

Micro-lens / MLA / Meta-lens : CPO 時代的光學對位三劍客

一句話：當資料中心從可插拔光模組走向 CPO（共同封裝光學），「光從外部光纖打進 PIC 晶片」這一段的對位元件，正從毫米級玻璃透鏡 → 微米級 Si microlens / MLA → 奈米級 Meta-lens 三段式演化。三者不是互斥，而是依應用層級分工並存。

1. 三者定義與差異

元件	中文	原理	尺寸	製程
Micro-lens (μLens)	微透鏡 / Si 微透鏡	折射式 (透鏡厚度產生光程差)	微米至次毫米	12 吋 WLO (reflow / 模壓 / 蝕刻)
MLA (Micro-Lens Array)	微透鏡陣列	複數個微透鏡點陣，用於光收發模組內部光束會聚	微米級點陣	WLO 半導體製程
Meta-lens	超穎透鏡 / 超構透鏡	平面波前工程，奈米柱直徑梯度產生相位延遲	奈米級平面薄膜	DUV 微影 (CPO) / NIL 奈米壓印 (消費)

關鍵差異：

- Micro-lens / MLA 是「縮小版傳統透鏡」，靠厚度與曲面工作；
- Meta-lens 是「物理機制完全不同的平面光學」，直接對光的 相位、振幅、偏振 做數位化調控。

Meta-lens 結構示意 (奈米柱直徑梯度產生相位梯度)

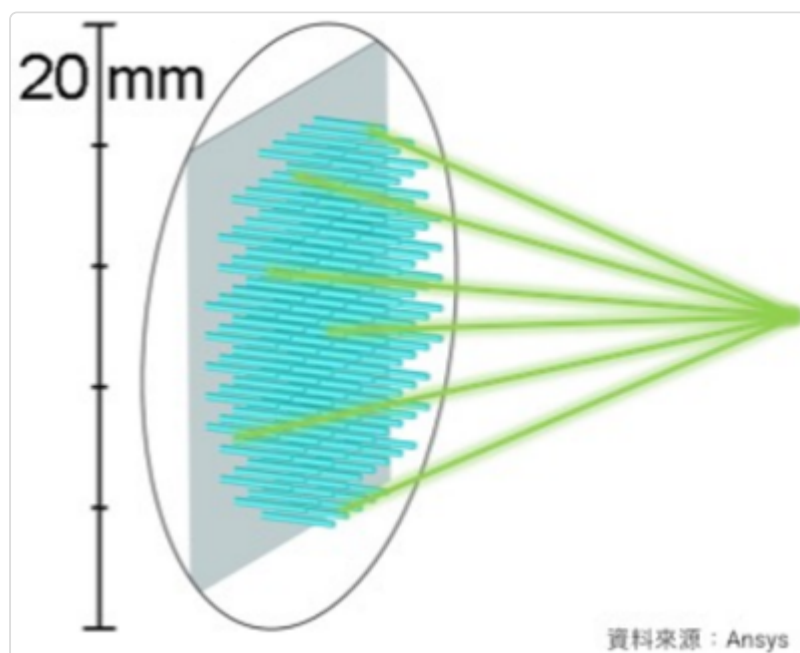


圖 1：Meta-lens 奈米柱聚焦示意 (資料來源：Ansys，引自群益 2026/05/14 簡報)

由透明高折射率材料製成的小型圓柱 (Nanoposts)，直徑從邊緣的小逐漸變化到中心的大，產生相位梯度，等效於傳統凸透鏡的聚焦效果，但厚度僅奈米級。

2. 哪裡需要用到 (應用場景)

A. AI 算力的核心戰場：CPO / 矽光子 (最重要)

1. **TSMC COUPE 平台 iFAU 結構**：Si microlens 與 PIC 上的 Grating Coupler (光柵耦合器) 做表面耦合，達 0.3 dB 耦合損耗 + $\pm 10 \mu\text{m}$ 對齊容差。
2. **D-FAU (多通道可拆卸式)**：Meta-lens 提供 $\pm 18 \mu\text{m}$ 容差 (比 Si microlens 寬 80%)，是大批次量產 yield 的關鍵突破。
3. **CPO 外部光源模組 (ELS)**：MLA 將 EML/VCSEL 雷射晶片的微發散光束精準會聚到光纖或矽光子波導中，是 1.6T \rightarrow 3.2T 進程的核心瓶頸元件。

