

中国平安 PINGAN

专业·价值

专业 让生活更简单

证券研究报告

AI系列深度报告（一）

光模块：AIGC高景气持续，800G+产品需求旺盛

电子行业强于大市（维持）

半导体行业强于大市（维持）

计算机行业强于大市（维持）

电子信息团队

2024年7月9日

请务必阅读正文后免责条款

平安证券

投资要点

- **催化：AIGC刺激，800G+数通光模块开始担当大任。**光模块负责光电信号的收发、转换，支撑着网络、计算等设备之间的协作与连接。受益于AIGC带来的海量数据交换和传输需求，高速光模块应用快速扩大，尤其是大模型训练对更快数据传输的需求持续激增，800G光模块因其高带宽、高传输速率、性能优良、高密度和扩展性好而受到广泛关注。高速光模块，从应用场景上看，涵盖了AI数据中心、HPC以及5G网络等多个领域。从趋势上看，随着AI等数据处理密集型的应用持续演进，数通光模块性能提升的速度将加快。在2022年之前，整个光互联网络的升级是以四年为一个周期；在2022年之后，升级周期缩短为两年，光模块800G是当前数通领域的主流，更高速率的产品也崭露头角。单波长传输速率的提升，是光模块传输速率向上的重要路径。
- **市场：1.6T上量，2024年数通光模块将实现高速增长。**光模块的市场规模主要受下游资本支出的影响，但其中来自云厂商投入波动的影响最大。2019年行业处在下行周期，主要压力就是来自于云计算厂商的收缩；2022年年底，云厂商又开始了新一轮的开支压缩，计算和网络的投入均谨慎，负面影响一直延宕至2023年初。但之后由于AIGC对高速光模块市场的拉动效应开始显现，2023年行业仍实现增长。Lightcounting预计2024年，800G将成为市场主流，1.6T也将开始放量，整体市场增速有望超过40%，其中数通光模块增长可能最为迅速。预计2025年，行业还将增长20%以上，2026-2027年增速还将维持在两位数以上。从市场竞争格局看，中国厂商竞争力较强，23年前十光模块厂商中占7席。后续即使海外市场出现较大变数，中国仍将是这个市场上的重要力量。
- **趋势：技术演进快速，LPO、CPO及硅光等新技术应用加快。**随着高速数通光模块在数据中心应用的增加，光模块的能耗问题也开始受到关注，光模块降低功耗的需求快速上升。目前，业界采取了两条路径：CPO和LPO。LPO通过线性直驱技术替换传统的能耗大户DSP，将其功能集成到交换芯片中，只留下驱动芯片（Driver）和跨阻放大器（TIA）芯片，同时实现了降功耗和延迟的目的，在数据中心等短距离传输领域优势尤为凸显。除了LPO的封装路径之外，随着光模块向800G光模块演进，CPO的成本和技术优势将逐渐凸显。CPO利用激光而非电子信号来传输数据，通过将光学器件和电子元件封装在一起（光器件+交换芯片），CPO实现了光信号和电信号处理的深度融合。这一转变标志着从传统光学模块中的“电互连”向真正的“光互连”的转变。最后，硅光技术也是各家都在关注和投入的方向，该技术将多个光、电芯片集成在同一硅基衬底上，集成度和带宽均高但成本低，国内外厂商均在积极投入。
- **投资建议：**光模块是电信、数据通信基础设施建设中不可或缺的组成部分。随着AIGC算力设施建设的快速增长，数据中心的网络架构也出现明显变化，数通光模块尤其是800G+的需求较快增长。国内厂商作为光模块产业链中的重要组成部分，近年来也在这一轮的需求增长、技术演进中快速成长。未来，随着AIGC应用端的丰富，算力基础设施建设将会更上一个台阶，国内光模块产业链会继续受益。上游元器件方面，建议关注激光器芯片厂商源杰科技，平台型元件厂商天孚通信；光模块方面，建议关注中际旭创、新易盛、华工科技、光库科技等。
- **风险提示：**AIGC基础设施建设不及预期；技术演进可能不及预期；贸易保护加剧。



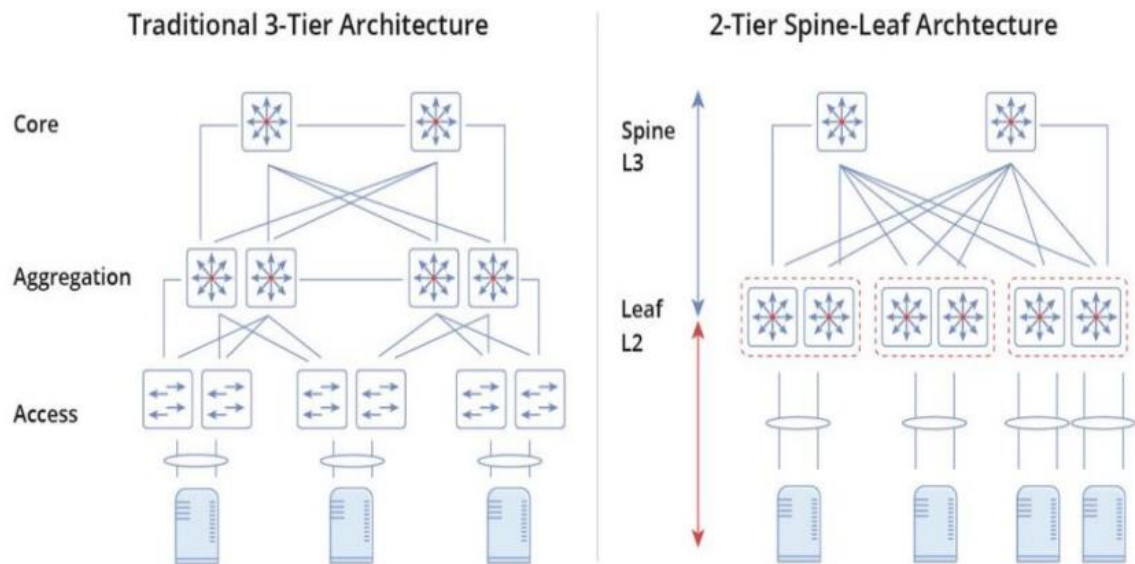
目录CONTENTS

- 催化：AIGC刺激，800G+数通光模块开始担当大任
- 市场：1.6T上量，2024年数通光模块将实现高速增长
- 趋势：技术演进快速，LPO、CPO及硅光技术应用加快
- 投资建议与风险提示

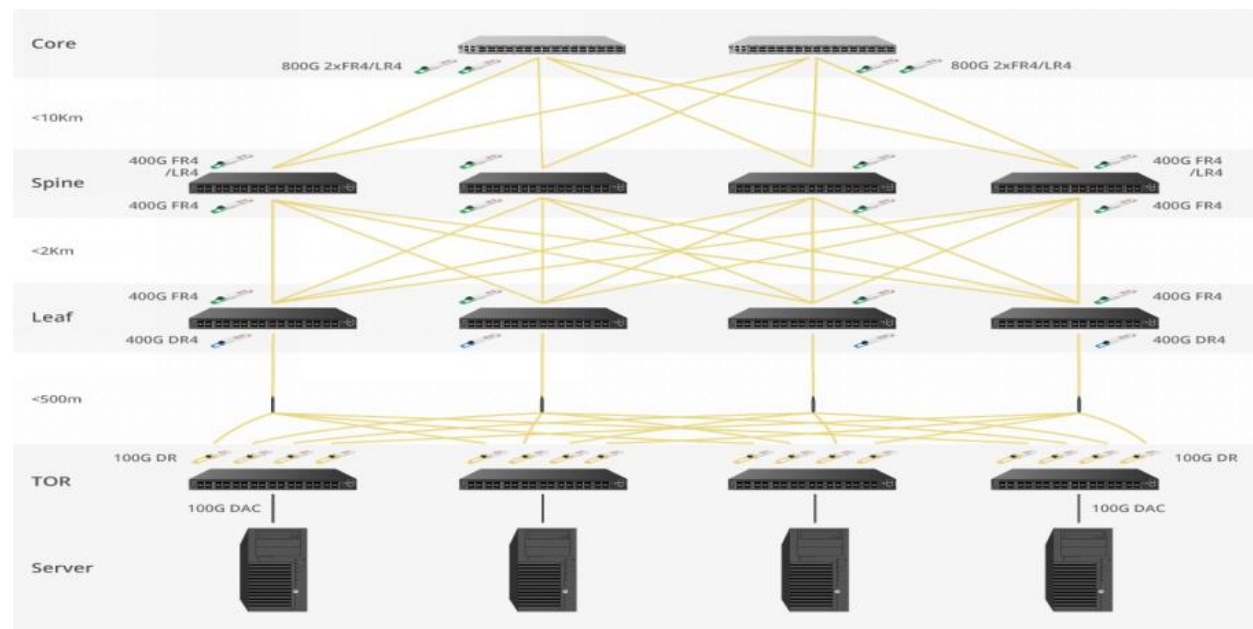
催化：受益于AIGC带来的数据交换和传输需求，高速光模块得到广泛应用

- ▶ AIGC带来了整个数据中心结构的变革，数据中心端口规模和东西向数据流量大幅增加，汇聚和核心层压力巨大，扩容投入急速上升。
- ▶ 网络架构从三层传统架构转向两层叶脊架构。其中，Leaf交换机取代接入交换机功能，直接连接服务器；Spine交换机与所有Leaf交换机相连；新的架构下，数据中心可以接入更多的端口，无论是服务器还是交换机，但同时也需要更多的光模块进行数据转换和传输，尤其是400G和800G的光模块在数据中心中得到广泛应用。

