務商屬電子產業下游。

電子通路業涵蓋半導體元件通路、電子零組件通路及終端電子產品通路，其他電子業之廠商事業多元分散，產業定位依個別廠商經營模式不同而有所差異。



一、半導體業

根據晶片產品不同，可分為邏輯晶片、類比晶片、網通晶片與記憶體。邏輯 IC 處理較複雜運算的處理器，如手機處理器(AP)、伺服器平台、PC/NB 中央處理器(CPU)及繪圖處理器(GPU⁸)，需要先進製程⁹，LCD 面板驅動 IC 則採用成熟製程。

類比 IC 處理類比信號且耐高壓與大電流，運用在電源供應器、數位類比轉換器等，採成熟製程製造，由於 5G 與車用電子發展，致電源管理 IC 需求上升。

⁶ 櫃買中心根據營收比重劃分廠商產業類別，每年動態調整，單一廠商歸類於一種行業別，本章以櫃買中心之電子產業定義為標準，財政部「稅務行業標準分類」與櫃買中心「上櫃公司產業分類」之比較與定義詳見附錄一；本章討論 8 大類電子產業僅限分類明確之上市、上櫃及興櫃公司。

⁷ 中游廠商除了對外購買晶片外，也可能自行研發晶片(含上游晶片設計之業務)，委外製造晶片，最後在自有工廠組裝出貨給下游客戶。製造晶片需特殊製程技術且相關機器設備資本支出大，故晶片製造多委外。

⁸ 用於高效能運算，如挖礦、電競與 AI。

⁹ 製程越先進(線距越小)，積體電路上容納的電晶體數量越多，晶片效能越高；成熟製程泛指大於 28 奈米線距。

網通晶片如 Modem 數據晶片、RF 元件與天線模組，高頻通訊如 5G 手機及衛星通訊之發展衍生出第三類半導體需求，傳統矽晶圓製作品片的溫度、頻率及功率有其極限，因此採氮化鎵與碳化矽製作的晶片擁有開關速度快及散熱迅速的特性，在高頻狀態下仍可維持優異的效能和穩定度¹⁰。

記憶體分為 DRAM(應用在短期運算存儲)與 Flash(應用在大量資料長期存儲)，記憶體晶片大廠通常含設計與代工，可直接出貨給手機、PC/NB 品牌廠、伺服器組裝廠外，亦出貨給記憶體模組/品牌廠；其中，資料中心(如 Google 和 Facebook)之伺服器需大量的資料存儲空間，伺服器在記憶體市場的占比最大，記憶體模組/品牌則受電競與電腦 DIY 組裝需求影響。

	IC 設計	IC 製造	封裝測試	中下游應用
邏輯 IC(CPU、GPU、驅動 IC)	◇手機 AP：聯發科、Qualcomm ◇PC/NB/伺服器 CPU：AMD ◇GPU：NVIDIA ◇面板驅動 IC：聯詠	台積電、聯電、世界先進	日月光、矽品	◇PC/NB/手機/伺服器品牌廠客戶下單，IC 出貨至組裝廠 ◇面板驅動 IC 出貨至面板廠
	IDM 廠(一條龍)：Intel(PC/NB/伺服器 CPU、GPU)、三星(手機 AP)			自有品牌或是其他品牌
類比 IC(電源管理、轉換器)	電源管理 IC：矽力	台積電、聯電、世界先進		PC/NB/手機/伺服器品牌廠客戶下單，IC 出貨至組裝廠
網通晶片 (Modem、RF)	◇Modem 數據晶片：聯發科、Qualcomm ◇RF 元件：博通、Qorvo、Skyworks ◇Wifi、藍芽：瑞昱	穩懋、聯電		通信網路業：基地台、交換機、數據機、路由器、各種聯網電子設備(含手機、電腦及週邊)(詳見 5G 供應鏈)
記憶體	DRAM&Flash：群聯	台積電	力成	◇手機、電腦及週邊、伺服器 ◇DRAM&Flash 模組/品牌：創見、威剛、宜鼎、宇瞻； DRAM 模組/品牌：十銓(電競 PC、DIY)
	◇DRAM&Flash：Micron ◇DRAM：華邦電、南亞科；Flash：旺宏			
	DRAM&Flash IDM 廠(一條龍)：三星			

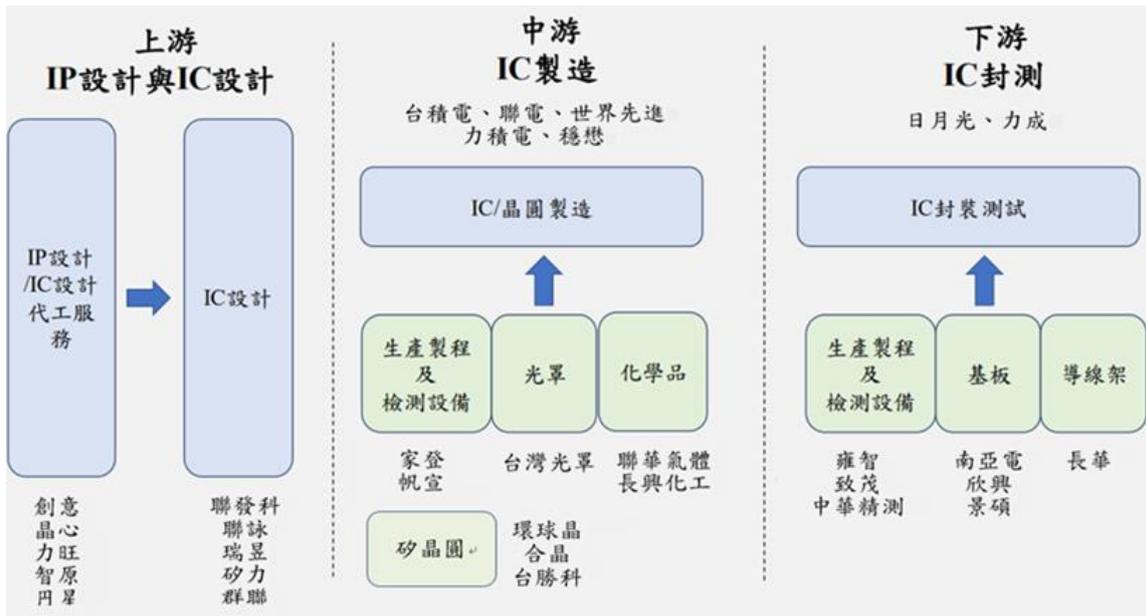
註：台廠以粗體標示。

IC 設計上游可細分為 IP 設計服務商與 IC 代工服務商，IP 設計服務提供功能單位或區塊設計授權給 IC 設計公司使用，IC 代工服務商則提供 IC 設計公司與 IC 製造業務往來的統包服務。

IC 製造係指將設計好的電路圖在晶圓表面上形成積體電路(IC)，設備與材料廠提供 IC 製造過程中(詳附錄二)所需之機器設備、材料及化學品，形成 IC 製造產業供應鏈。

