太平洋证券
PACIFIC SECURITIES

通信|行业深度

证券研究报告
2026/07/29

AI硬科技和应用系列深度（一）

AI算力重塑光互联，高速率光模块与CPO产业化提速

证券分析师： 宋辰超(分析师)
分析师登记编号： S1190526050001

报告摘要

AI算力增长大幅领先互联带宽，系统级协同与定制网络推动光互联升级。AI计算能力快速提升，而PCIe、内存及网络带宽增速相对滞后，互联逐渐成为算力释放的重要瓶颈。随着GPU、ASIC出货增加、单芯片速率及光模块配比提高，光互联由Scale Out向跨机架Scale Up及Scale Across拓展。英伟达通过NVLink、NVSwitch和NVLink Fusion推进系统级协同，谷歌、Meta、AWS则围绕自研芯片建设差异化网络，推动AI网络向高带宽、低时延和低功耗方向持续演进。

高速光模块向1.6T及硅光加速演进，核心光电器件价值量持续提升。当前800G仍是主流，1.6T快速渗透，3.2T成为下一代方向。传统EML方案保持主流，硅光依托高集成度加快渗透，带动激光器、DSP、Driver、TIA、PD及无源器件向高带宽、低功耗和高可靠性升级。

光电转换持续向计算芯片靠近，NPO先行、CPO打开长期成长空间。NPO将光引擎移至ASIC附近并保留可拆卸特性，在降低损耗的同时兼顾维护便利；CPO则将光引擎与ASIC/XPU共同封装，缩短信号传输距离。英伟达、博通、台积电、Ayar Labs及Marvell等厂商分别围绕CPO交换机、先进封装平台和光引擎芯粒加快布局。产业链核心环节涵盖外部激光源、EIC/PIC、MRM/EAM调制器、2.5D/3D封装、FAU/DFAU、MPC及保偏光纤，其中封装能力、光纤耦合精度和测试效率是影响规模量产进度的关键。

AI集群连接密度不断提升，高芯数光纤及精密连接器需求加速释放。Scale Up与高速网络升级推动光纤用量、光缆芯数和端口密度提高，布线向高密度、低损耗和模块化发展。MPO向高芯数、小型化演进，MMC、SN-MT等接口逐步导入；MT插芯具备精密制造、专利授权和客户认证壁垒，高端产能相对紧缺。

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

目录

1、算力-网络数倍级剪刀差，网络架构迭代加速

2、光互联载体：1.6T/硅光光模块加速，上游器件紧缺提升

3、光互联载体：CPO量产/NPO先行，核心器件价值提升

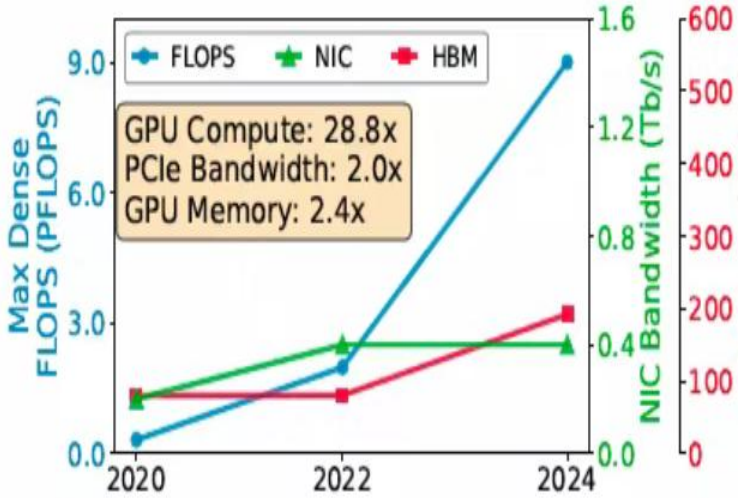
4、光互联传输：布线/光纤/MPO/插芯，AI连接密度驱动需求释放

1.1 本质逻辑1：算力与网络增速的数倍级差距

互联速度/内存速度已远远落后算力增长速度。算力从2020年到2024年，增长了28倍；同时期PCIE带宽仅增长2倍、GPU内存仅增长2.4倍，算力与带宽增长的巨大不匹配为互联带来投资机会。

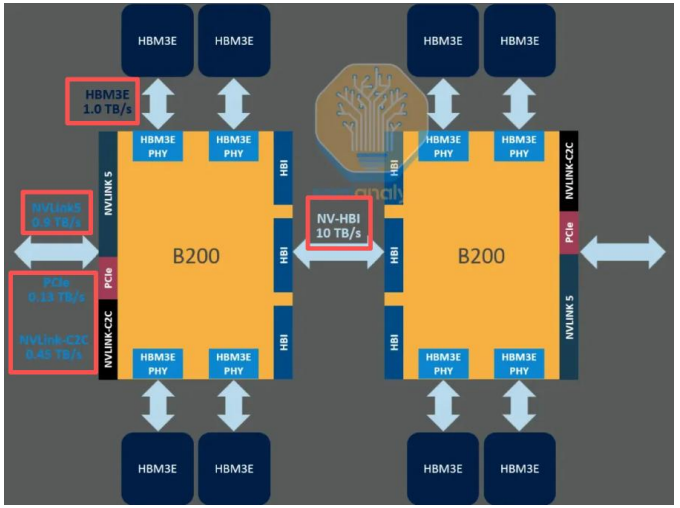
芯片增长带来连接速度的持续提升。Blackwell架构的GPU拥有2080亿个晶体管，GPU的制造过程需要两个集成电路板，而这两个板子通过每秒10TB的数据传输速率进行连接，第五代NVLink最新版本的NVIDIA NVLink@提供了突破性的1.8TB/s双向传输速率。

图表1.1.1：计算/网络带宽/HBM容量增长比较



资料来源：Wu et al.（2026）、北京大学、清华大学，arXiv、太平洋证券

图表1.1.2：两die之间的传输速率



资料来源：SemiAnalysis、NVIDIA、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

1.2 本质逻辑2：计算芯片出货，对应带宽传输增加

AI计算集群（GPU/ASIC）的出货量是驱动光模块和网络带宽需求的根本动力。AI芯片与外部进行数据交换，取决于芯片本身的网络接口速率以及网络架构；

光模块比例提高：对于英伟达，更先进的平台需要更高的配比（GB200 1： 2~3提升至VR200 1:4~6 ），光模块速率也从800G提升至1.6T；

ASIC芯片带宽配比更高：谷歌TPU芯片平均配比1:4、亚马逊Trainium芯片平均配比1:4、Meta MITA-T芯片配比1:8~12，配比提升带来光模块的总量提升。

图表1.2.1：主要AI加速器平台的GPU/ASIC与光模块配套比例

Model		Year	Attach rate (GSe)	Data rate
Nvidia	GB200	2024	**1: 2~3**	800G
	GB300	2025	**1: 2~3**	1.6T
	VR200	2026	**1: 4~6**	1.6T
	Rubin Ultra	2027	**TBA**	3.2T (GSe)
Google	V6	2024	**1:4**	800G
	V7	2025	**1:4**	1.6T
Amazon	Trainium 2	2025	**1:4**	400G
	Trainium 3 (Teton 3 PDS/ MAX)	2026	**1:4**	TBA
Meta	MITA-T V1 (Minerva)	2026	**1:8~12**	800G (GSe)
Huawei	Cloud Matrix 384	2025	**1:18**	400G
Biren	BR20x	2026	**TBA**	400G/800G

资料来源：高盛全球投资研究部、太平洋证券

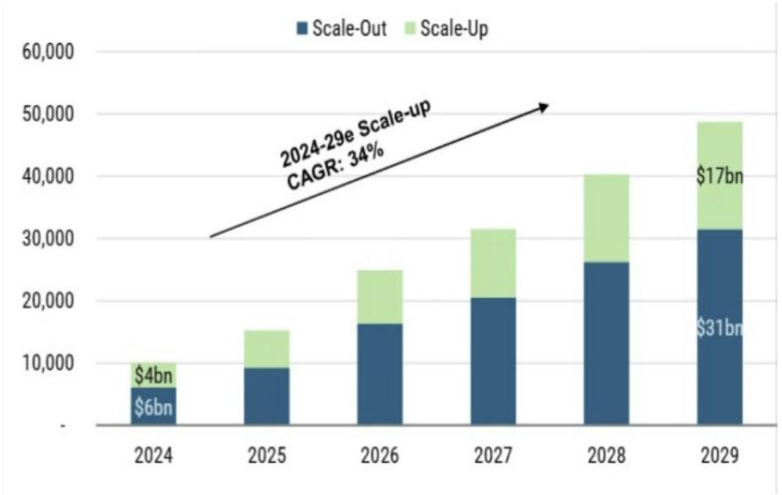
1.3 光网络架构：三种网络架构scale up/out/across

Scale Up（节点内互联）：传输介质：短距离（机架内）以铜缆为主，成本低、功耗低、可靠性高；长距离（跨机架）正向光互联演进，如共封装光学（CPO）、近封装光学（NPO）技术；

Scale Out（节点间互联）：传输介质：当前主流为可插拔光模块（800G/1.6T），未来趋势硅光、3.2T、轻相干光模块。

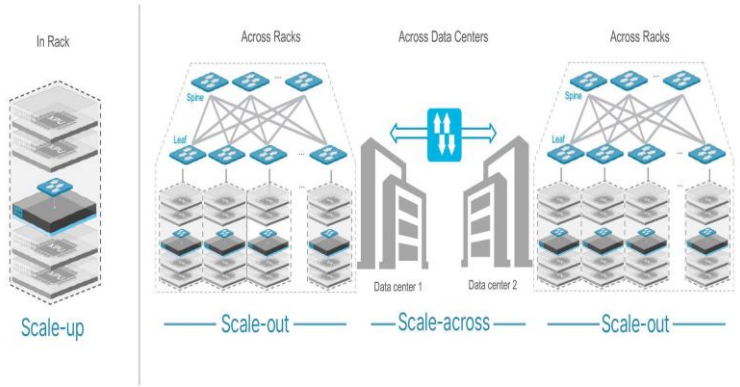
Scale Across（跨数据中心互联）：跨区域协同训练，将多个数据中心GPU集群用于单一大型AI模型训练，相干光模块（Coherent ZR/ZR+）是Scale Across场景中长距离传输的关键技术

