

CPO 共封裝光學：光學元件全解析

從外部光源到光纖 I/O，逐一拆解 FBG · WDCM · MLA 等關鍵光被動/主動元件
與台股供應鏈

2026-06-05

CPO 的投資重點，不只是把交換晶片與光引擎放近，而是把價值鏈從長距離銅通道與 DSP，重新分配到一整排精密光學元件、封裝耦合與測試能力。

1. 導讀：為何做元件級拆解

CPO（共封裝光學）把光子引擎與 compute/switch ASIC 放在同一個封裝中，目的在於消除 SerDes 長距離銅通道損耗，降低功耗與延遲，支援 AI datacenter 從 800G、1.6T 繼續擴張到 12.8T 以上的交換頻寬。

但先進封裝熱密度可能高於 4,000W，雷射無法長時間靠近熱源穩定工作，因此外部光源（ELS）不是選配，而是物理限制下的必要架構。這也讓 FBG、光隔離器、PM 光纖、MLA、WDM、PBS、FAU、MPO/MT 插芯與接收端 PD/TIA 等元件變成新的價值節點。

可以用一條光路記憶 CPO：外部 CW 雷射 → FBG 鎖波長 → 光隔離器 → PM 光纖 → MLA 微透鏡耦合 → 進入 PIC 並由 MRM/MZM/EAM 調變 → WDM 合波 → PBS 偏振管理 → FAU 光纖陣列介面 → MPO/MT 插芯與 MCF 出機櫃 → 接收端 PD/TIA。

尺度感：人類頭髮約 70 μ m；SMF 單模光纖核心約 9 μ m；MT 插芯孔位精度要求小於 0.5 μ m；FAU 對準容許約 3.8 μ m，約為 SMF 核心的 42%；MRM 微環約 10–20 μ m，MZM 約 1–3mm。

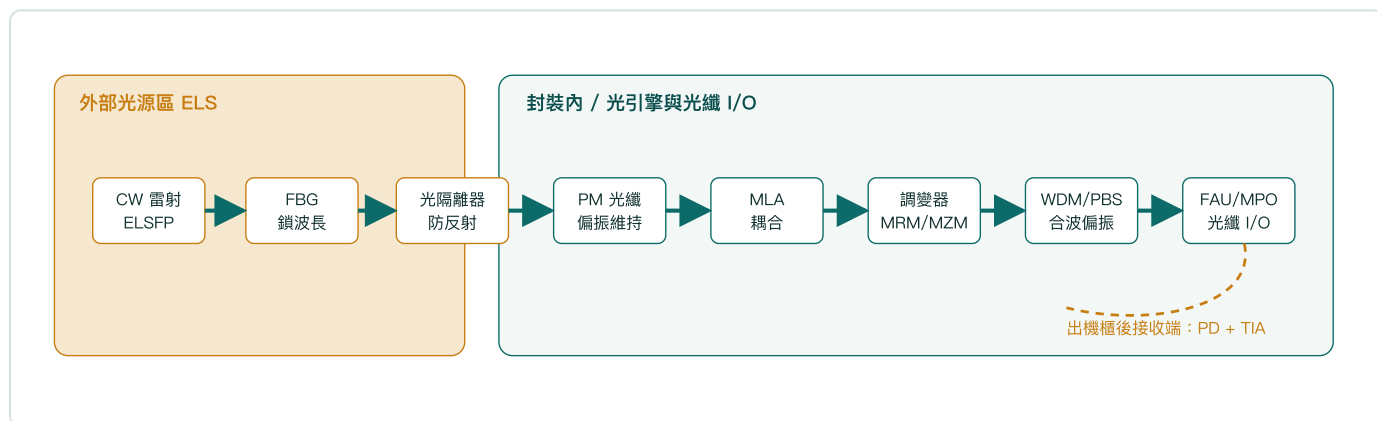


圖1 CPO 光引擎光路與元件位置（本研究自繪）

2. 元件逐項拆解

外部光源 ELS / ELSFP

把高熱封裝外的穩定連續光送入矽光子系統

CW 雷射作為矽光子/CPO 的外部光源；EML 把雷射與調變器整合，偏向長距離 1.6T；VCSEL 具低成本短距優勢；Comb Laser 可由單一元件輸出多個等間距波長，提高高密度 WDM 效率。ELSFP 則是把外部光源做成可部署於封裝外的模組。

