

美中經濟競爭—半導體產業發展的可能推演

羅慶生

台灣國際戰略學會執行長

摘要

拜登總統上任後強調與中國競爭但不尋求衝突，並將晶片視為 21 世紀的馬蹄鐵釘，針對中國先進半導體產業的科技戰就成為美、中競爭的核心。美國通過『晶片與科學法案』補貼美國半導體生產並提供稅收減免，將帶動全球半導體供應鏈的重組，也影響全球半導體產業重鎮的台灣。對安全依賴美國，經濟依賴中國大陸的台灣來說，美、中在半導體供應鏈上較勁，雖帶給台灣新機運，但也隱含著風險，需要有更清晰的未來圖像以協助決策。然而因為不確定性的存在，單一途徑的預測並無助於降低風險。因此本文試圖透過遠程想定技術，以中國是否能夠突破「卡脖子」技術以及市場對先進製程晶片的需求這兩項高不確定因素作為主軸，採用矩陣模型發展想定，描繪美、中經濟競合下，2028 年半導體產業發展的可能情境，以供參考。

關鍵詞：美中競爭、科技戰、情境分析

壹、前言

拜登總統上任之初的對華政策因延續前總統川普的對抗措施，被媒體戲稱為「川規拜隨」，但也逐漸走出自己的路。拜登強調他歡迎與中國競爭但不尋求衝突（中央社，2021/4/29），在競爭上則強調不會讓中國成為最富裕、最強大的國家，「因為美國會繼續發展壯大」（中央社，2021/4/14），在公佈總支出達 2 兆美元的「美國就業計劃」（American Jobs Plan）時則強調這計劃能夠讓美國在與中國的競爭中獲勝（美國之音，2021/4/1）。這些論述顯示拜登的對華政策將是以經濟為主軸的戰略競爭，在軍事、外交等硬權力的交鋒上可能僅止於表態或口水戰，卻迴避真正的衝突。

拜登的經濟建設計畫雖然在國會存在爭議，共和黨議員大多不願支持，未來在立法與執行上或有波折，但在科技領域尤其是半導體供應鏈的競爭上，兩黨卻有高度共識。拜登本人曾在白宮演說時撿起一個晶片，稱這肉眼都看不清楚的小晶片就是 21 世紀的馬蹄鐵釘（經濟日報，2020/2/25）；2021 年 4 月 12 日主持全球半導體產業虛擬高峰會時，也舉起一片晶圓強調半導體的重要，稱他投資半導體產業的計畫已獲得兩黨支持（經濟日報，2021/4/14）。的確如此，4 月 21 日美國國會即在跨黨派支持下提出『2021 年戰略競爭法案』（*Strategic Competition Act of 2021*）以對抗中國（REUTERS, 2021/4/22）。2022 年 7 月 28 日還通過『晶片與科學法案』（*CHIPS and Science Act*），為美國半導體生產挹注 520 億美元的政府補貼，並為投資晶片廠提供估計價值達 240 億美元的稅收減免（經濟日報，2022/7/29）。

這些法案（尤其是後者）都牽涉到半導體供應鏈的重組，勢必影響全球半導體產業重鎮的台灣，因而受到台灣業界的高度重視。經濟專業媒體的《經濟日報》認為，美國要迫使美系供應鏈降低對中國依賴，改變全球供應鏈高度集中在中國的現狀可能成為定局（經濟日報社論，2021/5/10）。另一個專業媒體《工商時報》則認為，鎖定先進的未來科技產業，加速打造智慧型製造產業鏈，成為美中競逐的主流戰略，而面對美國巨大的製造業振興戰略，台灣企業又將獲得另一次藉著大國巨額財政補貼，躍升先進產業智慧製造的歷史機運（工商社論，2021/5/11）。

台灣半導體產業發達，全球晶圓代工龍頭的台積電在全球已扮演不可或缺的角色。其重要性，美國著名的評論家佛里曼（Thomas L. Friedman）甚至在《紐約時報》撰文，認為中國雖然是出於意識型態的原因希望收復台灣，但出於戰略原因，也希望將台積電收入中國軍工產業的囊中（紐時中文，2021/4/28）。雖然這只是缺乏證據的臆測，但也表示在美國菁英眼中，半導體產業的發展不只是經濟問題，更是國家安全問題。

對安全依賴美國，經濟依賴中國大陸的台灣來說，美、中在半導體供應鏈上較勁，可能會因（無論主動或被動）脫勾或選邊的影響而喪失另一個市場，因此雖帶給台灣新機運，但也隱含著風險，需要有更清晰的未來圖像以協助決策。然而因為不確定性的存在，單一途徑的預測並無助於降低風險。因此本文試圖透過遠程想定技術，釐清不確定因素，描繪美、中經濟競合下，2028 年半導體產業發展的可能情境。

貳、遠程想定技術

想定（scenario）這名詞源自影劇界「電影腳本」的術語，原意指基於劇情發展而呈現出的情節。因此，遠程想定是描述事件發生過程，包括緣起與結果，根據諸多互動事件發展出故事的內容（Coates, 2000），而透過故事情節的發展，協助人們瞭解並適應改變中的各種情況（Schwartz, 1996）。遠程想定不是預測，雖然兩者都是基於前提假定的邏輯推論，但根本差異在於想定承認不確性存在，試著去瞭解它，並將其視為前提的一部份。在無法百分之百預測未來的情況下，藉由想定分析仍能對事件的因果關係與長期發展趨勢進行瞭解，從而協助決策者進行長期規劃並發展出較佳的行動選項。