• 数据中心从传统的3层架构转向两层扁平架构



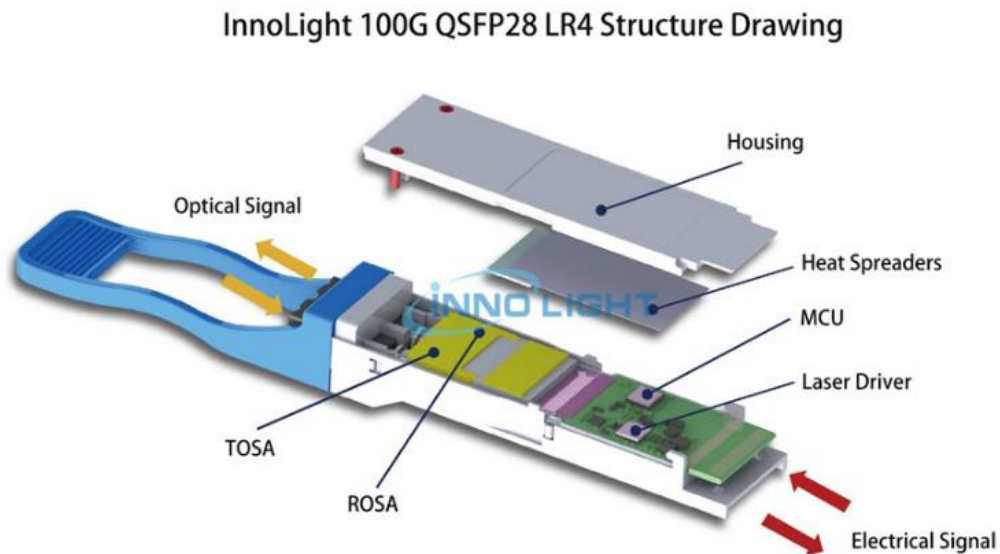
• 400G/800G光模块在数据中心的典型应用



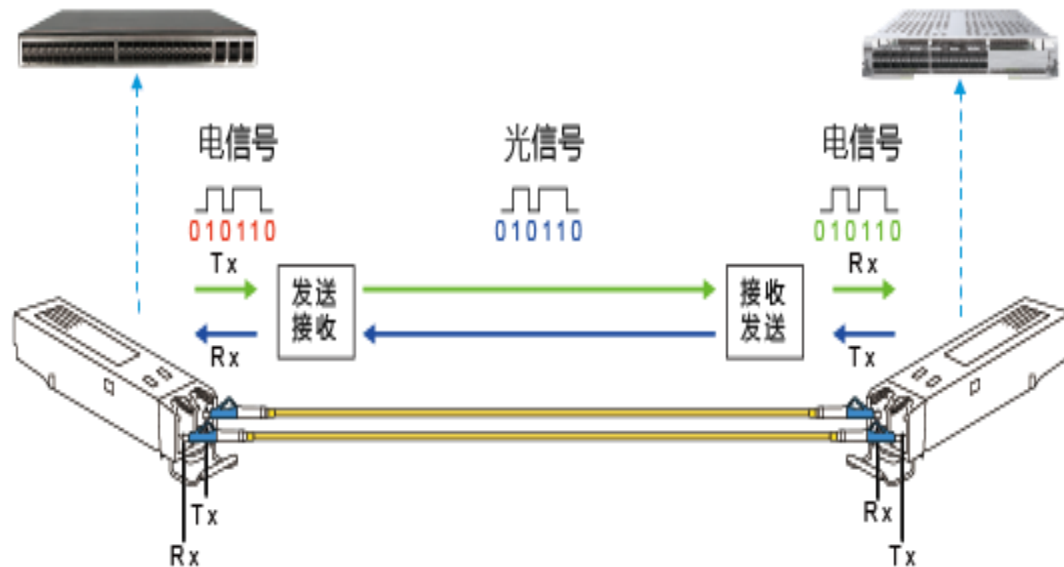
光模块：收发和转换光电信号，支撑着网络、计算等设备的协作与连接

- ▶ 光模块主要用于光电信号的收发和转换，通过它可以实现与各种类型设备的无缝协作和连接，包括交换机、路由器、服务器和存储设备，应用非常广泛。光模块主要由光发射器（TOSA）、光接收器（ROSA）、光源、光电探测器、连接器和外壳（Housing）等组成。
- ▶ 光模块的基本原理：发送接口输入一定码率的电信号，经过内部的驱动芯片处理后由驱动半导体激光器（LD）或者发光二极管（LED）发射出相应速率的调制光信号，通过光纤传输后，接收接口再把光信号由光探测二极管转换成电信号，并经过前置放大器后输出相应码率的电信号。

• 典型的光模块结构



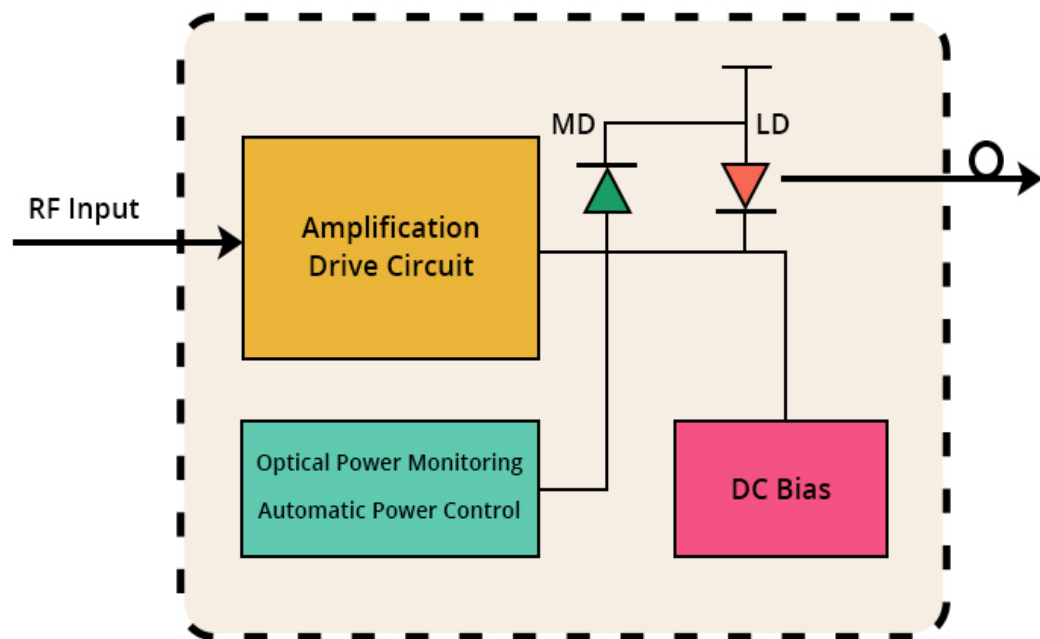
• 光模块原理图



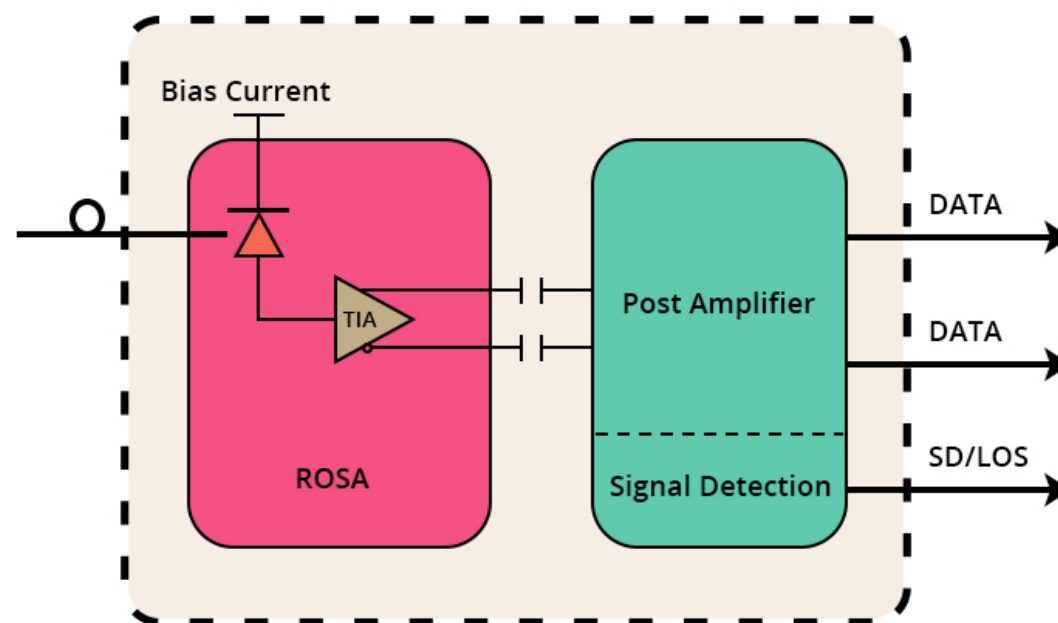
核心部件：光电器件是重要组成部分，包含TOSA和ROSA

- TOSA (Transmit Optical Sub-Assembly, 光发射组件)：主要负责将电信号转换为光信号，由光源（发光二极管或激光二极管）、光接口、监控光电二极管、金属或塑料外壳、电接口组成。光源多数采用激光二极管，功耗低、功率大并且耦合效率高。
- ROSA (Receiver Optical Sub-Assembly, 光接收组件)：其主要功能是将TOSA传来的光信号转换为电信号。ROSA包含光电二极管 (PD)、光接口、金属或塑料外壳以及电接口。

