光通訊散熱

從氣冷天花板到雷射溫控與 CPO 熱域：熱，是光互連路線選擇的主變數

報告日期：2026–10–20

資料基礎：OCP Global Summit 2026（2026–10–12 至 15 日）的 TE、立訊、鴻騰 FIT、貿聯、Meta、緯穎、Ayar Labs、Lumentum、Nokia、Micas、Marvell 等簡報；毅嘉 2402、正凌 8147、奇鋐 3017 等台廠法說與券商報告（2026–06 至 2026–10）；以及 2026–10–20 補查的公開網頁（廠商官網、TrendForce、Celestica、產業社群「艾邦」）。

讀法說明：「廠商自述」指廠商簡報或法說自己提供、未經第三方驗證的數字；「模擬」「台架」「實測」分別標明；「傳聞」指社群貼文或轉述；「一般物理常識」指非本次引用某一來源、屬教科書級常識。台廠進度一律分成「有訂單 / 送樣・小量 / 展示・開發 / 非散熱廠」，不把展示或 logo 寫成訂單。本報告為研究整理，不構成投資建議，亦不提供買賣建議或目標價。

0　一頁重點

七個結論（整體信心：中）

1. **氣冷可插拔模組有一道約 35W 的天花板。**TE 在 OCP 2026 的簡報寫明「高於 35W 的光模組從未以氣冷出貨」；1.6T 可插拔約 30W 已貼牆，3.2T 業界估 40–60W 越牆。熱，不是頻寬，是下一代光互連長什麼樣子的主變數。
2. **產業有三條出路，且同時在走。**(a) 可插拔加液冷延壽：cage 外冷板（35–50W）、模組內直液冷（120–500W）、XPO；(b) 降功耗架構：LPO、NPO、CPO，把每 bit 的能耗往下壓；(c) 雷射外移（ELS）：把最怕熱的雷射搬離 ASIC 熱區。
3. **雷射溫控（TEC）是唯一不論走哪條路都會量增的元件。**可插拔 EML 模組內有 TEC（800G 約 1.5 片、1.6T 約 2.5–4 片，艾邦推估）；ELS 每顆 ELSFP 內建 Dual-TEC。但供給集中在日本 Ferrotec 與 KELK（合計約 70–80%）與中國新廠，**台灣查無量產光通訊 Micro-TEC 廠**，台廠缺位。
4. **CPO 放量會把散熱價值從「模組端」搬到「交換器端」。**模組外殼與散熱片廠（如毅嘉）是可插拔延壽的受惠者、CPO 的被替代者；交換器冷板（如奇鋐）、晶片端均熱片（如健策）、讓光引擎可維修的 socket（如嘉澤、嘉基）則是 CPO / NPO 的受惠環節。
5. **CPO 的熱問題不是「燙」，而是「兩個熱域」。**ASIC 與光引擎要同冷板、彼此溫差 <4°C；雷射則要 50±1°C 的窄溫窗。Marvell 實測顯示光引擎放有機載板，XPU 滿載 PIC 只升溫 <5°C，放矽中介層升約 25°C，封裝結構決定熱串擾。
6. **誰真的有訂單？證據很薄。**毅嘉 2402：4 個 800G 光模組散熱外殼案已量產（公司法說自述，客戶未具名）；正淩 8147：XPO 液冷模組，廠商自述拿到美國大廠訂單、2H26 小量。其餘（奇鋐、貿聯、立訊、鴻騰 FIT、緯穎、健策）皆為展示、台架、模擬或間接受惠，沒有可驗證的光模組散熱訂單金額。
7. **最大的不確定是時程與路線：**XPO 僅 Arista 主導、Microsoft 只說「探索」、無部署時點；CPO 量產時程在 NVIDIA 口述（已量產）與 SemiAnalysis（2026-06-08，延遲）間分歧；LPO 或低功耗 DSP 若讓 1.6T 留在氣冷，液冷光模組的需求就會往後推。

讀這份報告的方法：第 1 章看熱從哪來，第 2 章看雷射為什麼怕熱（TEC），第 3 章看可插拔怎麼延壽，第 4 章看 CPO / NPO 的熱域，第 5 章是全文最重要的推論（散熱價值如何在世代間移轉），第 6 章是台股與海外對照表，第 7 章是驗證清單與反證，第 8 章交代來源與信心。

1　光模組的熱從哪裡來

一個 1.6T OSFP 光模組大約只有一支小型 USB 隨身碟的大小，卻要在幾十瓦的功耗下維持雷射與接收器的溫度。庫內彙整 Broadcom 引用的 1.6T 模組功耗拆解（永豐智璞專家分享會，2026-09-21）：

元件	功耗	占比	備註
DSP / SerDes	10—14W	約 50%	元大（2026-09-21）：DSP 約占模組功耗一半；TE 預測 DSP 熱通量 100W/cm² 以上
驅動 / 調變	4—6W	約 20%	
TIA＋PD（接收端）	2—3W	約 12%	
電源	2—3W	—	
合計	約 20—28W	—	規格上限：OSFP1600 為 30W、OSFP-XD 為 40W

雷射與 TEC 的功耗沒有可靠的單項公開數字（網路查證中 agy 引用的「TEC 約占 8—15%」未經驗證，本報告不採用）。DSP 之所以是熱的主角，是因為它的熱通量高：100W/cm² 以上，TE 的簡報特別註明這比大多數 CPU 還高。

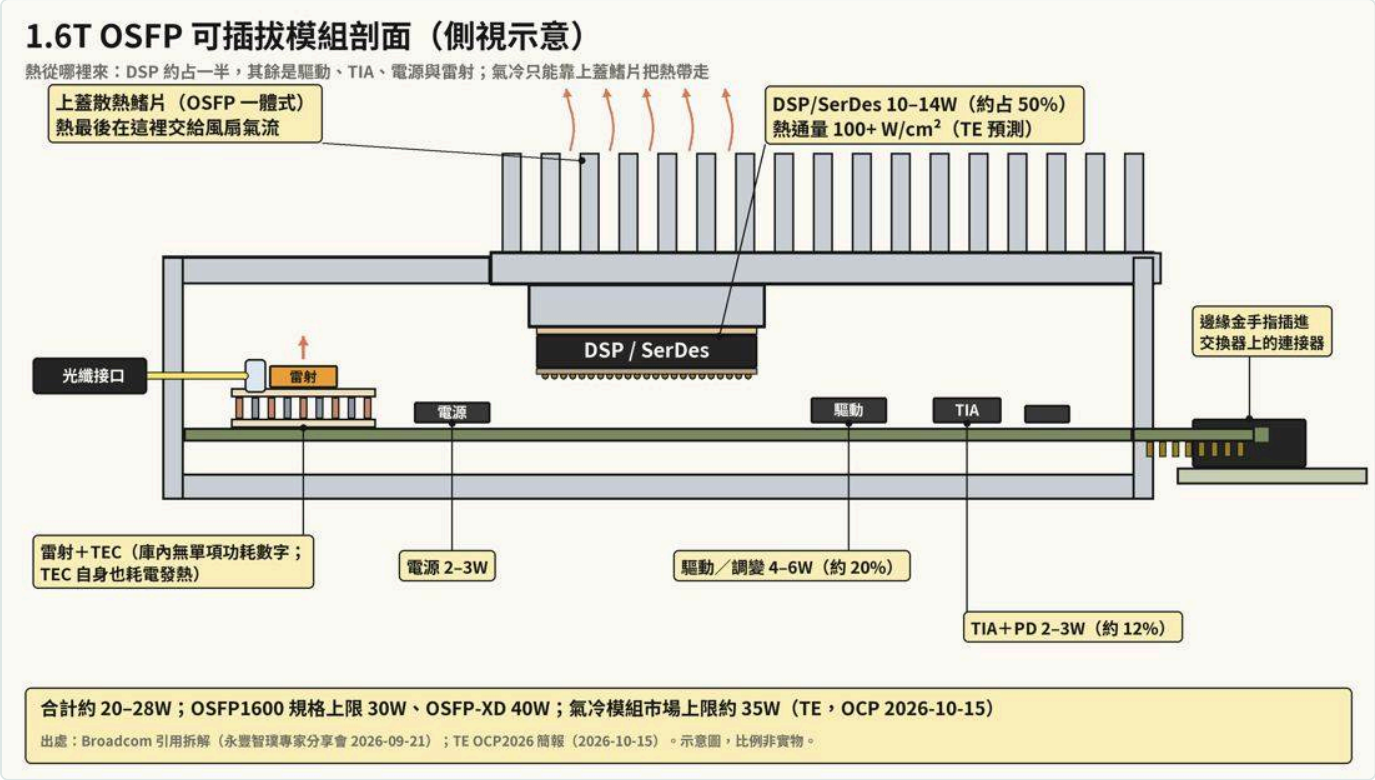


圖 1：1.6T OSFP 可插拔模組剖面（自繪示意）。由左到右：光纖接口、雷射晶片坐在 TEC 三明治上、電源、DSP（經一塊導熱塊與 TIM 頂到上蓋）、驅動與 TIA，右側金手指插入交換器連接器。DSP 的熱經導熱塊進入上蓋鰭片，最後交給風扇氣流。標註功耗取自 Broadcom 引用拆解與 TE 簡報；比例非實物。

為什麼 35W 是氣冷的天花板

TE 在 OCP 2026 的簡報（2026-10-15）把問題講得很直接：每條通道的功率從 56G 到 448G 增加 5 倍（1.5W 增至 7.5W）；現有氣冷 riding heat sink 約只能處理 25—35W；「高於 35W 的線沒有任何光模組以

氣冷出貨過」。同一場簡報還提出面板層級的壓力：同一個 19 吋機櫃、同樣 32 個埠，1RU 前面板的總熱量從 56G 世代的 0.4kW，到 224G 的 0.9kW，再到 448G 的 1.9kW。

世代（每埠）	模組 TDP	冷卻方式	來源與性質
56G × 8 線	12W	氣冷	TE，2026–10–15（出貨值）
112G × 8 線（800G）	16W	氣冷	TE，同上
224G × 8 線（1.6T）	27W（TE）；約 25–30W（元大、Broadcom 引用）	TE 稱「已有液冷出貨」；一般仍為氣冷貼牆	TE；OSFP1600 上限 30W
3.2T（口徑不一）	業界估 40–60W；TE 圖上 16 線×224G 的 3.2T 點約 40W 上下（讀圖估值）	超過 OSFP-XD 40W 上限，需 cage 冷板或模組內液冷	庫內彙整（業界典型）；TE 圖
448G × 8 / 16 / 32 / 64 線	70 / 120 / 250 / 500W	16 線以上必須模組內直液冷	TE「預測值」，尚無產品

資料矛盾：3.2T 的功耗沒有第三方原始出處。TE 以 448G×8 線為 70W、以 224G×16 線的 3.2T 為約 40W；庫內另有「40–60W」的業界說法。本報告三者並列，不下單一結論（網路查證未能取得 MSA 或廠商 datasheet 原文）。