在實務上，雖然想定分析的運用領域相當廣泛，例如美國國家情報委員會 2021 年 4 月出版的《全球趨勢報告 2040》就是運用想定技術完成，但卻沒有發展出一套廣為各方接受的標準作業程序，Schwartz（1996）與陳澤義（2005）等學者所建議的步驟雖然結構類似但仍有相當差異。發展想定的流程深具彈性，只要推演的過程嚴謹並符合邏輯要求，那麼發展出的想

定即便無法準確描繪出事件未來的可能走向，卻可降低或避免盲目的樂觀主義現象。本文綜合 Schwartz 與陳澤義的建議，透過以下步驟發展想定。

一、確定焦點

此步驟主要在確定分析議題、內涵、目標與時間範圍，藉此凝聚情境焦點，避免討論議題空泛或失焦的情形發生。本文分析焦點為 2028 年美、中半導體產業的發展，描繪可能發生的場景以供參考。選定 2028 年的時間範圍是依據美國總統拜登上任後的 2 任任期，在連任成功或繼任者政策不變的假定下推演。遠程想定推演時間不宜太短，但時間太長則參考價值降低。戰略分析通常 5 年以上較為適切 (Linneman & Kennell, 1977)。半導體產業的發展需要較長時間才能看出結果。美國『晶片法案』對企業的補貼，也是限制受補貼企業 10 年內不得到中國投資。這意味著美國菁英認為，屆時美中經濟競爭應可顯現初步結果。

二、尋找驅動力

此階段主要在尋找影響事件發展的關鍵因素，包括基礎力量 (Base Force) 與重大的不確定 (critical uncertainties)。前者是指具有高影響力與低不確定性的因素，為發展所有想定的共同基礎。後者則是具高影響力與高不確定性的變數，決定各想定不同的故事結局。尋找驅動力與釐清其影響為想定工作的核心，本文將有一節探討。

三、選擇想定發展模型

確認驅動力後將因素進行組合，用以確認不確定性軸面的架構，本文將選擇兩項高不確定因素作為主軸，採用矩陣模型發展想定。

四、撰寫情境發展細節

發展故事情節，將原本各自獨立與片斷的事件編織在一起，為未來勾勒出可能出現的不同場景。基於矩陣模型，本文將撰述 4 個半導體產業鏈發展的可能情境。

參、驅動力因素

驅動力是影響想定情節發展的關鍵因素。影響力高且不確定性低的因素，可視為想定的輸入項或故事發展的起點，影響力高但不確定也高的因素，則是想定的推進器或者是決定故事發展的方向盤。在分析美、中半導體產業競爭上具有高影響力的各個不確定性低或高的因素前，本文先描繪當代半導體產業的面貌，因為這是美、中半導體產業競爭中的已確定因素。

一、確定因素：當代半導體產業現狀

當代半導體的生產非常複雜且投資巨大，單獨企業難以獨力完成，因而經過半世紀發展已形成龐大且分工精細的產業聚落。如指甲般大小的晶片，是經過數千工序、分散在十數國家數以百計的企業分工合作完成的。半導體產業的終端產品是記憶體與處理器。稱為積體電路（IC），作為電子設備大腦的處理器是競爭的主角。早期電腦使用真空管，處理器是塞滿整個房間的龐然大物，而後用電晶體，體積就小很多，之後再將電晶體集成 IC，就如指甲般大。簡單來說，就是將集合電晶體的電路圖蝕刻在矽晶圓上，然後再切割封測。

1965 年，電子工程師戈登·摩爾（Gordon Moore）提出摩爾定律，意謂 IC 上可容納的電晶體數目，約每隔兩年便會增加一倍。這並非嚴謹的理論但實踐結果證實有此現象。每一代製程更新約需 18 個月到 2 年，電路線寬縮小一倍，例如 28 奈米到 14 奈米，使容納的電晶體數目增加一倍。因此台積電前董事長張忠謀評估大陸半導體製造落後台積電 5 年以上（中央社，2021/04/21），即意味著技術差兩、三代。

不過摩爾定律在 IC 電路線寬到奈米等級後就逐漸失效，因為已達到物理極限。1 奈米為 10 億分之 1 公尺，是分子或原子的計量單位，2、3 個金屬原子就差不多 1 奈米。台積電目前已進入 2 奈米製程的研發（鉅亨網，2021/4/18），之後將很難繼續微縮。新的發展方向是從材料上入手，透過改變材料從而改變特性，但目前還在理論與試驗階段，何時量產甚至能否成功都還是未知數。

