

產業深度報告

# NPO 接棒：下一代光互連的主軸轉移 與台股供應鏈全解

從 CPO 良率瓶頸到 NPO 放量——AI 資料中心光互連 2026–2030 路線圖

核心素材：SemiAnalysis「NPO Takes the Baton」(2026–07–13)

交叉來源：Morgan Stanley / Goldman Sachs / Merrill Lynch / 康和投顧 / 穎崴 CPO 論壇等庫內研究

報告日期：2026–07–15

## 目錄與全文摘要

**第一部：基礎知識**——為什麼要把光學搬到晶片旁邊（電訊號的物理極限、七種方案是什麼、光引擎/外部雷射/光纖陣列等零件解釋）

**第二部：核心論點**——CPO 卡在哪裡、NPO 為什麼接棒、出貨量與 TAM 模型（\$148M → \$31.5B）

**第三部：平台採用動態**——Amazon Trainium4、NVIDIA 三情境、Huawei Ascend 950、Meta、Arista XPO、Google

**第四部：觀點演進脈絡**——從 6/8「CPO 預期重設」到本篇「NPO 升格主軸」，機構觀點如何收斂

**第五部：台股供應鏈映射**——義隆、嘉澤、聯亞、全新、眾達、上詮、光聖、穎威、旺矽、致茂、波若威、譜瑞、台積電、大立光、萬潤、鴻勁

**第六部：風險與反證條件**——哪些訊號出現時，本篇論點需要下修

**一句話結論：**AI 資料中心光互連的「第一棒」正從 CPO（共封裝光學）轉由 NPO（近封裝光學）起跑。SemiAnalysis 於 2026 年 7 月 13 日發布的深度研究指出，受 CPO 光引擎貼裝良率與光纖組裝問題拖累，第一批把光學用於 scale-up（機櫃內 / 跨機櫃 GPU 高速互連）的大型系統——Amazon Trainium4、Huawei Ascend 950——都選擇了 NPO；NVIDIA 的 Vera Rubin Ultra NVL576 也備好了 NPO 備援方案。量化上，NPO 預估佔 2028—2029 年光引擎出貨的 60—70%，CPO 要到 2030 年才反超；CPO+NPO 關鍵零組件市場規模（TAM）從 2026 年約 1.5 億美元成長到 2030 年 315 億美元，其中外部雷射源（ELS）以約 142 億美元成為最大單一品類。對台股而言，這不是「光互連延後」，而是「放量提前、路徑改變」——雷射磊晶（聯亞、全新）、光纖陣列（上詮、光聖）、測試（穎威、旺矽、致茂）等「路線中立」環節照樣受惠，連接器（嘉澤）與 NPO 電晶片（義隆）則拿到全新的切入點。

## 第一部：基礎知識——為什麼要把光學搬到晶片旁邊

### 1.1 問題的起點：銅線跑不動了

AI 資料中心裡，交換器晶片（switch ASIC）與 GPU 之間的資料量以每兩年翻倍的速度成長。今天主流的连接方式是可插拔光模組（pluggable transceiver）：光模組插在機箱前面板的標準插槽（cage）上，電訊號從交換器晶片出發，穿過封裝、再沿著主機板（host PCB）上大約 300mm 的銅走線才到達模組。問題在於：訊號速率愈高，銅線的損耗愈嚴重——高頻下電流只在導體表面極薄的一層流動（趨膚效應），加上板材介電損耗隨頻率放大，300mm 的銅走線在 200G/lane 世代已經「髒」到訊號面目全非。

業界的補救辦法是在光模組裡放一顆 DSP（數位訊號處理器）負責重整訊號（retime），但 DSP 大約吃掉整個模組一半的功耗。當一座 AI 資料中心裡有數十萬個光模組時，這些 DSP 加總起來就是以「電廠」為單位的浪費。於是整個產業的方向很一致：縮短電訊號走的距離，讓光學離晶片愈近愈好，最好近到可以把 DSP 整顆拿掉（線性直驅）。差別只在「搬多近、用什麼方式搬」——這就是 NPO、CPO 等一整串名詞的由來。

電訊號通道長度：光學離晶片有多近？

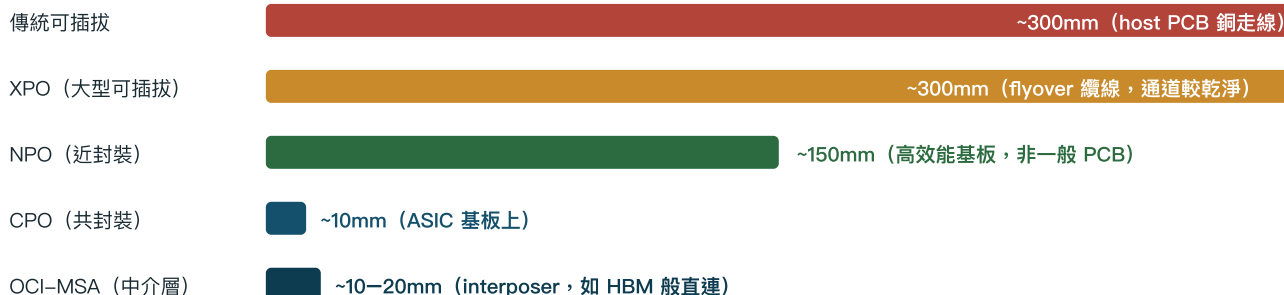


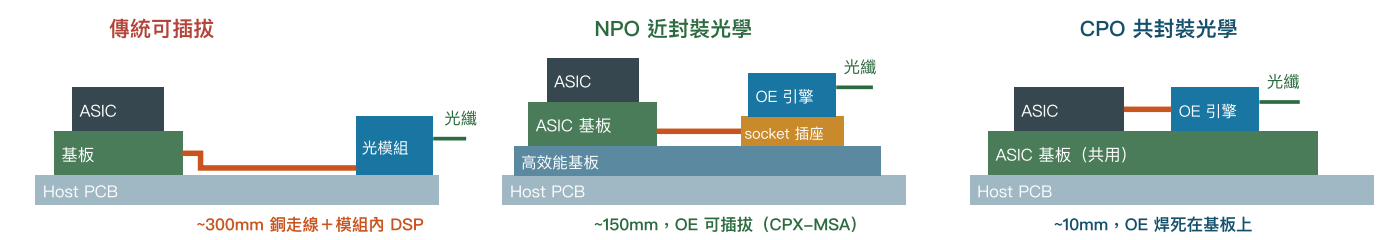
圖 1 | 五種光互連方案的電訊號通道長度對比（自繪示意；數據來源：SemiAnalysis, 2026-07-13）。距離愈短、訊號愈乾淨，就愈有條件拿掉耗電的 DSP。

### 1.2 一張圖看懂七種方案

市場上的名詞非常多，但分類邏輯其實只有兩個軸：①光引擎（OE）放在哪裡（前面板 → 主機板上 → ASIC 基板上 → 中介層裡），②訊號鏈是否保留 DSP（全重整 → 只重整發射端 → 完全線性）。以下是七種方案的白話定義：

| 方案              | 是什麼                                                                                        | 關鍵特徵                                                                                |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 傳統可插拔           | 光模組插在前面板，模組內有完整 DSP                                                                        | 成熟、熱插拔、多供應商；最耗電（~13 pJ/bit，OE + 外部雷射合計）                                             |
| LRO             | 可插拔的省電版：只在發射端保留重整，接收端走線性                                                                   | 過渡方案，2026—27 部署；~10 pJ/bit                                                          |
| LPO + CPC / XPO | 完全拿掉 DSP 的可插拔（LPO），XPO 是 Arista 主導的「巨型液冷可插拔」：單模組 64x200G（12.8T），用共封裝銅（CPC）+ 飛線把乾淨的電訊號送到前面板 | 16 顆 12.8T 模組 = 204.8T 塞進 1U 前面板、密度 4 倍、仍可熱插拔；~6 pJ/bit；2027 年後配合 Tomahawk 7 上市     |
| NPO（本篇主角）       | 光引擎搬到 ASIC 封裝旁邊，但不在 ASIC 基板上——OE 坐在自己的小基板上，透過插座（socket）接到高效能基板                             | ~6 pJ/bit、通道 ~150mm；可插拔（CPX-MSA 規格）、供應商開放、避開貼裝良率風險；換 OE 需開機箱，但外部雷射仍可現場更換；2027—28 部署 |
| CPO（固定式）        | 光引擎直接焊在 ASIC 基板上，與交換器晶片共封裝                                                                 | ~6 pJ/bit、通道 ~10mm；密度最高（前面板改用更密的 MMC 光纖接頭）；不可維修、供應商被綁定；2027 年起試部署                   |
| Pluggable CPO   | 光引擎仍在 ASIC 基板上，但做成可插拔組件（如 NVIDIA Quantum 方案：3 顆 1.6T OE 一組可插拔）                             | 介於兩者之間：保留部分重工能力；判斷 CPO vs NPO 的標準是「是否在 ASIC 基板上」，而非可否插拔                             |
| OCI-MSA CPO     | 下一代開放規格：OE 進到中介層（interposer），像 HBM 記憶體一樣直連晶片；內部改跑 50G NRZx 多波長（DWDM）而非 200G PAM4           | 能效最佳（~3 pJ/bit，比 NPO 好 2—3 倍、比 LRO 好 5 倍）；代價是最深度的供應商綁定；2030 年級別                     |