• 典型的TOSA结构



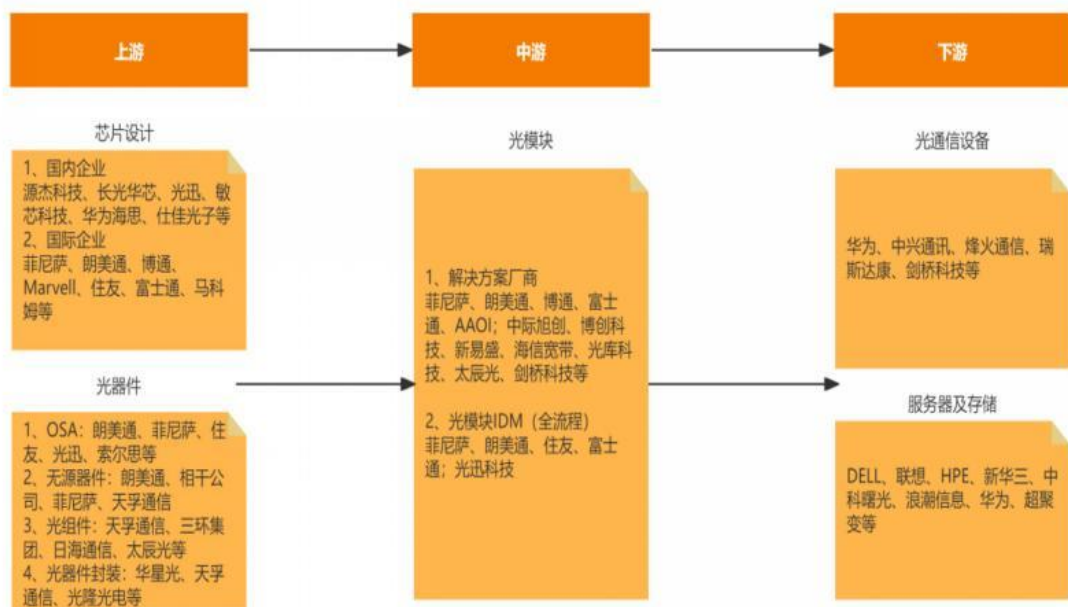
• 典型的ROSA结构



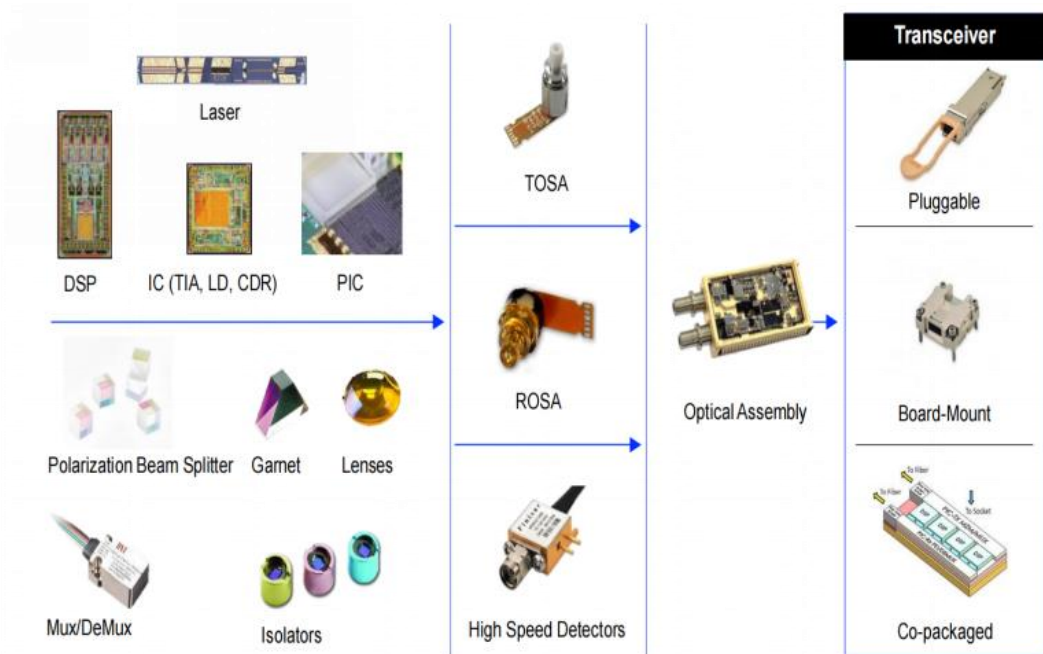
产业链：上游主要是光芯片和器件，下游面向光通信设备及服务器厂商

- ▶ 上游：主要是光电芯片设计和光器件厂商，其中光电芯片国内发展较晚，国产化水平相对较低，目前源杰科技、长光华芯和 Huawei 海思等正在积极突破；光器件国产化水平较高。
- ▶ 下游：直接客户是光通信设备厂商和服务器厂商，如华为、中兴、烽火通信、浪潮信息、联想等，最终客户是运营商、云计算厂商以及企业网客户。

光模块产业链



光模块垂直整合流程

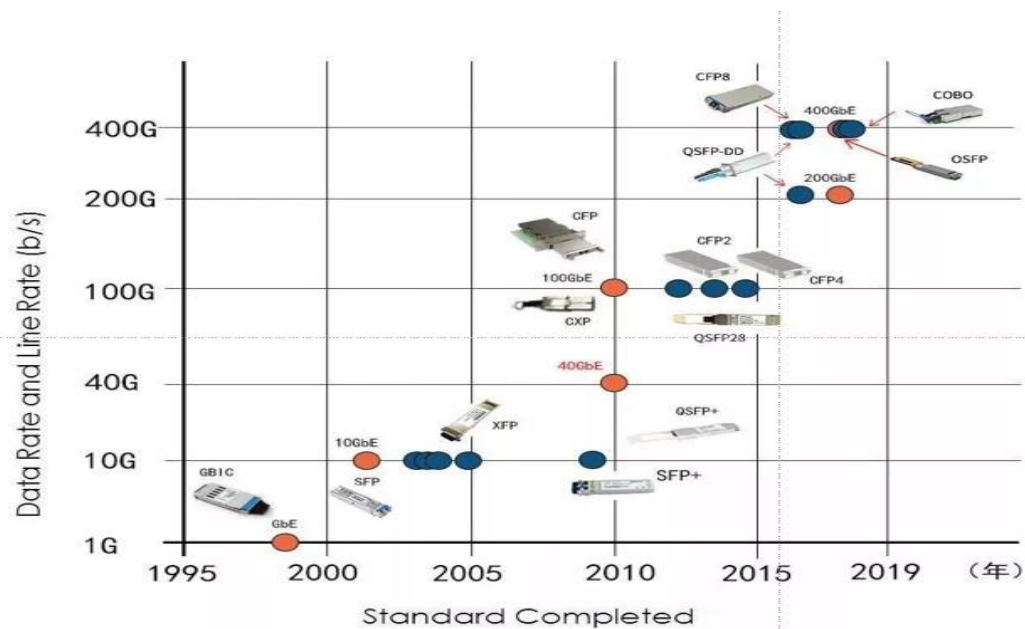


分类：封装方式和接口速率是最主要的标准，且持续在演进

▶ 产品分类：按封装方式、光口速率、传输距离、调制格式、是否支持波分复用、适用的光纤类型、光接口工作模式、光芯片类型、连接器接头类型、使用方式、工作温度范围等。其中，封装方式、接口速率是最主要或者常见的分类标准。

▶ 应用分类：以太网、光纤传输、光互联、波分复用、无线前传和回传、有线接入。前三类主要用于数通网络，无线前传和回传、有线接入主要是电信网络场景。

光模块封装方式演变



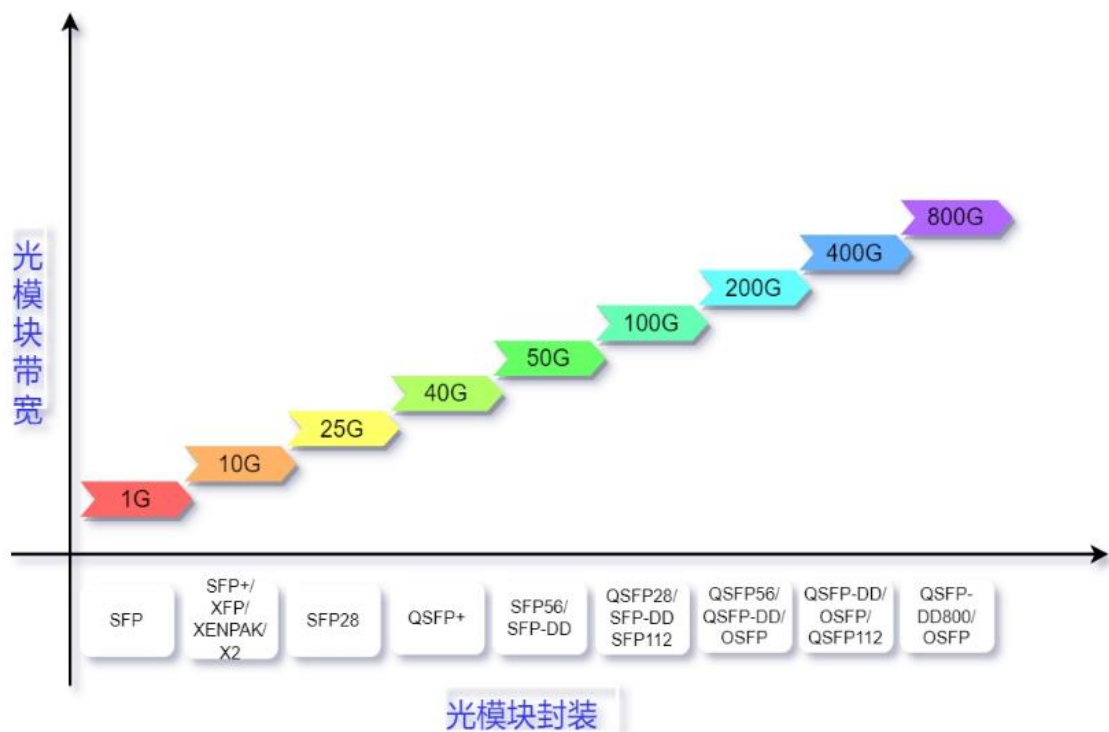
光模块分类

分类方式	类型
封装方式	SFP/eSFP、SFP+、SFP28、QSFP+、CXP、CFP、QSFP28、QSFP-DD、OSFP等
光口速率 (b/s)	10G、25G、50G、100G、400G、800G等
传输距离	100m、10km、20km、40km、80km等
调制格式	NRZ、PAM4、DP-QPSK/n-QAM等
是否支持波分复用	灰光模块 (不支持WDM)、彩光模块 (支持WDM)
适用的光纤类型	单模光模块 (多用于远距离传输)、多模光模块 (多用于短距离传输)
光接口工作模式	双纤双向 (Duplex)、单纤双向 (BiDi)
光芯片类型	激光器芯片: DFB (适用于中长距离传输), EML (电吸收外调制器, 适用于长距离传输), VCSEL (适用于短距离传输) 探测器芯片: PIN (噪声低、灵敏度低、价格低, 适用于中短距离传输), APD (噪声大、灵敏度高、成本高, 适用于长距离传输)
连接器接头类型	FC、SC、ST、LC、MU、MTRJ
使用方式	热插拔 (GBIC、SFP、XFP、XENPAK) 和非热插拔 (1*9、SFF)
工作温度	商业级 (0~70°C) 延展温度 (-20~85°C) 工业级 (-40~85°C)