晶片產業鏈的分工來自製造工序，首先要設計電路圖，這部分稱為 IC 設計。從事 IC 設計的半導體企業本身沒有工廠，設計好的電路圖交給晶圓代工廠製造，然而再賣出成品。全球頂尖的 IC 設計大多數是美國企業。全球技術領先的晶圓代工廠，除了台積電外就是韓國的三星電子。代工廠製造晶片主要區分兩步驟：先將電路圖用光刻機顯影在矽晶圓上，然後再用蝕刻機將不需要的部分剔除，只留下電路後清洗切割。一個 12 吋晶圓可切 148 片晶片，8 吋晶圓可切 57 片，但並不是每個晶片都電路通暢，必須測試。合格晶片占整片晶圓的比例稱為良率，愈高表示技術愈好，生產成本也就愈低。通過測試的晶片要封裝，台灣的日月光為全球最大的封測公司。

製造設備是半導體產業聚落的另外一塊，也是技術含量較高的部分，晶圓代工廠必須向設備廠購買製造設備才能生產晶片。以技術來說，最困難的就是在晶圓上光刻的顯影設備。這基本上類似照相機，晶圓就是底片，但是因可見光的波長太長，無法顯影奈米等級的電路線寬，因而製程進入奈米等級就必須使用波長更短的紫外線光源。荷蘭愛司摩爾公司 (ASML) 出品的極紫外光 (EUV) 光刻機是全球獨家，能處理 7 奈米以下製程，價格以億美元計算。另一個替代途徑是奈米壓印 (Nanoimprint Lithography)，概念類似以印刷而不是照相將電路圖壓印在晶圓上。但這技術還在發展，能否突破不確定。除此之外還有清洗晶片的光刻膠等化學原料。這部分日本最強，質量最為純淨。

半導體產業鏈相互依賴，缺少任何部份就會有斷鏈危機。目前美國半導體產業的優勢在 IC 設計，全球頂尖晶片大都出於美國企業的設計，但製造部分，一度最強的英特爾 (Intel) 已輸給台積電與三星等晶圓代工廠。中國的半導體產業則在加速追趕中，以 IC 設計部分進步最快，已接近世界一流水準，封測部分也逐漸趕上。有問題的是製造部分。原因主要是製造設備落後，必須從國外進口先進設備，如果受限就會被「卡脖子」。例如 ASML 的 EUV 光刻機因美國阻止，荷蘭政府不發出口許可，中國半導體企業遲遲無法進入 7 奈米製程。

台灣的強項，除了擁有全球頂尖的晶圓代工廠台積電外，還有相當完整的產業鏈分工，例如 IC 設計的聯發科、封測的日月光。而與這些大廠合

作的還有數以百計的中小企業，以提供各種零附件、原料或設備。通常大廠設立新的生產基地會引導這些企業隨行而形成產業聚落。這些配套的產業鏈是否跟隨，或是否能於當地找到替代的供應商，將影響如台積電赴美設廠之類已定案的決策的執行。

二、低不確定因素：美、中半導體產業的競爭

從競爭角度，低不確定因素基本上屬於政策或策略面。雖然政策在執行時仍可能出現變數，但明確的政策與策略所勾勒出的競爭樣貌，相對變化萬端的市場有較低的不確定性。

(一) 美、中都以國家力量支持半導體產業發展

在美國的部分，不僅白宮支持，將晶片視為 21 世紀的馬蹄鐵釘，國會支持也形成共識，「晶片法案」為美國半導體生產者挹注 520 億美元補貼與 240 億美元的稅收減免。中國的 14-5 規劃則強調「把科技自立自強作為國家發展的戰略支撐」（中國中央政府，2021），2020 年對上市企業的補貼高達 2,136 億元人民幣，比前一年年增加 14%，對半導體和軍需企業的補貼顯著增長（日經中文，2021/5/17）。

在策略上，美、中都推動晶片自製。美國半導體產業發達，但強在晶片設計，製造則多委外代工。因而拜登政府頗為自製僅占全球的 12%，較 1990 年代的 37% 低很多而憂心（聯合報，2021/2/11）。中國雖然之前即鼓勵自家企業發展半導體，但自製率至 2020 年也僅 15.9%，補貼力度因而加大（工商時報，2021/1/7）。預期 2028 年前，美、中政府對半導體產業的支持與補貼都會持續。不僅如此，基於科技競爭，除尋求擴大自製率外，也在製造對方先進科技企業的發展障礙。這部分美國手段較多，透過制裁中國企業與阻止技術流入，試圖限制中國半導體產業先進製程的發展。

(二) 美、中競爭半導體產業有明確策略且各有優勢

展望美、中半導體產業鏈發展的競爭，雙方都有明確策略，也各有優勢。美國科技領先全球，企業因而投入高獲利的 IC 設計，將製造部份分工

出去。但十數年來在晶圓代工廠的努力下已發展出晶片製造的獨立工藝，美國企業難以複製。這種形式的國際分工原本不是問題，但現在美、中已形成戰略競爭，美國因而擔心所設計的高端晶片在國外生產的風險。最初是關切軍工產業武器系統使用的晶片，因而邀請台積電及處理器大廠 Intel 赴美設廠（財訊，2019/10/31）。而後進一步關注到人工智能（AI）產業的競爭。美國人工智慧國家安全委員會（NSCAI）2021 年 3 月初的一份報告中，即對攸關國家安全與未來的 AI 領域落後中國而感憂心，建議美國與出口晶片製造設備的國家協調，制定每個國家「推定拒絕」核發晶片先進製程設備出口許可證輸往中國的政策，建議將限制中國半導體產業落後美國兩代的規範措施，正式列入美國政策（中央社，2021/3/2）。