三種代表架構的剖面示意



共同點：三種架構的雷射光源多為「外部雷射源（ELS/ELSFP）」——雷射怕熱、易壞，抽出來放在前面板可單獨更換，經保偏光纖把連續光送進 OE 調變。

圖 2 | 傳統可插拔 vs NPO vs CPO 的結構差異（自繪示意，依 SemiAnalysis 2026-07-13 架構圖重繪）。NPO 的精髓：OE 坐在自己的基板上、用插座上板——「可插拔」與「靠近晶片」兩者兼得。

1.3 關鍵零組件白話解釋：OE、ELS、FAU 是什麼

**OE 光引擎 (Optical Engine)**

負責「電轉光、光轉電」的核心模組，內含兩層晶片：EIC（電晶片）——驅動器 (Driver) 與跨阻放大器 (TIA) 等高速類比電路；PIC（光晶片）——矽光子平台上的調變器、光偵測器與波導。本篇所有出貨量都以「3.2T 等效 OE」為單位計數。台積電的 COUPE 平台就是一種 OE 實作 (EIC 與 PIC 用 SoIC 混合鍵合堆疊)。

**ELS / ELSFP 外部雷射源**

雷射二極體最怕熱、又是最容易壞的元件，若跟高溫的 ASIC 封在一起，壞一顆雷射可能報廢整顆昂貴的交換器封裝。所以 CPO/NPO 都把雷射抽出來做成前面板可插拔的外部光源模組 (ELSFP)，輸出高功率連續光 (CW)，經保偏光纖送進 OE 調變。它是可以現場更換的「安全閥」，也是本篇 TAM 模型中金額最大的單一品類。

**FAU 光纖陣列單元 (Fiber Array Unit)**

把幾十根單模光纖以微米級精度排列固定的元件，是光從 PIC 晶片「走出封裝」的最後一哩。對位容差只有幾微米 (約光纖芯徑的四成)，主動對位 (active alignment) 的速度與良率直接決定 OE 量產成本——這也是台灣測試設備與精密封裝廠的主戰場。

**DSP / TIA / 線性驅動**

DSP 負責把走完長銅線的爛訊號「重新整形」，代價是約佔模組一半功耗。拿掉 DSP 之後 (線性直驅，LPO/NPO/CPO 都是)，TIA 與 Driver 必須在類比域維持極高線性度、交換器晶片的 SerDes 也要承接等化責任——這是高速類比 IC (義隆、譜瑞、MACOM、Semtech 等) 規格升級的來源。

1.4 能效階梯：省電多少才值得？

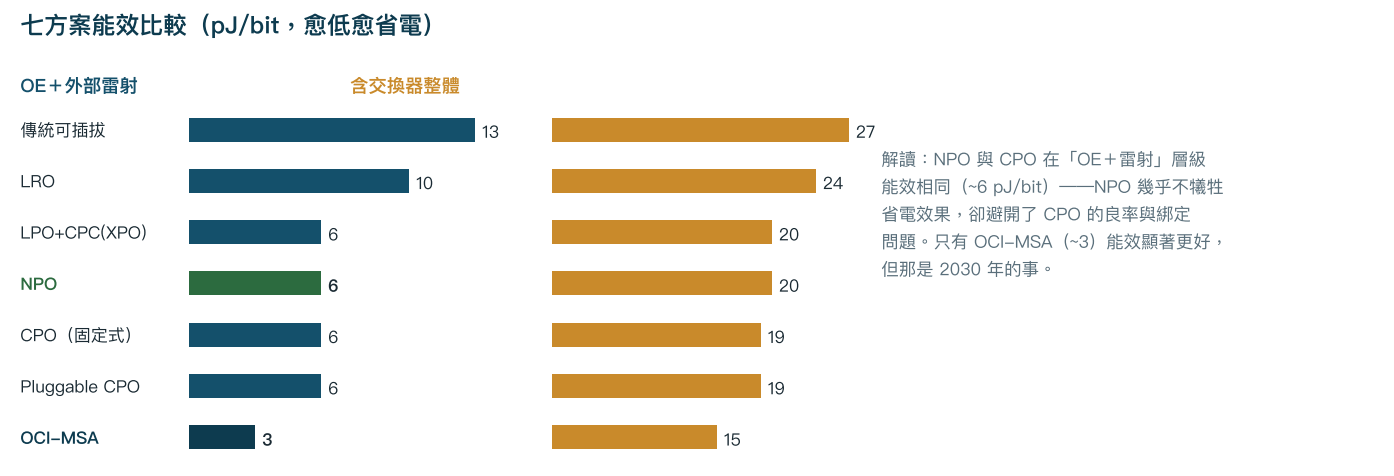


圖 3 | 七方案能效階梯 (自繪；數據來源：SemiAnalysis AI Networking Model, 2026-07-13，初估值)。pJ/bit = 傳輸每位元資料耗費的能量 (皮焦耳)。「含交換器整體」把 switch ASIC 的 SerDes 功耗一併計入。

**為什麼「能效相同」反而是 NPO 的賣點？**

CPO 的理論優勢要在「交換器晶片同步改用短距 SerDes」時才能完全兌現；在那之前，NPO 用一個插座 (socket) 就拿到幾乎相同的省電效果，還保留了三件 CPO 給不了的東西：①貼裝失敗可以重工 (rework)、②光引擎可以多供應商比價、③壞了可以開箱換而不是報廢整顆封裝。這就是「最佳能效 × 最低成本 × 供應商開放」的交集落在 NPO 與 Pluggable CPO 的原因。

## 第二部：核心論點——CPO 卡住、NPO 接棒

### 2.1 CPO 到底卡在哪裡：良率的乘法懲罰

固定式 CPO 要把 32 顆光引擎逐一貼到同一顆交換器封裝上，而且沒有重工路徑——任何一顆貼壞，整顆封裝（含昂貴的 switch die）一起報廢。這造成殘酷的乘法數學：

#### 單顆貼裝良率 95%

0.95 的 32 次方  $\approx$  **19%**——每五顆封裝只有一顆能用，量產經濟性完全不成立。

#### 單顆貼裝良率 99.5%

0.995 的 32 次方  $\approx$  **85%**——這是量產可接受的門檻，但目前業界（含 NVIDIA 使用的台積電 COUPE 光引擎）尚未穩定達到。

NVIDIA 正是這個問題的最大受災戶：其 CPO 光引擎產出與光纖貼附（fiber attach）問題，不僅拖累 scale-out CPO 交換器出貨，還可能波及 Vera Rubin Ultra NVL576 這個 8 機櫃、576 GPU 的旗艦 scale-up 系統（詳見第三部）。此外，貼裝良率不佳還有一個隱形效果：報廢的光引擎成本會攤回單價，推高所有人的成本曲線。

### 2.2 另一個推力：70% 的毛利堆疊

固定式 CPO 還有一個商業結構問題：光引擎焊死在交換器封裝上，意味著由交換器 / ASIC 廠商決定用誰的光引擎，並對這塊零件抽取約 70% 的毛利堆疊；而第三方可插拔光引擎廠商的毛利約 30—40%。對一年採購數十萬顆光引擎的超大規模雲端業者（hyperscaler）來說，這等於把議價權拱手讓人。Meta 同時推動「開放第三方 OE 的 NPO 交換器」與「開放規格的 OCI-MSA」，本質上都是在拆這個毛利結構。NPO 的可插拔規格（CPX-MSA，由連接器廠 Samtec 的 CPX 插座擔綱，單座支援 224Gb/s、128 對差分訊號，同時相容 NPO 光模組與 NPC 飛線銅纜）讓機櫃內可以維持光引擎供應商多元性。