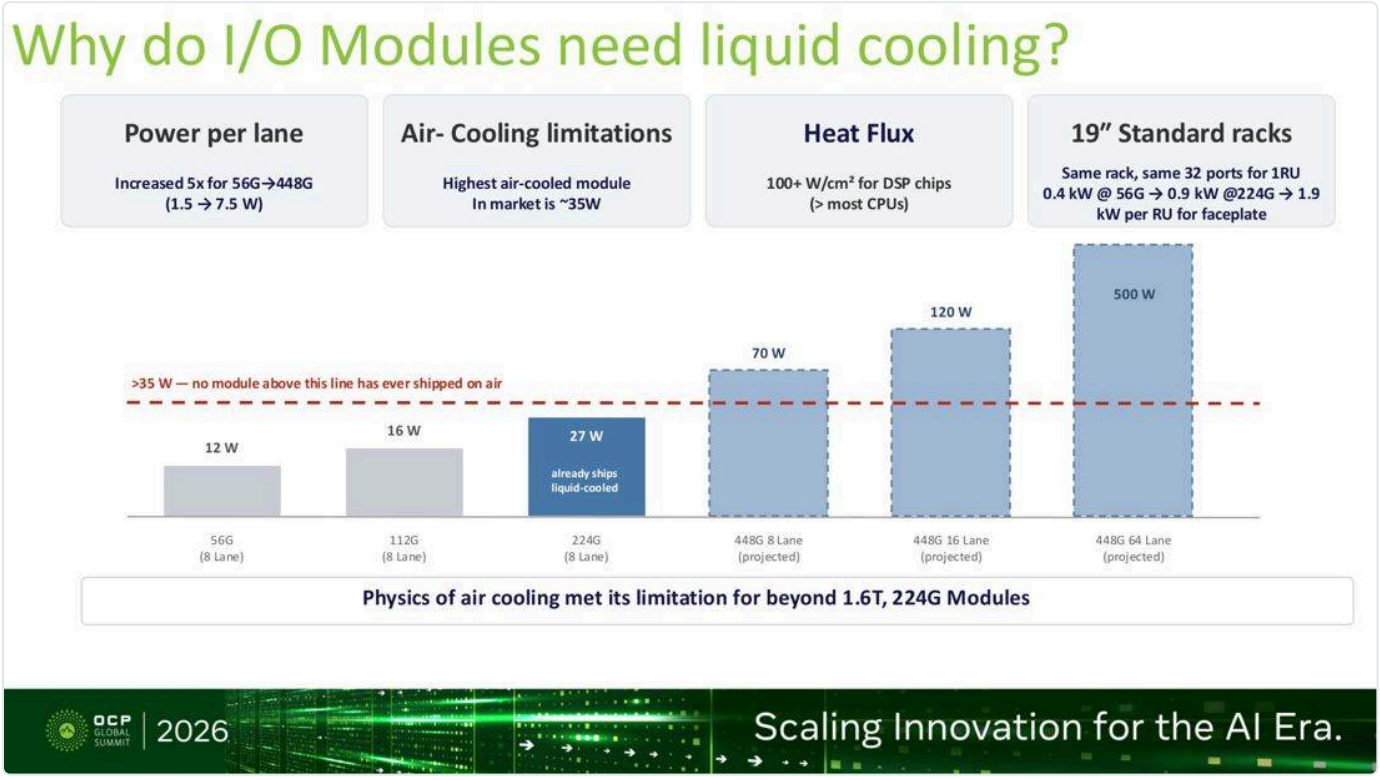


圖 2：為什麼光模組需要液冷（TE）。上排四格依序為：每線功率 56G→448G 增加 5 倍（1.5→7.5W）、氣冷模組市場上限約 35W、DSP 熱通量 100W/cm² 以上、1RU 面板由 0.4kW 增至 0.9kW 再到 1.9kW。下方長條圖：56G 12W、112G 16W、224G 27W（標註「已有液冷出貨」），448G 的 8 / 16 / 64 線預測 70 / 120 / 500W，紅色虛線寫著「超過 35W 的模組從未以氣冷出貨」。來源：TE Connectivity，OCP Global Summit 2026，2026–10–15。

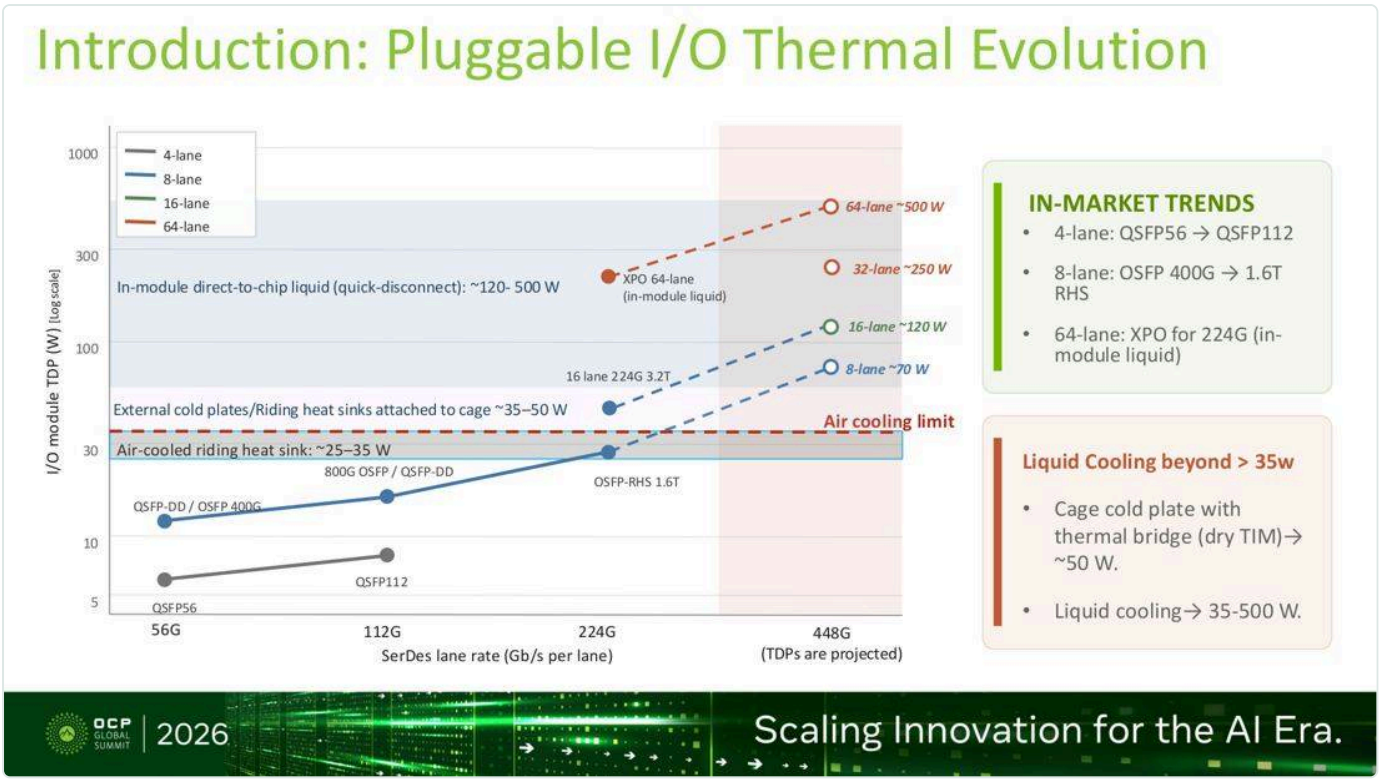


圖 3：可插拔 I/O 的熱演進（TE，對數軸）。橫軸為每線 SerDes 速率（56G / 112G / 224G / 448G），縱軸為模組 TDP（5 至 1,000W）。紅色虛線標示約 30–35W 的氣冷上限；色帶分三區：氣冷 riding heat sink 約 25–35W、cage 外冷板或 riding heatsink 約 35–50W、模組內直液冷（快接）約 120–500W。448G 的預測點為 8 線約 70W、16 線約 120W、32 線約 250W、64 線約 500W（皆為「預測」）；OSFP–RHS 1.6T 的點落在氣冷線上。右側文字寫明：cage 冷板加乾式 TIM 熱橋約可到 50W，液冷涵蓋 35–500W。來源：TE Connectivity，OCP Global Summit 2026，2026–10–15。

2　雷射溫控與 TEC：為什麼雷射怕熱

光模組裡真正對溫度「敏感」的不是 DSP，而是雷射與調變器。DSP 熱了頂多降速或過熱保護，雷射熱了則會改變波長、降低出光功率、縮短壽命。

溫度如何影響光

- **波長紅移：**DFB / CW 雷射的波長隨溫度上升而變長，約 0.08–0.1nm / °C（一般物理常識，非本次引用某一來源）。EML 的電吸收調變器（EAM）吸收邊緣漂得更快，常見說法約 0.4–0.5nm / °C（一般物理常識，數字範圍較寬，僅供量級參考）。
- **光功率下降：**溫度升高，雷射的轉換效率降低，同一電流出光變少（產業社群艾邦 2026-03-16：溫度升高導致光功率下降與波長紅移）。
- **微環調變器（MRM）更敏感：**庫內資料（技術頁與券商彙整）：MRM 每升 1°C 約漂 0.1nm，而 DWDM 通道間距只有 0.4–0.8nm。換算起來，**溫差 4 至 8°C 就足以讓微環從目標通道漂到隔壁通道**（算術推算）。MRM 因此需要額外的加熱器（heater）做熱調諧；EAM、MRM 在穎崴整理的熱穩定度表中被列為「臨界，需 TEC」。
- **PIC 層級：**Tyndall 研究指出，溫度變動 20°C 就足以讓光子晶片漂出操作區（庫內研究摘要）。Pump laser（980 / 1480nm）採 14-pin 蝴蝶封裝並內建 TEC；FBG 約漂 10pm / °C，需無熱化設計或 TEC。
- **VCSEL：**Lumentum 以 115°C 評估 850nm VCSEL 不可靠（2,000 小時失效），1060nm 較可靠；業界認為機櫃環境 85°C 評估即可；VCSEL-NPO 的最大問題是高熱（庫內）。

cooled 與 uncooled：取捨是什麼

項目	cooled（有 TEC）	uncooled / 無 TEC
波長與功率穩定	雷射晶片被鎖在設定溫度（例：Ayar 驗證雷射晶粒 50±1°C），波長與功率穩定	隨殼溫與環境漂移，需靠寬容許的設計（如寬間距波長、低功率密度）
功耗	TEC 本身耗電，且把「雷射的熱＋TEC 自己的功耗」都丟給殼體	省下 TEC 功耗；LPO 能省 50% 以上整體功耗但撐不過 400G / lane 的散熱牆（Broadcom 引用，永豐 2026-09-21）
成本與可靠度	多一個陶瓷＋碲化鉍組件、多一層熱界面	結構簡單；但溫度窗窄的元件（EML、MRM）難用
典型使用	InP EML（800G 世代主流，需 TEC 控溫、有 chirp）、高功率 CW（ELS）、pump laser	低功率 DFB 與寬容許場景

缺口：庫內與網路查證都沒有 uncooled 與 cooled EML 的專門量化比較；「矽光 CW 雷射免 TEC」之說，查證時所引用的文章全文並未支持，本報告視為查無可靠來源，不寫入結論。

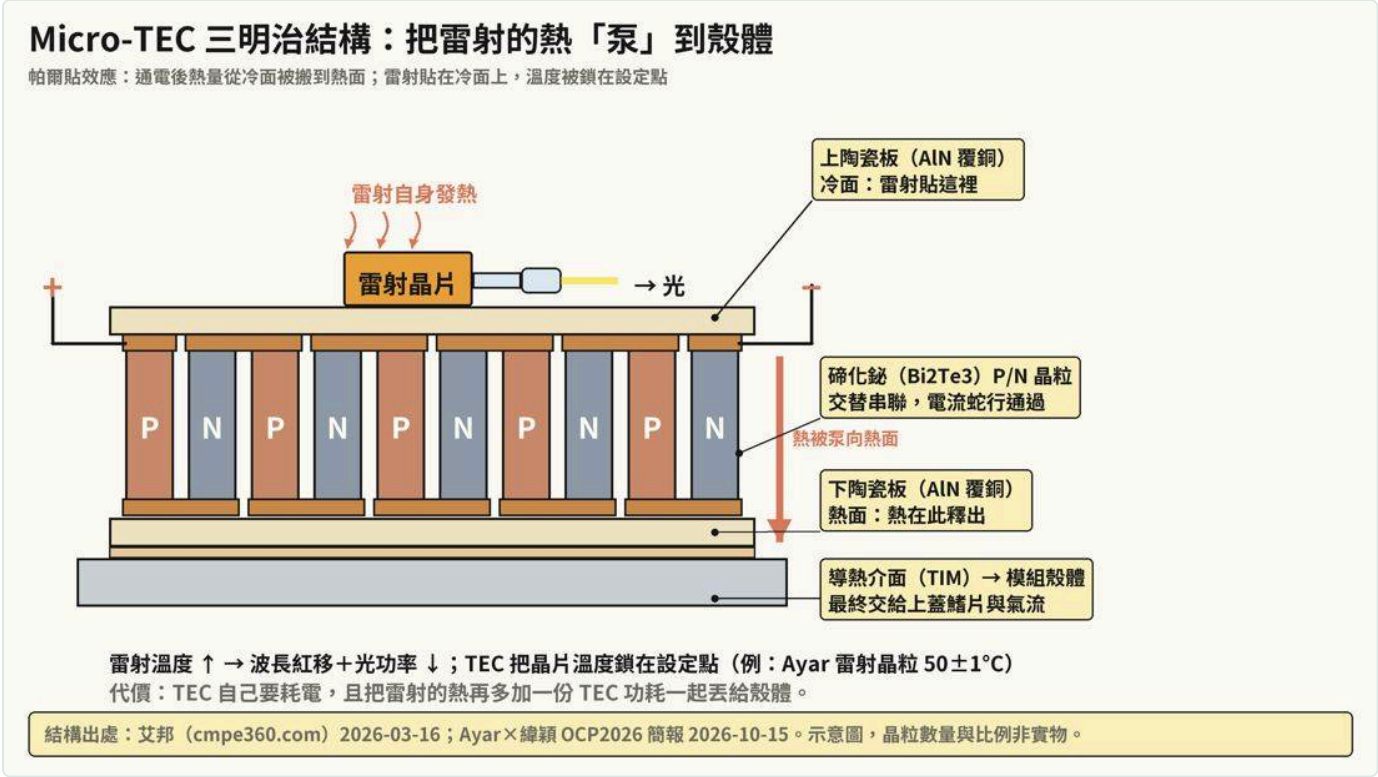


圖 4：Micro-TEC 三明治結構（自繪示意）。上下各一片氮化鋁（AlN）覆銅陶瓷板；中間是碲化鉍 P / N 晶粒陣列，以銅片在上下交錯串聯；雷射晶片貼在上層（冷面）。電流通過時，熱被晶粒「泵」向下層（熱面），再經導熱介面進入模組殼體。結構描述取自艾邦（2026-03-16）；晶粒數量與比例為示意，實物僅約數毫米見方（一般描述）。