分类 | 按封装：SFP和QSFP是主流，800G主要使用QSFP进行封装

▶ 光模块的封装主要是光模块的外形结构，保证了通信的稳定性和可靠性。随着封装技术的进步，封装体积正逐渐变小，在速率、功耗、距离、成本等方面也在不断地向前发展和改善。光模块封装类型有很多，像1*9、SFF、GBIC、X2、XENPAK、XFP等封装目前已经不常见，常见的是SFP（小型化可热插拔）系列和QSFP（四通道小型可热插拔）系列。

光模块封装技术演进



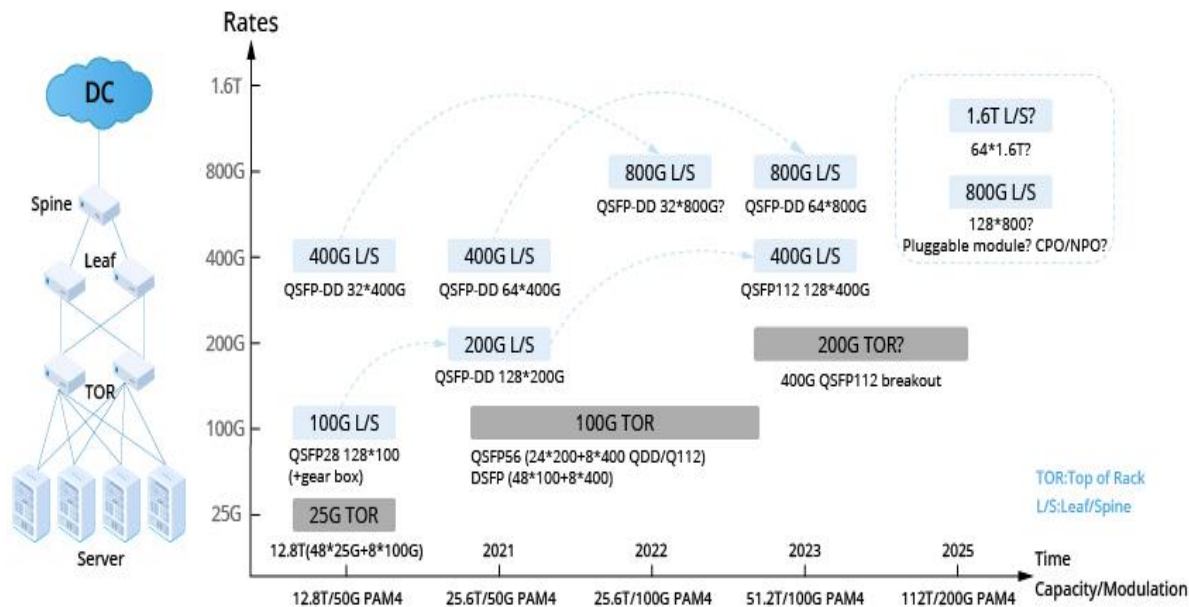
光模块典型封装外形 (SFP)

典型带宽: 1G	典型带宽: 10G	典型带宽: 25G	典型带宽: 50G	典型带宽: 50G/100G	典型带宽: 100G
SFP	SFP+	SFP28	SFP56	SFP-DD	SFP112
				已规划	已规划
通道数量: 1	通道数量: 1	通道数量: 1	通道数量: 1	通道数量: 2	通道数: 1
电口速率 1Gbps Retimer NRZ	电口速率 10Gbps Retimer NRZ	电口速率 25 Gbps Retimer NRZ	电口速率 53Gbps Retimer PAM4	电口速率 25Gbps Retimer NRZ	电口速率 56Gbps Retimer PAM4
1Gbps	10Gbps	25Gbps	53Gbps	50Gbps	112Gbps

分类 | 按速率：适应当前AIGC高速传输需要，800G逐步开始担数通大任

- ▶ 随着对更快数据传输的需求的激增，800G光模块因其高带宽、高传输速率、高密度和未来扩展好而受到广泛关注。应用场景涵盖了AI数据中心、HPC以及5G网络等方面。
- ▶ 从技术准备来讲，2020-2022年间各主要厂商已经推出了800G产品，并持续向小型化、热插拔的方向迈进。从封装模式上看，主要采取的是QSFP-DD和OSFP封装模式；基于单通道速率，800G光模块大致可分为单通道100G和200G两类。

光模块传输速率演进



中际旭创800G产品样图



中际旭创800G OSFP光模块

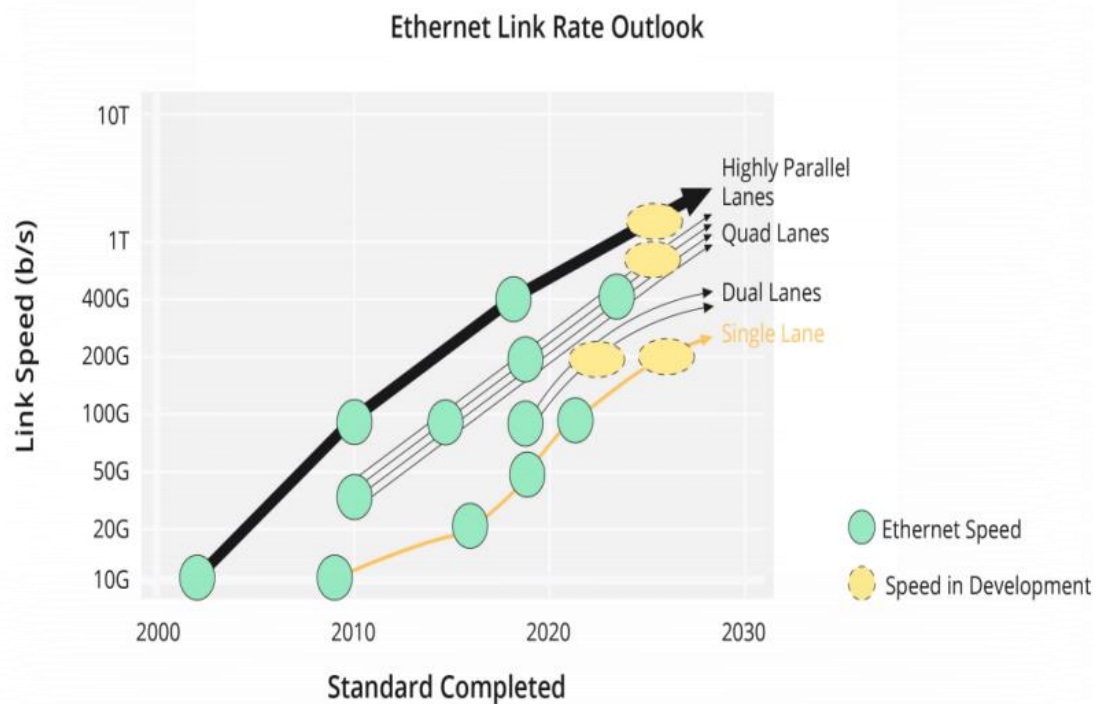


中际旭创800G QSFP-DD光模块

发展趋势：光互联提速节奏加快，光模块升级时间间隔持续缩短

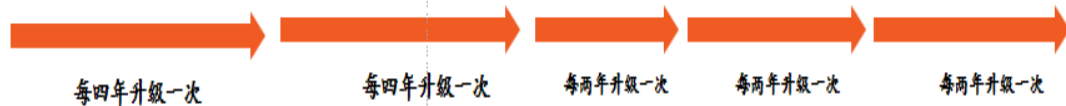
►从趋势上看，随着AI等数据处理密集型的应用持续演进，数通光模块性能提升的速度将加快。在2022年之前，整个光互联网络的升级是以四年为一个阶段；在2022年之后，升级周期缩短为两年，光模块800G是当前数通领域的主流，1.6T也开始崭露头角。从主要路径上看，主要依托单波长传输速率的提升。

光模块传输速度演进



光互联演进节奏提速

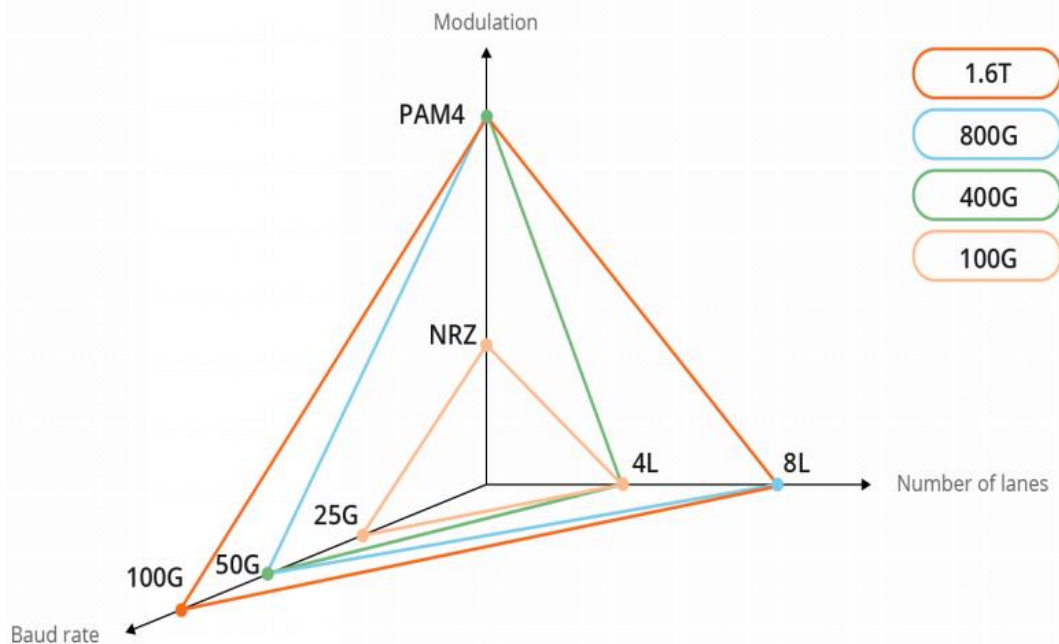
	2014	2016	2018	2020	2022	2024E	2026E	
交换芯片容量	3.2T	6.4T	12.8T	25.6T	51.2T	102.4T	204.8T?	
Serdes数量	128	256	256	512	512	1024	512	1024?
Serdes速率	25G	25G	50G	50G	100G	100G	200G	400G?
单波长速率	25G	25G	50G	50G	100G	100G	200G	400G?
主流光模块	100G	100G	400G	400G	800G	800G	1.6T	3.2T?



