



工研院
資深副總暨協理
蘇孟宗

智慧製造領頭減碳

臺灣半導體助力永續發展

半導體產業在臺灣扮演舉足輕重的地位，不僅對國內經濟貢獻卓著，對碳排放的影響也備受關注，若能以在全球產業鏈上的優勢，攜手夥伴合作，將可為永續發展發揮最大影響力。

口述／工研院資深副總暨協理蘇孟宗 整理／編輯部

第28屆聯合國氣候變遷大會（COP28）於2023年12月13日閉幕，來自198個國家的代表達成協議，承諾推動能源系統轉型，擺脫化石燃料，並加快行動，在2050年前達成淨零排放。這是氣候變遷大會首度在決議明確寫到「化石燃料」，但決議並未納入諸多歐美國家預期的「逐步汰除化石燃料」字眼，只採用更為中性的「轉型」。此外，決議認定全球碳排將在2025年前達

到高峰，並承諾淘汰「低效化石燃料補貼」。

ICT產品減碳潛力強

全球永續賦能倡議組織（GeSI）的SMARTer2030報告中，進行分析減碳可行方案，預測ICT產品在2030年前可減少12.5億噸二氧化碳當量，相當於全球各產業排放量的1.97%。碳排減量有幾個主要來源，依比重由智慧製造（22%）領先、智慧交通



智慧製造身為減碳領頭羊，可以優化製程效率，加強資源利用率，降低能源消耗，進而推動更符合永續精神的工業實踐。

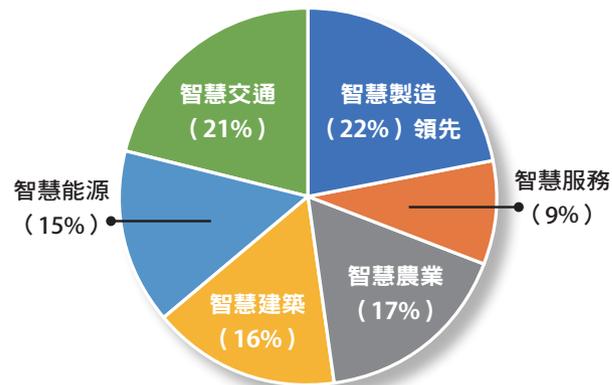
(21%) 緊追在後，其餘為智慧農業 (17%)、智慧建築 (16%) 與智慧能源 (15%)，合計占91% (見圖1)。

身為減碳領頭羊的智慧製造，涵蓋眾多重要的節能應用領域，如虛擬製造，即結合網宇實體系統 (CPS)、工業物聯網 (IIoT) 與機器對機器 (M2M) 技術，打造實體製造與模擬製造的數位孿生 (Digital Twins) 技術，可優化製程效率，加強資源利用率，降低能源消耗，進而推動更符合永續精神的工業實踐。

再者，是以客戶為中心生產製造，開發與生產階段納入客戶偏好，制定客製化策略，可最大程度地減少浪費並優化能源使用。同時，採用去中心化的生產網路和分散式製造模式，透過降低運輸相關能耗來提高能源效率。

而循環供應鏈也是加強智慧製造永續發展的重要一環，實際措施包括產品、零組件與廢棄物的再

圖1：2030年ICT產品二氧化碳當量減量潛力



資料來源：GeSI，2015

製造，以及採取循環包裝。此舉不僅能降低新資源的整體需求，也能將與丟棄製程副產物劃上等號的環境足跡降到最低。智慧服務方面，則有助於打造跨產業生態鏈，無縫整合上下游製程。拜服務彼此連通之賜，不僅有助於提升營運效率、降低能源密集度工作，亦可促進更永續與互相連結的智慧製造環境。

減碳成為產業發展關鍵

因歐盟以碳邊境調整機制 (CBAM) 作為策略工具，針對高碳排密度的進口產品徵收「碳價」，帶動產品公司與上下游供應商攜手合作，致力降低產品與製程的碳排。碳邊境調整機制的長期策略目標在於，以1990年為基期，在2030年將歐盟各產業的二氧化碳當量排放減少55%。