CPO 系統中三類元件的相對位置

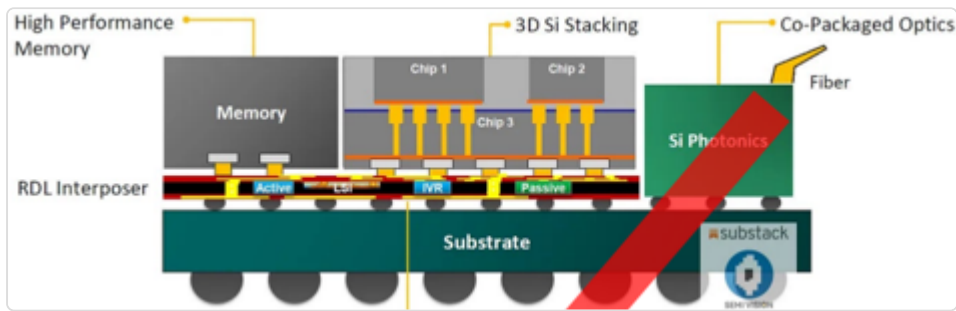


圖 2：CPO 系統剖面 — HBM + 3D Si Stacking + Si Photonics + Co-Packaged Optics (群益 2026/05/14)

B. Micro-LED 通訊化 (2028 元年)

- Meta-lens 偏轉效率 80% 以上，可捕捉 Micro-LED 大角度散射 (朗伯源)。
- MLA 解 Micro-LED 光束發散，是 Micro-LED 從「顯示」跨到「通訊」的關鍵技術指標。

Micro-LED + MLA 融入 TSMC COUPE 的 Photonic Bridge

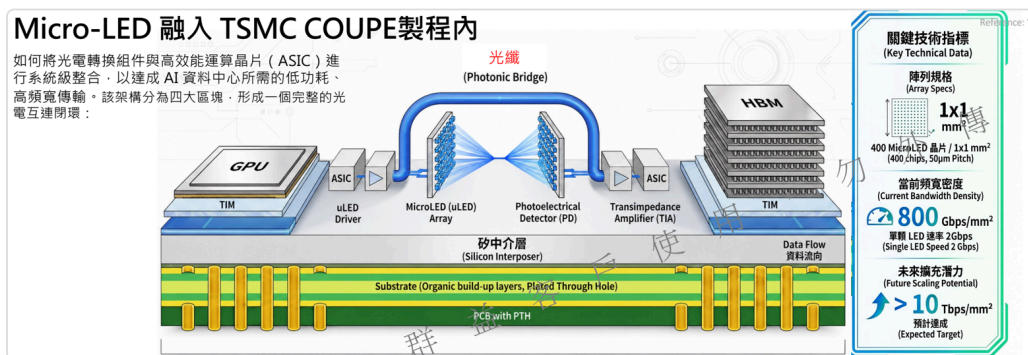


圖 3：Micro-LED 融入 TSMC COUPE 製程內 / Photonic Bridge 架構

C. 消費電子與感測（既有大量產基礎）

- **CIS / 3D Sensing**：Sony IMX454 多光譜感測，**OCCF 微透鏡讓出光效率提升 2.2 倍、最大亮度提升 10 倍**。
- **AR/VR 眼鏡**：Meta-lens 取代多層曲面玻璃透鏡，大幅輕量化；NIL 路線是主流。
- **車載 ADAS / 人臉辨識 / 光達**。

3. 技術核心：容差、製程與物理機制

容差比較（1 dB 損耗下）

對位元件	容差	廠商代表	平台
傳統 Microlens	較窄	多家	既有光學
Si microlens (μ Lens)	$\pm 10 \mu\text{m}$	采鈺 / 奇景	TSMC iFAU (12 吋 WLO)
Meta-lens	$\pm 18 \mu\text{m}$ (寬 80%)	合聖 (光聖子公司)	TSMC D-FAU (DUV)

製程路線分流

- **DUV + 微影**：奈米級精度，光罩成本數百萬美元，光刻成本佔 40~55%，**供 AI 矽光子 / CPO**（合聖、采鈺、ST、UMC）。
- **NIL 奈米壓印**：設備成本低、大面積快速壓印，**供 AR/VR / 消費電子**（NILT、瑞儀、亞光、Asia Optical）。