美國期望高端晶片產品能在美國製造。在美國邀請下，台積電已宣布投資 120 億美元在美國亞利桑那州設廠，預計 2024 年啓用生產 5 奈米的先進晶片。韓國的三星電子也有意在美國德州興建半導體工廠，投資規模約 100 億美元。然而美國強大的科技能力固然可提供晶片製造廠的技術支撐，補貼與稅務減免也形成誘因，但人工成本昂貴，也缺乏龐大的工程師團隊，配套的產業鏈也尚未建立。台積電即估計美國廠的建設費用較台灣高約數倍，人事成本較台灣高 3 成以上，生產力卻沒有台灣高（鉅亨網，2021/2/24）。這表示美國技術上可以製造出比中國先進的晶片，但反映成本後的價格將相當高昂。美國政府雖提供補貼與稅務支持，但能否抵銷高成本的風險，則屬於高不確定因素。

相對而言，中國半導體技術與美國仍有相當差距，在美國制裁中國先進高科技企業與實體，阻止技術流入後，基本上已阻擋了中國彎道超車的機會。中國政府雖然投入大量資源希望能突破「卡脖子」的技術，但 2028 年前達陣的不確定性高。中國的優勢是市場廣大，包括美國企業在內都不願放棄這市場。美國限制高端的半導體製造設備進入中國，但不限制低端成熟製程的設備，也是爲了替應材之類的美國企業開路。

美國擁有技術優勢、中國則有市場；這使得國際先進大廠在半導體的高端產品上會押注美國，低端產品上則押注中國。如台積電除了在美國建造 5 奈米產線，也投資 800 億台幣，在中國南京擴建 28 奈米成熟製程產能。

(三) 歐、日、韓也有意打造半導體自主產業鏈

除了美、中之外，歐、日、韓等國也有意打造自己的半導體產業鏈，以降低對外的依賴。他們加入賽局，將影響美、中半導體產業的競爭。雖然整體政策還在醞釀，到底要怎麼做還不明朗，但歐盟已顯示對半導體產業的興趣。歐盟委員會（European Commission）更新版的「歐盟產業策略」（EU Industrial Strategy）指出要採取行動減少在 6 個戰略領域對中國和其他外國供應商的依賴，包括原材料、原料藥、半導體、電池、氫能以及雲端運算等領先技術（中央社，2021/05/05）。日本也有意加強國內先進半導體的生產，以緩解困擾核心產業面臨的晶片短缺（鉅亨網，2021/05/19）。顯示出更大野心的是韓國。韓國的半導體戰略的 K 計畫（K-Semiconductor Strategy），有意在未來 10 年投入約 510 兆韓元（4,500 億美元），在南韓打造全球最大的晶片製造基地（經濟日報，2021/05/14）。

分析美中雙方的半導體政策或策略，可以理解美國試圖壟斷高階半導體產業，或者更明確的說是 5 奈米以下製程。如果中國無法製造高端晶片，那麼在 AI 與軍工產業的晶片技術就會輸給美國，美國可以保有高附加價值的科技市場與國防優勢。在低附加價值產品或成熟製程上則放給中國，以提供美國企業如 IC 設計、製造設備等前端業者的市場。這些企業在中國市場的營利，將能提供其進一步研發的資金，有利於美國的競爭。

中國則試圖突破「卡脖子」技術，以擺脫對國外產品的依賴，建立半導體產業的全產業鏈。一旦半導體的全產業鏈建造起來，就不是中國依賴世界，而是世界依賴中國，美國的出口管制也喪失意義。因此，中國雖理解美國企業在中國市場的營利有助於美國的競爭，但對目前還無法突破的技術與設備，仍將持續向美國採購，至於已經可以自行生產的部分，則引導中國企業使用國內產品，以替代外國貨，甚至是外國企業在中國製造的產品。中國美國商會已發現中國政府有此企圖，在最新版本《美國企業在中國白皮書》中呼籲放棄這種策略的「隱形指導」（RFI，2021/05/14）。

三、高不確定因素：美中科技差距與市場

美、中雙方在半導體產業競爭的政策與策略上各有計算與圖謀，也各自擁有優勢，因此，影響競爭成敗的高不確定因素，就來自變化萬端的半導體市場。

(一) 中國半導體先進製程的科技發展

市場由供給與需求兩個面向決定，透過市場機制決定價格與數量，從而決定生產者要生產什麼與生產多少；半導體市場也不例外。從供給面看美、中半導體產業鏈的競爭，美國企圖維持甚至擴大科技領先的幅度，壟斷高端晶片的生產，阻止中國獲得高端技術但不阻止中國低端的成熟製程，以創造美國企業在中國市場的營利作為研發資金，政府則提供資金支持研發新的科技。不過新科技的研發面臨半導體製程將進入物理極限的限制，即便大量的資本投入進展也有限，而中國集中大量資源在半導體領域攻關，加速追趕，中國迎頭趕上並不是沒有機會。

