

【国信通信·光模块专题】

AI驱动网络变革，光摩尔定律加速

行业研究·行业专题
通信

投资评级：超配（维持评级）

证券分析师：马成龙
02160933150
machenglong@guosen.com.cn
S0980518100002

联系人：钱嘉隆
021-60375445
qianjialong@guosen.com.cn

- ◆ **AI推动网络变革，高速光模块受益。**历史来看，数据流量的增长驱动光模块发展到当前百亿美元的产值规模。当前阶段，AI成为数据流量增长的弹性来源，大规模AI集群的网络架构和通信能力要求高速光模块加快升级。据Coherent预测，预计未来几年AI相关的800G和1.6T数通光模块将占有数通光模块市场的近60%，2028年市场规模有望突破90亿美元。
- ◆ **算力集群网络架构变革推动光模块弹性加大。**大规模AI集群的网络架构需要满足大带宽、低时延、无损的需求，算力集群网络架构从叶脊架构向胖树架构更迭，无收敛的特性进一步放大高速光模块需求，PCIe 5.0下H100:800G光模块=1:2.5，NVLink4.0下GH200:800G光模块=1:9。
- ◆ **光模块迭代周期加速，关注新材料、新技术应用。**AI要求光模块的迭代周期加速，从4年一代到2年一代，1.6T光模块有望于2024H2逐步应用。随着光模块单通道速率提升，功耗、成本以及电连接信号的损耗也逐步加大，光进铜退加速，光学I/O接口用于芯片连接有望进一步消除带宽瓶颈。综合降本增效考虑，LPO、CPO等新封装技术以及硅光、薄膜铌酸锂等新材料有望加速应用。
- ◆ **竞争格局：国内厂商领先，龙头厂商核心受益AI。**全球光模块市场中，国产厂商已处于领先地位，根据LightCounting数据，2022年前十大光模块厂商中，中国厂商营收已经超过了西方竞争对手。AI时代，由于光模块迭代加速，占据领先地位的龙头厂商在研发能力、规模优势、供应链能力、客户黏性、产能布局等方面具备优势，有望核心受益。同时新技术的变化也对格局变迁产生影响，关注在LPO、硅光等领域具备前瞻布局的厂商。
- ◆ **持续重点推荐国内光器件光模块领先企业如【中际旭创】、【天孚通信】、【新易盛】等，关注硅光、薄膜铌酸锂等新技术方向如【源杰科技】、【光库科技】等，建议关注【光迅科技】等。**
- ◆ **风险提示：**AI发展及投资不及预期；行业竞争加剧；全球地缘政治风险；新技术发展引起产业链变迁。

表 1：重点公司盈利预测及估值（截至3月12日）

代码	简称	投资评级	归母净利润（亿元）			EPS（元）			PE			PB	收盘价 (3月12日)	总市值 (亿元)
			2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E			
300308.SZ	中际旭创	买入	2181	4570	6009	2.81	5.69	7.48	58.7	29.0	22.0	9.7	164.85	1,323
300394.SZ	天孚通信	买入	730	1258	1643	1.85	3.19	4.16	72.7	42.2	32.3	17.3	134.48	531
300502.SZ	新易盛	无评级	691	1258	1701	0.97	1.77	2.40	69.2	37.9	28.0	7.2	67.15	477
300620.SZ	光库科技	增持	73	156	222	0.27	0.64	0.91	184.4	78.1	54.9	6.9	49.78	122
688498.SH	源杰科技	无评级	19	98	145	1.16	1.16	1.71	130.0	130.0	87.7	5.6	150.20	127
002281.SZ	光迅科技	增持	582	737	859	0.73	0.93	1.08	55.6	43.8	37.6	4.6	40.66	323

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理和预测；新易盛、光库科技、源杰科技、光迅科技采用Wind一致预期

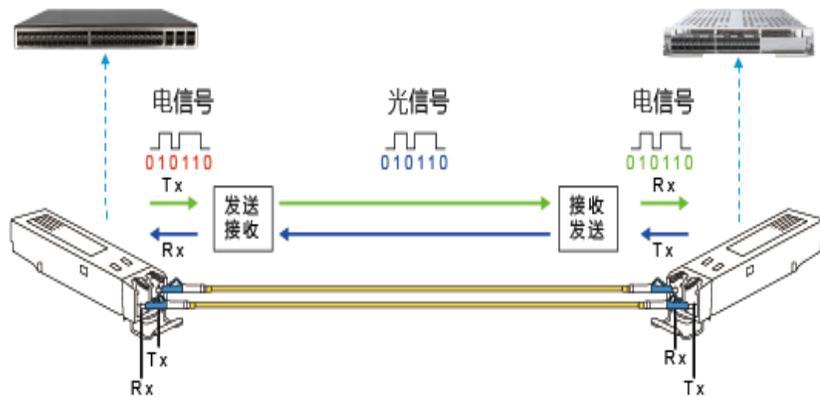
- [01] 光模块：数据传输核心器件，受益AI需求爆发
- [02] AI集群网络架构升级，光模块需求弹性大
- [03] 光摩尔定律加速，关注新材料、新封装
- [04] 竞争格局：国内厂商领先，龙头厂商核心受益AI
- [05] 投资建议

一、光模块：数据传输核心器件，受益AI需求爆发

光模块：光传输网络中的核心器件

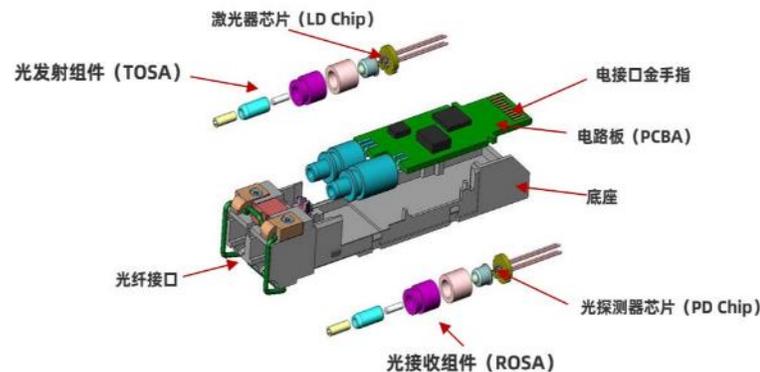
- ◆ 光模块是用于设备与光纤之间光电转换的接口模块，主要用于实现光电信号的转换，是现代光传输网络中的必要器件。
- ◆ 光模块主要由光学器件和辅料（外壳、插针、PCB与控制芯片）构成。光学器件（包括光芯片和光学元件组件）约占光模块成本70%以上，辅料（外壳、插针、PCB与电路芯片等）占光模块总成本近30%。
- ◆ 光发射组件TOSA一般包含激光二极管、背光监测二极管、耦合部件、TEC以及热敏电阻等元件。一定速率的电信号经驱动芯片处理后驱动激光器（LD）发射出相应速率的调制光信号，通过光功率自动控制电路，输出功率稳定的光信号。光接收组件ROSA一般包含光电探测器、跨阻放大器、耦合部件等元件。一定速率的光信号输入模块后由光探测器转（PD/APD）换为电信号，经前置放大器（TIA）放到后输出相应速率的电信号。

图 1：光模块工作原理



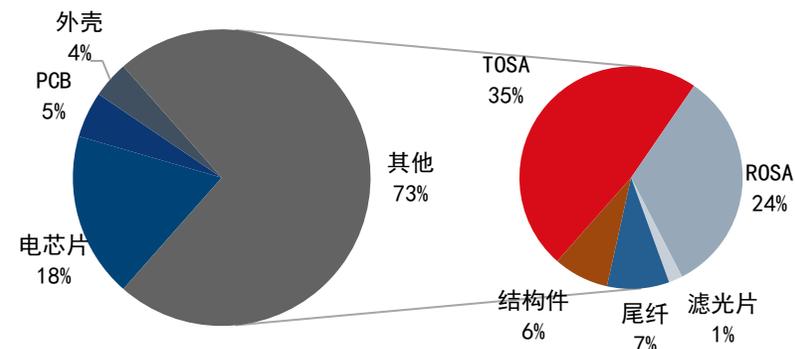
资料来源：头豹研究院，国信证券经济研究所整理

图 2：光模块结构示意图（SFP+封装）



资料来源：讯石光通讯，国信证券经济研究所整理

图 3：光模块成本构成

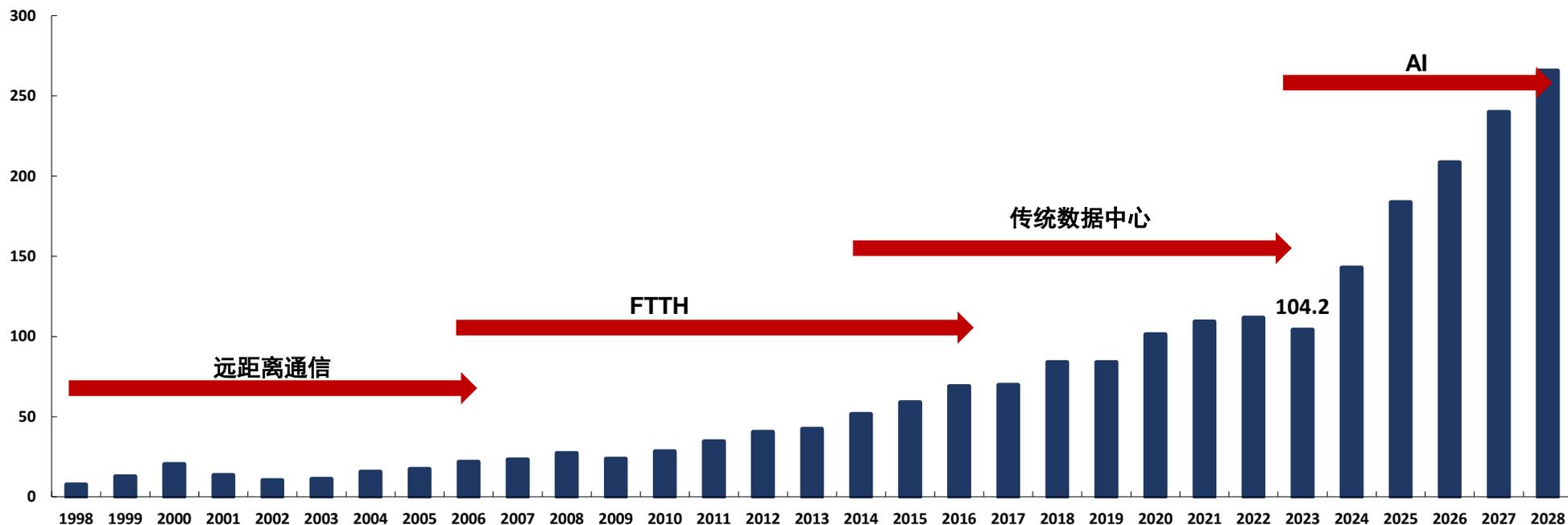


资料来源：飞速，国信证券经济研究所整理

光模块：百亿美元市场规模，流量增长是推动核心

- ◆ 光通信的应用与信息流量爆发式增长密切相关。随着信息爆炸式增长，对通信质量、信息质量要求越来越高，光通信成为必然出路。在目前电光网络的架构中，光模块是承担光电转换功能的核心器件，所以光模块的需求核心来自于数据流量的爆发式增长。
- ◆ 而当数据流量的核心增量从电信网络向数据中心、再向AI集群转移时，光模块不同阶段的主要增长驱动力也发生变化。根据LightCounting数据，**光器件光模块市场规模总体超过百亿美元**，其中数通市场（包括以太网、FC和AOCs，详见图4）占比已达半数，数通市场在移动互联网、云计算和AI的不断发展推动下，成为光器件光模块产业的主要下游场景。

图 4：光模块不同阶段增长动力（亿美元）

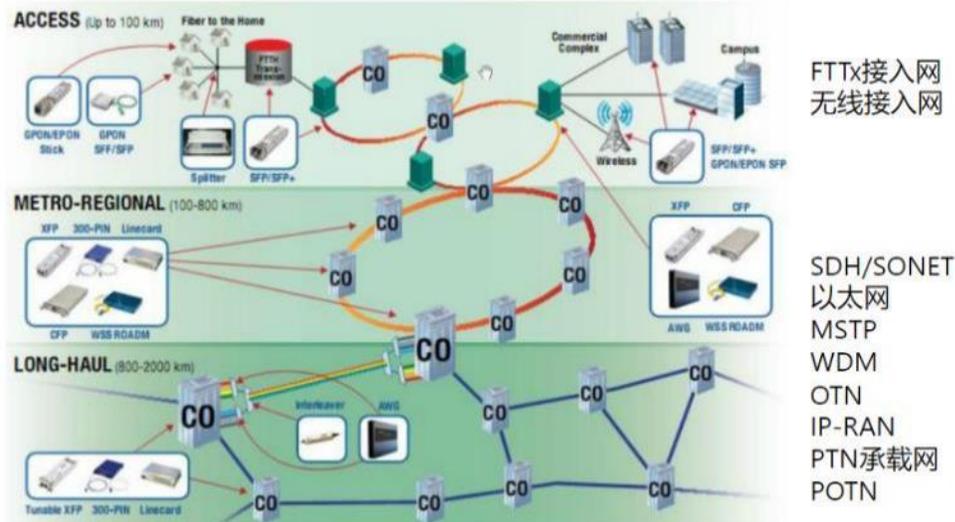


资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

应用场景：电信网络和数据中心需求1:1

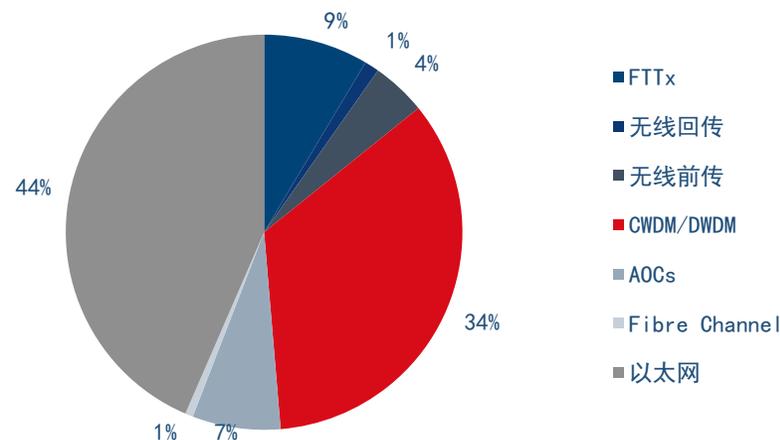
- ◆ **电信网络的光通信应用：**1980年代光纤诞生以来，光通信应用从骨干网到城域网、接入网、基站。目前国内传输网络基本完成光纤化，但数据在进出网络时仍需要进行光电转换；未来向全光网演进。
- ◆ **数据中心的光通信应用：**1990年代开始，光通信应用中短距离的园区、企业网络延伸到大型数据中心的系统机架间、板卡间、模块间、芯片间应用。
- ◆ **数通应用**近年来受益于移动互联网、云计算、AI等持续加速，已逐步成为光模块最主要的下游场景。

图 6：光通信在电信网络的应用



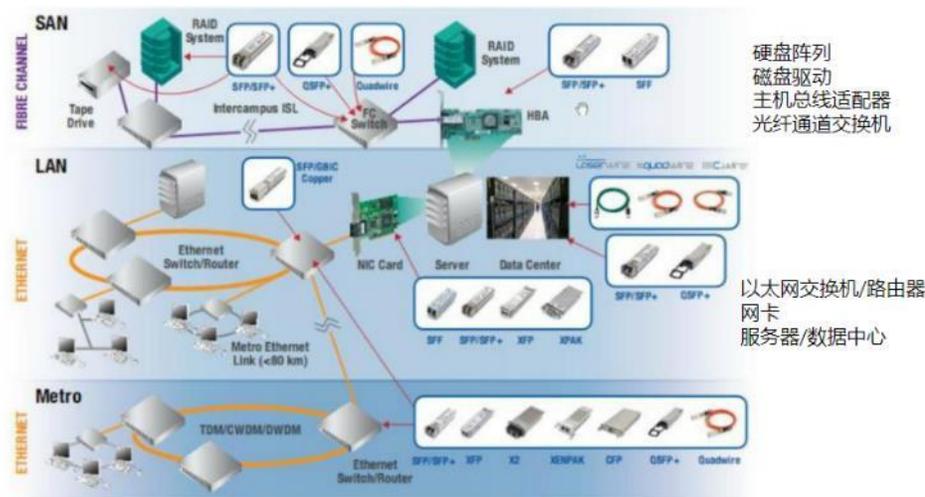
资料来源：光迅科技，国信证券经济研究所整理

图 5：光模块下游应用领域（2023）



资料来源：LightCounting，Coherent，国信证券经济研究所整理

图 7：光模块在数通领域的应用

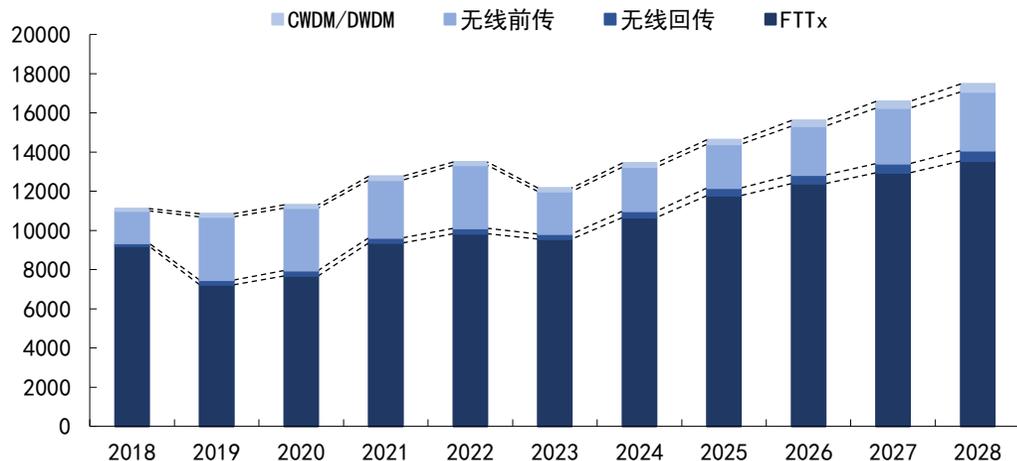


资料来源：光迅科技，国信证券经济研究所整理

电信市场：整体市场有望企稳回升

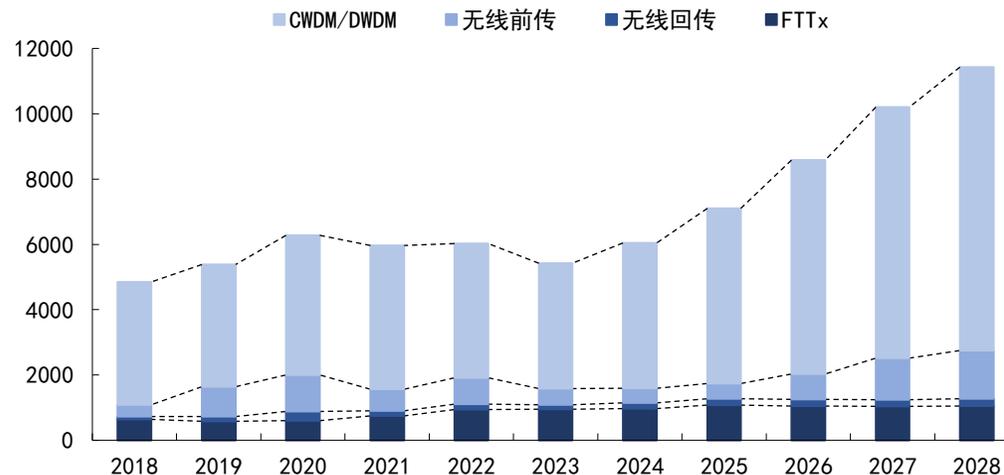
- ◆ 电信光模块全球市场规模在50-60亿美元左右。电信市场中，光模块主要包括固网接入（FTTx）、无线接入（无线前传和回传）以及无源波分系统使用的CWDM/DWDM模块（包括DCI/城域网/骨干网）等场景。整体来看，电信市场需求在经历2019年5G迭代升级驱动后达到相对高点，近年来需求有所放缓，整体市场规模约50-60亿美元。其中CWDM和DWDM模块占比最高，目前市场规模在40亿美元左右；无线前传和无线回传模块市场规模约6亿美元；FTTx所使用的PON模块市场规模约10亿美元左右。
- ◆ 电信市场出货结构上，用于光纤接入的PON模块占比较大（近年出货超9000万块）；波分复用（WDM）光模块的单价较高，近年出货量在180万块左右。

图 8：电信光模块市场出货量（万块）



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

图 9：电信光模块市场规模预测（百万美元）

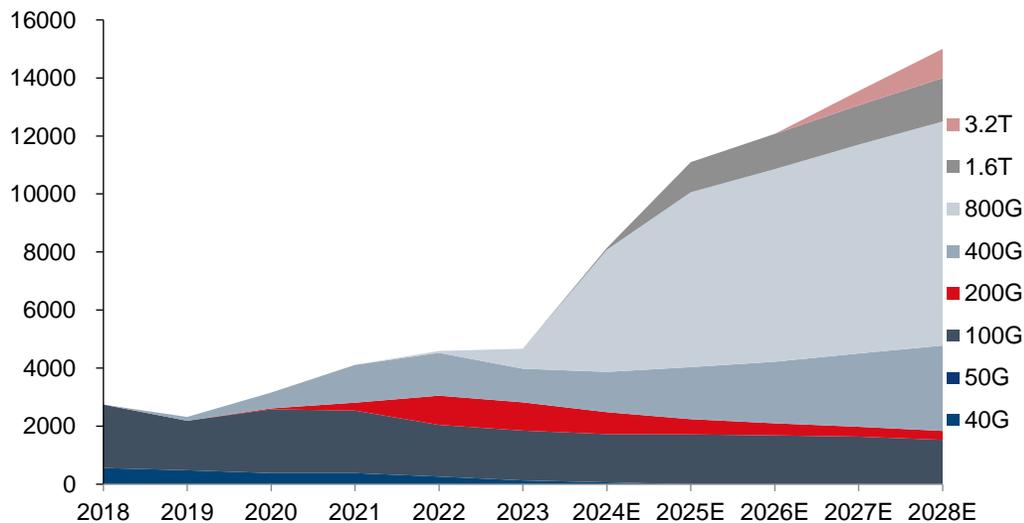


资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

数通市场：传统数据中心需求平稳，AI成为核心增长来源

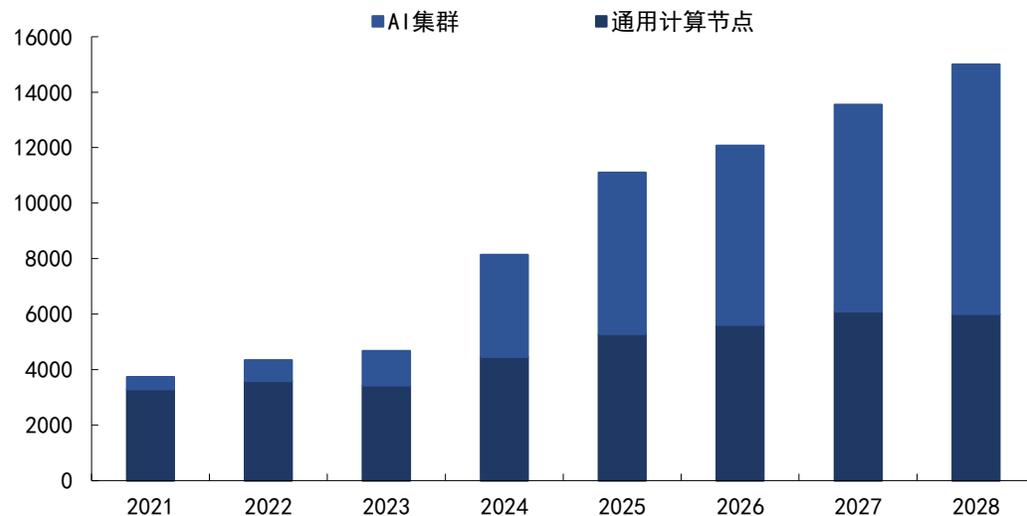
- ◆ 数通光模块市场整体规模目前约50亿美元，AI成为后续核心增长来源。光模块是AI投资中网络端的重要环节，其与训练端GPU出货量强相关，同时推理段流量需求爆发也有望带动需求增长。在算力投资持续背景下，AI成为光模块数通市场的核心增长力。据Coherent数据，预计2023年以太网光模块整体市场规模接近45亿美元（考虑用于存储连接的FC光模块，数通市场规模接近50亿美元），其中800G、1.6T及3.2T的高速数通光模块市场规模将从2023年的6亿美元以超过70%的CAGR增长至2028年的超过90亿美元，预计AI相关的800G以上数通光模块市场规模将占有所有数通光模块的近60%。
- ◆ 传统市场需求方面，根据LightConting数据，2023年整体市场有一定承压，有望于2024年修复，整体增长相对平缓。