用量、規格與 ELS 的溫控

- **TEC 用量：**800G 光模組約 1.5 片 Micro-TEC，1.6T 約 2.5—4 片；Micro-TEC 需求增速約為光模組的 2.5 倍（艾邦 2026-03-16，屬「推估」，單一來源）。
- **ELS 的溫控更嚴：**雷射外移後仍需被溫控。Lumentum 的 ELSFP-350 內建 Dual-TEC（1311nm CW、50°C 下 +24dBm）；其 UHP 雷射在 50°C 晶片面功率超過 350mW、電光轉換效率超過 20%。Ayar Labs 與緯穎的 ELSFP 為 8 通道、每通道 23dBm、主動 TEC；100 多顆測試的平均 23.4dBm、邊模抑制比 53dB、線寬 0.16MHz（廠商自述）。
- **高功率雷射本身難散熱：**300 / 400mW 的 CW 雷射用於 ELS 有散熱挑戰，因此先做 100mW 以上搭 PA 用於 NPO（GS 光通訊參訪，2026-09-14）。智璞（2026-09-21）：傳統可插拔雷射功率門檻約 70mW、NPO / CPO 約 120—150mW 以上、ELS 約 400mW；合格供應商僅 Lumentum 與 Coherent；第三波產能 2028Q2。光庫已有 400mW@50°C 的 CW DFB 規格。

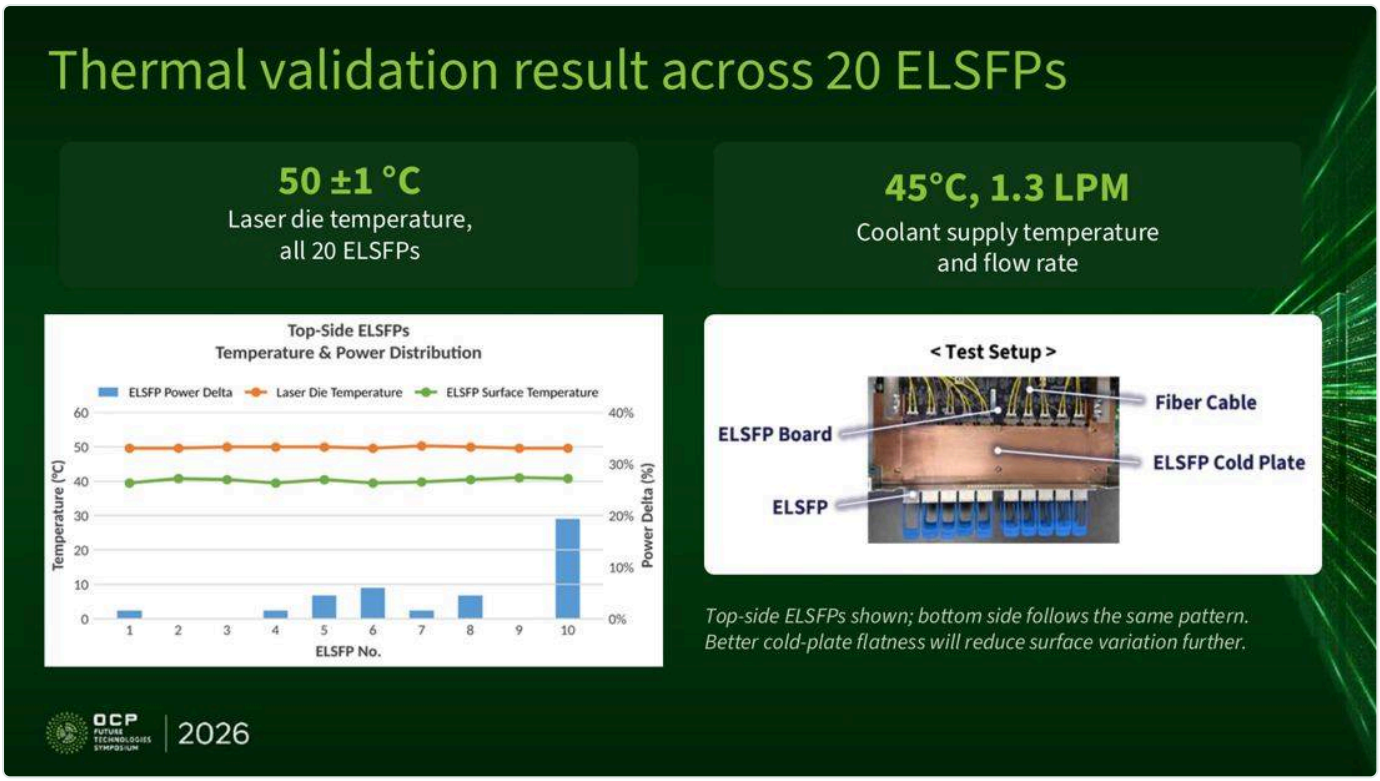


圖 5：Ayar Labs×緯穎 20 顆 ELSFP 的熱驗證。左上標示「雷射晶粒溫度 50±1°C（全部 20 顆 ELSFP）」，右上標示「冷卻液供應 45°C、1.3 LPM」。左下圖為上層 10 顆 ELSFP 的逐顆曲線：雷射晶粒溫度（橘線）貼在約 50°C，ELSFP 表面溫度（綠線）約 40°C，長條為各顆功率差（第 10 顆約 29%）；右下為測試台照片（ELSFP 板、光纖、銅製 ELSFP 冷板）。圖下小字說明僅示上層，下層同型態。性質：廠商展示的實驗室驗證，無量產年份。來源：Ayar Labs、Wiwynn，OCP 2026，2026-10-14 / 15。

TEC 的供給：集中在日本，加上中國新廠，台灣缺位

廠商	地區	已知資訊	證據性質
Ferrotec（大和熱磁）、Komatsu（KELK）	日本	兩家合計約 70–80% 全球光通訊 Micro-TEC；中國國產化率由 5% 以下升至約 15%	艾邦 2026-03-16（產業社群，單一來源）；另有 agy 引述「Ferrotec 約 60%、KELK 約 20%」未經驗證，不用
Coherent（原 II-VI）	美國	垂直整合的重要玩家，亦是 ELS 合格供應商之一	艾邦；智璞 2026-09-21
富信科技（688662）	中國	通過 Coherent 認證、用於 800G；已建月產 60 萬片 Micro-TEC，新基地後年產規劃破 1,000 萬片	艾邦 2026-03-16；產能規劃不等於出貨
富連京（Z-max 中國廠）	中國	TEC 年產能約 500 萬片	艾邦
鉍盛半導體	中國	月產 30 萬片以上，擬擴西安 2–3 倍至年 700–1,000 萬只；2025 年推出面向 CPO 外置光源（ELS）的 TEC，通過三家客戶驗證、小批量供貨	艾邦
冷芯半導體	中國	供光迅、海信寬帶、德科立；年產能 200 萬顆以上	艾邦
江西北冰洋	中國	年產 2,000 萬片，2026 規劃二期至 5,000 萬片	艾邦
見炬科技、江西納米克、萬谷半導體	中國	列名，無量化數字	艾邦

廠商	地區	已知資訊	證據性質
同欣電 6271	台灣	做蝴蝶封裝內的陶瓷散熱基板（雷射載板），並非 TEC 本體；庫內僅 memo 點名、無量化	庫內 memo（2026-05-09）

- **價格：**有社群貼文稱 Ferrotec 光通訊 Micro-TEC 近期漲價 55%—82%（原因為稀有金屬原料與設備投資）。這是東方財富號的社群貼文（2026-10-01），引自「行業反饋」，**屬市場傳聞，可信度低**，僅供追蹤，不做事實引用。
- **市場規模：**艾邦引用全球 Micro-TEC 市場 2024 年約 7.67 億美元、2031 年約 16.45 億美元（來源不明）。「光模組專用熱管理」市場未查到獨立數字。TrendForce（2026-04-20）：全球 AI 光收發模組 2025 年約 165 億美元，2026 年約 260 億美元（+57%）。
- **台灣有無量產廠：**查無。網路查證有列出的台灣相關廠（飛羅得、立誠光電、高柏）皆為單一摘要、未驗證，本報告不引用。

3　可插拔的延壽路線：riding 鰭片、cage 冷板、模組內直液冷、XPO

可插拔模組的好處是「壞了就拔」，運維與供應鏈都成熟，所以產業的第一反應是想辦法讓它繼續活下去。延壽的方法是把散熱路徑一段段縮短、界面一個個拿掉。

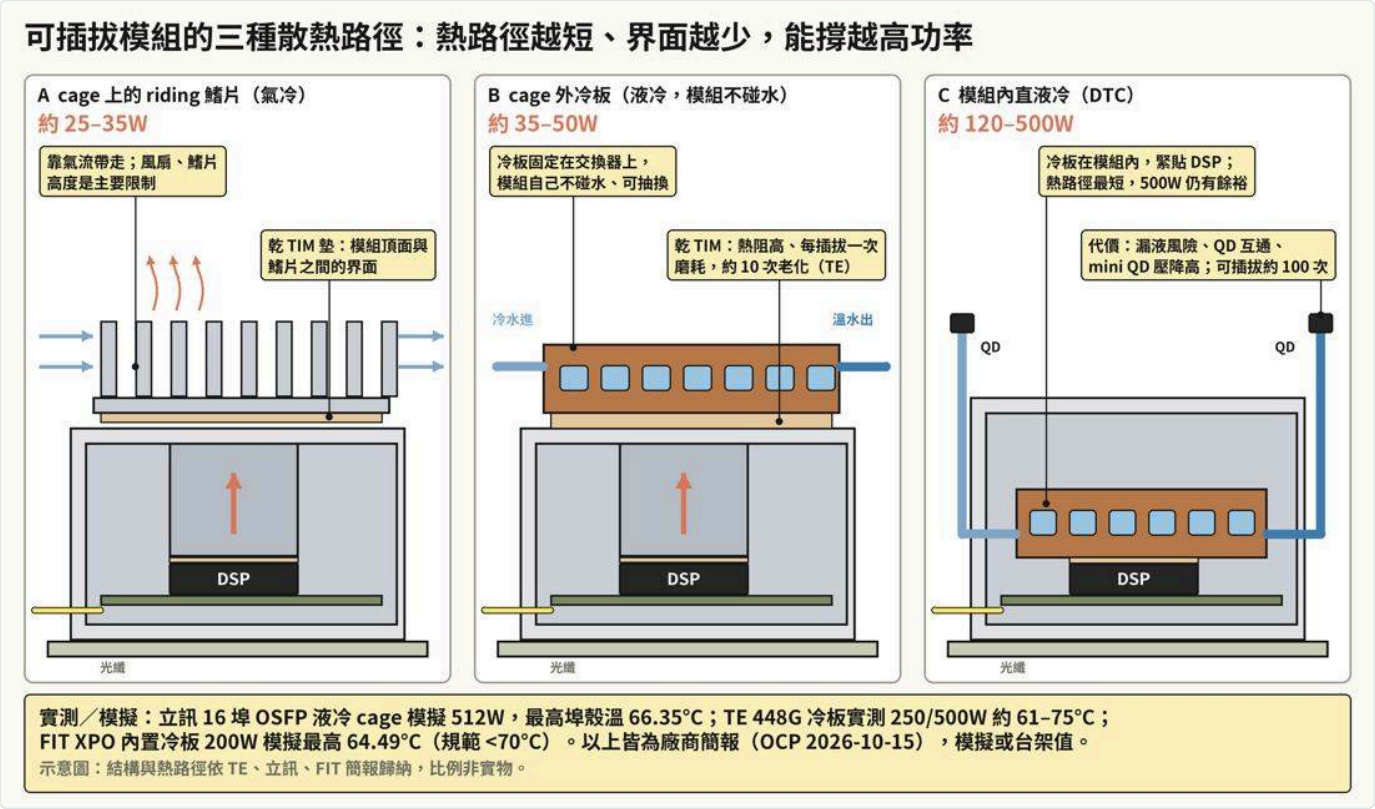


圖 6：可插拔模組三種散熱路徑（自繪示意）。A：cage 上方的 riding 鰭片，靠氣流，模組頂面與鰭片之間隔一層乾式 TIM，約 25–35W。B：冷板固定在交換器上、壓在 cage 上方，模組本身不碰水，但頂面到冷板之間仍是乾界面，約 35–50W。C：冷板直接放在模組內、貼近 DSP，只隔一層 TIM，熱路徑最短，120–500W，代價是漏液風險與快接頭（QD）互通。功率區間取自 TE 簡報（2026-10-15）。