图表1.3.1：纵向扩展（Scale-Up）市场规模估算



资料来源：摩根士丹利研究部、Gartner（高德纳）、Dell'Oro集团、太平洋证券

图表1.3.2：AI集群网络的三层扩展架构



资料来源：Broadcom官网、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

1.4 光网络架构：NV网络架构核心系统级协同设计

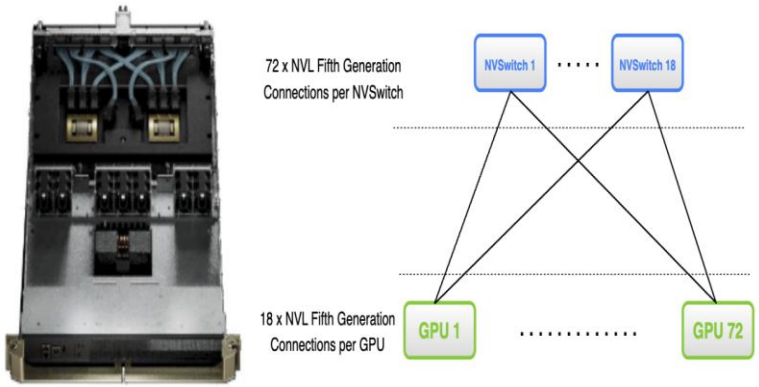
英伟达网络架构的核心和特点为一个核心、三大支柱。其核心是系统级协同设计（Extreme Co-Design），通过将计算、网络和软件深度整合，构建一个完整的、端到端的AI基础设施平台。其特点体现在三个相互关联的网络维度上，根本目标是降低每Token成本和提升每瓦性能。这意味着网络设计必须服务于最大化GPU利用率、最小化通信延迟和功耗。

NVLink：是NVIDIA专有的高速GPU互连技术，目前已发展到第六代，单GPU带宽3600GB/s,是PCIe Gen6的14倍以上；

NVSwitch：是实现多GPU全互联的关键芯片，单GPU带宽翻倍至3.6TB/s，NVL72系统总带宽达260TB/s；

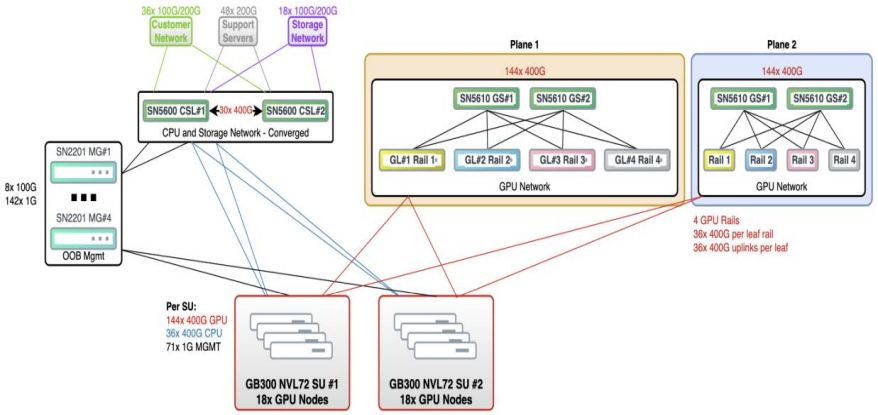
NVLink Fusion：让定制芯片（包括CPU和XPU）与NVIDIA的NVLink scale-up网络技术以及机架级扩展架构相集成

图表1.4.1：GB300 NVL72机架内NVLink交换网络架构



资料来源：NVIDIA、太平洋证券

图表1.4.2：双机架 GB300 NVL72 的 Spectrum-X 企业参考架构



资料来源：NVIDIA、太平洋证券

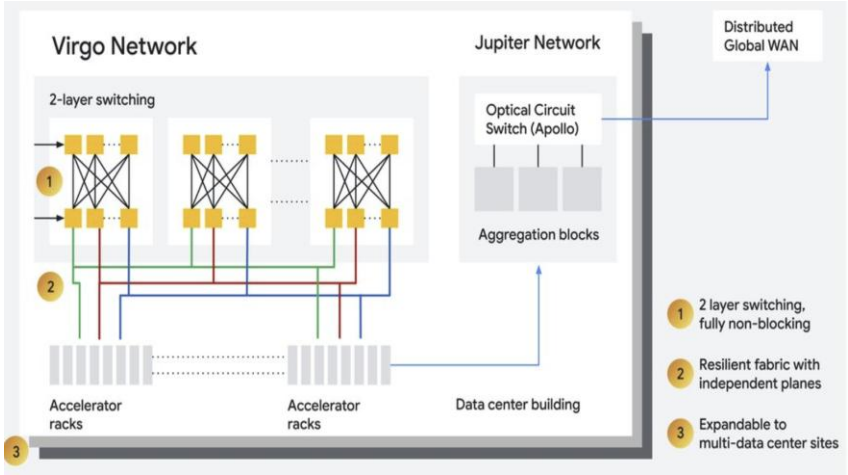
1.5 光网络架构：Google/Meta/Aws自研芯片+定制网络

谷歌网络：自研TPU + ICI + OCS（3D Torus）架构，强调低成本、高扩展、低延迟、全自研软硬件协同。 Virgo 的定位是专为TPU v8t（训练集群）设计的全新横向扩展（Scale-out）网络架构，支持超过100万颗TPU芯片组成单一训练集群。

Meta网络：自研MTIA + 以太网主导 + 高速光互联，强调开放机架架构、多供应商策略；DSF（解耦调度结构）& NSF（非调度结构），其中NSF：基于L3 CLOS网络，使用NVIDIA Spectrum 4交换机（51.2T），支持20,736个GB300 GPU。

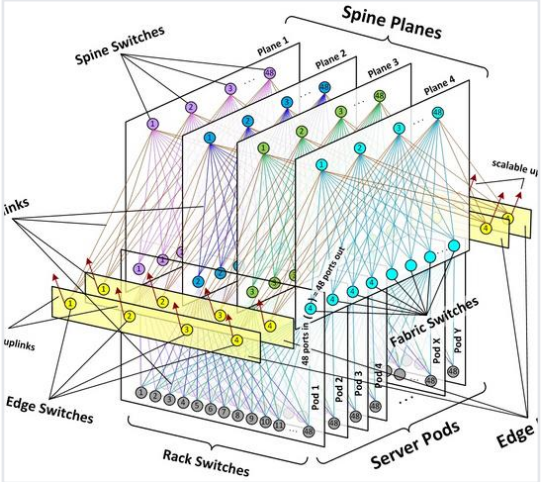
Amazon（AWS）网络：自研Trainium + NeuronLink + 自研网络，强调运营灵活和开放生态；最新扁平数据中心网络架构RNG，新型分布式路由协议，利用随机图的特性，在端点之间找到大量边不相交的路径，成本比胖树低 45%。

图表1.5.1：谷歌Virgo超大规模数据中心网络架构



资料来源：Google Cloud、太平洋证券

图表1.5.2：Facebook数据中心Fabric网络架构



资料来源：Meta Engineering、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

目录

1、算力-网络数倍级剪刀差，网络架构迭代加速

2、光互联载体：1.6T/硅光光模块加速，上游器件紧缺提升

3、光互联载体：CPO量产/NPO先行，核心器件价值提升

4、光互联传输：布线/光纤/MPO/插芯，AI连接密度驱动需求释放

2.1 光模块：传统分立式（EML）市场主导方案

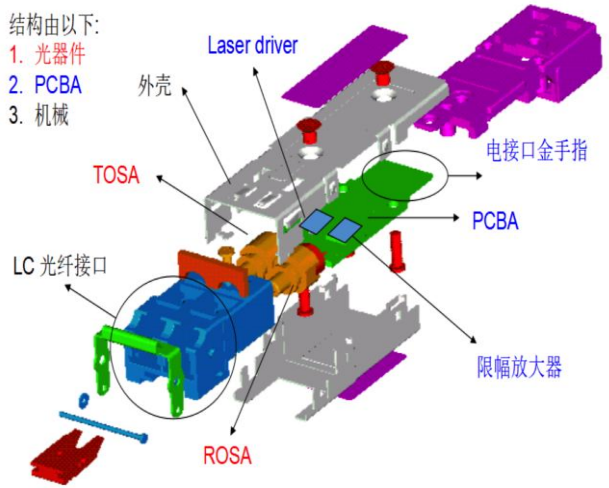
目前光模块市场中传统分立式（即采用EML等独立元器件的可插拔模块）仍是主流，长距离传输性能优异（如FR/LR），耦合效率高，编码误码率低，目前800G是主力，1.6T渗透率快速提升，3.2T是下一代在研产品。

工作原理： EML将DFB激光器与EAM调制器单片集成，通过电信号实现高速光强调制，具有高带宽、低啁啾和良好的传输性能。

模块结构： 发射端由EML芯片、Driver等组成TOSA，接收端由PD、TIA等组成ROSA，再与DSP、PCBA及光接口组装成完整光模块。

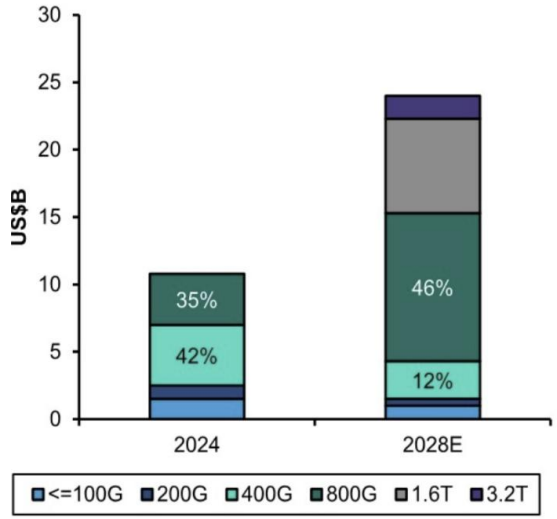
EML芯片供应商：Lumentum、Coherent、三菱电机、东山精密。

图表2.1.1：光收发模块的TOSA、ROSA及电路板结构



资料来源：GB-Link Technology Inc. Ltd、太平洋证券

图表2.1.2：2024—2028年数据中心光互连市场向高速率产品迁移



资料来源：Coherent、LightCounting、Bernstein分析、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

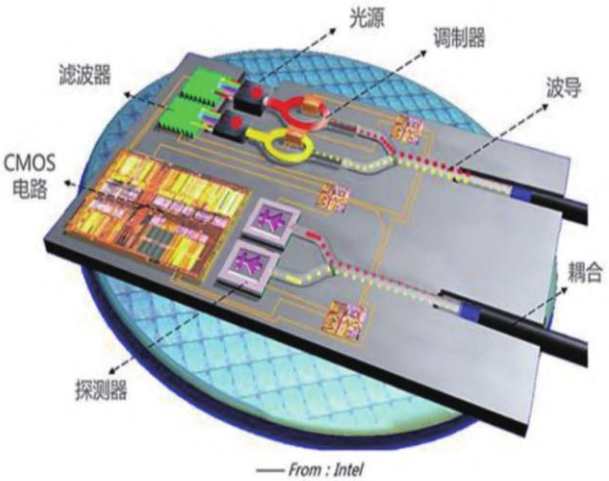
2.2 光模块：硅光（CW光源）渗透率快速提升

硅光光模块将调制器、光路等集成在单一芯片上，器件数量减少，组装复杂度降低，有利于大规模量产。CITI预测硅光渗透率在2028年将达到60%，对应的光芯片需求（含EML和CW激光器）在2028年将达到17.14亿颗，3年复合年增长率（CAGR）为62%。