图 10：以太网光模块市场规模预测（百万美元）



资料来源：Coherent, LightCounting, 国信证券经济研究所整理

图 11：以太网光模块市场规模（百万美元，按数据中心应用划分）

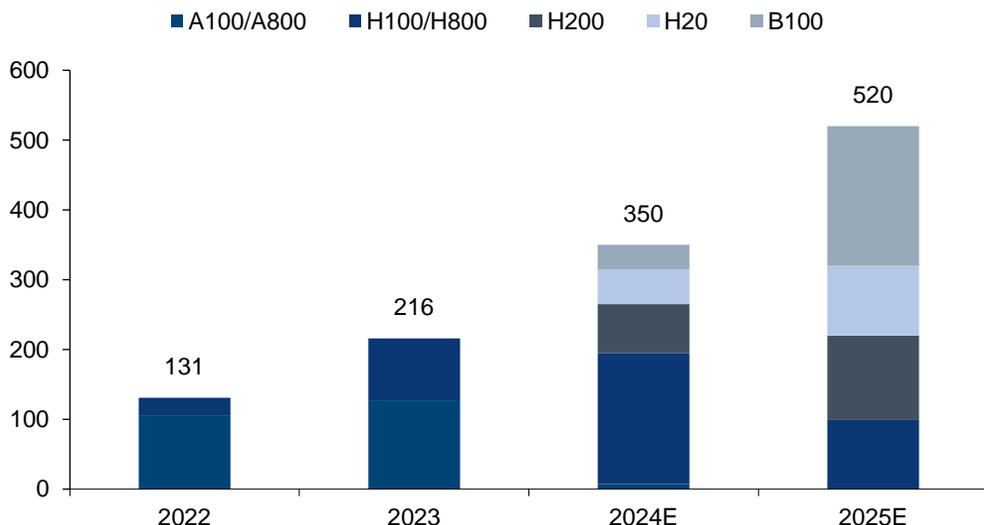


资料来源：Coherent, LightCounting, 国信证券经济研究所整理

量：训练需求与GPU数量强相关

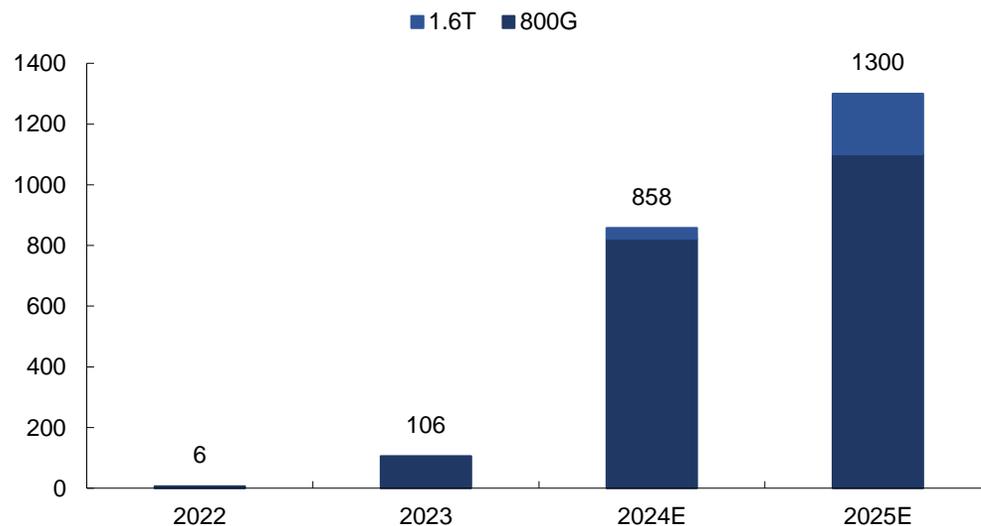
- ◆ **AI集群中，光模块的用量与GPU数量强相关。** AI集群中光模块的用量与网络架构和通信带宽有关（详见第二章分析），但总体来说，训练侧需求光模块数量和GPU数量强相关，考虑到当前阶段英伟达加速卡在AI训练的垄断地位，高速光模块需求与英伟达领先的训练卡出货量高度相关。根据TrendForce数据，预计2024年英伟达训练相关GPU出货量有望突破300万张，以1:2.5的理论测算，对应800G光模块需求有望突破800万块。
- ◆ Sora等多模态大模型发展之下，推理侧流量有望爆发，有望带动产品升级，相关领域1.6T以上速率光模块有望逐步应用。

图 12：英伟达训练卡出货量及预测（千张）



资料来源：TrendForce, Nvidia, 国信证券经济研究所整理及预测；
注：出货量数据基于第三方机构预测及测算结果，以实际数据为准

图 13：800G以上高速率光模块需求量理论测算（万块）

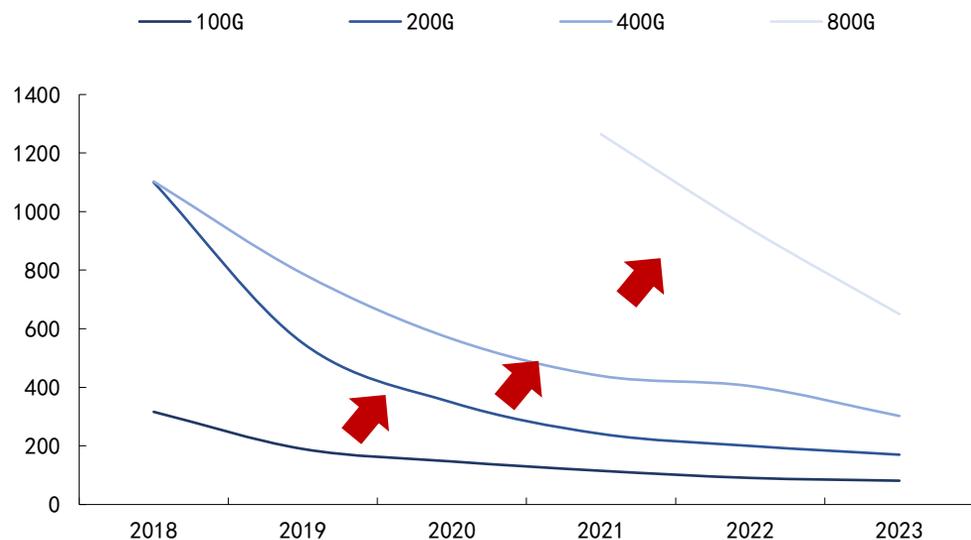


资料来源：LightCounting, Coherent, Nvidia, 国信证券经济研究所整理及预测；
注：出货量数据基于第三方机构预测及测算结果，以实际数据为准

价：长期下降趋势下，有阶段性上升

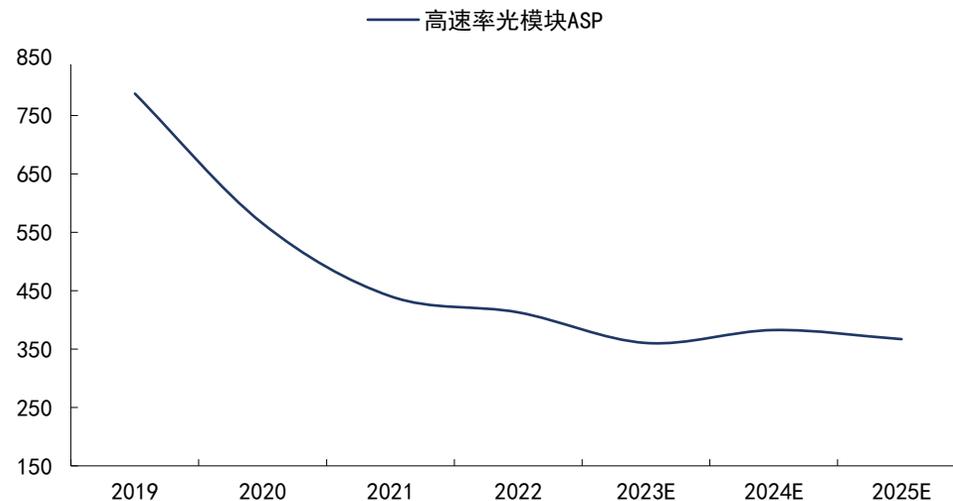
- ◆ AI驱动下，光模块升级周期呈现加速特征，高速率光模块有望实现出货均价提升。光模块的价格在代际内产品价格年降，同时更高速率升级驱动下，单位比特成本整体呈现下降趋势。但由于AI带动光模块速率升级的周期加速（详见第三章），高价值量的新产品加速推出，短期内高速率光模块市场有望出现结构性的均价提升趋势。

图 14：100G-800G数通光模块市场出货均价（美元）



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

图 15：高速率光模块市场出货均价预测（美元）

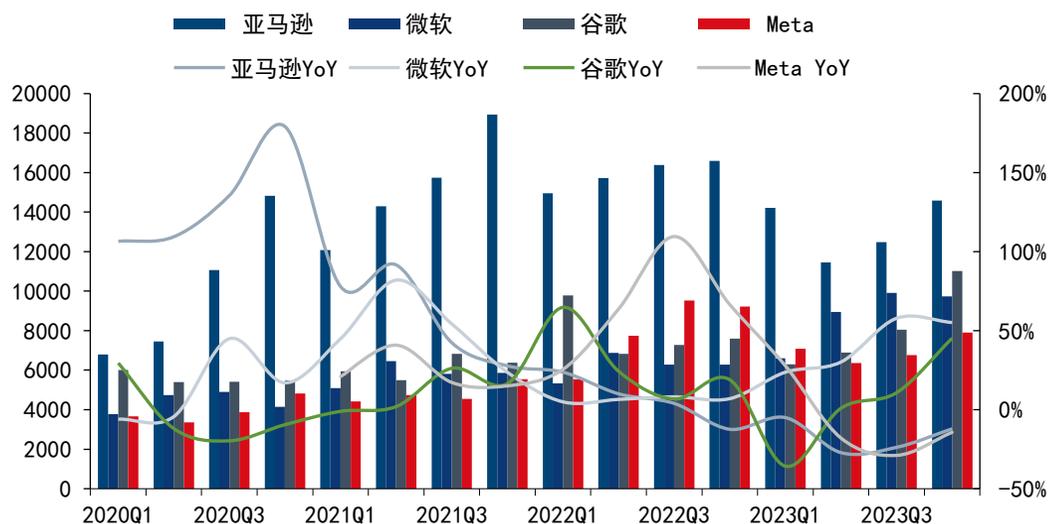


资料来源：LightCounting，Coherent，国信证券经济研究所整理及预测；
注：高速率光模块取400G以上速率

驱动力：科技巨头加大AI投资，开启算力军备竞赛

- ◆ 科技巨头持续加大AI投资，算力军备竞赛持续。2023年四季度，海外三大云厂商及Meta资本开支（非净额口径）合计432.4亿美元（同比+9%，环比+16%）。其中亚马逊（Amazon） 23Q4资本开支145.9亿美元（同比-12%，环比+17%），同比下滑主要由于履约和运输支出减少；微软（Microsoft） 23Q4资本开支97.4亿美元（同比+55%，环比-2%）；谷歌（Google） 23Q4资本开支110.2亿美元（同比+45%，环比+37%）；Meta 23Q4资本开支79.0亿美元（同比-14%，环比+17%）。
- ◆ 指引层面，海外科技巨头计划提升2024年资本开支预期，主要基于AI投资视角，算力军备竞赛持续。

图 16：海外云厂商资本开支（百万美元）及同比增速（%）



资料来源：各公司财报，国信证券经济研究所整理

表 2：海外三大云厂商及Meta资本开支指引

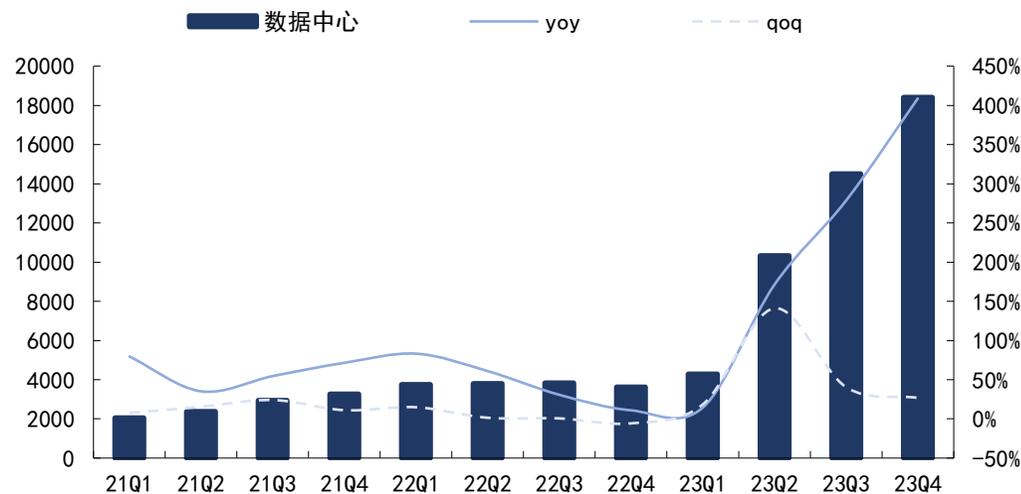
资本开支指引	
23Q4	
亚马逊	展望2024年，预计资本支出将同比增加，主要受到基础设施资本支出的增加的推动，用以支持AWS业务的增长，包括在生成式人工智能和大型语言模型方面的额外投资。
微软	资本支出将显著增加，主要由云计算和人工智能基础设施的投资以及第三方供应商的交付延期（Q2到Q3）。
谷歌	2024年预计资本开支将有显著同比增长
Meta	预计2024年全年的资本支出将在300-370亿美元的范围内，较之前范围的上限增加了20亿美元。增长将受到对服务器的投资的推动，包括AI和非AI硬件，以及数据中心，因为正在加快新数据中心架构的站点建设。更新的展望反映了我们对AI容量需求的不断演变的理解。虽然我们并没有为2024年以后的年份提供指导，但预计公司的长期AI研究和产品开发工作将需要超越今年的、不断增长的基础设施投资。

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

驱动力：模型训练需求持续，推理侧需求有望爆发

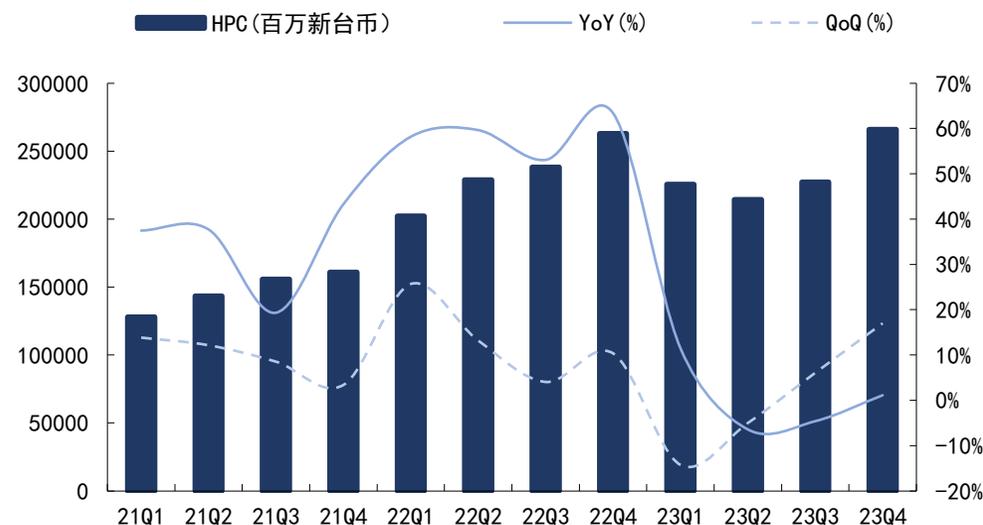
- ◆ **大模型训练对底层算力的需求持续。** AI训练网络集群需要服务器-交换机-光模块三大硬件基础环节投入，其中服务器层面目前市场由英伟达GPU来主导，英伟达季度营收持续创新高是当前旺盛需求的证明；同时上游代工层面，台积电预计未来几年AI芯片的复合增长率50%以上，AI芯片营收占比将在2027年提高至15%-20%。
- ◆ **随着应用推进，推理侧需求有望爆发。** 根据英伟达2024财年Q4业绩说明会，**推理侧贡献收入已占到数据中心业务的40%**，AI应用铺开有望持续带动推理侧需求爆发。以微软为例，自23Q2开始，AI对Azure及其他云服务的增速贡献持续提升，从1%提升到6%。同时以Sora为代表的视频应用，由于多模态的带宽需求显著提升，也有望推动推理侧网络带宽提升。
- ◆ **随着AI训练和推理持续推进，高速率光器件光模块作为算力集群通信能力提升的载体，加速发展。**

图 17：英伟达数据中心业务收入（百万美元）



资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

图 18：台积电HPC业务收入（百万新台币）



资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

驱动力：打破英伟达垄断，释放新需求

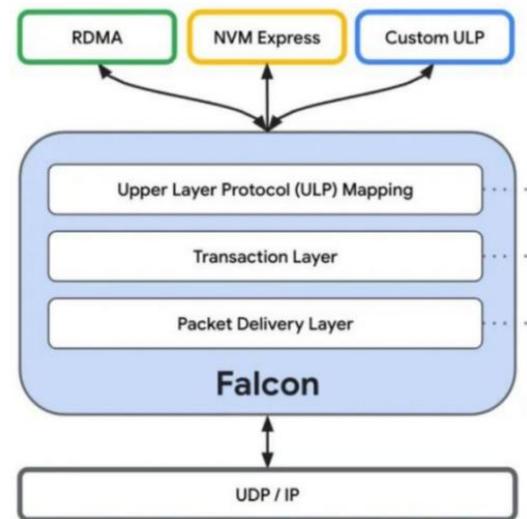
- ◆ 超以太网联盟成立，推动在AI领域与IB展开竞争。超以太网联盟（Ultra Ethernet Consortium, UEC）集结了AMD、Intel、博通、思科、Arista、HPE、Meta、微软等云厂商，为AI领域提供基于以太网的开放、可互操作、高性能的全通信堆栈架构。UEC将推出新传输协议，提供更灵活的传输，不需要无损网络，允许many-to-many人工智能工作负载所需的多路径和无序数据包传输等功能。
- ◆ 谷歌也自研了Falcon传输协议，支持RDMA和NVMe以及扩展的上层协议ULP，通过映射层它还兼任传统IB的Verbs。
- ◆ 当前AI网络主要采用IB协议，以太网协议的完善有望推动相关交换机厂商加速AI领域产品迭代，释放高速光模块新需求。

图 19：UEC部分成员



资料来源：UEC官网，国信证券经济研究所整理

图 20：谷歌自研Falcon协议



资料来源：谷歌，国信证券经济研究所整理

驱动力：电信市场关注骨干网400G升级、DCI网络升级

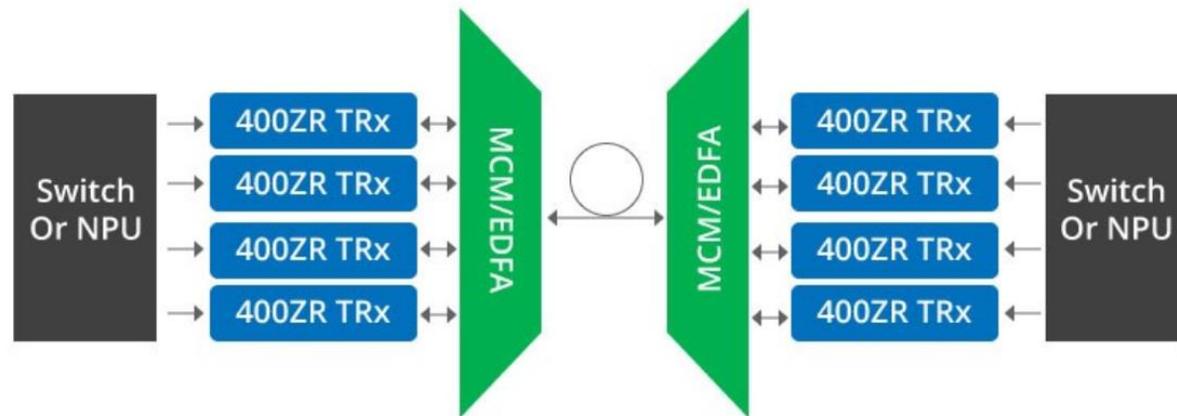
- ◆ 电信市场方面，国内骨干网进入400G升级周期。随着FTTx和5G的规模部署，运营商需要不断升级波分传输系统来应对流量增长带来的挑战。2024年有望成为国内400G骨干网部署落地元年，中国移动首条400G全光省际（北京-内蒙古）骨干网于2024年3月正式商用，年中将全面实现“东数西算”八大枢纽间高速互联。
- ◆ AI趋势下，数据中心互联（DCI）网络带宽等要求也有望提升，关注相干应用下沉。AI向多模态发展，图像、视频等对带宽的需求有望进一步提升，推动DCI互联网络后续升级。同时，相干光模块由于先进的相干光探测技术具有光纤容量大、传输距离远、性能优越和灵活性好等优点，在城域DCI和长途DCI传输中脱颖而出。随着相干光模块成本出现一定程度下降，相干技术有望进入更短的连接距离。

图 21：中国移动全球首条400G全光省际骨干网正式商用



资料来源：中国移动，国信证券经济研究所整理

图 22：400G相干光模块在DCI网络中的应用



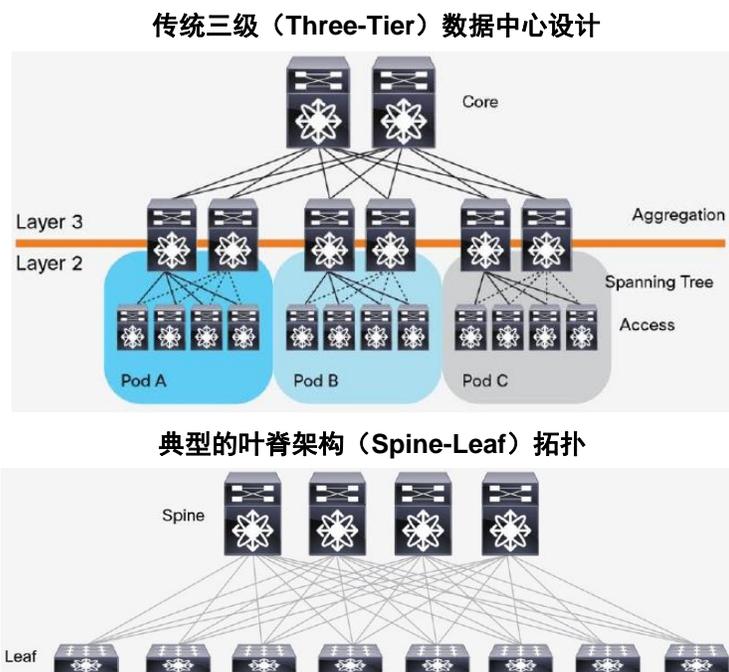
资料来源：飞速，国信证券经济研究所整理

二、AI集群网络架构升级，光模块需求弹性大

数据中心网络架构和光模块数量息息相关

- ◆ 数据流量增长推动着网络架构升级。传统数据中心经历了从三层架构到叶脊架构的改变，主要是为了适配数据中心东西向流量的增长。随着数据上云的进程持续加速，云计算数据中心规模持续扩大，而其中所采用的虚拟化、超融合系统等应用推动数据中心东西向流量大幅增长——根据思科此前的数据，2021年数据中心相关的流量中，数据中心内部的流量占比超过70%。
- ◆ 网络架构的变化导致光模块需求的变化。以传统三层架构到叶脊架构的转变为例，叶脊网络架构下，光模块数量提升最高可达到数十倍。

图 23：三层架构和叶脊架构拓扑示意图



资料来源：Cisco，国信证券经济研究所整理

表 3：传统架构到叶脊架构的光模型需求变化

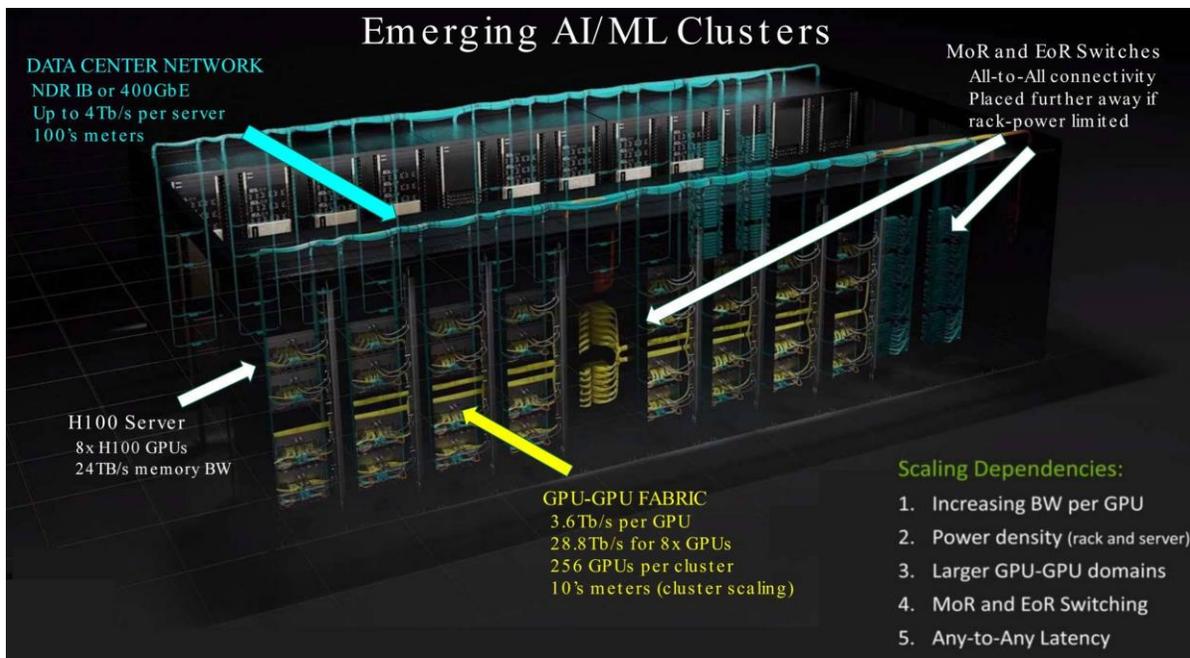
数据中心类型	架构	光模块需求		
		10G	40G	100G
中小型 (1000台服务器)	传统架构	2000	16	4
	叶脊架构	1920	160	16
	提升 (叶脊架构/传统架构)	0.96	10	4
大型 (1000个机柜)	传统架构	128000	160	8
	叶脊架构	120000	4800	32
	提升 (叶脊架构/传统架构)	0.94	30	4

资料来源：包琅允. 叶脊架构在数据中心的应用 [J]. 邮电设计技术, 2021 (2): 74-77, 国信证券经济研究所整理

AI推动算力集群网络架构变革

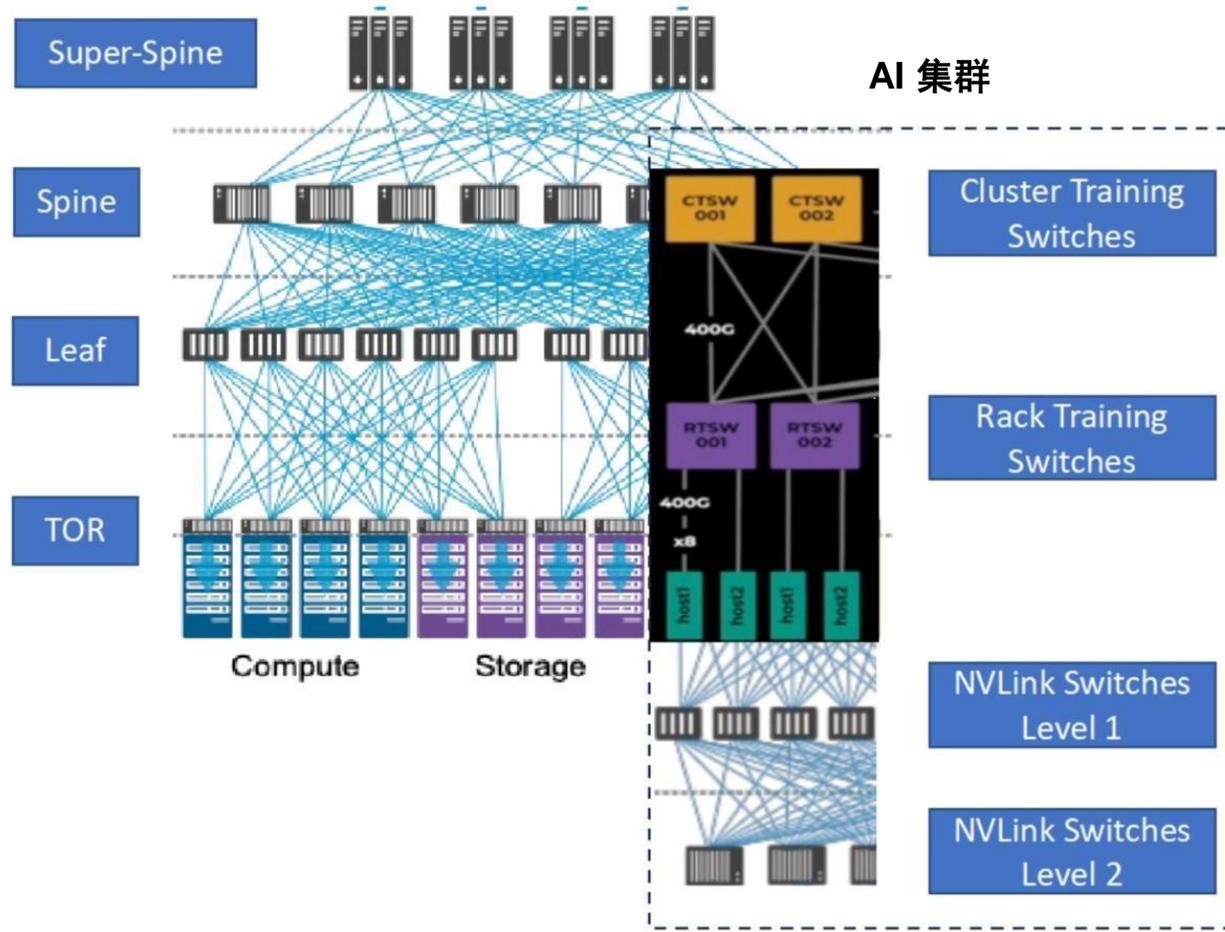
- ◆ 基于缩小网络瓶颈考虑，大规模AI集群的网络架构需要满足大带宽、低时延、无损的需求。智算中心网络架构一般采用**Fat-Tree**（胖树）网络架构，具有无阻塞网络的特点。
- ◆ 同时为避免节点内互联瓶颈，英伟达采用NVLink实现卡间高效互联。对比PCIe，NVLink具有更高带宽优势，成为英伟达显存共享架构的基础，创造了新的GPU到GPU的光连接需求。

