



电子行业研究

买入（维持评级）
行业深度研究

证券研究报告

电子组

分析师：樊志远（执业 S1130518070003）

fanzhiyuan@gjzq.com.cn

大规模 AI 集群带动 CPO 加速，看好产业链公司

投资逻辑：

AI 发展带动训练集群规模扩大，推理端 token 消耗算力持续增长，带动算力和网络需求。我们认为，CPO 可以有效帮助大规模集群降低功耗、提升互联密度、提升高速率下的传输稳定性。当前 AI 发展对 CPO 需求迫切，CPO 供给端也逐渐成熟，CPO 有望迎来加速渗透。1) 需求端：AI 集群规模扩大带动的网络互联规模、密度、速率的提升，显著催化 CPO 需求。根据 Semianalysis 测算，大规模组网当中，CPO 的功耗节约也较显著，在 3 层网络的集群当中，虽然交换芯片因为使用 CPO 集成了光引擎等光学部件功耗提升，但光模块所产生的功耗大幅下降，总的网络功耗可以降低 23%；对于 3 层网络的 GB300 NVL72 机柜，采用 3 层网络的 CPO 方案后，可以相比传统 DSP 光模块方案降低 21% 的网络成本，总成本可以降低 3%；而如果将网络压缩至两层 CPO 方案，则可以降低 46% 的网络成本，总成本可以价格低 7%。另外在高速信号传输时，CPO 方案可以相比传统方案降低传输距离，减少信号损失。2) 供给端：我们认为 CPO 供给目前也逐渐成熟，博通、英伟达等主要交换芯片厂商已经推出 CPO 交换芯片。CPO 的稳定性也达到了较高水平。我们认为当前 CPO 的供给端也可以满足较大出货，加速渗透率提升的时间点。

我们认为 CPO 核心供应链公司有望持续受益 CPO 加速渗透趋势。我们将 CPO 核心供应链公司分为：1) 核心光器件公司；2) CPO 制造；3) CPO 解决方案。CPO 核心光器件包括激光器、光引擎、FAU、Shuffle Box、MPO 等。CPO 光源主要采用 CW 激光器，受益于光通信需求持续增长，主要激光器厂商如 Lumentum、Coherent、住友加速扩产。Lumentum、Coherent 有望持续受益。国产厂商如源杰科技进展积极，东山精密也具备较强光芯片生产能力。当前激光器衬底主要采用磷化铟材料，磷化铟衬底主要厂商为 AXTI 等。FAU 主要用于将光信号导入与导出光引擎，目前天孚科技已经完成 1.6T 光引擎规模量产和 CPO 配套光器件研发。CPO 需要高精度微透镜阵列，传统光学企业如蓝特光学有望切入 CPO。MPO 用于将光纤连接到外部端口，将交换机与其他交换机或远端网卡连接，太辰光是 MPO 连接器供应商，通过康宁间接供应终端客户。Shuffle Box 专为管理复杂的光纤互连而设计。

CPO 制造端主要受益方向包括晶圆制造、委外封装测试、CPO 测试厂商等。晶圆制造端，CPO 光引擎中 EIC 需要采用较先进制程，台积电在先进制程具有显著优势。在光引擎 PIC、EIC 的连接上，英伟达、博通开始采用台积电 COUPE 技术。我们认为台积电 COUPE 技术有望巩固台积电在硅光子世代行业地位。传统封装厂如日月光、Amkor 布局光引擎封装测试，天孚通信也积极布局先进封装有望受益。CPO 光引擎集成入交换机后，缺陷将导致整个模组报废，CPO 测试重要性和复杂度大幅提高。我们认为，CPO 测试设备有望充分受益，包括复杂度较高的光路对准的厂商、受益于更多光通道数和带宽数的厂商。而平台型测试企业有望受益 CPO 带来的芯片测试复杂度提升的行业 beta。

CPO 解决方案端，英伟达采用更为激进的 MRM 调制器，具有低功耗、占用空间小的优势，博通采用 MZM 调制器，制造上更为成熟。未来调制器有望转向薄膜铌酸锂方案。我们认为英伟达的方案有望较博通产生差异化竞争优势，带动英伟达网络收入继续增长。我们认为交换机行业有望受益 CPO 更高集成度带来的收入增长。

投资建议与估值

我们认为 AI 集群规模扩大，信号传输速率提升，CPO 功耗、成本、低损耗优势明显，需求明确。供给端 CPO 供应链逐渐成熟。CPO 有望迎来加速渗透，CPO 核心供应链企业有望充分受益。我们建议关注 CPO 核心光器件公司、CPO 制造公司、CPO 解决方案公司。我们看好：天孚通信、台积电、博通等。

风险提示

CPO 技术发展不及预期；AI 模型迭代停滞；美国宏观经济承压；AI 硬件发展及良率不及预期；中美科技领域政策恶化。



内容目录

一、网络互联规模、密度、速率提升，CPO 交换芯片推出，CPO 渗透率提升已具条件	4
1.1 CPO 需求端：网络互联规模、密度、速率持续提升，催化 CPO 需求	4
1.2 CPO 供给端：博通、英伟达、Marvell 加速推出 CPO 交换芯片，CPO 稳定性明显提升	8
二、光器件、晶圆代工/封测、CPO 解决方案厂商有望受益	9
2.1 CPO 产业链主要包括核心光器件、制造、CPO 解决方案，以英伟达 CPO 方案为例分析	9
2.2 核心光器件厂商有望受益，Lumentum 等厂商展望积极	12
2.3 台积电 COUPE 技术有望巩固台积电行业地位，光引擎封装、CPO 测试厂商有望受益	17
2.4 英伟达 CPO 方案技术激进，交换机厂商有望受益 CPO 带来的收入增长	21
三、投资建议	22
四、风险提示	23

图表目录

图表 1：大模型训练所消耗的算力已经达到 10^{25} FLOP 量级	4
图表 2：集群规模越大，网络硬件成本与功耗占比越大	5
图表 3：单个 CPO 较可插拔光模块可以降低 65% 的功耗	6
图表 4：在三层网络的集群当中，CPO 方案可以大幅度降低功耗（单位：W/单个 GB300 NVL72 机柜）	6
图表 5：CPO 相比传统方案可以有效降低成本	6
图表 6：单个 CPO 较可插拔光模块可以降低 65% 的功耗	7
图表 7：在三层网络的集群当中，CPO 方案可以大幅度降低功耗	7
图表 8：AI 芯片单机柜互联带宽快速增长（单位：GB/s）	7
图表 9：NVLink 带宽快速增长（单位：GB/s）	7
图表 10：CPO 可以减少电信号传输距离，有效降低高速信号传输的损失，图中红色标记为电信号传输通道	8
图表 11：博通 22 年推出第一代 CPO 交换芯片 Humbolt，26 年已经推出 102.4T CPO 交换芯片	8
图表 12：英伟达已经推出 Infiniband 协议的 CPO 交换芯片，未来将扩展到以太网协议	8
图表 13：CPO 产业链梳理	9
图表 14：典型的 CPO 交换机当中核心包括交换芯片、光引擎、外部光源等	10
图表 15：单个 Quantum-X CPO 模块当中有六个光学子模块，共 18 个光引擎	10
图表 16：单个 Quantum-X CPO 模块当中具有 36 个激光输入通道，288 个数据通道	10
图表 17：单个光引擎带宽为 1.6Tbps，通过光纤对外连接	11
图表 18：光引擎当中包括光纤阵列连接器、3D 堆叠的 PIC 与 EIC 等	11
图表 19：EIC 采用台积电 N6 制程，PIC 与 EIC 采用 COUPE 技术封装	11
图表 20：CPO 模块通过外部光源与外部进行光信号互联	11
图表 21：单个 Quantum-X CPO 交换机有 18 个外部光源、144 个 MPO，总带宽 155Tbps	11



图表 22: CPO 通常采用 CW 激光器作为外部光源.....	12
图表 23: Lumentum 预计其 25~30 年高功率激光器产能 CAGR 超 200%	13
图表 24: Coherent 预计其磷化铟产能 26 年底较 25 年底提升一倍, 27 年底较 26 年底提升一倍以上.....	13
图表 25: 2028 年 CW 需求将超过 EML 需求.....	13
图表 26: 住友光学器件产能快速增长	13
图表 27: Lumentum 器件营收持续环比增长.....	14
图表 28: Lumentum 预计 CPO、OCS 等业务有望实现单季度 20 亿美元收入, 并提升盈利能力	14
图表 29: Coherent 数据中心相关收入持续环比增长.....	14
图表 30: 住友通信市场收入 25H2 环比增长	14
图表 31: 博通第一代 CPO 方案中, EIC 采用锗硅工艺, 与 PIC 通过 TSV 连接.....	14
图表 32: 博通第二代 CPO 方案中, EIC 采用 7nm CMOS 工艺, 与 PIC 通过 FOWLP 技术封装.....	14
图表 33: 光引擎通过 FAU 光纤阵列单元与外部光源连接	15
图表 34: 光学公司积极布局微棱镜	16
图表 35: 英伟达 Quantum X800-Q3450 CPO 配备了 144 个 MPO 端口	16
图表 36: 康宁光通信收入快速增长	17
图表 37: 天孚通信营收快速增长	17
图表 38: 台积电 COUPE 技术布局 CPO, 较竞争对手有制程优势.....	17
图表 39: 台积电除交换芯片 CPO 方案外, 布局 XPU CPO 方案研发, 有望进一步降低功耗和延时.....	18
图表 40: 矽品(日月光子公司)、Amkor 等传统封测厂有望参与 CPO 委外封装测试.....	18
图表 41: 联讯仪器 2025 年 1~9 月前五大客户收入占比约 37%, 其中包括旭创、新易盛、Lumentum 等头部企业.....	19
图表 42: Formfactor、Advantest、东京电子合作开发的 CPO 测试系统, 采用 Formfactor 高密度探针卡、Advantest 9300 测试机	20
图表 43: VIAVI MPO 测试方案较传统方案可以节约较多时间.....	20
图表 44: 英伟达采用 MRM 调制器, 具备更良好功耗、更小体积	21
图表 45: 薄膜铌酸锂 PIC 份额有望提升(单位: 十亿美元)	22
图表 46: 传统交换机当中光模块由客户采购后插在交换机端口	22
图表 47: CPO 交换机集成度更高, 交换芯片集成了部分光模块功能.....	22



一、网络互联规模、密度、速率提升，CPO 交换芯片推出，CPO 渗透率提升已具条件

1.1 CPO 需求端：网络互联规模、密度、速率持续提升，催化 CPO 需求

AI 发展促使网络互联密度、速率持续提升。AI 模型持续迭代，参数的增加使得训练所消耗的算力持续提升，导致训练集群规模持续扩大。推理端，vibe coding、openclaw 等应用爆发，带来大量推理需求，同时模型的复杂度提升，使得 token 输出所消耗的算力也持续增长，带动算力和网络需求。

我们认为，CPO 可以有效帮助大规模集群降低功耗、提升互联密度、提升高速率下的传输稳定性。AI 集群规模扩大带动的网络互联规模、密度、速率的提升，显著催化 CPO 需求。

根据 Epoch AI 估测，当前主流模型训练所消耗的算力均已经达到 10^{25} FLOP 的数量级，如 GPT-5 训练所消耗算力已经达到 6.6×10^{25} FLOP，部分大模型如 Grok 4 训练所消耗的算力已经达到 10^{26} 量级。