因此，影響美中競爭的第一個高不確定因素將是中國是否能夠突破「卡脖子」技術，拉近先進製程與美國的距離，具指標意義的將是 5 奈米製程。因為 7 奈米製程已被業界視為跨入 AI 的基本門檻(南華投顧, 2018/11/13)，5 奈米才能製造性能較佳的 AI 產品。張忠謀曾評估中國技術落後台積電 5 年，而台積電 2020 年量產 5 奈米晶片，因此在正常情況下 2025 年中國的半導體產業將進入 5 奈米製程。

但這受兩個因素影響而成為高不確定因素。第一是美國阻止中國獲得先進製程的製造設備，例如要求荷蘭政府阻止 ASML 出售 EUV 光刻機。如果中國無法自製，則無法突破 7 奈米關卡，更遑論 5 奈米，高端晶片的生產就將被美國壟斷。

第二是中國不僅大量補貼半導體企業，還集中資源突破 EUV 光刻機這「卡脖子」的技術，同時從最基礎的教育著手，開設半導體專業大學以廣泛培養人才。例如 2020 年掛牌的「南京積體電路大學」即設立 7 個學院，從 IC 設計、製造、封測、應用、設計自動化、未來技術、經濟與管理等全

方位的培養人才（南京積大，2021/05/18），清華大學 2021 年 4 月也宣佈要成立「積體電路學院」。這雖然容易造成資源錯置與重複投資，而徒耗資源，但也提高了成功攻關的機率。曾任世界銀行副總裁的林毅夫在一場演講中提到，ASML 的 CEO 擔心，若不把光刻機賣給中國，大概 3 年以後中國就會自己掌握這個技術，而「那時候 ASML 可能就退出了世界光刻機市場」（聯合報，2021/05/31）。3 年的估計過於樂觀，但 2028 年前不排除其可能性。

在美國技術封鎖下，中國如果能開發出 EUV 光刻機或其他替代方案，那麼中國就打通了半導體製造的任督二脈，能夠透過補貼以低成本的製造優勢席捲半導體市場。即便 ASML 在此之前同意出售 EUV 光刻機，也將打破美國獨占高端半導體市場的企圖。

然而在美國阻擋下，中國要成功開發 EUV 光刻機相當困難。因為 ASML 是集合西方世界最精密製造工藝的零組件打造 EUV，美國同樣也會阻止這些零組件進入中國。中國要完全自製 EUV，需要很長時間。不過其他如奈米壓印等技術的發展，不排除從其他途徑突破的可能。中國是否能攻關 5 奈米製程的技術限制，為影響美、中競爭的高不確定因素。

（二）半導體先進製程產品的市場需求

從需求面看，市場需不需要那麼多先進製程的高端晶片，是影響美、中半導體產業競爭的另一個高不確定因素。美國雖期望壟斷高端晶片的生產，以確保軍工企業所需晶片都能且只能由美國製造。但軍工企業的晶片需求並不是那麼多，大多數的高端晶片需求是智慧手機。市場機構預測晶圓代工市況，全球 5 奈米製程需求中，美國的蘋果公司占比 53%，其次高通占 24%（經濟日報，2021/02/09）。蘋果主要產品為 5G 智慧手機，高通為 IC 設計公司，5 奈米的 X60 基頻晶片也是用於 5G 手機。台灣 IC 設計的聯發科也準備出 5 奈米的天璣 1,200 晶片。這意味著 5 奈米晶片超過 80% 的需求來自智慧手機。

然而，智慧手機價格昂貴，消費者如果認為現在手機就很好用，無須那麼多功能，換機潮將不如預期。市場分析師郭明錕即認為 5G 智慧手機欠缺殺手應用，造成需求不振，全球 Android 手機恐將面臨長期需求不振的

結構性風險（經濟日報，2021/05/10）。

電子產品成熟後需求降低的例子很多，例如桌上型電腦（PC）或筆記型電腦（NB），消費者已滿足目前產品的便利性，對功能提升有限卻更為昂貴的新產品興趣缺缺，無意積極汰換。智慧手機如果像電腦一樣已步入成熟期，對高端晶片的需求就將降低。國防工業雖然需要高端晶片，但需求量相對智慧手機相差甚遠，因而關鍵在汽車自動駕駛、無人機等 AI 產品其他如元宇宙等穿戴裝置需求能否補足缺口，但這是個高不確定因素。

歐、日、韓等國也競相建立自己的半導體產業，可能造成過度或重複投資，更加重需求不足的風險。半導體是資本與技術密集產業，開發先進製程除了技術之外還要大量資金。即便有政府的補貼或稅務支持，資本支出仍多數來自於企業的營利。需求如果不如預期將減少企業獲利，如此不僅將影響後續的研發，還可能造成財務風險。

此一高不確定因素，對美國競爭的風險可能高於中國。先進製程的高端晶片有高附加價值，即便製造成本高，在高需求下仍可以帶來較高利潤。成熟製程的晶片雖然利潤低，然而多數電子產品如智慧家電或車用電子並不需要高端晶片，成熟製程即可滿足，能夠以量多取勝。成熟製程半導體的需求持續擴大，這是台積電決定在南京廠擴大 28 奈米的成熟製程產線的原因。