IC 封測廠將裸晶安置在基板或導線架上，封裝成晶片並測試良率，最後出貨給零組件或是組裝廠。導線架與基板等材料及封裝測試機台形成 IC 封測產業鏈。

¹⁰ 第三類半導體也被運用在快充等電源管理元件。

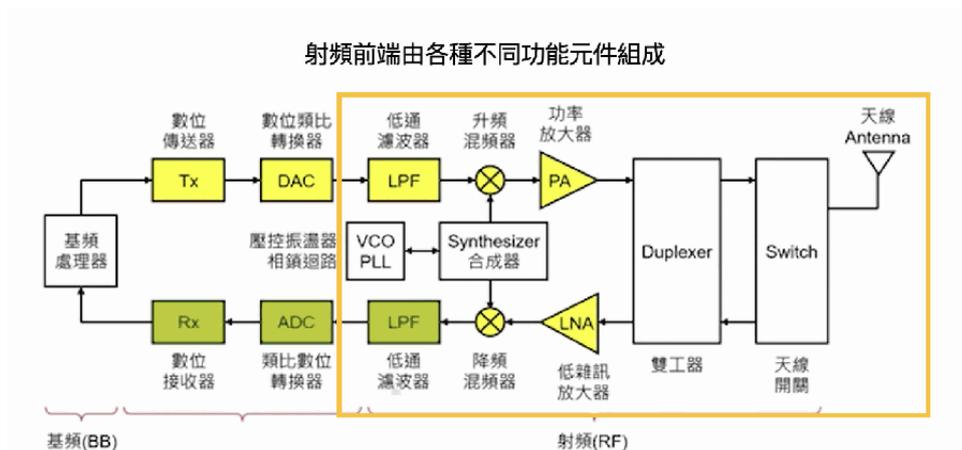


資料來源：財團法人中技社 2020-06 專題報告，2020 國際供應鏈變動趨勢與台灣科技產業契機；本研究整理。

二、通訊網路業與 5G 供應鏈

(一) 上游 5G 基礎元件(屬半導體業)

通訊元件主要由基頻晶片(Modem 數據晶片)、射頻收發器(傳送器與接收器)及射頻(RF)元件組成(下圖)。5G 電子設備要支援更多頻段(除了 5G 還要向下兼容 4G LTE、3G、2G)，通訊元件處理的頻段更趨複雜，因此 RF 元件用量增加，其中以濾波器及功率放大器的市場最大，分別占 RF 元件市場約 53%與 33%。



資料來源：知識力 Ansforce；數位時代，5G 概念股看什麼？Sub 6、毫米波差在哪？一文看懂產業鏈 3 大趨勢。

台灣電子上游產業著墨在通訊元件較多者為 IC 製造商，通訊元件設計廠除了台廠聯發科外，多為美商與日商寡占¹¹。由於 5G RF 模組整合趨勢，IC 設計廠商逐漸尋求委外製造與先進封裝技術。

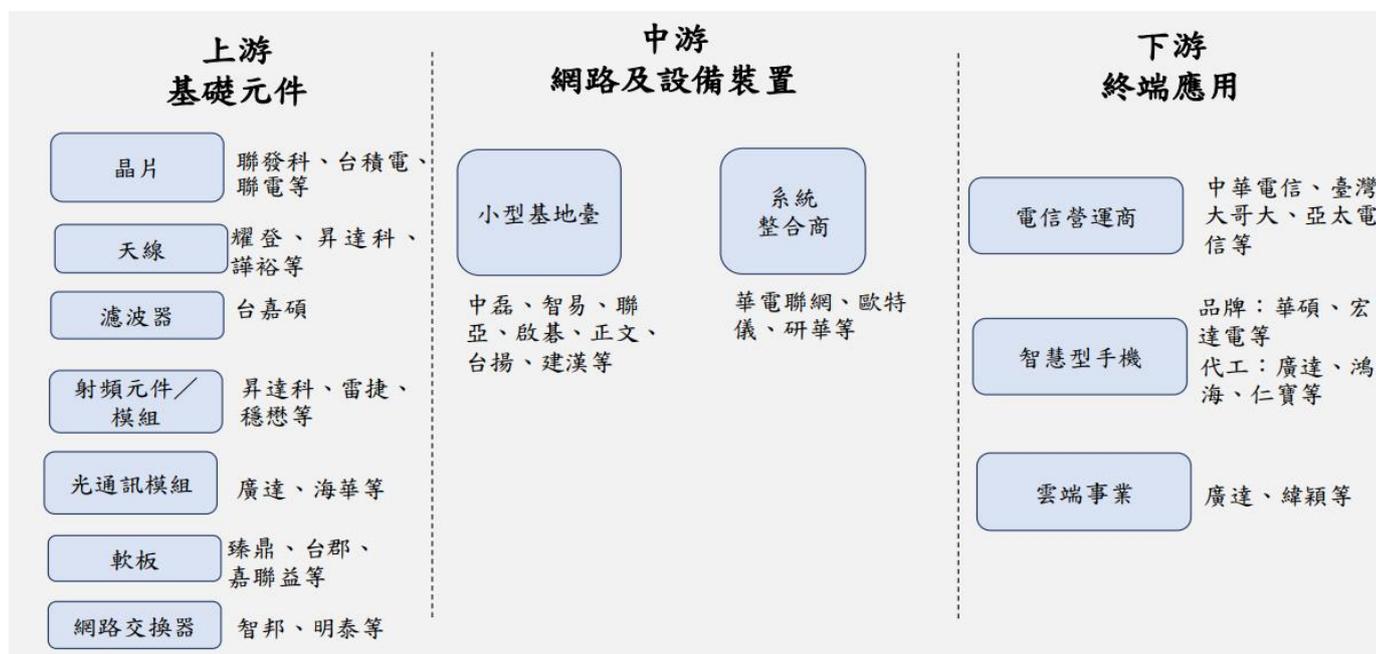
通訊元件		供應鏈	
基頻晶片 (Modem 數據晶片)		IC 設計：Qualcomm、 聯發科 IC 製造： 台積電	
射頻 (RF) 元件	濾波器	IDM(一條龍)：博通、Skyworks、Murata	
	放大器(功率放大器 PA、低雜訊放大器 LNA)	IC 設計：博通、Qorvo、Murata、Skyworks IC 製造： 穩懋	
	天線	IC 設計：Qualcomm	
	射頻開關、雙工器	RF 前端模組 (RFFE)： 聯發科 、Qorvo、Murata、博通、Skyworks、Qualcomm、	

註：台廠以粗體標示。

(二)中下游 5G 設備及終端應用(屬通訊網路業)：5G 發展衍生出電信營運商之 5G 基地台建置及電子裝置高速傳輸應用需求。

5G 具備高傳輸低延遲的特性，然而傳輸距離大幅縮短，覆蓋能力減弱，因此未達到與 4G 同等的覆蓋率，5G 基地台數為 4G 的 1.3~1.5 倍，衍生出 5G 射頻基礎元件與終端基地台硬體設備之需求。

5G 網通產品及其週邊應用(如 5G 手機、雲端資料中心)也相繼而生，帶動了高速傳輸所需的天線等射頻元件及其採用的軟板材料升級。



資料來源：財團法人中技社 2020-06 專題報告，2020 國際供應鏈變動趨勢與台灣科技產業契機。

¹¹ 除聯發科外，其他天線、濾波器、射頻模組等台廠市占偏小。

三、光電業

光電業包含面板供應鏈與光學元件供應鏈。過去台灣面板產業主要競爭對手為南韓，然而中國大陸面板產業因政府補貼扶植大量崛起，今已成為全球面板主要供應商，而台灣面板廠只能走向差異化與高附加價值的利基市場。台灣光學元件產業聚焦於手機鏡頭供應鏈。