图表1：大模型训练所消耗的算力已经达到 10^{25} FLOP 量级



来源：Epoch AI，国金证券研究所

训练模型所消耗算力的增长，拉动更大规模集群需求。模型规模提升后，集群互联的网络层数也将提升，网络部分硬件的成本及功耗占整个集群的成本及功耗也大幅增加。根据 Semianalysis 测算，一个 2 层网络可以支持约 10368 个 GPU 组成的集群，其中单 GB300 NVL72 机柜所对应的网络硬件成本约 59 万美元，占总成本的 11%，但在 4 层网络当中，单 GB300 NVL72 机柜所对应的网络硬件达到了约 101 万美元，占总成本的 18%。


图表2：集群规模越大，网络硬件成本与功耗占比越大

	2层网络（最多支持 10368 个 GPU）				3层网络（最多支持 746496 个 GPU）				4层网络（最多支持约 5370 万个 GPU）			
	成本 （美元 /GB300 机柜）	占比	功耗 （W/GB 300 机 柜）	占比	成本 （美元 /GB300 机柜）	占比	功耗 （W/GB3 00 机 柜）	占比	成本 （美元 /GB300 机柜）	占比	功耗 （W/GB 300 机 柜）	占比
服务器	4,357,943	84%	142,000	93%	4,357,943	80%	142,000	91%	4,357,943	77%	142,000	88%
网络	589,529	11%	9,814	6%	836,944	15%	141,968	91%	1,015,959	18%	18,582	12%
光模块	363,125	7%	4,600	3%	499,925	9%	6,184	4%	568,325	10%	6,976	4%
交换机	208,681	4%	5,214	3%	312,681	6%	8,014	5%	416,681	7%	11,606	7%
光纤、铜缆等	17,723	0%	-	0%	24,338	0%	-	0%	30,953	1%	-	0%
其他	269,152	5%	281	0%	269,152	5%	281	0%	269,152	5%	281	0%
合计	5,216,624	100%	152,095	100%	5,464,039	100%	156,479	100%	5,643,054	100%	160,863	100%

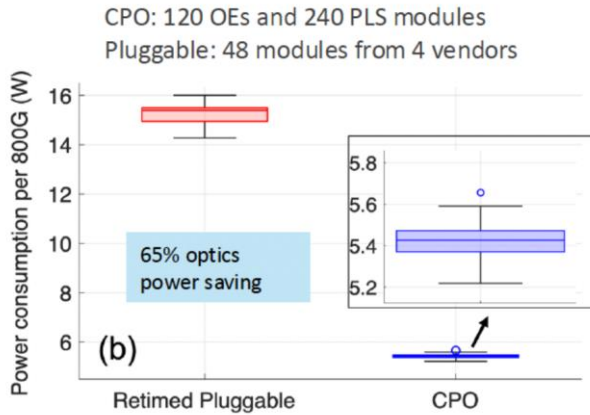
来源：Semianalysis，国金证券研究所

在大规模 AI 集群当中，CPO 可以帮助 CSP 有效降低功耗。根据博通在 ECOC 2025 会议上的展示，单个搭载 120 个光引擎的 51.2T CPO 交换芯片 Tomahawk5-Bailly 相较于采用 48 个传统光模块可以节约 65% 的功耗，相较于 LPO 光模块方案也可以节约 35% 的功耗。根据 Semianalysis 测算，在大规模组网当中，CPO 的功耗节约也较显著，在 3 层网络的集群当中，虽然交换芯片因为使用 CPO 集成了光引擎等光学部件功耗提升，但光模块所产生的功耗大幅下降，总的网络功耗可以降低 23%。

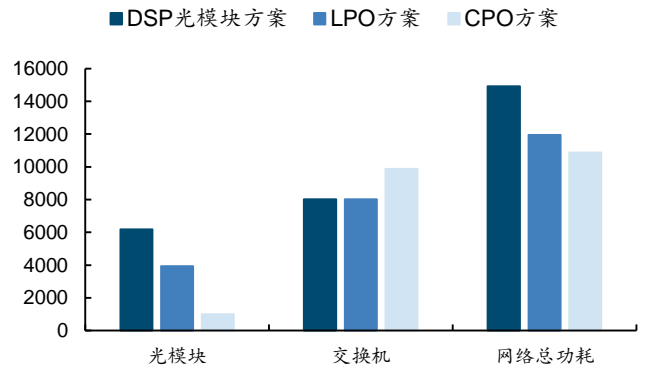
而从传统连接方式转向 CPO 也可以有效降低成本，根据 Semianalysis 测算，对于 3 层网络的 GB300 NVL72 机柜，采用 3 层网络的 CPO 方案后，可以相比传统 DSP 光模块方案降低 21% 的网络成本，总成本可以降低 3%；而如果将网络压缩至两层 CPO 方案，则可以降低 46% 的网络成本，总成本可以价格低 7%。



图表3: 单个 CPO 较可插拔光模块可以降低 65%的功耗



图表4: 在三层网络的集群当中, CPO 方案可以大幅度降低功耗 (单位: W/单个 GB300 NVL72 机柜)



来源: 博通, 国金证券研究所

来源: Semianalysis, 国金证券研究所

图表5: CPO 相比传统方案可以有效降低成本

	DSP 光模块 (3层网络)	LPO 光模块 (3层网络)	CPO (3层网络)	CPO (2层网络)
	价格变化 (相较 DSP 光模块方案)			
服务器	0%	0%	0%	0%
网络	0%	-8%	-21%	-46%
光模块	0%	-13%	-86%	-86%
交换机	0%	0%	81%	15%
光纤、铜缆等	0%	0%	0%	-27%
其他	0%	0%	0%	0%
合计	0%	-1%	-3%	-7%

来源: Semianalysis, 国金证券研究所

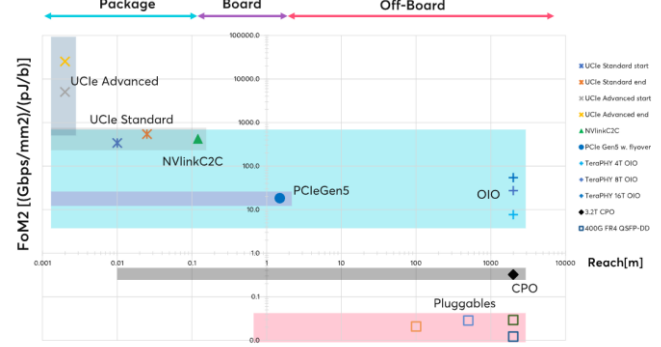
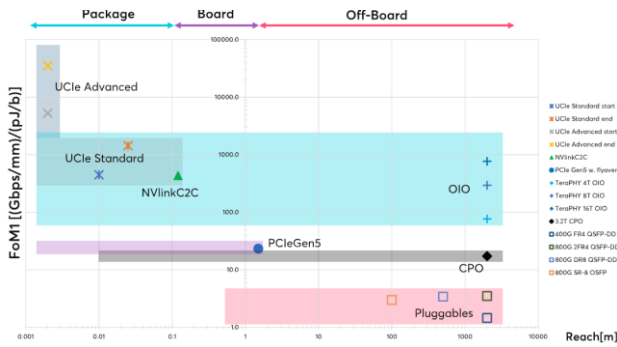
当前英伟达、AMD 等厂商的 GPU 方案, 以及云厂商的 ASIC 方案均转向整机柜形式, 互联密度大幅度提升。CPO 可以在有限空间支持更高的带宽密度, 渗透率提升有望加速。由于省去了前面板可插拔接口, CPO 大幅缩短了交换芯片到光引擎的连接距离, 使得在有限封装空间内可以支持极高的 I/O 带宽密度, 在紧凑封装中提供远超以往的吞吐能力。这意味着单台交换机可承载更多光通道, 支持更大规模集群的互连需求。

根据 Ayar Labs 数据, CPO 方案在描述设备边缘单位长度传输速度的 shoreline bandwidth, 以及描述整个设备单位面积传输速度的 area bandwidth density 都高于传统可插拔方案, 可以实现较长距离的更高密度互联。



图表6: 单个CPO 较可插拔光模块可以降低 65%的功耗

图表7: 在三层网络的集群当中, CPO 方案可以大幅度降低功耗



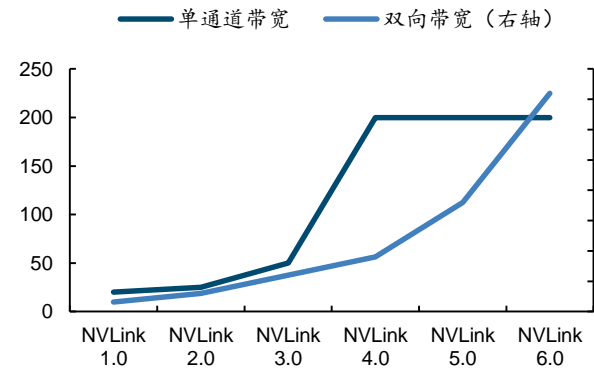
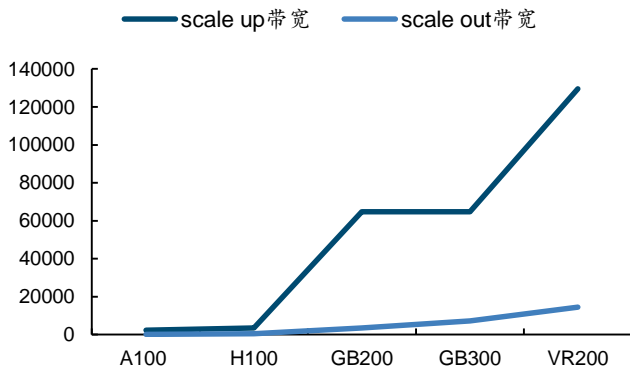
来源: AyarLabs, 国金证券研究所

来源: AyarLabs, 国金证券研究所

当前互联速度持续提升, 信号在高速率下以铜作为载体, 容易产生“趋肤效应”, 产生较大的信号损失。采用 CPO 方案, 可以降低光信号与交换芯片之间的距离, 减少信号损耗和串扰。当前 AI 芯片互联速度持续提升, 第 200 单 NVL72 机柜 scale out 与 scale up 总带宽预计将达到 14400、129600 较 GB300 单机柜总带宽翻倍。

图表8: AI 芯片单机柜互联带宽快速增长 (单位: GB/s)

图表9: NVLink 带宽快速增长 (单位: GB/s)