### 2.3 NPO 的特色：Pluggable vs NPO vs CPO 三方對比

NPO 不是「比較弱的 CPO」，而是一組刻意的取舍——它坐在傳統可插拔與 CPO 的正中間，每一個維度都「各拿一半優點」。三方並列看得最清楚：

| 維度         | 傳統可插拔（現況）                                                          | NPO（近封裝，本篇主角）                                               | CPO（固定式共封裝）                                                        |
|------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| OE 位置與走線距離 | OE 在前面板模組內；電訊號走 ~300mm host PCB 銅線                                 | OE 坐在自己的 engine substrate、經插座上板；~150mm 高效能基板走線（非一般 PCB）     | OE 焊死在 ASIC substrate；走線僅 ~10mm                                    |
| DSP 與能效    | 需完整 DSP 重整訊號（佔模組約一半功耗）：~13 pJ/bit（OE + 雷射）、含 switch ~27            | 通道夠短、拿掉 DSP（200G/lane PAM4 線性直驅）：~6 pJ/bit、含 switch ~20     | 同為線性無 DSP：~6 pJ/bit、含 switch ~19——與 NPO 幾乎同級，要到 OCI-MSA（~3）才拉開     |
| 可維修性與可靠性   | 熱插拔、現場即換；但可靠性最差——Meta 現場數據：2x400G FR4 模組 MTBF 僅 0.71M device hours | 開機箱 reseal / 更換 socketed OE（switch 需下線）；ELS 雷射前面板可換——「半可維修」 | 不可維修，OE 壞→整顆封裝報廢；但整合度深、可靠性反而最高（Meta：非可維修組態 MTBF >20M device hours） |

|          |                                    |                                                                      |                                                                      |
|----------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 良率風險     | 模組獨立生產測試，無乘法懲罰                     | OE 上板前逐顆單體測試、貼壞換一顆——風險低                                              | 32 顆 OE 乘法懲罰：單顆良率 95% → 系統 ~19%；要 99.5%/顆才有 ~85%（目前未穩定達標）            |
| 供應商生態與毛利 | 第三方模組廠開放競爭，毛利 30—40%               | 第三方 OE 生態存活：CPX-MSA 標準化可插拔，現有收發器廠直接轉進，毛利仍 30—40%                     | switch/ASIC 廠決定用誰的 OE、抽 ~70% 毛利堆疊（vendor lock-in，hyperscaler 最抗拒的一點） |
| 頻寬密度與擴展性 | 受前面板空間與散熱天花板限制（XPO 大模組 + 液冷可撐 4 倍） | OE 搬進機箱、面板只剩光纖接頭——密度高；靠高效能基板可再擴                                      | 最高：資料在封裝內傳輸、面板改高密度 MMC 接頭；OCI-MSA 世代 OE 上 interposer、如 HBM 般直連       |
| 量產時點     | 現在主流（LRO 2026—27、XPO 2027+）        | 2027 底—2029 主軸：佔 2028—29 OE 出貨 60—70%（Trainium4、Ascend 950、Meta 已排隊） | 2027 起試部署、良率決定斜率；2030 年反超（佔 69%）                                     |

一眼看懂：NPO 是「介於中間、先可部署」的選擇。能效它拿到 CPO 級（~6 pJ/bit，比可插拔省一半以上），風險與生態它保住可插拔級（可換、可測、可比價）；唯一讓渡的是熱插拔便利與極限密度。在 CPO 良率未熟、hyperscaler 抗拒 70% 毛利綁定的 2027—29 年，這個中間解就是量產最快的解——這正是本篇標題「接棒」的含義。

## 2.4 特別受惠的元件與技術：兩層清單

第一層：不管 NPO 還是 CPO 贏，都要買的「路線中立」元件——需求跟光互連總量走，不跟路線之爭走：

| 元件               | 它是什麼、在架構裡的位置                                                               | 2030 TAM       | 台股對應                                                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| ELS / ELSFP 外部雷射 | 前面板可插拔的高功率連續光源，經保偏光纖餵光給 OE；NPO 與 CPO 都外置雷射（怕熱、易壞、要可換）；七方案中 ELSFP 一律開放第三方供應 | ~\$14.2B（最大品類） | 聯亞光電（CW-LD 磊晶）、全新光電（磊晶）、眾達-KY（ELSFP 封裝）                           |
| FAU + 組裝         | 光纖陣列單元——光從 PIC 晶片走出封裝的「最後一哩」，微米級對位；OE 顆數增加 FAU 就同步增加                       | ~\$8.6B        | 上詮（FAU 主力）、光聖 / 合聖（Meta-lens 耦合）、大立光（PMLA + 多層光纖陣列，量產提前至 2027 年中） |
| OE 光引擎本體         | EIC + PIC 的電光轉換模組，出貨量 2028 年 22.3 百萬顆 → 2030 年 81.1 百萬顆（3.2T 等效）           | ~\$8.1B        | 台積電（COUPE / SiPh 晶圓）、瑞峰（EIC/PIC 晶圓級封裝）                            |
| Shuffle Box      | scale-out 網路的光纖重排箱，在 TAM 模型中獨立列項                                           | ~\$0.6B        | 波若威（經鴻海供 Spectrum-X）                                              |

第二層：NPO 路線差異化受惠——相對 CPO 情境「多出來」的增量，NPO 份額愈高、這些環節愈肥：

| 元件 / 技術              | 在 NPO 架構裡的位置、為什麼 NPO 比 CPO 情境更受惠                                                        | 對應廠商                                                                  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 高速 socket / 連接器（CPX） | NPO 的機制核心：每顆 OE 配一座 224Gb/s 插座——CPO 情境下這個料號根本不存在（OE 焊死）。CPX-MSA 標準化讓連接器廠第一次在光互連拿到高單價新料號 | Samtec（規格主導）；嘉澤（NPC/NPO 共用 socket 平台、單座 6.4T；2H26 驗證→2H27 小量→2028 大量） |



|                             |                                                                                                 |                                                                 |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| NPO 模組 EIC（線性 TIA + Driver） | 200G/lane 無 DSP 架構下，模組內的高線性類比電晶片；NPO 模組由第三方生態組裝，EIC 供應商跟著開放而非被 switch 廠指定                       | 義隆（x沛達光電，1H27 樣品 / 2H27 出貨）、譜瑞-KY（TIA+EQ）、MACOM、Semtech、Marvell |
| Engine substrate / 高效能基板    | OE 自帶小基板+host 端 150mm 高效能基板走線——NPO 專屬的載板增量層（CPO 只用 ASIC 基板本身）                                   | 高階載板 / 基板鏈（觀察欣興等，尚無具名設計案）                                       |
| 第三方可插拔 OE 廠                 | NPO 讓現有 pluggable 收發器廠「直接轉進」新架構而不被 CPO 淘汰——Meta NPO switch 明確開放多供應商                             | Innolight、Eoptolink、Coherent；台股華星光等模組鏈間接對應                      |
| OE 測試介面 / 單體測試              | Socketed 架構把測試點前移：OE 上板前逐顆單測（unit test），測試 socket 與 handler 需求跟 OE 顆數線性成長；socket 測試與 NPO 插座技術同源 | 穎崴（HyperSocket）、旺矽（CPO Insertion 對位設備）、致茂（OE 測試機）、鴻勁（光電共測平台）    |

