



聯發科  
資深副總經理  
陸國宏

IC 產業未來 10 年的挑戰

# 陸國宏： 資料爆量成長引領IC產業創新

半導體是現代科技文明的基石，「2022國際超大型積體電路技術研討會」中，聯發科資深副總經理陸國宏以「IC產業未來10年面臨的技術挑戰」為題，分享在數據量爆炸、運算耗能、物理極限、及製程成本高漲等巨大挑戰下，半導體在運算、通訊、儲存及節能領域，仍有無窮的機會，有待業界勇於挑戰、持續創新。

口述／聯發科資深副總經理陸國宏 整理／林玉圓

日常生活中，大家早已習慣擁抱科技，手機、筆電、智慧連網，早已是不可或缺的一部分。不過，一直到美中貿易戰發生，全世界才赫然發現，原來IC與晶片技術已經無所不在，不可或缺。這當然要提及過去40至60年，摩爾定律帶來的科技進步，而摩爾定律之所以能持續進展，是歸

功於IC產業中各家公司的努力研發，才能讓人類生活不斷地創新提升。

在一年一度的VLSI盛會中，我謹代表聯發科，跟大家談談IC產業目前面對的挑戰。聯發科是領先全球的晶片及通訊公司，但要保持領先地位並不容易。看似微小的晶片，背後是從系統端到電



人們早已習慣擁抱科技生活，但美中貿易戰發生後，全世界才赫然發現，原來IC與晶片技術已經無所不在，不可或缺。

路端，必須在各個不同領域都能突破、創新，例如 Modem及Wi-Fi等無線通訊技術、運算技術、類比技術、RF射頻、AI人工智慧等，正因為長期投入，才造就今天聯發科在全球智慧手機、電視及其他市場都擁有高市占率。

### 全球半導體營收10年後將達1兆美元

全球半導體產業的前景光明，未來10年營收將持續成長至1兆美元，成長動能主要來自雲端及邊緣裝置。雲端包括資料中心、伺服器、連網設備、儲存設備；邊緣端也需要大量的運算能力、連網能力，近年被歸為元宇宙（Metaverse）概念的AR、VR、XR等技術，也少不了半導體。其他像是智慧家庭、個人行動通訊、資安、工業自動化、遠距教育與醫療、環保減碳、智慧金融、智慧運輸等，應用場景可說是無所不在，自然也帶動半導體產業大幅成長。

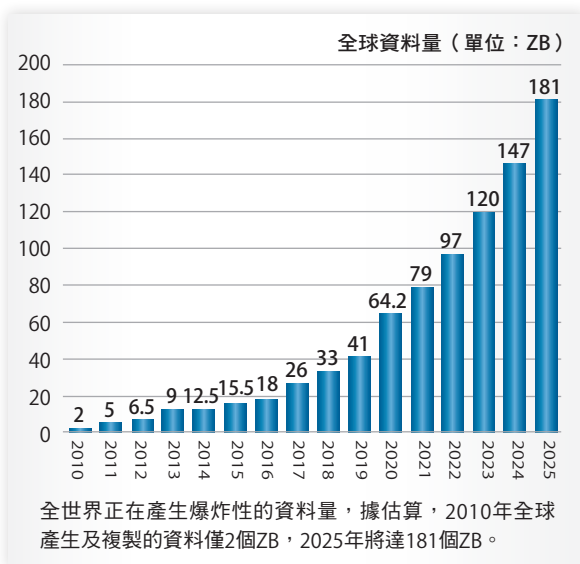
不過，充滿希望的同時也伴隨著挑戰。舉例來說，過去10年，AI人工智慧已被廣泛地應用，帶來

許多便利。然而，天下沒有白吃的午餐，AI不論是訓練模型或是推論應用，都消耗了極大的能源。

### 數據爆量 通訊與運算需求大增

當前我們面對最大的挑戰之一，就是「數據氾濫」（Data Deluge）。全世界正在產生爆炸性的資料量，根據估算，2010年全球產生及複製的資料量僅2個ZB（Zettabyte， $10^{21}$  Byte = 10億 Terabyte），2025年將達181個ZB；為了處理這麼大量的資料，需要更多運算效能，更多通訊傳輸頻寬和技術來搬運資料，這是我今天想跟大家分享的兩個重點。

在通訊傳輸的部分，過去幾10年，通訊標準不斷演進，乙太網路（Ethernet）、Wi-Fi、蜂巢式無線通訊（Cellular）都有長足進步，例如Wi-Fi目前已發展到Wi-Fi 7，未來不可避免地將與Cellular匯整，主要是兩者將使用類似的頻寬。在接下來10年的後5G，甚至6G時代，也必須進一步發展各種技術來滿足需求，例如：大規模多輸入多輸出天線（Massive MIMO）、自我干擾消除技術（Self-interference cancellation）、7GHz以上載波技術（Carrier Larger than 7GHz）、無線感測（Wireless sensing）、AI輔助技術 以及O-RAN的突破及生態系發展。