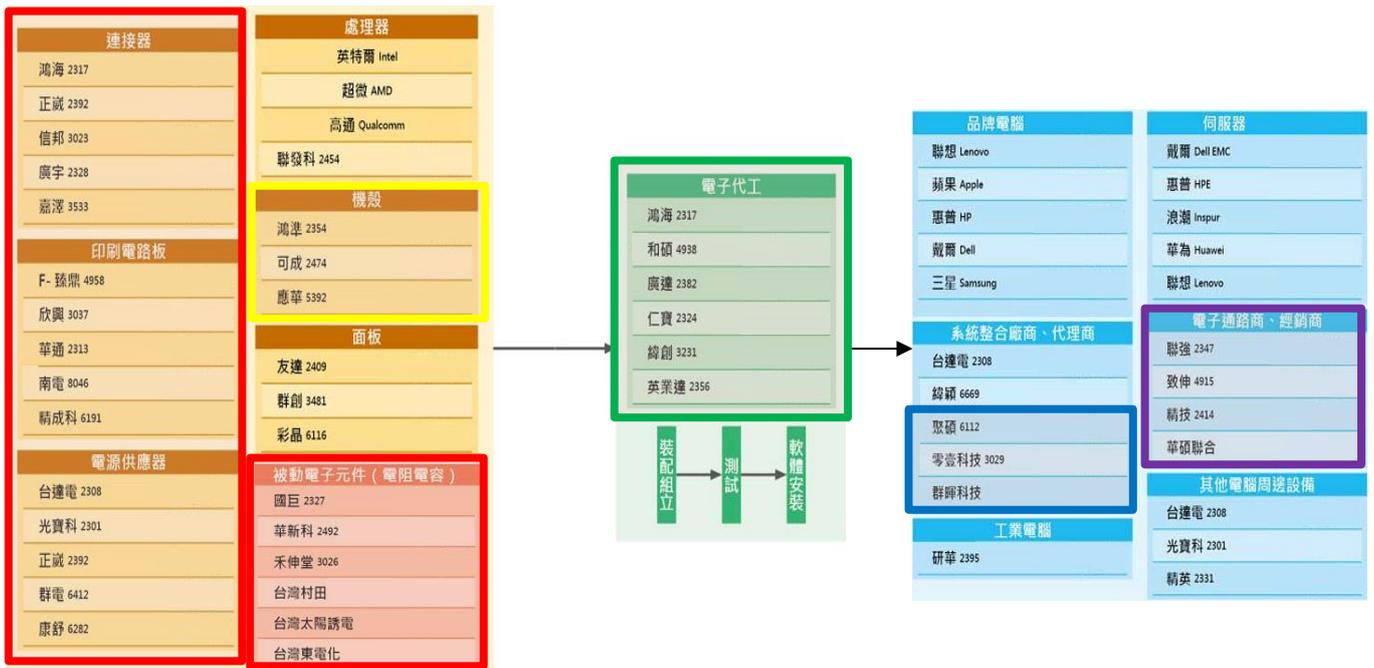
註：光電業以紅框標示。
資料來源：工商時報，台灣 50 產業地圖。

四、電子零組件業、電腦及週邊設備業、資訊服務業、電子通路業及其他電子業

電子零組件業主要從事製造電子裝置所需的電子零組件含印刷電路板(PCB)¹²、連接器、被動元件¹³與電源供應器等。電腦及週邊設備業主要從事電腦及其週邊設備(PC、伺服器、主機板與顯卡、鍵盤等)製造或組裝。資訊服務業提供電腦軟體設計及服務、電腦系統整合及設計服務、電腦設備管理及其他與電腦相關技術服務。電子通路業提供電子零組件或產品通路服務；產品多元無法歸類者屬其他電子業。

¹² PCB 為電子元件的支撐體，其中有金屬導體作為連接電子元件的線路，台灣 PCB 廠均有在中國大陸設廠。

¹³ 被動元件為不需要電源驅動的元件，包括電阻、電容及電感(主動元件為半導體元件)，主要分別用來調節電流(壓)、過濾電磁波雜訊與電能儲能。



註 1：電子零組件業以紅框標示、電腦及週邊設備業以綠框標示、資訊服務業以藍框標示、電子通路業以紫框表示、其他電子業以黃框表示。

註 2：鴻海、光寶科、致伸與台達電之業務涵蓋跨產業，光寶科屬下游電源供應器組裝代工，歸類為電腦及週邊設備業而非電子零組件，致伸兼營經銷但其零組件製造為主要業務歸類為電子零組件業而非電子通路，鴻海跨足零組件製造與電子代工組裝，業務多元被劃分為其他電子業，台達電主營業務為電源供應器製造屬零組件業，兼營業務跨足資訊服務業與電腦及其週邊設備業。

資料來源：工商時報，台灣 50 產業地圖。

參、美中衝突之分鏈、雙元供應鏈與斷鏈

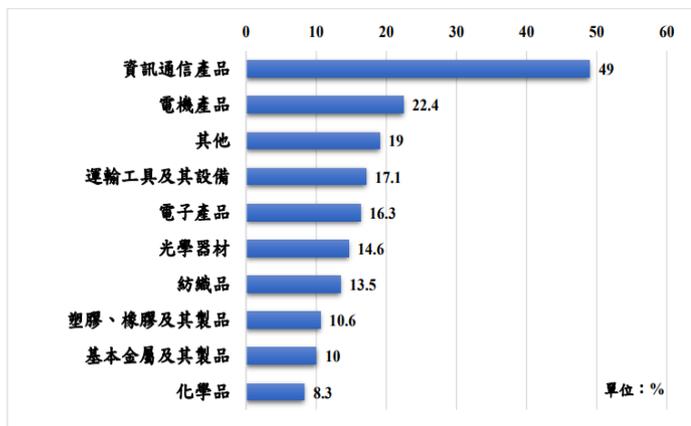
一、分鏈

基於 2019 年以來美中貿易戰的影響，廠商在成本考量下調整產能進行全球布局，其中又以資訊通信廠商¹⁴受影響最大，因其以出口美國市場為主，故移轉產線，增加中國大陸以外地區之產能。

產能調整又以 PC/NB/伺服器下游組裝廠規模最大，過去基於勞工成本考量，組裝廠多在中國大陸基地生產後出貨至美國品牌客戶，近年因資安疑慮與美中貿易戰影響，組裝廠紛紛降低中國大陸生產製造比重(尤以美國客戶為主的廠商最明顯)，新增墨西哥、捷克、東協等地組裝生產，部分回流台灣生產製造。

¹⁴ 經濟部統計處之資通訊產業分類係依據財政部稅務行業標準分類，包括電子零組件製造與電腦、電子產品及光學製品製造業。

在中國大陸及香港有生產線者考慮調整產線情況



台灣主要資訊產品生產基地變化

生產基地分配	2016			2021(e)				
	區域	桌上型電腦	筆記型電腦	伺服器	區域	桌上型電腦	筆記型電腦	伺服器
生產基地分配	台灣	1%	0%	1%	台灣	3% ↑	3% ↑	7% ↑
	中國大陸	86%	98%	59%	中國大陸	83% ↓	94% ↓	43% ↓
	其他	13%	2%	40%	其他	14%	3%	50%
出貨區域分布	區域	桌上型電腦	筆記型電腦	伺服器	區域	桌上型電腦	筆記型電腦	伺服器
	歐洲	11%	26%	13%	歐洲	11%	24%	13%
	北美	23%	32%	33%	北美	30% ↑	35% ↑	35% ↑
	中國大陸	29%	14%	18%	中國大陸	21%	14%	16%
	東南亞(含台灣)	23%	14%	4%	東南亞(含台灣)	24%	16%	5%
	日本	3%	4%	5%	日本	4%	5%	5%
	其他	11%	10%	27%	其他	10%	6%	26%

註：台灣伺服器產業其他地區主要包含中南美洲、大洋洲、中東地區及非洲等，其中又以墨西哥所占比重最高。
資料來源：中央銀行經研處，2022年2月台灣資通訊產業及電子產業概況；MIC，2021年9月；財團法人中技社2020-06 專題報告，2020 國際供應鏈變動趨勢與台灣科技產業契機；經濟部統計處。