肆、4 個可能情境

依據前述驅動力因素，本文發展出 4 個 2028 年美、中半導體產業發展的可能想定，矩陣（如圖 1）。

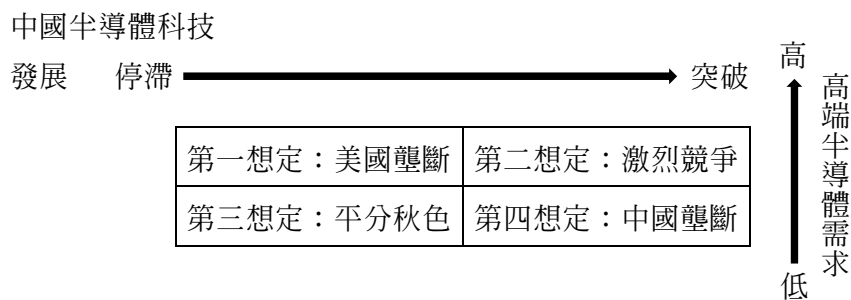


圖 1：想定矩陣圖

一、第一想定：美國壟斷

由於美國成功說服歐、日盟邦停止核發晶片先進製程設備的出口許可證，中國的上海微電子也僅開發出 28 奈米製程的光刻機且良率還有改善空間，中國半導體產業因製造設備的科技停滯而整體成長緩慢。IC 設計企業雖然成功發展出 5 奈米以下製程的高效能晶片，但遭到美國制裁而無法得到晶圓代工廠的投產。中國半導體產業受到壓制，只能靠成熟製程支撐。中芯國際、華虹半導體等中國晶圓代工廠在相互殺價下獲利增長有限，只能依賴補貼生存，投入研發的資本支出因而也增長遲緩。

美國則受惠於自動駕駛等 AI 領域產品的快速增長，5 奈米以下先進製程需求爆發。美國製造雖然成本昂貴，但因產品單價高而獲利豐盛。台積電的亞利桑那廠因得地利之便，成為企業金雞母。Intel 恢復榮耀，5 奈米的高端處理器甚受歡迎，成為許多 AI 製品的大腦。美國晶片製造的全球占比已回復到 1990 年代的 37% 的水準，與台、歐、日、韓的組成的半導體聯盟壟斷了全球高端晶片的設計與製造。中國 AI 晶片因無法得到晶圓代工的支持而愈趨落後，與美國差距愈來愈大。

二、第二想定：激烈競爭

雖然受惠 5 奈米以下先進製程的需求爆發，美國製造的晶片已占全球的 20% 以上，但因中國也獲得 5 奈米製程技術，雙方半導體產業陷入激烈競爭。

在中國政府集中資源全力支持下，上海微電子終於製造出第一台 EUV 光刻機。ASML 擔心喪失中國市場，遊說荷蘭政府給予 EUV 的輸出許可，中芯、華虹等半導體廠因而成功量產 5 奈米先進製程，這使搭載鴻蒙系統的華為智慧手機恢復競爭力，雖然在歐洲市場無法重返榮耀，但在一帶一路國家隨著中國影響力的擴增，銷量恢復增長。

在中國政府的隱形指導下，鴻蒙系統已成為中國製手機的標準配備，AI 與智慧手機製造商也逐漸改用中國企業的半導體產品，美國高通與台灣聯發科設計的晶片被中國的華為海思取代。寒武紀、地平線等出品的 AI 晶

片，也在依托中國的國內市場後，以高性價比加入國際市場的競爭。台、歐、日、韓業者在美、中激烈競爭中逐漸邊緣化。除了少部分仍有產業優勢者如台積電因開發出 2 奈米以下製程仍能繼續創造市場外，多數不具產業優勢者因價格比不上中國製造，性能比不上美國製造，而逐漸退出市場。

三、第三想定：平分秋色

美國組成的半導體聯盟雖然掌握了全球高端晶片的製造技術，但因智慧手機換機潮遲緩，AI 領域應用也未大幅擴增，5 奈米以下的先進製程晶片需求不如預期。台、美、歐、日、韓快速擴大的產能陸續開出，更加速產銷的不平衡，使美國與其地緣政治的盟友，反而成爲彼此半導體產業的競爭者。因先進製程的營收不如預期，台積電、三星、英特爾等大廠因而延遲擴廠進度，以節省資本支出。放棄先進製程、專注成熟製程的台灣聯電與美國的格芯則面臨中國晶圓代工廠的挑戰，市占逐漸降低。

中國的晶圓代工雖因美國限制先進製程製造設備的進口，上海微電子也僅開發出 28 奈米製程的光刻機，無法進入先進製程，但受惠於成熟製程晶片的需求較預期爲高而獲利豐碩，同時在中國政府補貼下，以高性價比逐漸侵蝕外國競爭者的市場，頗有重演太陽能電池與顯示器面板產業陷入惡性競爭的發展趨勢。美國因而對中國再度發動貿易戰，提高中國電子產品的進口關稅。中國則因 IC 設計仍需投單美系的先進製程晶圓代工廠，在報復上頗爲節制。

先進製程晶片需求不如預期，反而是成熟製程需求爆發，中國晶圓代工廠產能因而能陸續開出，並在政府隱形指導下逐漸替代國外產品。美國則在先進製程上的高端晶片擁有優勢，雖然整體需求不振，但因卡中國脖子，能以高價向中國銷售高端晶片，雙方經濟戰打得平分秋色。