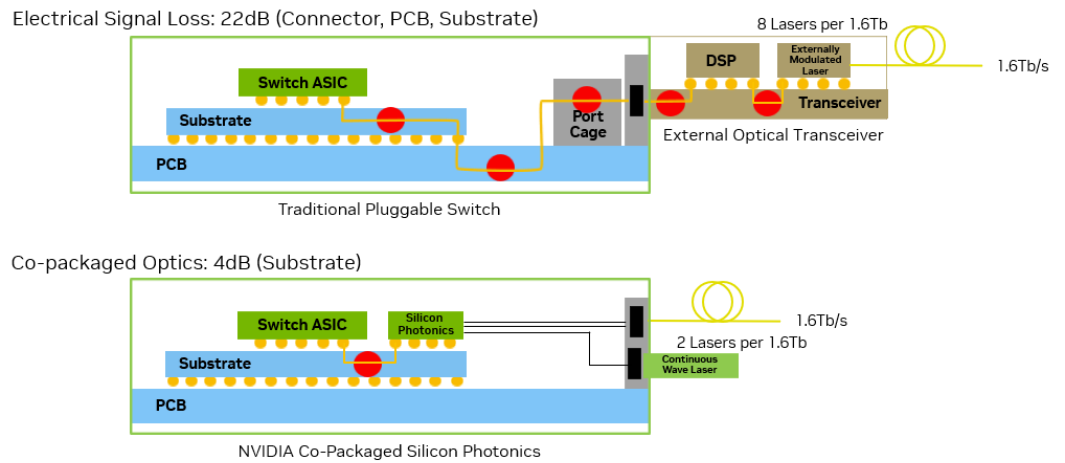
来源: Semianalysis, 国金证券研究所

来源: Semianalysis, 国金证券研究所

信号传输速率提升, 在导体当中会形成信号集中在导体表面的现象, 形成趋肤效应, 传输距离越长, 会产生越大的信号损失。CPO 方案相较于传统方案, 可以有效降低信号传输距离, 提升信号质量。根据英伟达, 在传统互联方案当中, 传统网络交换机依赖于多个电气接口。在这些架构中, 数据信号必须经过从交换机的交换芯片到 PCB、连接器, 最终到达外部收发器的长距离电气路径, 才能转换为光信号。这种分段传输会造成相当大的电损耗, 对于 200 Gbps 的信道, 损耗可高达 22 dB, 这增加了对复杂数字信号处理和多个有源器件的需求。采用 CPO 的交换机将电光转换直接集成到交换机封装上。光纤直接连接到位于 ASIC 旁边的光引擎, 将电损耗降低至约 4 dB。通过简化信号路径并消除不必要的接口, 这种设计显著提高了信号完整性、可靠性和能源效率。



图表10: CPO 可以减少电信号传输距离, 有效降低高速信号传输的损失, 图中红色标记为电信号传输通道



来源: 英伟达, 国金证券研究所

1.2 CPO 供给端: 博通、英伟达、Marvell 加速推出 CPO 交换芯片, CPO 稳定性明显提升

我们认为 CPO 供给目前也逐渐成熟, 博通、英伟达、Marvell 等主要交换芯片厂商已经推出 CPO 交换芯片。CPO 的稳定性也达到了较高水平。我们认为当前 CPO 的供给端也可以满足较大出货, 加速渗透率提升的时间点。

博通先后发布了 25.6T CPO 交换芯片 Tomahawk 4 Humbolt、51.2T CPO 交换芯片 Tomahawk 5 Bailly、102.4T CPO 交换芯片 Tomahawk 6 Davisson。

图表11: 博通 22 年推出第一代 CPO 交换芯片 Humbolt, 26 年已经推出 102.4T CPO 交换芯片

	Humbolt	Bailly	Davisson
发布日期	2022	2024	2026
网络标准	以太网	以太网	以太网
应用	Scale out	Scale out	Scale out
交换芯片	Tomahawk 4	Tomahawk 5	Tomahawk 6
CPO 交换芯片数量	1	1	1
CPO 总带宽	25.6 Tbps	51.2 Tbps	102.4 Tbps
交换机总带宽	25.6 Tbps (半电口)	51.2 Tbps	102.4 Tbps
SerDes 速率 (Gb/s 单向)	100G	100G	200G
光连接方式	DR 光学	FR4 光学	DR4 光学
每个光引擎的带宽	3.2 Tbps	6.4 Tbps	6.4 Tbps
光引擎数量	4	8	16

来源: 博通, Semianalysis, 国金证券研究所

英伟达已经推出包括 Infiniband 与以太网通信协议的 CPO 交换机。通过消除传统的电和可插拔架构带来的瓶颈, CPO 系统能够提供现代 AI 工厂所需的高性能、高能效与高可靠性。NVIDIA Quantum-X InfiniBand 交换机预计于 2026 年初上市, Spectrum-X 以太网交换机则将于 2026 年下半年推出。

图表12: 英伟达已经推出 Infiniband 协议的 CPO 交换芯片, 未来将扩展到以太网协议

	Q3450	Spectrum 6810	Spectrum 6800
发布时间	25H2	26H2	26H2



通信协议	Infiniband	以太网	以太网
交换芯片	Quantum-3	Spectrum-6	Spectrum-6
交换芯片带宽	28.8 Tbps	102.4 Tbps	102.4 Tbps 6800
交换机总带宽	115.2 Tbps	102.4 Tbps	409.6 Tbps
SerDes 速率 (Gb/s 单向)	200 Gbps	200 Gbps	200 Gbps 6800
每个光引擎的带宽	1.6 Tbps	3.2 Tbps	3.2 Tbps 6800
光引擎数量	72	32	128
外部光源数量	18	16	64

来源：英伟达, Semianalysis, 国金证券研究所

Marvell 已经推出了基于 Teralynx 10 交换芯片的 51.2T CPO 方案。Teralynx 10 可以支持 512 个 112G Serdes 通道，可以降低网络层数，降低集群的整体功耗和成本。Marvell 宣布已经有多个客户正在基于 Teralynx 10 进行方案设计，未来有望在数据中心当中部署。

CPO 由于相较于传统方案有更高的集成度，因此在维护上较传统方案更为困难，也是市场认为 CPO 渗透率提升的阻碍之一。从博通的测试数据来看，目前 CPO 交换机已经具备较高稳定性，我们认为 CPO 的较高稳定性将有望保障 CPO 的渗透率提升。

根据博通在 2025 年 ECOC 会议上公布的测试结果，截至测试完成，51.2T 的 Tomahawk5 Bailly CPO 交换机在运行的首个一百万小时当中，没有产生链路抖动；在测试中，方案较传统方案在平均故障间隔时间明显下降，在 GPU 的集群测试下较传统方案提升了 90% 的训练效率；相较于传统方案，并且已经完成了超 12 万小时的高温压力测试的运行时间。

随着 AI 模型发展拉动更大规模集群需求，催化 CPO 需求加速；供给端交换芯片主要厂商已经推出 CPO 方案产品，CPO 已经可以实现较高稳定性，CPO 行业有望迎来加速渗透。

二、光器件、晶圆代工/封测、CPO 解决方案厂商有望受益

2.1 CPO 产业链主要包括核心光器件、制造、CPO 解决方案，以英伟达 CPO 方案为例分析

CPO 供应链可以分为 CPO 核心零部件（激光器、光引擎等核心光学零组件）、CPO 制造（包括晶圆代工、测试等）、CPO 解决方案（包括 CPO 交换芯片/XPU 厂商、交换机/机柜厂商）。

图表 13: CPO 产业链梳理

CPO 核心光器件	激光器	Lumentum、Coherent、源杰、东山精密、住友等
	光引擎	天孚通信等
	光纤阵列单元 FAU	天孚通信、Senko、康宁等
	Shuffle Box	太辰光、天孚通信、Browave 等
	MPO	US Conec、Senko、太辰光等
	微透镜	蓝特光学、炬光科技等
CPO 制造	晶圆代工	台积电、Tower Semi、GlobalFoundries
	封测	台积电、Amkor、日月光等
	测试设备	泰瑞达、Viavi、Keysight、罗博特科、Formfactor、联讯仪器等
CPO 解决方案	CPO 交换芯片/XPU	博通、英伟达、Marvell 等
	交换机/机柜整机	鸿海、天弘科技、智邦等

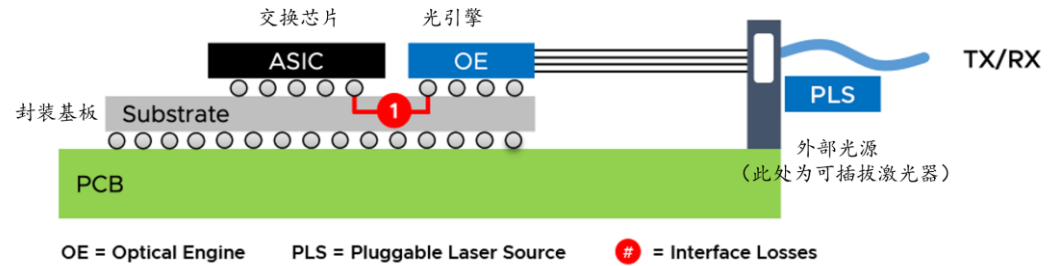


来源：国金证券研究所

CPO 核心零部件主要为各类光学器件，我们以英伟达 CPO 方案为例，定量说明 CPO 当中各类光学零部件的应用场景与数量关系。

一个典型的 CPO 交换机当中，交换芯片与光引擎封装在基板上，通过基板传输信息。光引擎与外部光源连接，光引擎接收外部光源传输的光信号，以及交换芯片传输的电信号。光引擎可以将电信号转化为光载波，变为带有信息的光信号，再通过外部光源对外传输。

图表14：典型的 CPO 交换机当中核心包括交换芯片、光引擎、外部光源等

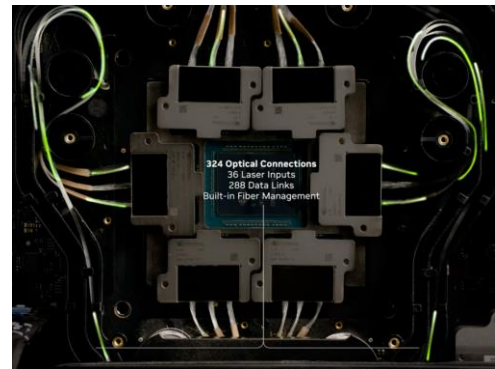
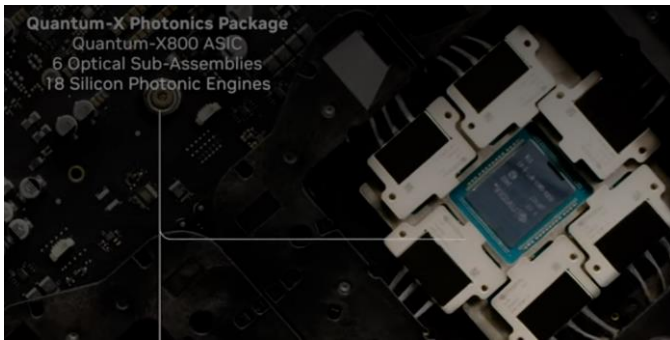


来源：博通，国金证券研究所

英伟达 Quantum-X InfiniBand CPO 交换机当中具有四个 Quantum-X CPO 模块，单个 Quantum-X CPO 模块由一个 Quantum-X800 交换芯片、6 个光学子模块共 18 个光引擎组成，单个模块带宽为 28.8Tbps。单个光学子模块带宽为 4.8Tbps，由三个光引擎组成，光引擎当中包括硅光引擎、光纤连接器、光纤等。硅光引擎由 PIC、EIC 3D 堆叠后，和光纤阵列构成。整个 CPO 模块采用台积电 COUPE 封装技术进行封装。