關鍵性：CPO 熱密度要求雷射外移。簡報給定供應在 2026 年偏緊，估計 2028 年下半年才可能平衡。

供應鏈：磊晶：聯亞(3081)、全新(2455)；III–V foundry：穩懋(3105)；國際：Lumentum、Coherent；ELSFP 模組：鴻海(2317)、光聖(6442)。

FBG 光纖布拉格光柵

用光纖內週期光柵把雷射波長鎖住

FBG 由 UV 雷射在光纖核心寫入週期折射率光柵，反射特定波長 $\lambda_B = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda$ ，並與雷射形成外部腔，以鎖定波長並收窄線寬。熱漂移約 $10\text{pm}/^\circ\text{C}$ ；CPO ELS 場景使用 PM-FBG。

關鍵性：密集 WDM 通道間距小，波長飄移會造成串擾，需壓到 $<-20\text{dB}$ ；PM-FBG 的 UV 寫入產能稀缺。

供應鏈：波若威(3163)切入 FBG wavelength locker；國際 Coherent 與光庫主導 PM-FBG，產能集中。

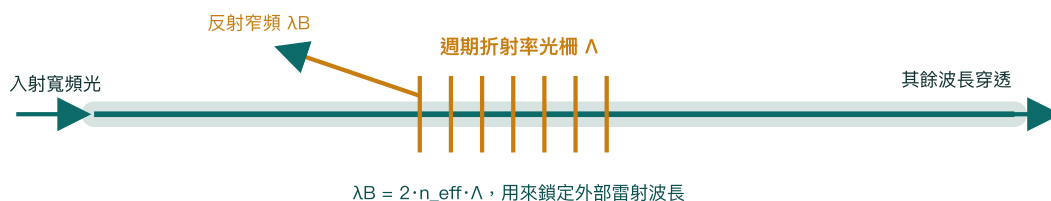


圖2 FBG 波長鎖定原理（本研究自繪）

光隔離器 Optical Isolator

讓光只往前走，避免反射擾動雷射

光隔離器利用 Faraday 磁光 45° 非互易旋轉搭配偏振片，使正向光通過、反向光被阻擋，避免背反射造成雷射雜訊、線寬變寬或損傷。典型隔離度 $>30-40\text{dB}$ ，CPO 使用 PM isolator。

供應鏈：波若威(3163)、昇達科(3491)；TGG/garnet 等磁光晶體主要由國際供應商掌握。

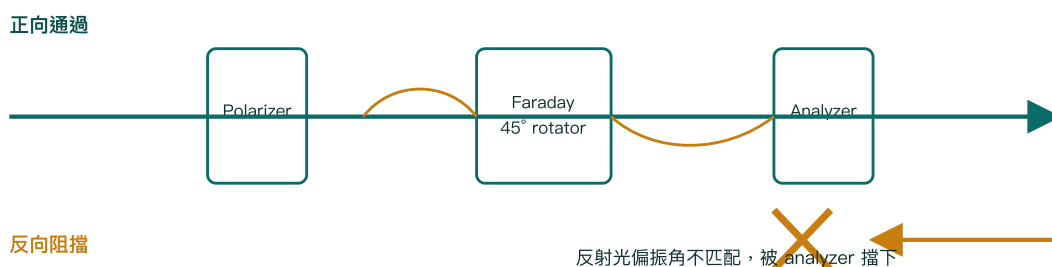


圖3 光隔離器正向通過與反向阻擋（本研究自繪）

MLA 微透鏡陣列 (含 Meta-lens / Si microlens)