二、雙元供應鏈

美中科技戰致半導體與 5G 產業發展出美中雙元供應鏈，美中存在各自相異之技術發展程度與標準規格。

- (一) 半導體：美國政府禁止晶片供應商，透過美國軟體、設備及相關技術製造產品出貨給華為。IC 設計採用美商提供之 EDA(電子設計自動化)軟體，以及高階晶片製造採用先進製程的機器設備皆遭美國掣肘¹⁵，華為集團之 IC 設計公司海思半導體及中國大陸 IC 製造廠中芯，皆難以在短期內生產製造高階 CPU 與射頻晶片。
- (二) 5G：美國政府抵制使用華為電信設備，5G 涉及 AI、智慧城市、物聯網等與國家資訊安全密切相關之應用，禁止華為參與美國 5G 網路建設，並與英國、加拿大、法國、德國、義大利、日本及澳洲結盟研發自有 5G 行動通訊技術，美中朝向不同的 5G 規格與技術發展¹⁶，美中雙鏈之情形預計會延續至 6G 世代。

¹⁵ 中芯目前量產製造之最先進製程為 7 奈米，然而更先進製程(5 奈米/3 奈米)仍須仰賴 EUV 設備製造，美國禁止設備商 ASML 出貨 EUV 機台給中芯，致中國大陸之 IC 製造止步於 7 奈米。中芯 7 奈米製程採用 DUV 機台，惟市場傳言美國有可能進一步禁止 ASML 出貨 DUV 機台給中芯。

¹⁶ 5G 發展朝 Sub-6(6GHz 以下頻段)與 mmWave(24GHz 以上頻段)兩個方向發展，華為在 Sub-6 5G 基地台與相關設備上發展迅速，美國則是以 mmWave 為 5G 基礎建設方向。

華為手機、網通等供應鏈主要供應商

關鍵晶片	晶片設計架構	ARM (英)	電子元件	高頻 PCB	華通(臺)、金像電(臺)、健鼎(臺)、深南電路、生益科技、滬士電
	CPU 晶片	高通(美)、英特爾(美)、美滿電子(美)、聯發科(臺)		光電組件	亞諾德(美)、安森美(美)、德州儀器(美)、村田製作所(日)、NTT(日)、住友電工(日)、索尼(日)、新飛通、陽天電子
	射頻晶片	高通(美)、博通(美)	感知器	電聲組件	瑞聲科技
	無線通訊晶片	博通(美)、英飛凌(德)、恩智浦(臺)		螢幕觸控	三星(韓)
	電源管理晶片	高通(美)、博通(美)、亞德諾半導體(美)	其他	高階鏡頭	大立光(臺)
射頻天線	瀨訊(瑞士)、科沃(美)、羅森柏格(德)	電源供應器		臺達電(臺)、比亞迪	
連接器	安費諾(美)、廣瀨(日)、中利	軟體		微軟(美)、甲骨文、新思科技	
存儲	快閃記憶體	海力士(韓)、東芝(日)旺宏(臺)、南亞科(臺)		代工組裝	台積電(臺)、富士康(臺)、矽品(臺)、偉創力、比亞迪
	記憶體	三星(韓)、美光(美)		封測	日月光(臺)、京元電(臺)
	硬碟	富士通(日)、希捷(美)、威騰(美)			

註：括號內註明該公司總部所在地，未標明者其總部位於中國大陸及香港。

資料來源：財團法人中技社 2020-06 專題報告，2020 國際供應鏈變動趨勢與台灣科技產業契機。

三、斷鏈

在美國透過各種手段進行科技圍堵的情況下，中國大陸在許多高科技產業遇上缺乏關鍵元件或關鍵技術的困境。依據美國限制出口的 14 項關鍵技術清單，短期內中國大陸難以找到替代的本土供應商，產生斷鏈危機的產業多與晶片設計及製造技術有關。

美中在 14 項關鍵技術上的優劣分析

領域	美國	中國大陸	現況
生物科技	佔優勢	積極取得美國技術	技術斷鏈
人工智慧與機器學習	研發佔優勢	應用佔優勢	晶片斷鏈
定位導航授時技術	GPS	北斗衛星系統(自主供應鏈)	雙元供應鏈
微型處理器	掌握關鍵晶片	量產製程落後至少兩個世代	晶片斷鏈
先進運算	超級電腦美中各有所長		雙元供應鏈
資料分析	大數據分析美中各有所長		雙元供應鏈
量子資訊及感應技術	量子資訊較強	量子感測較強	各自研發
物流技術	各有所長		雙元供應鏈
積層製造	較強，產業鏈完整	軟體方面較弱	雙元供應鏈
機器人	各有所長		雙元供應鏈
腦機介面	各自發展，不相往來		各自研發
極音速	各自發展，不相往來		各自研發
先進材料	美國較佔優勢	技術水準較低	技術斷鏈
先進監控技術	擁有基礎關鍵晶片	監控技術上中國略為領先	晶片斷鏈

資料來源：財團法人中技社 2020-06 專題報告，2020 國際供應鏈變動趨勢與台灣科技產業契機。

肆、供應鏈展望

一、台灣電子產業成長動能來自半導體產業，AI 市場將帶來新動能

受惠 5G、AI 及疫情加速數位轉型需求，2021 年全球半導體市場成長 26.2%，台灣半導體業產值年增達 26.7%。台灣電子產業成長動能來自半導體產業，其中又以 IC 製造產業成長速度高於整體半導體市場。

台積電貢獻台灣半導體市場產值約 4 成。台積電先進製程發展領先同業，先進封裝技術更加有效提升產品效能，致其市占近年大幅成長，再加上車用電子、5G、AI 與疫情加速半導體需求增加，台積電 2021 年營收年增 18.5%，2022 年續成長 33.5%，優於全球 IC 製造成長。台積電看好未來 5 年 AI 應用帶來的營收成長動能。

(一)AI 市場

AI¹⁷市場需求來自倚賴 AI 解決方案的個人消費者與業者，供給則來自提供 AI 解決方案的軟硬體廠商。根據英國商業智能公司 MarketLine 的全球 AI 市場報告，2020 年北美與亞太在全球 AI 銷售市場占比近 80%，2025 年全球 AI 市場產值預估達 2,410 億美元，5 年年均複合成長率為 32.6%。

消費者對 AI 應用需求甚廣，以生成式 AI¹⁸來說，其應用涵蓋媒體創作、教育、醫療、金融、製造等。在媒體產業方面，生成式 AI 將影響圖像與文字資料產製，IEK 預估 2023 年生成式 AI 對電影應用如劇本與影片生成滲透率高達 90%；在醫藥市場方面，生成式 AI 有助於醫療診斷與藥物研發製造，IEK 預估 2025 年生成式 AI 對藥物開發應用滲透率達 30%；在製造業方面，智慧製造將提升生產效率，IEK 預估 2025 年生成式 AI 滲透率亦達 30%。

在 AI 演算法的軟體開發上，業主可選擇全部委外給提供 AI 解決方案服務的廠商、完全自主開發(如 Google、Amazon)或是在委外套件上自行

¹⁷ 牛津英語辭典定義 AI (Artificial Intelligence) 為電腦系統採人工智能處理工作，可依不同演算法區分為機器學習 (Machine learning)、知識庫 (Knowledge-based systems)、電腦視覺 (Computer vision)、機器人 (Robotics)、自然語言處理 (Natural language processing, NLP)、最佳化 (Optimization) 等。

¹⁸ 生成式 AI 為機器學習的其中一環，除了處理文字(如 AI 聊天機器人 ChatGPT)，還可以處理語音與圖像等資料，可歸納為語言處理、影音影像創作、資料處理、流程與規格設計與程式設計五大類。