图表15：单个 Quantum-X CPO 模块当中有六个光学子模块，共 18 个光引擎

图表16：单个 Quantum-X CPO 模块当中具有 36 个激光输入通道，288 个数据通道

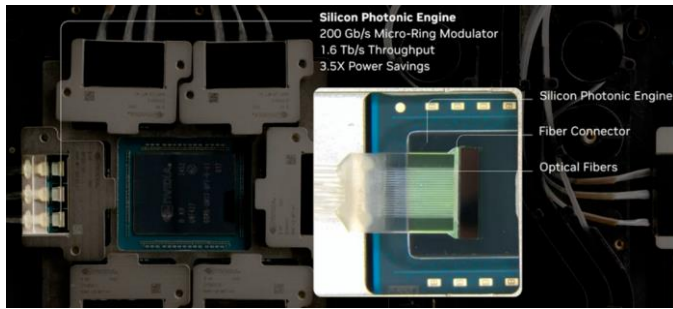


来源：英伟达，国金证券研究所

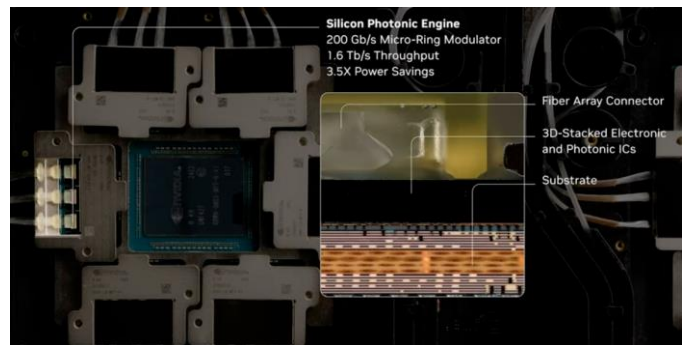
来源：英伟达，国金证券研究所



图表17: 单个光引擎带宽为 1.6Tbps, 通过光纤对外连接



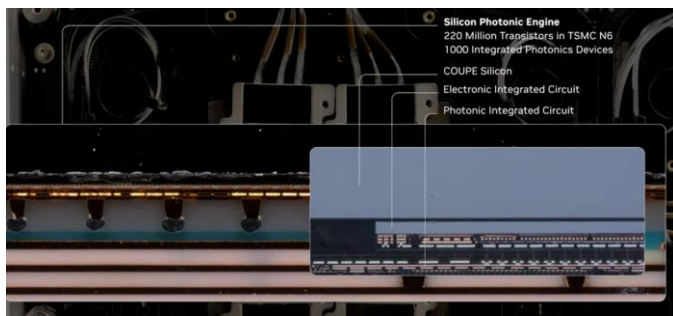
图表18: 光引擎当中包括光纤阵列连接器、3D 堆叠的 PIC 与 EIC 等



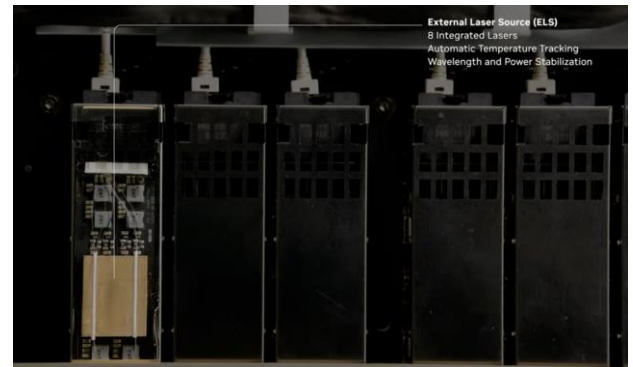
来源: 英伟达, 国金证券研究所

来源: 英伟达, 国金证券研究所

图表19: EIC 采用台积电 N6 制程, PIC 与 EIC 采用 COUPE 技术封装



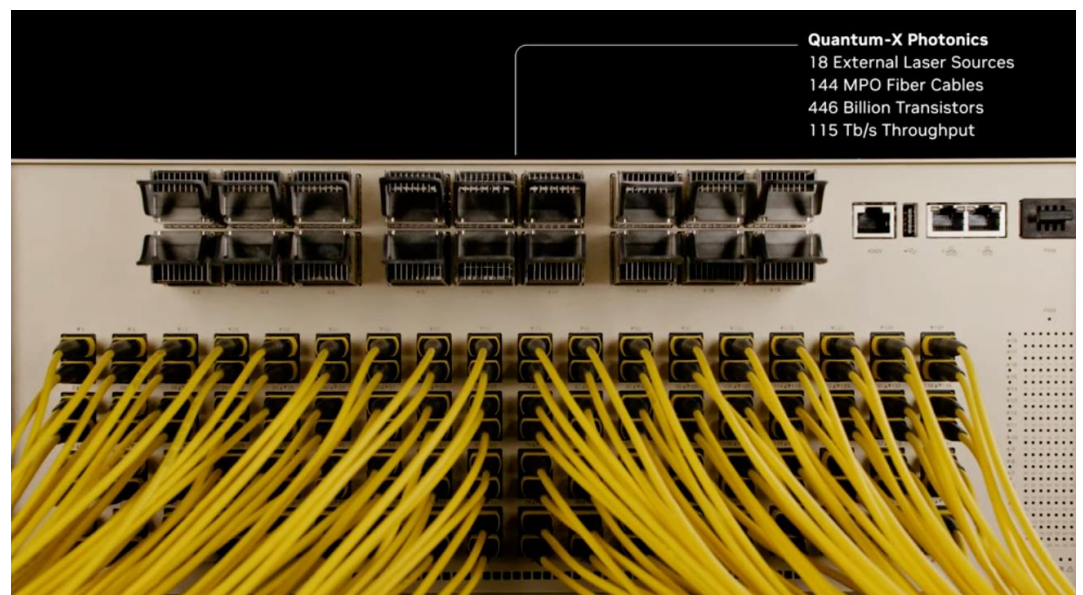
图表20: CPO 模块通过外部光源与外部进行光信号互联



来源: 英伟达, 国金证券研究所

来源: 英伟达, 国金证券研究所

图表21: 单个 Quantum-X CPO 交换机有 18 个外部光源、144 个 MPO, 总带宽 155Tbps





来源：英伟达，国金证券研究所

2.2 核心光器件厂商有望受益，Lumentum 等厂商展望积极

目前业界普遍认同的 CPO 方案是采用外部光源 (ELS)。激光器位于一个独立的模块中，通过光纤连接到光引擎。这种设计简化了激光器故障的现场维修。CPO 光源一般采用 CW 光源。EML 激光器包含调制器，CPO 当中一般将调制器集成在光引擎的 PIC 中，因此光源无需包含调制器，CW 光源相比 EML 更具性价比。

图表22：CPO 通常采用 CW 激光器作为外部光源

参数	VCSEL	EML	CW 激光器
波长	850 nm (多模光纤)	1470-1610 nm (C 波段, ~1550 nm)	1310-1550 nm (单模)
传输距离	短距离: 10 Gbps 速率下最远可达 300m	长距离: 10-80 km (100G 速率下典型可达 40 km)	中长距离: 使用外部调制可达 10-40+ km
速率/数据率	单通道最高 100G (单通道 200G 正在开发)	>25 Gbps, 高速 (支持 >40 GHz, 可提供单通道 200G)	采用硅光子调制单通道最高可达 200G
调制类型	直接调制	集成电吸收调制器与 CW DFB 激光器	外部调制
色度色散	极小 (多模光纤)	非常低 (波长稳定)	极小
相对成本	低	高	中等
功耗	非常低	较高 (每个模块可能超过 4.5W)	中等 (取决于调制器类型)

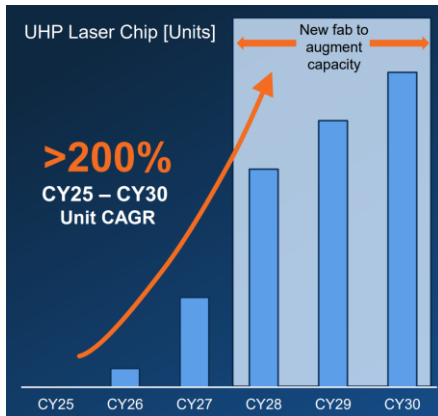
来源：Edge Optical Solutions，国金证券研究所

海外 CW 光源厂商主要包括 Lumentum、Coherent、住友等，截至 2026 年 4 月，英伟达已经宣布分别对 Lumentum、Coherent 各投资 20 亿美元。2026 年 3 月 2 日，英伟达宣布与 Lumentum Holdings Inc. 达成多年战略协议，以加速先进光学技术的创新，包括研发，从而实现下一代人工智能基础设施和系统设计。这项非独家协议包括英伟达数十亿美元的采购承诺以及未来先进激光组件的产能使用权。此外，英伟达还将向 Lumentum 投资 20 亿美元，以支持其研发、未来产能和运营，助力该公司在美国新建晶圆厂，扩大其制造能力。与此同时，英伟达还与 Coherent 宣布了一项多年战略协议，旨在推进先进光学技术的前沿发展，包括制造能力和研发，从而实现下一代人工智能基础设施。这项非独家协议包括英伟达数十亿美元的采购承诺，以及未来获取先进激光和光网络产品的渠道和产能使用权。此外，英伟达还将向 Coherent 公司投资 20 亿美元，以支持其研发、未来产能和运营，助力 Coherent 公司在美国建立制造能力。

受益于光通信需求快速增长，Lumentum、Coherent、住友等厂商加码 Lumentum 高功率激光器初期将在加州生产，预计 2027 年夏末英国工厂建成后大幅提升产能。Lumentum 预计 25~30 年，Lumentum 高功率激光器每年出货量 CAGR 将超过 200%。Coherent 预计将扩大磷化铟产能，支持更多的 EML、CW 激光器生产，Coherent 计划 26 年底磷化铟产能较 25 年底提升一倍，27 年底较 26 年底提升一倍以上。住友预计 2028 年全行业 CW 光源需求量将占到激光器需求的 69%，反超 EML 的需求占比。住友光学器件产能持续扩张，住友计划 26 年产能较 24 年提升一倍，28 年产能较 26 年提升 40%。