图 25：英伟达AI集群设计，包含IB网络和NVLink



资料来源：NVIDIA, LightCounting, 国信证券经济研究所整理

图 24：包含AI节点的CLOS网络架构（带NVLink网络）示意图

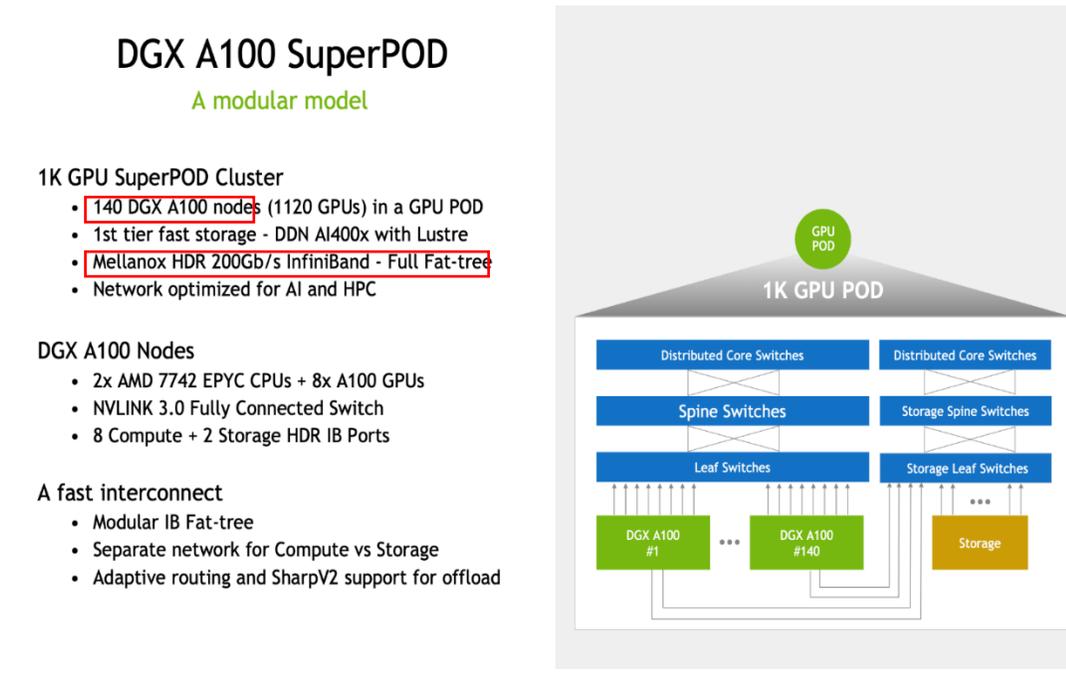


资料来源：LightCounting, 国信证券经济研究所整理

A100：网络结构及光模块需求测算

- ◆ 每个DGX A100 SuperPOD基本部署结构信息为：140台服务器(每台服务器8张GPU) +交换机（每台交换机40个端口，单端口200G）；网络拓扑结构为IB fat-tree（胖树）。
- ◆ 关于网络结构的层数：针对140台服务器，会进行三层网络结构部署（服务器-Leaf层交换机-Spine层交换机-Core层交换机），每层交换机对应的线缆数分别为1120根-1124根-1120根。
- ◆ 假设服务器和交换机之间采用铜缆，基于一条线缆对应2个200G光模块计算，GPU:交换机:光模块=1:0.15:4；若采用全光网络，GPU:交换机:光模块=1:0.15:6。

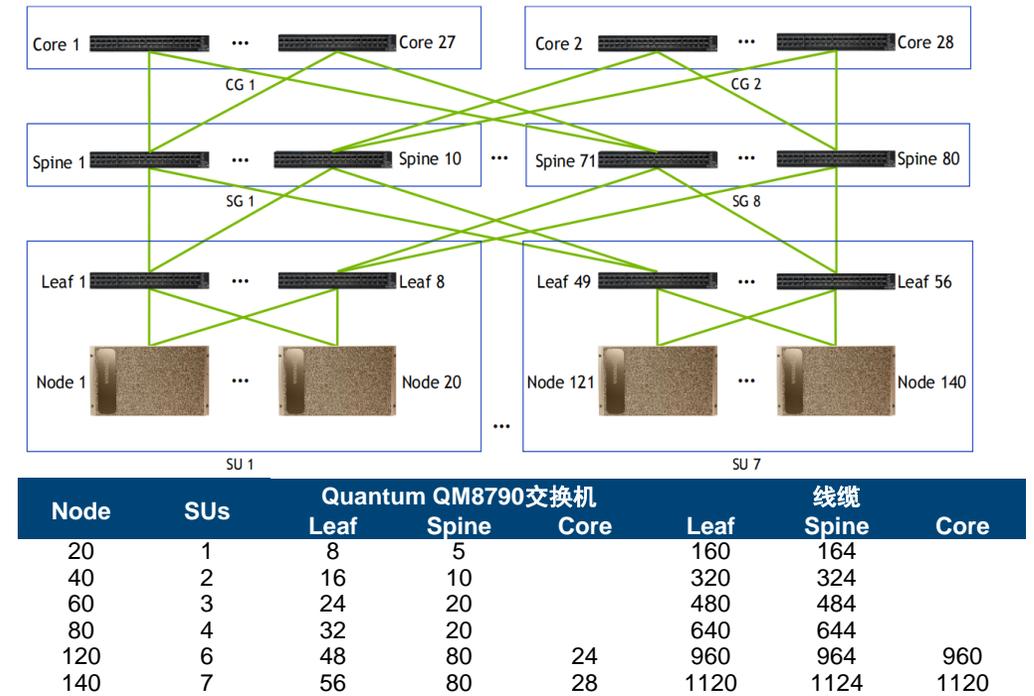
图 26：A100 SuperPOD



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

请务必阅读正文之后的免责声明及其项下所有内容

图 27：140台服务器的A100集群网络架构拓扑

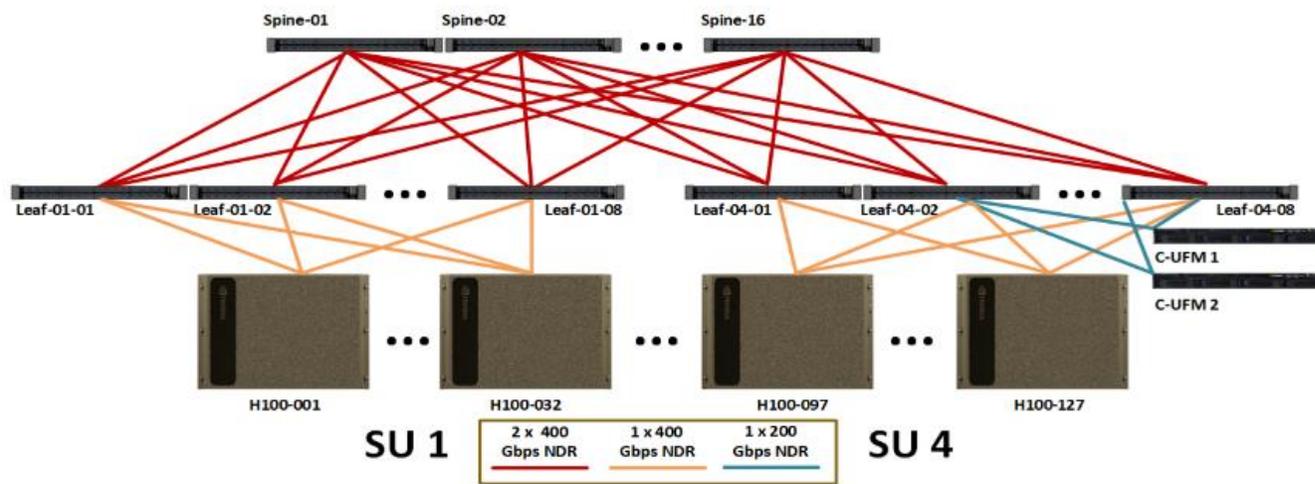


资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

H100：网络结构及光模块需求测算

- ◆ 每个DGX H100 SuperPOD基本部署结构信息为：32台服务器(每台服务器8张GPU) +12台交换机；网络拓扑结构为IB fat-tree（胖树），交换机单端口400G速率，可合并形成800G端口。
- ◆ 针对4SU集群，假设为全光网络、三层Fat-Tree架构下，服务器和Leaf层交换机使用400G光模块，Leaf-Spine和Spine-Core使用800G光模块，则400G光模块数量为 $32*8*4=256$ 只，使用800G的数量为 $32*8*2.5=640$ 只。
- ◆ 即GPU:交换机:400G光模块:800G光模块=1:0.08:1:2.5。

图 28：英伟达H100 4SU方案展示



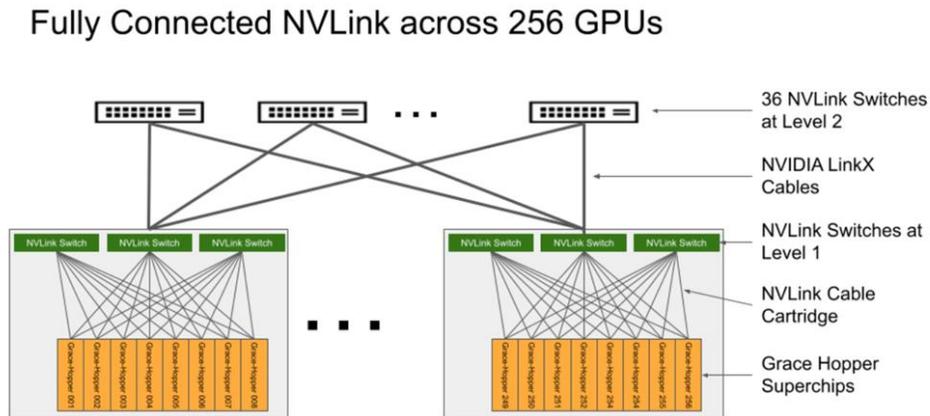
Node	SUs	GPU	Quantum QM9700交换机		计算+UFM	线缆
			Leaf	Spine		Spine-Leaf
31	1	248	8	4	252	256
63	2	504	16	8	508	512
95	3	760	24	16	764	768
127	4	1016	32	16	1020	1024

资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

GH200：网络结构及光模块需求测算

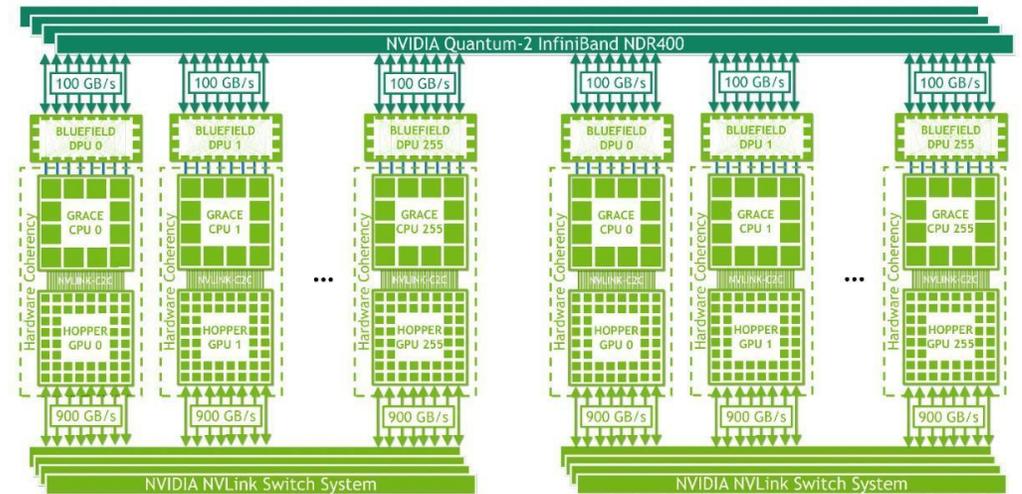
- ◆ 针对单个GH200集群：256张超级芯片GPU互联，采用2层fat-tree网络结构，其中两层网络均采用NVLink switch来完成搭建，第一层（服务器和Level 1交换机）之间使用了96台交换机，Level 2使用了36个交换机。NVLink switch的配置参数为：每台交换机拥有32个端口，每个端口速率为800G。由于NVLink 4.0对应互联带宽双向聚合是900GB/s，单向为450GB/s，则256卡的集群中，接入层总上行带宽为115200GB/s，考虑胖树架构以及800G光模块传输速率（100GB/s），800G光模块总需求为2304块。因此，GH200集群内，GPU:光模块=1:9。
- ◆ 若考虑多个GH200互联，参考H100架构，3层网络架构下，GPU:800G光模块需求=1:2.5；2层网络架构下，GPU:800G光模块=1:1.5。即多个GH200互联情况下，GPU:800G光模块上限=1:（9+2.5）=1:11.5。

图 29：英伟达GH200超级计算机网络结构



资料来源：NVIDIA，国信证券经济研究所整理

图 30：IB网络与NVLink网络共存的连接结构



资料来源：NVIDIA，国信证券经济研究所整理

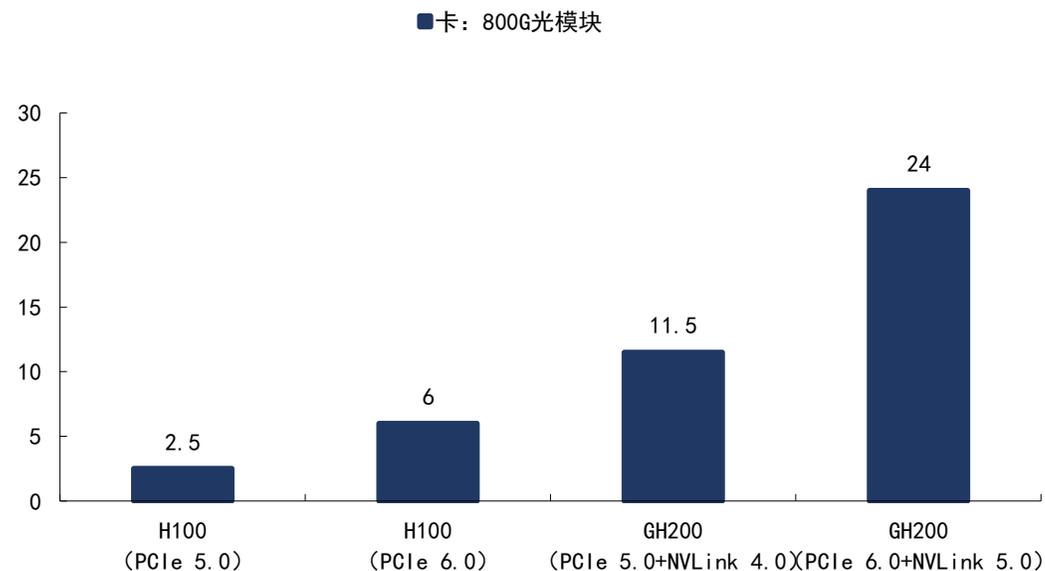
总结：网络通信瓶颈不断被打破，光模块弹性持续增大

- ◆ 随着算力集群不断提升网络性能，高速光模块需求弹性加大。以英伟达集群为例，加速卡所适配的网卡接口速率和其网络协议带宽密切相关，A100 GPU支持PCIe 4.0，最大支持单向带宽为252Gb/s，即PCIe网卡速率需小于252Gb/s，因此搭配搭配Mellanox HDR 200Gb/s Infiniband 网卡；H100 GPU支持PCIe 5.0，最大支持单向带宽为504Gb/s，因此搭配Mellanox NDR 400Gb/s Infiniband 网卡。
- ◆ 所以，A100向H100升级，其对应的光模块需求从200G提升到800G（2个400G端口合成1个800G）；而GH200采用NVLink实现卡间互联，单向带宽提升到450GB/s，对应800G需求弹性进一步提升。
- ◆ 若H100集群从PCIe 5.0提升到PCIe 6.0，最大支持单向带宽提升到1024Gb/s，则接入层网卡速率可提升到800G，即接入层可使用800G光模块，集群中单卡对应800G光模块需求弹性对应翻倍。

图 31：随着架构升级和网络协议带宽提升，高速光模块需求弹性有望加大

算力集群及网络协议带宽假设

	网络协议	单向带宽	卡:光模块
A100	PCIe 4.0 (16GT/s)	252Gb/s=32GB/s (16通道)	A100:200G光模块= 1:4
H100	PCIe 5.0 (32GT/s)	504Gb/s=63GB/s (16通道)	H100:400G光模块:800G光模块= 1:1:2.5
GH200 (多个集群互联)	NVLink4.0	450GB/s	GH200:800G光模块= 1:9
	PCIe 5.0 (32GT/s)	504Gb/s=63GB/s (16通道)	GH200:800G光模块= 1:2.5 (3层网络架构)
H100	假设采用 PCIe 6.0 (64GT/s)	1024Gb/s=128GB/s (16通道)	H100:800G光模块= 1:6
	假设采用 NVLink5.0 (假设带宽翻倍)	900GB/s	GH200:800G光模块= 1:18
GH200 (多个集群互联)	假设采用 PCIe 6.0 (64GT/s)	1024Gb/s=128GB/s (16通道)	GH200:800G光模块= 1:6 (3层网络架构)

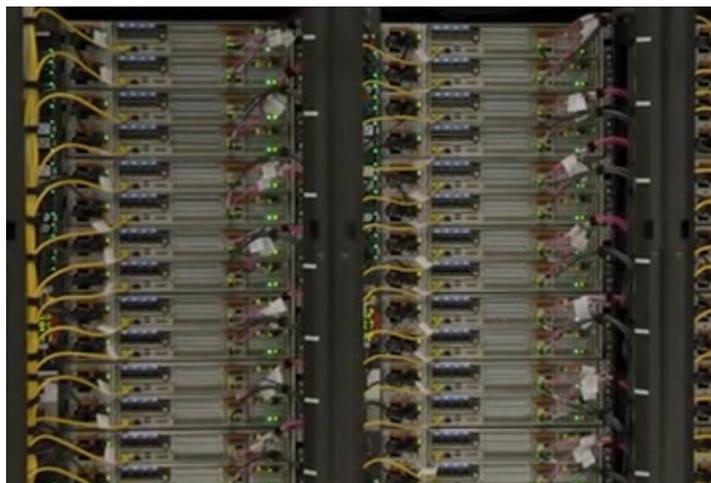


资料来源: Nvidia, 国信证券经济研究所整理及测算

Meta算力集群架构及应用

- ◆ Meta此前发布“Research SuperCluster”项目用于训练LLaMA模型。RSC项目第二阶段，Meta总计部署2000台A100服务器，包含16000张A100 GPU，集群共包含2000台交换机、48000条链路，对应三层CLOS网络架构，若采用全光网络，对应9.6万个200G光模块，即A100:光模块=1:6，与前文测算的A100架构相同。
- ◆ 针对LLaMA3的训练，Meta使用了H100 GPU，包含IB和以太网集群，最大均可支持3.2万张GPU。针对以太网方案，根据Meta披露的信息，其算力集群仍采用了有收敛的叶脊网络架构——每个机架2台服务器，接入1个TOR交换机（采用Wedge 400），一个集群中有252台服务器；Cluster交换机采用Minipack2 OCP机架交换机，一个集群中共使用18个Cluster交换机，推算收敛比为3.5:1；汇聚层交换机共18台（采用Arista 7800R3），收敛比为7:1。集群主要采用400G光模块，从集群架构来看，以太网方案仍有待在协议层面进一步突破，推动无阻塞网络的构建，关注超以太网联盟等进展。

图 32：Meta RSC集群第二阶段



GPU
16000张

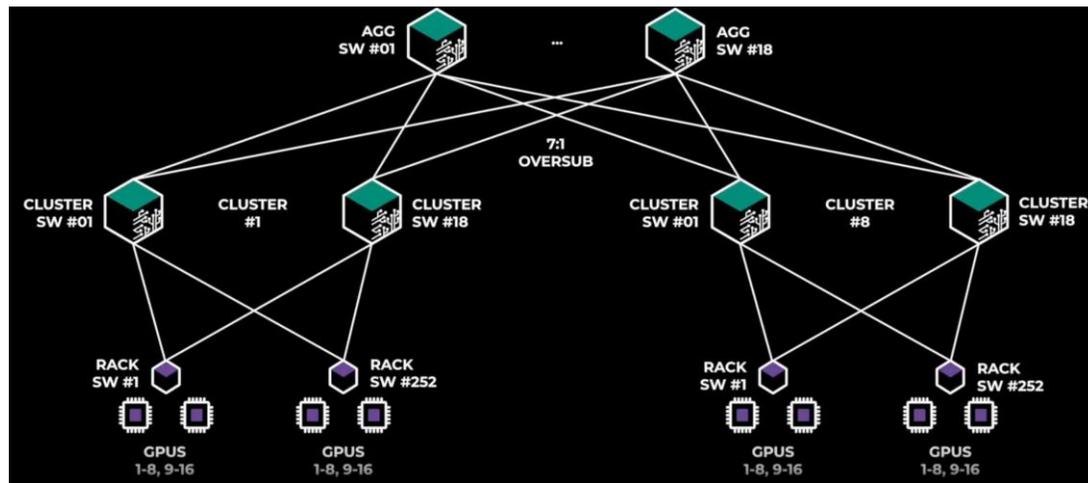
交换机
2000台

链路
48000条

算力
5EFlops

资料来源：Meta，国信证券经济研究所整理

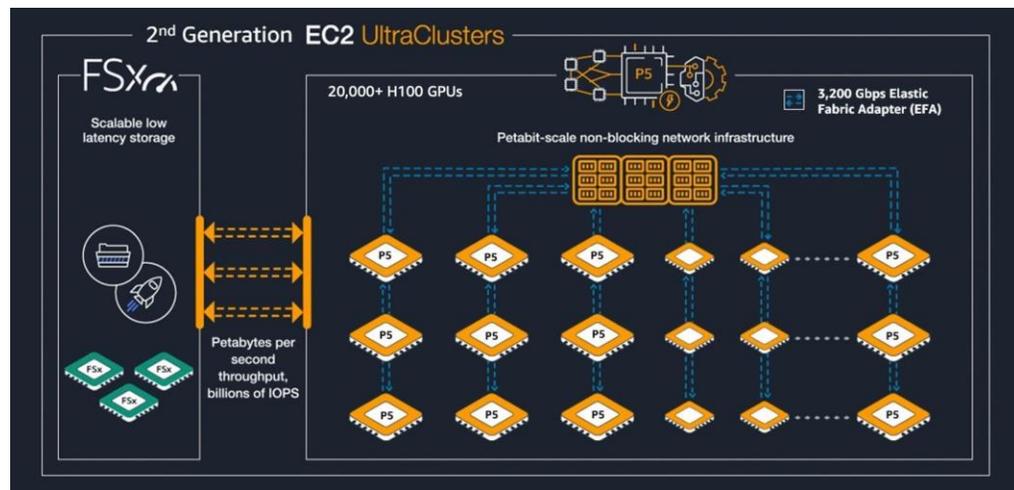
图 33：Meta通过以太网RoCE组建最大可支持3.2万张GPU的算力集群



资料来源：Meta，国信证券经济研究所整理

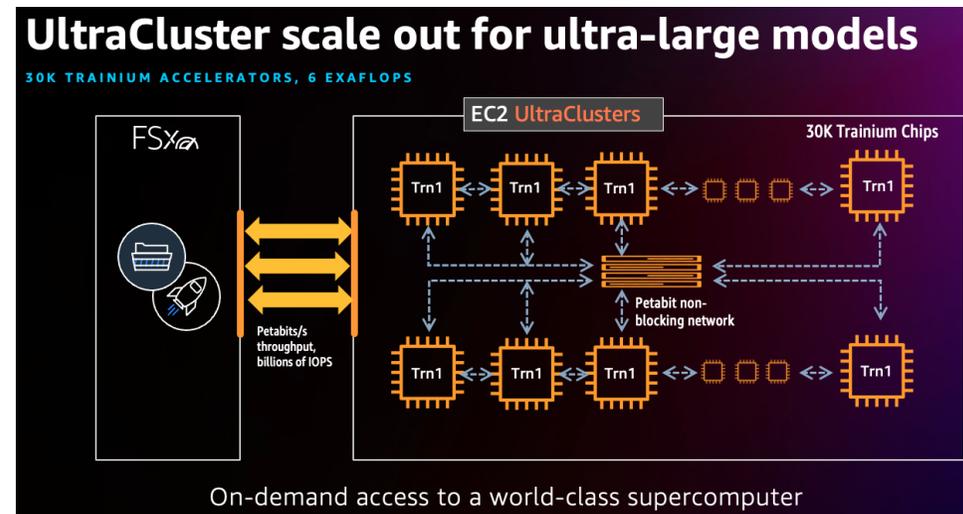
- ◆ AWS推出了第二代 EC2 Ultra Clusters 集群，包括H100 GPU和自研Trainium ASIC方案。AWS EC2 Ultra Clusters P5实例（即H100方案）提供3200 Gbps的聚合网络带宽并支持 GPUDirect RDMA，最大可支持2万张GPU组网；Trn1n实例（自研Trainium方案）单集群16卡，提供1600 Gbps的聚合网络带宽，最大支持3万张ASIC组网，对应6 EFlops算力。AWS EC2 Ultra Clusters卡间互联分别采用NVLink（H100方案）和NeuronLink（Trainium方案），集群互联采用自研EFA网络适配器。对比英伟达方案，AWS自研Trainium ASIC集群单卡上行带宽推算为100G（1600G聚合带宽/16卡=100G），因此AWS目前架构中暂无800G光模块需求。