四、第四想定：中國壟斷

在上海微電子終於製造出第一台 EUV 光刻機後，中芯國際、華虹半導體等中國晶圓代工廠因而成功量產 5 奈米的先進製程。雖然全球的先進製程晶片需求都不如預期，但中國市場大，在政府隱形指導下，中國手機與

AI 業者下單給中國的 IC 設計，IC 設計業者再將訂單下給中國晶圓代工與封測廠。中國突破半導體「卡脖子」的技術後，開始向建立全產業鏈邁進。美系業者包括英特爾、高通與台灣的聯發科、聯電遭到排擠，逐漸退出中國市場。台積電與三星電子則因 2 奈米以下製程的高獲利而仍能占一席之地。2028 年，中國半導體產業終於達到《中國製造 2025》所設定自製率 70% 的目標。

偏好先進製程的美國半導體業者則因需求不如預期而陷入困境，面對中國業者透過政府補貼以低價在全球搶市的挑戰下，更如雪上加霜。美國雖對中國再度發動貿易戰，但中國在突破「卡脖子」技術後的回擊毫不手軟，美系與中系電子產品脫鉤現象愈發明顯。還能繼續支撐的台、歐、日、韓供應鏈被迫選邊，或同個企業發展出兩組部門，以同時滿足美、中市場。

伍、結論

4 個想定所描繪的場景，是試圖釐清影響半導體產業的不確定因素所發展出來的可能情境。雖然這 4 個想定都不一定能準確描繪出未來的可能走向，但期望能透過符合邏輯的推演避免盲目的樂觀主義，或單一途徑推論所帶來的可能風險。

雖然一般遠程想定的最後步驟，是透過故事情節的發展提出政策選項，但本文刪減了這個步驟。這是因為決策者有其不同的決策主體，例如政府或不同的半導體業者，各自代表其不同利益。即便同個主體，不同決策者設定的政策目標與優先考慮因素也並不相同，某些隱性因素的關鍵性甚至超過公開文獻的宣示。例如某些企業的執行長因待遇與業績掛勾，決策時不太願意提高資本支出而降低年度營利，即便就長遠利益而言增加投資可能更為有利。對政府層面而言，不同政黨也會有不同的意識形態或黨派利益，而干擾對國家利益的界定。這使得決策的主觀性高於客觀性，提供政策選項為吃力不討好的工作。因而只發展遠程想定提供未來事件的可能情境，期望有助於決策者釐清混亂的臆測而下決心。

本文雖然試圖透過不確定因素與事件的因果關係，對美、中半導體競

爭的可能發展提出 4 個想定，但對可能性極低、影響卻高度深遠的黑天鵝事件，例如 2019 年到 2021 年發生 COVID-19 疫情的影響，卻無法提出預先防範。這意味著未來半導體產業發展，仍有可能落於這 4 個想定之外。

參考文獻

- 陳澤義，2005。《科技管理：理論與應用》。台北：華泰文化。
- 中央社，2021/3/2。〈防中國主宰半導體業美 AI 國安委員會籲出口設限〉 (<https://www.cna.com.tw/news/aopl/202103020076.aspx>) (2021/6/3)。
- 中央社，2021/4/4。〈拜登上任首場記者會宣示美國回歸中國別想稱霸〉 (<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202103260095.aspx>) (2021/6/3)。
- 中央社，2021/4/21。〈台灣半導體具競爭優勢張忠謀：中國大陸落後 5 年以上〉 (<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202104210178.aspx>) (2021/6/3)。
- 中央社，2021/4/29。〈拜登百日演講喊話習近平：我們樂見競爭，但不尋求衝突〉 (<https://www.gvm.com.tw/article/79243>) (2021/6/3)。
- 中央社，2021/5/5。〈歐盟計劃在半導體等 6 大領域減少對中國依賴〉 (<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202105050379.aspx>) (2021/6/3)。
- 中華人民共和國中央人民政府，2021。《中華人民共和國國民經濟和社會發展第十四個五年規劃和 2035 年遠景目標綱要》 (http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm) (2021/6/3)。
- 工商時報，2021/1/7。〈陸半導體拚 7 成自製率可能？5 年後很嚇人〉 (<https://ctee.com.tw/news/china/399098.html>) (2021/6/3)。
- 工商社論，2021/5/11。〈白宮設置「製造長」與台商的美國機會〉 (<https://www.chinatimes.com/newspapers/20210511000692-260202?chdtv>) (2021/6/3)。
- 日經中文網，2021/5/17。〈中國對上市企業的產業補貼創新高〉 (<https://zh.cn.nikkei.com/china/cpolicssociety/44749-2021-05-17-09-09-50.html>) (2021/6/3)。
- 美國之音，2021/4/1。〈拜登總統公佈 2 萬億美元基建計劃強調與中國競爭〉 (<https://www.voacantonese.com/a/biden-unveils-his-infrastructure-plan-20210331/5836605.html>) (2021/6/3)。
- 紐時中文，2021/4/28。〈中美之間必有一戰嗎？〉 (<https://cn.nytimes.com/opinion/20210428/china-us-2034/zh-hant/>) (2021/6/3)。
- 南京積體電路大學，2021/5/18。〈南京積體電路大學有限公司 2021 年 5 月公開招聘 15 名專業人才簡章〉 (<http://www.gaoxiaojob.com/zhaopin/sydw/guanban/20210518/524975.html>) (2021/6/3)。
- 南華投顧，2018/11/13。〈產業週報：7 奈米在 AI 領域的重要性〉 (<https://events>).