2.5 量化模型：NPO 佔 2028–29 出貨六到七成

3.2T 等效光引擎出貨量：NPO 先跑、CPO 後至（百萬顆）

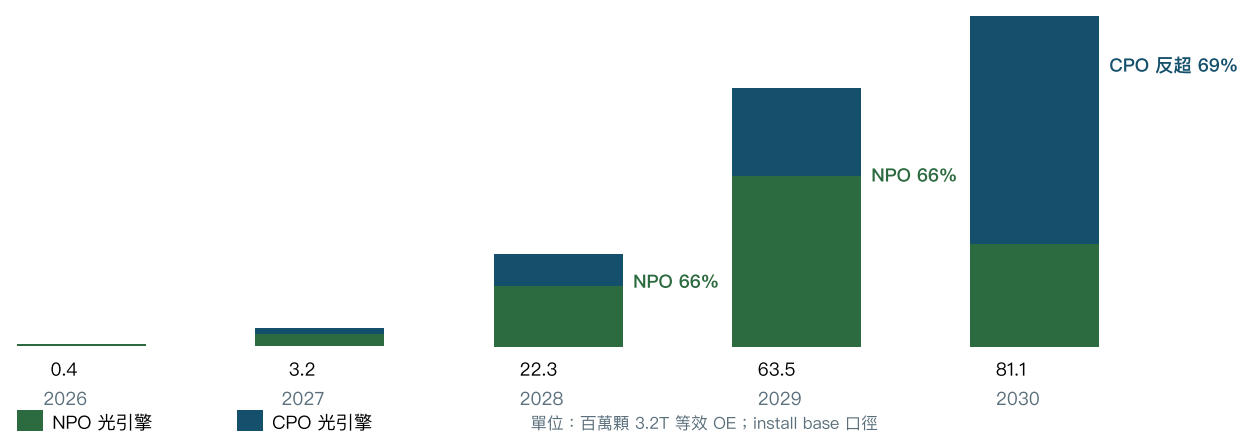


圖 4 | CPO+NPO 光引擎出貨量模型（自繪；數據來源：SemiAnalysis AI Networking Model, 2026–07–13）。NPO 2029 年見頂（41.9 百萬顆）後回落，CPO 於 2030 年反超（55.9 百萬顆、佔 69%）——NPO 是「第一棒」而非終點。

三個關鍵解讀：

- 1. 放量結構以 scale-up 為絕對主力：2029 年 NPO 出貨中，scale-up（GPU 互連）佔 40.6 百萬顆、scale-out（交換器對外）僅 1.3 百萬顆。光互連的真正戰場是機櫃內 / 跨機櫃的 GPU 網路，不是傳統交換器面板。
- 2. NPO 的 go-to-market 落在 2027 年底以後：2027 年 NPO 出貨僅 1.8 百萬顆，2028 年跳到 14.8 百萬顆——放量拐點在 2028。目前主流 NPO 設計採 200G/lane PAM4 調變。
- 3. 2030 年 CPO 反超不是 NPO 失敗，而是各平台 CPO 方案陸續成熟+OCI-MSA 成為選項後的自然交棒；屆時 NPO 仍有 25.2 百萬顆的年出貨量。



## 2.6 TAM：從 1.5 億到 315 億美元，錢集中在雷射

CPO+NPO 關鍵零組件 TAM（十億美元）與 2030 年分項

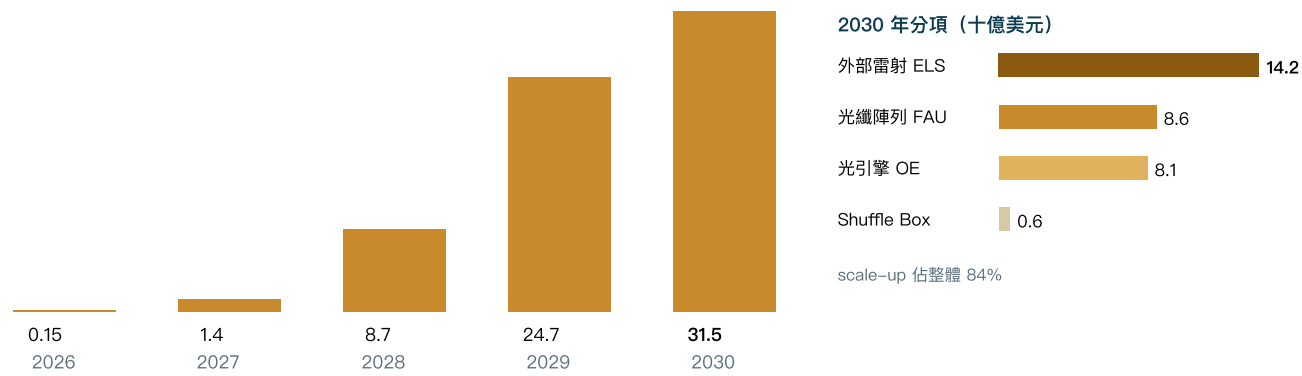


圖 5 | TAM 成長曲線與 2030 年分項（自繪；數據來源：SemiAnalysis, 2026-07-13；分項金額為報告 TAM 表推算值，存在表格重建誤差，見第六部風險說明）。

**最重要的供應鏈訊息：ELS 是「路線中立」的最大品類。**

不論 NPO 或 CPO 勝出，兩者都採外部雷射源架構——雷射需求跟總出貨量走，不跟路線之爭走。2030 年 ELS 約 142 億美元，超過 FAU（86 億）與 OE 本體（81 億）。且在七方案比較中，ELSFP 在所有架構下都維持第三方開放供應——這是上游雷射磊晶與雷射模組封裝廠最舒服的位置。同時要注意 Meta 的現場數據：早期 CPO 可靠性問題的元凶恰是 ELSFP 的雷射驅動電路 SMT 元件（排除後 MTBF 從 1.47M 跳到 8.2M device hours）——雷射模組的品質門檻高，是護城河也是驗證重點。

## 第三部：平台採用動態——誰在用 NPO、怎麼用

### 3.1 Amazon Trainium4：第一個押注 NPO 的大型自研晶片系統

Trainium4 是第一個嘗試採用 NPO 的大型自研晶片（custom silicon）系統，架構仍在變動中，但基準情境如下：每機櫃 144 顆 GPU（36 個運算托盤 × 4 顆），八個機櫃組成 1,152 GPU 的 scale-up 網域。機櫃內用銅背板把每顆 GPU 接到本櫃全部交換器；跨機櫃部分則由每顆 GPU 直接經 NPO 光連到其他七個機櫃的交換器——這是「光走出機櫃、銅留在機櫃內」的典型分工。NPO 模組經 Samtec CPX 插座上板，插座同時相容飛線銅纜（NPC），讓 Amazon 保留「晚點再決定用不用光」的彈性。

互連協定是 AWS 自定義的 NeuronLink 第五代（基於 PCIe 7 的 UALink 128G）；同時規劃 NVLink Fusion 版本，由封裝外的 gearbox 晶片把 UALink 訊號轉成 200G/lane 的 NVLink。兩種機櫃 SKU 目前假設各佔一半（其中一軌被砍掉的可能性存在）：

| SKU      | 主要供應商                 | 供應內容                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UALink 版 | Astera Labs           | 綁售 I/O chiplet+UALink 交換器+NPO 方案。Astera 的光學時程持續提前：2025 年底還說 2028–29 年做 scale-up 光學，2026 年 6 月已改口 2027 年認列首筆光學營收、2H27 出貨機櫃對機櫃 NPO、2028 年後進入 CPO scale-up                                                                                            |
| NVLink 版 | Astera Labs + Marvell | Astera 供 I/O chiplet+gearbox；Marvell 供 NPO 模組與 NVLink 交換器——NVLink Fusion 近月修訂後，NVIDIA 不再是 NVSwitch 唯一來源，這是生態控制權的重大讓渡。Marvell 已在法說首次使用「NPO」一詞，並把「scale-up optics」品類的 F1/28 指引上調到約 3 億美元（原先僅 Celestial AI 基礎的 1.5 億）。NVIDIA 對機櫃設計有最終話語權，NPO 是否採用仍有變數 |