把發散光束準直、整形並耦合到光纖或波導

MLA 是奈米/微米尺度透鏡陣列，負責把 EML/VCSEL 發散光束準直與整形，再以最低插入損耗耦合到光纖或矽光子波導。Meta-lens 用半導體平面製程取代 3D 玻璃透鏡，利於 wafer-level 2D 對準；合聖方案給定容忍度為 $\pm 18\mu\text{m}$ 。

關鍵性： MLA 是 CPO iFAU/D-FAU 對準核心，wafer-level 量產良率直接決定成本。

供應鏈： 采鈺(6789) WLO microlens/Meta-lens；奇景 Himax 供應 NIL microlens；上詮(3363)整合；大立光(3008)具精密與模造玻璃鏡片潛力。

調變器 Modulator (MZM/EAM/MRM)

把電訊號寫到光上

調變器將電訊號轉成光強度、相位或吸收變化。MZM (Mach-Zehnder) 尺寸約 1–3mm，線性度最佳、成熟度最高；EAM 約 50–100 μm ，但需要溫控；MRM 微環約 10–20 μm ，面積最小但熱敏感。NVIDIA Spectrum-X CPO 使用 MRM。

供應鏈： 主要由國際廠掌握：Broadcom/Intel/Marvell 偏 MZM，NVIDIA/AyarLabs 偏 EAM，Coherent/Lumentum 偏 MRM；台灣廠可由矽光子封裝與測試切入。

WDM / WDCM 合分波 + TFF 薄膜濾光片

把多個波長合進一條光纖，再在接收端拆開

WDM 在發射端把多個波長 MUX 到單一光纖，在接收端 DEMUX 拆分；核心元件是 TFF 薄膜濾光片，通道隔離約 -25 到 -30dB。本報告的 WDCM 指波若威式 compact WDM mux/demux coupling module，且涵蓋 2xFR4 長距應用；在泵浦或長途傳輸語境下，WDCM 有時指 CFBG/TDCM 色散補償，需區分。

供應鏈： 波若威(3163) compact WDM/WDCM；統新(6426)高階 TFF，簡報給定 0.1pm 解析度與零熱漂移，並由 LED 轉向 800G/1.6T；東典(6588) TFF。

PBS / PBC 偏振分光

管理 TE/TM 偏振路徑，降低矽光子偏振敏感風險

PBS 將光依偏振拆成正交 TE/TM 路徑，PBC 再將其合回。矽光子波導對偏振高度敏感，需要 polarization diversity 來穩定傳輸損耗。

供應鏈： 東典(6588) TFF/PBS/PBC；波若威(3163)被動濾波器。

FAU 光纖陣列 + 耦合 (Grating/Edge Coupler)

光進出 PIC 的微米級實體介面

FAU 將多條 SMF 固定在約 80–100 μm 間距，是光進出 PIC 的介面；對準容許約 3.8 μm ，約為 SMF 核心的 42%。Grating Coupler 垂直耦合、可晶圓級測試但插入損耗較高；Edge Coupler 水平耦合、插入損耗可低於 1dB，但需要次微米對準。

iFAU 是 TSMC 整合式方案，給定 $\pm 10\mu\text{m}/0.3\text{dB}$ ；D-FAU 為可拆式，合聖 Meta-lens 方案給定 $\pm 18\mu\text{m}$ 。

供應鏈：上詮(3363)、光聖(6442) FAU；采鈺(6789) WLO；合聖 Meta-lens；設備：旺矽(6223) active alignment。

MT 插芯 / MPO 連接器 + MCF 多芯光纖

Scale-out 大量消耗、也是全球隱性瓶頸

MT (Mechanical Transfer) 插芯是 MPO/MTP 多芯光纖連接器內的超高精度塑膠射出件，常見 12/16/24 孔導引，孔位精度要求小於 0.5 μm 。MCF 則把 4/7 條以上光纖核心放在單一 125 μm 包層內，以空間分工 SDM 放大容量而不增加體積。