通訊傳輸的需求，主要來自於兩大面向：頻寬效能及功耗效能。大家一直擔心摩爾定律即將失效，但截至目前它仍持續運作；該擔心的恐怕是過去幾十年與摩爾定律共同引導半導體走向奈米時代的登納德定律（Dennard Scaling）（編按：電晶體尺寸縮小，功耗也等比例減少）已在2000年代初期即失效。換言之，過去我們能夠藉由尺寸微縮來減少能耗，如今此優勢已不復存在，降低能耗變得愈來愈困難。

其他的挑戰還包括：不論是CPU、GPU或AI處理器，其邏輯核心（Logical cores）數量也碰到瓶頸，主因是晶粒尺寸愈來愈大，限縮了散熱、封裝及導線連結（Interconnect）的可能性。

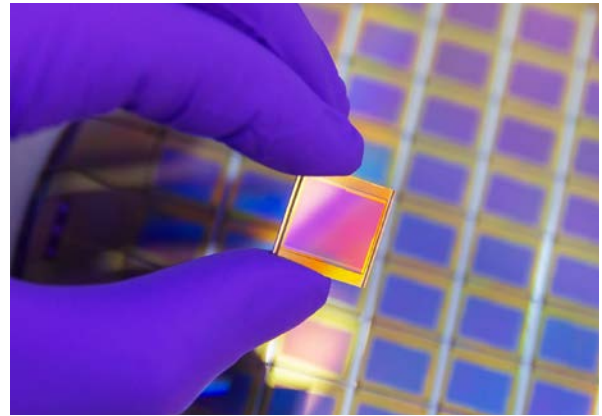
### 製程對 效能及功耗改善越來越有限

每一代晶片技術的演進，從一個節點走向下一個節點，都必須在功耗、性能、面積、成本四大領域求取平衡並提升效能，理論上如此，但實際執行起來，難度卻愈來愈高。

例如，當半導體製程技術每推進新一代，業界期待功耗至少改善3成，而且希望晶片面積縮小50%、性能提升2成、成本下降3成。光從功耗來看，假設電源頻率（Frequency）相同，面積減少了50%，理論上電容（Capacitance）也應減少50%，但實際上導線間的距離太近，電容難以減少，就成了功耗的瓶頸。

晶片效能也是，如果將能耗維持不變，理論上運算效能應可增加20%，但實際上卻遠低於預期。成本下降就更不用說，大家都知道晶圓製造的收費愈來愈貴，主要就是設備投資更龐大、光罩數量增加、製程時間拉長。半導體的成本高漲，甚至可能帶動了通貨膨脹。

為了處理爆炸性成長的資料量，IC產業不斷精進晶片的運算及通訊效能，同時還要改善能耗，然而能耗改善的速度卻不如預期，以目前全球能源產量的趨勢來看，很可能在2030年或2040年出現瓶頸，導致晶片在運算或通訊效能的成長曲線停滯。



晶圓製造的收費愈來愈貴，主要就是設備投資更龐大、光罩數量增加、製程時間拉長。

### 解決資料搬移耗能 記憶體內運算崛起

過去幾十年，計算架構普遍採用馮紐曼（Von Neumann）架構，也就是將資料儲存和資料運算分開，需要時再將資料遷移。而在近十年來AI運算興起時，此架構也被廣泛運用。然而AI運算，無論是訓練或推論，都牽涉大量的矩陣乘積與累加，過程中必須把將資料在記憶體和處理器之間遷移，其代價是很昂貴的，而且資料儲存離運算單元越遠，能量消耗更高；資料搬移的耗能，甚至比運算高出幾百倍，因此導致所謂的馮紐曼瓶頸。

這也是為什麼，大家開始將記憶和運算兩者靠攏，就是要解決資料搬移的瓶頸，目前已有數種架構改進方式，例如「近記憶體運算」（Computing Near-memory）「記憶體內運算」（Computing In-memory）的解決方案。根據測試，AI加速器或處理器若採用「記憶體內運算」架構，相較其他方案，單位耗能下的工作效率可大幅改善，達到每瓦兆次操作數量（TOPS/Watt）的高水準。可以預見，未來會有愈來愈多AI或機器學習的卷積神經網路仰賴「記憶體內運算」，但仍有些技術挑戰有待解決，包括占用更多晶片面積（Area Overhead）、神經網路模型必須調整以符合架構等等。

### 邊緣到雲端 高速連結催化先進技術

未來10年將愈來愈多科技產品問世，從邊緣到

雲端，都脫離不了通訊與連結。在邊緣端如手機、筆電、汽車及穿戴裝置，涉及類比與數位訊號的轉換；在雲端則包含資料中心與基礎建設，主要處理網路、運算與儲存等。雲端仰賴高品質的「數位對數位（Digital-to-Digital）」的連結，其中牽涉的傳輸技術許多有線連結（Wired Line），例如以記憶體DDR（Double Data Rate）連線、源同步時序協定（Source Synchronous）或高速串列與解串列通訊技術（SerDes）。