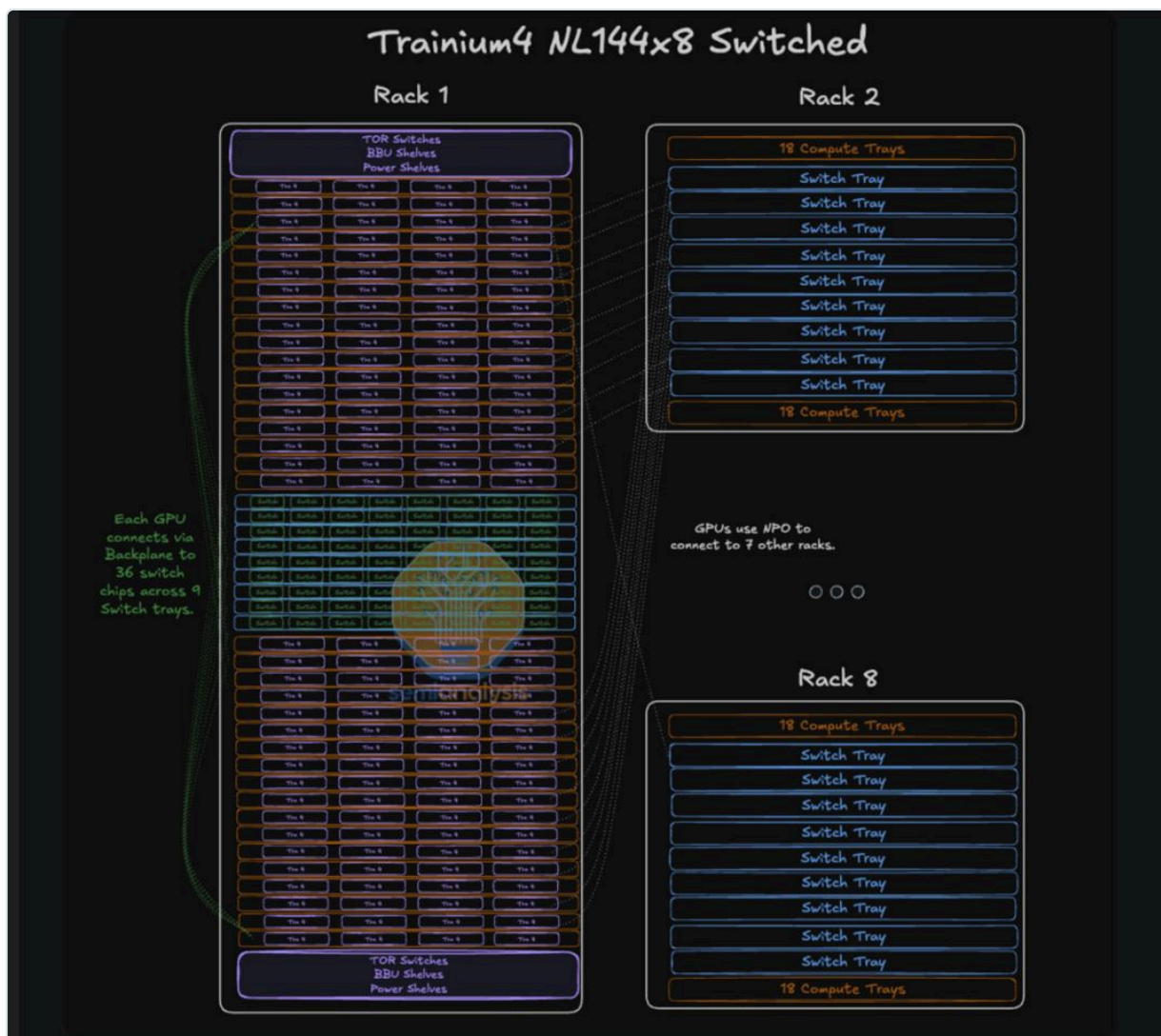


圖 6 | Trainium4 NL144x8 機架構想圖：每顆 GPU 經背板連到本櫃 9 個交換器托盤共 36 顆交換器晶片，並以 NPO 直連其他七個機櫃；每櫃 36 個運算托盤。來源：SemiAnalysis, 2026-07-13。

頻寬數字：UALink 版每櫃 scale-up 總頻寬 4.72 Pbit/s（單向）、相當於每顆 GPU 掛 6 顆 3.2T 等效光引擎；NVLink 版 3.69 Pbit/s、每 GPU 4.75 顆。一個八櫃系統的光引擎用量以「千顆」計——這就是 NPO scale-up 出貨量遠大於 scale-out 的原因。另值得記錄：SemiAnalysis 判斷 Marvell 收購的 Celestial AI（EAM 調變器路線）不會用於 Trainium4 NPO 方案；Celestial 技術更可能落在 photonic bridge 或 PFMA（光子記憶體設備，Marvell 為雲端業者設計中的 CXL / 記憶體擴展產品）。

### 3.2 NVIDIA：CPO 為主、NPO 備援、還有一個「放棄」選項

Vera Rubin Ultra NVL576 是 8 機櫃 Oberon 架構、576 顆邏輯 GPU 的 scale-up 系統：每櫃 72 顆 R300、54 顆 28.8T NVLink 交換器；每個 4 交換器托盤合計 108.8 Tbit/s 單向頻寬，其中 76.8T 走機櫃內銅背板、32.0T 經 10 顆使用中的 3.2T 光引擎（CPO）連到其他七櫃。這是 NVIDIA 第一個把 CPO 用在 scale-up 的系統，也因此把 CPO 良率問題的賭注拉到最大。SemiAnalysis 給出三種情境：

| 情境          | 內容                                                            | 供應鏈含義                                |
|-------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| (a) 如期走 CPO | 良率及時改善，NVL576 照原設計出貨                                          | CPO 鏈 2027 提前兌現                      |
| (b) 換裝 NPO  | NVIDIA 已在準備 200G / 400G PAM4+DWDM 的 NPO 實作，若及時成熟可直接替換 CPO 光引擎 | NPO 鏈額外獲得 NVIDIA 量；連接器 / socket 需求上修 |
| (c) 砍掉跨櫃光學  | 放棄 cross-rack 光學方案，沿用 Oberon 式機櫃直到 Feynman 世代再試               | 光互連放量整體推遲一個世代，銅互連受惠                  |

附帶一提：NVIDIA 的 scale-out CPO 交換器將全面改用更高密度的 MMC 光纖連接器、放棄通用的 MPO 接頭——面板密度是 CPO 僅存的獨占優勢之一。原本可能在 Feynman 世代登場的 OCI-MSA 式 DWDM CPO，也可能因現行良率問題而受影響。

3.3 Huawei Ascend 950：NPO 只用在「交換器對交換器」

Huawei Atlas 950 SuperPod 是約 8,192 顆 NPU 的多級 dragonfly 網路：8 個 1,024-NPU 的 UB-Mesh-Pod、每 pod 16 櫃 4D FullMesh、每櫃 64 顆 NPU 配 4 個平面的 7.2T 低基數交換器（LRS）。Huawei 的取舍與 Amazon 不同：**NPU 側全部留銅**（每 NPU 18 個 400G 埠：7 個經飛線連同板 NPU、7 個經背板跨板、4 個上行到交換器層），**NPO 只用在交換器對交換器（LRS-to-LRS）**——凡是櫃內跨層與出櫃的 switch 互連全部走光。換算下來每櫃 896 個 400G 光埠 = 358.4 Tbit/s = 112 顆 3.2T 等效光引擎、每 NPU 掛 1.75 顆（對照 Trainium4 的 4.75–6 顆）；櫃內銅背板成本約每 NPU 192 美元。這是「保守版 NPO」：光學風險只押在交換器層，運算晶片完全不碰光。

3.4 Meta：三線並行的 scale-out 玩家

Meta 是 scale-out（資料中心網路交換器）側佈局最全面的業者，同時押三條線：

- **CPO 交換器**：由 Celestica 代工 102.4T CPO 交換器，2H27 開始爬坡。Meta 在 OFC 2026 發表的現場可靠性數據其實對 CPO 相當有利（見圖 7）——長期方向的信心來源。
- **NPO 交換器**：以 Broadcom Tomahawk 6（102.4T）為基礎的 NPO 交換器方案，光引擎開放給現有收發器供應商（Innolight、Eoptolink、Coherent 等）多元供貨，還能混搭光學型態（下行用 DR、上行用 FR 省光纖）。動機直白：**把光引擎從交換器廠手中解綁，付 30–40% 毛利而不是 70%+**；另一個推力是台積電 COUPE 光引擎的良率問題未解。
- **OCI-MSA 生態試水**：探索符合 OCI MSA Gen1 規格的 CPO 光引擎與 ELSFP（每 12.8T ELSFP 供應 8 個波長、拆給兩顆 6.4T OE，每 lane 由 4 個波長 × 50G NRZ 組成），幾乎確定用於 scale-up、可能搭配 Tomahawk Ultra 2。Meta 的意圖是「培養開放生態」：不只自建 MTIA scale-up 網路，還想拉 AMD 等 merchant silicon 陣營一起採用，甚至可能說服 Broadcom 做出可插拔 CPO 版本。