光源与模块结构：由于硅材料发光效率较低，硅光模块通常采用外置Ⅲ-Ⅴ族连续波激光器提供光源，并通过耦合结构将光注入硅光芯片；芯片上可集成调制器、波分复用器、探测器等器件。

工艺与发展趋势：硅光芯片以SOI晶圆为基础，采用与CMOS兼容的光刻、刻蚀、沉积和金属化工艺制造，具备高集成度和规模化生产潜力；目前仍面临光源耦合、热调谐及先进封装等挑战。

图表2.2.1：硅基光电子集成芯片概念图



资料来源：Intel、中国科学院院刊、太平洋证券

硅光调制器：硅光调制器主要基于等离子色散效应——通过施加电压改变硅材料中的载流子浓度，从而改变折射率和吸收系数，进而控制光信号的强度或相位

光源（激光器）：普遍采用外置连续波（CW）激光器方案——使用InP、GaAs等III-V族材料制成的激光器作为光源，“外挂”到硅基芯片上

制造工艺：直接复用成熟的CMOS集成电路产线（光刻、刻蚀、沉积等工艺），在硅晶圆上“雕刻”光路系统。典型工艺流程包括：SOI衬底→深紫外光刻→硅刻蚀→锗外延→金属化→钝化→测试

2.3 有源器件：DSP-信号质量的修复引擎

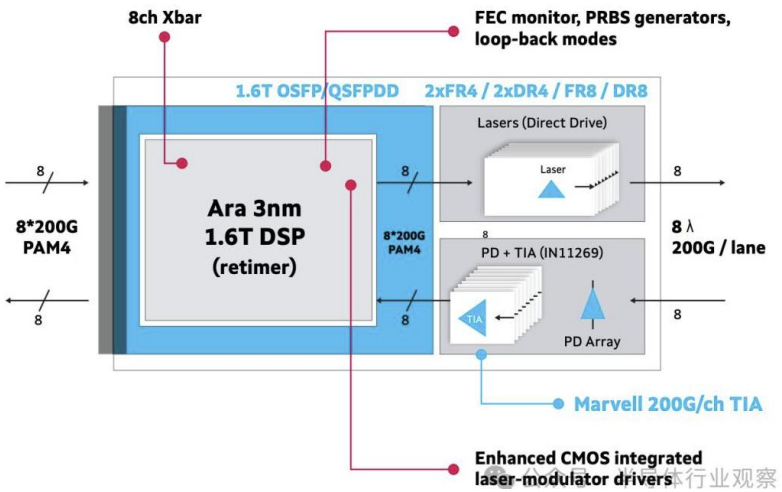
核心功能：DSP芯片承担着全链路信号重建的核心功能，补偿信号损伤、支撑高阶调制与高速率；解决高速电信号经过 PCB、光纤后的衰减、串扰、抖动问题，是 AI 算力光互连主要芯片。

完整信号链路：交换机高速电信号 → DSP 编码整形 → TIA / 激光驱动 → EML 光芯片；接收端：光电信号 → TIA → DSP 均衡纠错 → 输出干净数字信号给 GPU / 交换机。

海外：Marvell（收购 Inphi）、博通深耕光 DSP 超 20 年，完整自研 SerDes、ADC、核心 IP 永久不对外授权；

国内：可商用量产：仅橙科微、华为海思实现400G PAM4 DSP小批量落地；华为仅内部自用，不对外销售。

图表2.3.1：Marvell Ara 3nm 1.6T PAM4 DSP及光模块架构框图



资料来源：Marvell 官方产品白皮书、太平洋证券

图表2.3.2：MaxLinear Rushmore 1.6T PAM4 DSP 芯片

资料来源：MaxLinear 官网、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

2.4 有源器件：TIA/Driver-信号放大和修复的稳定器

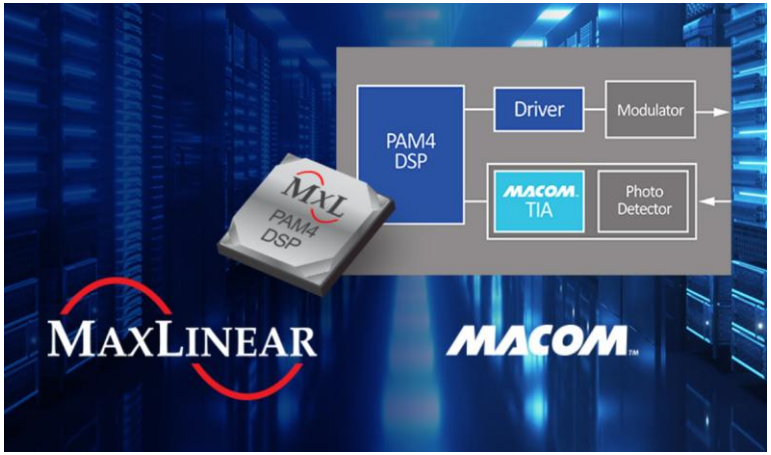
Driver位于发射侧，接收来自DSP或交换芯片的电信号，将其放大并整形为足够大的电流，驱动激光器（如EML、VCSEL）或调制器发光。其核心要求包括：高带宽、低抖动、低功耗以及高线性度，以确保光信号质量的上限；

TIA位于接收侧，连接光电探测器（PD或APD）。当PD将微弱的光信号转换为微安级甚至更小的光电流后，TIA负责将这极其微弱的电流信号转换为电压信号并放大，供后续电路处理 。TIA的性能直接决定了光模块的接收灵敏度、信噪比（SNR）和误码率（BER）

海外：224G 高速 TIA/Driver 垄断，MACOM、MaxLinear、Semtech、Marvell；掌握全套 SiGe 工艺 IP、高频模拟电路专利，深度绑定英伟达、谷歌云厂商硅光 / CPO 方案；

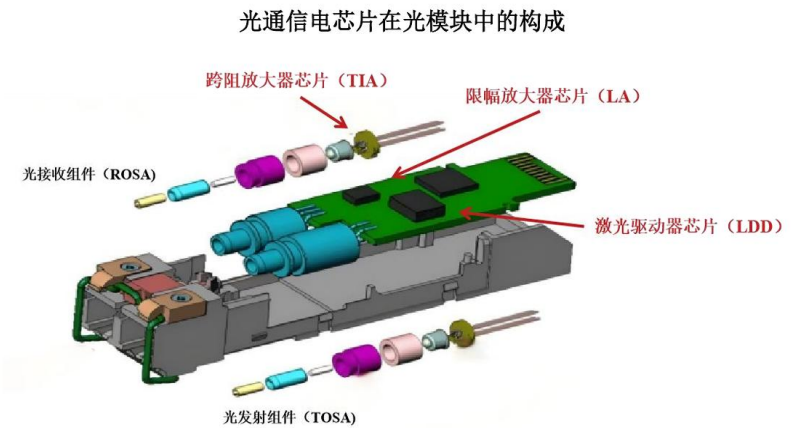
国内：厦门优迅、芯耘光电、亿芯源。

图表2.4.1：MaxLinear PAM4 DSP与MACOM TIA光模块解决方案



资料来源：MaxLinear 官网、太平洋证券

图表2.4.2：光模块中主要光通信电芯片的构成



资料来源：优迅股份招股说明书、太平洋证券

2.5 有源器件：探测器（PD）-光电转换起点

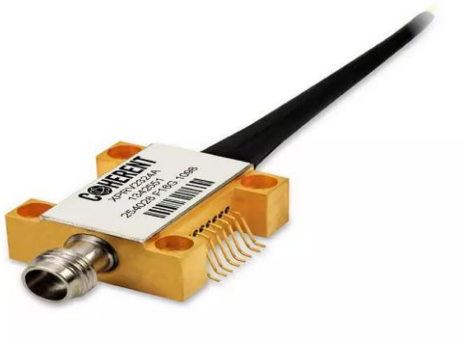
PD 光电探测器（接收端光芯片）：位于 ROSA / 接收光引擎前端，将光纤输入的光信号转换为微弱光电流，是整个光通信系统“光→电”转换的起点。

核心指标：响应度（A/W）、3dB 带宽、暗电流/噪声、结电容、饱和光功率、线性度和可靠性；高速光模块中，PD 需要在小尺寸、低电容下兼顾高带宽和高响应度，并与 TIA 近距离封装以降低寄生效应。

技术路线：PIN PD 成本低、速度快、结构简单，是数据中心短中距模块主流；APD 通过雪崩倍增获得内部增益，接收灵敏度更高，适合长距/弱光场景；硅光方案中多采用 Ge-on-Si 探测器与 PIC 集成。

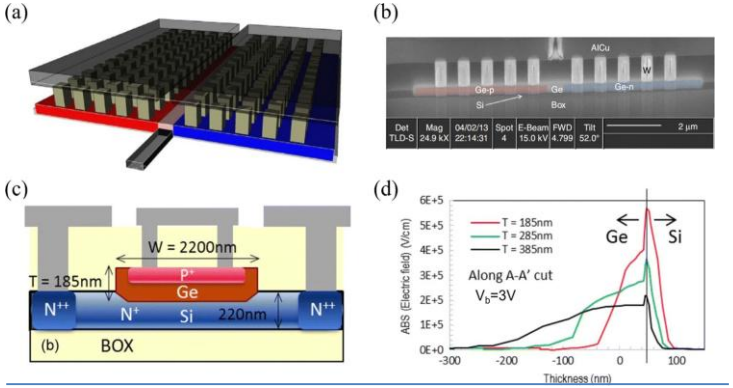
产业趋势：800G→1.6T→3.2T 推动单通道 100G/200G 升级，PD 不再是单独器件比拼，而是与 TIA、DSP、硅光 PIC 共同优化的接收链路；CPO/NPO 中更强调片上集成、低寄生、热稳定和长期可靠性。

图表2.5.1：Coherent高速光接收器



资料来源：Coherent 官网、太平洋证券

图表2.5.2：硅波导集成锗雪崩光电探测器结构及电场分布



资料来源：Springer Nature PhotoniX、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