(1) cage 外冷板：不改模組，只改交換器

cage 外冷板的特色是「模組不用變」：冷板固定在交換器面板後方，插拔模組時靠彈性與乾式 TIM 貼合。TE 簡報（2026-10-15）列出取捨：

	cage 外置冷板（乾 TIM）	模組內直液冷（DTC）
功率範圍	約 35–50W；加乾式 TIM 熱橋約 50W	約 120–500W
優點	模組不必改、不碰水、現有生態可沿用	500W 仍有餘裕；可插拔約 100 次
缺點	乾 TIM 熱阻高、每次插拔都磨耗（最多約 10 次老化）、需大壓縮力	生態未成熟、漏液風險、快接頭互通、mini QD 壓降高

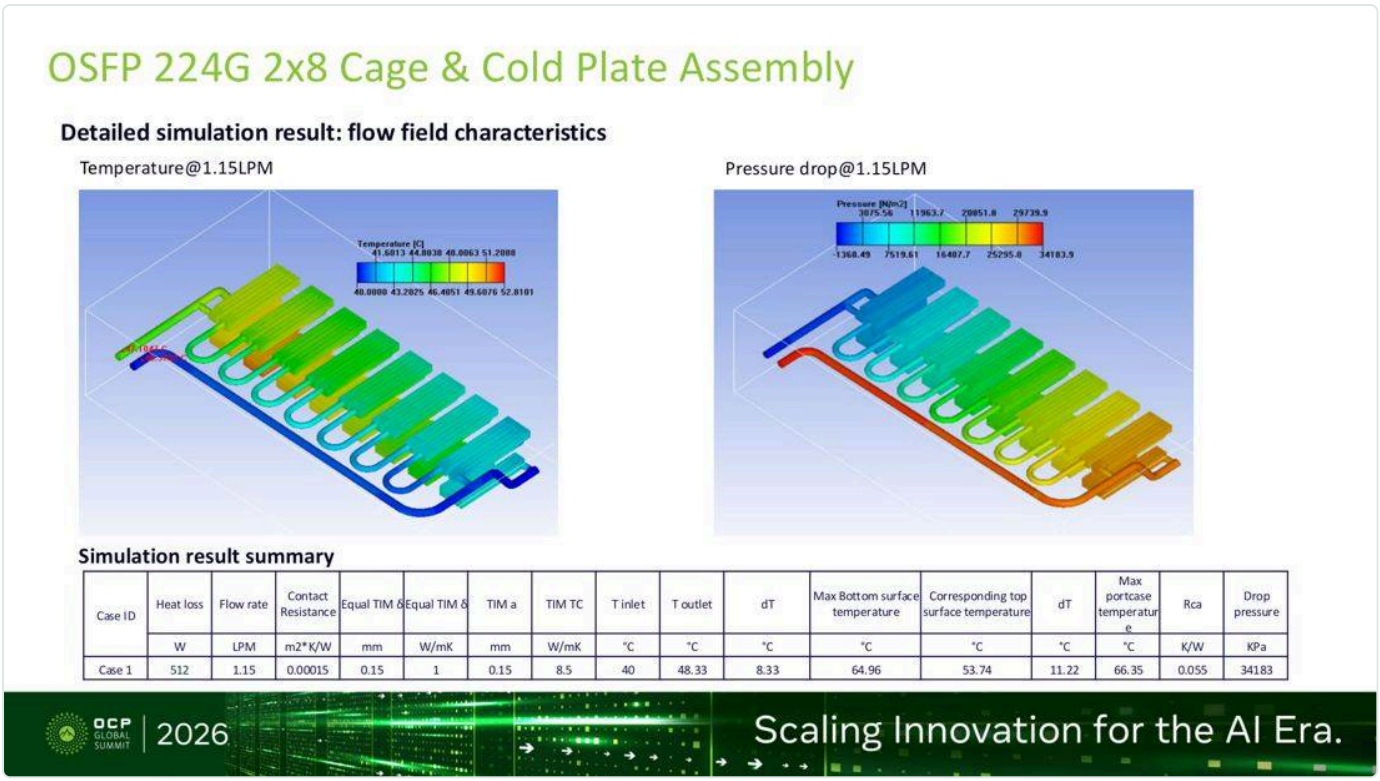


圖 7：立訊 OSFP 224G 2×8 液冷 cage 與冷板模擬（台架設計）。左右為同一模型在 1.15LPM 流量下的溫度場與壓降場：16 根 U 形銅管串聯，穿過 2 排 × 8 個埠位的冷板塊。下方摘要表：發熱 512W、流量 1.15LPM、進水 40°C、出水 48.33°C、最高埠殼溫 66.35°C、殼到環境熱阻 0.055K/W、壓降 34,183Pa（約 34kPa）。同簡報其他頁：每模組 40W×16、殼溫上限 70°C、壓降上限 35kPa、乙二醇濃度 25% 以下；立訊自稱 3 個月內可複製交付。性質：廠商模擬與台架，非量產。來源：立訊，OCP 2026，2026-10-15。

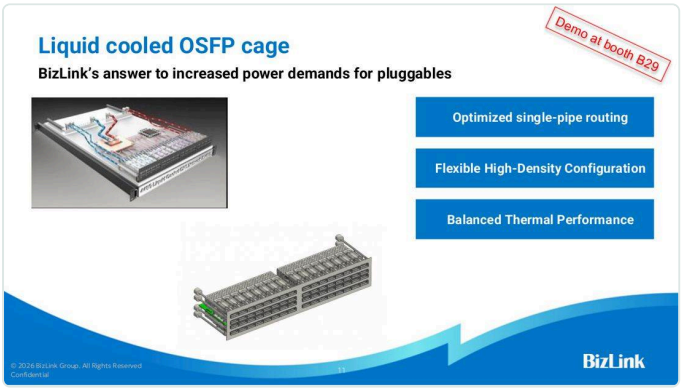


圖 8：貿聯（BizLink）液冷 OSFP cage。左上為 1U 交換器內的單管路冷卻佈置渲染（紅藍管路連到面板後方的 cage 陣列），下方為高密度 cage 陣列示意；右側三項賣點為「優化單管路走線」「彈性高密度配置」「均衡熱性能」，右上標「Demo at booth B29」。沒有任何量化數字。來源：貿聯，OCP 2026，2026-10-15；官網新聞稿 2026-10-07 證實展出。

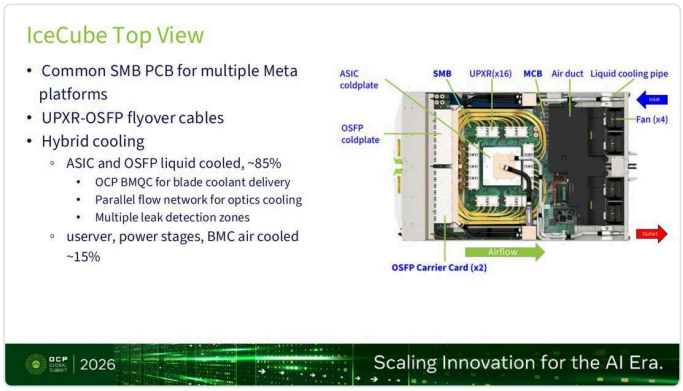


圖 9：Meta IceCube 102.4T 交換器俯視。標示有 ASIC 冷板、OSFP 冷板、UPXR flyover 纜線、2 張 OSFP carrier 卡、4 顆風扇、冷卻液進出管與氣流方向；文字寫明 ASIC 與 OSFP 液冷約占 85%，uServer、電源級、BMC 仍以空氣冷卻約 15%（混合冷卻）。來源：Meta，OCP 2026，2026-10-15。

Meta 的 IceCube（102.4T、64 個 OSFP、2OU）是目前最清楚的「OSFP 冷板已進交換器設計」的樣本：OSFP 冷板採並聯流路、設多個漏液偵測區；進水 30 / 40°C、每個 blade 約 6LPM、blade 最大典型功耗 3,820W（全部使用 retimed 的 5nm DSP DR4 模組）、噪音 63.3dBA。這代表至少在 Meta 的設計裡，外置式 OSFP 冷板不是展示，而是要導入的架構；但這份簡報沒有給出出貨時程。CoolIT 的熱捕獲率口徑也呼應這一點：只做處理器約 70%、加上 OSFP 與 DIMM 約 85%、再加 NIC / SSD / VRM / PSU 才到 100%（庫內技術頁）；Vera Rubin 的前端 CX-9 與 OSFP cage 也要冷板（Computex 觀察，2026-05）。

(2) 模組內直液冷：500W 也撐得住

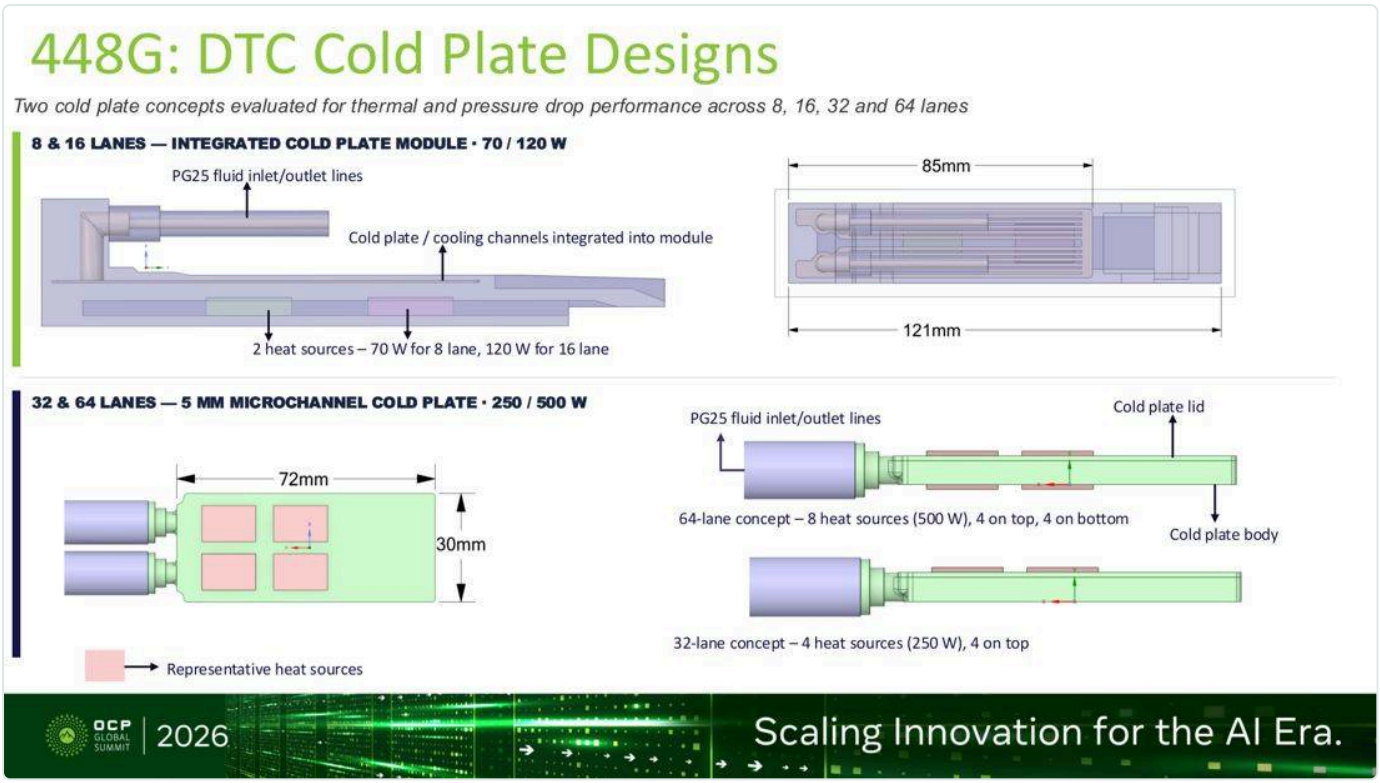


圖 10：TE 的 448G 模組內冷板設計。上排為 8 / 16 線的整合冷板模組（70 / 120W，兩個熱源，長約 121mm、寬約 85mm，進出水為 PG25 管）；下排為 32 / 64 線的 5mm 微通道冷板（250 / 500W，外型約 72×30mm；64 線概念有 8 個熱源，上下各 4；32 線有 4 個熱源在上），粉紅色塊為代表性熱源。來源：TE Connectivity，OCP 2026，2026–10–15。