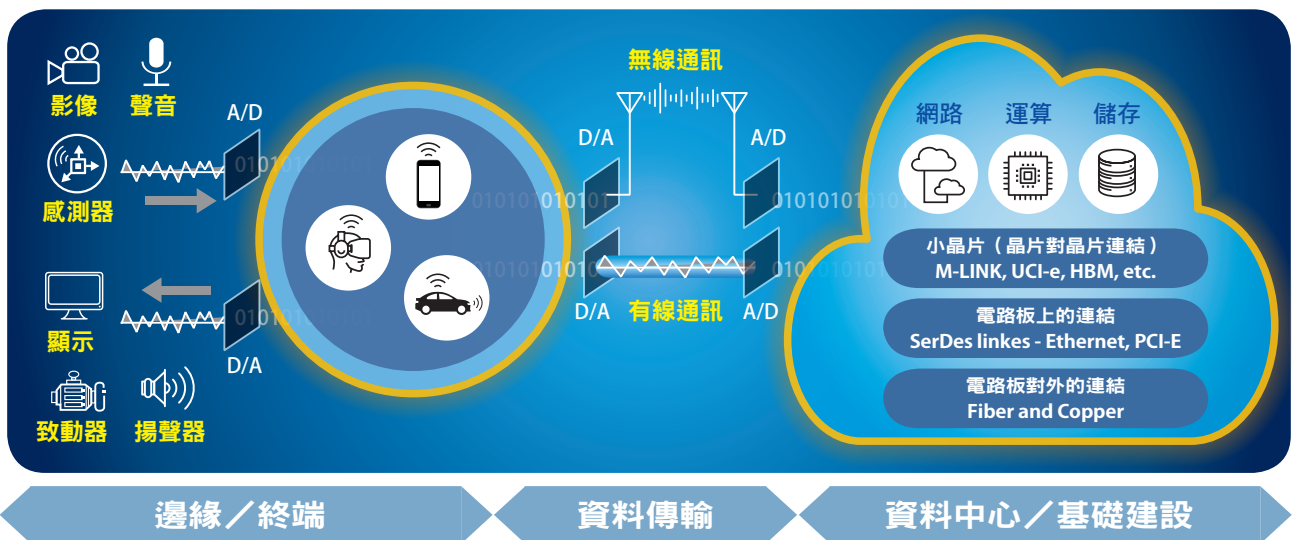
數位連結的方式會有三個層級：在晶片層級有小晶片技術（Chiplet）與晶片對晶片的連接，在此層級的資料傳輸協定，包括有聯發科專為資料中心打造的M-link、Intel的UCI-e，及大家熟知的高頻寬記憶體（HBM）；第二個層級是電路板上的連結（On Board），主要是透過SerDes技術，如Ethernet及PCI-E；三是電路板對外的連結（Off Board），採用光纖或銅線。

為滿足高速增長的資料與傳輸需求，必須發展出相應的架構或封裝技術。例如：同質及異質整合的先進封裝，如2.5D Si中介層（CoWoS）封裝、扇外型（InFO）封裝、3D堆疊封裝等等。此外，更進一步採光來做高速傳輸，為了有效整合光和電訊號，開發出所謂的矽光子元件，以及

「共同封裝光元件」（Co-packaged Optics）的封裝技術。這些領域也都還有技術上的挑戰必須面對，例如訊號的整合、異質材料的介面、散熱、製程變數等。

此外，還需要類比與數位（Analog-to-Digital）的資料轉換技術。由於真實世界多為類比訊號，唯有把類比訊號轉換為數位訊號，才便於進一步做處理、控制與傳輸。而處理完成的數位訊號，也需要轉為類比訊號，才能在真實世界產生各類物理訊號，讓人類感知，或以電磁波方式做通訊，數位與真實世界的訊息才能互通。尤其在無線網路通訊上，大量使用到資料轉換技術。如何達到極高速率、高性能，但同時兼顧能耗控制，成為重要的設計關鍵。此外，在通訊上，更可採用全數位大規模多輸入多輸出天線技術（Digital massive MIMO）等技術，善用天線陣列波束成型（Beam Forming）讓多個使用者終端同時通訊，讓通訊系統兼具彈性和效率。

總的來說，資料的爆炸性成長正引領IC產業全力開發創新的運算及通訊技術，雖然面對研發成本的高漲，以及物理極限上的門檻，但全球業者仍不斷投入關鍵領域，降低能耗同時提升性能，為追求更先進、便利、美好、智慧的生活而努力。■



未來10年將有愈來愈多科技產品問世，從邊緣到雲端，都脫離不了通訊與連結。邊緣端如手機、汽車及穿戴裝置，涉及類比與數位訊號（Digital-Analog）的轉換；雲端則包含資料中心與基礎建設，仰賴高品質的「數位對數位」連結。