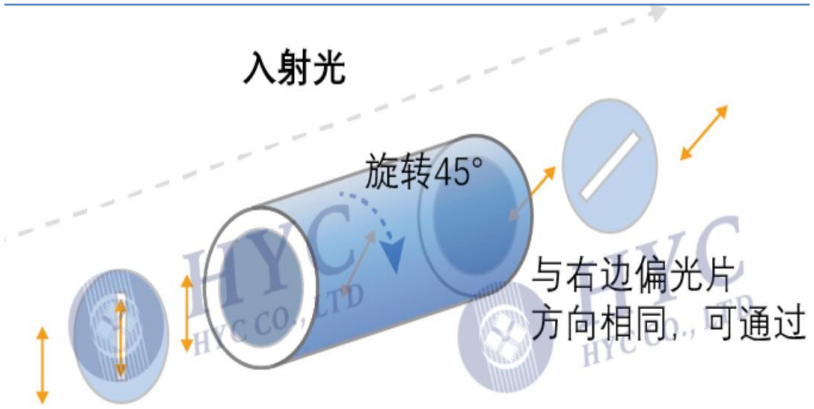
2.6 无源光器件：滤光片/隔离器-保障光的精确和稳定传输

带宽提升：光模块提升带宽主要有两种路径：一是提高单通道比特率，如提升波特率或采用PAM4等高阶调制；二是增加通道数量，如使用并行光纤或CWDM、DWDM波分复用，使单根光纤同时传输多个波长信号。

光隔离器：一种只允许单向光通过的无源光器件，其工作原理是基于法拉第旋转的非互易性；只允许在同一个方向上的光通过，隔离掉光纤回波反射的光，从而保护激光器不受反射光的干扰。一般由三个部分组成，左右两边分别是输入和输出偏光片，中间是法拉第旋转器。

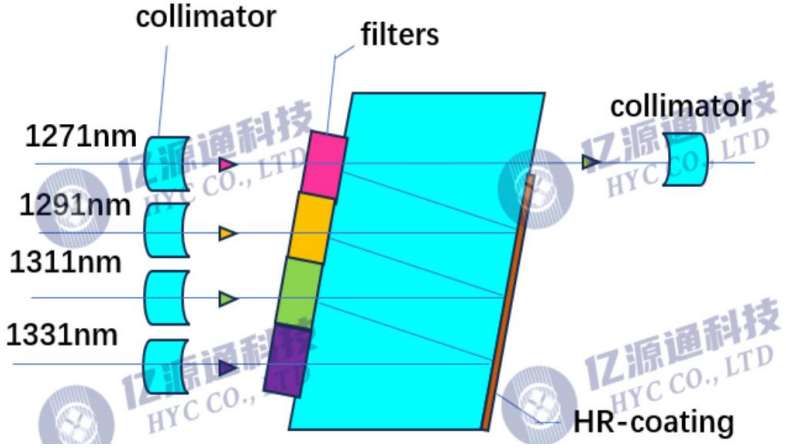
Z-block:是波分复用/解复用组件里面核心的器件。

图表2.6.1：法拉第旋转型光隔离器正向传输原理示意图



资料来源：亿源通科技HYC、太平洋证券

图表2.6.2：薄膜滤光片型CWDM4波分复用器结构示意图



资料来源：亿源通科技HYC、太平洋证券

目录

1、算力-网络数倍级剪刀差，网络架构迭代加速

2、光互联载体：1.6T/硅光光模块加速，上游器件紧缺提升

3、光互联载体：CPO量产/NPO先行，核心器件价值提升

4、光互联传输：布线/光纤/MPO/插芯，AI连接密度驱动需求释放

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

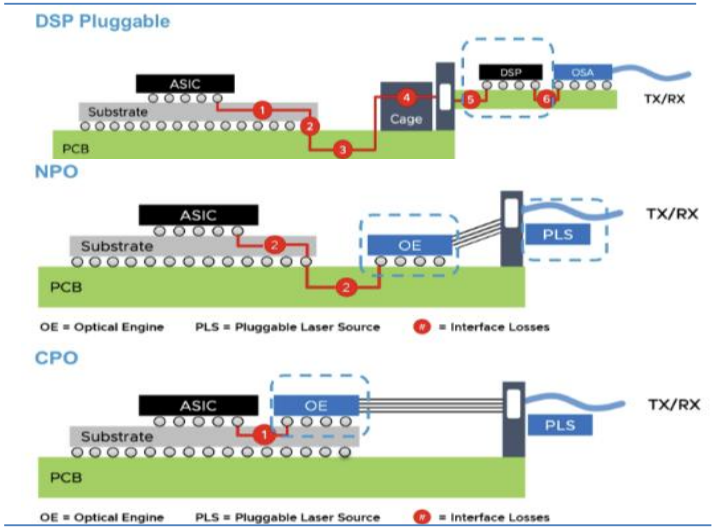
3.1 CPO：共封装光学，Scale up/out双轨演进

CPO通过将光引擎（OE）与芯片（ASIC/xPU）共同封装，利用外部激光源（ELS）提供光源，通过光纤阵列单元（FAU） 实现光互联；激光器可靠性、光纤耦合精度和封装测试效率是决定CPO能否大规模量产的关键。

整体结构：CPO系统由外部激光源（ELS）→ 光纤阵列单元（FAU）→ 光引擎（OE，含EIC+PIC）→ Switch ASIC/xPU 组成，全部集成在同一封装内；

当前主流，光引擎（OE）放置在基板（Substrate） 上，紧邻ASIC；未来趋势：光引擎（OE）集成在中介层（Interposer） 上，实现更高密度的垂直集成；

图表3.1.1：DSP可插拔/NPO/CPO架构演进图



资料来源：Bernstein、太平洋证券

图表3.1.2：CPO技术架构与核心组件解析

组件	功能	关键特性与技术要求
外部激光源 (ELS)	提供连续波 (CW) 激光光源，为整个 CPO 系统供电。由于激光器对热敏感，通常放置在远离热芯片的地方。	- 大功率输出：数百 mW / 通道 - 波长稳定性：控制温漂 - 可插拔设计：便于更换
光纤阵列单元 (FAU)	精密的机械 / 光学组件，用于将多根光纤（通常是单模光纤）精确对准并固定，实现与 PIC 的低损耗光耦合。	- 高密度：32-128 芯 - 亚微米级对准精度（<0.5μm） - 耐高温（需承受 260°C回流焊） - 可插拔设计（如 MPC、D-FAU）
光引擎 (OE)	CPO 的核心，负责执行电 - 光 / 光电转换。	
EIC (电子集成电路)	包含驱动芯片 (Driver) 和跨阻放大器 (TIA)，用于放大信号。	- 通常与 PIC 通过 3D 混合键合 (Hybrid Bonding) 或硅通孔 (TSV) 堆叠。 - 工艺节点：先进 CMOS
PIC (光子集成电路)	包含调制器、波导、光栅耦合器、光电探测器 (Photodiode) 等光学功能器件。	- 材料平台： - 硅 (Si)：波导、调制器 - 硅锗 (SiGe)：光电探测器 - 铌酸锂 / 聚合物：高速调制器
封装基板 / 中介层	提供物理支撑和电气互联，将 OE、ASIC 和 ELS 连接起来。	- 基板（Substrate）：当前主流，OE 放在 ASIC 旁边 - 中介层（Interposer）：OE 放在 ASIC 上方或集成在其中，可实现更高密度。

资料来源：太平洋证券整理

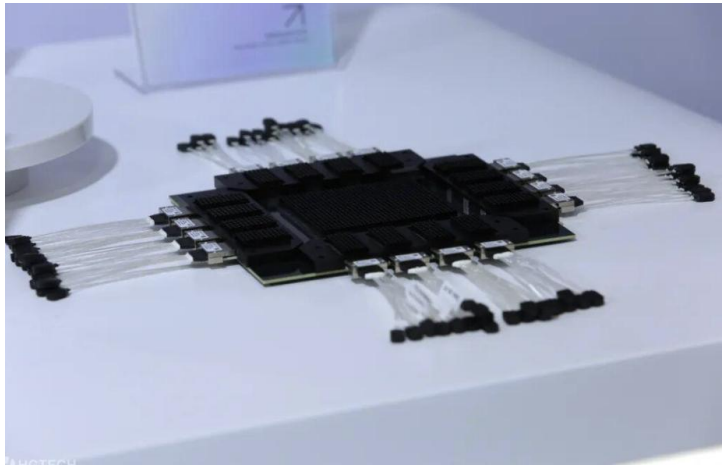
3.2 NPO：光引擎近ASIC/可拆卸，渗透超预期提升

NPO是一种将光引擎从传统可插拔光模块的前面板，移动到紧邻交换机ASIC（或GPU/XPU）的同一块PCB板上，但保持其可拆卸性的中间架构。

整体结构：ASIC → 通过短距离电气走线（<50mm） → 可插拔的光引擎（OE） → 光纤连接。光引擎作为一个独立的、可拆卸的模块，位于主板上的一个专用插座中。

英伟达新推出的Rubin Ultra NVL576设计中，NPO光学引擎用量近乎翻倍，单颗GPU的3.2T光学引擎含量从约2.25增至约4.0，增幅达78%。NVL576由8个NVL72机柜组网，跨机柜长距离互联全面采用NPO、CPO等光互联方案。

图表3.2.1：NPO实物示意图



资料来源：华工科技官网，太平洋证券

图表3.2.2：NPO技术架构与核心组件解析

组件	功能描述	结构特点
ASIC (交换机/处理芯片)	核心计算或交换芯片，是信号的源头和终点。	封装在标准封装（BGA/LGA）中，位于主板上。
光引擎 (Optical Engine, OE)	负责电-光信号转换，包含PIC和EIC。	可插拔/可拆卸。独立封装在基板上，通过插座（Socket）连接到主板，易于维护和更换。
外部激光源 (ELS)	提供连续波（CW）激光，作为光信号的光源。	独立于光引擎，通过光纤耦合器进入PIC。
电接口	连接ASIC与光引擎的高速信号通道。	使用短距离电气标准（如VSR/XSR），通常无需DSP，或使用线性驱动器替代。
FAU (光纤阵列单元)	将光引擎内部的光纤与外部光纤连接起来。	位于光引擎与光纤接口之间，用于光纤对准和耦合。

资料来源：太平洋证券整理

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

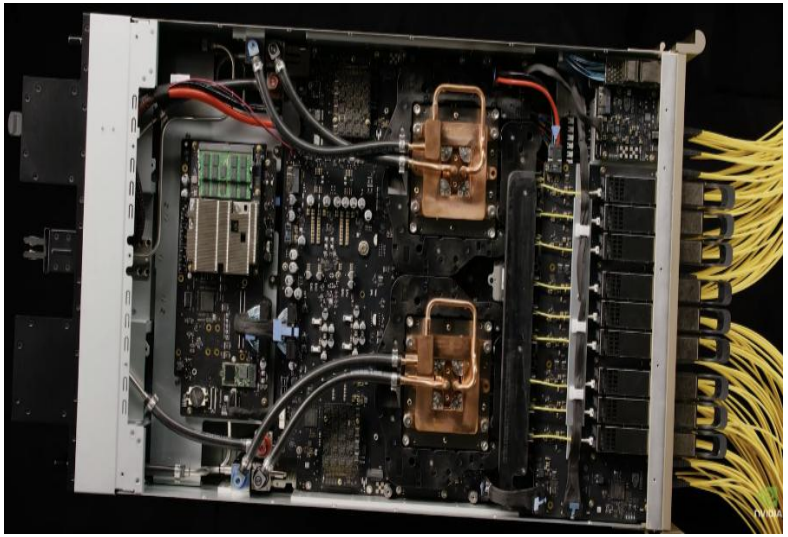
3.3 CPO量产在即，NV/博通/台积电等积极布局

英伟达CPO：已推出基于CPO的Quantum-X InfiniBand与Spectrum-X Ethernet两大系列交换机，2026年下半年启动量产和客户导入。