- entrust.com.tw/news/20181113weekly-364) (2021/6/3)。
- 財訊，2019/10/31。〈美國爲什麼一定要邀台積電赴美設廠？劉德音回答透端倪〉
(<https://www.wealth.com.tw/home/articles/22871>) (2021/6/3)。
- 經濟日報，2021/2/9。〈台積電 5 奈米營收今年衝 1,400 億〉(<https://money.udn.com/money/story/5612/5242751>) (2021/6/3)。
- 經濟日報，2021/2/25。〈舉小晶片拖延美國汽車生產爲例拜登下令強化供應鏈〉
(<https://money.udn.com/money/story/5599/5275515>) (2021/6/3)。
- 經濟日報，2021/4/14。〈美晶片峰會拜登：擴大投資半導體〉(<https://money.udn.com/money/story/5612/5386332>) (2021/6/3)。
- 經濟日報，2021/5/10。〈兩因素衝擊郭明錕示警聯發科、高通 5G 成長最快期已過〉
(<https://udn.com/news/story/7240/5446583>) (2021/6/3)。
- 經濟日報社論，2021/5/10。〈供應鏈重組較勁台灣應變之道〉(<https://udn.com/news/story/7338/5445394>) (2021/6/3)。
- 經濟日報，2021/5/14。〈南韓半導體國家隊衝研發十年砸 4,500 億美元〉(<https://money.udn.com/money/story/5612/5456316>) (2021/6/3)。
- 經濟日報，2022/7/29。〈美國眾議院通過晶片法案 強化對中國競爭力〉(<https://money.udn.com/money/story/10511/6496552>) (2023/2/17)。
- 鉅亨網，2021/4/18。〈台積電揭露 2 奈米最新進度已進入技術研發階段〉
(<https://news.cnyes.com/news/id/4631089>) (2021/6/3)。
- 鉅亨網，2021/5/19。〈日本強推新成長戰略 2000 億日圓經費聚焦國內半導體生產、
電池研發〉(<https://news.cnyes.com/news/id/4647715>) (2021/6/3)。
- 聯合報，2021/2/11。〈美、歐同聲高喊晶片自製減低對亞洲依賴〉(<https://udn.com/news/story/6811/5248306>) (2021/6/3)。
- 聯合報，2021/5/31。〈林毅夫：ASML 憂大陸 3 年後掌握光刻機技術衝擊全球市場〉
(https://udn.com/news/story/7331/5498058?from=udn-ch1_breaknews-1-0-news)
(2021/6/3)。
- Coates, Joseph F. 2000. "Scenario Planning." *Technological Forecasting and Social Change*, No. 65, pp. 65-123.
- Endless Frontier Act, 2021 (United States Innovation and Competition Act of 2021)*.
(<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/1260>) (2021/5/26)
- Linneman, Robert E., and John D. Kennell. 1977. "Shirt-Sleeve Approach to Long-range Plans," *Harvard Business Review*, Vol. 55, No. 2, pp. 141-50.

Reuters, 2021/4/22. “U.S. Lawmakers Intensify Bipartisan Efforts to Counter China.”
(<https://www.reuters.com/world/asia-pacific/us-lawmakers-look-advance-sweeping-bid-counter-china-2021-04-21/>) (2021/5/11)

RFI, 2021/5/14。〈中國美國商會白皮書：雙邊關係緊張已是在華業務首要挑戰〉（[經貿/20210511-中國美國商會白皮書——雙邊關係緊張已是美企在華業務首要挑戰](#)）（2021/6/10）。

Schwartz, Peter. 1996. *The Art of the Long View: Paths to Strategic Insight for Yourself and Your Company*. New York: Currency Doubleday.

U.S.-China Economic Rivalry: The Semiconductor Industry Possible Deduction of Development

Ching-Shing Lo

*Executive Director, Taiwan Society of International Strategic Studies
Taipei, TAIWAN*

Abstract

U.S. President Joe Biden emphasizes competition with China but does not seek conflict, and regards chips as a horseshoe nail in the 21st century. The technological war against China's advanced semiconductor industry has become the core of the competition between the United States and China. The United States passed the *Chip and Science Act (CHIPS and Science Act)* to subsidize US semiconductor production and provide tax breaks, which will drive the reorganization of the global semiconductor supply chain and also affect Taiwan, which is the center of the global semiconductor industry. For Taiwan, which relies on the United States for security and mainland China for its economy, the rivalry between the United States and China in the semiconductor supply chain has brought Taiwan new opportunities, but it also implies risks. A clearer picture of the future is needed to assist decision-making. However, because of the uncertainty, a single pathway prediction does not help reduce risk. Therefore, this article attempts to use the remote scenario technology to take the two high uncertain factors of whether China can break through the "stuck neck" technology and the market's demand for advanced process chips as the main axis, and uses the matrix model to develop scenarios to describe the economic competition between the United States and China, the possible scenarios for the development of the semiconductor industry in 2028, for reference.

Keywords: US-China competition, tech war, situation analysis