而初期管制範圍集中在進口到歐盟的鋼材與其他工業製品如鐵、鋁、肥料、氨、水泥等，從2027年起生效。儘管半導體屬於高耗能製程，並未列入首波高碳排產業清單，但半導體產業的減碳壓力與日俱增，必須在不久的將來降低耗能與提升永續發展。

半導體產業在臺灣扮演舉足輕重的地位，一方面對國內經濟貢獻卓著，另一方面則因為碳排與耗電引發關注。2021年，前十大碳排企業占臺灣總碳排的39% (約1.07億噸)，來自於電力、石



化、鋼鐵、塑膠、水泥與半導體產業。其中，半導體產業以高價值的晶片製程聞名，但耗電量與碳排放高，往往成為媒體與環團組織的焦點。

臺灣半導體節能效益佳

從工研院IEK Consulting的研究報告可發現，臺灣半導體為高價值化產業。2022年，臺灣半導體產業營收達1,600億美元，就業人數達32.7萬人。若納入供應鏈產業的額外產出（間接）與用於相關服務業的可支配收入（誘發）時，半導體產業的營收與就業人口分別再增加127%與279%（參考圖2）。

根據工研院IEK Consulting 2021年的另一項報告，臺灣半導體用電競爭力優異（產業總附加價值／產業總用電）。相較於臺灣其他產業，半導體產業的價值為26.8%，高於整體製造業，每用1度電分別可創造新臺幣59.7元與47.1元的附加價值。

儘管半導體產業的用電競爭力已超越整體水準，但仍可從3個面向改善：首先是垂直整合晶圓製造與封測，提升產品附加價值；再者，從產品角度檢視用電效率，淘汰效率差的舊世代產品；最後是展開全球布局，以戰略地位的角度思維規劃投資建廠，並借重國外的科技、原物料與人才相輔相成。

而工研院IEK Consulting的研究結果亦發現，採用台積電半導體、應用於人工智慧運算、5G、高

效能運算等領域的ICT產品，估計在2030年前為全球節電逾2,000億度，約為製程用電的4倍以上。換句話說，台積電的製程每用1度電生產，其IC產品可用於智慧型電子產品或服務，可為全球節省4度電。在晶片市占率、運算速度、應用範疇提高等優勢下，節能效益將逐年增加趨勢。

另一項研究則採取美國能源效率經濟委員會（ACEEE）的模擬模型，分析半導體應用電子產品的不同節能效益情境，研究結果顯示，到2030年，ICT產品有助於全球節電3.9兆度，約為全球總用電的11.8%。ICT產品當中，半導體對全球終端電子產品節電的貢獻率將達28.4%左右。考量臺灣半導體產品對全球半導體的貢獻率達32.8%，臺灣半導體產業有助於全球節電約3,600億度，相當於全球總用電量的1.1%（參考圖3）。

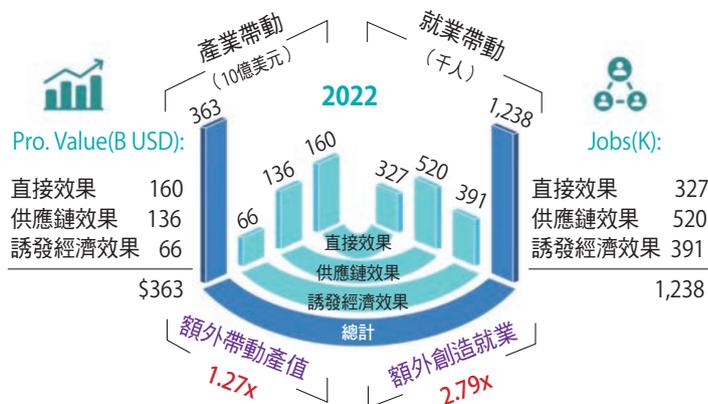
2030年前節約的3,600億度電當中，臺灣半導體終端產品預計將對全球節電發揮更大的影響力，智慧製造估計可節電22%（800億度）。半導體終端ICT產品可促進網宇實體系統的智慧製造應用、工業物聯網嵌入式系統生產技術、數據分析與雲端運算、3D列印、無人機與機器人技術等。