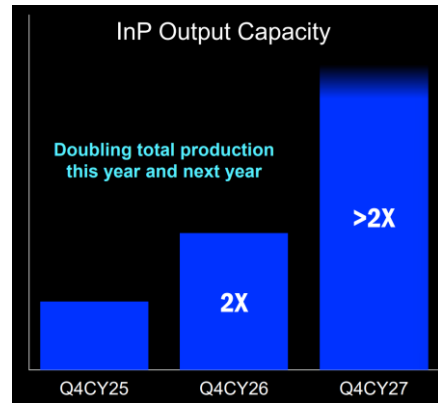


图表23: Lumentum 预计其 25~30 年高功率激光器产能 CAGR 超 200%



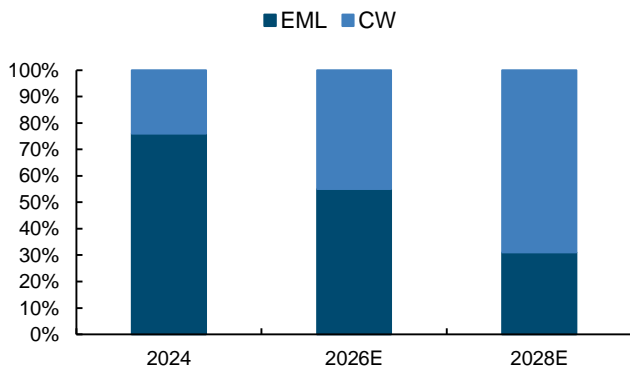
来源: Lumentum, 国金证券研究所

图表24: Coherent 预计其磷化铟产能 26 年底较 25 年底提升一倍, 27 年底较 26 年底提升一倍以上



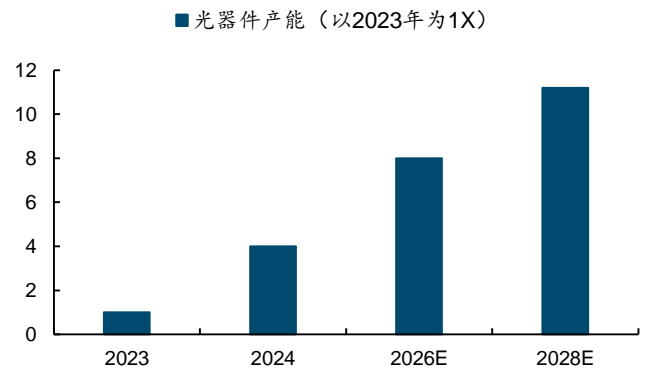
来源: Coherent, 国金证券研究所

图表25: 2028 年 CW 需求将超过 EML 需求



来源: 住友电工, 国金证券研究所

图表26: 住友光学器件产能快速增长



来源: 住友电工, 国金证券研究所

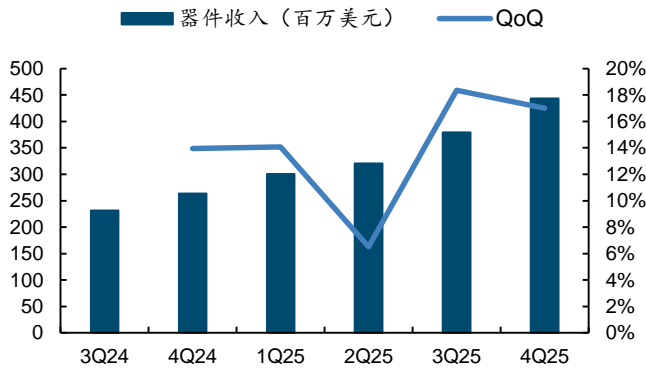
国内光芯片厂商如源杰科技也积极布局 CPO 的 CW 光源。源杰科技研发了 300mW 等更高功率的 CW 光源,目前正在进一步了解客户需求来完善产品的相关研发工作。另外我们认为,其他具有光芯片布局的企业,如索尔思(东山精密收购)、仕佳光子等未来也有望转型高功率 CW 光源,有望应用于 CPO 当中。

目前激光器主要采用磷化铟衬底。磷化铟衬底主要企业包括:AXTI、云南锗业等。据 Omdia、Yole 报告,2025 年全球磷化铟衬底(2 英寸)总需求约 200 万~210 万片,全球有效合规产能仅 60 万~70 万片,供需缺口超 70%;2026 年全球需求将飙升至 260 万~300 万片,有效产能仅提升至 75 万片左右,缺口仍在 70%以上。

光芯片企业受益于光模块需求高增速,业绩持续增长,未来有 CPO 渗透率提升,以及光模块高需求的持续。Lumentum 对长期收入空间展望积极,有望具备较大业绩弹性。Lumentum 指引 FY26Q3(即 1Q26)营收 8.05 亿美元,公司预计未来 CPO 在 scale out 应用、OCS、光模块以及激光器等业务有望带动增长,使得公司营收达到单季度 20 亿美元,而新产能有望达到年化 50 亿美元产值, scale up CPO 等应用有望带动公司单季度收入超 20 亿美元。



图表27: Lumentum 器件营收持续环比增长



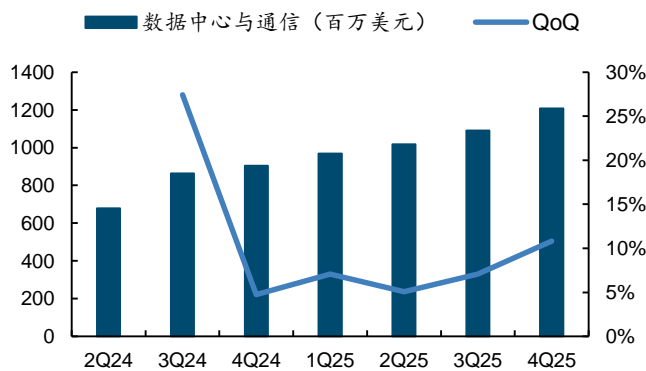
来源: Lumentum, 国金证券研究所

图表28: Lumentum 预计 CPO、OCS 等业务有望实现单季度 20 亿美元收入, 并提升盈利能力

	FY26 (25.7~26.6) — 致预期	单季度 20 亿美元收入
年化收入	29 亿美元	80 亿美元
毛利率	43%	49~52%
营业利润率	27%	38~42%

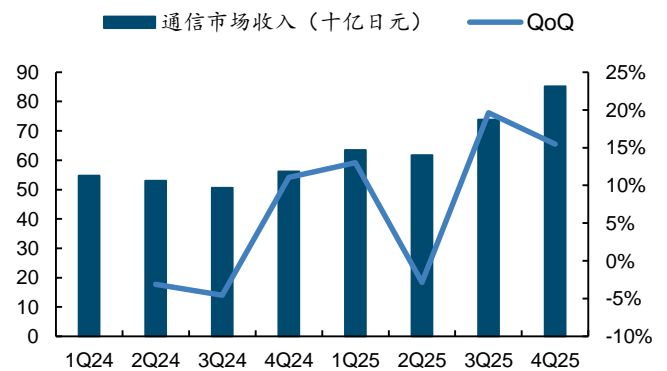
来源: Lumentum, 国金证券研究所

图表29: Coherent 数据中心相关收入持续环比增长



来源: Coherent, 国金证券研究所

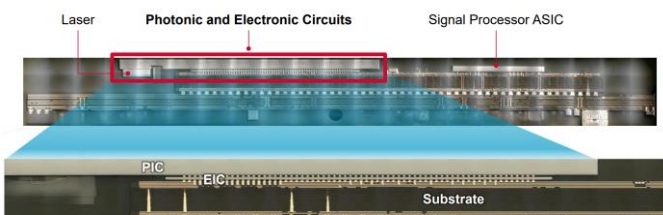
图表30: 住友通信市场收入 25H2 环比增长



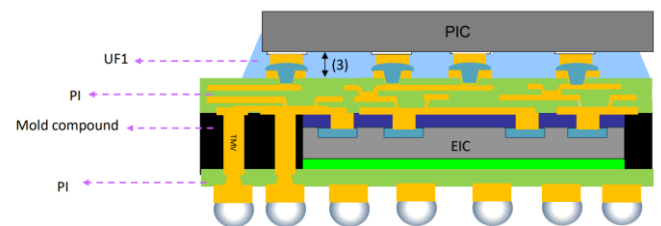
来源: 住友电工, 国金证券研究所

光引擎通常包括 PIC (光子集成电路)、EIC (电子集成电路)、光耦合与连接组件等。PIC 通常采用成熟的工艺节点, 包含调制器、波导和探测器等光学元件, EIC 包含驱动器、跨阻放大器 (TIA) 和控制逻辑等, 这些元件能够显著受益于先进工艺节点带来的更高晶体管密度和更高功率效率, 因此通常采用较为先进制程。英伟达的方案当中, EIC 采用台积电 N6 制程, 与 PIC 采用台积电 COUPE 技术进行封装。博通第一代 CPO Tomahawk4 Humboldt 采用了锗硅 EIC 方案, 与 PIC 通过 TSV (硅通孔) 方案进行封装, 但第二代 Tomahawk5 Bailly 改用了 7nm CMOS 工艺, 与 PIC 采用 FOWLP (扇出型晶圆级封装), 供应商为日月光。

图表31: 博通第一代 CPO 方案中, EIC 采用锗硅工艺, 与 PIC 通过 TSV 连接



图表32: 博通第二代 CPO 方案中, EIC 采用 7nm CMOS 工艺, 与 PIC 通过 FOWLP 技术封装



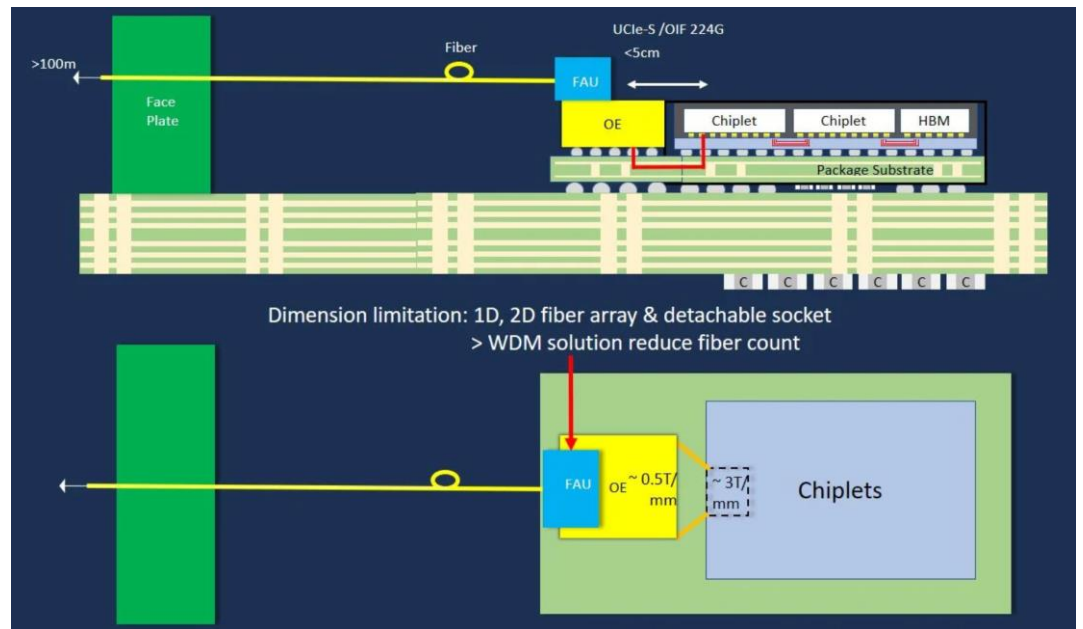


来源：博通，国金证券研究所

来源：博通，国金证券研究所

为了将光信号高效地导入和导出光引擎，需要高精度的物理光路接口，通常采用 FAU 光纤阵列单元、微透镜阵列与外部光源进行连接。FAU 的设计需要与 COUPE 的光路相匹配。FAU 的作用是以低插入损耗将来自硅透镜的光耦合到光纤中。随着 I/O 数量的增加，制造难度也会增加，具有较高技术壁垒和制造壁垒。

图表33：光引擎通过 FAU 光纤阵列单元与外部光源连接



来源：日月光，国金证券研究所

FAU 主要厂商包括天孚科技、Senko、康宁等。2025 年 GTC 大会上，英伟达展示的 CPO 合作伙伴当中，包括天孚科技，我们认为天孚科技有望充分受益于英伟达 CPO。天孚通信具备 FAU 光线阵列设计与制造技术平台。在高速光器件领域，天孚通信已经成功完成 1.6T 光引擎规模量产和 CPO 配套光器件的研发，为下一代超算中心与 AI 集群应用奠定基础。

Senko 于 2026 年 3 月宣布 CPO 的可插拔光纤连接技术上取得重大突破。全新的光学架构集成了 SENKO 的可插拔金属 PIC 耦合器 (MPC) 和光学接口，从而实现了专为先进封装和大批量生产设计的 FAU。这项创新解决了扩展 3D 共封装光子技术中最重大的挑战之一：在光纤阵列与光子集成电路 (PIC) 之间创建可靠且易于维护的光学接口，同时保持超大规模部署所需的制造良率。这种可插拔的 FAU 解决方案针对先进的半导体封装流程进行了优化，从而在将光子技术与高价值 ASIC 或 AI 加速器结合时显著提高良率。