图 34：亚马逊第二代EC2 Ultra Clusters算力集群（采用英伟达H100）



资料来源：AWS，国信证券经济研究所整理

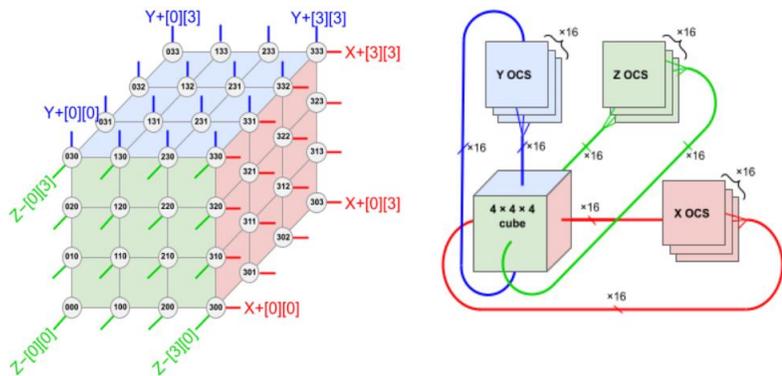
图 35：亚马逊第二代EC2 Ultra Clusters算力集群（采用自研Trainium）



资料来源：AWS，国信证券经济研究所整理

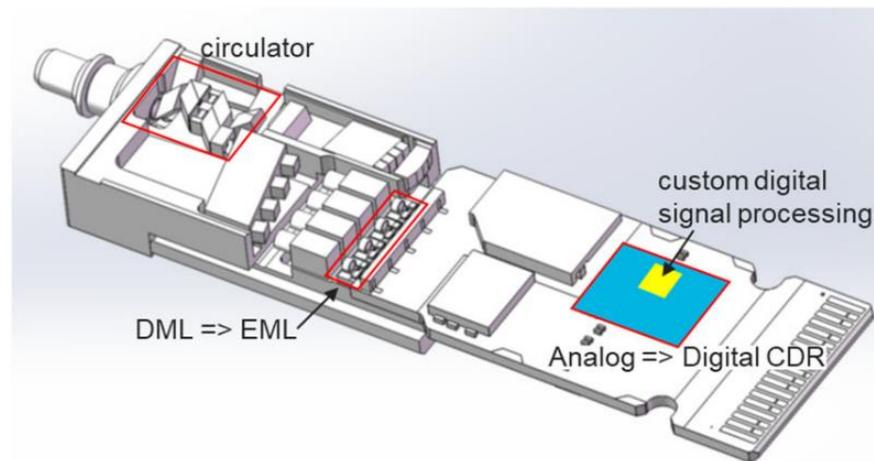
- ◆ **Google最新的算力集群由配置为三维环面的TPU阵列组成。**一维环面对应每个TPU连接到相邻的2个TPU，二维环面为2个正交的环，对应每个TPU连接到相邻的4个TPU；目前谷歌TPUv4即三维环面，每个TPU连接到6个相邻的TPU。基于此，每个机柜内部构建 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 颗TPU的3D网络结构。3D结构的外表部分连接到OCS，则一个4096颗TPU互联对应64个机柜、48个OCS交换机即 $48 \times 64 = 6144$ 个光模块，内部则采用DAC连接（18000条），则对应TPU:光模块=1:1.5。在OCS方案下，光模块需要采用波分复用方案，并增加环形器（Circulator）减少光纤数量，其光模块方案具有定制化特征（800G VFR8）。

图 36：谷歌AI集群的3D环形网络架构



资料来源：Google，国信证券经济研究所整理

图 37：带环形器的光模块



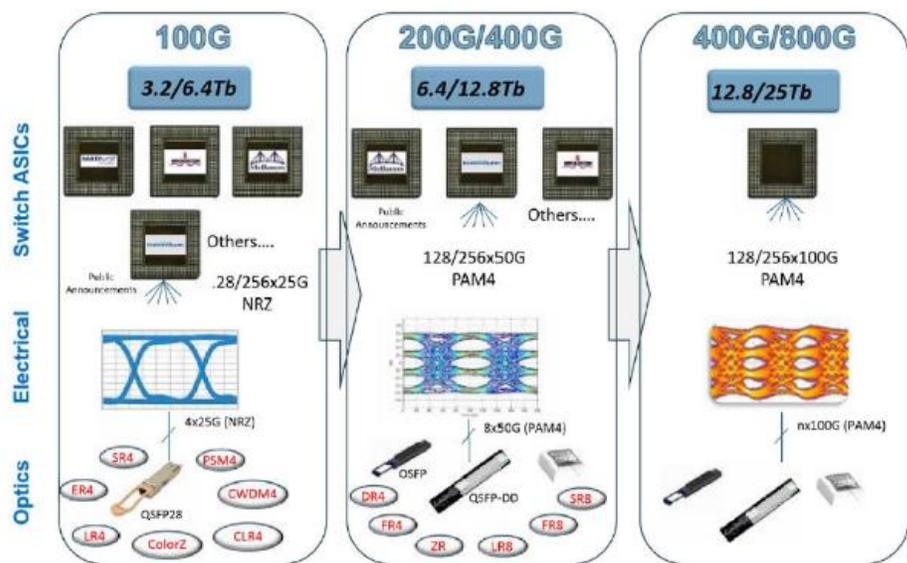
资料来源：Urata R, Liu H, Yasumura K, et al. Mission Apollo: Landing optical circuit switching at datacenter scale[J]. arXiv preprint arXiv:2208.10041, 2022., 国信证券经济研究所整理

三、光摩尔定律加速，关注新材料、新封装

光摩尔定律：传输速率提升，单位bit的成本、功耗下降

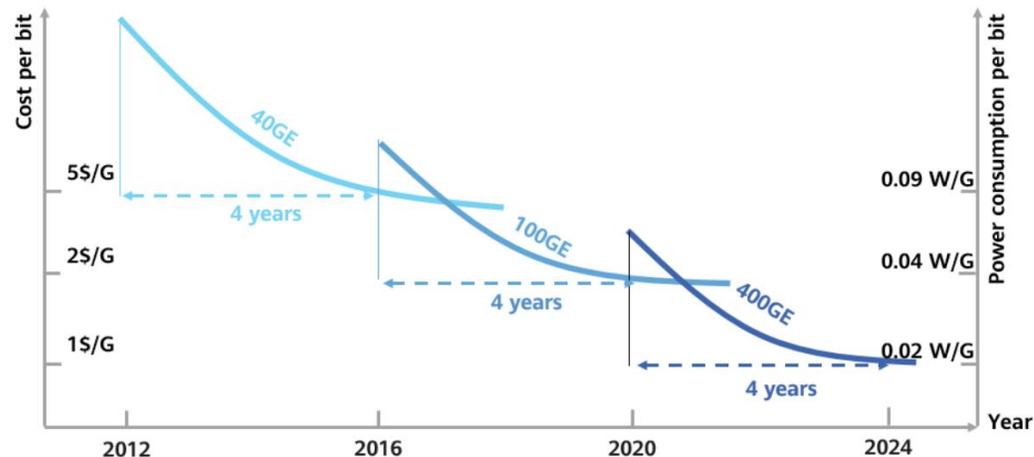
- ◆ 数据流量爆发带来流量洪水压力下，带宽瓶颈不仅带来传输效率的问题，采用多个相对低速率链路捆绑的方式也会引入负载不均衡的问题。因此数据流量增长要求光模块速率提升，同时也降低单位数据传输成本。更高的网络带宽能够在单位时间传输更多的数据量，事实上能够降低单位bit的传输成本，即“光摩尔定律”——短距光模块每4年左右演进一代，比特成本下降一半、功耗下降一半。

图 38：光模块对应交换机芯片的演进路径



资料来源：Inphi，国信证券经济研究所整理

图 39：数据中心组网中的“光摩尔定律”

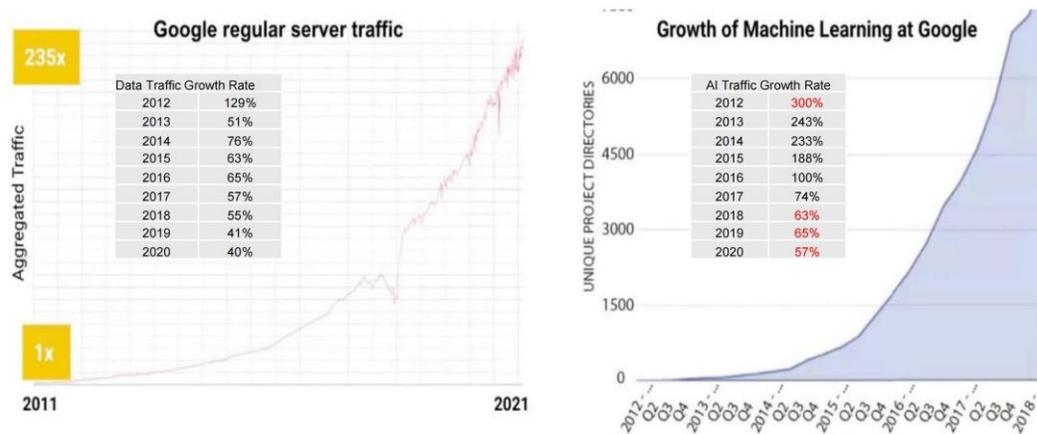


资料来源：华为《海思光电400G全场景光模块白皮书》，国信证券经济研究所整理

网络带宽是训练算力的瓶颈之一

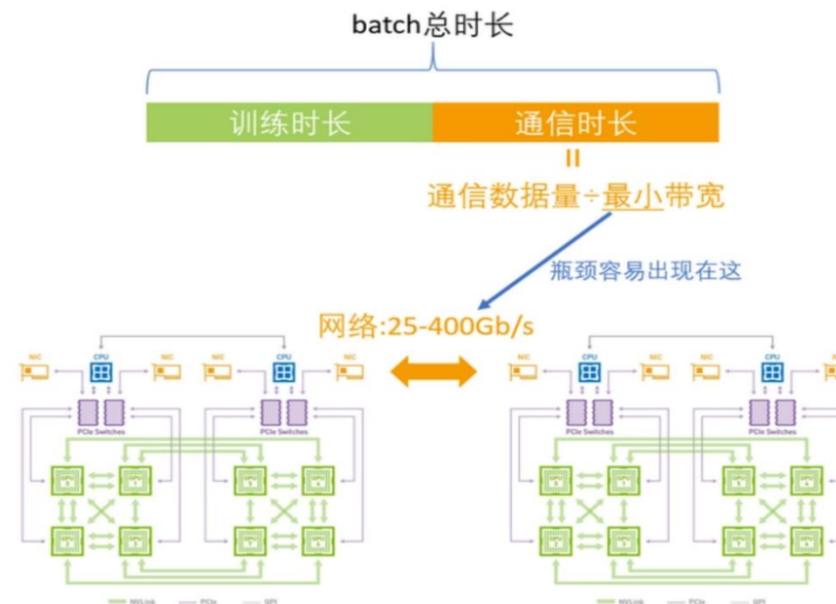
- ◆ 大模型训练产生的数据量快速增长，训练集群并行计算模式下，网络带宽直接影响训练集群计算效率。首先，大模型训练产生庞大的集群内通信流量，GPT 3.5的训练仅是单次计算迭代内梯度同步需要的通信量就达到了百GB量级，此外还有各种并行模式、加速框架引入的通信需求。而一个高效的模型在硬件依赖三个环节性能的改进——存储、计算和网络通信能力，在存储和算力一定的情况下，AI模型训练的效率将取决于通信时长。而存储和算力分别可通过HBM应用、GPU算力提升等方式解决，通信时长则由数据量和通信带宽决定，因此提高通信带宽有助于提升训练集群的计算效率。

图 40：以谷歌为例，ML流量增长弹性已超过传统流量增长



资料来源：Google, LightCounting, 国信证券经济研究所整理

图 41：AI大模型要求不断提升通信带宽降低时延



资料来源：纳多德, 国信证券经济研究所整理

英伟达致力于持续提升算力集群网络带宽

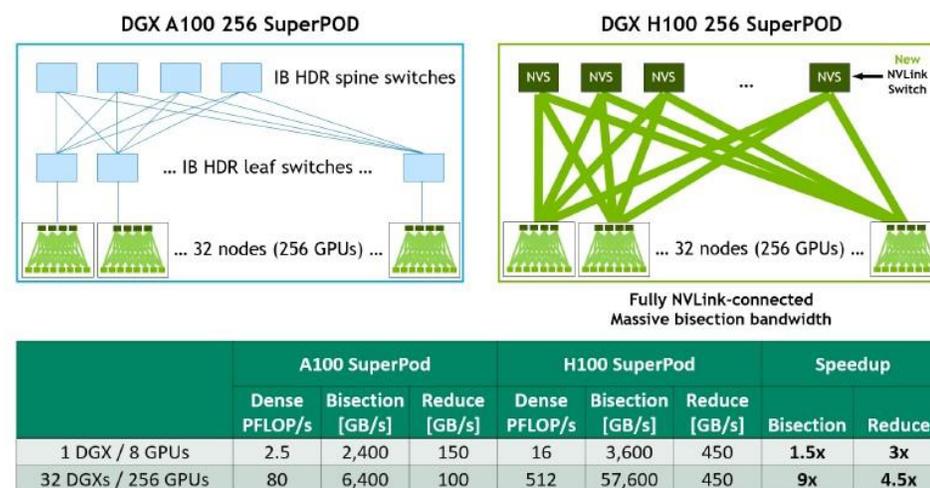
- ◆ 以英伟达为例，从A100、H100到B100，对应网卡接口速率从200G提升到800G；H100的卡间互联采用NVLink 4.0，双向带宽提升到900GB/s。反面案例而言，英伟达面向中国市场推出的H800，由于卡间互联带宽降为400GB/s，大模型训练效率有明显降低。
- ◆ 展望后续，算力集群通信带宽持续迭代提升。IB网络层面，英伟达有望在B100、X100分别引入XDR 800G网卡和GDR 1.6T网卡。并且，由于NVLink对比PCIe的大带宽优势，英伟达进一步探讨了NVLink从GPU互联拓展至服务器间互联的可能性——以H100和A100对比为例，根据英伟达官网，若完全采用NVLink网络下（即将IB网络替换为NVLink），H100集群训练效率最大有9x的提升。
- ◆ 从光模块层面，算力集群中，光模块的带宽与网卡带宽密切相关（详见第二章分析），因此算力集群网络带宽的提升，要求光模块持续向更高速率升级。

图 42：英伟达Roadmap——对应网卡速率提升



资料来源：NVIDIA，国信证券经济研究所整理

图 43：若完全采用NVLink的H100集群训练效率对比A100最大可达9倍

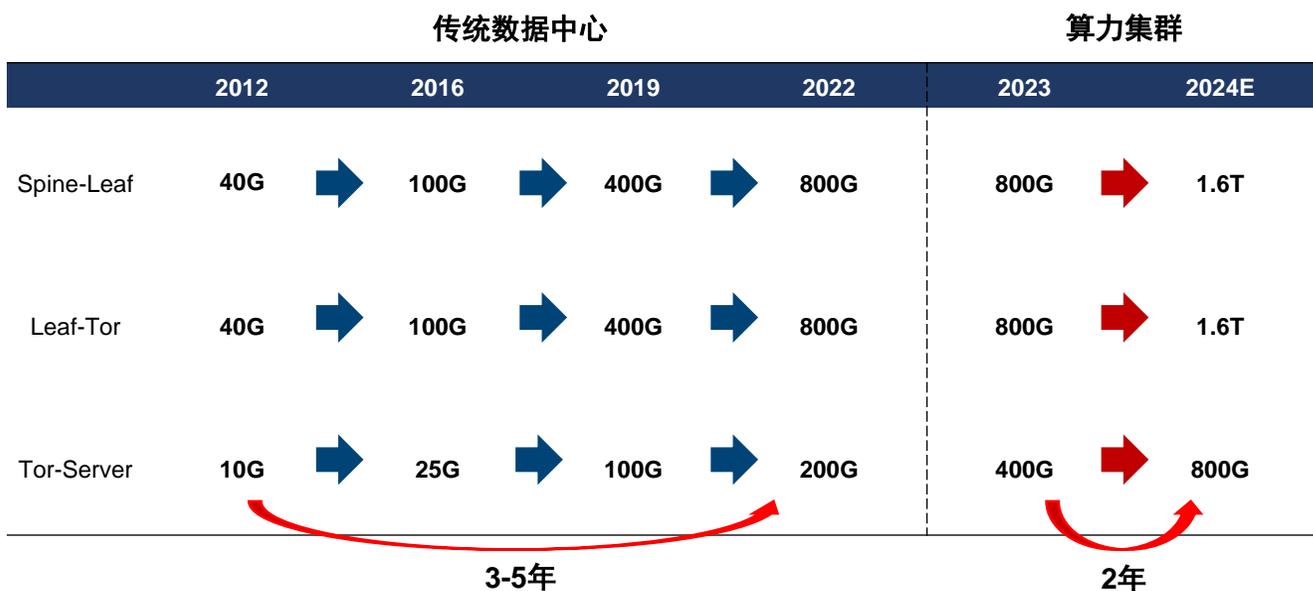


资料来源：NVIDIA，国信证券经济研究所整理

AI缩短光摩尔定律周期，升级周期加速

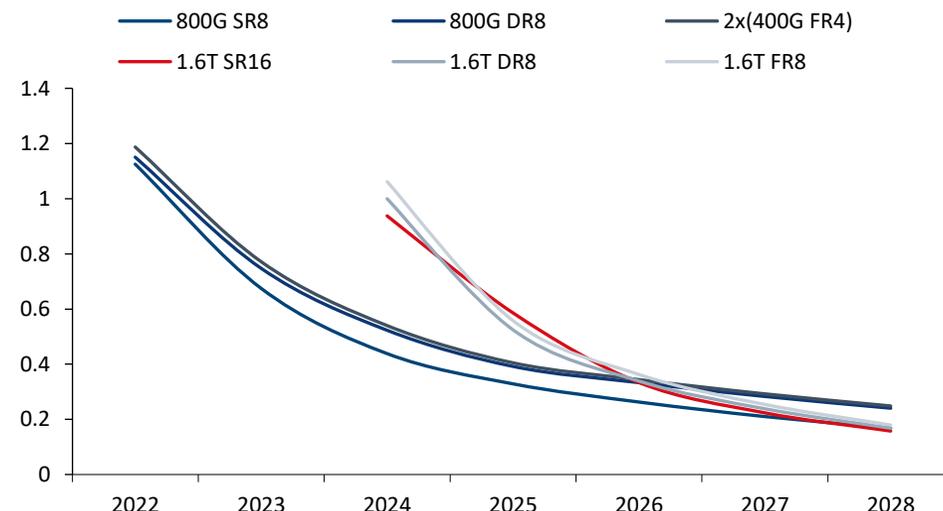
- ◆ **AI应用正缩短光模块的升级周期。**传统数通市场，光模块的升级周期一般在3-5年左右，AI应用正加速光模块的升级周期。考虑到英伟达加速迭代周期，根据路线图B100有望于2024年发布，其适配的光模块将有望升级到1.6T，从前文产业进展和配套算力芯片迭代周期来看，高速光模块需求的升级周期加速。
- ◆ **1.6T的单位比特成本将低于800G。**对比800G，虽然1.6T产品单价更高，但对应的单位带宽成本实际更低，根据LightCounting预测，2025年1.6T DR8光模块的单位价格约0.53美元/G，实际低于2块800G DR8单位成本（2*0.39美元/G）。因此升级1.6T产品在产品方案成熟的情况下，将进一步降低集群的单位比特成本，应用具有性价比。

图 44：AI驱动光模块升级周期加速



资料来源：800G Pluggable MSA，国信证券经济研究所整理

图 45：800G和1.6T光模块单位带宽成本预测（美元/G）

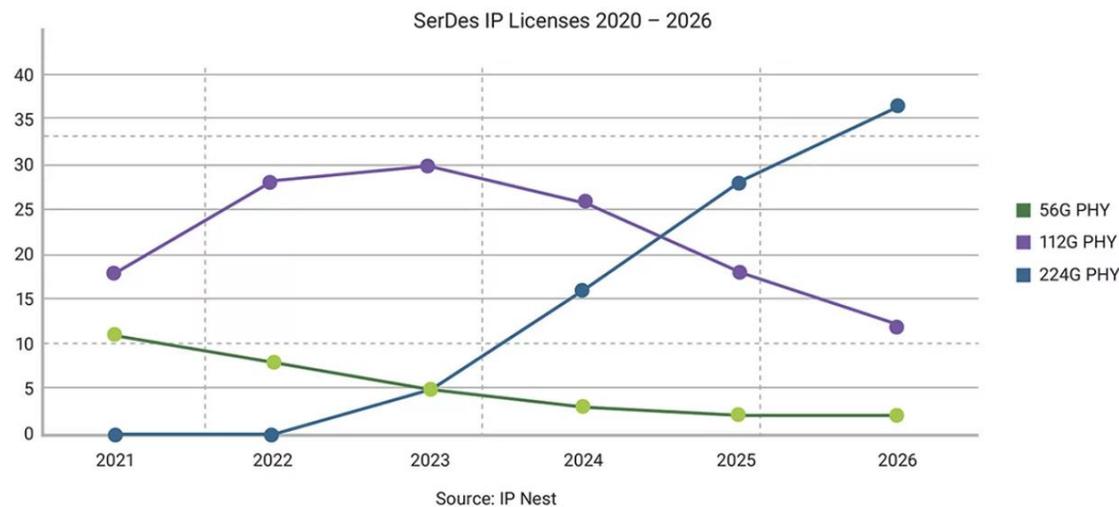


资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

单通道SerDes速率升级是光模块演进核心方向

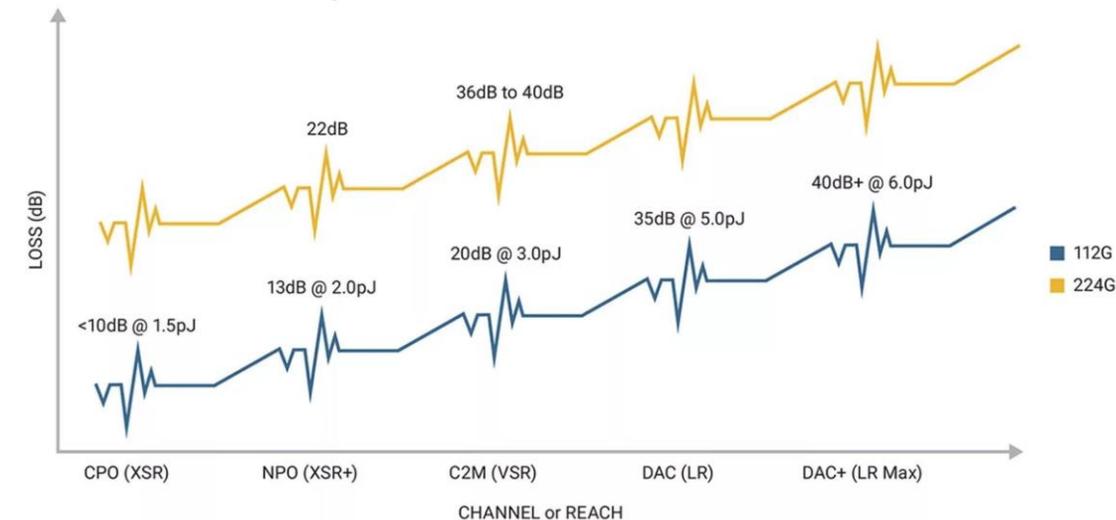
- ◆ 提升光模块通信速率有3种方式：（1）增加波长数量；（2）增加光纤通道数量；（3）提升单通道速率，包括升级调整方式（NRZ升级到PAM4）以及提高SerDes速率。目前1.6T光模块依据通道数和波长可大体分为光口单通道100G（对应16个光通道）和单通道200G（对应8个光通道）的不同产品类型。目前来看，调制方式和光纤通道数量或难以进一步升级，**提高SerDes速率或采用多波长方案有望成为下一代产品进一步提升速率的主要方式。**
- ◆ 从规划来看，224G SerDes首批样品有望于2024年提供，预计2026年有望迎来首批部署；产业链也在持续突进224G SerDes布局，如Marvell近期演示了其224G组件方案。
- ◆ 但224G SerDes不仅意味着数据传输速率的飞跃，还需要在克服信号丢失和降低功耗方面取得实质性进展，有望带动包括CPO、硅光等新封装、新材料的应用。