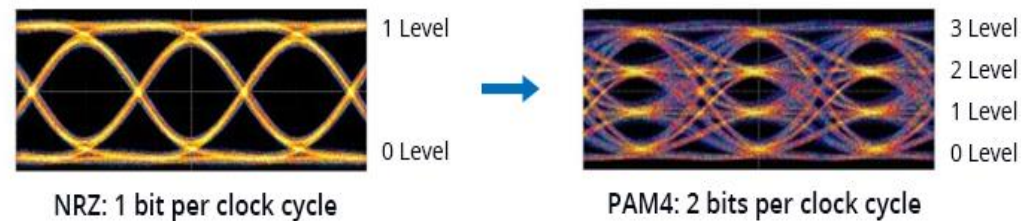
关键技术：速率提升，依托波特率、通道数及容量、调制技术等升级

- ▶ 波特率：提升单位时间内从源到目的地之间传送的码元符号（Symbol）的个数，主要依托光芯片和器件的能力提升；
- ▶ 通道数及容量：通过使用并行通道或增加线缆中的光纤数量可以实现更高的数据速率。通道容量的扩展进一步增强了光模块的整体数据传输能力。
- ▶ 调制技术：目前，高速光模块采用PAM4调制，这种技术可以增强网络性能并促进更高的数据速率。与低速光模块中使用的传统NRZ调制相比，PAM4可以使每个信号传输两倍的数据。

• 光模块能力提升路径



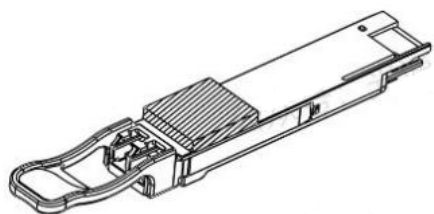
• NRZ和PAM4调制技术对比



技术演进：改进封装技术，提升通道数量

- ▶ 增加通道数不需要增加带宽或者调制复杂度，技术原理相对简单，主要就是考虑如何放置更多的光器件，如何在有限的空间内进行多路光通道接口，同时兼顾电通道连接、密度、功耗等。
- ▶ 但是，由于光模块整体空间有限，封装通道数量不具备持续提升的潜力。目前看，实现16通道的封装难度都较大。

• 光模块封装技术演进方向



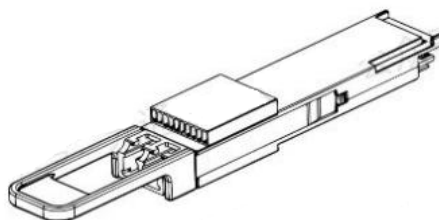
QSFP-DD

Maximum power (W) 14

Interior space (mm²) 9.087

4X optical channel is best

8X maximum electrical channel



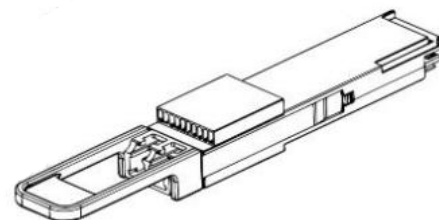
OSFP

Maximum power (W) 2.1

Interior space (mm²) 29.928

8X optical channel is best

8X maximum electrical channel



OSFP-XD

Maximum power (W) 33

Interior space (mm²) 29.928

16X optical channel is best

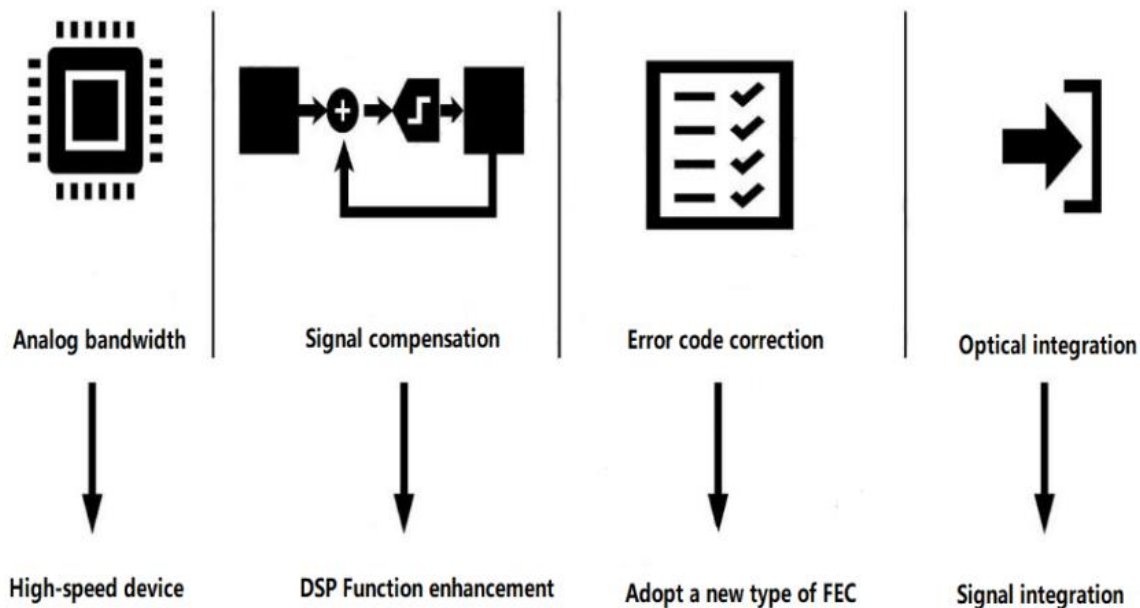
16X maximum electrical channel

There are still huge challenges to upgrading to 16 channels

技术演进：提升单通道传输速率，增强器件能力的路径更具潜力

- ▶ 要提高单通道速率，提高光电器件的模拟带宽，需要更强大的DSP信号处理能力、更强大的FEC（前向纠错）、更高的光集成度。以1.6T为例，I/O、跨阻放大器（TIA）、激光+模组带宽大于55GHz，探测器带宽要超过50GHz；信号处理方面，1.6T光模块开始应用相干调制，同时需要更强的信号纠错能力。
- ▶ 光电芯片中，DSP芯片是电芯片的核心，负责调制解调、电信号的预处理等，其处理能力的提升潜力较大。

提升单通道传输速率的路径



不同速率光模块对器件和型号处理的要求

	器件带宽				信号处理	
	CMOS	DRV	探测器	激光+模组	调制方式	FEC
	I/O	TIA				
400G / 800G	> 28 GHz	30GHz	30GHz	30GHz	PAM4	KP4 bypass
1.6T	> 55 GHz	> 55 GHz	> 50 GHz	> 55 GHz	相干、PAM4	stronger than FEC
3.2T	> 60 GHz	80-90 GHz	> 50 GHz	> 80 GHz	相干、PAM4/6	stronger than FEC



目录 CONTENTS

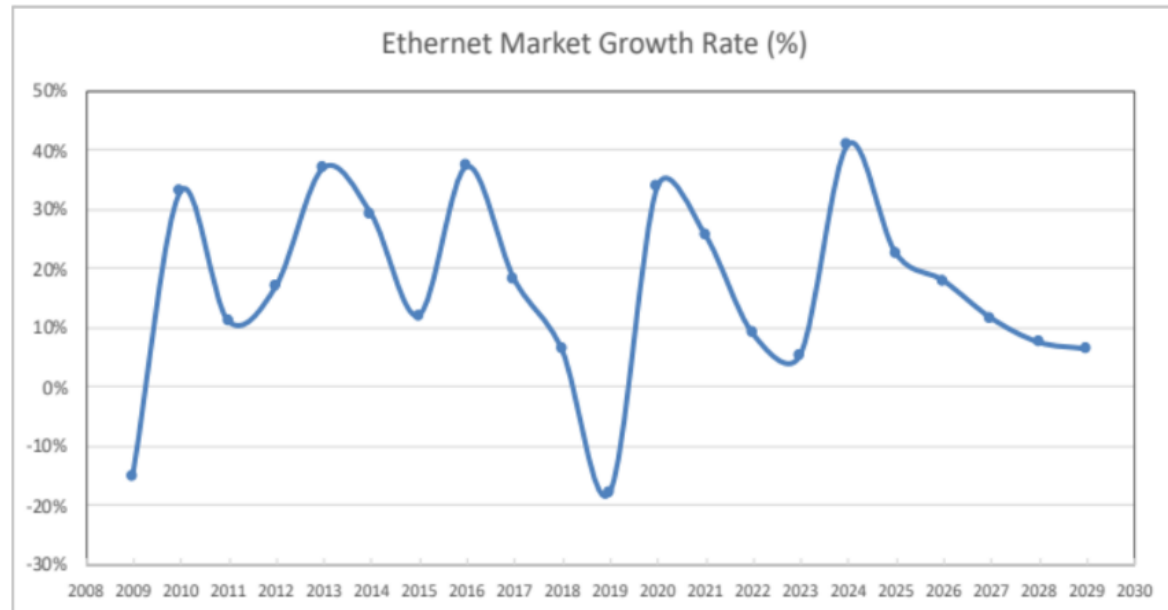
- 催化：AIGC刺激，800G+数通光模块开始担当大任
- 市场：1.6T上量，2024年数通光模块将实现高速增长
- 趋势：技术演进快速，LPO、CPO及硅光应用加快
- 投资建议与风险提示