康宁则宣布了与博通的合作，产品有望用于博通第二代 CPO 产品 Tomahawk5 Bailly。博通的 Bailly CPO 系统集成了八个基于硅光子的 6.4 Tbps 光学引擎。康宁现已成为为这些光学引擎引入光纤所需的光学基础设施的合格供应商。构成该光学基础设施的光纤线束包括用于前面板和外部激光模块的连接器、单模和保偏光纤，以及以高精度和高可靠性将光纤连接至光学引擎的光纤阵列单元 (FAU)。

在光耦合设计上，COUPE 可支持光栅耦合与边缘耦合两种主流方式，并搭配硅基微透镜进行光束准直与聚焦，以提升耦合效率并降低插入损耗。由于激光束进入芯片时会有散逸或对准问题，光学透镜厂商光学厂的核心价值，即在于其高精度光学设计与量产能力，可提供极高精度的微透镜进行光束准直，将光讯号精准汇聚到波导之中。目前主要光学透镜企业包括：蓝特光学、炬光科技、水晶光电、大立光等。

目前蓝特光学正在自主研发晶圆级三维光刻加工技术，通过半导体三维光刻工艺，对光学元件进行晶圆级加工，形成比传统二维光刻工艺所能实现的更复杂的三维曲面结构 (如微透镜阵列)，精度可以实现 0.1 微米。水晶光电正在研发用于 CPO 光引擎的高品质硅透镜器件，构建具备行业领先水平的硅基微透镜阵列规模化生产能力。炬光科技微透镜热成型工艺和材料体系已经开发完成，行业客户逐步导入中。大立光 26 年 4 月法说会上计划未来在 CPO 以提供 FAU 元件与棱镜的制造为主，正处于努力准备送样阶段，预计量产要等 1~2 年。



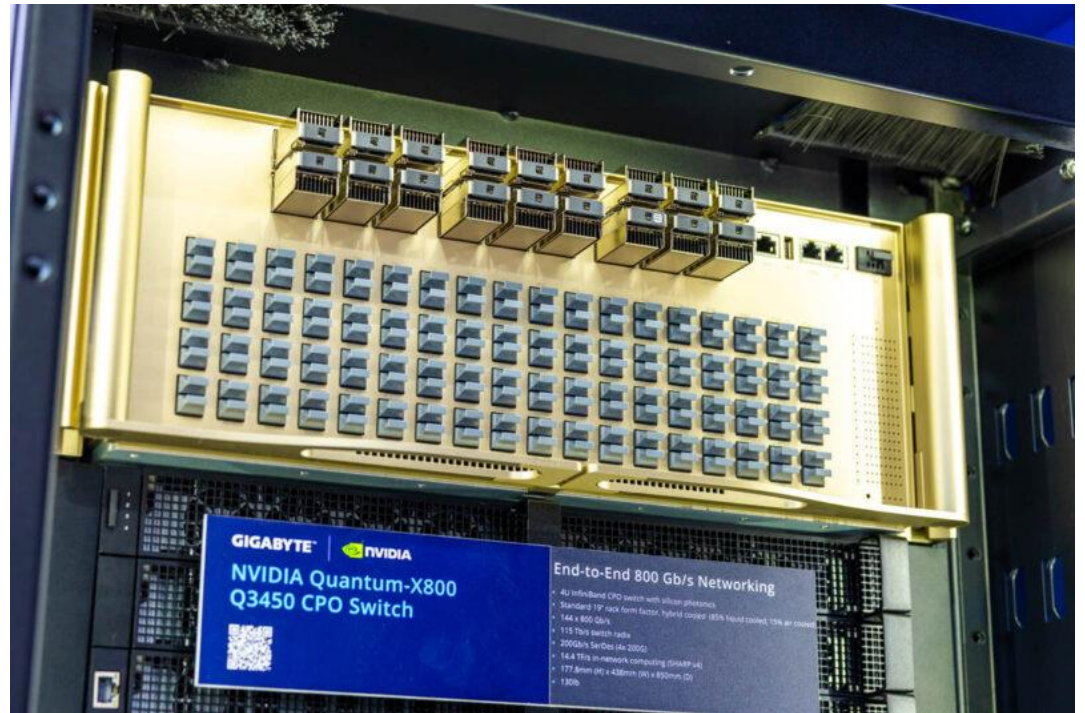
图表34: 光学公司积极布局微透镜

	微透镜进展
蓝特光学	自主研发晶圆级三维光刻加工技术，精度可以实现 0.1 微米。
水晶光电	正在研发用于 CPO 光引擎的高品质硅透镜器件，构建具备行业领先水平的硅基微透镜阵列规模化生产能力
炬光科技	微透镜热成型工艺和材料体系已经开发完成，行业客户逐步导入中。
大立光	在 CPO 以提供 FAU 元件与棱镜的制造为主，正处于努力准备送样阶段，预计量产要等 1~2 年

来源：各公司公告，国金证券研究所

MPO 是用于连接光纤的连接器，用于将混排盒内部的光纤连接到外部端口。MPO 光纤线缆可以插入该端口，从而将该交换机与其他远端交换机或远端网卡（NIC）连接起来。英伟达 Quantum X800-Q3450 CPO 交换机当中配备了 144 个 MPO 端口，可支持 144 个 800G 逻辑端口或 72 个 1.6T 端口，总带宽高达 115.2T。MPO 主要厂商包括 US Conec、太辰光、Senko 等。太辰光是 MPO 连接器供应商，通过康宁间接供应终端客户，康宁的下游客户包括英伟达、Lumen、博通、微软等。

图表35: 英伟达 Quantum X800-Q3450 CPO 配备了 144 个 MPO 端口



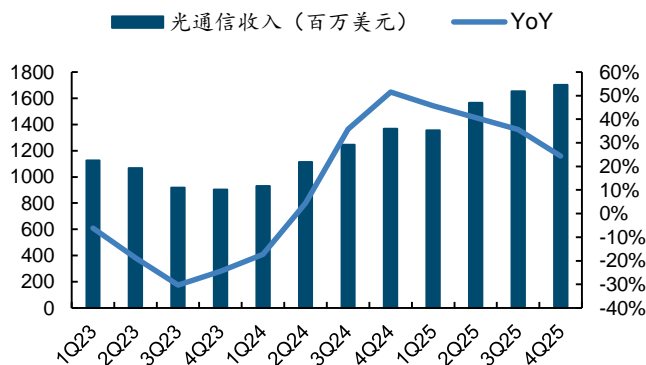
来源：Serverthehome，国金证券研究所

Shuffle box（光纤混排盒）是一种无源模块，专为在受控的机箱或外壳内管理复杂的光纤互连而设计。它们通常应用于高密度环境中，在这些场景下，采用集中式的解决方案来组织和路由光纤至关重要。Shuffle box 不仅适用于单模和多模光纤基础设施，还可与结构化布线或点对点布线组件配合使用。Shuffle box 主要厂商包括天孚科技、Browave、Molex 等。

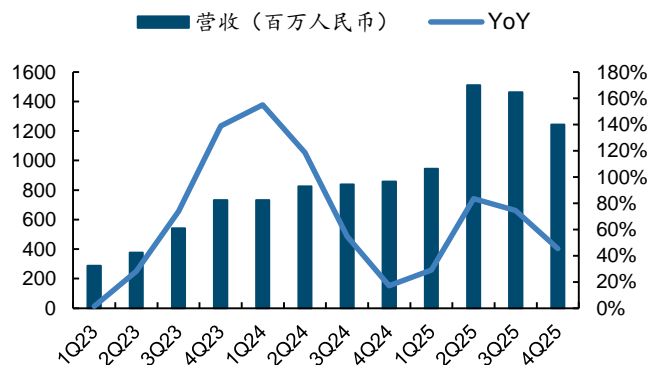
受益于数据中心光通信需求持续增长，天孚通信、康宁等企业营收高速增长，未来 CPO 渗透率提升，有望继续带动企业营收增长。



图表36: 康宁光通信收入快速增长



图表37: 天孚通信营收快速增长



来源: 康宁, 国金证券研究所

来源: 天孚通信, 国金证券研究所

2.3 台积电 COUPE 技术有望巩固台积电行业地位, 光引擎封装、CPO 测试厂商有望受益

英伟达 CPO 平台采用台积电 COUPE 技术对 PIC、EIC 进行封装, 博通未来有望转向台积电 COUPE 技术, COUPE 技术有望巩固台积电在硅光时代行业地位。

CPO 的光引擎中 EIC、PIC 晶圆制造的主要厂商包括台积电、Tower Semi、GlobalFoundries 等。目前光引擎 PIC 和 EIC 主要采用异构集成, PIC 通常采用成熟的工艺节点, 包含调制器、波导和探测器等光学元件, EIC 包含驱动器、跨阻放大器 (TIA) 和控制逻辑等, 这些元件能够显著受益于先进工艺节点带来的更高晶体管密度和更高功率效率, 因此通常采用较为先进制程。考虑到台积电相较于竞争对手在先进制程有明显优势, 同时在异构集成依赖的混合键合上有较明显优势, 我们认为台积电有望最为受益。而 GlobalFoundries 和 Tower Semi 的主要优势在于 PIC 的硅光代工能力。

图表38: 台积电 COUPE 技术布局 CPO, 较竞争对手有制程优势

	CPO 布局	制程
GlobalFoundries	推出 45nm Fotonix 平台, 可以用于硅光、CPO 等领域, 在同一硅片上生产 PIC、EIC	45nm
Tower Semi	可以将锗硅双金属 CMOS、硅光工艺进行 3D 异构集成	锗硅双金属 CMOS 支持 0.35/0.18 微米、65nm 制程,
台积电	推出 COUPE 技术, 可以将 PIC、EIC 进行异构集成	英伟达 Quantum X CPO 中 PIC 采用 65nm 制程, EIC 采用 6nm 制程

来源: GlobalFoundries, Tower Semi, 台积电, 英伟达, IEEE, 国金证券研究所

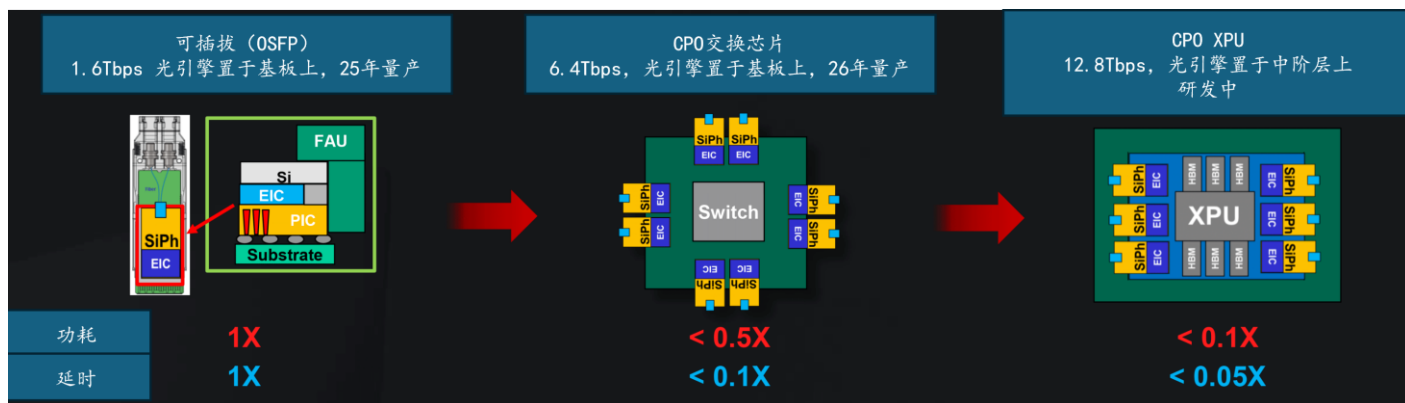
主要 CPO 厂商如英伟达已经使用 COUPE 技术, 博通第三代 CPO 有望转向 COUPE 技术。博通第三代 CPO Tomahawk6 Davison 将基于台积电 COUPE 技术的光学引擎与先进的基板级多芯片封装进行异构集成, 该交换机大幅减少了对信号调理的需求, 并最大限度地降低了走线损耗与信号反射。其光学互连功耗降低了 70%——比传统的可插拔解决方案低 3.5 倍以上——为超大规模和人工智能 (AI) 数据中心带来了能效上的跨越式提升。