Celestial AI（Marvell CPO），聚焦XPU客户群体，核心技术包括光学多芯片互连桥接（OMIB）、电吸收调制器（EAM）、光子互连系统方案，其中OMIB将光子互连直接集成到位于XPU/ASIC下方的嵌入式桥接器，大幅降低了芯片间连接的延迟和功耗。

Ayar Labs CPO：光引擎作为芯粒直接集成到计算芯片封装内部，设计成一个符合UCIe标准的“芯粒”，可以被任何计算芯片（XPU、Switch ASIC）作为芯粒集成到自己的封装中。

图表3.3.1：英伟达 Quantum-X800 CPO 交换机



资料来源：Nvidia、太平洋证券

图表3.3.2：主流厂商CPO产品情况

厂商	主要CPO产品/方案	提供的具体产品/服务
英伟达 (Nvidia)	Quantum-X / Spectrum-X CPO交换机	英伟达自行设计和推广CPO交换机，是当前CPO领域的核心推动者。
博通 (Broadcom)	Humboldt, Bailly, Davisson CPO交换机	博通不直接向英伟达提供CPO交换机，但可能为其提供CPO相关的交换芯片（ASIC）或激光源组件。
台积电 (TSMC)	COUPE 平台（光引擎制造）	通过COUPE平台为英伟达制造光引擎（OE），包括EIC与PIC的3D堆叠集成，是英伟达CPO的核心制造平台。
Ayar Labs	TeraPHY 光学引擎芯粒	其光引擎芯粒主要用于计算芯片（GPU/XPU）的Scale-Up光互连，并非用于英伟达的交换机方案。
Celestial AI（已被Marvell收购）	Photonic Fabric光互连方案	其方案也聚焦于Scale-Up场景，主要客户是亚马逊（Trainium 4），而非英伟达。

资料来源：博通、英伟达、Ayar lab、Celestial官网 太平洋证券

3.4 3D/2.5D聚焦台积电，coupe产能决定CPO产业进度

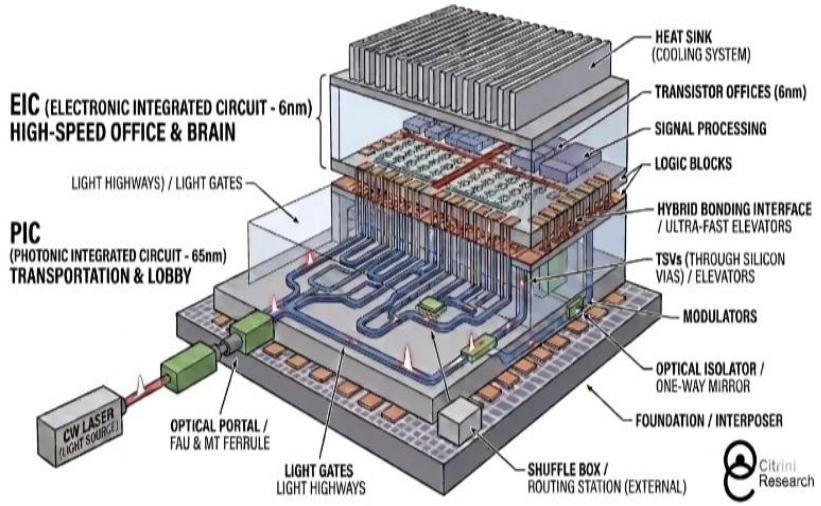
3D封装：光引擎（OE）内部，目前台积电COUPE平台在EIC + PIC 集成（光引擎内部），主流采用的是3D（垂直堆叠）集成；通过TSMC的 SoIC-X（混合键合）技术，将EIC面对面堆叠在PIC之上。

2.5D封装：光引擎与主芯片连接，在将光引擎整体封装到主机系统中时，当前阶段主要采用 OE on Substrate（光引擎在基板上）的2.5D封装形式，通过 CoWoS 技术，将OE和计算芯片放在同一基板上。未来将迈向 OE on Interposer；

EIC：电子集成电路，采用 N6/N7 先进工艺节点，集成高速驱动器和TIA（跨阻放大器）；

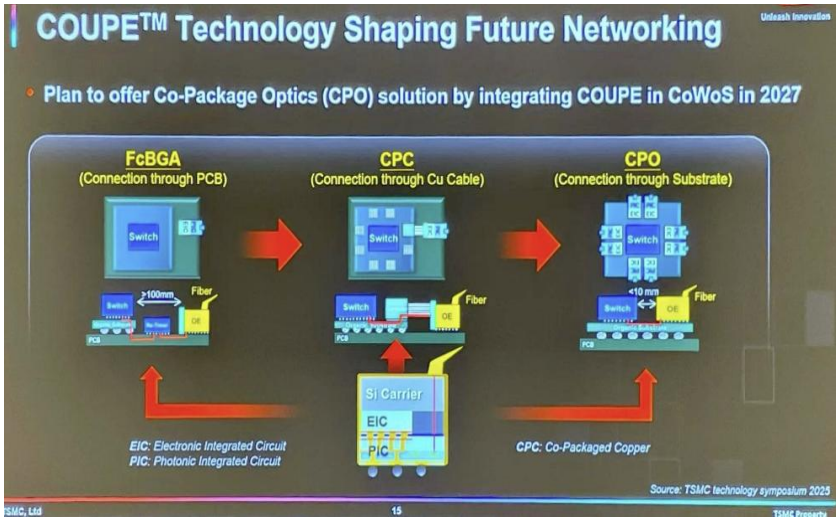
PIC：光子集成电路，采用 N65 成熟SOI工艺节点，集成光调制器、波导、探测器等光学器件。

图表3.4.1：TSMC SoIC-X技术下的光引擎（OE）内部3D集成架构图



资料来源：Citrini Research、太平洋证券

图表3.4.2：台积电COUPE平台光电CPO演进路线图



资料来源：TSMC technology symposium 2025、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

3.5 CPO/NPO核心器件：调制器和调制方式-光电转换中枢

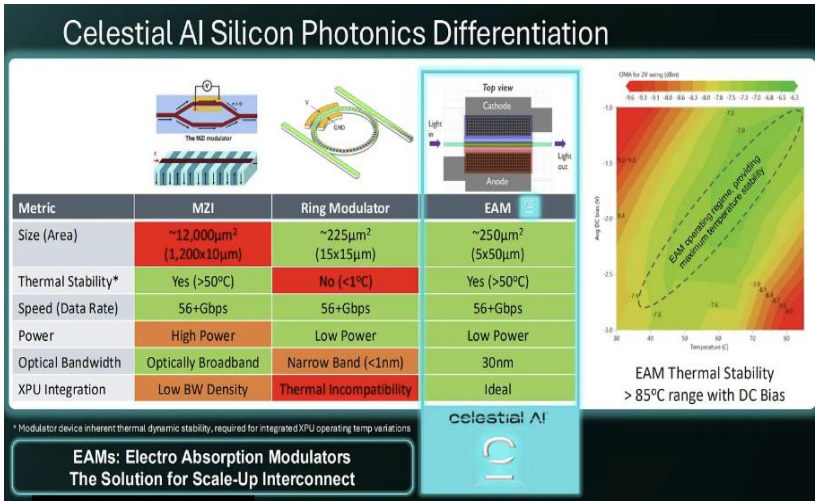
微环调制器（MRM）：环形波导，通过电信号改变其折射率，控制特定波长的光是否被引导至输出端口，实现数据编码。极其紧凑（尺寸在几十微米级别），可实现非常高的调制器密度。非常适合波分复用（WDM）应用。

电吸收调制器（EAM）：通过改变外加电压，改变材料的吸收系数，从而控制光的通过与否，实现信号调制。尺寸和功耗介于MRM和MZM之间，比MZM小得多。物理结构（尤其是基于GeSi的）在可靠性和耐用性方面存在一些担忧。

NRZ：最基础的调制格式，相比 PAM4（每符号 2 比特）等更复杂的调制方式，NRZ 的开销更低，对信号质量的要求更宽松。

Ayar Labs 的第二代 TeraPHY 芯片，该芯片采用 32 Gbit/s NRZ 调制，每个端口可实现 512 Gbit/s 的带宽。

图表3.5.1：光电调制器（MRM/EAM/MZI）参数分析图



资料来源：Celestial AI、太平洋证券

图表3.5.2：光电转换通道带宽、调制方式与CWDM/DWDM规格参数表

Bandwidth	Modulation	Number of Wavelengths	Transmission Type	CWDM/DWDM
56 Gbps	NRZ	16	Bi-directional	DWDM
56 Gbps	NRZ/PAM4	16	Uni-directional	DWDM
112 Gbps	PAM4	16	Uni-directional	DWDM
224 Gbps	PAM4	4	Bi-directional	CWDM
224 Gbps	PAM4	4	Uni-directional	CWDM

semianalysis

资料来源：semianalysis、太平洋证券

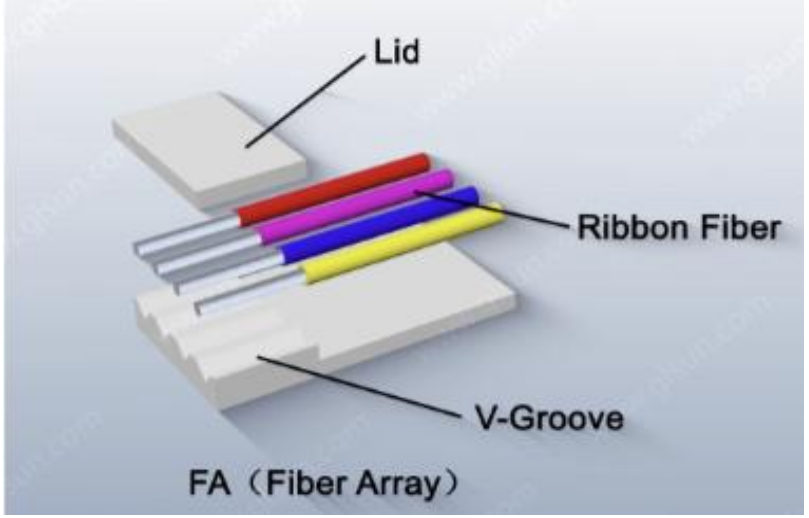
3.6 CPO/NPO核心器件：FAU/DFAU-光信号进出芯片的物理通道

FAU是CPO系统中的关键无源光学连接器，其核心功能是将外部光纤精确对准并固定到光子集成电路（PIC）的光学端口上，实现从光纤到芯片的高效光信号耦合；

作用：FAU负责将来自外部激光源或其它光纤的光信号，以极低的插入损耗耦合进PIC内的波导；同时将PIC发出的光信号耦合回光纤中传输出去；结构：FAU通常包含一个高精度加工的V型槽（V-groove）基板、微透镜阵列和光纤阵列，光纤被精确地固定在V型槽中，确保光纤间距与PIC上的光栅耦合器或波导端口间距完美匹配。