图 46：2020-2026年SerDes IP许可证预测



资料来源：IP Nest，国信证券经济研究所整理

图 47：224G SerDes需要更高的性能和更低的每比特功率

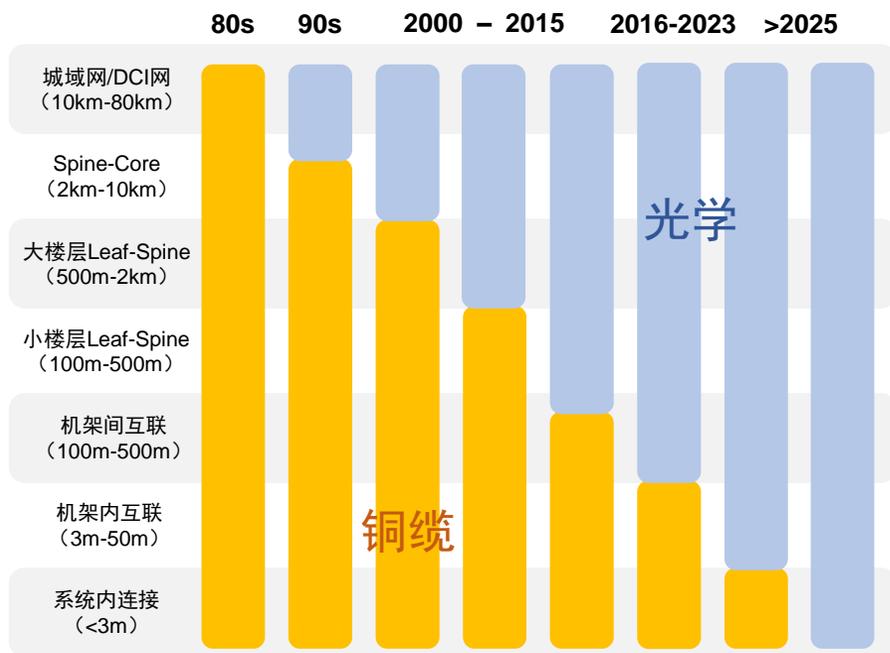


资料来源：Synopsys，国信证券经济研究所整理

SerDes速率提升有望加速光进铜退

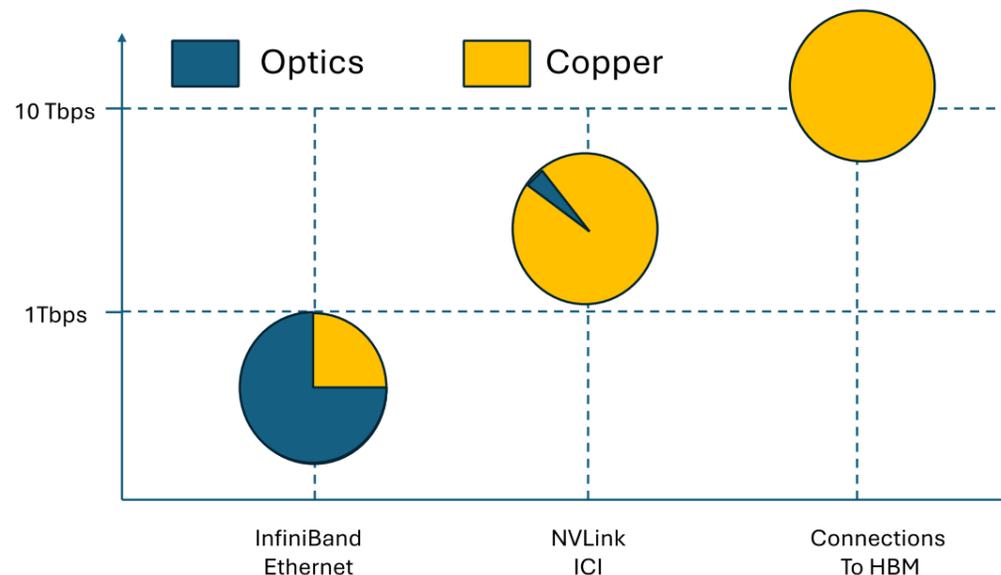
◆ 随着SerDes速率提升，光学连接有望进一步深入替代铜缆，例如芯片互联采用光学I/O。随着速率提升，铜缆的应用范围目前已经逐步仅应用于机架内互联，而随着SerDes速率进一步提升，铜缆应用范围有望进一步缩短至服务器内部——根据IEEE 802.3ck的标准，单通道100G速率（可对应光口200G）的目标距离在2m左右，意味着随着单通道速率的提升，光互连的渗透率有望逐步提高。考虑到目前的AI集群内，超过90%的光模块主要应用在IB或以太网架构中，而GPU-GPU等卡间互联场景仍以铜缆为主，后续有望贡献新增量。

图 48：光互连渗透率提升



资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

图 49：不同协议到GPU的带宽和连接方式

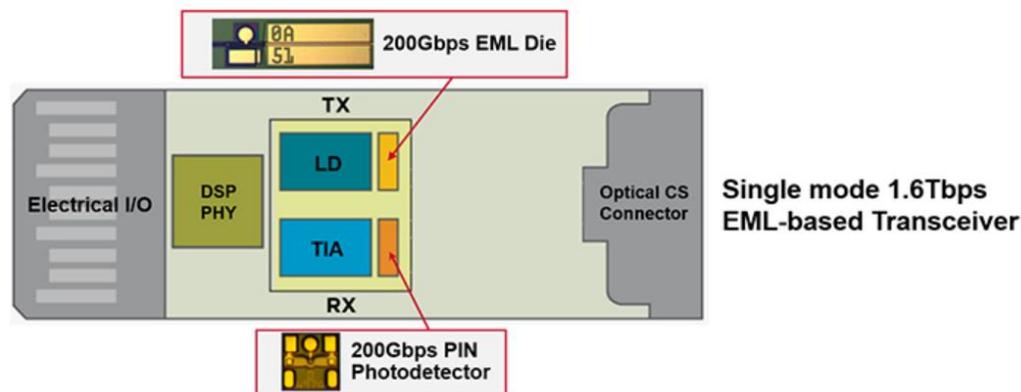


资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

1.6T芯片：单通道200G芯片方案逐步成熟

- ◆ 从上游光电芯片维度来看，Lumentum预计200G EML方案将在2024年下半年开始出货；三菱于OFC 2023推出单波200G PAM4 CWDM4 EML芯片。2023年3月，Marvell发布了新一代Nova系列PAM4 DSP 芯片，采用 5nm 先进制程，可应用于1.6T的DR8/DR4.2/2xFR4/LR8 光模块中；Semtech和博通于ECOC 2023展示200G单通道方案，采用博通112Gbd PAM4 DSP芯片。
- ◆ 从适配交换芯片情况来看，博通、思科、Nvidia都已经推出51.2T的交换芯片产品；Marvell Terlynx 10有望于2024年投产。

图 50：博通200G EML方案



资料来源：Broadcom，国信证券经济研究所整理

表 4：主要交换芯片厂商产品进度

厂商	产品	带宽	SerDes	产品进度
Broadcom	Tomahawk 3	12.8T	256x50G	2018
	Tomahawk 4-50G	25.6T	512x50G	2020
	Tomahawk 4-100G	25.6T	256x100G	2021
	Tomahawk 5	51.2T	512x100G	2023
Cisco	Q200	12.8T	256x50G	2020
	G100	25.6T	256x100G	2022
	G200	51.2T	512x100G	2024(预计)
Marvell (Innovium)	Terlynx 7	12.8T	256x50G	2019
	Terlynx 8	25.6T	256x100G	取消
	Terlynx 10	51.2T	512x100G	2024(预计)
Nvidia (Mellanox)	Spectrum-3	12.8T	256x50G	2020
	Spectrum-4	51.2T	512x100G	2023
Intel (Bare foot Networks)	Tofino 2	12.8T	256x50G	2020
	Tofino 3	12.8T	128x100G	取消
	Tofino 3	25.6T	512x50G and 256x100G	取消

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

1.6T模块：厂商积极布局，24年有望推出

◆ 光模块厂商也已推出1.6T光模块产品，有望于2024年应用。中际旭创方面，公司于OFC 2023演示1.6T OSFP-XD DR8+光模块，另据公司公告，公司预计1.6T会在2024年下半年在部分重点客户率先开始部署，并在2025年开始规模上量；根据Coherent业绩说明会，公司计划FY2025Q1（对应2024Q3）实现1.6T光模块（包括硅光）和有源/无源器件供应，包括200G EML和DFB-MZ激光器；新易盛1.6T 4×FR2光模块采用OSFP-XD的封装形式；光迅科技于光博会演示了1.6T OSFP-XD DR8+产品等。

图 51：新易盛1.6T光模块产品



资料来源：新易盛，国信证券经济研究所整理

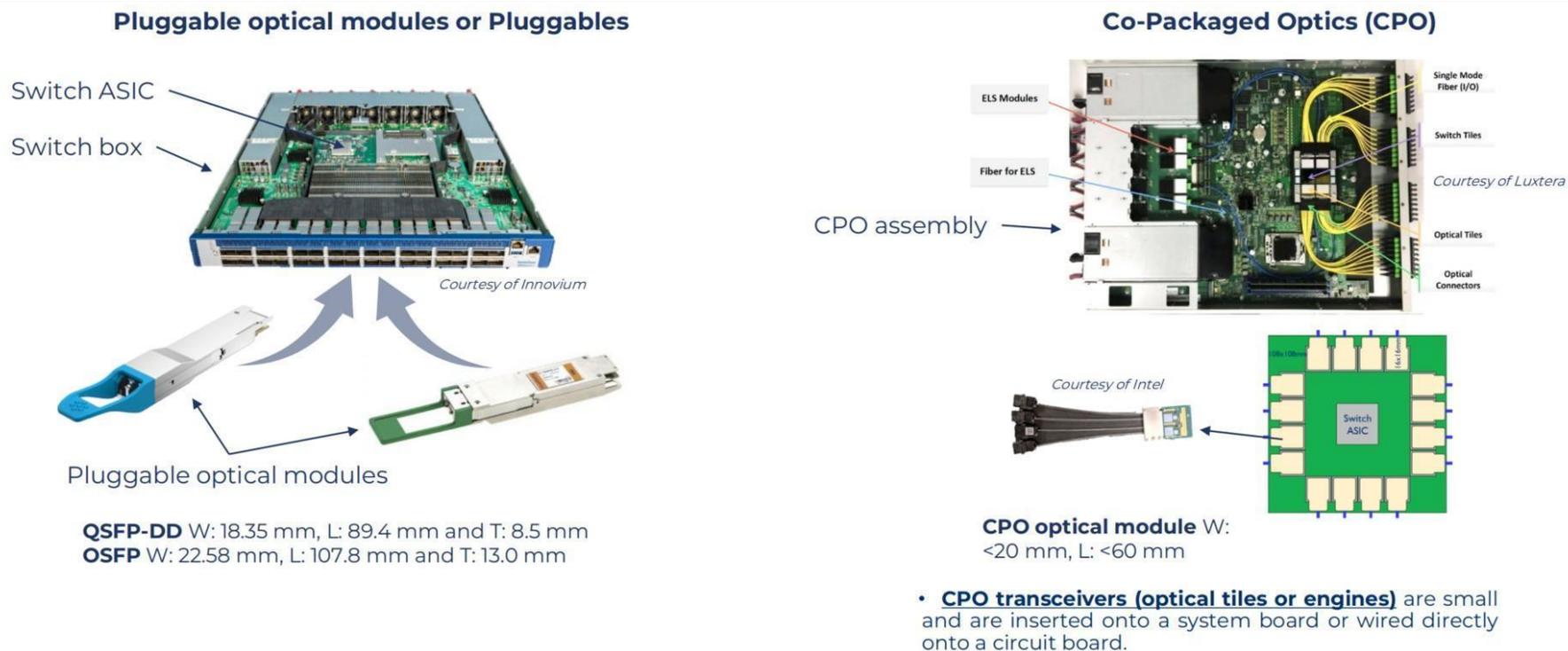
表 5：部分光模块厂商推出1.6T模块产品

厂商	1.6T产品
中际旭创	公司于OFC 2023演示1.6T OSFP-XD DR8+可插拔光通信模块，采用单通道200G光学技术和行业领先的数字信号处理技术，输速率达到了1.6Tbps，在0-70C温度范围内，以低于23W的低功耗支持2公里的传输距离。 公司预计1.6T会在2024年下半年在部分重点客户率先开始部署，并在2025年开始规模上量。
Coherent	公司于OFC 2023演示了单通道200G光模块产品，该技术可用于800G和1.6T产品。 公司预计FY2025Q1实现1.6T光模块（包括硅光）和有源/无源器件供应。
新易盛	新易盛1.6T 4×FR2光模块采用OSFP-XD的封装形式，并具有4×SN连接器，电接口使用16×100Gbps信号，而光学侧使用4×400G FR2信号。每个400G FR2接口采用1291nm和1311nm两个波长，并且需要更少的调制器和激光器，从而降低功耗。这些模块可以支持长达2公里的传输距离，可用于1.6T的点对点连接或2×800G或4×400G的扇出应用。
光迅科技	光迅科技1.6T OSFP-XD DR8+光模块遵循OSFP MSA及CMIS协议标准，采用OSFP-XD封装形式。模块电接口侧采用16个通道，单通道信号速率100Gb/s；光接口侧采用8通道，单通道信号速率200Gb/s。

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

◆ 光电共封装（CPO）即将是将光模块不断向交换芯片靠近，缩短芯片和模块之间的走线距离，并逐步替代可插拔光模块，最终把交换芯片（或XPU）ASIC和光/电引擎（光收发器）共同封装在同一基板上，引擎尽量靠近ASIC，以最大程度地减少高速电通道损耗和阻抗不连续性，从而可以使用速度更快、功耗更低的片外I/O驱动器。

图 52：光电共封装（Co-packaged Optics, CPO）对比传统热插拔示意图

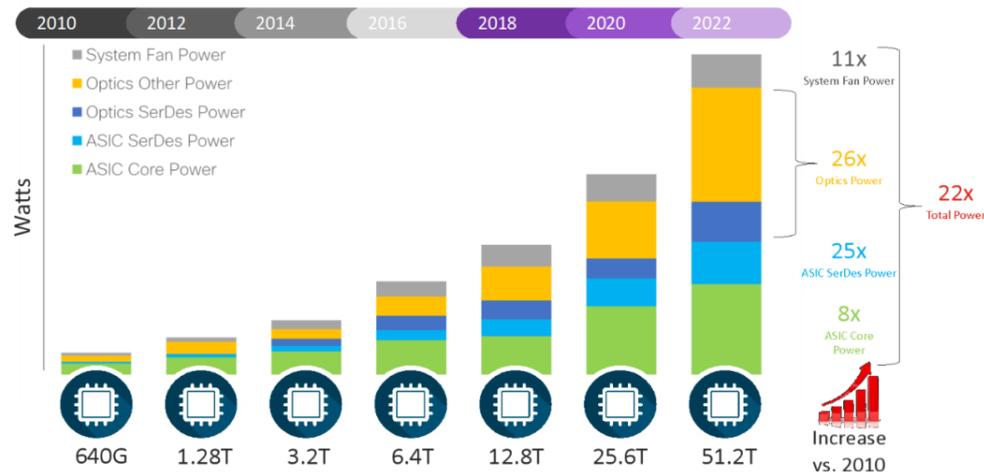


资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

光电共封装（CPO）具备显著功耗优势

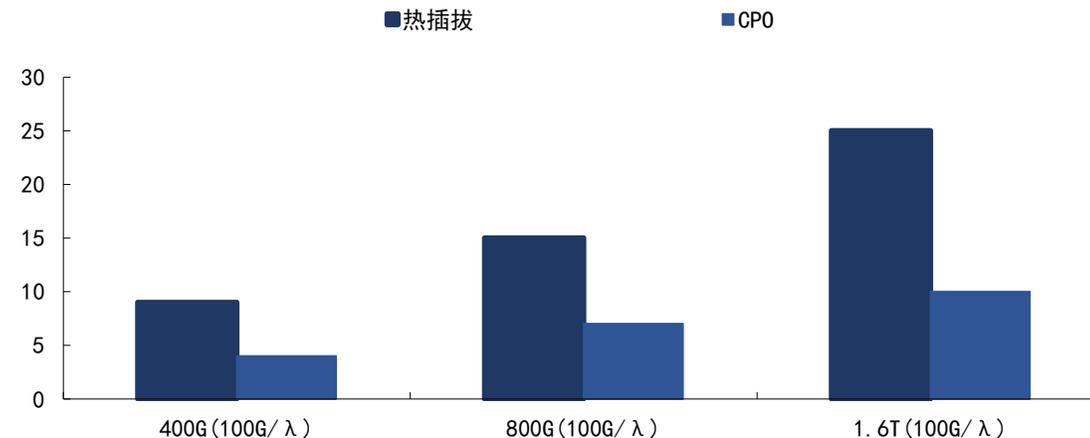
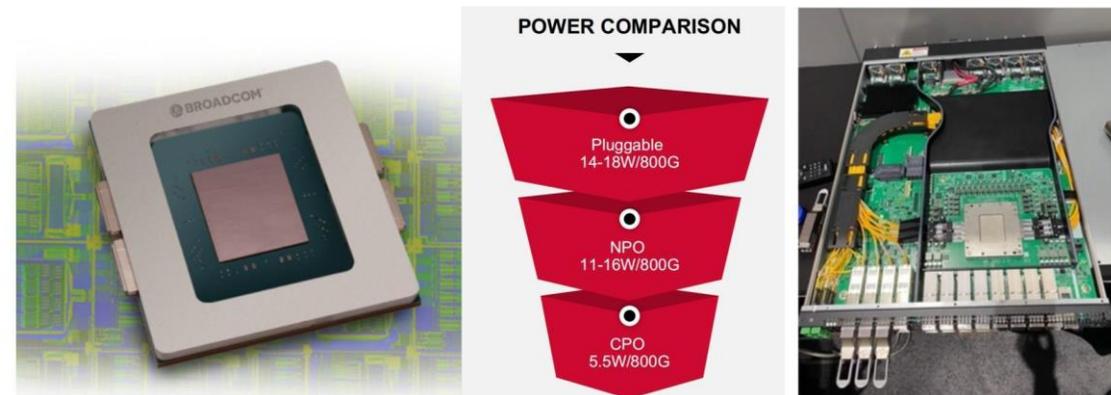
- ◆ 随着SerDes速率提升，高速率场景具有显著降本、降低功耗需要。SerDes速率提升下，光模块之间的功耗不断升高，随着40G、100G、400G、800G的迭代，相比2010年，51.2T的交换机中，光器件能耗增加26倍，光模块整体功耗大约可占交换机功耗的40%以上。
- ◆ 而根据博通数据，800G光模块下，CPO对比可插拔光模块的功耗节约可达1倍以上。

图 53：SerDes提升下功耗持续提升



资料来源：Cisco，国信证券经济研究所整理

图 54：CPO能够显著降低功耗

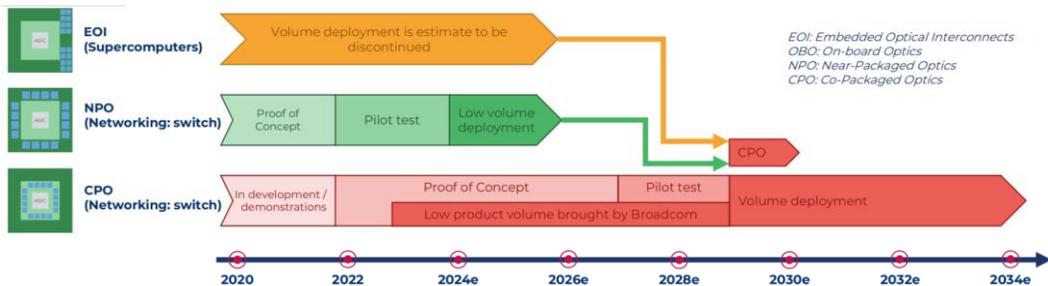


资料来源：Broadcom，国信证券经济研究所整理

CPO: 短期仍处于概念验证阶段

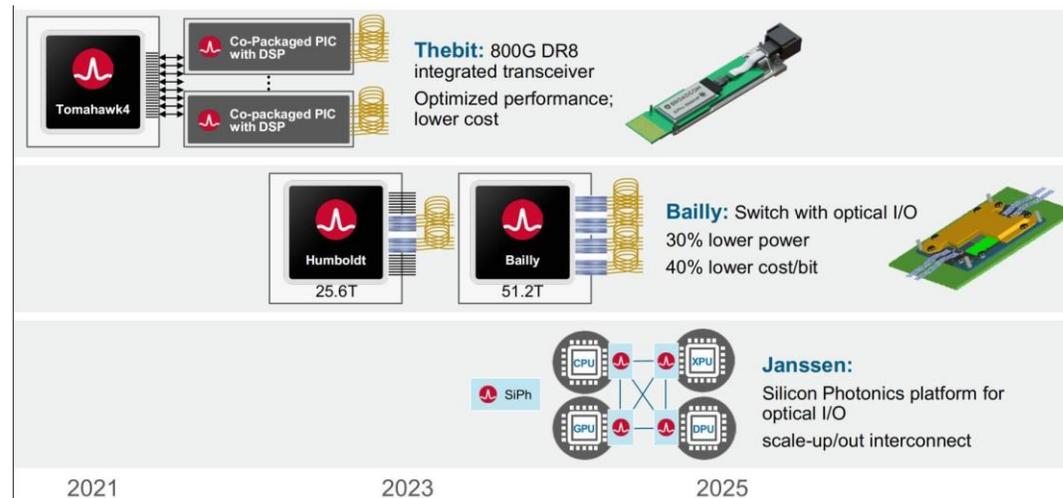
◆ 目前CPO还有许多亟待解决的关键技术问题需要突破，例如如何选择光引擎的调制方案、如何进行架构光引擎内部器件间的封装以及如何实现量产可行的高耦合效率光源耦合。短期来看，CPO设备总体仍处于概念验证阶段，仅博通有小批量试点——博通此前其与腾讯合作，博通将提供25.6Tbps Humboldt CPO交换设备，采用博通Tomahawk®4交换芯片，直接与4个3.2Tbps SCIP光学引擎耦合和共封装；OFC 2023上，博通展示了基于Tomahawk®5的CPO方案（Bailly）。

图 55: CPO当前仍主要处于概念验证阶段



资料来源: NVIDIA, 国信证券经济研究所整理

图 56: 博通CPO方案规划

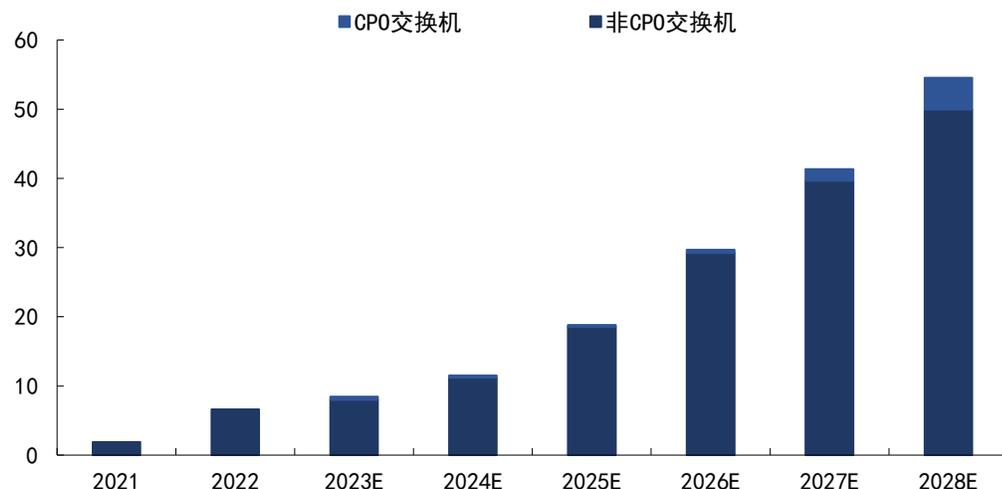


资料来源: Broadcom, 国信证券经济研究所整理

CPO：51.2T及以上交换机有望逐步应用

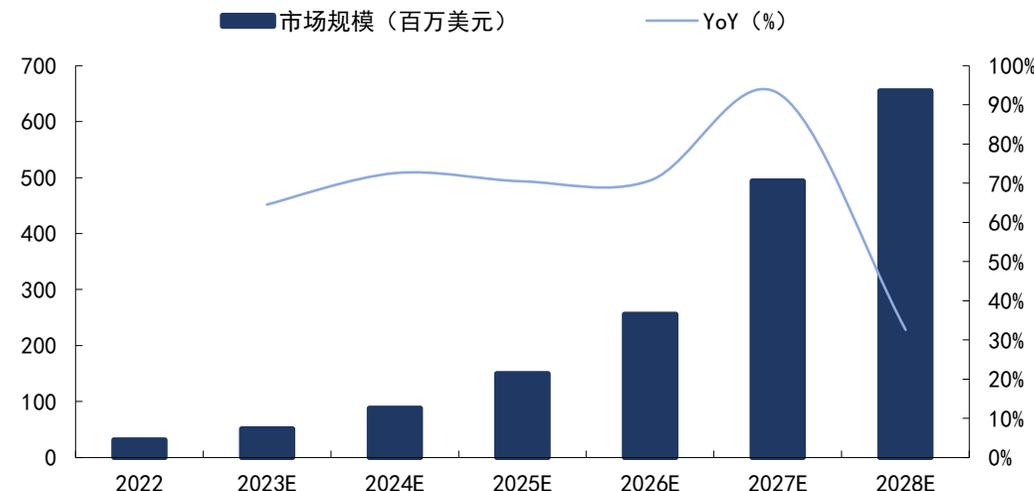
◆ 总体来看，预计对应Serdes速率达到200G的51.2T及以上速率的交换机中，CPO技术有望加速应用。根据LightCounting预测，预计CPO技术将主要在SerDes速率提升到200G时对应的51.2T及以上速率交换机中应用。对应光模块方面，Yole预测2025年CPO/NPO/OPO方案合计对应市场规模约1.5亿美元，2028年提升至6.6亿美元。

图 57：25.6T、51.2T及102T交换机CPO出货量（万台）



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

图 58：OPO/NPO/CPO 对应光模块市场规模预测（百万美元）

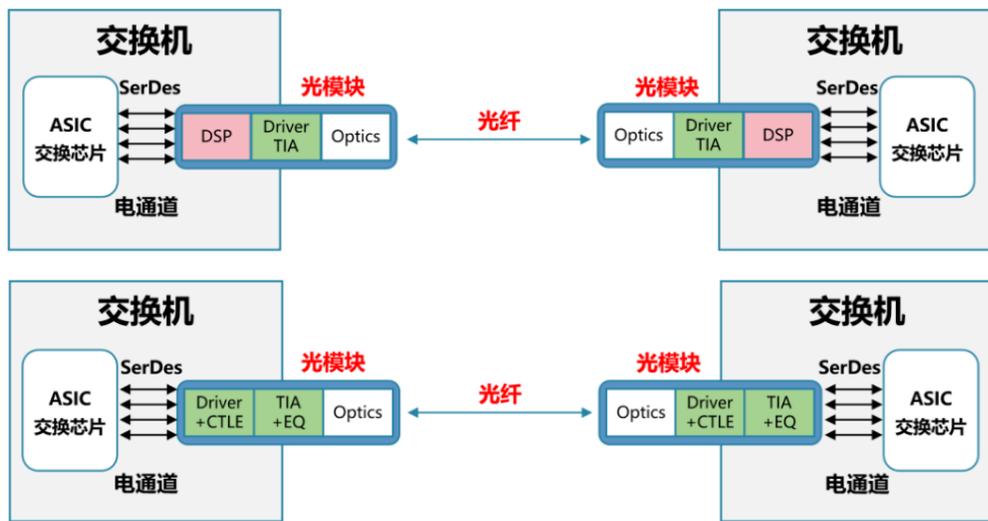


资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

LPO：当前光模块降本、降功耗路径之一

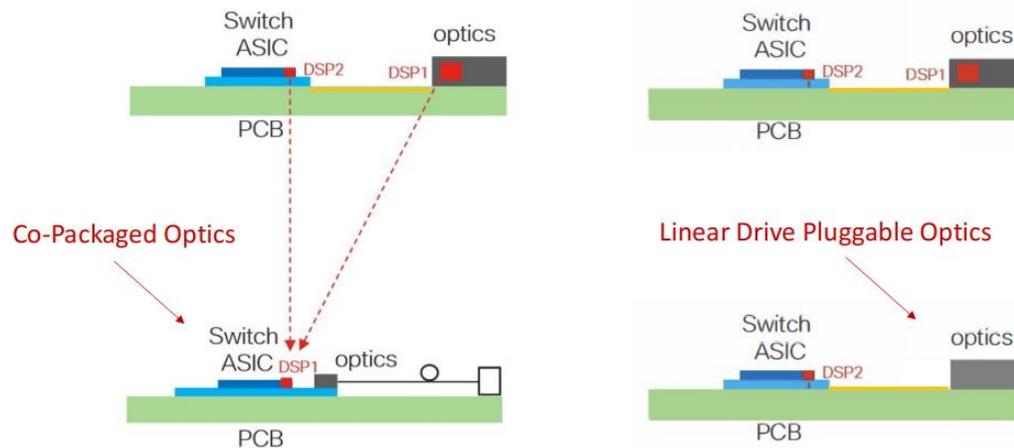
◆ LPO（linear drive pluggable optics，线性驱动可插拔光模块）主要通过线性直驱技术替换传统的DSP。LPO方案将光模块中的DSP/CDR芯片取消，相关功能集成至设备侧的交换芯片中；光模块内仅保留高线性度的Driver（驱动芯片）和TIA（Trans-Impedance Amplifier，跨阻放大器），并分别集成CTLE（Continuous Time Linear Equalization，连续时间线性均衡）和EQ（Equalization，均衡）功能，用于对高速信号进行一定程度的补偿。从降低功耗原理来说，LPO一定程度类似CPO，都是通过取消光模块中的DSP，代之以直接驱动或线性驱动，来降低功耗。差别在于LPO仍将光学器件保留在前面板。