市场 | 整体：2023年市场增速处阶段低点，2024年数通光模块有望实现高增长

- 光模块的市场规模主要受到电信和云厂商（CSP）资本支出的影响，但其中来自CSP方面的投入波动影响最大。其中2019年的下行周期，就主要是来自于云计算厂商的收缩；而在2022年年底，云厂商又开始了新一轮的压缩开支，计算和网络的投入均谨慎，致使2023年初行业压力都较大。但之后由于AI对高速光模块市场的拉动，2023年行业全年仍实现增长。
- Lightcounting数据显示，预计2024年，800G将成为市场主流，需求火热，1.6T也将开始放量，整体市场增速有望超过40%，其中数通光模块增长预计最为迅速。预计2025年，行业还将增长20%以上，2026-2027年增速还将维持在两位数以上。

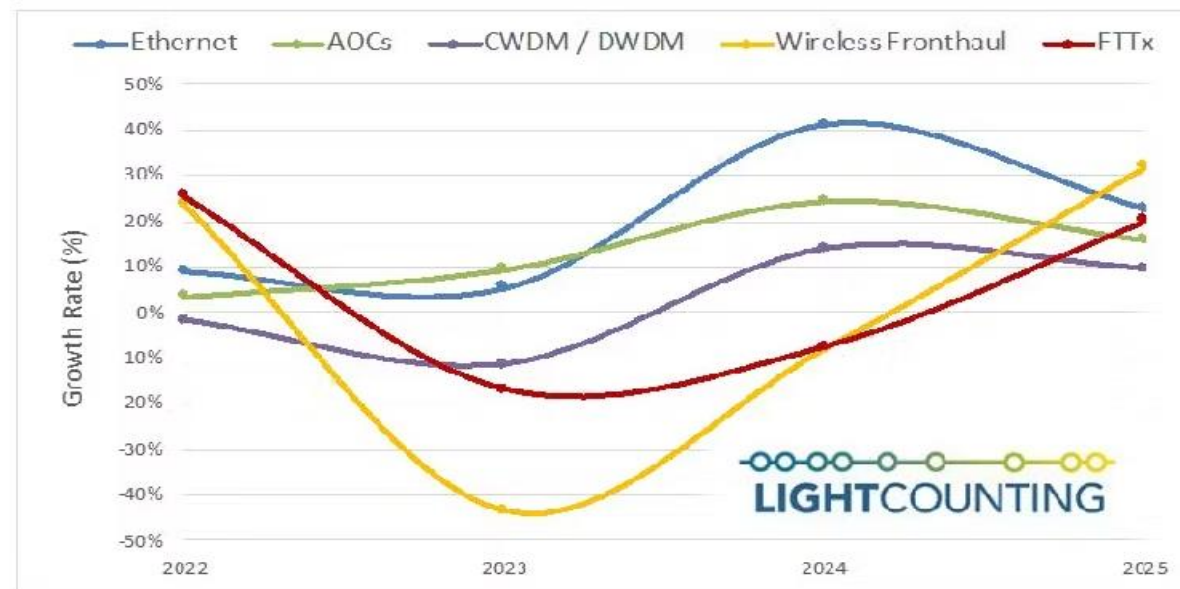
• 全球光模块收入增速

Growth rate in sales of Ethernet optical transceivers



• 全球光模块收入增速（分产品）

Figure: Growth rates across main segments of the optical transceiver market in 2022-2025



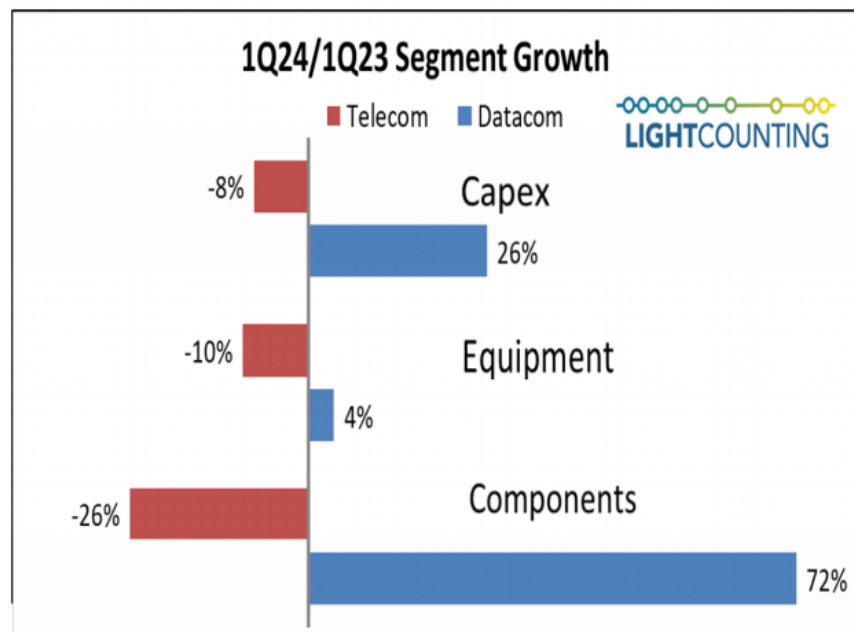
Source: LightCounting

市场|24Q1：下游云厂商资本支出上升较快，数通光模块实现快速增长

► 2024Q1，光通信市场出现明显分化，电信市场非常低迷，数通领域资本支出快速上升，Lightcounting数据显示，2024Q1主要云计算/互联网厂商资本支出整体增长26%。从谷歌、微软最新财季的资本支出看，1季度均出现了高速增长。

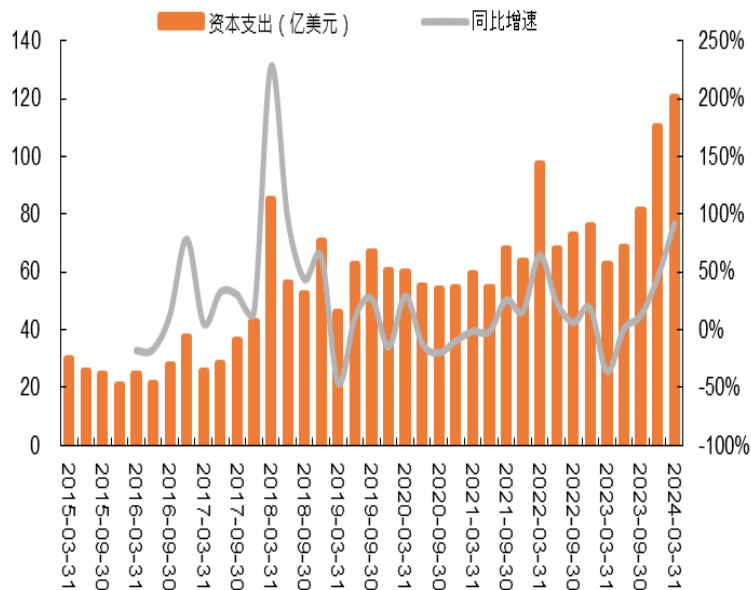
► 受益于数通光模块的需求的增长，Q1光学元件及光模块表现出快速增长势头。Lightcounting数据显示，2024Q1光通信组件收入增长72%；其中，中际旭创2024年第一季度营收同比增长164%，环比增长21%；新易盛Q1营收环比增长10%，同比增长85.5%；Coherent的网络部门收入环比增长18%，同比增长12%。