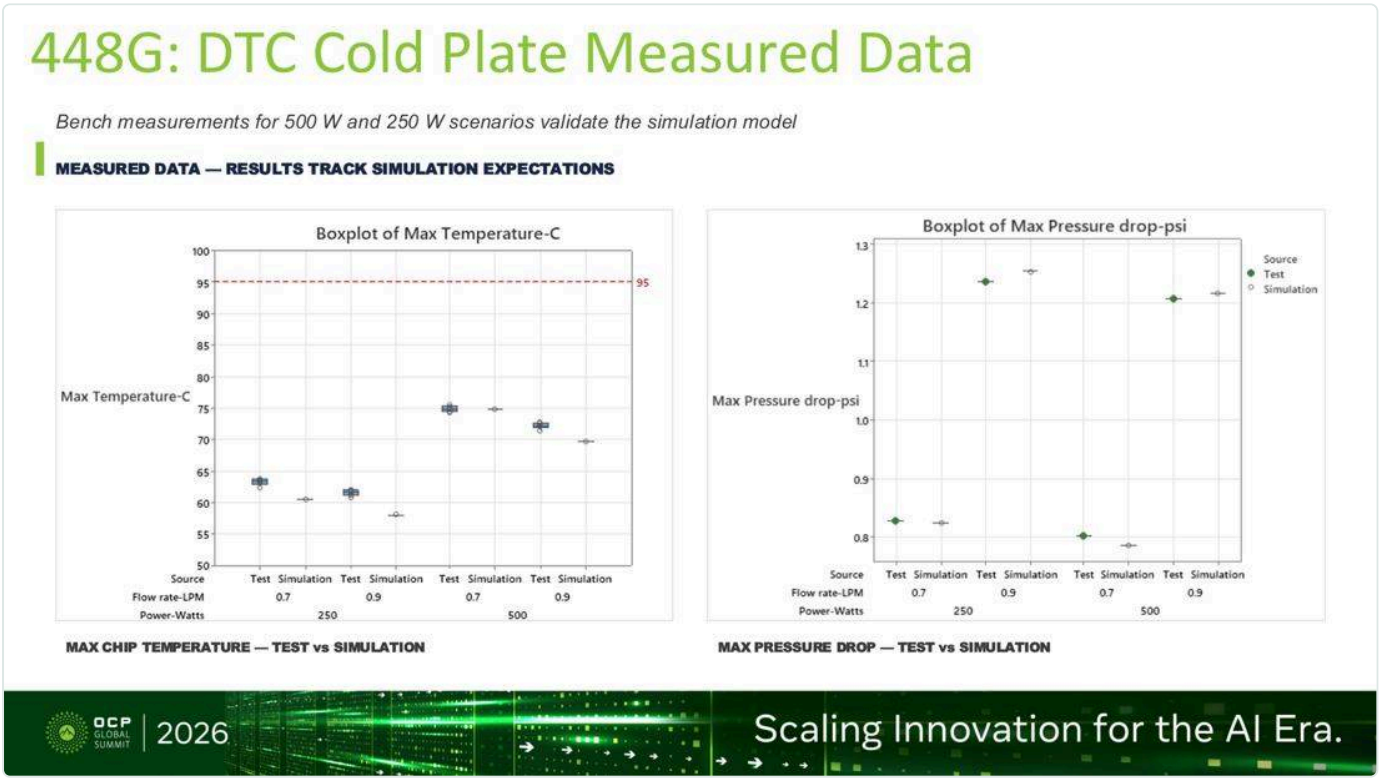


圖 11：TE 冷板台架實測對模擬。左圖為最高晶片溫度箱形圖，右圖為最高壓降（psi）；比較 250W / 500W、0.7 / 0.9LPM 四種條件的實測與模擬。實測最高晶片溫度約 61–75°C（500W 約 72–75°C），遠低於紅色虛線標示的 95°C 目標；壓降約 0.8（0.7LPM）至 1.2psi（0.9LPM），實測與模擬貼近。簡報另寫所有情境低於 85°C。來源：TE Connectivity，OCP 2026，2026–10–15。

(3) XPO：把冷板做進可插拔、把八顆併成一顆

XPO 是 Arista 主導、2026-03 成立 MSA 的液冷可插拔規格：一顆 XPO 模組有 64 條 200G 通道（合計 12.8T），一顆取代 8 顆 OSFP；1OU 面板可到 204.8T（200G 通道）或 409.6T（400G 通道）；液冷最高支援約 500W 每模組（25.6T coherent-lite 情境）。Amphenol 另提單一 48V 供電、線性模組小於 90W、整合液冷。

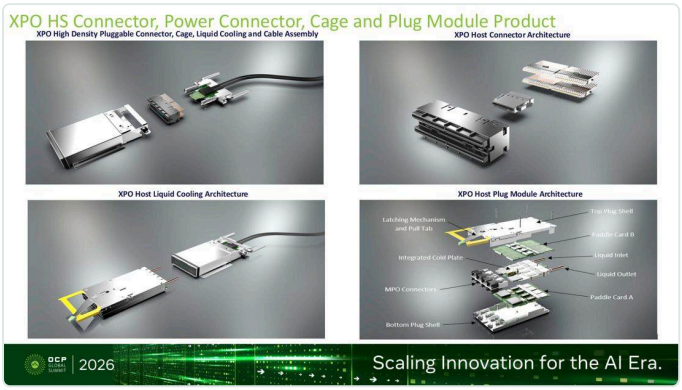


圖 12：鴻騰 FIT 的 XPO 產品渲染（四象限）。左上為高密度可插拔連接器、cage、液冷與纜線組合；右上為主機端連接器架構；左下為主機液冷架構（可見拉環與兩根冷卻液管）；右下為模組爆炸圖，標示上下蓋、Paddle Card A 與 B、整合冷板（Integrated Cold Plate）、液體進出口、MPO 光連接器與拉環。來源：鴻騰 FIT，OCP 2026，2026-10-15。

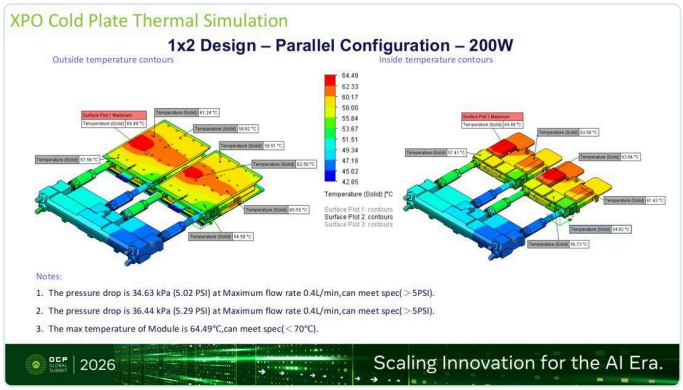


圖 13：XPO 冷板 200W 熱模擬（1×2 並列配置）。左為外側、右為內側溫度分布，色標 42.82–64.49° C；最高溫 64.49° C，備註寫壓降 34.63kPa（5.02psi）與 36.44kPa（5.29psi）、最大流量 0.4L / min，滿足規格（模組溫度 <70° C）。群益 memo 寫成 4L / min 為筆誤，應為 0.4L / min。性質：廠商模擬。來源：鴻騰 FIT，OCP 2026，2026-10-15。

XPO 的進度訊號	內容	日期 / 來源
標準	Arista 主導，MSA 2026-03 成立，成員約 20 家	OCP 2026 Microsoft / Arista 簡報（2026-10-15）
Microsoft 態度	稱「值得為 scale-up 探索」；未宣布採用、無部署時點	同上
系統限制	XPO 需要交換器重新設計供電與散熱，對 Arista 平台依賴高	福邦，2026-09
時點判斷	SemiAnalysis 認為 2027 年以後，Google 可能在 TH6 世代採用；NVIDIA 口述另提 OSFP 後繼「USFP」（最高 100W、2027 量產，名稱規格未確認）可能分流	庫內彙整（口述與估計）
台廠	正淩（廠商自述訂單，2H26 小量）；鴻騰 FIT（模擬，無客戶、無營收揭露）	康和 2026-10-01；OCP 簡報

換句話說，XPO 目前的證據停留在規格、模擬與一家台廠自述的小量訂單。它解決的是「延壽」問題，但代價是需要整個交換器平台跟著改，這也是為什麼它的命運與 Arista 平台的導入速度綁在一起。

4　CPO / NPO 的熱域問題：兩個熱域，一個封裝

CPO（共同封裝光學）與 NPO（近封裝光學）把光引擎從面板搬到 ASIC 旁邊，電訊號只走幾公分，省下 DSP 與長距離電路的功耗。NVIDIA 稱 CPO 較可插拔有 5 倍功率效率（官網）；庫內對照為 1.6T 可插拔約 30W 對 CPO 約 9W；Broadcom 的 TH6-Davisson（102.4T，2025-10-08 宣布出貨）稱光互連功耗降 70%（較可插拔低 3.5 倍以上）。但代價是：光引擎現在貼在一顆 1–2kW 的 ASIC 旁，雷射與調變器就待在最熱的地方。