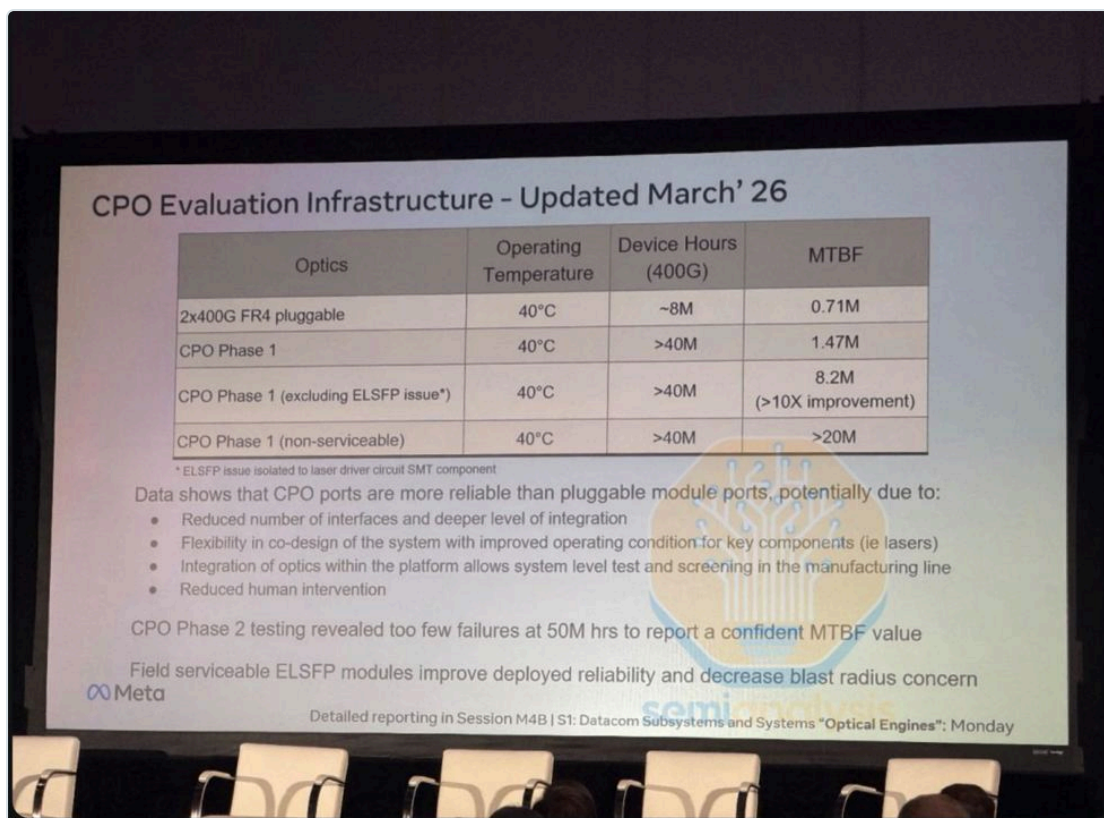


圖 7 | Meta 於 OFC 2026 更新的 CPO 現場可靠性數據 (400G 埠、40°C)：傳統 2x400G FR4 可插拔模組 MTBF 僅 0.71M device hours；CPO Phase 1 為 1.47M，排除 ELSFP 雷射驅動 SMT 元件問題後達 8.2M（提升逾十倍）；非可維修組態更超過 20M。Phase 2 在 5,000 萬小時測試中故障數少到無法計算 MTBF。來源：Meta（OFC 2026），轉引自 SemiAnalysis, 2026-07-13。

**解讀：短期選 NPO 不是因為 CPO 不可靠。**

Meta 的數據顯示 CPO 埠比可插拔埠可靠一個數量級——介面更少、整合度更深、雷射工作環境更好。短期棄 CPO 選 NPO 的原因是製造良率（貼裝乘法懲罰）與商業結構（毛利堆疊），不是現場可靠性。這也是為什麼 2030 年 CPO 反超的判斷站得住腳：良率是時間問題，可靠性數據早已站在 CPO 這邊。

### 3.5 Arista：XPO——可插拔陣營的最後防線

Arista 主導的 XPO MSA（2026 年 3 月成立）給出另一種答案：不把光學搬進機箱，而是把可插拔模組做大——單模組 64x200G（12.8T）、液冷、16 顆模組就是 204.8T，塞進 1U 前面板、密度是 OSFP 的四倍，而且保留熱插拔。XPO 與 NPO 都能去 DSP、拉高面板密度，差別在風險落點：XPO 把風險放在「更長的電通道跑線性訊號」（用共封裝銅 + 飛線換乾淨通道，但 30cm 距離的衰減不可避免）；NPO 把風險放在「光學量產爬坡」（通道砍到 5cm，但要面對光引擎上板的生產與可靠性課題）。Tomahawk 7 世代（1,024 個 200G SerDes，Tomahawk 6 的兩倍）交換器廠有三個選項：XPO、NPO / Pluggable CPO、傳統 OSFP——已有成熟低價 1.6T 收發器供應鏈的業者，仍可能選擇「巨大機箱 + OSFP」繼續拖。

### 3.6 Google：市場傳言的照妖鏡

市場盛傳 Google 已下 NPO 訂單、2026 年底交付——SemiAnalysis 判斷這是誤讀。理由是物理需求對不上：TPUv8i（Boardfly）每 TPU 9.6T 的 scale-up 頻寬由 2 條 1.6T ACC + 1 條 DAC + 1 顆可插拔收發器 + 飛線 + PCB 組成；TPUv8t（3D Torus）同樣 9.6T、走 PCB + 4 個 OSFP 插槽——都遠未逼近面板密度極限，用 NPO 只是徒增風險。Virgo scale-out 網路現行 800G/TPU 用可插拔就能滿足。若要導入，合理時點是 XPO 配



Tomahawk 6 + TPUv9t（Humufish），NPO 要等 Tomahawk 7 + TPUv10t（Icefish）。投資含義：任何以「Google NPO 大單」為題材的個股敘事，都應要求更硬的證據。

## 第四部：觀點演進脈絡——市場如何一步步走到「NPO 主軸」

2026 年光互連預期修正時間線



圖 8 | 從「CPO 過熱」到「NPO 主軸」的機構觀點演進（自繪，依本庫累積研究整理）。

把本篇放回脈絡，可以清楚分辨「延續」與「新增」：

| 議題              | 先前觀點（2026 年 5–6 月）                              | 本篇（7/13）                                              |
|-----------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| CPO 2027 出貨預期   | 過高，需下修（SemiAnalysis 6/8；MS 估 2027 OE 僅 6–7 百萬套） | 延續：模型給 CPO 2027 僅 1.4 百萬顆、2028 年 7.5 百萬顆              |
| 過渡期受患者          | 「NPO / 可插拔 / 銅」一句帶過                             | 大幅升級：NPO 單獨拉出成主軸，給出 60–70% 份額與逐年量                     |
| NPO 定位與時點       | 穎崙論壇引用的演進圖把 NPO 標為「2025 年、<3.2T」的過渡階段           | 修正：NPO 上市時點 2027 年底以後、200G/lane、主戰場在 scale-up（非交換器面板） |
| Rubin Ultra 必走光 | 2027 年 scale-up 必須上光（CPO/NPO）                   | 延續+風險上修：新增「放棄跨櫃光學、Oberon 撐到 Feynman」情境                |
| CPO 長線方向        | 各機構一致看多                                         | 延續：2030 年 CPO 反超+Meta 可靠性數據背書                         |

註：穎崙演進圖與本篇的差異並非硬矛盾——前者描述「技術成熟度階段」（NPO 技術 2025 年已可用），後者描述「系統放量時點」（大系統 2027 年底才開始採用）。

## 第五部：台股供應鏈映射

SemiAnalysis 原文未點名任何台股；以下映射為本庫對照既有供應鏈研究（Morgan Stanley、Goldman Sachs、康和、Merrill Lynch、公司法說與論壇資料）的推導，並納入 2026 年 7 月中旬最新一批券商報告的增量資訊。每檔標注「為什麼、時程、驗證訊號、信心」。