編寫(半自主開發)；在生成式 AI 軟體開發與功能應用研發上，優化演算法能加快生成速度、增加多樣性、減少錯誤等。委外或自主研發的 AI 商業模式，其硬體設備如電腦搭載 AI 模組之晶片與零組件等皆須委外購買，硬體設備效能決定 AI 算力的極限，以生成式 AI 來說，算力決定生成式 AI 學習訓練速度，機器學習對算力的需求大幅提升，對晶片效能的要求也增加，晶片製造的製程微縮便能有效提高效率與降低耗能。AI 需要大量且複雜的計算，GPU 的平行運算能力及高速傳輸速度成為 AI 模組首選，具有 IC 設計能力的廠商亦自主開發各種 AI 晶片(如加速器)進一步優化算力。

(二)AI 晶片供應鏈

根據 Jon Peddie Research，2023 年第 2 季 Intel 在 PC GPU¹⁹市占率達 68%，其中整合式 GPU 市占率更高達 84%，分離式 GPU 市占率僅 3%；NVIDIA 在分離式 GPU 市占率則高達 87%。NVIDIA 與 AMD 皆積極推出 AI 晶片組²⁰，晶片代工製造主要合作夥伴為台積電，高階記憶體主要合作夥伴為 SK Hynix²¹；自行研發 AI 晶片的廠商亦須仰賴高階製程的晶片代工製造。

除了製程微縮能提升算力，晶圓級封裝技術(Wafer level package)²²亦可提升傳輸速度，目前 AI 晶片組主流封裝技術為 CoWoS，惟台積電 CoWoS 產能有限，聯電、矽品與 Amkor 也積極打入 CoWoS 供應鏈²³。

AI 晶片半導體供應鏈

	IC 設計	IC 製造	封裝測試
GPU	NVIDIA、AMD	台積電、聯電	矽品、Amkor
HBM 記憶體	SK Hynix		

註：台廠以粗體標示。

¹⁹ PC GPU 分為整合式(integrated GPU)與分離式(discrete GPU)，整合式為 CPU 與 GPU 整合為模組銷售，分離式為 GPU 產品單獨銷售，NVIDIA 沒有 CPU 產品，GPU 產品皆以分離式銷售。

²⁰ 由 GPU 與 HBM(High bandwidth memory)記憶體透過晶圓級封裝製造成一個 AI 晶片組。

²¹ 機器學習需同時快速處理大量資料，AI 晶片組對記憶體規格與 GPU 晶片製程/封裝技術要求高，NVIDIA 與 AMD 的 AI 晶片組需台積電 3 奈米製程、CoWoS 封裝技術與 SK Hynix 高頻寬記憶體 HBM3E 來提升算力。

²² 晶圓級封裝為矽晶圓封裝完後才做切割，有別於傳統封裝先切割完晶圓後才將裸晶封裝，因此晶圓級封裝須配合製程技術，根據不同的堆疊方式(2D/2.5D/3D) 台積電晶圓級封裝又分為扇外型封裝(InFO)、CoWoS(Chip on wafer on substrate)與 SoIC，以 2D 的扇外型封裝技術最為成熟，3D 的 SoIC 封裝技術瓶頸與成本最高。

²³ CoWoS 又分為前端矽中介層產能(CoW)與後端 WoS 封裝，前端由聯電供應，後段由矽品(日月光集團)與 Amkor 供應，詳見附錄三。

由於 5G 高速傳輸通訊的發展，有別於在個人裝置進行資料處理，在伺服器端先進行運算再將成果傳輸至消費者可攜式電子產品上成為新趨勢，AI 伺服器需求逐漸浮現。AI 伺服器代工(OEM)需要高度客製化生產，具研發能力與高度自動化設備的代工大廠有生產優勢，商業模式多採 Buy&Sell²⁴，台灣 AI 伺服器 OEM 大廠為廣達、鴻海集團(鴻海與 FII)與緯創集團(緯創與緯穎)，2022 年 AI 伺服器占前述廠商營收比重皆為 5%以上，以廣達在 AI 伺服器代工市占率最高。JP Morgan 預估 2023 年 AI 伺服器出貨量成長 54%，2022~2027 年年均成長率為 42%。

AI 伺服器 OEM 廠商供應分布

AI server market share allocation	Quanta	Inventec	Wiwynn	Hon Hai	Wistron	ZT	Supermicro	Inspur
Microsoft	High	High	Low	Low		High		
Amazon	Medium	Low	Low	Medium		Medium		
Meta	High		Medium				High	
Google	High	Medium				Medium		
NVIDIA(DGX server)					High			
China BAT	Low	Low		Medium				High

資料來源：JP Morgan (2023)，Servers-addressing key questions on AI servers and recap the downstream supply chain。

二、分鏈、雙元供應鍊與斷鏈對台灣電子供應鍊的影響

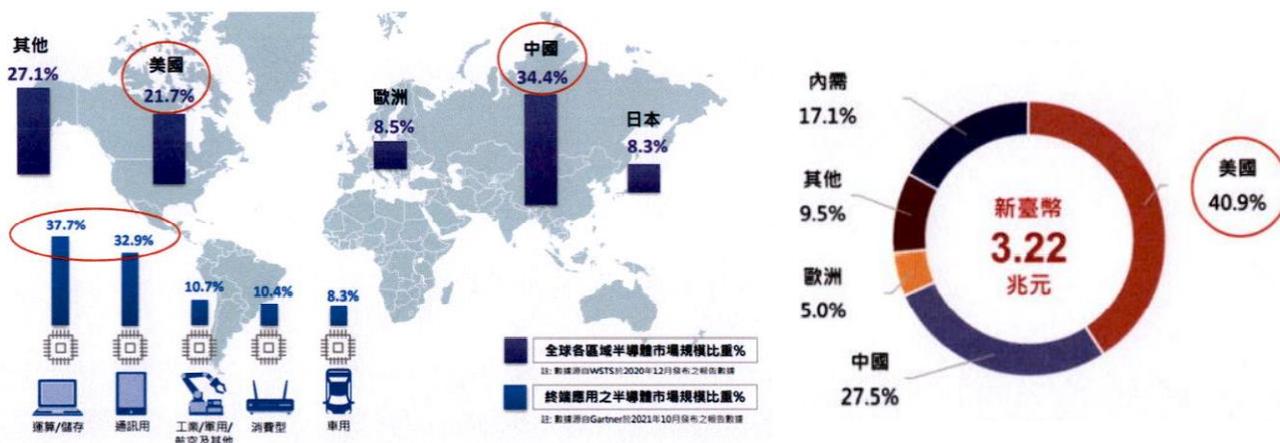
- (一)分鏈：受美中貿易戰影響，產能調整多發生在電子下游組裝廠，廠商紛紛降低中國大陸生產製造比重(以美國客戶為主的廠商最明顯)，新增墨西哥、捷克、東協等地組裝生產，部分回流台灣生產製造。
- (二)雙元供應鍊：美科技戰下，美國限制關鍵晶片及技術輸出中國大陸，致全球半導體產業發展出美中各異技術與規格之雙元供應鍊。儘管中國大陸於 2020 年仍為全球最大的半導體市場，美國客戶在台灣 IC 產業占比卻高於中國大陸客戶，台灣半導體產業更朝美系供應鍊靠攏。
- (三)斷鏈：由於美國禁止出貨人工智慧演算法處理數據程序相關晶片及 GPU 予中國大陸廠商，中國大陸的安保監控、臉部識別與語音辨別之人工智慧相關產業(廠商如海康威視、大華科技、科大訊飛、商湯科技、美亞柏