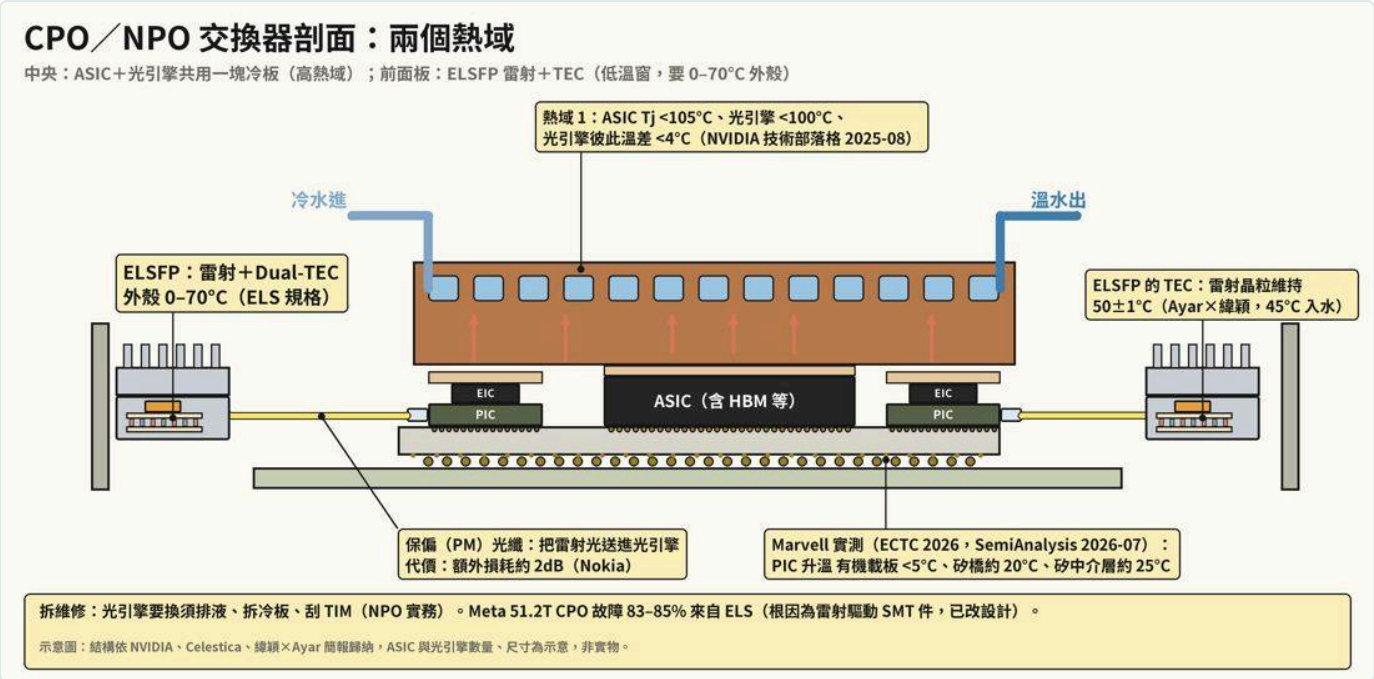


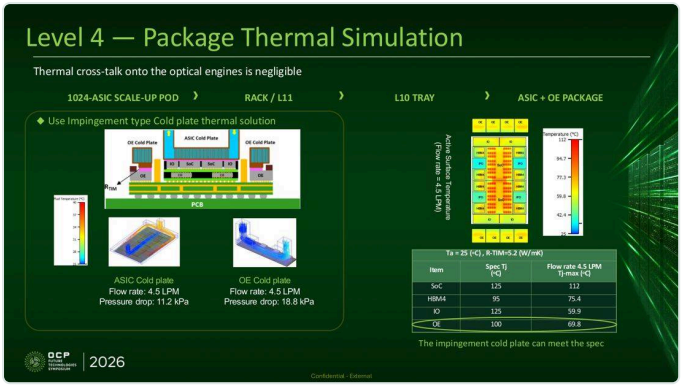
圖 14：CPO / NPO 交換器剖面（自繪示意）。中央為基板上的 ASIC 與左右光引擎（EIC 疊在 PIC 上），共用一塊冷板（高熱域）；前面板兩側是 ELSFP 外部雷射模組（雷射坐在 TEC 上，上有 riding 鰭片），以保偏光纖送光進光引擎（低溫窗熱域）。溫度規格取自 NVIDIA 技術部落格（2025-08）、OIF-ELSFP；實測取自 Marvell（ECTC 2026，SemiAnalysis 2026-07）。數量與尺寸為示意。

熱串擾：封裝結構決定一切

說法	內容	性質
Marvell 實測	光引擎經 UCIe-S 放在有機載板上，XPU 滿載時 PIC 只升溫 5° C 以下；放矽中介層約升 25° C、矽橋約升 20° C。暫態 30ms 內，PIC 升溫速率有機板約 10° C / s、矽橋約 100° C / s、矽中介層約 120° C / s。EAM 可用偏壓電調追上，MRM 靠 heater 回授較慢	ECTC 2026 論文，經 SemiAnalysis 整理（2026-07）
緯穎×Ayar	衝擊式冷板、4.5LPM 下模擬 Tj-max：SoC 112° C（規格 125）、HBM4 75.4（95）、IO 59.9（125）、光引擎 69.8（100）。結論：對光引擎熱串擾可忽略	**廠商自述**，模擬值（OCP 2026-10-15）
Nokia	NPO 與 CPO 同能耗級（約 6pJ / bit）；NPO「共用 ASIC 冷板、讓雷射保持低溫」；可替換的光引擎位於主機熱區外，讓引擎內雷射可行	廠商簡報（2026-10-15）
Omdia	OIF NPO 標準納入液冷（小版本可風冷）；評論冷卻機制可能碰到瓶頸，基板翹曲、老化、腐蝕需要時間浮現	CIOE 展會回顧（2026-10-03）
元大	CPO 散熱與維護挑戰極大；NPO 散熱比可插拔難但可控	券商（2026-09-21）
Lightmatter	熱測試晶片 369mm²、四象限各 170W（1.47W / mm²）；25° C 冷卻液 1.8LPM / kW，光子中介層約 100° C，驗證 680W 集中散熱，封裝設計 900W 以上	庫內研究摘要

分歧的本質：熱串擾是否可管理，並不是技術可不可行的二選一，而是取決於封裝結構（有機載板的熱隔離好，矽中介層把熱直接傳給光引擎）與冷板設計（共用或分設）。這解釋了為什麼同樣一件事，Marvell 的實測有

5°C 對 25°C 的差距，而緯穎的簡報說「可忽略」。



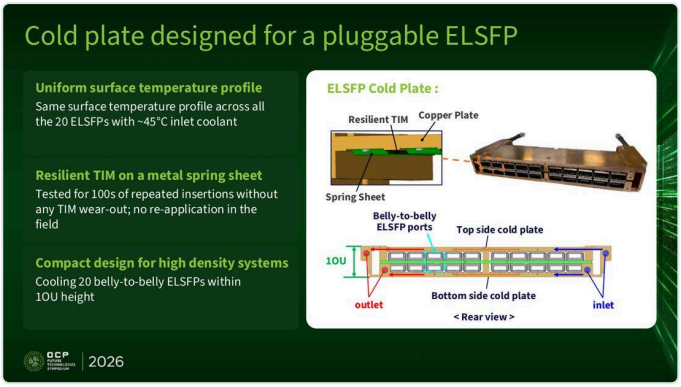


圖 15：緯穎×Ayar 的 CPO 封裝熱模擬。副標「對光引擎的熱串擾可忽略」。左側剖面圖示 ASIC 冷板與 OE（光引擎）冷板分設，ASIC 冷板 4.5LPM、壓降 11.2kPa，OE 冷板 4.5LPM、壓降 18.8kPa；右側為封裝俯視溫度圖與表：SoC 規格 125 / 模擬 112、HBM4 95 / 75.4、IO 125 / 59.9、OE 100 / 69.8（°C）。性質：廠商模擬。來源：Wiwynn、Ayar Labs，OCP 2026，2026-10-15。

圖 16：Ayar Labs×緯穎的 ELSFP 冷板。左側為三個設計重點：表面溫度均勻（20 顆 ELSFP、約 45°C 入水）、金屬彈簧片上的彈性 TIM（測試數百次插拔無磨損、現場不必重塗）、1OU 內冷卻 20 顆「肚對肚」ELSFP。右側為銅製冷板實物與剖面：上下兩層冷板夾住 ELSFP 埠位，圖上標示進水（藍）與出水（紅）。來源：Ayar Labs、Wiwynn，OCP 2026，2026-10-14 / 15。

為什麼要把雷射外移（ELS）

- **理由：**光引擎緊貼加速器熱源，雷射成為可靠度限制因子（智璞，2026-09-21）。Lumentum：ELS 讓雷射的熱設計與 ASIC 封裝熱區解耦、熱邊界遠離 ASIC。Micas（2026-10-15）：外部雷射把熱與老化留在光引擎之外。
- **代價：**需要保偏（PM）光纖與光功率傳遞，Nokia 簡報顯示雷射位置不同的光損耗：單石約 0.25dB、PIC 整合 0.5–1dB、封裝內約 1.5dB、外部 ELSFP 約 2dB。多出來的模組、光纖與清潔負擔也是成本（Micas）。
- **可靠度證據：**Meta 51.2T CPO（Phase 1 為 40°C 壓力環境，Phase 2 為 15–35°C）的 RAS 資料顯示，ELS 占故障的 85% / 83%；根因是雷射驅動電路上的表面黏著零件，已改設計；不可維修中斷為 0 / 1.75 億裝置小時。102.4T 目標為 1.5OU、16 個 ELSFP、100% 液冷（理由是粉塵污染風險）、光學省電 60%（Meta，OCP 2026-10-15）。這說明 ELS 是「最常壞的地方」，但也是「最容易修的地方」，因為 ELSFP 在面板上可拔。
- **業界路線：**業界多數主張維持 ELS（珩石、技術頁）；Nokia、Micas、Arista 的 100T 概念機偏內建雷射（省 PM 光纖、降功耗、可免 ELSFP）；Arista 100T NPO 概念機以專屬水冷冷板覆蓋 ASIC＋NPO，內建雷射、無 ELSFP。

NPO 與 CPO 的液冷共同點：維修一定要排液

NPO 普遍需要液冷銅冷板；風冷只在小版本可行（新華三夥伴的 Tri-light 方案散熱器過厚、超出 1U；25.6T 銳捷樣機以 8 顆 3.2T NPO 搭風冷）。維修實務：換故障模組要排空冷卻液、拆冷板、刮除舊 TIM、重塗；若是內建雷射（ILS）版本，雷射燒毀等於整個 NPO 與散熱系統報廢，這也是業界偏好 ELS 的理由之一（珩石，2026-10-12）。珩石簡報的 3.2T NPO 光引擎數字：ILS 版最大 56W / 典型 48W、殼溫 15–70°C；ELS 版最大 48W / 典型 41W、殼溫 15–85°C。

主流產品的冷卻方式已同步換代

產品	冷卻	來源
NVIDIA Quantum-X800 Q3450-LD（144×800G InfiniBand 光子交換器）	官網載明「採液冷設計以有效冷卻板載矽光子」；Spectrum-X Ethernet Photonics 最高 409.6Tb / s，2026 下半年供貨	NVIDIA 官網（無發布日期，2026-10-20 查閱）
Celestica DS6005（Broadcom TH6-Davisson CPO，102.4T，64×1.6TbE）	全液冷、1.5OU ORv3；前代 DS6000 為前面板 OSFP224、風冷 3RU，DS6001 為混合冷卻 2OU	Converge Digest，2026-10-12
Meta CPO 102.4T	100% 液冷，1.5OU，16 個 ELSFP	Meta，OCP 2026-10-15

這三條線索指向同一件事：可插拔世代的交換器可以風冷，一旦走到 CPO，冷卻方式幾乎同步換成液冷。至於 CPO 何時量產，說法並不一致：NVIDIA 口述 Spectrum-X CPO 已量產出貨；SemiAnalysis（2026-06-08）稱 CPO 有延遲與良率問題；珩石的展後結論則是展品以 NPO 為主。本報告並列、不裁定。

5　散熱價值在世代之間怎麼移轉（本報告最重要的推論）

前四章說明了熱怎麼產生、怎麼被處理。這一章要回答的是投資人真正在意的問題：**在每一個世代，散熱的「錢」落在哪一個零件？**答案是它會隨世代搬家，而且搬家的方向跟著「最熱的那一點」走。