### NPO / CPO 台股供應鏈地圖（依價值鏈環節）



圖 9 | 台股供應鏈地圖（自繪，依本庫供應鏈研究整理）。

### 5.1 NPO 直接新增量：義隆、嘉澤、譜瑞

#### 義隆電子（2458）——NPO 模組電晶片（EIC）時程完全對齊 信心：中高

為什麼：與矽光子新創沛達光電（PETA Optronics）合作開發 scale-out NPO 模組用 EIC（TIA + Driver），是義隆切入光通訊的第一個量產節點（Morgan Stanley, 2026-06-08）。NPO 採 200G/lane 線性架構，高線性類比電路正是核心零件。**時程**：1H27 樣品、2H27 出貨——與 SemiAnalysis 給出的「NPO go-to-market 2027 年底以後、2028 放量 14.8 百萬顆」精準對齊。**驗證訊號**：1H27 樣品節點是否如期、客戶名單是否從單一專案擴散。

#### 嘉澤端子（3533）——NPO / CPO 插座與連接器 今日新料：時程首次具體化 信心：中

為什麼：NPO 的靈魂是「socketed 光引擎」——CPX-MSA 讓連接器廠第一次在光互連拿到標準化高單價料號（規格由 Samtec 主導，224Gb/s、128 對差分/座）。嘉澤先前揭露兩個 NPO 機會（一個透過 LOTES 外包、一個直接切入；MS 2026-05-29），康和投顧 2026-07-13 報告首次把時程具體化：嘉澤以 NPO 為主力、CPO 並行，已與客戶 design-in 推出 NPC/NPO 共用 socket 平台（單一 socket 支援達 6.4T 頻寬），時程 2H26 完成驗證 → 2H27 小量出貨 → 2028 大量出貨；另自 2025 年起投入 6.4T CPO socket（32TX + 32RX），2H26 起以客製化專案開始發酵。康和同日上調評等至「買進」、目標價 NT\$2,425（23 倍 2027 年預估 EPS 105.38 元）。**驗證訊號**：2H26 驗證完成公告、NPO socket 客戶是否為 Trainium4 / NVIDIA 生態、ASP 與 content 揭露。

#### 譜瑞-KY（4966）——TIA + 等化器 信心：中

為什麼：收購 Spectra7 後具備 SiGe 高速類比訊號鏈（GaugeChanger），庫內研究估其 CPO 光引擎內含價值約 40 美元（TIA \$15 + EQ \$25）；NPO 的線性架構同樣需要 TIA/EQ。**驗證訊號**：NVIDIA/AMD CPO 專案出貨節奏、是否進入 NPO 模組 BOM。



## 5.2 路線中立的最大贏家：雷射與 ELSFP

### 聯亞光電（3081）、全新光電（2455）——CW 雷射磊晶 最大品類・路線中立 信心：中高

為什麼：NPO 與 CPO 都用外部雷射源，ELS 是 2030 年最大零組件品類（~142 億美元）、6.4T ELS 需求 2030 年約 40 百萬顆等級——雷射需求與「NPO vs CPO 路線之爭」完全脫鉤，只跟光互連總量走。產業結構也在幫忙：資料中心光晶片需求正從 EML 轉向 CW-LD（住友電工估 CW-LD 佔比 2024→2028 從 24% 升到 69%），聯亞、全新正是台灣 CW-LD / InP 磊晶主力，填補 Lumentum/Coherent 的緊缺產能。驗證訊號：CW-LD 認證進度（穩懋揭露完整認證需 1–2 年）、高功率（200mW+）產品放量、聯亞毛利率（4Q25 已達 49%）。

### 眾達-KY（4977）——ELSFP 光學封裝 信心：中

為什麼：台股較直接的 ELSFP / 外置雷射光源封裝映射（對應 Broadcom Baily/Tomahawk 生態）。七方案比較顯示 ELSFP 在所有架構都開放第三方供應；Meta 數據又指出早期可靠性問題出在 ELSFP 雷射驅動 SMT——品質門檻高，做得好就是護城河。驗證訊號：區分「市場點名」與「官方認證」，追蹤實際出貨與客戶揭露。

## 5.3 光引擎與耦合：台積電、上詮、光聖、合聖、大立光

### 台積電（2330）——COUPE 光引擎平台 雙面刃・信心：中

為什麼：本篇 NPO 論點的「起因」正是 COUPE 光引擎的貼裝良率問題（Meta 轉向 NPO 的理由之一、NVIDIA 困境的核心）——短期是負面敘事；但 NPO 的矽光子 OE 本體多數仍出自 COUPE / SiPh 代工，量先行、良率問題反而由 socketed 架構繞開，出貨量模型（2028 年 22.3 百萬顆 OE）對台積電光引擎晶圓是正面。驗證訊號：PIC 產能爬坡（MS 估 1Q27 達 10k wpm）、SoIC / 組裝良率改善斜率。

### 上詮（3363）、光聖（6442）、合聖（7928）——FAU / 光纖耦合 信心：中高

為什麼：FAU+組裝是 2030 年第二大品類（~86 億美元）；NPO 的光引擎照樣要 FAU 出纖，需求跟 OE 顆數走（2029 年 63.5 百萬顆）。上詮為 FAU 封裝主力（MS 維持 OW，CPO 營收 3Q26 末開始 ramp）；光聖經子公司合聖持有 Meta-lens（±18μm 對位容差）方案。驗證訊號：上詮 CPO 營收 ramp 節奏、iFAU/D-FAU 路線比重、合聖 Meta-lens 是否進入 COUPE 世代 BOM。

### 大立光（3008）——PMLA 與多層光纖陣列 今日新料：量產提前至 2027 年中 信心：中高

為什麼：Computex 2026 展示 CPO 光學方案（PMLA 光子模組透鏡組件+四層×十纖共 40 纖的多層光纖陣列，0.3μm 精度），把數十年模壓玻璃 / 精密光學能力帶進光通訊。時程（2026-07 更新）：2Q26 法說後六家券商（Citi/Nomura/UBS/CTBC/GS/MS）一致確認 CPO Fiber Array 量產時程由 2028 提前至 2027 年中；原最保守的 Morgan Stanley 由 Equal-weight 大幅升評至 Overweight（TP 2,450→4,836）。這與本篇「光互連放量提前、但第一棒是 NPO」相容——大立光的光纖陣列屬於路線中立的耦合元件。驗證訊號：2027 年中量產是否兌現、客戶是否為 NVIDIA 生態、6/10 JPM 曾質疑的「FAU 與現行 chip design 生態不相容」是否已解。

## 5.4 測試與設備：穎崴、旺矽、致茂、萬潤、鴻勁

### 穎崴（6515） / 旺矽（6223） / 致茂（2360）——OE 測試三雄 信心：中

為什麼：2028 年 22.3 百萬顆、2029 年 63.5 百萬顆 OE 的測試量必須先行建置；NPO 的單體測試（unit test）流程比 CPO 貼裝後測試單純，且 socketed NPO 與測試 socket 技術同源。穎崴 HyperSocket 對應大封裝高功率測試；旺矽 CPO Insertion 2（3Q26 驗證） / Insertion 3（4Q26 小量、2027 量產）做 FAU 主動對位；致茂拿下 NVIDIA OE 測試 insertion #3/#4（OE die tester 6 月試產、light-in/light-out 3Q26 底），庫內估 TAM 2027/28 約 NT\$10bn/30bn+、致茂取七到八成價值份額。驗證訊號：旺矽 Insertion 2/3 客戶驗證結果、致茂 #4 光學測試機出貨、qualification 訂單是否轉量產單。

### 萬潤（6187）——CPO 光耦合設備 今日新料：兩大外資分歧 信心：中

為什麼：CoWoS 點膠 / 貼附設備霸主（WoS underfill 點膠市占近 100%）跨入 CPO 精密對位與檢測設備。今日增量（重要分歧）：GS（07-09）因客戶要求提高單機產出而下修 CPO 設備出貨台數、上修單機 ASP（20%+），CPO 營收占比估 2027/28 年 16% / 60%（營收 NT\$2.1bn / 10.2bn）；Merrill Lynch（07-13 首次覆蓋，Buy、PO NT\$1,500）獨立建模給 29% / 42%——兩者對 2028 年 CPO 放量斜率分歧顯著（60% vs 42%），恰好呼應本篇「CPO 放量時點不確定、NPO 先行」的核心不確定性。驗證訊號：CPO 設備單價與台數的季度揭露、2026 年底首批光耦合設備營收認列。