²⁴ 電子代工(OEM)產業分為 2 種商業模式：Buy&Sell 與 Consigned processing，前者向客戶購買關鍵零組件，組裝完畢後再將成品賣回給客戶，後者直接將客戶提供的零組件與原物料經加工組裝後出貨給客戶，僅收取代工費用，OEM 廠偏好 Consigned processing 連工帶料毛利率較高，但客戶多採 Buy&Sell 模式，以維護商業機密與降低採購風險。

科、曠視科技)受影響最大。台灣在美國關鍵技術供應鏈處中下游，在全球產業鏈的定位為「高階製造中心」，儘管中國客戶占台灣半體產業比重不如美國客戶(右圖)，台灣廠商仍將被迫在美中之間做出選擇。

2020 年半導體市場規模

2020 年台灣半導體產業客戶分布



資料來源：中央銀行經研處，2022 年 2 月台灣資訊產業及電子產業概況；黃慧修(2021)，從半導體產業聚落發展看中國大陸 IC 產業競合布局；中央銀行經研處，2022 年 2 月台灣資訊產業及電子產業概況；江柏風(2021)，2020 年台灣半導體產業樣貌。

三、美國晶片禁令下，半導體產業之競合

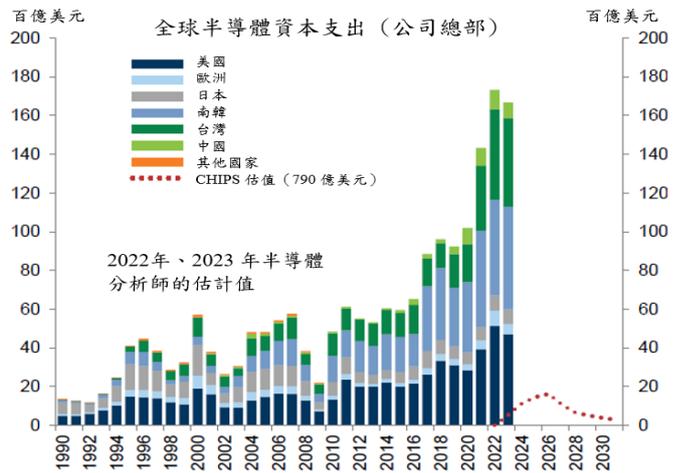
(一)受美國晶片禁令影響，無廠半導體(純 IC 設計)模式發展將趨緩

半導體產業分為上游 IC 設計、中游 IC 製造與下游 IC 封裝測試，相較於 IC 製造需投入大量的資本支出，上游 IC 設計則屬輕資產特性，因此半導體產業逐漸自垂直整合商朝向設計與製造分工發展，美國無廠半導體(純 IC 設計)模式崛起，將生產製造委外給代工廠，強化了台灣半導體製造業的關鍵地位。由於製程微縮技術面臨挑戰，且先進製程設備成本高昂，晶圓級封裝技術提升晶片效能更具經濟效益，半導體產業掀起另一波中下游整合趨勢。

美國將於 2022 年至 2027 年間挹注 390 億美元在晶片製造，凸顯美國對缺乏自有晶片製造廠的擔憂，此補助對全球半導體資本支出相對小，且對實際半導體產出影響不大，卻會改變半導體廠商未來投資與發展方向²⁵。

²⁵ 美中科技戰前，Intel 深受自有代工廠大量資本支出與先進製程研發仍落後台積電的困擾，當時傳聞 Intel 可能切分出製造代工廠轉型純 IC 設計模式，然而現在基於美國政府的政經考量下，應是不會發生。

無廠半導體模式		
IC設計 • AMD(美) • NVIDIA(美) • Qualcomm(美) • Broadcom(美) • 聯發科 • 海思(陸)	IC製造 • 台積電 • 中芯(陸) • GlobalFoundries(美)	封裝測試 • Amkor(美) • 日月光 • 長電科技(陸)
垂直整合商 Intel(美)、Samsung(韓)、SK Hynix(韓)、Infineon(德)、Micron(美)、Renesas(日)、長江存儲(陸)		



資料來源：Krupa, Tim et al. (2022), US Daily: CHIPS Act More Likely to Redirect Semiconductor Investment Than Boost Global Supply (Krupa/Phillips)；Ong, Sin Beng et al. (2022), Taiwan and global capex: Punching well above its weight。

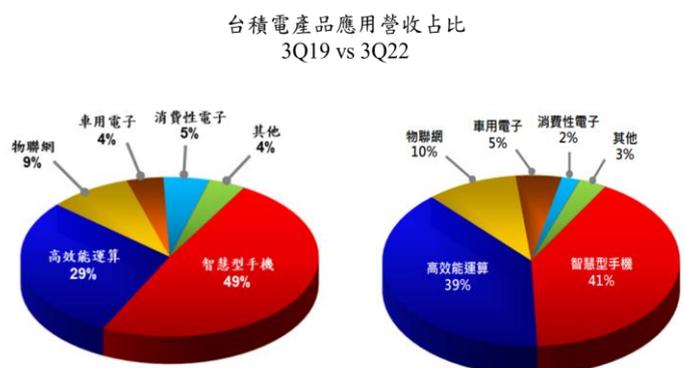
(二)美國晶片禁令加速半導體市場轉型至新興應用

智慧手機崛起帶領半導體業從電腦應用轉換成智慧手機應用，半導體產業深受其需求與新機銷量影響，美國與中國大陸2大手機消費市場成為半導體產業景氣指標，然而近年手機應用發展趨緩，市場逐漸達到飽和。

近年 5G 發展促使 IoT、AI、HPC 等相關新興應用崛起，車用與其他電子產品半導體含量增加，同時推升雲端與資料中心存儲的需求，尤其新冠疫情讓遠距工作/學習成為常態，Microsoft、Google、Facebook 等資料中心紛紛增加資本支出擴建資料中心，半導體產業將面臨下一波應用轉型。

2019 年中美科技戰開打，華為禁令使手機晶片需求受到第一波打擊，再加上中國大陸經濟受疫情影響，中國大陸手機消費市場萎靡不振，美中禁令甚至遍及中國大陸記憶體(長江存儲)廠，中國大陸手機廠商取得晶片將更加困難，相關半導體供應鏈將紛紛轉向車用與其他新興應用。

應用	2019年 全球銷量占比	半導體晶片類別		
		類比IC	邏輯IC	記憶體
手機	26	8	7	10
資料中心	24	4	11	8
消費電子	10	3	5	2
電腦	19	3	12	3
工業應用	12	8	3	1
車用電子	10	6	4	1
合計	100	32	42	26



資料來源：台積電法人說明會簡報；Ong, Sin Beng et al. (2022), Taiwan and global capex: Punching well above its weight。