图 59：传统可插拔光模块（上图）和LPO（下图）架构对比



资料来源：鲜枣课堂，国信证券经济研究所整理

图 60：CPO（左图）和LPO（右图）原理对比

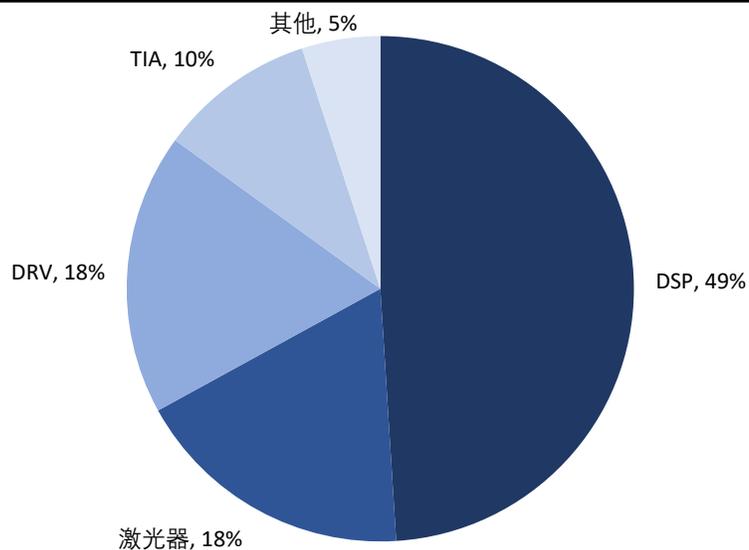


资料来源：Cisco，国信证券经济研究所整理

LPO：可插拔光模块降本、降功耗路径之一

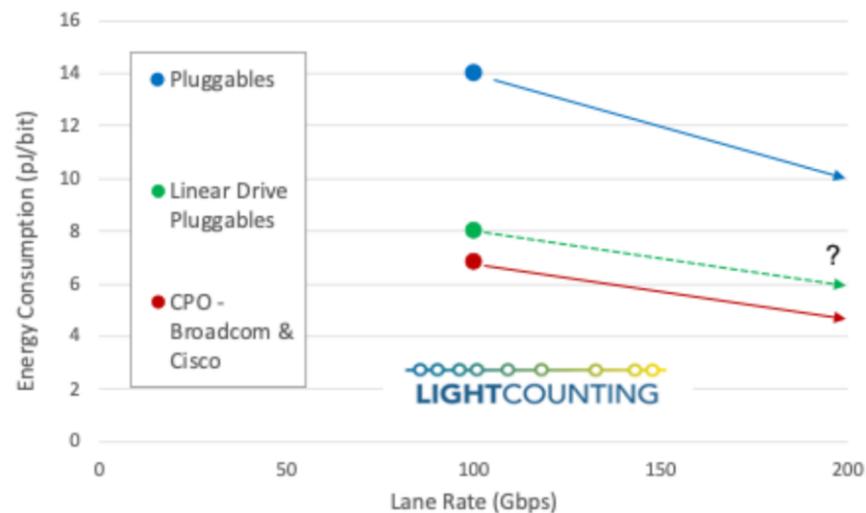
◆ **取消DSP，有助于降低功耗、降低成本。**一方面，DSP功耗占比高，在400G光模块中，7nm DSP功耗约为4W，占到了整个模块功耗的50%左右；另一方面，光模块BOM成本中，DSP占比也较高，虽然Driver和TIA里集成了EQ功能导致成本略有提升，但取消DSP整体仍有助于降低系统成本。

图 61：400G光模块功耗占比



资料来源：鲜枣课堂，国信证券经济研究所整理

图 62：LPO方案功耗也显著低于传统可插拔方案



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

硅光：利用CMOS工艺制造光器件

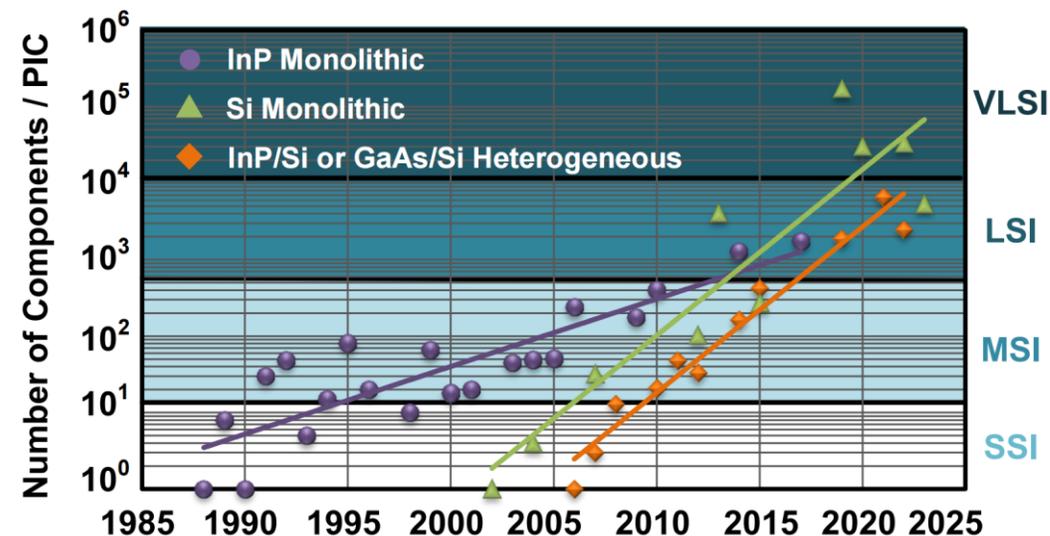
- ◆ 现有光子集成技术所采用的基底材料主要包括硅或硅基材料（Si、SiO₂、SiGe）、III-V族化合物（InP/GaAs）、铌酸锂（LiNbO₃）等，硅光子技术即基于标准硅制造的硅衬底材料，利用半导体晶圆材料可延展特性，采用CMOS等工艺应用于光电一体集成器件制造。其物理架构由硅衬底激光器、硅衬底光电集成芯片、光纤等辅助物料封装构成。
- ◆ 硅基材料应用的核心目的是利用成熟的CMOS工艺降低成本，因此硅光对比InP等其他衬底材料，主要优点在于可通过CMOS工艺集成更多光器件，从而降低后续工艺步骤，实现更低成本和功耗。

表 7：不同材料应用对比

	InP	SiPh	SiN	SiO ₂	LiNbO ₃
被动元件	++	++	+++	+++	混合
偏振元件	++	++	++	混合	混合
激光器	+++	混合	混合	混合	混合
调制器	+++	++	+	混合	++++
交换芯片	++	++	+	+	混合
光放大器	+++	混合	混合	混合	混合
探测器	+++	++	混合	混合	混合
优点	最适合激光器集成	价格便宜，工艺成熟，适合进行光电集成	低成本、小尺寸	低损耗、低成本	具有非常好的调制性能
缺点	无法实现大规模集成（产出低）	激光发射效率很低	材料性能与工艺高度关联	缺少主动功能	传统铌酸锂尺寸较大，需薄膜铌酸锂

资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

图 64：光子集成技术（PIC）所集成的器件数量

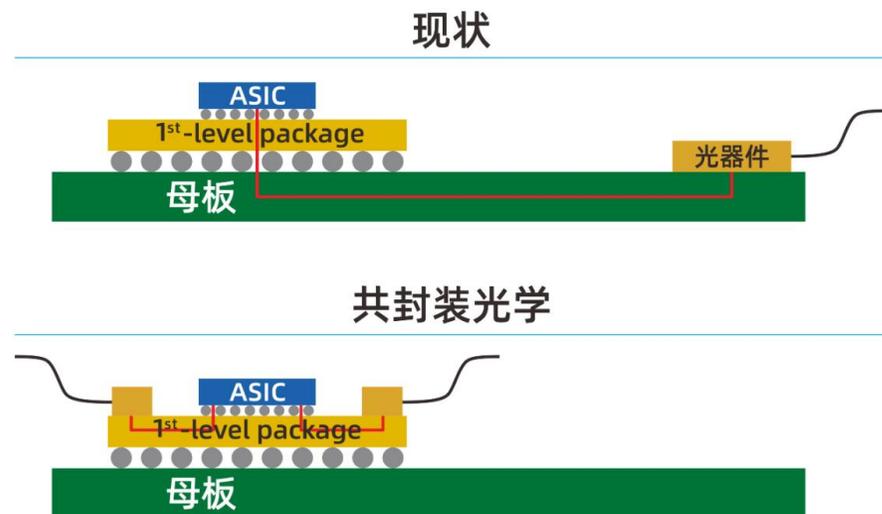


资料来源：Shekhar S, Bogaerts W, Chrostowski L, et al. Silicon photonics--roadmapping the next generation[J]. arXiv preprint arXiv:2305.15820, 2023., 国信证券经济研究所整理

硅光：CPO光引擎最佳产品形态

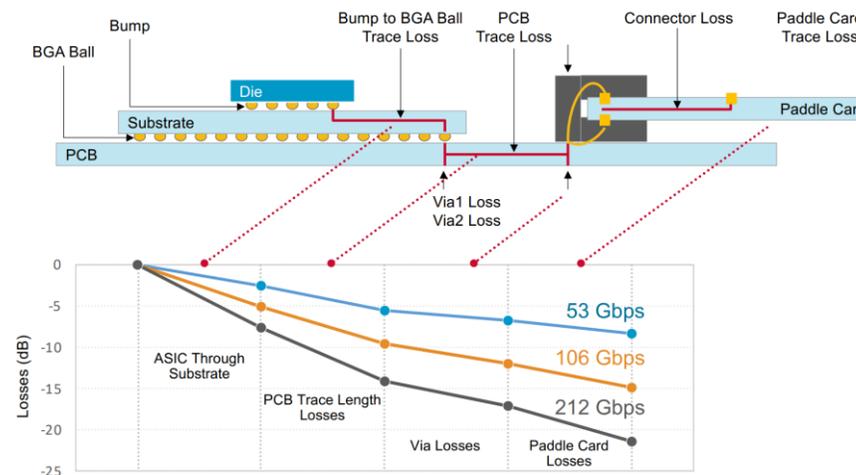
◆ 如前文所述，CPO旨在将光学器件和ASIC芯片直接封装成片上系统，实现更高密度的光电集成和更高性能的光通信系统。硅光是CPO交换机中光引擎的最佳产品形态，也是未来硅光在数通最具潜力的应用场景——CPO技术是通过硅光子实现光学I/O，而采用硅光技术可以轻松突破现有带宽的瓶颈。

图 65：硅光模块的CPO封装



资料来源：易飞扬通信，国信证券经济研究所整理

图 66：SerDes速率提升，铜I/O接口损耗加大，光学I/O有望突破瓶颈



资料来源：Broadcom，国信证券经济研究所整理

硅光：光源集成为难点，产业界形成多种路线

- ◆ 硅基材料本身发光效率较低，光源集成是硅光技术的难点，针对此，目前产业界和学术界探讨了几种硅光的光源集成方案：
 - (1) 混合集成（下图a-d）：硅光与激光器的集成在封装阶段实现，目前大部分硅光技术都是采用的该方案。一个常见方案的是将片外激光器通过空间光学（free space optics, FSO, 包含透镜、隔离器等空间光学元件）、光学引线键合技术（PWB, photonic wire bonding）等耦合方案，借助硅光芯片上的边缘或者光栅耦合器，实现激光器到硅光芯片的光耦合。
 - (2) 异质集成（下图e）：将不同材料在同一颗die内集成，集成在芯片制造过程中实现。典型方案是Intel，其将III-V材料通过异质集成的方式加工到硅光芯片上，接着再对III-V材料进行刻蚀，形成激光器。
 - (3) 单片集成（下图f）：直接在硅基上外延生长III-V材料，形成量子点激光器。

图 67：硅光的不同集成模式

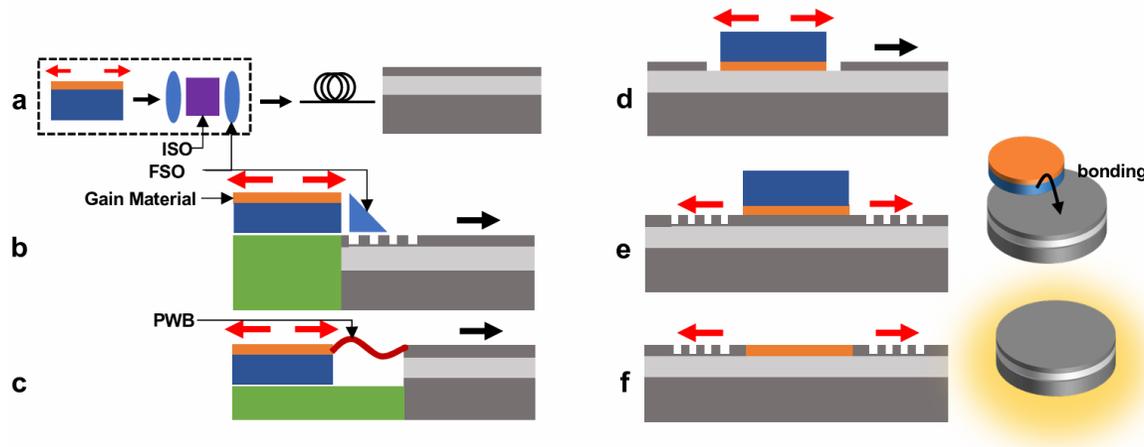


表 8：不同硅光集成方案对比

	混合集成 (FSO)	混合集成 (PWB)	混合集成 (覆晶/转印)	异质集成	单片集成
耦合损耗	>2dB	>2dB	1dB	1dB	很少
输出功率	高	高	中	中	低
偏振控制	需要	不需要	不需要	不需要	不需要
热管理	简单	简单	偏难	难	中等
线宽损耗	好	好	好	最佳	好
封装尺寸	中等	中等	小	非常小	非常小
使用PIC面积	否	否	是	是	是
成本	激光芯片die、封装、耦合 Die	激光芯片die、封装、耦合 Die	激光芯片die、封装、耦合 Die	规模越大、成本越低	规模越大、成本越低，无III-V基底
测试	Wafer	Wafer	Wafer	Wafer	Wafer
封装方案	选择性能表现良好的芯片进行封装	选择性能表现良好的芯片进行封装	选择性能表现良好的芯片进行封装	若出现问题，整体芯片为次品	若出现问题，整体芯片为次品

资料来源：Shekhar S, Bogaerts W, Chrostowski L, et al. Silicon photonics--roadmapping the next generation[J]. arXiv preprint arXiv:2305.15820, 2023., 国信证券经济研究所整理

资料来源：Shekhar S, Bogaerts W, Chrostowski L, et al. Silicon photonics--roadmapping the next generation[J]. arXiv preprint arXiv:2305.15820, 2023., 国信证券经济研究所整理

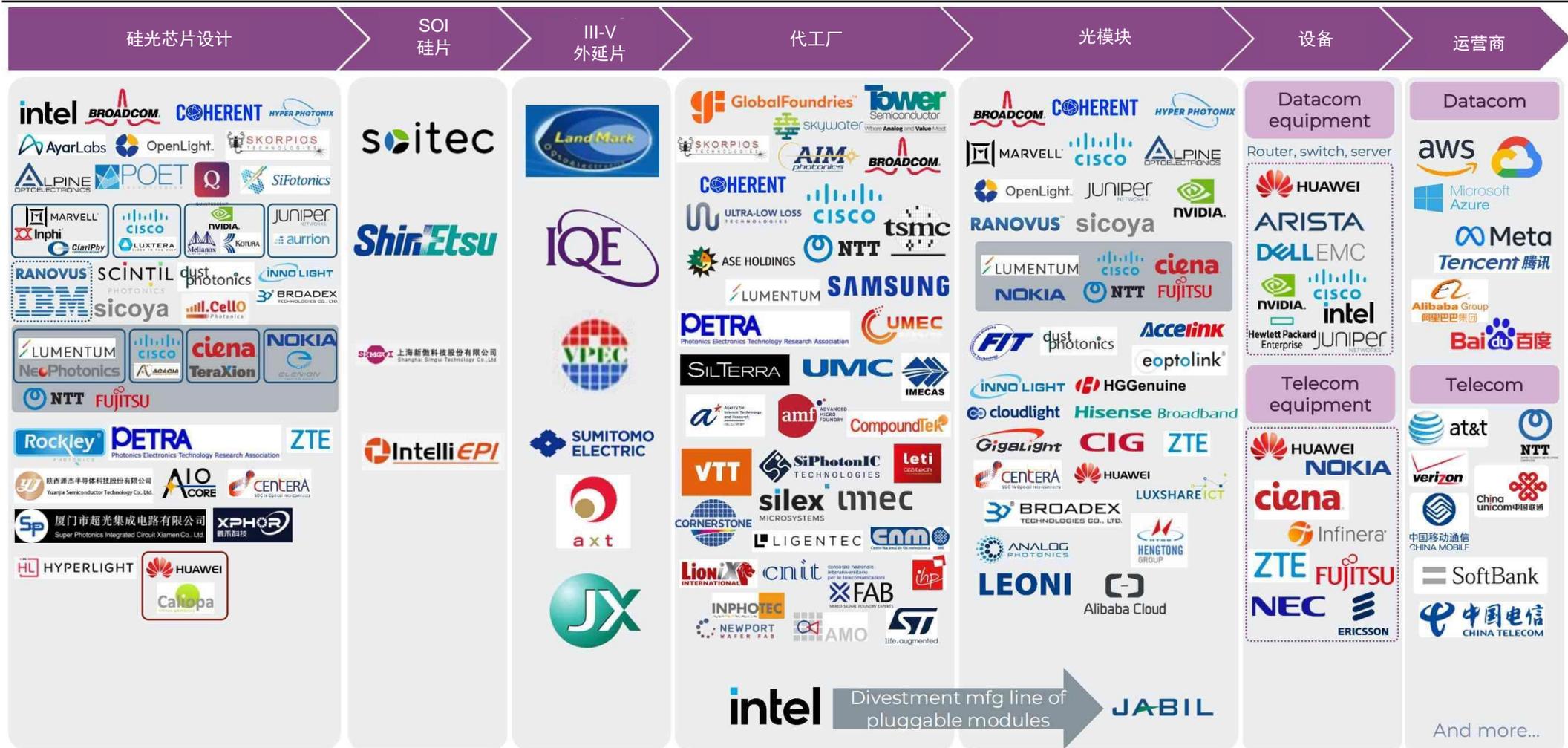
◆ CW光源扩大功率以提升分支比，可降低激光器用量，进一步减少成本。目前，400G DR4/800G DR8硅光方案采用70mW CW光源，分支比为1:2，即400G（4通道）采用2个CW光源、800G（8通道）采用4个CW光源。后续趋势来看，分支比扩大能够减少激光器用量，进一步降低成本，关注后续大功率CW光源产业进度及供应商情况。

表 9：外置CW光源理论功率需求测算（400G DR4/FR4）

	DR4		FR4	
	损耗 (dB)	输出功率 (dBm)	损耗 (dB)	输出功率 (dBm)
ELS总输出功率		18.5		18.5
内部光接口	0.5	18.0	0.5	18.0
保偏光纤与引擎的输入耦合	2.0	16.0	1.8	16.2
偏振相关	0.4	15.6	0.4	15.8
分支比, 1:4	6.0	9.6	6.0	9.8
片上无源波导损耗	0.5	9.1	0.5	9.3
调制器OMA损耗	6.0	3.1	6.0	3.3
合波器损耗			0.5	2.8
Tx发射端与光纤耦合	2.0	1.1	1.8	1.0
输出光接口	0.5	0.6	0.5	0.5
前面板接口	0.5	0.1	0.5	0.0
TP1		0.1		0.0
TP2需求, 802.3(TDECQ1.4dB)		-0.8		-0.8
余量(dB)		0.9		0.8
换算为功率		18.5dBm = 70mW		18.5dBm = 70mW

资料来源：菲魅通信，国信证券经济研究所整理

图 70：硅光产业链一览

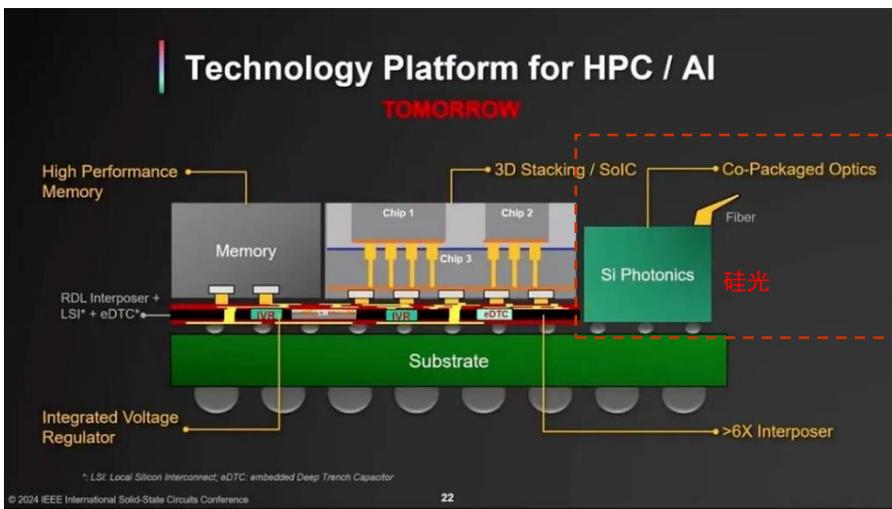


资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

硅光：AI有望驱动数通市场加速应用

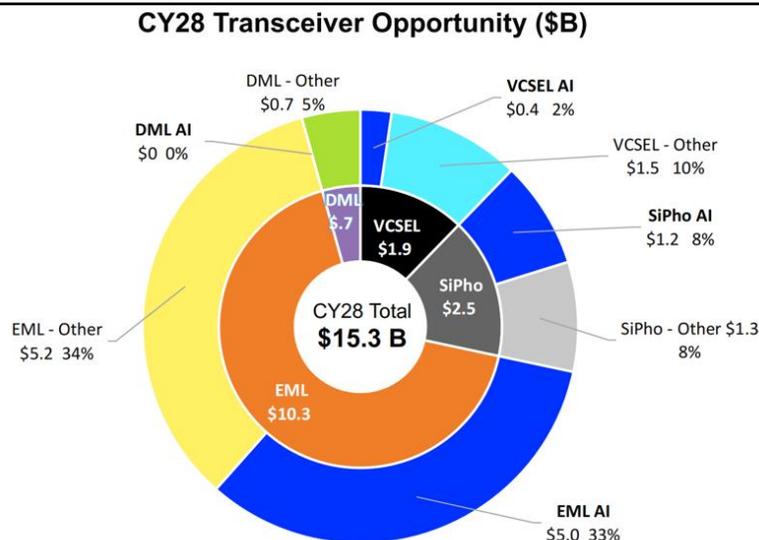
- ◆ **AI有望驱动数通市场加速应用硅光。**硅光是光I/O应用的基础，台积电未来有望将硅光技术导入CPU、GPU等运算制程当中，内部的电子传输线路更改为光传输，正与博通、英伟达等大客户联手开发硅光及CPO光学元件等新品。目前数通市场中，Intel和Luxtera（Cisco）的100G硅光模块已有大规模应用，根据中际旭创公告，预计2024年400G、800G的硅光模块都有机会进一步放量和扩大出货比例，1.6T和相干光模块等应用场景都会有硅光方案的广泛应用。
- ◆ **市场规模方面，**据Yole预测，预计硅光模块2022年市场规模约为12.4亿美元，2028年市场规模合计达72.4亿美元；另据Coherent预测，2023年硅光对应数通光模块市场规模约8亿美元，预计2028年硅光市场规模达25亿美元，2023-2028年CAGR为25.6%，其中AI相关硅光模块市场规模约12亿美元。