台积电 CPO 平台未来有望拓展至 XPU, 实现 XPU 的 CPO 应用。当前英伟达、博通所量产 CPO 产品均为交换芯片, 光引擎与交换芯片通过基板连接。台积电积极研发用于 XPU 的 CPO 技术, 未来有望使 XPU 与光引擎通过中阶层连接, 提升互联密度, 降低延时与功耗。根据台积电预计, 较采用 12.8Tbps 光引擎的 XPU 相交采用 1.6Tbps 的传统可插拔方案, 功耗为其 10% 以内, 延时为 5% 以内。

我们认为, 英伟达、博通等 CPO 主要厂商转向台积电 COUPE 方案, 有望提升台积电在硅光领域竞争力, 进一步加强客户绑定。



图表39：台积电除交换芯片 CPO 方案外，布局 XPU CPO 方案研发，有望进一步降低功耗和延时



来源：台积电，国金证券研究所

传统封测厂如日月光，以及 Amkor 等布局光引擎封装测试，有望受益 CPO 发展，未来承接光引擎的 OSAT（委外封装测试）。另外天孚通信也积极布局先进封装，有望参与光引擎封装测试。日月光及其子公司矽品是博通早期 CPO 方案的供应商，具备一定技术积累。未来有望承接更多 CPO OSAT 业务。

图表40：矽品（日月光子公司）、Amkor 等传统封测厂有望参与 CPO 委外封装测试

交换芯片	Quantum-X	Quantum 115.2T	Spectrum 5	Spectrum 6
量产时间	25Q3	26年中	2026	2026
PIC 激光器	Lumentum/住友	Lumentum/住友	Lumentum/住友	Lumentum/住友
封装	Amkor (NPO)	台积电 (CPO)	台积电 (CPO)	台积电 (CPO)
Shuffle	康宁/Browave	康宁/Browave	康宁/Browave	康宁/Browave
FAU	天孚通信	天孚通信	天孚通信 / Senko	天孚通信 / Senko
模组整合	Fabrinet	-	Fabrinet/矽品	矽品

来源：工商时报，国金证券研究所

CPO 测试十分重要，试错成本极高。一旦光学引擎集成到交换机封装中，任何缺陷都可能导致整个组件报废，这与损坏一个可替换模块截然不同。根据 Semianalysis，CPO 测试流程分为四个连续的阶段，每个阶段都面临独特的技术挑战，并拥有特定的设备需求和供应商生态系统。

- 晶圆级单裸片测试：在键合之前，EIC（电子集成电路）和 PIC（光子集成电路）在晶圆层面分别进行独立测试。EIC 采用标准的 CMOS 晶圆测试（Wafer Sort，无需新设备）。而 PIC 则需要采用新型的双面光电探针测试——这正是所有新设备投资的重点所在。
- 双面晶圆级测试（EIC + PIC）：将 EIC 和 PIC 键合在一起（通过混合键合、引线键合或倒装芯片工艺）之后，在进行晶圆切割（划片）之前，需将组合后的晶圆作为一个完整的光电（E/O）单元进行测试。
- 裸片级 EPC 测试：对切割单体化后的光学引擎裸片进行逐一独立测试——这是进入永久性最终封装前的最后一道防线。
- 最终测试 / SLT（系统级测试）：组装完成的 CPO 交换机（ASIC + 光学引擎 + 封装）需进行全功率的系统级测试。在此阶段，数千瓦级别的热管理是面临的最核心挑战。

我们认为，CPO 测试设备有望充分受益，其中包括复杂度较高的光路对准的厂商（如



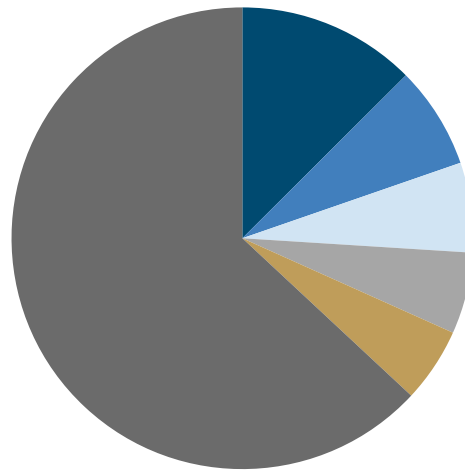
Formfactor、ficonTEC、联讯仪器)、受益于更多光通道数和带宽数的厂商(如 Viavi、Keysight)。而平台型测试企业(如泰瑞达、Advantest)有望受益 CPO 带来的芯片测试复杂度提升的行业 beta。

我们认为, Formfactor 作为探针卡核心厂商, 有望受益 PIC 晶圆测试的高复杂度带动的需求增长。另外 ficonTEC、泰瑞达有望受益 CPO 芯片晶圆级测试。截至 2025 年年报披露日, 罗博特科核心子公司 ficonTEC 的光电子及半导体业务在手订单已达约 11.05 亿元, 另有多个项目在谈。同期, 公司光伏业务在手订单约 10.82 亿元。双主业之中, 泛半导体业务的增长势头强劲。近期一笔订单尤其引人注目。罗博特科宣布公司已与某纳斯达克上市公司及其子公司签署了 7.6 亿美元的硅光设备量产订单。按照合同履行安排, 该订单的顺利交付预计将对 2026 年度经营业绩产生积极影响。

联讯仪器在通信测试设备、光电子器件测试设备布局深厚。联讯仪器通信测试一起主要包括采样示波器、时钟恢复单元、误码分析仪等, 光电子器件测试设备包括 CoC 光芯片老化测试系统、光芯片 KGD 分选测试系统、硅光晶圆测试系统等。2025 年 1~9 月, 联讯仪器前五大客户已经包括中际旭创、新易盛、Lumentum 等光通信龙头企业。联讯仪器公司正向新一代通信器件及高速率光电混合测试需求持续拓展产品矩阵, 加快推进硅光晶圆老化系统、硅光芯片测试系统、CPO 芯片测试系统等产品的研发与产业化应用。

图表41: 联讯仪器 2025 年 1~9 月前五大客户收入占比约 37%, 其中包括旭创、新易盛、Lumentum 等头部企业

■ 集团一 ■ 中际旭创 ■ 新易盛 ■ 赛丽科技 ■ Lumentum ■ 其他



来源: 联讯仪器招股说明书, 国金证券研究所

泰瑞达目前已经推出 Photon 100 CPO 测试系统, 能够在所有关键制造阶段(包括晶圆、光学引擎和共封装模块的测试环节)实现高吞吐量的自动化测试。该解决方案简化了操作流程, 缩短了产品上市时间, 并为硅光和共封装光学的快速规模化量产赋能。



图表42: Formfactor、Advantest、东京电子合作开发的 CPO 测试系统, 采用 Formfactor 高密度探针卡、Advantest 9300 测试机



来源: Formfactor, 国金证券研究所

VIAVI 与 Keysight 等产品主要用于光器件的测试, 有望受益于 CPO 渗透率提升以及单 CPO 的通道数提升带来的光器件数量的增长。VIAVI 的产品在 CPO 有望应用于光纤和 MPO 的测试。26 年 2 月 VIAVI 推出了 DCX 700 一级光损耗测试装置, 可同时测试多达 24 根光纤。它基于多年的多纤测试经验, 旨在满足数据中心快速发展的需求, 有助于简化和加快高密度光纤环境的多纤认证。另外 VIAVI 推出了用于 MPO 的验证解决方案, 较传统 MPO 检测方案速度有较明显提升。Keysight 产品可以用于对 CPO 光路测试, 包括光的波长、偏振相关的测试, 以及光波器件的射频测试。

图表43: VIAVI MPO 测试方案较传统方案可以节约较多时间

	传统方案	备注		VIAVI 方案	备注
MPO 端面测试数量	1200	600 个 MPO, 单 MPO2 个端面	MPO 端面测试数量	1200	600 个 MPO, 单 MPO2 个端面
MPO 失效检测次数	1200		MPO 失效检测次数	1200	
每次检测时间	12 秒		每次检测时间	10 秒	12 根光纤通过 VIAVI INX 760 进行自动分析
LC 端面检测数	28880	600 个 MPO*48 个 LC 端面	测试导线检查时间	6 秒	12 根光纤通过 VIAVI 的 MPOLx 平台进行测试
单 LC 测试时间	2 秒		总 MPO 检测时间	3 小时 20 分钟	1200*10 秒
总 MPO 检测时间	8 小时	2400*12 秒	TRC 测试时间	2 小时	1200*6 秒
总 LC 检测时间	16 小时	28800*2 秒	合计检测时间	5 小时 20 分钟	
合计检测时间	24 小时		端面清洁所需时间占比	25%	



端面清洁所需时间占比	25%	额外检测时间	1 小时 20 分钟
额外检测时间	6 小时	总消耗时长	6 小时 40 分钟
总消耗时长	30 小时		

来源：VIAVI，国金证券研究所

2.4 英伟达 CPO 方案技术激进，交换机厂商有望受益 CPO 带来的收入增长

从技术角度看，英伟达 CPO 方案较博通 CPO 方案更为激进，英伟达方案所设计的功耗较博通更低，具备一定比较优势。英伟达 CPO 方案有望助力英伟达在网络通信市场获得更大份额。

博通 CPO 选择了更成熟的 MZM 调制器方案，英伟达则选择了更新更为激进的 MRM 调制器方案，方案的工艺成熟度较低，但在功耗上更具有优势。

博通的技术实现通常采用 2.5D 或 3D 架构，其中 PIC 和 EIC 并排置于硅中介层上，而不是垂直堆叠。这种方法可以简化热管理和制造过程。在光调制方面，博通在很大程度上坚持使用更为成熟的马赫-曾德尔调制器 (MZM) 技术。在极高密度下，MZM 不如微环调制器 (MRM) 节能且体积更大，但 MZM 具有良好的热稳定性并拥有可靠的实际应用记录，已成功且可靠地将单通道速率提升至 200Gbps。博通目前正推动该技术向 3nm 工艺节点发展，以进一步提升效率。

博通的生态系统战略充分利用了其模块化特性。博通 CPO 主要用于其 Tomahawk 系列交换芯片，使得超大规模及企业级数据中心的现有客户能够在减少系统性变动的情况下采用 CPO 技术。通过提供完整的模块化芯片组并利用粗波分复用 (CWDM) 等技术，博通旨在加快其客户产品的上市时间，并巩固其在庞大的以太网交换机市场中的领导地位。诸如与 Meta 合作的早期部署，证明了这条切合实际的采用路径，即重点关注可靠性和总拥有成本。

英伟达 CPO 技术则更为激进，选择了 MRM 调制器方案。MRM 相较于 MZM 具有功耗低、占用空间小的优势，但在温度的敏感性上更高。另外 MZM 属于较为成熟技术，在工艺制造上也更具可量产的稳定性。