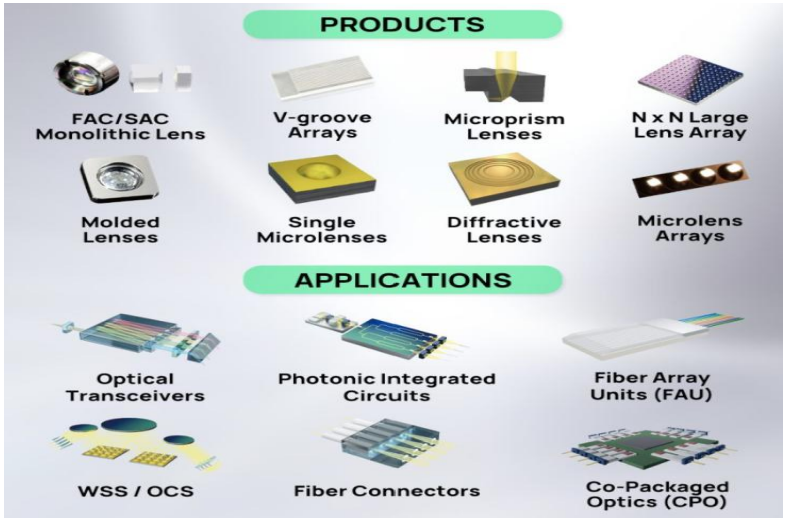
DFAU： D-FAU 是 FAU（光纤阵列单元）的可拆卸版本，在FAU与PIC之间加入精密可拆卸接口，如果FAU或外部光纤损坏，可单独更换D-FAU，无需替换昂贵的Switch ASIC或光引擎。

图表3.6.1：光纤阵列单元（FAU）的结构



资料来源：光隆科技官网、太平洋证券

图表3.6.2：FAU产品矩阵



资料来源：炬光科技官网、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

3.7 CPO/NPO核心器件：MPO/MPC-光信号分流/耦合接口

MPC：是一种可插拔、高密度的光纤到光子集成电路（PIC）接口。

作用：将外部光纤中的光信号，精确地耦合到芯片上的波导中；实现光纤与硅光芯片之间低损耗、可插拔、高密度的光学连接。

系统路径：外部光缆 → [MPC连接器] → [光引擎（PIC+EIC）] → [内部布线] → [Switch ASIC]

（中心：ASIC交换芯片；四周：3-4个光引擎；连接：每个光引擎通过MPC与外部光纤相连）

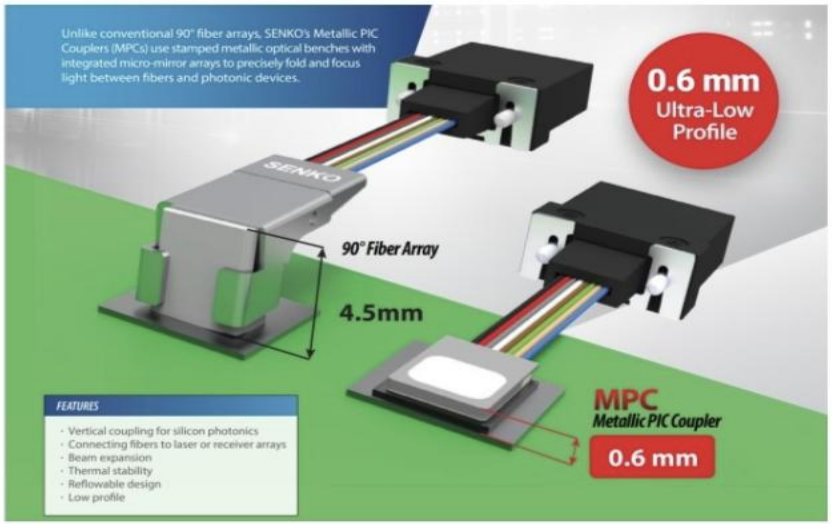
核心优势：1、可重复插拔，无需破坏整个CPO封装。2、高精度对准，使用冲压金属光学平台和自由曲面微镜，实现与PIC波导的亚微米级对准；3、高密度，一次性对准和耦合多根光纤（如24芯光纤阵列），满足CPO系统对高带宽密度的需求。

图表3.7.1：制造与组装难度

挑战维度	具体描述	关键数据 / 技术要求
亚微米级对准精度	光信号高效耦合进 PIC 上极其微小的波导，MPC 的对准精度必须达到 ±0.5μm 或更高。	单模光纤的纤芯直径仅 9μm，而波导端面更小。任何微小的误差都会导致巨大的光功率损耗。
制造公差极小	三个核心部件的制造公差都非常严格，任何一个环节的微小偏差都会影响最终耦合效率。	光纤阵列单元（FAU）的容差堆叠可达 3.8μm，而工艺要求为亚微米级。
高密度光纤管理	随着 CPO 需求增长，MPC 需要支持 64 芯、128 芯甚至更高密度的光纤阵列。	高芯数导致光纤间的相互干扰加剧，测试难度也显著增加。

资料来源：Bernstein、JP.Morgan、太平洋证券

图表3.7.2：：Senko的MPC在光纤和 PIC 之间聚焦/耦合光信号

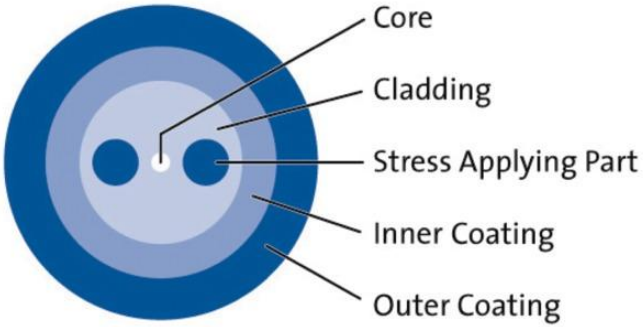


资料来源：Bernstein、太平洋证券

3.8 CPO/NPO核心器件：保偏光纤-连接ELS/OE，稳定光动脉

保偏光纤：在CPO系统中是一种关键的无源光纤，其核心作用是在传输光信号时，维持光的偏振态（Polarization）稳定；
保持偏振稳定性：保偏光纤通过在纤芯内部施加应力，产生双折射效应，将传输光束限制在应力轴（慢轴/快轴）上，从而抵抗外部机械应力、温度变化、弯曲等因素对偏振态的干扰。
连接外部激光源：CPO系统中，外部激光源（ELS，如Lumentum的CW激光器）发出的光通常是线偏振光。这些光需要通过保偏光纤传输到光引擎内部的硅光芯片。普通单模光纤会随机改变偏振，而保偏光纤能确保激光的偏振态在传输过程中保持不变。

图表3.8.1：康宁熊猫型保偏光纤剖面结构示意图



资料来源：康宁官网、太平洋证券

图表3.8.2：康宁 CPO 整机高密度保偏光纤布线模组

资料来源：康宁官网、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

目录

1、算力-网络数倍级剪刀差，网络架构迭代加速

2、光互联载体：1.6T/硅光光模块加速，上游器件紧缺提升

3、光互联载体：CPO量产/NPO先行，核心器件价值提升

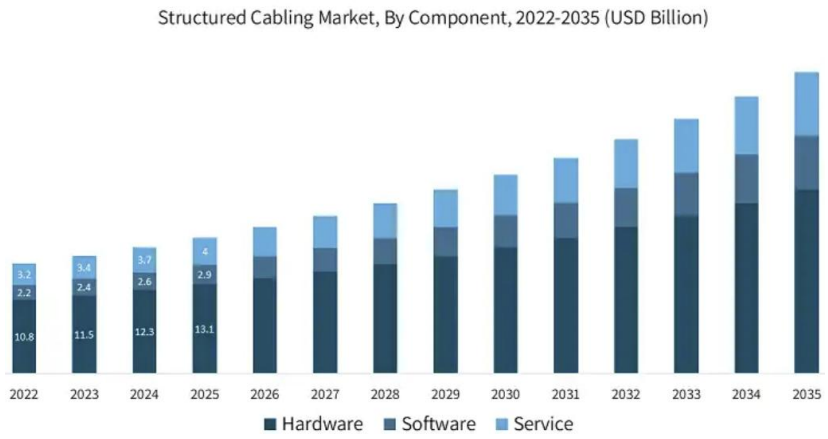
4、光互联传输：布线/光纤/MPO/插芯，AI连接密度驱动需求释放

4.1 光互联传输：数据中心布线-核心配套设施

数据中心采用核心层、汇聚层和接入层的分层布线架构。核心层使用OS2单模光纤连接核心交换机，满足远距离、低损耗和高速传输需求；汇聚层采用OM4多模光纤及MPO高密度预端接跳线，满足机房内部短距离、高带宽连接；接入层使用LC/SC光纤跳线连接服务器与汇聚交换机，并通过MPO模块盒和高密度配线架进行集中管理。整体方案涵盖光纤光缆、连接器、适配器、光模块及配线组件，可支持10G/40G/100G网络，并为未来升级至400G及更高速率预留空间。

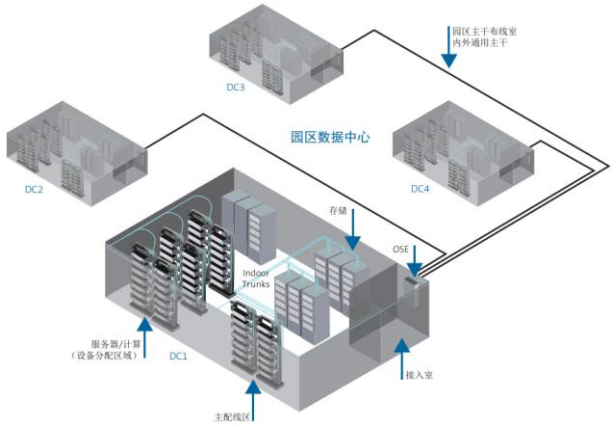
海外厂商方面，康普市场份额位居行业第一，可提供光纤、铜缆及MPO预端接在内的完整数据中心布线方案。公司通过收购安普AMP进一步完善产品布局，并进入英伟达、微软等头部客户的云数据中心供应链，是海外数据中心综合布线领域的核心供应商。