瓶頸：800G/1.6T parallel optics 使 MPO/MT 需求幾何級增加，例如 DR8 需要 16 條平行光纖。高階 16/24-core、0.5 μm 精度射出成形難度極高，國際領先廠擴產慢，形成「有單沒料」的全球瓶頸。

供應鏈：US Conec 據簡報約占高階 60%，MT Elite 專利與缺料來源；Hakusan 白山精度高，2026 擴產 +30%；太辰光(300570)自有 MT ferrule 量產承接份額轉移；正崴(2392) 800G MT-MT Cable 突破；波若威(3163) OIN/MPO jumpers 受插芯短缺影響交期拉長；Fiber/MCF：Corning、Sumitomo Electric。

接收端 PD + TIA

把弱光轉回可處理的電訊號

PD photodiode 將光轉為電流；TIA transimpedance amplifier 將微弱光電流放大。簡報提到 CPO receiver OE content 中 TIA+EQ 的美元數值，但原始數字缺漏，標記為待核對。

供應鏈：PD：聯亞、全新、穩懋；TIA+EQ：譜瑞-KY(4966)。

3. Scale-up vs Scale-out 場景

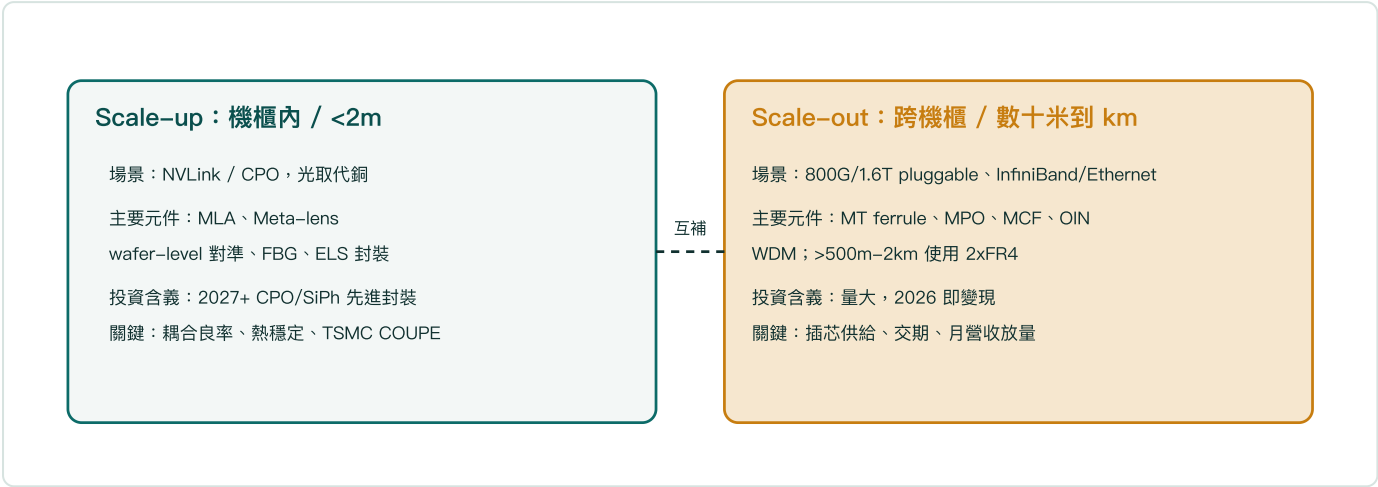


圖4 Scale-up 與 Scale-out 元件分布（本研究自繪）

場景	距離 / 架構	主要元件	投資解讀
Scale-up	機櫃內、<2m、NVLink/CPO	MLA、Meta-lens wafer-level alignment、FBG 外部光源封裝	未來主戰場；光逐步取代銅，重點在 CPO/SiPh 封裝良率。
Scale-out	跨機櫃、數十米到 km、800G/1.6T pluggable、InfiniBand/Ethernet	MT ferrule、MCF、OIN、WDM；>500m–2km 使用 2xFR4	目前變現引擎，消耗量大，受插芯與連接器供給制約。

