

談 光通信與矽光子

驊達科技 程正孚 整理

光通訊與矽光子是現代與次世代的高速資料傳輸核心。光通訊利用「光」取代傳統銅線傳輸資料，大幅提升頻寬與距離；而矽光子是利用半導體製程，將傳統龐大的光學元件微縮至單一矽晶片上，藉此解決AI運算產生的功耗與傳輸瓶頸。

矽光子的運作原理

- **以光取代電**：傳統晶片靠電子在銅線裡移動來傳送資料，容易發熱且速度有極限；矽光子則是讓資料在晶片內的光波導（專屬光通道）中以光速傳遞。
- **結合半導體製程**：直接利用成熟的矽晶圓與半導體技術，把發光元件、調變器與接收器微縮並整合在同一片晶片上，兼具量產與成本優勢。

光通訊與矽光子兩者關聯與技術差異

- **光通訊 (Optical Communications)**：是一種通訊方式。它透過雷射將電子訊號轉為光訊號，在光纖中傳遞，到達目的地後

再轉回電訊號。傳統光通訊模組體積較大且零散，廣泛應用於網際網路骨幹、資料中心與5G基礎設施。

- **矽光子 (Silicon Photonics)**：是一種元件製造技術。隨著AI算力爆發，傳統銅導線在傳輸高速（如1.6T）訊號時會面臨訊號衰減與散熱問題。矽光子將光調變器、光波導、探測器等光學元件，直接做在半導體矽晶圓上，讓運算晶片能直接「以光速傳光」，達到極高速、低延遲與低能耗。

為什麼矽光子成為當前焦點？

隨著ChatGPT等大型語言模型與AI資料中心發展，資料傳輸量呈指數級成長。

1. **解決能耗與廢熱**：傳統電訊號傳輸距離越長、耗電量越高且產生大量廢熱；光訊號則幾乎無阻抗耗損，能大幅降低資料中心冷卻成本。
2. **突破銅線極限**：當交換器頻寬邁向1.6T甚至3.2T時，傳統銅線傳輸極短距離就會衰減，以光代電成為唯一解方。



3. CPO技術革新：業界將焦點轉向CPO（共封裝光學），直接將光引擎（光子晶片）與運算晶片（CPU/GPU）封裝在同一個基板上，大幅縮短電訊號路徑。

矽光子主要優勢

- 速度極快：光訊號的頻寬與頻率遠高於電訊號，能容納極大流量的資料。
- 省電低熱耗：光在傳輸時的能量耗損與發熱量比電子低非常多，能大幅降低資料中心的空調與電力負擔。
- 體積小巧：高度集成化省去了大型外部光學元件的空間。

應用領域與趨勢

- AI 資料中心：用來改善伺服器與GPU之間因資料量過大而產生的延遲與塞車問題。
- CPO 共同封裝光學：將電子晶片與光子晶片緊密封裝在同一個載板上，縮短傳輸距離。
- 其他應用：自動駕駛的光達（LiDAR）感測器、高效能計算（HPC）及醫療檢測設備。

矽光子晶片運作流程拆解

矽光子晶片的運作流程可分為「訊號轉換、光訊號傳輸、訊號接收」三個階段，透過光與電之間的轉換機制完成資料傳遞：

1. 訊號轉換：將電子訊號轉換為光訊號

資料在電腦、伺服器或網路設備中原本是以電子訊號形式存在。當資料需要進行高速傳輸時，系統會先由雷射器產生穩定光源，再透過調變器將電子訊號載入光波之中，使原本的電訊號轉換為可供傳輸的光訊號。

2. 光訊號傳輸：透過光波導傳遞資料

完成轉換後，光訊號會進入矽光子晶片內部的光波導結構中傳輸。如同前文所述，由於矽與二氧化矽之間具有明顯的折射率差異，光線因全反射的原理被侷限於特定路徑內前進，這些光波導路徑如同晶片中的「光學高速公路」，能夠將資料快速傳送至指定位置。

3. 訊號接收：將光訊號轉回電子訊號

當光訊號抵達接收端後，光檢測器會將接收到的光能轉換回電子訊號，使資料能重新被處理器、交換器或其他運算元件讀取與運算，至此便完成一次完整的資料傳輸流程。

矽光子如何改造封裝邏輯？CPO技術介紹

因應傳統電子傳輸架構在功耗、延遲與訊號損耗等方面的限制，為了讓資料能更有效率地在晶片之間流動，產業開發出應用了矽光子技術的CPO（Co-Packaged Optics，共同封裝光學）的封裝方式。

（一）傳統封裝是什麼？晶片與光模組分開運作的架構

在傳統高速資料傳輸架構中，運算晶片與光通訊模組通常採取分開封裝的方式。晶片主要負責資料運算與處理，而光模組則負責電訊號與光訊號之間的轉換與收發功能，並透過光纖與其他設備進行高速資料傳輸。整體流程通常是由晶片先完成運算，再經由封裝基板與電路板將資料傳送至外部光模組，最後才進入光通訊階段。

這種架構已發展多年，技術成熟而且應用廣泛。然而，由於晶片與光模組之間仍需透過電子訊號進行傳輸，資料必須經過高速I/O、SerDes與電路板走線後才能轉換成光訊號。隨著AI運算規模與資料傳輸需求持續成



長，這段電子傳輸路徑逐漸成為系統瓶頸，不僅會增加訊號損耗與功耗，也可能提高傳輸延遲，進而限制整體系統效能。

（二）CPO如何改變傳統封裝？矽光子在其中扮演什麼角色？

為了解決晶片與光模組之間電子傳輸路徑過長的問題，CPO逐漸成為新一代封裝技術方向。CPO的核心概念，是將原本獨立設置的光通訊模組直接整合到運算晶片封裝內或封裝附近，讓資料能更快從晶片端進入光傳輸流程，縮短電子傳輸距離並減少中間損耗。

而在這種架構中，矽光子則扮演關鍵技術角色。矽光子可透過矽基半導體製程，將光波導、調變器與光檢測器等光學元件微型化並整合進晶片平台中，使光學元件與電子元件能共同封裝與協同運作。簡單來說，CPO是封裝方式的升級，而矽光子則是支撐這種升級的重要技術基礎。

資料來自 維基百科、

<https://www.sinotrade.com.tw>

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw>

<https://www.teema.org.tw/industry-information-detail.aspx?inoid=47153>

<https://www.google.com/search?q=aaoi+%E5%85%89%E9%80%9A%E8%A8%8A>

<https://www.pocket.tw/school/report/perspective/7367/#section-1>

<https://gi-techie.com/what-is-silicon-photonics/>