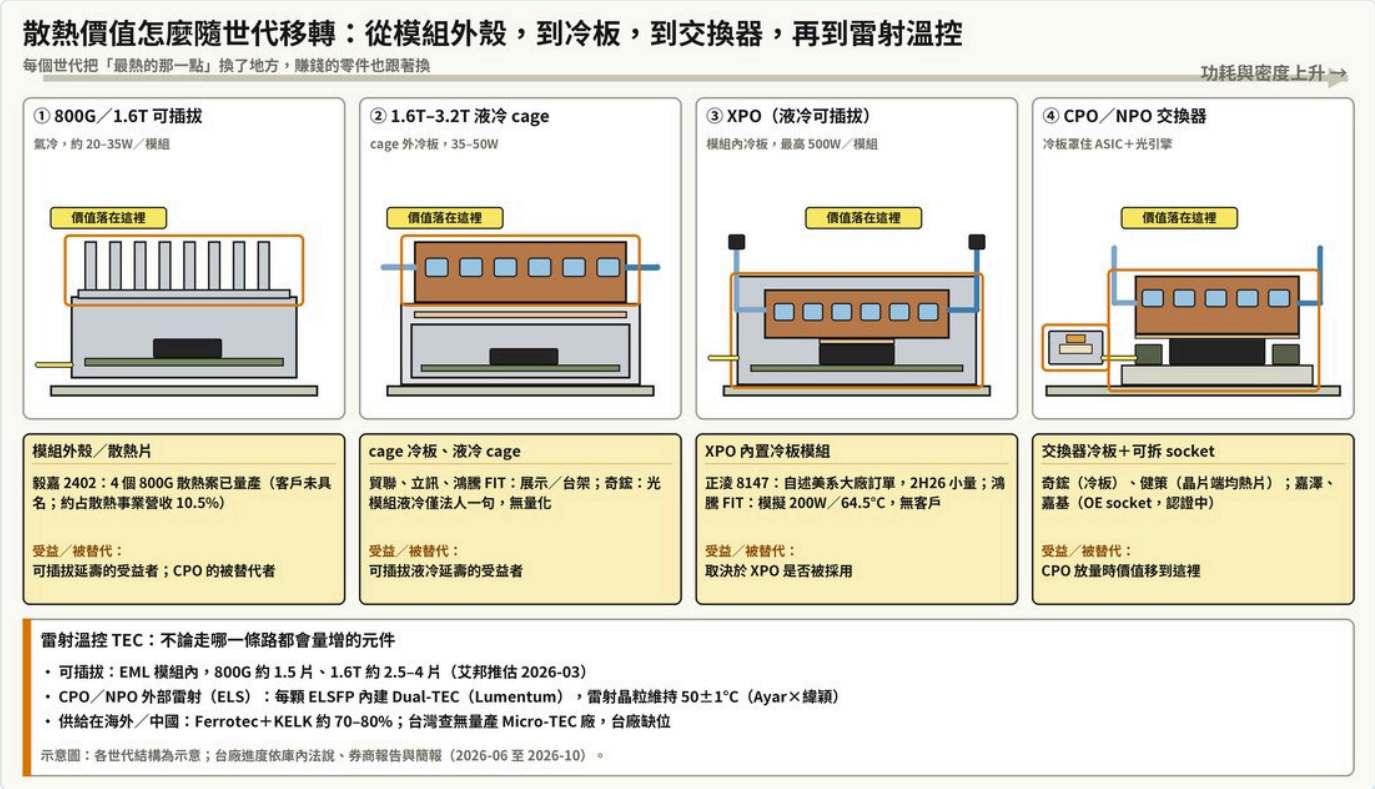


圖 17：散熱價值的世代移轉（自繪示意）。橘框標出各世代散熱價值落點：800G / 1.6T 可插拔在模組外殼與鰭片；1.6T–3.2T 液冷 cage 在 cage 冷板；XPO 在模組內置冷板；CPO / NPO 在交換器冷板與面板的 ELSFP。下方為各世代對應的台廠與證據強度；最底部為不論哪個世代都存在的雷射溫控（TEC）。台廠進度一律照證據強度標示，展示與台架不視為訂單。

世代	散熱價值落點	對應環節的台廠（證據強度）	CPO 放量後的命運
800G / 1.6T 可插拔（氣冷）	模組外殼與散熱片（鋅壓鑄＋均熱片或鋁擠鰭片）	毅嘉 2402（有訂單：4 個 800G 散熱案已量產；客戶未具名）	被替代 模組變少、外殼需求萎縮
1.6T–3.2T 可插拔（液冷 cage）	cage 外冷板、液冷 OSFP cage、管路與快接頭	貿聯（展示）、立訊（台架）、鴻騰 FIT（模擬）、正淩 8147（連接器）、奇鋐 3017（僅法人一句）	視 CPO 進度 若 CPO 延後則延壽期拉長
XPO（液冷可插拔）	模組內置冷板、液冷連接器、管路	正淩 8147（廠商自述訂單、2H26 小量）、鴻騰 FIT（模擬）	未定 取決於 XPO 是否被採用
CPO / NPO	交換器冷板（ASIC＋光引擎）、晶片端均熱片與 stiffener、可拆 socket（讓光引擎可維修）	奇鋐 3017（交換器冷板，與客戶共同開發；無訂單金額）、健策 3653（晶片端均熱片，非光模組本身）、嘉澤 3533 / 嘉基 6715（socket，認證中）	受惠 價值從模組端移到交換器端
雷射（任何世代）	TEC（Micro-TEC）、ELSFP 冷板	TEC：海外與中國（台灣缺位）；ELSFP 冷板：緯穎×Ayar（展示）	量增 每顆 ELS 都有 TEC

三個非顯而易見的結論

1. **CPO 放量會把「模組端散熱」價值搬到「交換器端冷板」。**一台交換器上的 64 顆 OSFP 模組各有一塊外殼與散熱片；改成 CPO 後，這 64 塊外殼與鰭片消失，取而代之的是一塊罩住 ASIC 與光引擎的冷板。以「散

熱」為名的光模組概念股，其實有兩種完全不同的曝險：外殼廠是可插拔延壽的受惠者、CPO 的被替代者；冷板廠才是 CPO 的受惠者。因此毅嘉（模組外殼）與奇鋐（交換器冷板）不是同一個題材的兩個名字，而是押注相反方向的兩種部位。

2. **TEC 是唯一不論走哪條路都會量增的元件。**可插拔 EML 要 TEC；ELS 每顆 ELSFP 也要 Dual-TEC；CPO 放量時 ELS 的數量甚至更多（例如 Meta 的 102.4T 設計有 16 個 ELSFP，聯鈞轉述的公司說法是一個 CPO 模組需要 18 顆外部光源）。但台灣查無量產的光通訊 Micro-TEC 廠，這個「確定量增」的環節是海外與中國廠的生意。
3. **可拆 socket 是「因散熱而生」的間接受惠。**NPO 的論點之一是用 socket 讓光引擎與晶片分離，解決 CPO 的散熱、良率與維修痛點；但 NPO 的光引擎也貼近熱源，換模組需要排液、拆冷板、刮 TIM。嘉澤、嘉基的 socket 因此與散熱「維修性」有關，但它們本身不是散熱零件，且仍在認證階段（NPO socket 2H26 驗證、2H27 小量、2028 大量，庫內彙整）。

換句話說，如果用一句話總結：**散熱的錢，跟著「最熱的那個點被冷卻在哪裡」走。**可插拔世代它在模組殼上；液冷延壽世代它在 cage 冷板與模組內冷板；CPO 世代它在交換器冷板；而不論哪個世代，雷射那一層都需要溫控。

6　台股與海外映射表

進度欄的定義：有訂單＝廠商或公司自己說已接單或量產（未經客戶驗證者標「自述」）；送樣・小量＝工程樣品或小批量；展示・開發＝展覽、簡報、台架、模擬、共同開發；非散熱廠＝常被誤認但與光模組散熱無關。以下排序是「受惠確定性」（證據強度與題材清晰度），不是投資價值排序，也沒有目標價。

6.1　台灣上市櫃與興櫃公司

公司	角色	進度	關鍵數字與備註	來源日期
毅嘉 2402	光模組散熱型金屬外殼（鋅壓鑄＋VC / 鋁）、Flip Chip SMT；2Q26 策略投資傑華精密（持股 46.25%）補新合金壓鑄	有訂單（公司法說自述；客戶未具名）	去年接的 4 個 800G 光通訊相關散熱案，2026–06 起量產，該部分約占今年散熱事業部營收 10.5%（memo 寫「總營收」，見下方備註）；今年新接約 4–5 案，2027–01 量產；美系前五大品牌高階機種 4Q26 小批、1Q27 量產；散熱案毛利率約 25–30%；2027 年光通訊占比 30–40%、散熱 5–8%；散熱資本支出約 3 億元	毅嘉法說，2026–10–15
正淩 8147	XPO 液冷散熱模組（自稱 XPO 規範創始水冷方案之一）；OSFP 高速連接器	有訂單（廠商自述）／小量	已拿下美國大廠訂單、小量試產、2H26 交貨，散熱模組 2H26–2027 放量；1.6T 連接器 4Q26 認證放量；康和估 2027 通訊 / AI 營收 +40–50%	康和，2026–10–01
奇鋐 3017	交換器 tray 冷板龍頭；CPO / LPU 散熱與客戶共同開發；光模組搭水冷模組	展示・開發（光模組液冷僅一句話，無量化）	法人交流稱 transceiver 一台約搭 3 個水冷模組、單價優於一般（無金額）；CPO 2027 年起貢獻營收（CTBC 2026–08–13，取決於客戶）；JPM（2026–09–29）將 OSFP / ELSFP 光模組液冷（1.6T / 3.2T 世代起）列為 1–2 年後新動能，全文僅一句；AI 專案市占約 50%	JPM 2026–09–29；CTBC 2026–08–13；庫內法人交流
貿聯–KY 3665	液冷 OSFP cage（單管路、1U 面板）	展示・開發	OCP 2026 展出（booth B29），無量化數字；官網新聞稿證實展出	貿聯，2026–10–07、2026–10–15
鴻騰精密 FIT（6088.HK）	XPO 連接器、內置冷板與纜線；224G OSFP cold plate 方案	展示・開發	200W 模擬最高 64.49° C，無客戶、量產時程與營收揭露；2025–10 於 OCP 首度動態展示 224G OSFP 冷板	OCP，2026–10–15；官網，2025–10–14
立訊（Luxshare）	OSFP 224G 2×8 液冷 cage 與冷板	展示・開發（台架）	512W、最高埠殼溫 66.35° C、壓降約 34kPa；自稱 3 個月內可複製交付	立訊，2026–10–15
緯穎 6669	與 Ayar Labs 共同開發 ELSFP 冷板與 CPO 機櫃（L10 托盤 16 個 ELSFP）	展示・開發（無量產年份、無訂單）	20 顆 / 1OU、雷射晶粒 50±1° C、45° C 入水 1.3LPM；封裝熱模擬稱串擾可忽略（廠商自述）	OCP，2026–10–15
健策 3653	CPO 交換器晶片端的機構件與均熱片（Microchannel Lid、stiffener）	間接（非光模組本身）	為 NVIDIA Quantum–X（協助插拔並保護插座）與 Spectrum–X（stiffener）的晶片端供應商；首家推出微流道均熱片；注意這是封裝端，不是光模組散熱	媒體報導，2026–03–10

公司	角色	進度	關鍵數字與備註	來源日期
嘉澤 3533 / 嘉基 6715	可拆卸 CPU / NPO / CPO socket（維修性）；嘉澤另有液冷快接頭	送樣・認證中（間接）	NPO socket 2H26 驗證、2H27 小量、2028 大量；嘉澤自家案最快 2H27；socket ASP 較最新 CPU socket 高 20–30%（野村 2026-08-20）；嘉基與 Coherent 共同設計 OE socket，400G LPO socket 已小量；嘉澤液冷 QD 約占營收 1%	野村 2026-08-20；CTBC 2026-10-05；康和 2026-07-13
聯鈞 3450	ELS / ELSFP 封測	小量（工程樣品）	公司說一個 CPO 模組需約 18 顆外部光源；300 / 400mW 級；量產取決於 CPO / NPO 導入（公司稱「沒有那麼快」）	庫內公司頁
全新 2455	CW 雷射 InP 磊晶	上游材料（與散熱無直接關係）	scale-out 70 / 100mW、NPO 100mW 以上、CPO 300 / 400mW；300 / 400mW 散熱未解，CPO 級尚不可放量，NPO 級為 2026–27 的現實主力	GS，2026-09-14
同欣電 6271	蝴蝶封裝陶瓷散熱基板（雷射載板）、TIA	展示・開發（僅點名）	庫內 memo 點名，無量化數字	memo，2026-05-09
一詮 2486、雙鴻 3324	散熱片與液冷大廠	庫內無光模組端證據	元大光通訊供應鏈表把一詮列在「散熱」；雙鴻 2026-10-14 報導全文未提光模組（液冷延伸至 ASIC、DIMM、PCIe、電源）。兩者不納入受惠排序	元大 2026-09-21；工商時報 2026-10-14

毅嘉 10.5% 的口徑備註：法說 memo 寫「4 個 800G 光通訊模組案已量產，約占今年總營收 10.5%」。但同一份 memo 說散熱事業（TMS）2025 年只占公司營收 2%、2027 年預期占 5–8%，且逐字稿該句出現在散熱事業部簡報中、與「液冷占 65%」「其餘為利基型工控」並列，語境更像是占**散熱事業部營收**的 10.5%，而不是占公司總營收。本報告採後者的解讀並於此標明；若確為占公司總營收，則與其他數字矛盾，需向公司確認。無論如何，毅嘉的光模組散熱案對公司整體營收的貢獻目前很小。