全球光模块收入增速

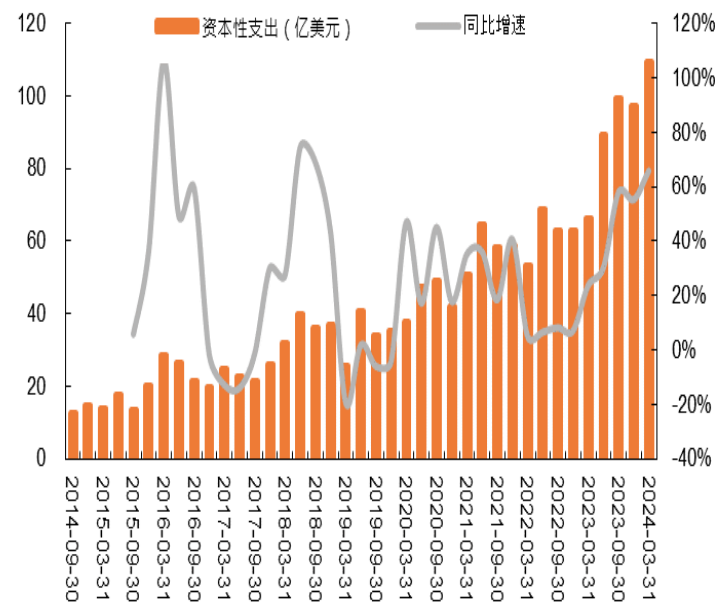


Source: LightCounting and companies' quarterly earnings reports

谷歌单财季资本支出及同比增速



微软单财季资本支出及同比增速

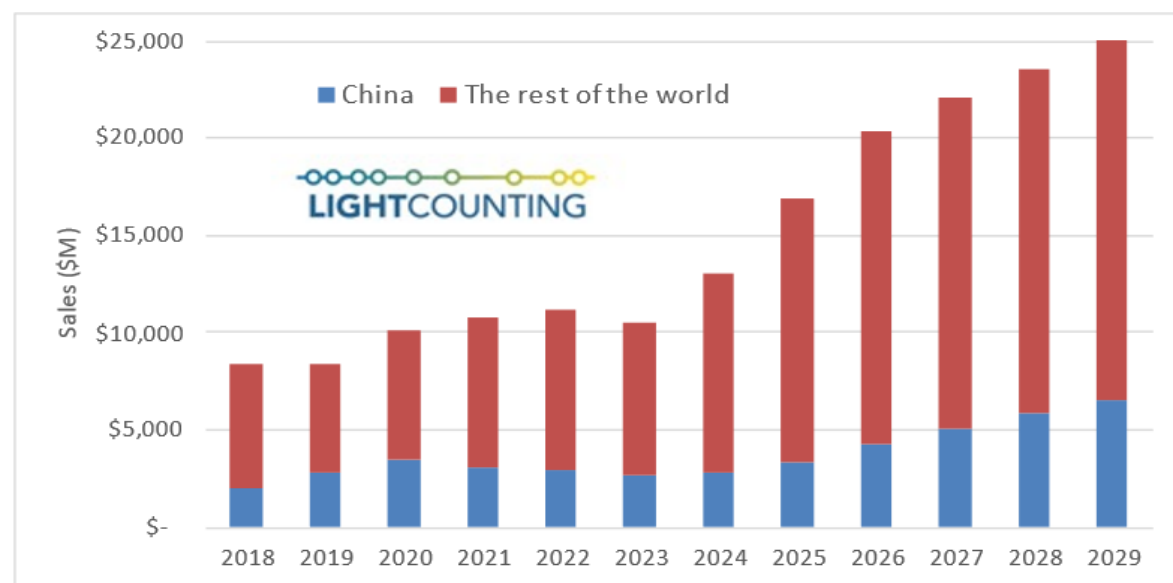


市场|竞争格局：中国厂商竞争力较强，23年前十光模块厂商中占7席

- ▶ 从全球光模竞争格局看，中国占据着重要地位。近年来，随着国内光模块需求的快速增长以及对海外云计算厂商的供应的增加，中国厂商占全球光模块收入的比重保持在较高水平。Lightcounting数据显示，2018-2023年占比在25-35%之间；未来三年（2024-2026），北美市场可能因为AI建设光模块采购提速，相应的西方厂商可能更为受益，中国在全球的份额可能受到压制；但长期看，随着国内市场在芯片等方面的突破，国内通信、数通领域的国产化需求均将增加，国内厂商在全球市场中的份额也将有所回升。
- ▶ 从最新企业排名来看，2023年前十企业中，中国占据了7家，Coherent已经从上年的与中际旭创并列第一，下滑到了第二；思科从第2位下降到了第4；Marvell上升到了第10。

• 中国与其他国家光模块市场格局

Figure: Global Market for Optical Transceivers



• 全球TOP10光模块企业变化

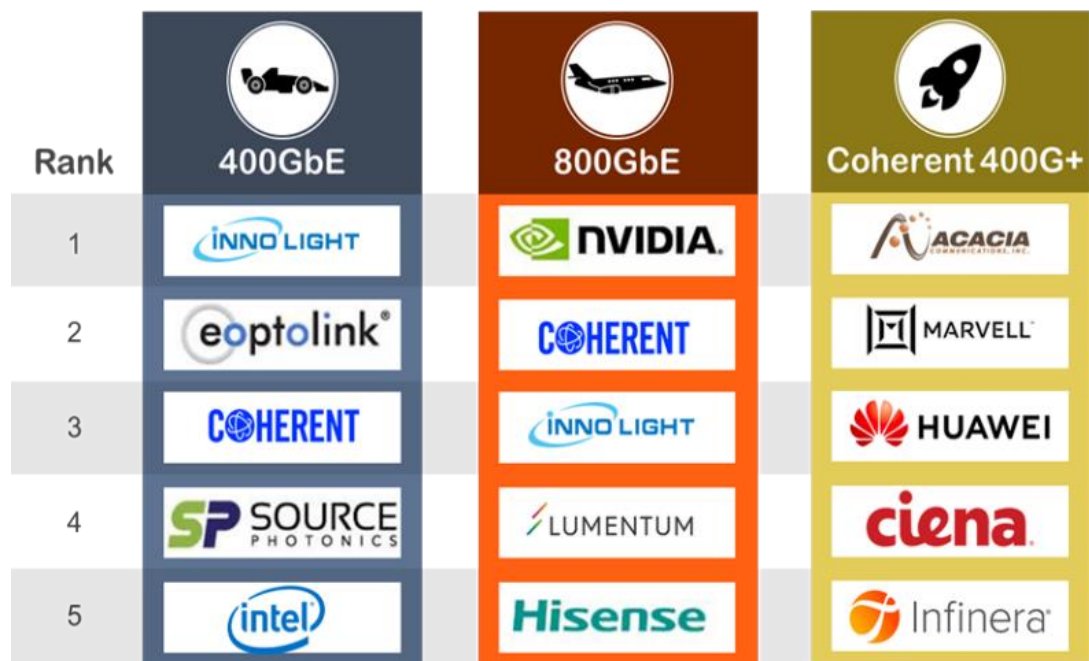
排名	2010	2016	2018年	2022	2023
1	菲尼萨	菲尼萨	菲尼萨	Coherent&中际旭创 (并列)	中际旭创
2	Opnext	海信宽带	中际旭创	旭创 (并列)	Coherent
3	住友	光迅科技	海信宽带	思科	华为
4	安华高	Acacia	光迅科技	华为	思科
5	索尔思光电	FOIT (安华高)	FOIT	光迅科技	光迅科技
6	富士	Oclaro	Lumentum	海信宽带	海信宽带
7	JDSU	中际旭创	Acacia	新易盛	新易盛
8	Emcore	住友	英特尔	华工正源	华工正源
9	WTD	Lumentum	AOI	英特尔	索尔思光电
10	NeoPhotonics	索尔思光电	住友	索尔思光电	Marvell

市场 | 竞争格局：中际旭创在400G、800G光模块市场上均处领先地位

▶ 据signal.ai数据显示，受到人工智能的推动，2024Q1数通光模块方面的支出同比增长了90%以上。环比来看，所有SR/DR/FR/LR规格的400G和800G数通光模块总出货量环比增长超过25%。800G产品中，中际旭创领先于其他供应商；而在2023Q4，英伟达还处在800G的出货量的第一位。

• 2023Q4全球领先光模块厂商

MODULE SHIPMENTS LEADERBOARD - 4Q23



• 2024Q1全球领先光模块厂商

OPTICAL COMPONENTS

MODULE SHIPMENTS LEADERBOARD - 1Q24



Signal AI

Source: 1Q24 Optical Components Report

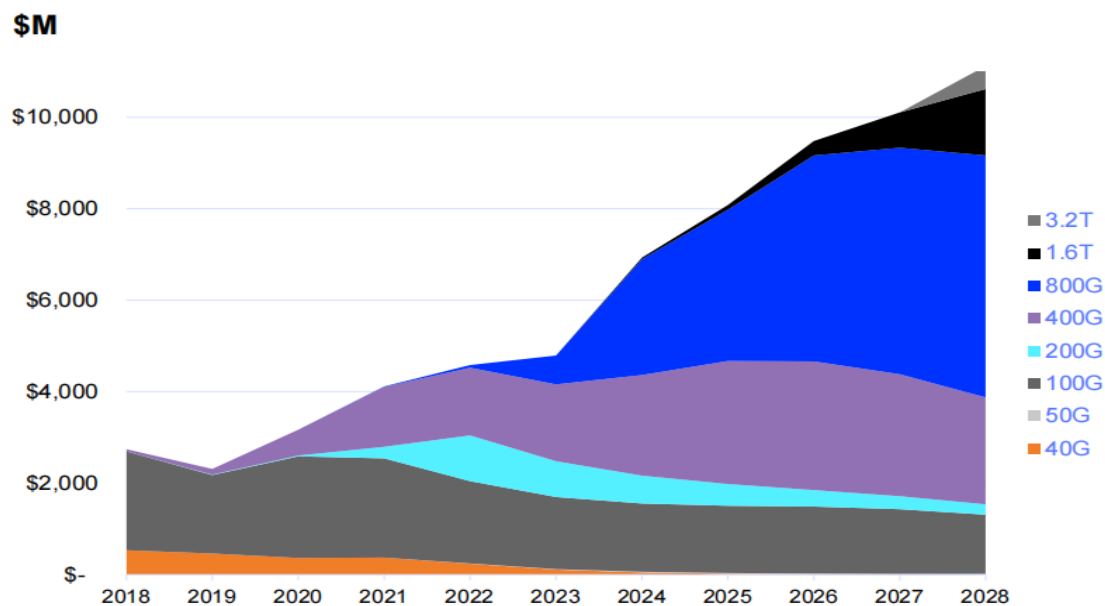
市场|产品结构：800G和400G将是主流，硅光方案占比将持续提升

➤ Lightcounting 数据显示，2022年800G 数通光模块开始起量，市场规模持续扩大，预计到2028年800G及以上速率的光模块市场规模占比超过50%，400G 占比排第二位。

➤ AI相关数通光模块增长较快，份额扩大。1) VCSEL主要用于短距离通信，如GPU之间的连接；2) 短期看，主要动力来自于800G产品，主要基于100G VCSEL和EML激光器；3) 中长期动力来自于1.6T，主要基于200G EML、DFB以及VCSEL激光器。