### 鴻勁精密（7769）——FT Handler 與 CPO 光電共測 信心：中

為什麼：AI/HPC 晶片 FT handler 市占逾 90%，正開發 CPO 光電協同測試平台（光學對準模組+電氣測試）——OE 放量後，光電共測是 handler 的下一波 ASP 升級。驗證訊號：CPO 共測平台客戶驗證、SLT 在 AI ASIC 的滲透節奏。

## 5.5 光被動：波若威

### 波若威（3163）——Shuffle Box / FBG / WDCM 信心：中

為什麼：scale-out shuffle box（光纖重排箱）在本篇 TAM 模型中獨立列項（2030 年 ~6 億美元）；波若威經鴻海供應 NVIDIA Spectrum-X shuffle box 為既有映射，另供 WDCM / FBG 等被動元件。驗證訊號：Spectrum-X CPO 交換器放量節奏、shuffle box 單價與份額。

#### 映射的誠實邊界

以上台股均為「環節對照」推導，SemiAnalysis 原文一家台股都沒有點名。NPO 主要系統（Trainium4、Ascend 950）的直接供應商是 Astera Labs、Marvell、Samtec 與中國光模組鏈——台股受惠多屬第二層（上游材料、耦合元件、測試設備）或依附 NVIDIA / Broadcom 生態。個股部位仍應以各自的客戶認證與訂單證據為準，不宜把 \$31.5B TAM 直接套到任何單一公司。

## 第六部：風險與反證條件

| 風險              | 內容與觸發訊號                                                                                                     | 影響                                        |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| NVL576 砍掉跨櫃光學   | NVIDIA 若選擇情境 (c) (Oberon 撐到 Feynman)，2027—28 最大單一光學需求來源消失；觸發訊號：Rubin Ultra 機櫃設計定版、CPO/NPO 備援進度停更            | OE/ELS/FAU 出貨模型下修，銅互連 (AEC/背板) 受惠         |
| NPO 窗口被兩端壓縮     | 若 1.6T/3.2T 可插拔 + LPO 持續夠用 (XPO 又拉高可插拔密度四倍)、或 CPO 良率改善快於預期，NPO 的 2027—29 窗口縮短；本篇模型本身就給出 NPO 2029 見頂、2030 回落 | NPO 專屬環節 (socket、EIC) 成長曲線變短              |
| Trainium4 雙軌砍一軌 | UALink/NVLink 50/50 假設極不確定；NVIDIA 對 NVLink 版有最終話語權，可能否決 NPO                                                 | Astera 或 Marvell 其中一方受挫；連帶影響 socket/EIC 量 |
| TAM 分項數字的重建誤差   | 本報告引用的分項金額 (ELS \$14.2B 等) 由原文表格數位重建，存在 OCR 誤差可能；總額 \$31.5B 已與原文文字交叉驗證、分項加總亦吻合，但個別分項應視為「量級」而非精確值            | 分項排序 (ELS 最大) 可信度高，精確金額中等                 |
| 單一來源風險          | 出貨量/份額模型出自 SemiAnalysis 一家；雖與 MS (OE 6—7 百萬套 2027)、野村、穎威時程判斷方向相容，仍屬研究機構推估而非公司指引                             | 以「中」信心對待所有 2028 後數字                       |
| 中國供應鏈分流         | Huawei Ascend 950 的 NPO 幾乎確定由中國光模組廠供應，其量 (每櫃 112 顆 OE) 不會流向國際第三方名單                                          | 計算國際/台股可及 TAM 時應剔除                        |
| Google 題材證偽     | 「Google NPO 訂單」被判誤讀；若市場仍以此炒作相關個股，回檔風險高                                                                      | 題材股需硬證據                                   |

### 反證條件（出現即需下修本篇論點）

- 台積電 COUPE 貼裝良率在 2027 上半年就穩定達到 99.5% / 顆等級——CPO 直接起飛，NPO 窗口大幅縮短；
- Astera Labs 2H27 NPO 營收未如期認列，或 Marvell scale-up optics F1/28 ~\$3 億指引下修——NPO 放量拐點後移；
- 嘉澤 NPO socket 2H26 驗證未過或案子縮水——CPX-MSA 生態收斂速度存疑；
- Meta NPO 交換器方案中止、全押 Celestica CPO——「開放生態 vs 毛利堆疊」論點弱化。

## 附錄：關鍵數據總表

| 項目                     | 數值                                                                                                                                     |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 電訊號通道長度                | 可插拔 ~300mm (host PCB) / NPO ~150mm (高效能基板；比較表列 ~5cm) / CPO ~10mm / OCI-MSA ~10–20mm (interposer)                                       |
| 能效 (OE + ELS)          | 可插拔 ~13 / LRO ~10 / LPO+CPC(XPO) ~6 / NPO ~6 / CPO ~6 / Pluggable CPO ~6 / OCI-MSA ~3 pJ/bit (含 switch : 27/24/20/20/19/19/15)         |
| 毛利結構                   | 固定式 CPO : switch 廠對 OE 抽 ~70% 毛利堆疊；第三方可插拔 OE : 30–40%                                                                                  |
| OE 出貨 (3.2T 等效，百萬顆)    | 總量 2026 0.41→2027 3.2→2028 22.3→2029 63.5→2030 81.1；NPO : 0.40 / 1.80 / 14.77 / 41.93 / 25.21；CPO : 0.01 / 1.41 / 7.51 / 21.55 / 55.89 |
| TAM (億美元)              | 2026 1.5→2027 14→2028 87→2029 247→2030 315；2030 分項：ELS 142 / FAU 86 / OE 81 / shuffle box 6；scale-up 佔 84%                             |
| Trainium4              | 144 GPU/櫃×8 櫃；UALink 版 4.72 Pbit/s/櫃、6 顆 OE/GPU；NVLink 版 3.69 Pbit/s、4.75 顆/GPU；NeuronLinkv5=PCIe7 UALink 128G；CPX 插座 224Gb/s、128DP    |
| Huawei Ascend 950      | 8,192 NPU；每櫃 896×400G 光埠=358.4 Tbit/s=112 顆 OE、1.75 顆/NPU；NPO 僅 LRS-to-LRS；銅背板 \$192/NPU                                               |
| NVL576                 | 576 GPU / 8 Oberon 櫃；每 4-switch 托盤 108.8T (76.8T 背板+32.0T CPO、10/12 OE 啟用)；NPO 備援=200G/400G PAM4+DWDM                                  |
| Meta 可靠性 (400G 埠、40°C) | 2×400G FR4 可插拔 MTBF 0.71M hrs；CPO Phase 1 1.47M；排除 ELSFP SMT 問題 8.2M；非可維修 >20M；Phase 2 於 50M 小時故障過少                                    |
| OCI-MSA Gen1           | 12.8T ELSFP×8λ、6.4T OE=32 lane×200G、每 lane 4λ×50G NRZ；~3 pJ/bit；2030 年級別                                                               |
| XPO                    | 64×200G / 模組 (12.8T)、16 模組=204.8T @1U、密度 4×、液冷熱插拔；Tomahawk 7 =1,024×200G SerDes                                                        |

資料來源：SemiAnalysis「NPO Takes the Baton: How Next-gen Optical Interconnect is Now Focused on NPO」(2026-07-13，本報告之核心素材，數據經 PDF 原文交叉校正)；SemiAnalysis (2026-06-08)；Morgan Stanley (2026-05-29、2026-06-08、2026-06-10、2026-07-09 週邊研究)；Goldman Sachs (2026-04-17、2026-07-09)；Merrill Lynch/BofA (2026-07-13)；康和投顧 (2026-07-13)；Citi/Nomura/UBS/CTBC 大立光相關報告 (2026-06/07)；穎威 CPO 論壇 (2026-05-14)；Meta OFC 2026 公開發表；各公司法說與公開資訊。本報告為研究整理，非投資建議；所有前瞻數字均為研究機構推估，請以公司正式財務指引為準。圖 6、圖 7 版權屬原始來源 (SemiAnalysis / Meta)，僅供研究引用；其餘圖表為本報告自繪。