图表44：英伟达采用 MRM 调制器，具备更良好功耗、更小体积

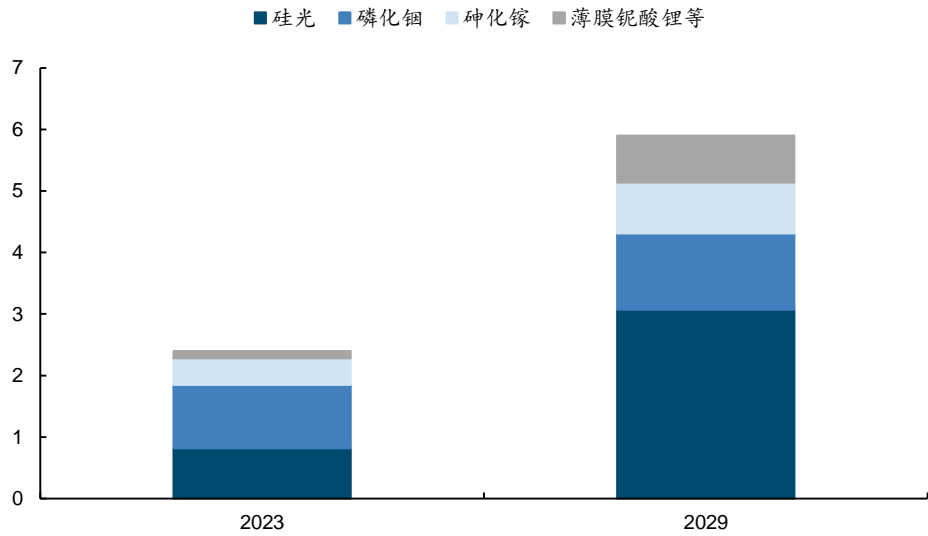
	MZM	MRM
原理	基于光学干涉	基于光学谐振
工作方法	将入射光分为两个等亮度光，控制相位差后将两个波合并，叠加=1，相消=0	外加电压使波长移动代表 0、1，依赖物理尺度精确性
优点	可操作波长范围更广，热稳定性更高	驱动电压低、体积小（数十微米），可实现高密度
缺点	体积较大	技术难度高，波长控制需小于 1nm

来源：工商时报，国金证券研究所

我们认为，未来随着单通道速率的提升，调制器有望转向薄膜铌酸锂方案，通过异质集成技术与硅光平台的 PIC 的其他组件进行合封。薄膜铌酸锂相关技术主要企业包括天通股份、光库科技等。根据 Lightcounting 测算，硅光芯片的销售额将从 2023 年的 8 亿美元增至 2029 年的略高于 30 亿美元。采用 TFLN 调制器的 PIC 销售额将从现在的几乎零增长到 2029 年的 7.5 亿美元。



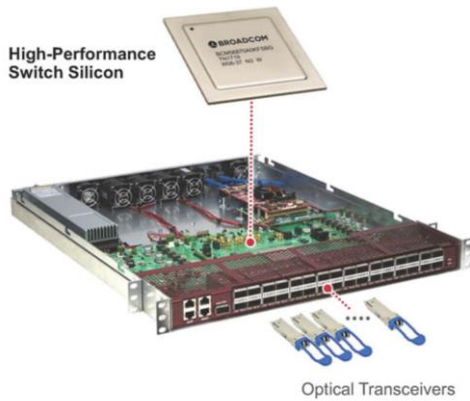
图表45: 薄膜铌酸锂 PIC 份额有望提升 (单位: 十亿美元)



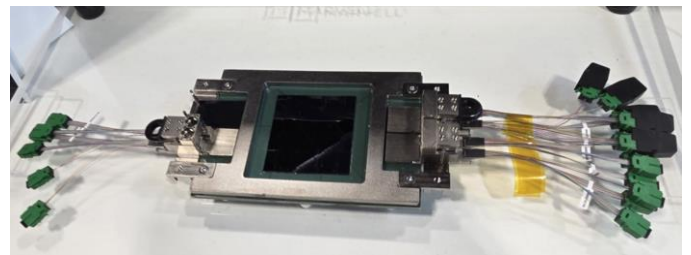
来源: Lightcounting, 国金证券研究所

我们认为交换机厂商有望受益 CPO 带来的营收增长。CPO 相较于传统交换机集成度更高。传统交换机的核心芯片一般仅包括 CPU、交换芯片、DRAM 与 NAND, 而其他通信组件如光模块等由客户采购后插入交换机端口。CPO 交换机相较于传统交换机主要区别在于交换芯片, CPO 交换芯片集成了光引擎, 将部分光模块的功能集成进入交换芯片当中。因此对于交换机厂商, CPO 交换芯片的成本将高于传统交换芯片, 单个 CPO 交换机的售价也有望高于传统交换机, 为交换机厂商带来更多收入。

图表46: 传统交换机当中光模块由客户采购后插在交换机端口



图表47: CPO 交换机集成度更高, 交换芯片集成了部分光模块功能



来源: 博通, Serverthehome, 国金证券研究所

来源: Marvell, 国金证券研究所

我们建议关注交换机厂商与整机柜方案厂商, 其中英伟达 CPO 相关厂商建议关注工业富联 (鸿海), 博通 CPO 相关厂商建议关注天弘科技、智邦等。

根据工业富联 25Q3 说明会, 工业富联已与多家客户在 CPO 与 1.6T 交换机上进行联合开发, 并取得在手订单。下一代平台已完成 Vera Rubin NVL144 平台交换机开发, 主要围绕更高能效和更低时延的链路设计, 提升传输效率。展望 2026 年, 随着规模化交付的持续推进以及良率的稳定提升, 公司交换机业务有望在整体营收结构中实现更高质量的贡献。

根据天弘科技 25Q4 业绩会, 天弘科技目前正在开发 3.2T CPO 交换机, 预计 CPO 交换机大规模起量将在 3.2T 世代实现。

三、投资建议

我们认为, AI 需求高速增长, AI 集群规模不断扩大, 带动网络带宽持续升级。CPO 相比传



统网络连接方式，具备较明显的低功耗优势，CPO 需求明确。供给端，主要 CPO 厂商如英伟达、博通、Marvell 等也陆续发布 CPO 交换芯片方案，制造端台积电等厂商制造、封装工艺也逐渐成熟。需求的明确性，以及供给端的逐渐成熟，有望带动 CPO 产业渗透率加速提升。

CPO 核心光器件主要包括激光器、光引擎、光纤阵列单元、Shuffle Box、MPO 等。受益于光通信需求高速增长，激光器厂商积极扩产，Lumentum 预计其 25~30 年高功率激光器产能 CAGR 超 200%，Coherent 预计其磷化铟产能 26 年底较 25 年底提升一倍，27 年底再提升一倍以上。同时国内光芯片企业在 CW 光源进展积极。激光器企业建议关注：Lumentum、Coherent、源杰科技等。FAU 主要用于将光信号导入与导出光引擎，目前天孚科技已经完成 1.6T 光引擎规模量产和 CPO 配套光器件研发，康宁宣布与博通合作，建议关注：天孚通信、康宁。MPO 用于将光纤连接到外部端口，将交换机与其他交换机或远端网卡连接，太辰光是 MPO 连接器供应商，通过康宁间接供应终端客户，康宁的下游客户包括英伟达、Lumen、博通、微软等。MPO 厂商建议关注：太辰光。Shuffle Box 专为在受控的机箱或外壳内管理复杂的光纤互连而设计，建议关注：天孚通信、Browave 等。

我们认为 CPO 制造端主要受益方向包括晶圆制造、委外封装测试、CPO 测试厂商等。晶圆制造端，CPO 光引擎中 EIC 需要采用较先进制程，台积电在先进制程具有显著优势。在光引擎 PIC、EIC 的连接上，英伟达、博通开始采用台积电 COUPE 技术。我们认为台积电 COUPE 技术有望巩固台积电在硅光子世代行业地位。CPO 晶圆制造我们看好：台积电。传统封测厂如日月光、Amkor 布局光引擎封装测试，天孚通信也积极布局先进封装有望受益。委外封装测试建议关注：日月光、Amkor。CPO 光引擎集成入交换机后，缺陷将导致整个模组报废，CPO 测试重要性和复杂度大幅提高。我们认为，CPO 测试设备有望充分受益，包括复杂度较高的光路对准的厂商（如 Formfactor、ficonTEC）、受益于更多光通道数和带宽数的厂商（如 Viavi、Keysight）。而平台型测试企业（如泰瑞达、Advantest）有望受益 CPO 带来的芯片测试复杂度提升的行业 beta。测试设备我们建议关注：FormFactor、罗博特科、Viavi、Keysight、泰瑞达等。

CPO 解决方案端，英伟达采用更为激进的 MRM 调制器，具有低功耗、占用空间小的优势，博通采用 MZM 调制器，制造上更为成熟。我们认为英伟达的方案有望较博通产生差异化竞争优势，带动英伟达网络收入继续增长。CPO 解决方案我们建议关注：英伟达、博通。我们认为交换机行业有望受益 CPO 更高集成度带来的收入增长，建议关注：工业富联（鸿海）、天弘科技、智邦等。

我们看好：蓝特光学、天孚通信、太辰光、台积电、英伟达、博通、天弘科技、工业富联。建议关注：Lumentum、东山精密、源杰科技、Coherent、康宁、Browave、Tower Semi、GlobalFoundries、Amkor、日月光、罗博特科、FormFactor、Viavi、Keysight、泰瑞达、Advantest、联讯仪器、AXTI 等。

四、风险提示

CPO 技术发展不依赖于新兴技术，在技术路径、实际量产上存在一定不确定性。

CPO 相较于传统方案的维护难度也更大。如果 CPO 技术在技术迭代、实际量产、维护便利性上发展不及预期，将导致 CPO 渗透率提升低于预期，导致 CPO 产业公司业绩不及预期。

AI 模型迭代停滞：当前 AI 模型能力持续进步，带动算力需求持续增长。如果 AI 模型迭代停滞，将对算力需求造成较大负面影响，同时影响 AI 叙事，造成相关企业融资困难，使行业公司业绩不及预期。

美国宏观经济承压：CPO 主要客户为北美 CSP。北美四大 CSP 当中，谷歌与 Meta 的广告业务、亚马逊的电商业务均与美国宏观经济有较直接关系，如果美国宏观经济承压，将导致主要 CSP 业绩增速下滑，同时影响企业预算、个人消费，可能降低或放缓 AI 使用，最终影响 CSP CAPEX，造成 CPO 出货不及预期。

AI 硬件发展及良率不及预期：当前 AI 硬件复杂度持续提升，AI 芯片已经是前道、后道、存储的系统性工程。同时机柜复杂度也持续提升。随着系统复杂度持续增长，成本不断攀升，可能导致产品量产延迟。

中美科技领域政策恶化：中美在 AI 领域竞争激烈，美国限制先进芯片和半导体对中国的出口，随着竞争的加剧，未来可能会推出更严格的限制政策，限制国内 AI 模型的发展。此外，地缘政治风险和出口管制可能扰乱供应链。



行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级（含C3级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-80234211	电话：010-85950438	电话：0755-86695353
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	邮编：100005	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路1088号 紫竹国际大厦5楼	地址：北京市东城区建国内大街26号 新闻大厦8层南侧	地址：深圳市福田区金田路2028号皇岗商务中心 18楼1806



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究