图 71：CPO与硅光被台积电列为下一代AI技术平台的核心技术之一



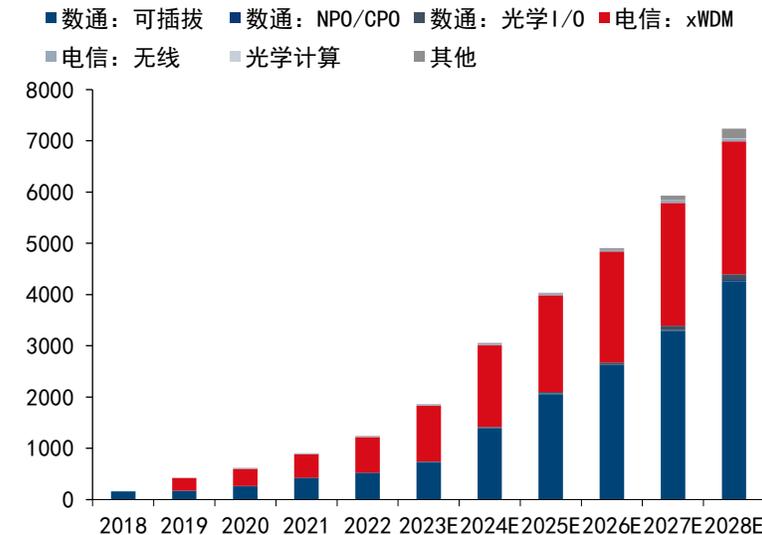
资料来源：台积电，国信证券经济研究所整理

图 72：数通光模块市场规模预测（十亿美元，按激光器类型）



资料来源：Coherent，国信证券经济研究所整理

图 73：硅光市场规模预测（百万美元）

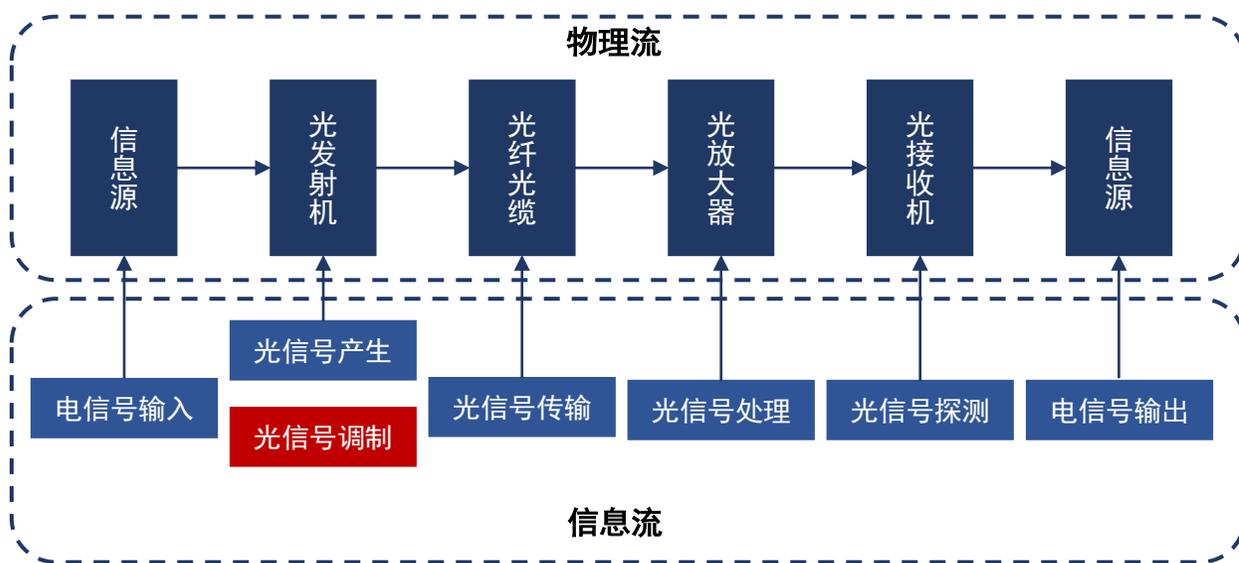


资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

薄膜铌酸锂：高速调制器新材料

◆ 目前，电光调制器的制备可分为硅光调制器、磷化铟、铌酸锂调制器三类。其中，硅光调制器主要是应用在短程的数据通信用收发模块中，磷化铟调制器主要用在中距和长距光通信网络收发模块，铌酸锂电光调制器主要用在100Gbps以上直至1.2Tbps的长距骨干网相干通讯上。由于铌酸锂材料和工艺原因，传统铌酸锂调制器的尺寸大小无法缩小。而薄膜铌酸锂调制器较传统的铌酸锂调制器具有成本低、尺寸小、可批量化生产、CMOS工艺兼容、光损耗低、能耗低等优点，有望成为主流的铌酸锂调制器产品类型。

图 74：光调制器是光通信系统的重要环节



资料来源：《中国光电子器件产业技术发展路线图（2018-2022年）》，国信证券经济研究所整理

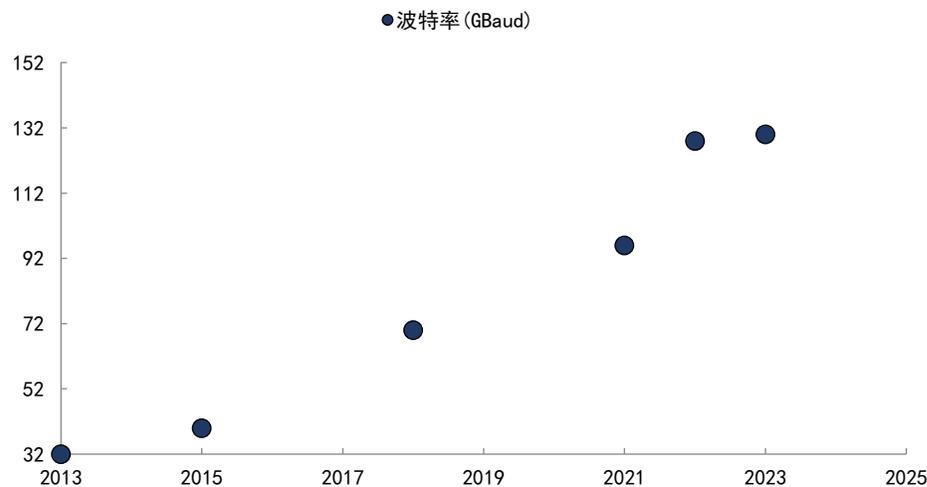
表 10：电光调制器技术路线及适用场景对比

技术路线	技术特点	局限性	应用场景
铌酸锂	起步较早，高调制带宽，良好消光比和优越的器件稳定性，但是设计难度大，工艺较为复杂，在设计、制造、封装等环节均存在较高门槛。	器件的尺寸相对较大，集成后较难应用于一些小尺寸器件中	高速高带宽的长距离通信调制器
硅光	利用已有的微电子技术在大规模CMOS集成。具有低耗能、低成本等优势，在硅光上集成光传输通道的工艺难度相对较低。	耦合插损大、光源集成难度高、温度敏感、偏振敏感	短程数据通信用收发模块中
磷化铟	具有较高的电场漂移速度，良好的热导特性和较强的抗辐射能力，半绝缘磷化铟衬底主要应用于光电集成电路(OEIC)、高电子迁移率晶体管(HEMT)以及异质结器件(HBT)等。	成本高、良率低、功耗高、偏振器件无法集成	中长距离光通信网络收发模块中

资料来源：讯石光通讯，国信证券经济研究所整理

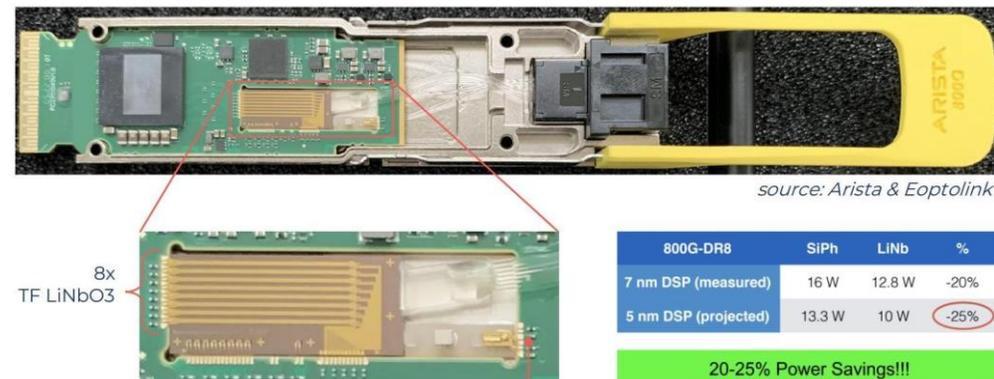
◆ 调制器的性能不仅决定了发射光信号的码率、质量和传输距离，并且也是影响基光模块尺寸和功耗的关键因素，是光通信系统的重要环节。InP调制器，从2013年到2023年，波特率从32GBd到128GBd（或130GBd），十年时间波特率只提高了四倍；对比来说，铌酸锂材料具有更高带宽优势，进入单波200/400G速率时期，对于800G/1.6T以上的高带宽网络，薄膜铌酸锂体材料的性能优于磷化铟。

图 75：InP调制器波特率



资料来源：菲魅通信，国信证券经济研究所整理

图 76：薄膜铌酸锂调制器用于光模块示例



资料来源：Arista, Yole, 国信证券经济研究所整理

四、竞争格局：国内厂商领先，龙头厂商核心受益AI

国内厂商已占据领先地位

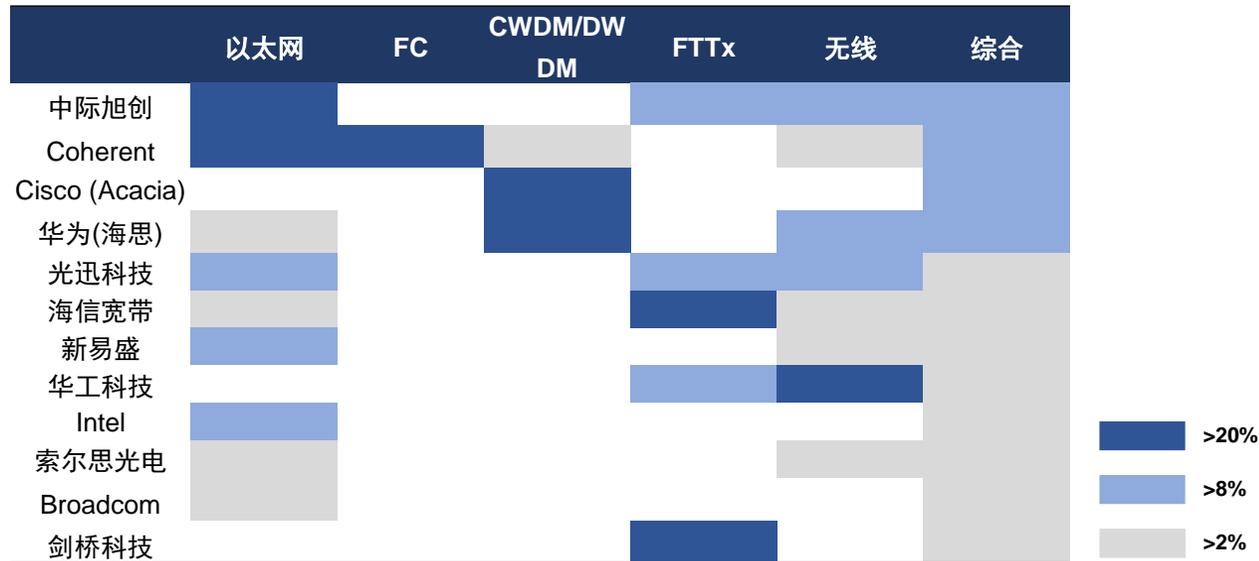
- ◆ **国内厂商已占据领先地位。** 10G时代以北美光模块厂商为主，40G时代，中际旭创和AOI崛起；100G时代，北美传统光模块厂商份额下滑，国内光模块企业崛起。根据LightCounting数据，2021年，在全球前十名的光器件和模块供应商中，中国供应商的营收超过了西方竞争对手的营收，2022年-2023年，这一差距进一步扩大，国内厂商已占据全球领先地位。
- ◆ **细分场景来看，**以太网光模块市场中，中际旭创、Finisar份额均超过20%，新易盛、光迅科技、Intel等紧随其后。
- ◆ **国产厂商崛起原因分析：**（1）欧美日光模块厂商起步较早，专注于芯片和产品研发，部分厂商剥离低毛利的光模块业务，制造生产封装端产能逐步向以中国、东南亚地区转移；（2）国内光模块厂商依托劳动力成本、市场规模以及电信设备商扶持等优势，在光模块封装、测试等环节积累了大量实践经验，以中际旭创和新易盛为代表的国内厂商在竞争中取得份额突破，积极扩建产能；（3）云厂商采购模式变化和封装工艺的变化，带来行业洗牌机会。

表 11：2010-2022年光模块市场前十大厂商变化

序号	2010	2016	2018	2022
1	Finisar	Finisar	Finisar	中际旭创
2	Opnext	海信宽带	中际旭创	&Coherent
3	Sumitomo	光迅科技	海信宽带	Cisco (Acacia)
4	Avago	Acacia	光迅科技	华为(海思)
5	Source Photonics	FOIT (Avago)	FOIT (Avago)	光迅科技
6	Fujitsu	Oclaro	Lumentum/Oclaro	海信宽带
7	JDSU	中际旭创	Acacia	新易盛
8	Emcore	Sumitomo	Intel	华工科技
9	WTD	Lumentum	AOI	Intel
10	NeoPhotonics	Source Photonics	Sumitomo	索尔思光电

资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

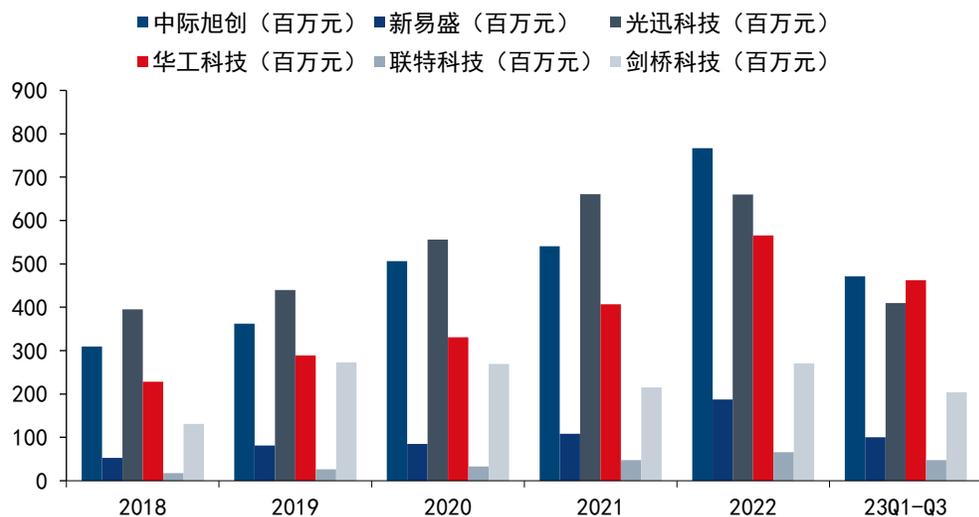
表 12：2022年不同领域光模块厂商份额（前十二名）



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

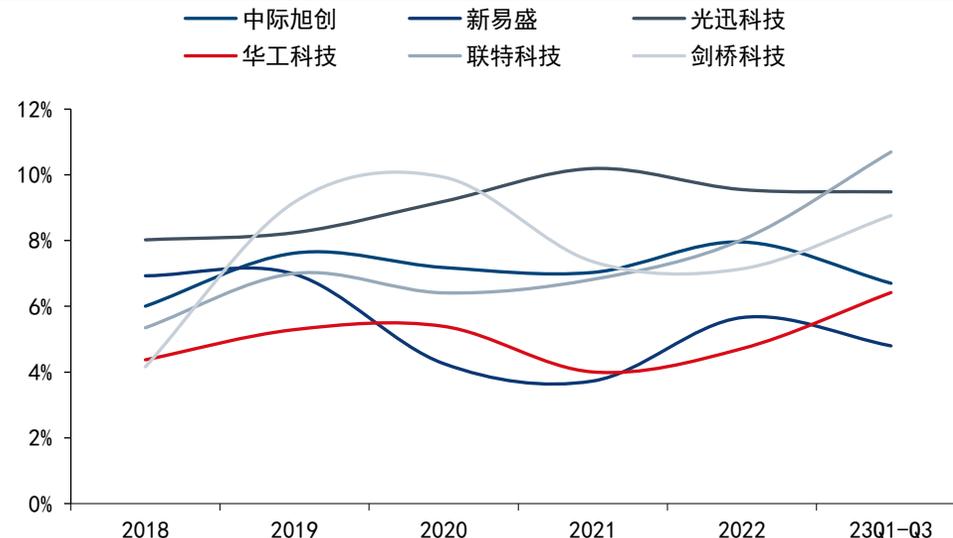
◆ 光模块厂商需要持续研发投入从而抓住代际升级新品机遇，实现扩大并巩固市场份额。对下一代际产品的前瞻布局 and 研发、新技术的储备和预研，都需要光模块厂商持续投入研发。头部厂商具备雄厚的研发实力和再投入意愿，在代际升级时往往取得最大的行业红利，进一步巩固优势。

图 77：国内部分光模块厂商研发费用（百万元）



资料来源：Wind，公司公告，国信证券经济研究所整理

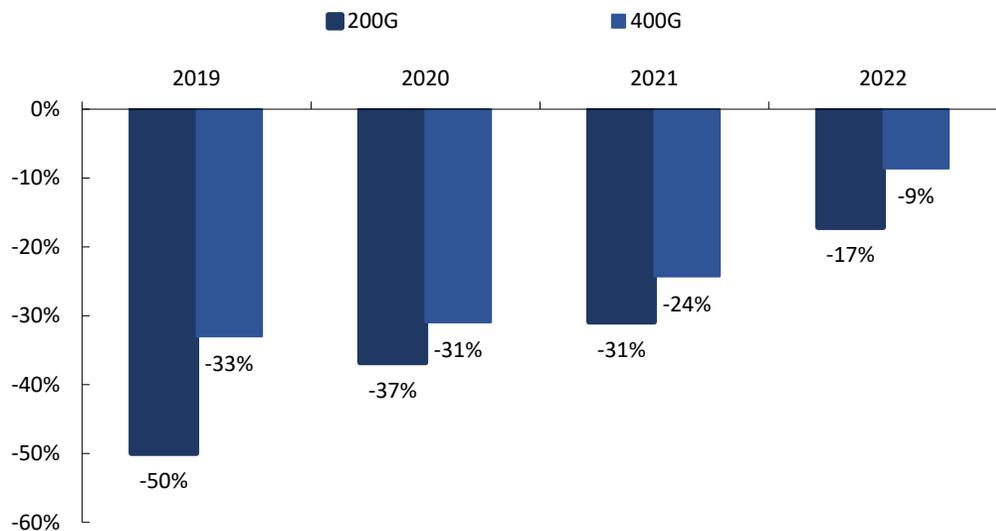
图 78：国内部分光模块厂商研发费用占收比 (%)



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

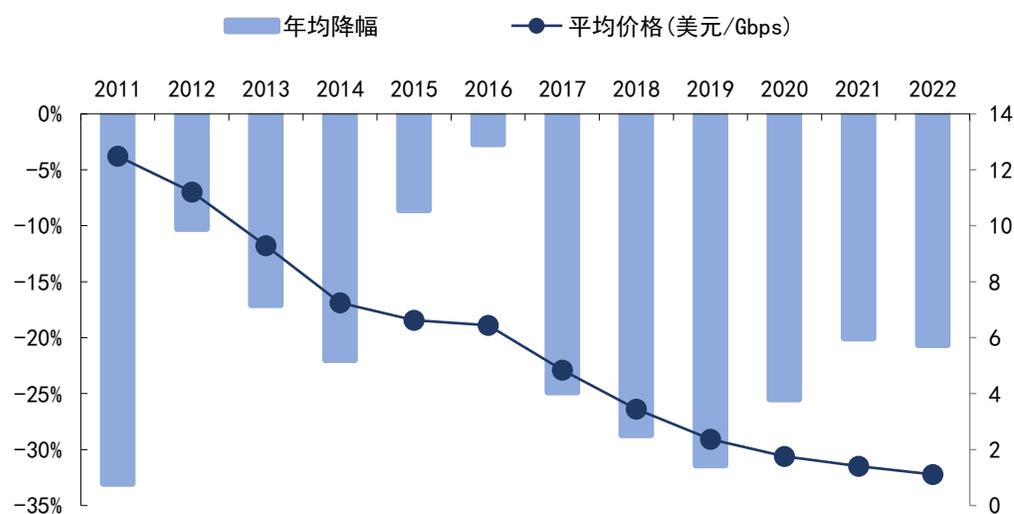
- ◆ 由于光模块价格存在年降，先进入者具备规模效应优势。光模块价格受摩尔定律影响，光模块进入量产后，芯片价格和光模块价格快速下降。例如100G光模块自2016年开始规模化出货，2017/2018/2019/2020年的价格年降幅分别为25%/39%/37%/23%；400G光模块2020-2021年平均出货价格的年降幅度分别为31%/24%。
- ◆ 因此先进入者由于在规模上具备优势，能够更快降低供应链成本、提高生产良率。

图 79：2019-2022年200G和400G光模块价格年降幅度（%）



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

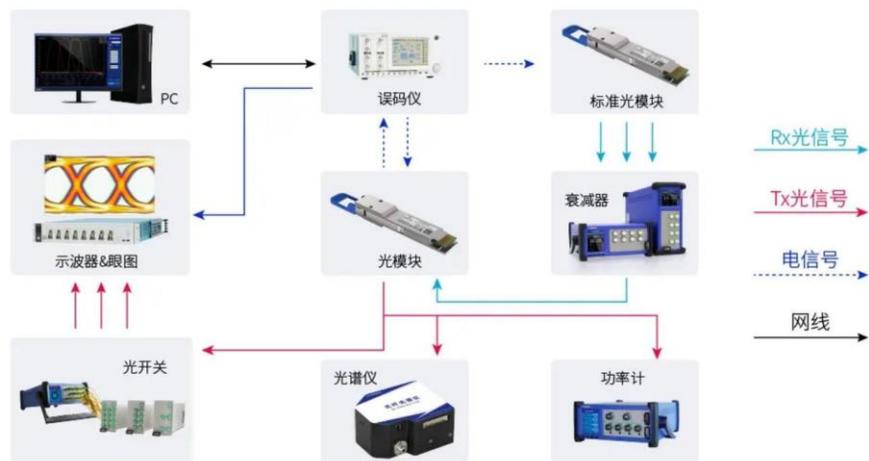
图 80：光模块单位带宽成本（美元/Gbps）及年均降幅



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

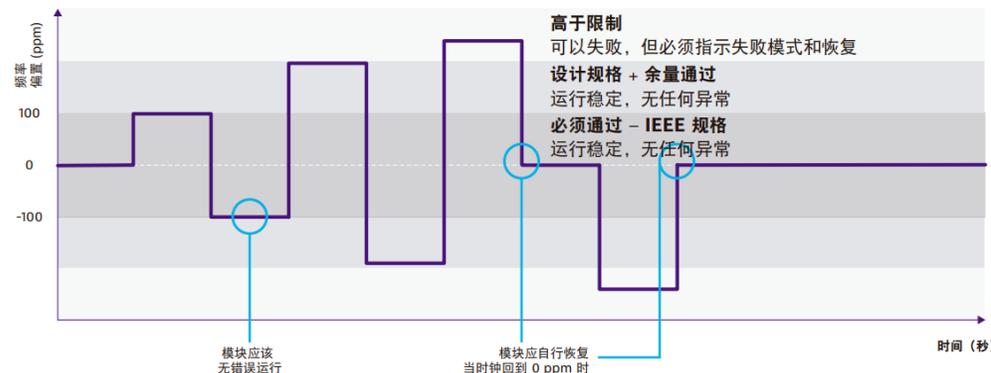
◆ 应用不同厂商的光模块需要后期调试，单一客户仅会选择有限的供应商且不会频繁更换，形成较高的客户认证壁垒和客户黏性。光模块的标准虽然很统一，但即便同款规格的光模块产品，不同的厂商在同样的设备中使用都会有不一样的性能表现，存在兼容性问题。因此新供应商导入往往需要经历送样-验厂等多个环节、较长时间的审核（认证周期通常需要1年左右时间），终端客户相对来说会控制光模块供应商数量（一般控制在3-4家），更换频次较低，形成客户黏性。

图 81：光模块发光&收光测试



资料来源：维度科技，国信证券经济研究所整理

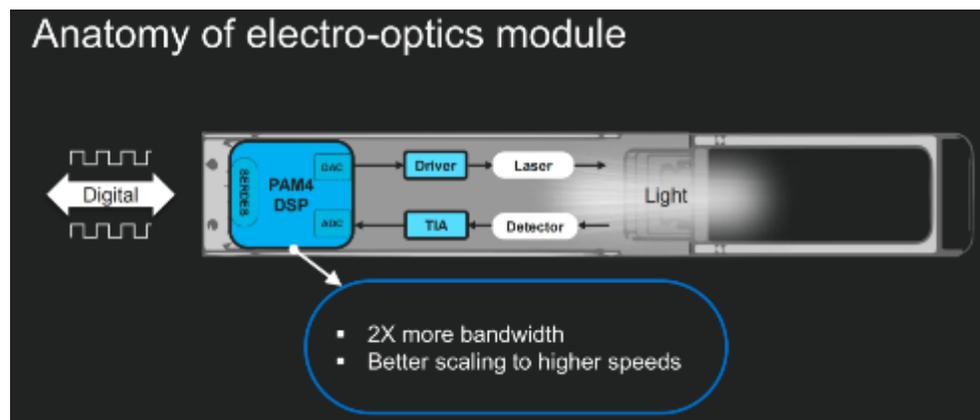
图 82：800G光模块频率的阶跃变化测试



资料来源：Viavi，国信证券经济研究所整理

◆ 龙头厂商凭借规模优势、良好的供应链合作关系，更易取得上游供应链的支持。高速光模块核心上游元器件包括光芯片、电芯片等，以800G光模块为例，其采用的激光器包括VCSEL、EML等，核心电芯片为PAM4 DSP产品。随着高速光模块需求快速放大，部分上游核心芯片产能紧缺。同时上游芯片厂商格局相对集中，例如光芯片中高速VCSEL芯片主要由博通供应；电芯片方面，PAM4 DSP目前主要供应商为Marvell（Inphi）、博通等，呈现双寡头竞争局面。因此物料供应一定程度成为瓶颈，如据剑桥科技此前公告，800G多模光模块所采用的VCSEL芯片此前面临供应紧缺。

图 83：800G光模块主流技术方案（带DSP）



资料来源：Marvell，国信证券经济研究所整理

表 13：部分800G PAM4 DSP芯片对比

厂商	Marvell	Broadcom	Credo	MaxLinear
产品	Spica Gen2	Cygnus	Dove 80x	Keystone
发布日期	2022-12-8	2023-03-06	2022-08-29	2021-06-01
集成	Drivers	Drivers & TIAs	Drivers	Drivers
制程	5nm CMOS	5nm CMOS	12nm CMOS	5nm CMOS
功耗	<12W	<11W	-	<15W

资料来源：公司公告，讯石光通讯，国信证券经济研究所整理

◆ 头部厂商具有产能优势，同时全球政治经济格局变化下，建议关注国内厂商的海外产能布局。光模块作为中游制造产业，在当前全球政治经济格局下，国内厂商的海外产能有望为后续供应链安全提供保障。

表 14：部分国内光模块光器件厂商海外产能布局

公司名称	国家或地区	海外产能布局
中际旭创	泰国	根据公司泰国工厂已投产，主要生产400G、800G等高速产品。
新易盛	泰国	公司泰国工厂一期工程已建设完成，目前已具备量产条件；泰国工厂二期工程已开始设计施工阶段，预计24年建成。
光迅科技	马来西亚	马来西亚子公司泛太科技在2023年11月17日举行了开业典礼，已建成投产，据了解，目前生产以无源产品为主
华工科技	马来西亚	2022年马来西亚槟城设立工厂，22Q4已向主要客户发货，目前月产能近10万只，主要为25G、50G、100G、200G产品。同时，数据中心产品加快在海外的制造布局主要做100G到400G/800G的产品。
剑桥科技	马来西亚	公司计划扩大马来西亚产能，规划2024年要达到100-150万只光模块产能，以高速率为主。
联特科技	马来西亚	公司通过马来西亚子公司布局建设海外生产制造基地，预计2024年达到建成投产，将新增年产能111.76万支光模块。
天孚通信	泰国	公司在泰国已经购置土地，目前正在建设厂房，计划分期交付使用，首期厂房预计在2024年第一季度投入使用