图表4.1.1：海外主要的布线厂商



资料来源：gminsights、太平洋证券

图表4.1.2：大型 IT/ 服务提供商数据中心的 结构化布线设计



资料来源：康宁官网、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

4.2 光互联传输：光纤-算力动脉，量价齐升

光纤可分为单模光纤和多模光纤，分别代表光纤仅支持传播一种模式和支持传播多种模式

G.652D：算力园区内部全链路（机柜内、列间 TOR、园区内跨楼≤80km），是算力中心用量绝对主力；

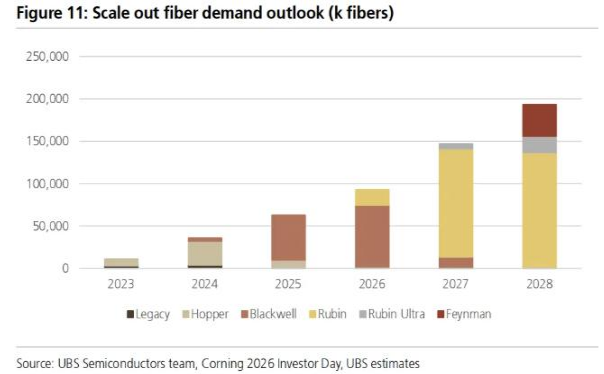
G.654.E：跨城 DCI、省际算力骨干、东数西算枢纽互联（80－1000km），用于算力集群对外长距互通；

OM4/OM5 多模光纤：机柜短距 0－100m 800G 直调光模块标配，MPO 多模线束核心介质。

增量市场：Scale up 将成为光纤新的增量市场。康宁认为规模扩展（Scale-Up）收入机会至少是规模扩展（Scale-Out）的2-3倍。当前规模扩展年收入约20亿美元，预计规模扩展TAM达40-60亿美元（2028-2030年）；

芯数升级：目前，144、288 和 864 芯数已开始成为常态，而主干缆以及超大型数据中心和云计算数据中心使用的光缆正过渡到使用 3,456 芯光缆。

图表4.2.1：AI集群Scale-Out光纤需求预测



资料来源：UBS、太平洋证券

图表4.2.2：G.654系列单模光纤参数及应用场景

技术参数	G.654.A	G.654.B	G.654.C	G.654.D	G.654.E
模场直径范围(μm)	9.5-10.5	9.5-13.0	9.5-10.5	11.5-15.0	11.5-12.5
1550nm衰减系数(dB/km)	≤0.22	≤0.22	≤0.22	≤0.20	≤0.23
PMD系数(ps/√km)	≤0.5	≤0.20	≤0.20	≤0.20	≤0.20
色散系数(ps/nm·km)	≤20	≤22	≤20	≤23	17-23
应用场景	基础长距离系统	大容量WDM系统	高速长距离应用	海底高速系统	陆地相干传输

资料来源：ITU-T G.654-2024解读、太平洋证券

图表4.2.3：800G单模与多模光互联方案对比

	多模			双工	多波长	
	单模			并行		
速率	PMD	介质	距离	光纤芯数	波长	通道速率
800G	800G-VR8	MM	50米	16	1	100G
	800G-SR8	MM	100米	16	1	100G
	800G-DR8	SM	500米	16	1	100G
	800G-FR	SM	2公里	16/8/2	4	100G
	LR-4-6	SM	6公里	2	4	100G
	LR	SM	10公里	16/4	4	200G
	LR（高损耗）	SM	10公里	2	4	200G
	ER	SM	40公里	2	1	200G
	ZR	SM	80-120公里	2	1	200G

资料来源：Bicsi、太平洋证券

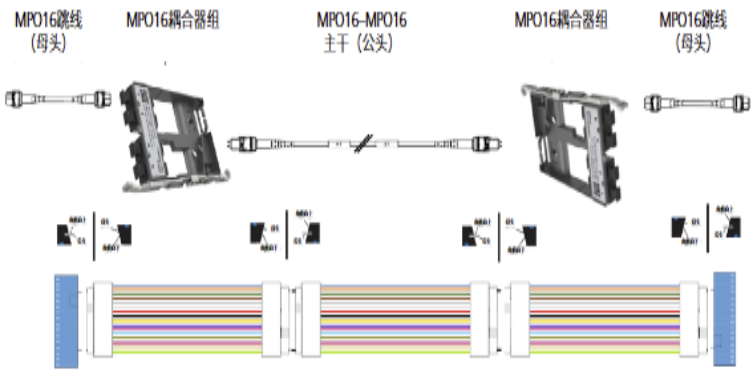
4.3 光互联传输：MPO-配套辅材，结构刚需

MPO（Multi-Fiber Push-On）是单接口承载8/12/16/24芯光纤的高密度活动连接器，支持单模和多模，主要用于光模块、交换机、预端接主干、配线架及CPO系统，实现多通道并行传输，提升带宽与端口密度，并缩短部署周期。

MPO由8/12/24芯多规格并存，向适配400G/800G的16芯及32芯双排方案扩展；高速PAM4/PAM8场景对回波损耗和抗污染能力要求提升，推动多模MPO、SN-MT由UPC平面端面向APC斜面端面升级。

MMC、SN-MT通过缩小接口尺寸提升连接密度，是下一代VSFF多芯连接器。MMC密度约为MPO/MTP的3倍，由US Conec主导，康宁、住友、罗森伯格等配套落地；SN-MT密度约为MPO-16的2.7倍，由SENKO主导。预计2026年进入小规模商用，2028年有望随CPO规模部署进入高速增长期。

图表4.3.1：MPO16预端接布线系统示意



资料来源：康普官网、太平洋证券

图表4.3.2：MPO连接器主要芯数规格

资料来源：康普官网、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

4.4 光互联传输：MT插芯-精密注塑件，高端产能紧缺

连接器的核心是 US Conec 设计和制造的 MT 插芯；插芯原材料：pps（聚苯硫醚）和sio2微球共混材料；

壁垒：US Conec MTP、Senko SN-MT 微型 MT 属于专利体系，下游厂商使用对应插芯必须取得原厂授权认证，否则无法供货北美头部云厂商

单排16芯成为行业趋势：1.6Tbps光模块对散热性能、功耗控制及集成密度提出了更高的要求，单排16芯的低损插芯作为解决方案； 16芯多模超低损应达到0.25dB的理想水平

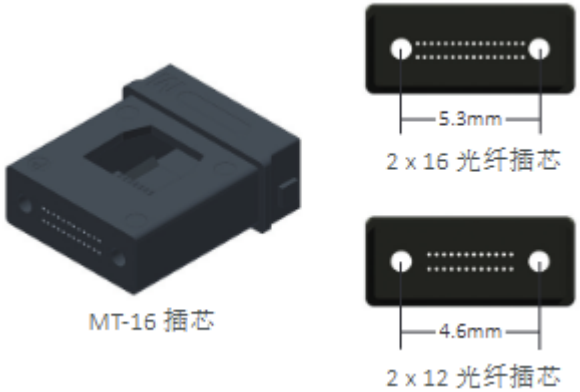
US Conec 生产耐用的复合型聚苯硫醚（PPS）热塑插芯，可提供多达 72 个光纤孔，用于端接 125 μm 的光纤；

图表4.4.1：MT插芯规格

插芯类型	随机配接衰减[1] (≥97% dB)	平均随机配接衰减 (dB)	回波损耗 (dB)
单模 MT Elite® PA	≤0.25[3]	≤0.12[3]	≥60
单模	≤0.50[4]	≤0.25[4]	≥60
多模 MT Elite®	≤0.25	≤0.12	≥25
多模	≤0.45	≤0.20	≥25

资料来源：Flukenetworks 官网、中金公司研究部、太平洋证券

图表4.4.1：MT插芯实物图



资料来源：光纤在线、Usconec官网、太平洋证券

产业链相关公司

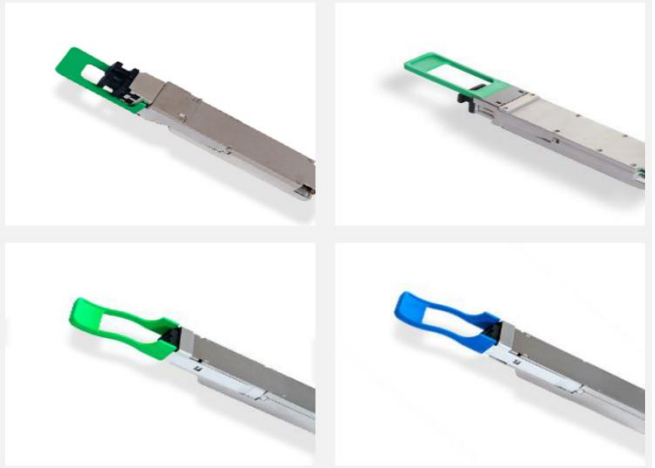
更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

5.1 中际旭创

营收概况 公司2017年创业板上市，深耕高速光互连十余年，营收随AI行业扩张快速增长。2021-2025年营业收入依次为76.95亿元、96.42亿元、107.18亿元、238.62亿元、382.40亿元；对应归母净利润8.77亿元、12.24亿元、21.14亿元、51.71亿元、107.97亿元。全球化产能布局苏州研发总部、铜陵制造基地、马来西亚海外工厂，面向北美云厂商本地化交付。

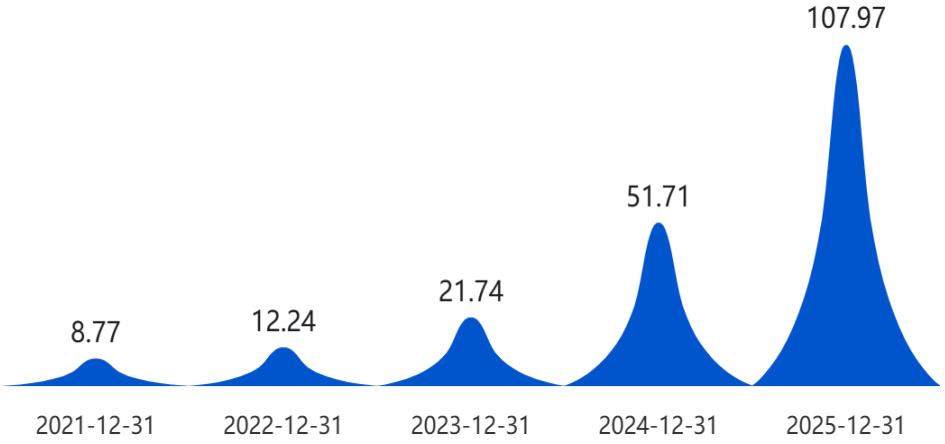
核心产品 核心产品为 400G/800G/1.6T 高速数通光模块，覆盖 AI 算力 Scale-out 横向扩容、Scale-up 柜内高密度互联两大场景；产品矩阵包含传统可插拔 OSFP/QSFP 模块、LPO 线性低功耗模块、NPO 近封装光引擎、可拆卸 CPO 光引擎、XPO 液冷高密度模块；自研硅光 PIC 光引擎、FAU 光纤阵列、高精度耦合组件，客户覆盖英伟达、谷歌、Meta、亚马逊、微软全球头部 AI 算力厂商。