4. 供需缺口與瓶頸

- MT ferrule 形成「有單沒料」：US Conec 約 60% 高階寡占，Hakusan 2026 擴產 +30%，太辰光與正崙承接份額移轉。
- PM-FBG UV 寫入產能稀缺，Coherent 與光庫等產能集中。
- 雷射、MLA、FBG 的奈米級耦合封裝良率低，是 CPO 外部光源的核心落差。
- CW/EML 供需到 2027 年仍偏緊，估計 2028 年下半年平衡。
- 封裝翹曲最高可達 0.6mm；WDM 串擾需 <−20dB；單一缺陷可能破壞整個封裝。
- 市場規模：Yole（元大引用）估全球 CPO 2024 約 4,600 萬美元，2030 約 81 億美元，CAGR 約 76%。

5. 台股供應鏈總表

環節	台廠(代號)	角色	觀察點
雷射磊晶	聯亞(3081)、全新(2455)	PD/雷射磊晶與 III-V 材料鏈	CW/EML 供需、客戶認證、長距規格轉換。
III-V foundry	穩懋(3105)	III-V 製造平台	矽光子相關元件代工與封裝測試連動。
FAU / 耦合	上詮(3363)、光聖(6442)	FAU、光纖陣列與耦合整合	iFAU/D-FAU 導入、CPO 客戶節點。
MLA / Meta-lens	采鈺(6789)、大立光(3008)	WLO、Meta-lens、精密鏡片潛力	wafer-level 良率、TSMC COUPE 進度。
TFF / WDM / FBG / 隔離器 / PBS	波若威(3163)、統新(6426)、東典(6588)、昇達科(3491)	被動光元件、濾波、合分波、隔離與偏振	800G/1.6T 訂單、PM-FBG 產能、TFF 良率與交期。
MT 插芯 / 連接器	正崴(2392)、湧德(3689)、波若威(3163)	MPO/MT cable、OIN/MPO jumpers、連接器鏈	插芯短缺、交期、月營收是否放量。
CPO 測試設備	旺矽(6223)、穎崴(6515)、致茂(2360)	active alignment、socket、OE 光測	CPO Insertion 2/3、HyperSocket、光電測試訂單。
TIA / EQ	譜瑞-KY(4966)	接收端類比 IC	TIA+EQ 內容價值待核對，觀察 CPO OE 設計導入。

6. 投資分層

變現期：Scale-out 800G 波若威、正崴、太辰光、湧德。受 datacenter rollout 帶動，重點在出貨量、交期與月營收爬坡。	技術溢價：CPO/SiPh 先進封裝 上詮、采鈺。2027+ TSMC COUPE ramp 是催化劑，門檻高但估值也容易提前反映。
設備：高確定訂單 旺矽 CPO Insertion 2/3、穎崴 HyperSocket、致茂 OE optical test，受益於測試與對準需求。FAU 耦合對位機台：高明鐵、萬潤、惠特。	類比 IC 譜瑞-KY 受惠 TIA+EQ，但 CPO OE content 的具體美元數值在簡報中缺漏，需待核對。

財報判讀需分離「本業營益」與「處分投資業外」。例如波若威 2026Q1 毛利率 18.8%，但稅後淨利率 37.2%，主因約 NT\$M 處分上詮持股收益，金額待核對；後續應觀察月營收是否突破 3–4 億，以驗證 800G 放量。

7. 結論與反證

結論：CPO 將價值由「銅線 + DSP」轉向「一整排精密被動/主動光學元件」。台灣供應鏈橫跨 FAU、MLA、TFF、WDM、FBG、連接器與測試；2026 年主要變現在 Scale-out 被動元件，2027 年以後才是 CPO/SiPh 先進封裝的爆發段。

反證與風險：CPO 真正量產是 2027+ ramp，不是 2026 年全面事件；純 CPO 敘事可能高估進度並低估雷射可靠度、PM-FBG/耦合良率、液冷維護與現場可服務性；448G PAM4/6/8 與波長規劃尚未收斂；pluggable 至 2031 年仍可能是主流，CPO 只替代特定區段。