资料来源：公司公告，讯石光通讯，国信证券经济研究所整理

AI市场格局：龙头厂商有望核心受益，头部份额或有集中

- ◆ 基于上述先发优势分析，AI时期头部厂商份额有望提升。据LightCounting数据，全球光模块市场中Top3份额自2010年起逐步提升，2022年Top3份额为43%；近期来看，Coherent和中际旭创显著受益AI发展带来的800G等光模块需求。根据公司公告，中际旭创2023年四季度预计实现归母净利润7.0-10.0亿元，以中值计算，归母净利润同比增长129.9%、环比增长25.2%，LightCounting估算其对应收入有望突破5.05亿美元；Coherent四季度通信业务实现收入5.20亿美元（环比+13%，同比-13%），其中数通市场实现3.58亿美元（环比+10%，同比+7%），其中800G收入连续增长超过100%，超过了1亿美元的季度门槛。
- ◆ AI催化下，光模块整体市场有望复苏，LightCounting预计市场将在2024年第二季度开始复苏，AI核心受益的头部厂商份额有望进一步提升。

图 84：光模块市场竞争格局变化（%）

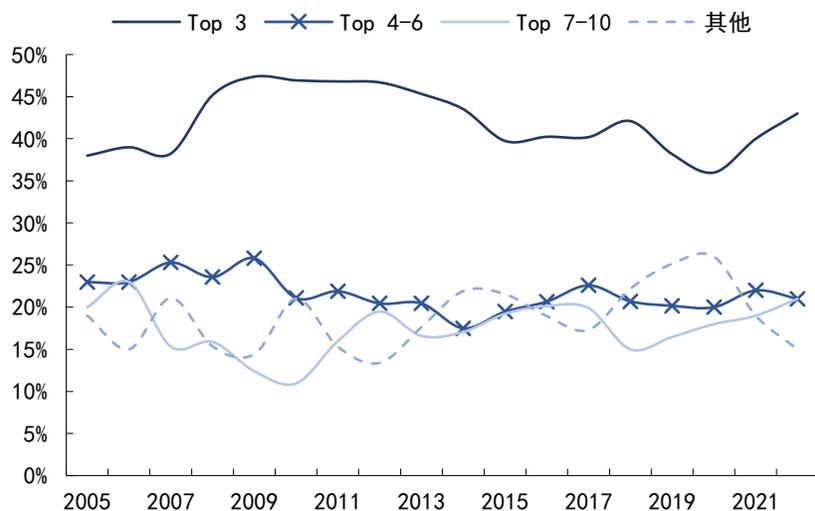
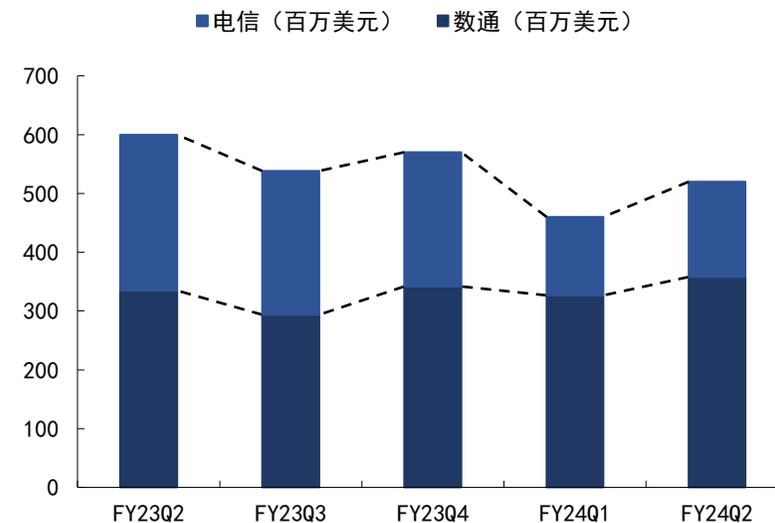


图 85：中际旭创单季度归母净利润（百万元）及增速



图 86：Coherent通信板块单季度营业收入（百万美元）



资料来源：LightCounting，国信证券经济研究所整理

资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理；注：2023年四季度归母净利润基于业绩预告中值计算

资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

技术变革是引起格局变化的动力之一

- ◆ 历史来看，光模块每一代技术升级往往伴随技术路径的演化，引导竞争格局变化。例如10向40G升级过程中，并行封装取代单通道封装、气密封装转向非气密性封装；又如100G时代，Intel凭借硅光方案在市场开始占据一席之地——据LightCounting，2018年Intel光模块份额位居全球第八。因此对于光模块厂商，需要持续研发投入从而抓住代际升级新品机遇，实现扩大并巩固市场份额。
- ◆ 除技术升级外，上游芯片格局、下游客户采购模式的变化也对竞争格局变化起到推动作用：（1）芯片格局方面，100G时代电芯片的供应商较多，光芯片的供应格局影响光模块供应格局。400G时代，使用DSP进行调制的PAM4技术成为主流方案，DSP芯片的供应商以Inphi和Broadcom为主，与上游芯片厂商有较好合作的光模块厂商明显受益。国内的光模块厂商通过投资或与大客户深度绑定的方式获取芯片供应资源。如光迅科技收购法国 Almae、昂纳科技收购法国 3SP、中际旭创设立光电芯片产业基金、亨通光电参股英国 Rockley 等。（2）客户采购模式方面，40G时代云厂商采购模式从“设备商捆绑采购”向“直采模式”变化，也推动光模块市场格局发生变化。

表 15：技术升级伴随的光模块市场格局变化及影响因素

	10G	40G	100G	400G
光模块市场格局变化	北美厂商为主	北美厂商为主； 国产厂商份额有所提升	北美传统光模块厂商份额 下滑，Intel凭借硅光方案取 得一席之地； 国内光模块企业崛起，中 际旭创脱颖而出，份额提 升	
上游芯片的市场格局			电芯片的供应商较多，光 芯片的供应格局影响光模 块供应格局	PAM4和DSP应用改变 了400G光模块电芯片供 应格局，DSP芯片的供 应商以Inphi和 Broadcom为主
客户采购模式	设备商捆绑采购	转变为云厂商“直采模式”		
技术路径		并行封装取代单通道封装； 气密封装转向非气密性封装	100G PSM4等硅光方案商 用	PAM4调制技术 用

资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

关注后续LPO、硅光等新技术变化（1）

- ◆ **LPO、硅光等新技术变化或带来产业格局变化。**新技术、新产品的需求上量或带动部分二线厂商更为受益，以LPO为例，目前新易盛、剑桥科技已推出基于LPO技术的800G光模块产品；中际旭创已有LPO相关技术储备和产品开发，且已向海外重点客户推出解决方案和送测。LPO产品需要和交换机厂商进行联调，后续商量后，在产品进度、产业链上下游关系等多方面具备优势的厂商有望更为受益。
- ◆ **硅光模块市场中，数通市场目前以Intel、Cisco(Luxtera)等早先布局的厂商为主，**随着硅光应用加速，具备成本优势、持续研发投入的龙头厂商如中际旭创、Coherent等有望实现份额突破。

表 16：LPO光模块不同厂商布局进度

公司名称	LPO产品布局
新易盛	公司已在2023年3月的OFC 2023期间推出了800G线性驱动可插拔光学器件（LPO）系列产品，公司的800G LPO产品组合包括用于多模和单模应用的模块，目前正在积极推进相关产品的测试和验证工作。
剑桥科技	2023年上半年，光电子事业部开展了多款400G和800G LPO线性直驱光模块产品的研发，其中400G DR4 LPO产品已经完成了和客户交换机的测试
中际旭创	公司已有LPO相关技术储备和产品开发，且已向海外重点客户推出解决方案和送测
华工科技	公司已经具备800G LPO系列产品，并陆续在AI厂家、头部厂家等进行测试。

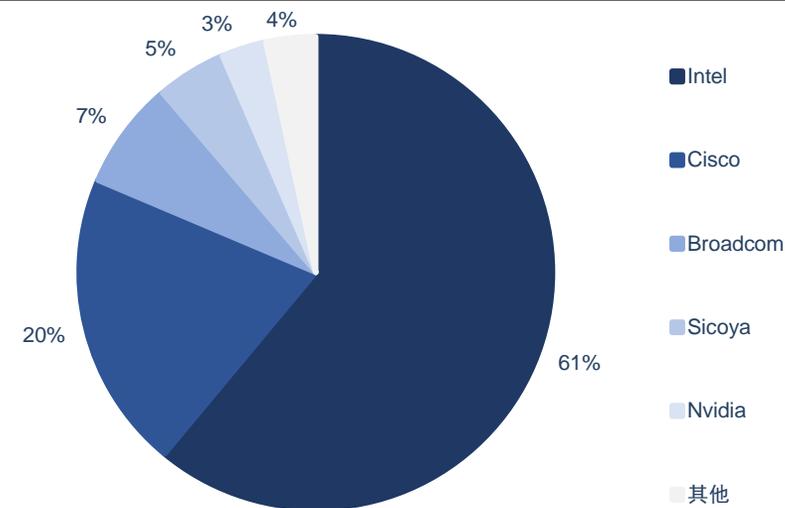
资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

表 17：不同光模块厂商硅光布局情况

公司名称	硅光产品布局
中际旭创	采用自研硅光芯片，400G和800G已有一些型号采用了硅光方案并通过了大客户认证，开始出货。
Coherent	具备自研CW光源能力，硅光芯片在200G/Lane展现良好性能；800G DR8硅光模块产品此前已在ECOC2022上展出。
新易盛	公司收购Alpine（硅光芯片），加强硅光产品布局，已成功发布多款基于硅光方案的高速光模块产品。OFC2023期间展出基于硅光方案的800G光模块。
Intel	英特尔剥离可插拔光模块业务，后续将由Jabil（捷普）接管。但英特尔仍保留了SiP芯片设计和制造能力。英特尔计划继续开发共封装光学器件（CPO），用于服务器到交换机甚至芯片到芯片的互连。

资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

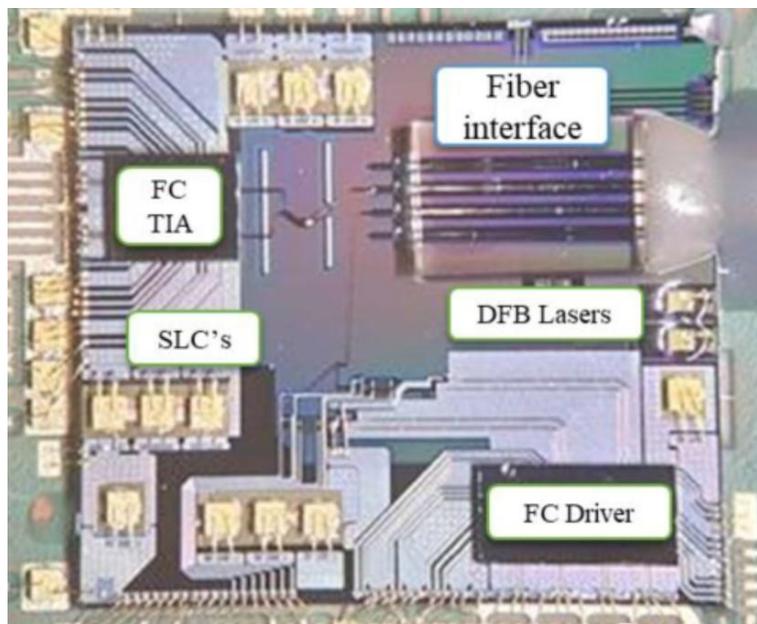
图 87：硅光模块数通市场竞争格局（2022年）



资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

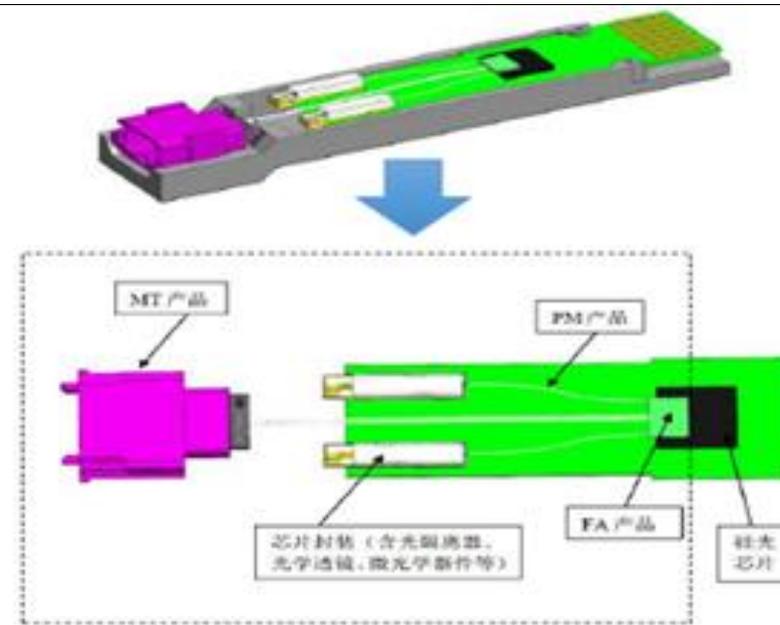
◆ 更长期维度，硅光与CPO方案中光引擎的价值持续体现。光引擎是目前光模块中用于实现光电信号转换的主要部分。中长期维度，硅光技术和CPO结合应用后，可插拔模块的产品形态可能被取代，光引擎被直接移到交换芯片的封装基板上。在这一背景下，集成了大部分光学元件、乃至后续进一步实现激光器片上集成的硅光芯片，通过和电芯片的封装/集成构成的光引擎将成为核心。基于此，建议关注前瞻布局光引擎能力的光器件厂商，以及在光学集成等前道工序具备大规模生产经验基础的领先光模块厂商。

图 88：Marvell 2.5D封装的硅光引擎



资料来源：Marvell，国信证券经济研究所整理

图 89：硅光芯片集成高速光引擎



资料来源：天孚通信官网，国信证券经济研究所整理

四、投资建议

- ◆ 通信能力是算力集群的瓶颈之一，AI大模型的训练对网络架构、网络协议等提出更高要求，向着低时延和高速率方向持续演进，增加高速光模块需求弹性。同时光互连技术也有望引入芯片间互联，光进铜退持续深入。需求侧，受益于全球科技巨头持续加大算力军备竞赛，同时AI应用端逐步落地深入，训练和推理算力需求持续提升，AI成为推动数通光模块市场增长的核心动力。
- ◆ 基于此，持续重点推荐光器件光模块领先企业如【中际旭创】、【天孚通信】、【新易盛】等，建议关注【源杰科技】、【光库科技】等，建议关注【光迅科技】等。

表 18：重点公司盈利预测及估值（截至3月12日）

代码	简称	投资评级	归母净利润（亿元）			EPS（元）			PE			PB	收盘价 (3月12日)	总市值 (亿元)
			2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E			
300308.SZ	中际旭创	买入	2181	4570	6009	2.81	5.69	7.48	58.7	29.0	22.0	9.7	164.85	1,323
300394.SZ	天孚通信	买入	730	1258	1643	1.85	3.19	4.16	72.7	42.2	32.3	17.3	134.48	531
300502.SZ	新易盛	无评级	691	1258	1701	0.97	1.77	2.40	69.2	37.9	28.0	7.2	67.15	477
300620.SZ	光库科技	增持	73	156	222	0.27	0.64	0.91	184.4	78.1	54.9	6.9	49.78	122
688498.SH	源杰科技	无评级	19	98	145	1.16	1.16	1.71	130.0	130.0	87.7	5.6	150.20	127
002281.SZ	光迅科技	增持	582	737	859	0.73	0.93	1.08	55.6	43.8	37.6	4.6	40.66	323

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理和预测；新易盛、光库科技、源杰科技、光迅科技采用Wind一致预期

中际旭创—全球数通光模块领军企业，充分受益AI行业发展



- ◆ **四季度净利润延续环比增长趋势，全年业绩快速增长。** 公司发布2023年业绩快报，2023年实现营收107.3亿元，同比+11.2%；实现归母净利润21.8亿元，同比增长78.2%；实现扣非归母净利润21.2亿元，同比增长104.8%。单四季度来看，预计公司实现营收37.0亿元，同比增长33.1%；实现归母净利润8.9亿元，同比增长138.3%，单季度净利润延续环比增长趋势。总体来看，受益于AI发展带动高速光模块需求释放，公司全年业绩实现快速增长。
- ◆ **800G等高速光模块需求显著增长。** 2023年以来，AI算力需求和相关资本开支带动800G等高速光模块需求显著增长。受益于此，公司产品收入和盈利能力稳步提升，据公司公告，扣除股权激励费用对子公司苏州旭创单体报表净利润的影响之前，预计苏州旭创实现单体净利润约24.8亿元，同比增长86.8%。
- ◆ **技术迭代加速，公司前瞻布局1.6T等新产品。** 多GPU分布式并行训练必须解决服务器间的通信瓶颈，提高网络带宽性能成为AI训练集群的核心关注之一。在AI加速发展背景下，高速光模块技术迭代有望加速，公司前瞻布局1.6T光模块产品，根据此前公告，公司预计在2024年进入送测和验证阶段，在2025年开始上量，满足重点客户在算力和带宽上持续提升的需求。
- ◆ **全球头部光模块地位稳固，充分受益AI需求快速增长趋势。** 全球AI算力侧投入有望持续加码，根据台积电四季度法说会资料，台积电管理层预计AI收入在2027年将占公司收入接近20%的，未来几年AI芯片需求复合增速超50%。根据LightCounting发布的2022年度光模块厂商排名中，中际旭创和Coherent并列全球第一，光模块头部地位稳固，公司有望充分受益行业红利。

- ◆ **公司在高速光模块市场实现批量交付，并成功推出800G光模块产品。**公司目前已成功研发出涵盖5G前传、中传、回传的25G、50G、100G、200G系列光模块产品并实现批量交付，同时是国内少数批量交付运用于数据中心市场的100G、200G、400G高速光模块企业。公司目前已成功推出800G光模块产品系列组合、基于硅光解决方案的400G光模块产品及400G ZR/ZR+相干光模块。经过多年来的潜心发展，公司新产品研发和市场拓展工作持续取得进展，已与全球主流通信设备商及互联网厂商建立起了良好的合作关系。
- ◆ **参股海外公司，积极部署硅光和高速光模块市场。**公司正在收购境外参股公司Alpine Optoelectronics, Inc，通过本次收购，公司将深入参与硅光模块、相干光模块以及硅光子芯片技术的市场竞争。公司力争抓住数据中心市场高速发展及5G网络建设的良好市场发展契机，聚集优势资源持续提升5G相关光模块、100G光模块和400G光模块市场占有率，加速硅光模块、相干光模块、800G光模块产品的研发及商用，实现公司产品和技术升级，进一步巩固提升公司在光通信行业领域中的核心竞争优势，努力成为全球光通信模块、组件和子系统的核心供应商。
- ◆ **股权激励计划发布，彰显未来发展信心。**本次激励计划拟授予总计不超过400万股，占公司总股本的0.563%，其中首次授予338.70万股，预留61.30万股，授予价格均为23.24元/股。首次授予激励对象不超过146人，包括副总经理戴学敏、副总经理和董事会秘书王诚、财务总监林小凤、副总经理陈巍等公司高级管理人员、公司中层管理人员及核心骨干。首次授予部分业绩考核目标分别为：2024-2026年公司累计营业收入不低于45、110、195亿元。

- ◆ 公司是国内最大的光器件光模块供应商之一，产品布局全面。公司坚持“芯片-器件-模块-子系统”的技术垂直整合之路，产品种类覆盖光模块各细分领域，拥有从芯片、器件、模块到子系统的垂直集成能力，可为数通以及电信客户提供一站式服务，是行业内产品覆盖最全面的光器件企业之一。其中芯片方面，作为国内少有的可以自主研发光芯片的企业，公司的25G芯片约70%自供，DFB低速离芯片100%自供，25GvcSEL芯片已量产，且硅光芯片研发进度行业领先。2023年前三季度，公司实现营业收入43.3亿元，同比下降18.1%；实现归母净利润4.1亿元，同比下降15.8%；扣非净利润3.5亿元，同比下降21.5%；单季度方面，23Q3公司实现营收15.12亿元，同比下降13.0%、环比下降2.2%；归母净利润1.8亿元，同比下降3.1%，环比增长28.4%。
- ◆ 数通市场，关注国产算力和海外市场进展。国内数通市场有望迎来400G端口代际升级周期，同时国产算力建设有望带动国内数通需求回暖。面向海外数通市场，从产品侧，公司积极布局800G/1.6T等光模块产品以及硅光等技术方案，800G产品积极向多个海外客户送样认证。公司有望受益AI带来高速率光模块需求红利。
- ◆ 400G骨干网升级在即。传输领域，新技术代际400G OTN招标于2023年落地，2024年中国移动首条商用400G省际骨干网正式部署，有望带动国内传输网络升级，公司作为国内较早起步的光通信厂商已有全产业链布局，光放大器、ITLA、OTDR等新产品都有望受益。

- ◆ **2023年公司业绩实现快速增长。**公司发布2023年业绩快报，预计实现营收为19.4亿元，同比+62.1%；归母净利润为7.3亿元，同比+81.1%。单四季度来看，23Q4实现营收7.3亿元，同比+138.8%、环比+35.2%；实现归母净利润2.9亿元，同比+131.0%、环比+43.4%。公司单季度净利润再创历史新高，全年业绩快速增长。
- ◆ **高速率产品快速放量，产能利用率大幅提升。**根据公司公告，公司业绩快速增长主要受益于AI发展和算力需求的增加，全球数据中心建设带动对高速光器件产品需求的持续稳定增长，尤其是高速率产品需求增长较快，带动公司部分产品线的持续扩产提量，产能利用率大幅提升。公司高速率产品线放量以及产能利用率提升，驱动公司盈利能力提升。同时，公司利息收入影响财务费用同比下降，贡献部分正向贡献。
- ◆ **AI需求持续快速增长。**全球AI算力侧投入有望持续加码，根据台积电四季度法说会资料，台积电管理层预计AI收入在2027年将占公司收入接近20%的，未来几年AI芯片需求复合增速超50%。算力和带宽的提升是算力集群基础设施建设的核心，大规模算力集群持续建设有望驱动800G等高速率光通信产业链需求持续快速增长。
- ◆ **前瞻布局硅光、CPO等新技术方向。**公司长期前瞻布局光通信领域的硅光、CPO等技术方向，具体研发项目包括了适用于硅光模块特殊光纤器件及单通道高功率激光器产品开发、适用于各种特殊应用场景的Fiber Array器件产品开发、适用于CPO-ELS模块应用的多通道高功率激光器的开发等。

- ◆ **公司是国内领先的光芯片 IDM 厂商。**公司是光通信上游光芯片领域国内领先的 IDM 厂商，主要产品包括了从 2.5G 到 50G 的磷化铟激光器芯片，广泛用于各类光模块。下游客户中际旭创、华为等均是公司股东。董事长及核心技术团队在光模块行业深耕多年，技术和行业理解深厚。公司已实现向国际前十大及国内主流光模块厂商批量供货，10G、25G 激光器芯片系列产品的出货量在国内同行业公司中均排名第一，2.5G 激光器芯片系列产品的出货量在国内同行业公司中排名领先，2021年完成50G DFB的开发。
- ◆ **高速率光芯片持续布局，CW光源有望受益硅光发展。**目前公司在布局多款高速率/高端光芯片产品，CW光源方面，早期50mW大功率硅光激光器产品已经实现销售，100mW大功率硅光激光器在逐步向客户送样；100G PAM4 EML 正在客户端测试，200G PAM4 EML正在研发阶段。高速率光芯片芯片布局有望对公司的收入产生积极的贡献。在生产制造方面，2023 年上半年，公司扩建了多条 EML 芯片生产设备和开发设备，可满足各速率 EML 芯片的设计、开发、生产。
- ◆ **IDM模式、产品实力和客户基础是公司竞争优势。**1) 生产模式：由于光芯片偏定制化，不同芯片生产工艺流程差别较大，行业主要采用 IDM模式，进入壁垒高。公司通过近10年的积累，已经掌握了IDM模式所需全流程能力；2) 产品实力：公司已有多款核心产品性能居于行业领先水平，在10G DFB激光器市场份额第一，同时公司也在布局多款25G以上速率光芯片产品。3) 客户基础：光通信领域芯片的导入需要规范的认证过程，对供应商要求高，且一旦导入一般会形成稳定的合作关系，源杰科技已经获得下游多客户认可

- ◆ **光纤激光器应用场景持续丰富，需求端维持较快增长。**以光库科技为代表的国内厂商在连续光纤激光器的核心光纤元器件如高功率光纤光栅、高功率合束器和高功率输出头等产品方面，打破了国外厂商的市场垄断，提升产品性能。随着国内高功率光纤激光器国产替代进程加速，公司的市场占有率有望持续提升。
- ◆ **铌酸锂调制器国产化率提升空间大，拟增资扩大产能。**公司深耕薄膜铌酸锂调制器技术，薄膜铌酸锂调制器量产突破后应用场景广泛。公司正在开发800Gbps及以上的薄膜铌酸锂相干和非相干调制器产品，2023年9月于深圳光博会发布128GB薄膜铌酸锂相干驱动调制器和800Gb DR8薄膜铌酸锂调制器芯片，具备领先性能。公司拟对全资子公司米兰光库进行增资2100万欧元，更新并扩建位于意大利米兰的薄膜铌酸锂高速调制器及芯片产品研发与生产基地。
- ◆ **收购上海拜安，加强激光雷达业务布局。**公司为国内外多家基于光纤激光器1550nm光源方案的激光雷达公司提供光纤元器件，并计划收购拜安52%股权，完成后拜安将并表。上海拜安实业在车规级1550nm激光雷达光源模块有量化的解决方案，同时是主要1550激光雷达大客户的供应商，收购完成后有望与原有业务发挥产业协同作用，加强激光雷达业务布局。

- ◆ AI发展及投资不及预期
- ◆ 行业竞争加剧
- ◆ 全球地缘政治风险
- ◆ 新技术发展引起产业链变迁

国信证券投资评级

投资评级标准	类别	级别	说明
报告中投资建议所涉及的评级（如有）分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的6到12个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A股市场以沪深300指数（000300.SH）作为基准；新三板市场以三板成指（899001.GSI）为基准；香港市场以恒生指数（HSI.HI）作为基准；美国市场以标普500指数（SPX.GI）或纳斯达克指数（IXIC.GI）为基准。	股票投资评级	买入	股价表现优于市场代表性指数20%以上
		增持	股价表现优于市场代表性指数10%-20%之间
		中性	股价表现介于市场代表性指数±10%之间
		卖出	股价表现弱于市场代表性指数10%以上
	行业投资评级	超配	行业指数表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	行业指数表现介于市场代表性指数±10%之间
		低配	行业指数表现弱于市场代表性指数10%以上

分析师承诺

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。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。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。



国信证券

GUOSEN SECURITIES

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路125号国信金融大厦36层

邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路1199弄证大五道口广场1号楼12楼

邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街6号国信证券9层

邮编：100032