為何 Meta-lens 對 CPO 是「必須」（群益總結三條原因）

1. **尺寸與整合性**：傳統玻璃透鏡體積過大，無法整合進 CPO 封裝；Meta-lens 平面薄膜可大幅縮小體積。
2. **傳輸效率**：800G \rightarrow 1.6T \rightarrow 3.2T，光訊號必須極精確打入光纖；Meta-lens 奈米級精度可顯著降低耦合損耗。
3. **效能提升**：搭配矽光子實現高速、低功耗光傳輸，對 AI 伺服器與 AR/VR 至關重要。

4. 目前缺口與需求狀況

A. CPO 上游被動元件「有單無料」

- 群益 / 第三方產業報告均指出：**MT 插芯、FBG 紫外刻蝕、MLA+FBG 半導體級對位封裝**是 2026 年全球高階 AI 網路升級的核心瓶頸。
- **MLA + FBG 自動化對位的良率仍偏低**，是 1.6T \rightarrow 3.2T 進程「最大的單一缺口」。
- 全球高端保偏光纖 FBG 紫外刻蝕產能極少，產能高度集中於 Coherent / 光庫通訊。

B. CPO 對位元件量產驗證中

- **Si microlens**：采鈺與奇景的 12 吋 WLO 製程已成熟，**2026H2 CPO 元件初出貨**，2027 年隨 TSMC COUPE 商轉大規模放量。

- **Meta-lens**：合聖 $\pm 18 \mu\text{m}$ 容差為「設計值」，**量產實測待客戶報告**；DUV 光罩成本高，初期單片成本壓力大。

C. 需求拉動來源

- NVIDIA Spectrum-X / Quantum-X / Rubin Ultra 量產時程 → 直接拉動 iFAU 對位元件需求。
- 北美 CSP 800G 大放量 → 跨機櫃 Scale-out 拉動 MT 插芯 / MPO / WDM。
- TSMC COUPE 2.0 / iOIS / Feynman 平台 → 直接決定 Si microlens vs Meta-lens 採購比例。

5. 必要性（為何不可被取代）

場景	為何非用不可
CPO 高密度 2D FAU	傳統玻璃透鏡體積過大、無法整合進緊湊封裝
800G → 1.6T → 3.2T 升級	訊號越快、容差容忍度越低，需奈米級對位精度
Micro-LED 通訊化	沒有 MLA / Meta-lens，Micro-LED 大角度散射光無法收斂為通訊光束
矽光子量產 yield	$\pm 18 \mu\text{m}$ 容差可降低 active alignment 機台速度需求、提升單機 throughput

本質：CPO 把光學從「離散組裝」推向「半導體級晶圓量產」，**Micro-lens / MLA / Meta-lens 是這場光學半導體化革命的核心介面元件**。沒有它們，CPO 商用化不會發生。

6. 未來發展

1. **2026H2 ~ 2027**：采鈺 / 奇景 Si microlens CPO 元件初出貨 → 隨 TSMC COUPE 商轉大規模放量。
2. **2027 ~ 2028**：TSMC COUPE 2.0 / iOIS 規格收斂；iFAU (Si microlens) + D-FAU (Meta-lens) 雙軌並行成為主流。
3. **2028 元年**：Micro-LED 從顯示走向通訊產業化，GaN 單晶整合 + Meta-lens 偏轉成為 < 1 ns 光子橋接的關鍵。
4. **長期**：Meta-lens 從 CPO 延伸到 AR/VR 波導、車載 ADAS、3D 感測 → 形成跨產業平台技術。
5. **替代速度觀察**：Meta-lens 是否能以容差優勢逐步侵蝕 Si microlens 既有份額（取決於量產 yield 驗證）。

7. 主要參與廠商

CPO Si microlens / MLA（量產端）

廠商	角色	重點
采鈺 (6789.TW, VisEra)	TSMC iFAU 主供	全球最大晶圓級光學代工廠 ，12 吋 DUV 浸潤式微影 + GeSi，與上詮緊密合作
奇景光電 HIMX.US (Himax)	同階競合	12 吋 WLO；2026H2 CPO 元件初出貨；DDIC / CIS / LCoS 分散風險
台積電 2330	平台客戶	規格定義方；採購采鈺 / 奇景 WLO 元件

CPO Meta-lens (量產端)

廠商	角色	重點
合聖 / AuthenX / K-Optic (光聖 6442 子公司)	Meta-lens CPO 代表	±18 μm 容差，支援多通道可拆卸式 FAU
光聖 6442.TW	母公司	集團同時供 ELS / 矽光子耦合
UMC 聯電	40nm + WoW 鍵合	「晶圓對晶圓」鍵合縮減 50% 模組體積
ST 意法 (法/義)	300mm IDM 前端製造	全球首家大規模量產元表面公司，客戶 Samsung、Xiaomi