另以智慧運輸來看，臺灣半導體終端產品預計在2030年前有助於全球節電21%（760億度）。節能效益包括交通控制與優化（例如自動駕駛、自駕車、無人駕駛車）、聯網私人交通（例如汽車／路線共享、複合式運輸）、智慧物流（例如車隊管理和優化路線、數位倉庫、營運彈性）。

此外，台積電產品預計對全球節電裨益良多，智慧製造與智慧運輸預計合占節電量的43%，凸顯出臺灣半導體產品未來幾年對全球能源效率的潛在正面影響。

在全球政策方面，歐盟2050年淨零目標與碳邊境調整機制均是各界關注焦點。該機制針對範疇3溫室氣體排放徵收碳價，對象包括進口到歐盟的供應商、經銷商和產品使用，執行面不乏潛在考驗。

圖2：臺灣半導體產業的總營收和就業機會



資料來源：IEK Consulting，2024



資料來源：IEK Consulting，2024

圖3：臺灣半導體產業有助於全球節電



例如，臺灣半導體產業目前在國內製造和組裝產品或模組，再出口到海外品牌公司，可能會因碳邊境調整機制的碳稅而面臨額外的財務和社會負擔。部分人士呼籲，應該肯定半導體終端ICT產品對降低碳排與用電量的效益，可提供碳權或減少碳價。也就是說，跟特斯拉等相關產業有利於永續發展領域一樣，半導體對提升永續發展的貢獻亦值得受到認同，而ICT產品與相關供應商也因為對環境有正面影響，應該獲得一定比例的碳權。

鞏固半導體產業優勢

隨著氣候變遷的考驗日益急迫，綠色轉型亦在臺灣掀起聲浪，成為產業或企業打造競爭力的新典範。除了國家發展委員會發表「臺灣2050淨零排放路徑」，制定落實淨零轉型目標的行動計畫，國科會亦在2023年推動為期5年的晶片驅動臺灣產業創新方案—晶創臺灣方案，以期鞏固臺灣半導體產業的國際競爭優勢。晶創計畫旨在發揮臺灣在半導體製造與封裝的優勢，延伸到前端IC設計能力，進而將臺灣打造為國際IC設計重鎮。

晶創臺灣方案以IC設計作為國際創新引擎，重點部署幾項領域：如推動臺灣成為全球IC設計培育與创新中心；利用生成式AI技術，發展各行各業的創新解決方案；強化基礎環境，吸引全球人才；加速產業技術的創新，以及吸引國際新創團隊與投資機構來臺發展。

晶創臺灣方案期盼推動各行各業的產業創新，

包括智慧農業、智慧家庭、自駕車等與永續發展高度相關的領域。

發揮智慧臺灣價值

半導體產業在臺灣發展逾50年，不僅已是國內經濟的基石，更持續奠定臺灣在全球的主要夥伴地位，因此臺灣更有必要善用這項優勢，推動新的半導體技術與智慧型應用，提升產業價值與改善能源效率，進而協助全球降低碳排。

臺灣為有效協助全球朝淨零目標邁進，可從三大方向著手：第一，資源效率方面，掌握稀有資源如水與電力，是維持半導體產業競爭優勢的關鍵，而保持優異的資源使用效率指標，將有助於維持臺灣的地位；第二是綠電投資方面，評估多元綠電投資的可行性，包括評估綠電團購、綠電自建自發的長期合約；第三則是對全球永續發展的貢獻，掌握人工智慧和全球製造供應鏈的世界趨勢，是臺灣在下一階段貢獻全球永續發展的絕佳機會。來到後疫情時代，臺灣有機會成為全球韌性產業生態鏈中不可或缺的重要夥伴，加速數位化和永續發展雙軌轉型，並以多元化的科技、人文、創新應用和服務，發揮「智慧臺灣價值」，為世界勾勒更美好的未來。

臺灣半導體產業在節能行動扮演舉足輕重的角色，不僅要在強韌產業生態鏈中成為全球佼佼者，更要透過與全球夥伴的合作，展現對永續未來的承諾。■