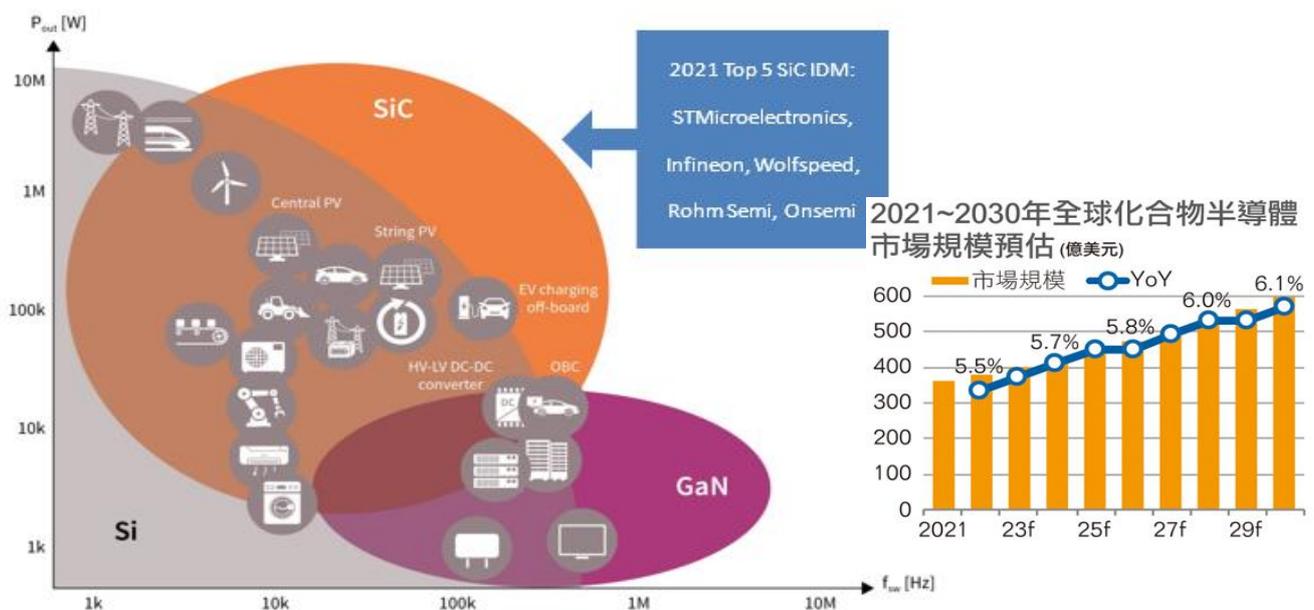
中國 AI 供應鏈亦被美國列入管制清單，AMD 與 NVIDIA 皆因應美國管制，供應降規版 AI 晶片組給中國客戶，惟出貨仍持續受美推出新禁令影響；2023 年 10 月美國發布新一波禁令，針對 AI 晶片組的算力與搭載電晶體數及 HBM 等規格做出限制，NVIDIA、AMD 與 Intel 供貨給中國大陸廠商的 AI 產品皆受到影響，台灣 AI 晶片與伺服器供應鏈也將受影響。

(三)美國晶片法案可能加速中國大陸發展第三代半導體

半導體產業另一項發展聚焦在材料研發，現今邏輯 IC 為矽基底，然而遇到高溫、高壓、高電流時，第三代化合物半導體如氮化鎵(GaN)與碳化矽(SiC)因其材料特性，能比矽基底提供更穩定有效的能源轉換。

除 5G 與電動車推升高頻晶片及高速充電電源晶片的需求，在儲能/新能源發展、衛星通訊與國防應用上，第三代化合物半導體也扮演著舉足輕重的角色；2020 年中國大陸宣布十四五規劃，預計於 2021~2025 年投入 10 兆人民幣發展第三代半導體自主供應鏈。

美國晶片法案禁止 ASML 提供先進製程所需之 EUV 設備給中國大陸半導體廠商，儘管中國大陸在矽基底的先進製程發展上受阻，取而代之則可能加速中國大陸發展第三代化合物半導體。



資料來源：Precedence Research (2022)；DIGITIMES (2022)；Infineon 官方網站。

(四)美國政經考量與半導體貿易政策

美國政府的半導體產業政策多為軍政考量，半導體供應鏈仍以美國技術為首，儘管晶片製造在全球化下有外移趨勢，但關鍵設計工具及製造設備零組件仍掌握在美國手裡，晶片製造仍須仰賴美國半導體公司。

美國試圖模仿瓦解蘇聯的手段，抑制中國大陸共產主義與軍政發展，然而相較過去蘇聯獨立發展半導體產業，中國大陸的半導體產業更加全球化，因此美國打算孤立中國大陸供應鏈，以封閉體系抑制其技術發展。

美國曾以關稅與限額抑制日本 DRAM 傾銷，並且補助國內半導體研究，促進晶片設計標準化工具及其他應用發展，依據過去成功的經驗，晶片法案補助美國半導體發展，與其說是擴增美國晶片製造產能，實則有助朝向先進製造技術發展與應用轉型。

事件	美國政經考量	美國政策	產業發展	結果
美國矽谷半導體產業崛起	美蘇冷戰軍事情報需求	軍事預算大量投入半導體晶片研發		美國軍備武器競賽超前蘇俄，冷戰結束
日本半導體產業崛起	協助日本半導體產業發展，防止共產主義與軍國主義	以美國先進技術發展，提升日本對美的依賴	日本廠商從外購晶片與設備轉型研發自有晶片(DRAM)與設備	日本廠商取代美國 DRAM 事業與晶片製造設備市場
日本 DRAM 產業沒落	美國憂心日本藉晶片優勢興起軍國主義	對日晶片加徵關稅與限額	1. Intel 從 DRAM 事業轉型至處理器 2. 個人電腦崛起	DRAM 供過於求，日本市場崩跌
半導體產業全球化		以美國晶片為首的供應鏈	1. 為了與日本 DRAM 競爭，韓國半導體在韓國政府資金與美商支持下興起 2. 因對日設備商有所顧忌，Intel 將先進製造設備技術授權給荷蘭設備商 ASML 3. 台積電成立，無廠半導體(純 IC 設計)模式加速不同應用晶片發展與手機應用崛起	晶片製造與設備移往美國境外發展
中國大陸政府補貼對半導體產業惡意併購與削價競爭	美國憂心中國大陸政府掌握通訊電子設備造成國安風險	限制供應鏈供應中國大陸廠商品片設計工具、先進晶片製造與設備	分化為美系與非美系供應鏈	中國大陸政府朝晶片自主方向發展，如非美系供應鏈 RISC-V、能源晶片與第三代化合物半導體

資料來源：Miller, Christopher (2022), Chip War: the Fight for the World's Most Critical Technology；本研究整理。

伍、參考資料

1. MIC(2021),「2022年2月台灣資通訊產業及電子產業概況」,9月。
2. 工商時報(2021),台灣50產業地圖。
3. 江柏風(2021),「2020年台灣半導體產業樣貌」,工研院產業科技國際策略發展所,4月19日。
4. 黃慧修(2021),「從半導體產業聚落發展看中國大陸IC產業競合布局」,工研院產業科技國際策略發展所,11月4日。
5. 譚瑾瑜、林雅鈴等(2020),「2020國際供應鏈變動趨勢與臺灣科技產業契機」,財團法人中技社2020-06專題報告,6月。
6. Hung, Albert et al. (2023),”Servers-addressing key questions on AI servers and recap the downstream supply chain,” *J.P. Morgan Asia Pacific Equity Research*, Jun. 4.
7. Krupa, Tim et al. (2022), ”US Daily: CHIPS Act More Likely to Redirect Semiconductor Investment Than Boost Global Supply (Krupa/Phillips),” *Goldman Sachs Economics Research*, Sept. 2
8. MarketLine (2021), “Global Artificial Intelligence,” *MarketLine Industry Profile*, Nov.
9. Miller, Christopher (2022), “Chip War: the Fight for the World’s Most Critical Technology,” *Scirbner-an imprint of Simon & Schuster*, Oct.
10. Ong, Sin Beng et al. (2022), ”Taiwan and global capex: Punching well above its weight,” *J.P. Morgan Economic Research*, Sept. 3.