Meta-lens 設計端 (IP 授權)

- **Metalenx (美)**：哈佛 Capasso 實驗室基礎專利**獨家授權**，類似光學界的 ARM。
- **NILT (丹麥)**：94% 高效率設計 + 大面積 AR 波導。
- **MetaLenX 邁塔蘭斯 (中)**：自主 IP 國產化，混合透鏡系統。
- **MetaOptics (新加坡)**、Tunoptix、2Pi Optics、Sony Semiconductor。

Meta-lens 材料端 (高折射率 + 熱穩定)

- **Inkron (芬)**：已被瑞儀收購，RI 1.7~1.9 高折射率樹脂。
- **DELO (德)**：KATIOBOND OM614 可承受 260°C 回錫，車用 MLA 主力。
- **Pixelligent (美)**、NTT-AT (日)、Sanyo Chemical (日)、Solnil (法)。

AR/VR / NIL 路線 (消費電子)

- **NILT (丹/台)**、**瑞儀** (垂直整合 NIL 產線)、**亞光 Asia Optical** (全無機材料)。

Micro-LED 通訊潛在受惠

- **鎔創 6854**、**富采 3714**：通訊級晶粒 + Meta-lens 整合潛在受惠者。

Scale-out 端被動元件 (並非 lens，但同屬 CPO 供應鏈)

- **波若威 3163** (OIN / 跨機櫃)、**上詮 3363** (2D FAU，與采鈺合作)、**正崴 2392** (自製 MT 插芯)、**太辰光 300570.SZ** (MT 插芯擴產)、**Coherent / 光庫通訊** (保偏 FBG)、**Hakusan 白山** (精密 MT)、**US Conec** (MT Elite 專利)。

8. 投資觀察重點

1. **WLO 製程市占爭奪**：采鈺 vs 奇景在 TSMC COUPE 平台的份額分配。
2. **iFAU 量產良率**：Si microlens + Grating Coupler 整合的大批次良率，是 2026H2 ramp 的決定性因素。
3. **Meta-lens 替代速度**：合聖能否以 ±18 μm 容差優勢侵蝕 Si microlens 份額。

4. **TSMC COUPE 規格轉向風險**：若 COUPE 2.0 / iOIS 偏好 Meta-lens，Si microlens 路線受壓；反之亦然。
5. **本業 vs 業外切分**：追蹤波若威等族群時，務必把「處分上詮股票」業外獲利與本業營業利益嚴格分開。

來源

資料庫頁面 (stock_llm_wiki)

- [lib/2.tech/技術_Micro_lens.md](#) (更新 2026-05-16) — Micro-lens / WLO / iFAU 完整定位
- [lib/2.tech/技術_Meta-lens.md](#) (更新 2026-05-15) — Meta-lens 物理 / DUV vs NIL / 三大端廠商
- [lib/3.supply_chain/供應鏈_CPO_D-FAU.md](#) — D-FAU 供應鏈全圖
- [lib/3.supply_chain/供應鏈_光通訊.md](#) — 跨機櫃 Scale-out 元件

原始資料來源 (data_base/Raw_data)

- [memo/產業研究/產業_群益_CPO_D-FAU供應鏈_20260514.md](#) — 群益 2026/05/14 《AI 算力新視界：TSMC COUPE、Feynman、Meta lens 技術與供應鏈》簡報全文
- [報告/報告_產業研究_光被動元件CPO_20260500.md](#) — IntelMarketResearch & Market Report Analytics 《全球 MT 插芯與連接器市場前瞻報告 (2026-2034)》+ OFC 2025-2026 白皮書 + 上詮 (3363) / 波若威 (3163) 法說會公開資訊
- Sony Semiconductor IMX454 多光譜感測、OCCF 微透鏡技術案例 (引自群益簡報)
- Ansys Meta-lens 奈米柱聚焦示意圖 (圖 1)

圖片 (三張，皆出自群益 2026/05/14 簡報)

- 圖 1 (Meta-lens 奈米柱聚焦)： [attachment/..._20260514_061.png](#)
- 圖 2 (CPO 系統剖面)： [attachment/..._20260514_028.png](#)
- 圖 3 (Micro-LED + MLA)： [attachment/..._20260514_049.png](#)