图表5.1.1：产品图



资料来源：中际旭创官网、太平洋证券

图表5.1.2：利润表



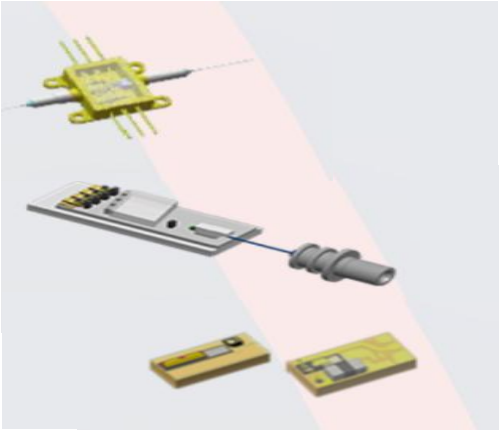
资料来源：巨潮资讯网、太平洋证券

5.2 天孚通信

营收概况 天孚通信2015年创业板上市，为全球一站式光互连精密器件龙头，AI与CPO产业带动业绩高速增长；2021-2025年营收分别为10.32、11.96、19.39、32.52、51.63亿元，归母净利润对应3.06、4.03、7.30、13.44、20.17亿元。公司布局苏州、江西及泰国基地，泰国一期2024年中投产、二期持续调试，依托海外产能服务北美客户；同步布局ELS、FAU、硅光光引擎、先进封装，配合海外厂商开展CPO联合研发送样。

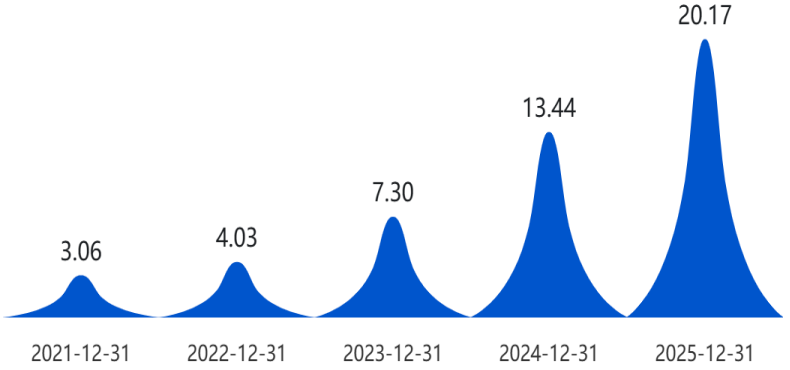
核心产品 公司打造无源器件、有源光引擎、光电JDM封装一体化平台，适配AI算力两类互联场景。无源FAU、透镜、MT/MPO等CPO配套件已批量供货；有源推出适配NPO/可拆卸CPO的800G/1.6T硅光光引擎，提供2.5D混合键合代工。直接供货中际旭创、新易盛等头部光模块厂商，间接配套海外云厂商算力供应链，是CPO产业链无源+有源一体化配套供应商。

图表5.2.1：产品图



资料来源：天孚通信官网、太平洋证券

图表5.2.2：利润表



资料来源：巨潮资讯网、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

5.3 蘅东光

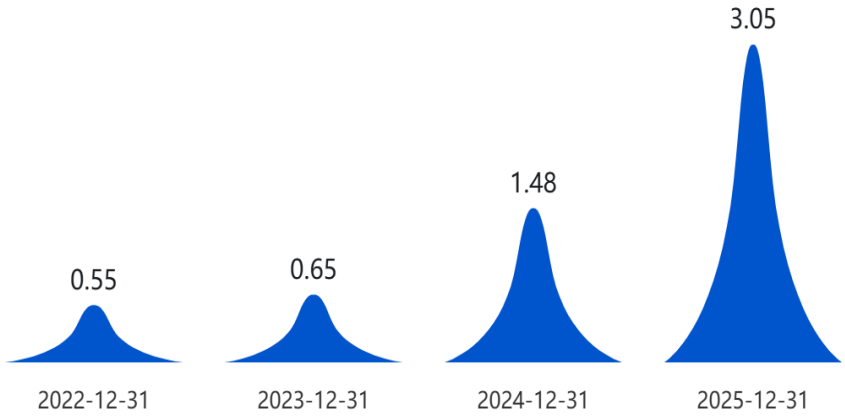
营收概况 蘅东光2011年成立，2024年挂牌新三板、2025年登陆北交所，为国家级专精特新小巨人，业务以外销为主；2021-2024年营收依次3.97、4.75、6.13、13.15亿元，归母净利润0.12、0.55、0.65、1.48亿元，2025上半年营收10.21亿元、净利1.43亿元。公司布局深圳、桂林、越南产线，多国设立海外子公司，深耕CPO配套DFAU、FAU、微透镜组件。

核心产品 公司主营无源光纤布线、内连光器件，传统产品包含MPO连接器、MT插芯、光纤跳线、光背板等；面向CPO推出DFAU、高密度FAU、保偏耦合模组，适配1.6T硅光引擎光路。产品直供AFL、Coherent、Jabil等国际光器件厂商，终端间接配套海外头部AI算力集群，是国内少数可批量交付CPO高精度无源耦合件的企业。

图表5.3.1：产品图

资料来源：蘅东光2025年报、太平洋证券

图表5.3.2：利润表



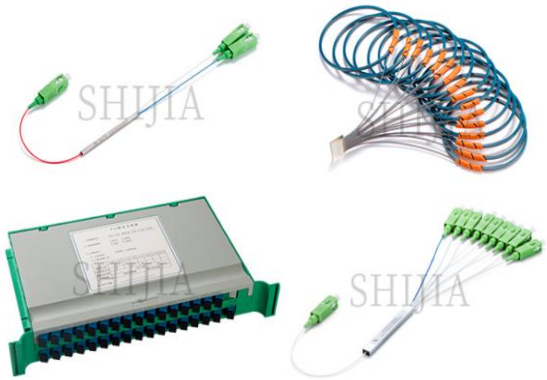
资料来源：巨潮资讯网、太平洋证券

5.4 仕佳光子

营收概况 仕佳光子2020年科创板上市，为拥有IDM全流程能力的光芯片企业，产品服务算力与数据中心。2021-2024年营收8.17、9.03、7.55、10.75亿元，归母净利润0.50、0.64、-0.48、0.65亿元，2025上半年营收9.93亿元、净利2.17亿元。公司拥有鹤壁 6 英寸 InP 晶圆产线与泰国封装基地，扩产高速光芯片，研发 CPO 配套 CW DFB、FAU、AWG，部分产品小批量供货。

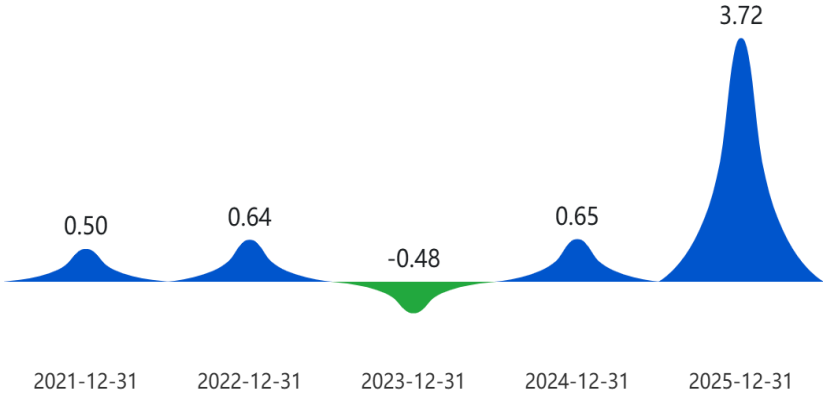
核心产品 公司业务包含光芯片器件、室内光缆、线缆材料三大板块，光芯片为增长核心。无源芯片量产PLC、800G/1.6T AWG适配CPO波分场景；有源芯片推出适配硅光/CPO的多功率CW DFB激光器，配套MT、MPO、FAU耦合组件，并收购福可喜玛补齐MT插芯产能。产品直供中际旭创、新易盛、博通等厂商，间接配套海外AI算力集群，是国内少数同时覆盖CPO有源光源、无源波分、耦合组件的IDM光芯片厂商。

图表5.4.1：产品图



资料来源：仕佳光子官网、太平洋证券

图表5.4.2：利润表



资料来源：巨潮资讯网、太平洋证券

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

风险提示

- 地缘政治风险：全球AI供应链连锁下跌及出口加征关税；
- 美国AI需求不及预期；大模型迭代乏力，商业化落地缓慢影响资本开支；
- 技术迭代风险：CPO量产进度低于预期、1.6T确收进度低于预期；
- 物料进度布局预期：上游核心物料限购，供应链跟不上订单节奏。

投资评级说明

1、行业评级

看好：预计未来6个月内，行业整体回报高于沪深300指数5%以上；

中性：预计未来6个月内，行业整体回报介于沪深300指数-5%与5%之间；

看淡：预计未来6个月内，行业整体回报低于沪深300指数5%以下。

2、公司评级

买入：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅在15%以上；

增持：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于5%与15%之间；

持有：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于-5%与5%之间；

减持：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于-5%与-15%之间；

卖出：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅低于-15%以下。

太平洋证券股份有限公司

云南省昆明市盘龙区北京路926号同德广场写字楼31楼

更多免费行业报告 并购家 www.ipoipo.net

太平洋证券 PACIFIC SECURITIES

投诉电话： 95397
投诉邮箱： kefu@tpyzq.com

免责声明

太平洋证券股份有限公司（以下简称“我公司”或“太平洋证券”）具备中国证券监督管理委员会核准的证券投资咨询业务资格。

本报告仅向与太平洋证券签署服务协议的签约客户发布，为太平洋证券签约客户的专属研究产品，若您并非太平洋证券签约客户，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息；太平洋证券不会因接收人收到、阅读或关注媒体推送本报告中的内容而视其为太平洋证券的客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何机构和个人的投资建议，投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价或询价。我公司及其雇员对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。我公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。本报告版权归太平洋证券股份有限公司所有，未经书面许可任何机 构和个人不得以任何形式翻版、复制、刊登。任何人使用本报告，视为同意以上声明。