附錄一、電子產業之劃分定義

財政部「稅務行業標準分類²⁶」與櫃買中心「上櫃公司產業分類²⁷」對電子產業分類定義劃分有所不同(見表)。

財政部稅務行業標準分類：經濟活動判定以場所單位所生產商品或提供服務之附加價值，惟實務上若無法取得附加價值資料，可採生產總額、營業額等產出指標或勞動報酬、工時、員工人數等投入替代指標。

櫃買中心上櫃公司產業類別劃分：以企業為單位，檢送最近二個會計年度合併財務報告²⁸，每年定期檢討各上櫃公司之產業類別。

財政部稅務行業標準分類			櫃買中心上櫃公司產業類別劃分	
製造業	電子零組件製造業	半導體製造業	積體電路製造業	半導體業
			分離式元件製造業	
			半導體封裝及測試業	
		光電材料及元件製造業	液晶面板及其組件製造業	光電業
			發光二極體製造業	
			太陽能電池製造業	
	其他光電材料及元件製造業			
	被動電子元件製造業		電子零組件業	
	印刷電路板製造業			
	其他電子零組件製造	印刷電路板組件製造業	電子零組件業	
		未分類其他電子零組件製造業		
	電腦、電子產品及光學製品製造業	電腦及其週邊設備製造業	電腦製造業	電腦及週邊設備業
			顯示器及終端機製造業	
			其他電腦週邊設備製造業	
		通訊傳播設備製造業	電話及手機製造業	通信網路業
其他通訊傳播設備製造業				
視聽電子產品製造業		通信網路業		
資料儲存媒體製造業				
量測、導航、控制設備及鐘錶製造業	量測、導航及控制設備製造業	光電業		
光學儀器及設備製造業	照相機製造業			
	其他光學儀器及設備製造業			
出版、影音製作、傳播及資訊服務業	資訊服務業	入口網站經營、資料處理、主機及網站代管服務業	資訊服務業	
		入口網站經營業		
		資料處理、主機及網站代管服務業		
其他資訊服務業				
批發及零售業	批發業	電腦及其週邊設備軟體批發業	電子通路業	
		電子、通訊設備及其零組件批發業		
			其他電子業	

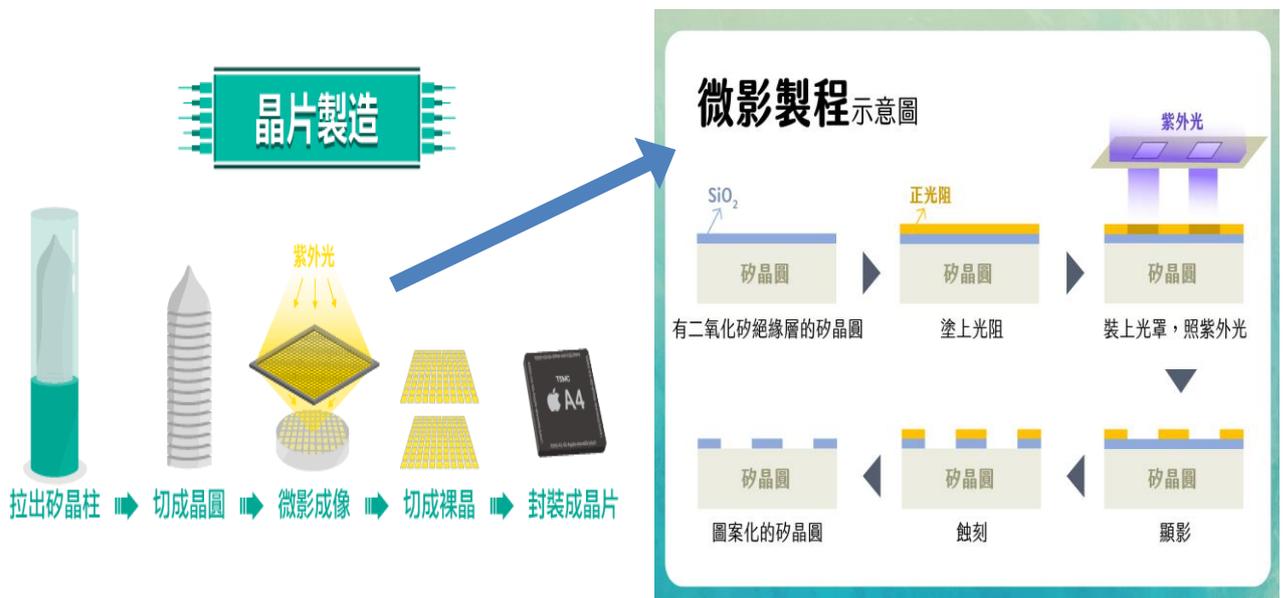
²⁶ 詳細產業定義可見財政部公布「中華民國稅務行業標準分類(第8次修訂)」。

²⁷ 詳細產業定義可見財團法人中華民國證券櫃檯買賣中心公布「財團法人中華民國證券櫃檯買賣中心上櫃公司產業類別劃分暨調整要點」及相關法規。

²⁸ 最近二個會計年度之財務報告，有所營任何一項業務之營業收入占其全部營業收入之比率超過百分之五十以上者，或最近一個會計年度之財務報告，有所營任何一項業務之營業收入占其全部營業收入之比率超過百分之八十以上者，以該項業務為其上櫃產業類別，若無法依前二款規定劃分產業類別者為其他類。

附錄二、IC 製造過程

IC 製造過程共有 6 個階段：晶圓、靶材濺鍍、塗佈光阻、光罩微影、蝕刻、去除光阻。晶圓表面鍍上一層金屬薄膜(靶材)再塗上一層光阻，透過紫外光及光罩將電路圖縮小轉印到晶圓表面的光阻上，在紫外光照射過程中，沒有被光罩擋住的地方，紫外光會照射到光阻上，也就是顯影，除去這些被破壞的光阻後，透過蝕刻把沒有受光阻保護的金屬薄膜清除掉，最後將光阻去除，完成 IC 製造。

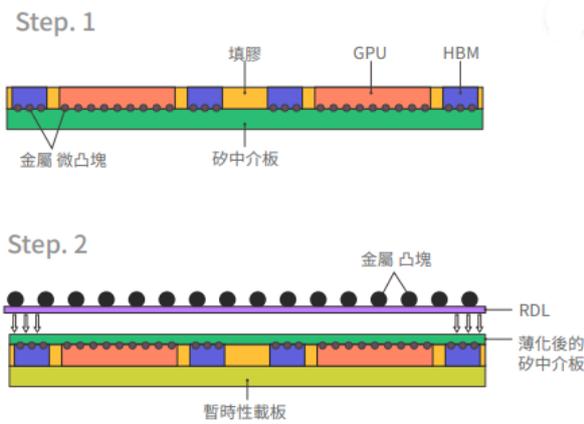


資料來源：郭雅欣(2020)，微影製程再進化！複雜電路的祕密，科技大觀園。

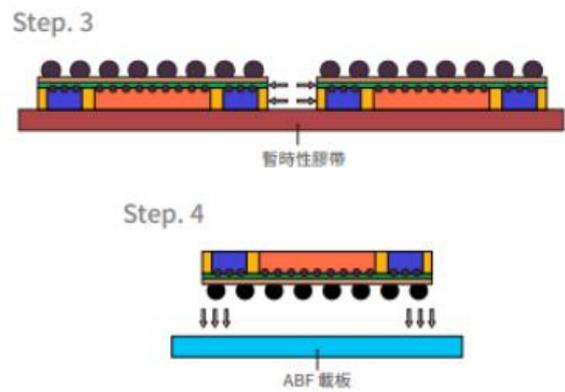
附錄三、CoWoS 封裝

CoWoS 封裝可分為前端與後端；前端將 HBM 與 GPU 堆疊到矽中介版(Si Interposer)，再將其覆蓋在暫時性載板，佈線 RDL 與 bumping 皆在晶圓上完成，矽中介版堆疊技術須仰賴晶片製造廠如台積電與聯電；後端為切割並裝載在 ABF 載板，可由封裝廠技術完成。

CoWoS 前端封裝



CoWoS 後端封裝



資料來源：富果研究部(2023)，台積電獨大的 CoWoS 先進封裝是什麼？為何是 AI 運算發展關鍵？