6.2 常被誤認、但不是光模組散熱廠

公司	為什麼不是
元澄 7415（興）	做矽光子 PIC 設計 turnkey（AMD、聯發科設計委託），與散熱無直接關係；台達電是股東，屬股權關係。
亞光 3019	做 CPO 光學（稜鏡、準直鏡）；另與 Frore Systems 合作 AI 伺服器晶片級主動散熱（開發中，2027 生產），與光模組散熱沒有證據關聯。
昇達科 3491	併購巨頻（DYNAHZ），太赫茲傳輸模組 2026 年底量產，是「CPO 替代」敘事，與光通訊散熱無關。

6.3 海外與中國廠

公司	角色	關鍵資訊	來源與性質
Ferrotec、KELK（Komatsu）	Micro-TEC 全球龍頭	合計約 70–80%；漲價 55–82% 僅為社群傳聞	艾邦 2026-03-16；東方財富號社群貼文 2026-10-01（傳聞）
Coherent（COHR）	垂直整合：TEC、ELS 雷射、CPO / NPO 組裝	ELS 合格供應商之一；PhotonLink 整合平台，單一 100T I/O 晶片內容值上看約 15,000 美元（Citi）；與嘉基共設 OE socket；稱 CPO 2026Q4 scale-out、2H27 scale-up	Citi 2026-09-21（公司說法）
Lumentum（LITE）	ELSFP-350、Dual-TEC、UHP 雷射	50° C 晶片面功率 350mW 以上、效率 20% 以上；口述 400mW 量產、800mW 與 16λ 展示（量測點不同）；ELS 合格供應商僅 Lumentum 與 Coherent	Lumentum OCP 簡報 2026-10-15；智璞 2026-09-21

公司	角色	關鍵資訊	來源與性質
Ayar Labs	ELSFP＋光引擎	主動 TEC；與緯穎的冷板共同開發	OCP 簡報 2026–10–15（展示）
TE Connectivity	可插拔 I/O 熱設計與冷板	氣冷上限 35W 的論述；448G 冷板設計與實測	OCP 簡報 2026–10–15
Amphenol	XPO 連接器	單一 48V、線性模組 <90W、整合液冷。官網的 OSFP–RHS cold plate 頁面查證時為空白，未驗證	庫內技術頁；網路查證 2026–10–20
Arista、Microsoft	XPO 標準主導與觀望	Arista 主導 MSA；Microsoft 僅「探索」	OCP 簡報 2026–10–15
Broadcom、Marvell、NVIDIA、Celestica	CPO 平台、熱實測與整機	見第 4 章	官網新聞、論文、媒體
富信科技等中國 TEC 廠	Micro–TEC 新供應	見第 2 章廠商表；富信通過 Coherent 認證	艾邦 2026–03–16（產能規劃）

6.4 受惠確定性排序與理由（不構成買賣建議）

排序	公司	確定性理由	主要不確定
1	毅嘉 2402	唯一有「已量產、有毛利率、有後續案、有量產時程」完整敘述的台廠；但這是可插拔世代的外殼，不是液冷	客戶未具名；對公司整體營收貢獻小；CPO 放量時是被替代者
2	正淩 8147	XPO 液冷模組有廠商自述的美系大廠訂單與 2H26 交貨時點	自述未經驗證；XPO 能否被大量採用未定；小量
3	奇鋐 3017	交換器冷板龍頭，CPO 冷板與客戶共同開發，題材方向正確	光模組液冷僅法人一句；CPO 時程取決於客戶；無訂單金額
4	貿聯、鴻騰 FIT、立訊	液冷 cage / XPO 冷板有具體設計與台架或模擬數據	皆為展示或台架，無客戶、無營收揭露
5	緯穎、健策	緯穎有 ELSFP 冷板與封裝熱模擬；健策為晶片端供應商	緯穎無訂單、無量產年份；健策非光模組本身
6	嘉澤、嘉基	因散熱維修性而生的間接受惠，認證時程清楚	2H27 才小量、非散熱零件
7	聯鈞、全新、同欣電	相鄰的雷射 / ELS 供應鏈，題材存在	與「散熱」本身沒有直接證據

7　驗證清單與風險、反證

7.1　追蹤指標

追蹤指標	為什麼重要	看什麼訊號
毅嘉客戶身分與 1.6T 案	驗證「模組外殼」題材能否從 800G 延伸到 1.6T / 3.2T，以及客戶是否為美系大廠	4Q26 小批、1Q27 量產是否如期；新接 4–5 案是否含 1.6T；散熱占營收是否上到 5–8%
正淩 XPO 出貨	XPO 是否從規格走到出貨；廠商自述的美系訂單是否兌現	2H26 小量是否交貨、營收是否出現；客戶是否為 Arista 生態
OSFP 液冷 cage 導入哪一代交換器	決定 cage 冷板（貿聯、立訊、FIT、奇鋐）是否從展示變訂單	Meta IceCube 之外的第二家交換器採用；NVIDIA Rubin 世代 OSFP 冷板滲透（CoolIT 稱熱捕獲 85% 含 OSFP）
CPO 量產時程	CPO 放量會把價值搬到交換器冷板、同時替代模組外殼	NVIDIA 量產出貨證據 vs SemiAnalysis 延遲說；Broadcom TH6-Davisson 實際出貨量；Coherent 稱 2026Q4 scale-out
TEC 價格與中國廠認證	TEC 是唯一不論路線都量增的元件；價格與供給決定誰賺到	Ferrotec 漲價傳聞能否被廠商公告證實；富信、鉍盛等中國廠通過 Coherent、Lumentum 等 ELS 廠的認證；台灣是否出現量產廠
3.2T 功耗實測	40–60W、40W（TE 讀圖）、70W（448G×8 線預測）三說並存，決定液冷光模組需求何時啟動	MSA、廠商 datasheet 或第三方實測給出 3.2T 模組功耗
ELSFP 良率與可維修性	ELS 占 CPO 故障 83–85%；ELS 壞得多但好修，決定 CPO 的維運成本	Meta 後續 RAS 資料；ELSFP 驗證溫度窗（0–70°C）下的壽命

7.2　反證條件

如果發生	代表什麼	受影響的環節
LPO 或低功耗 DSP 讓 1.6T 甚至 3.2T 留在氣冷	35W 天花板被繞過，液冷光模組需求往後推。Meta 實驗室資料：LPO 模組功耗降 46%、同風扇轉速溫度低 17.5°C、累積 296 萬 link-hours 零模組歸因故障（受控實驗室，非量產）；Broadcom 引用：LPO 可省 50% 以上功耗，但撐不過 400G / lane 的散熱牆	cage 冷板、XPO 冷板、模組內直液冷
CPO 再延後	可插拔延壽期拉長，外殼廠受惠期較久，交換器冷板題材延後	奇鋐 CPO 題材延後；毅嘉受惠期延長
XPO 不被採用	Microsoft 僅探索、Arista 單一平台依賴；若 NVIDIA 的 USFP 分流或客戶選 OSFP 冷板，XPO 液冷模組沒有放量	正淩、鴻騰 FIT 的 XPO 題材
CPO 的熱串擾被證實不可忽略	緯穎「可忽略」是廠商模擬；若實測接近 Marvell 矽中介層的 25°C，需更複雜的散熱，或改走更隔熱的有機載板與 ELS	CPO 光引擎冷板設計
台灣廠商打進 Micro-TEC	會改寫「台廠缺位」的結論	若出現，需另行驗證認證與量產
中國 TEC 產能過剩	各家產能規劃（富信、北冰洋、鉍盛等）合計遠大於需求，價格可能下行而非上漲（推論）	TEC 價格題材

8　來源與信心說明

8.1　整體信心：中

物理與架構邏輯（氣冷 35W 天花板、液冷延壽、雷射外移的理由）信心較高，因為多家獨立簡報互相印證；各世代的商業進度與台廠訂單信心偏低，因為多為展示、模擬或廠商自述。

8.2　證據性質分類

類型	項目
廠商簡報（OCP 2026，2026-10-12 至 15）	TE（氣冷上限、冷板設計與實測）、立訊（512W 台架）、鴻騰 FIT（XPO 200W 模擬）、貿聯（液冷 OSFP cage 展示）、Meta（IceCube、CPO RAS、LPO）、緯穎×Ayar Labs（ELSFP 冷板、封裝熱模擬）、Lumentum、Nokia、Micas、Marvell 相關
廠商自述（未經第三方驗證）	毅嘉法說（2026-10-15）；正淩的美系大廠訂單（康和 2026-10-01）；緯穎「熱串擾可忽略」；Coherent 的量產時程；立訊「3 個月可複製交付」；Ayar 的 ELSFP 規格
模擬 / 台架（非量產）	立訊 512W、FIT 200W / 64.49°C、TE 冷板實測、緯穎封裝熱模擬
預測值	TE 的 448G 功耗（70 / 120 / 250 / 500W）；3.2T 功耗估計
券商與研調	元大（2026-09-21）、智璞（2026-09-21）、康和（2026-10-01）、JPM（2026-09-29）、CTBC、野村、Citi、GS；TrendForce（2026-04-20）
產業社群（單一來源）	艾邦（2026-03-16）：TEC 用量、市占、中國廠產能與市場規模
市場傳聞（低可信度）	Ferrotec 漲價 55–82%（東方財富號社群貼文，2026-10-01）
一般物理常識	DFB 與 EML 的波長溫漂數字
口述（無投影片）	NVIDIA 稱 Spectrum-X CPO 已量產；USFP 最高 100W、2027 量產；Lumentum 400mW 量產、800mW 展示

8.3　未經證實、本報告刻意不採用的內容

- 網路查證階段由 agy（Gemini）整理的多項內容缺乏原始出處或 URL 查無，包括 800G / 1.6T / 3.2T 各代功耗的區間表、前面板熱流密度、風扇耗能占比、噪音值、TEC 功耗占模組 8–15%、矽光 CW 雷射免 TEC、MRM 熱調諧功耗、各家散熱廠商的光模組業務細節（飛榮達、中石科技、英維克、台達、嘉澤的光模組散熱等）、富信 2026 年半年報與定增數字。一律未採用。
- Amphenol OSFP-RHS cold plate 官網頁查證時為空白，僅用庫內已有的 XPO 資訊。
- NVIDIA 官網頁面沒有發布日期；其「液冷」與「5 倍功率效率」說法為廠商自述。

8.4　已知缺口

- 庫內無 TEC 廠專門資料；本報告 TEC 供給與用量皆為單一來源（艾邦）。
- uncooled 與 cooled EML 的量化比較、雷射與 TEC 單項功耗、ELS 的熱規格（OIF-ELSFP-01.0 原文）、光模組散熱件的單價與市場規模、毅嘉客戶身分與案件單價、TE 簡報中外置冷板熱阻串（庫內缺該頁圖），皆查無可靠資料。

8.5　主要來源清單

- OCP Global Summit 2026 簡報（2026–10–15）：TE〈448G 高速 IO 直液冷〉、立訊〈1600G 液冷 IO〉、鴻騰 FIT〈XPO 液冷光互連架構〉、貿聯〈電網到位元〉、Meta〈102.4T 乙太網路交換器〉〈CPO 從 51.2T 到 102.4T〉〈LPO 超大規模營運〉、緯穎×Ayar Labs〈CPO 光學 Scale–Up 機櫃〉〈機櫃級高功率 ELSFP〉、Lumentum〈CPO 外部雷射源架構〉、Nokia〈NPO 技術選擇〉、Micas〈LPO 到 NPO 到 CPO 路線〉、Microsoft / Arista〈XPO 系統評估〉。
- 券商與活動：永豐智璞專家分享會（2026–09–21）、元大光通訊產業（2026–09–21）、福邦矽光子 CPO（2026–09）、康和正淩（2026–10–01）、JPM 奇鋐（2026–09–29）、毅嘉法說 memo（2026–10–15）、Citi Coherent（2026–09–21）、GS 光通訊參訪（2026–09–14）、Omdia CIOE 回顧（2026–10–03）、珩石 NPO 專題（2026–10–12）、SemiAnalysis（2026–06–08、2026–07）。
- 公開網頁（2026–10–20 查閱）：NVIDIA Silicon Photonics 官網；Broadcom TH6–Davisson 新聞稿（2025–10–08）；Converge Digest〈Celestica DS6005〉（2026–10–12）；TrendForce（2026–04–20）；貿聯官網（2026–10–07）；鴻海官網（2025–10–14）；艾邦 cmpe360.com（2026–03–16）；工商時報（2026–03–10、2026–10–14）；東方財富號（2026–10–01，傳聞）。

本報告為研究整理，不構成投資建議。所有圖片之原廠簡報截圖皆標註來源；自繪圖為示意，非實物比例。