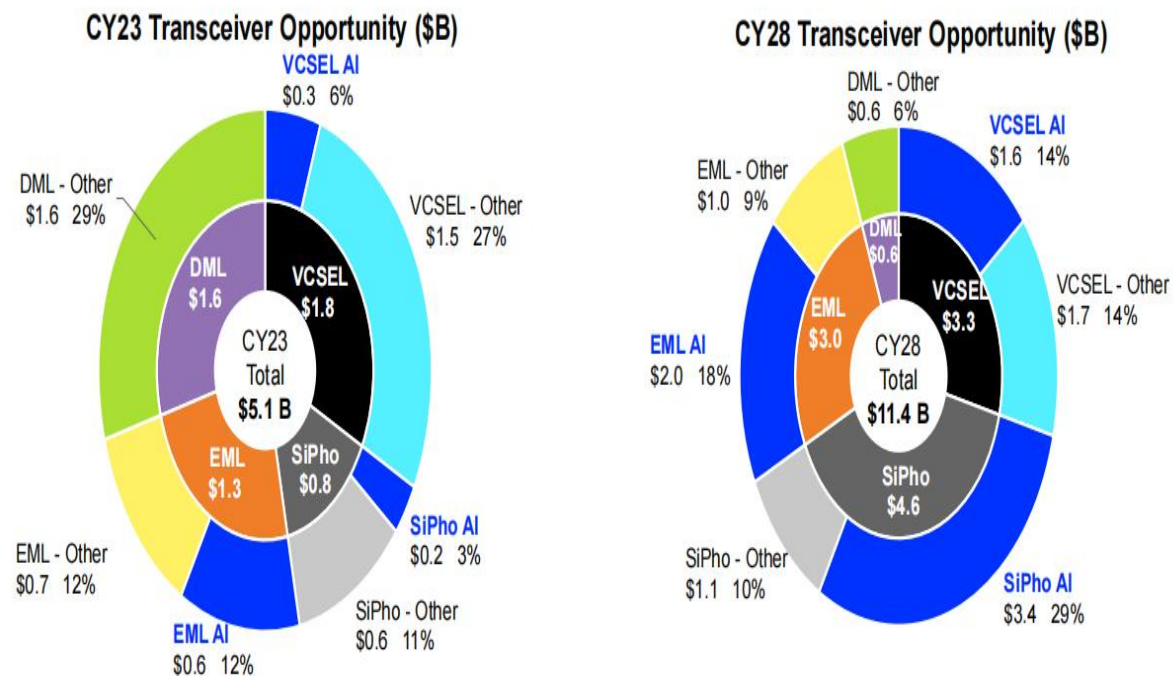
• 2018-2028年全球光模块市场结构

DATACOM TRANSCEIVER GLOBAL MARKET



Source: LightCounting, Internal Estimates

• 2023-2028年AI相关光模块份额变化





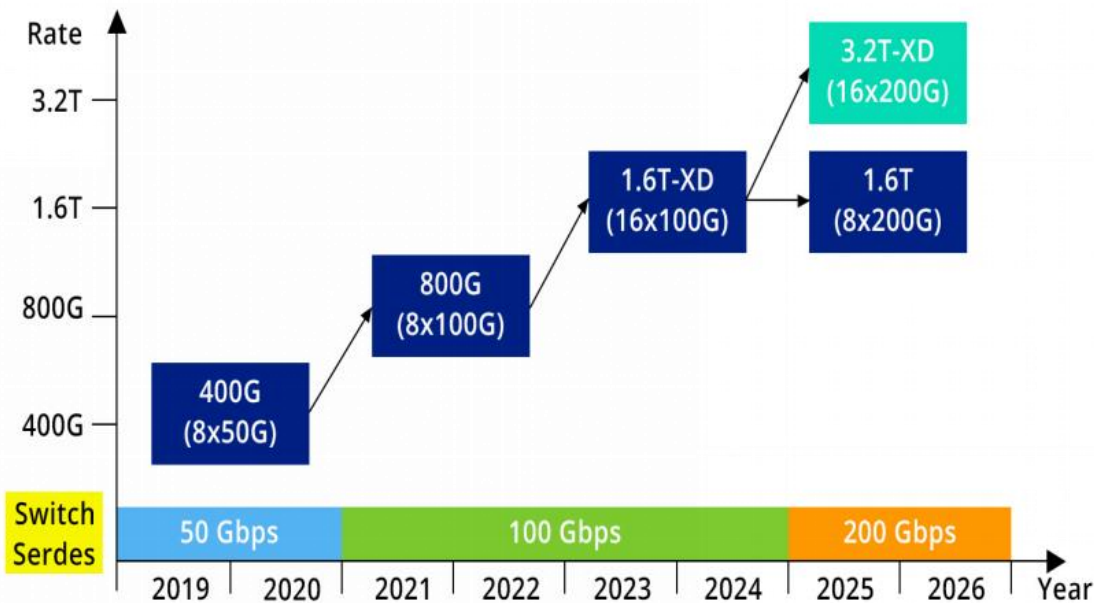
目录 CONTENTS

- 催化：AIGC刺激，800G+数通光模块开始担当大任
- 市场：1.6T上量，2024年数通光模块将实现高速增长
- 趋势：技术演进快速，LPO、CPO及硅光应用加快
- 投资建议与风险提示

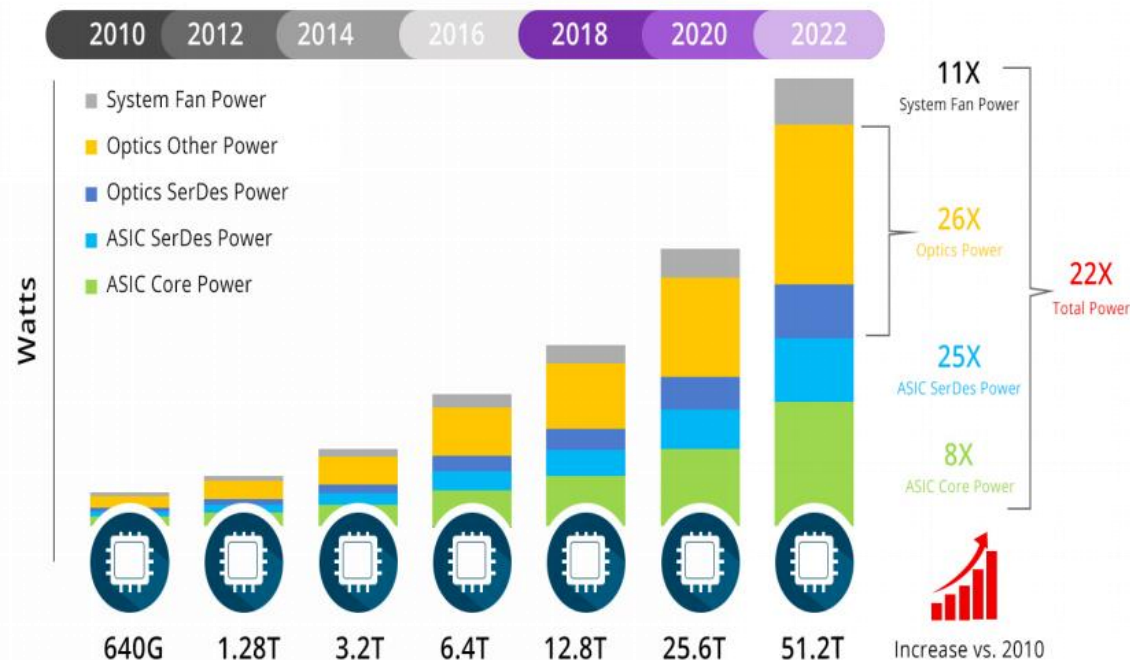
LPO：交换机系统功耗快速上升，LPO将是解决途径

▶ 随着数据中心转换速度的提升，光模块带来的功耗快速提升。FS数据显示，早期的10G光模块的功耗在1W左右，到了800G时功耗上升至30W，光模块的功耗占交换机的功耗占比也持续上升；相比2010年，2022年整体交换机系统功耗提升了22倍，光通信设备提升了26倍，给数据中心的节能和降本都带来了很大压力，光模块降低功耗的需求快速上升。LPO就是解决能耗高的重要途径之一。

• 交换机Serdes及光模块速率演进



• 交换机设备能耗变化

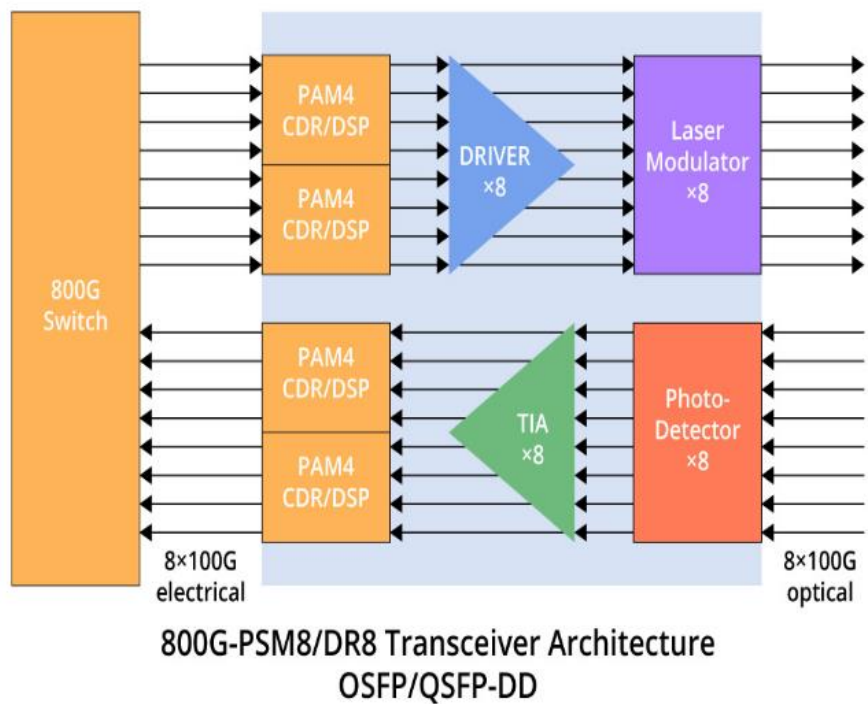


LPO: 传统光模块中DSP、光引擎是耗能大户，需要进行优化

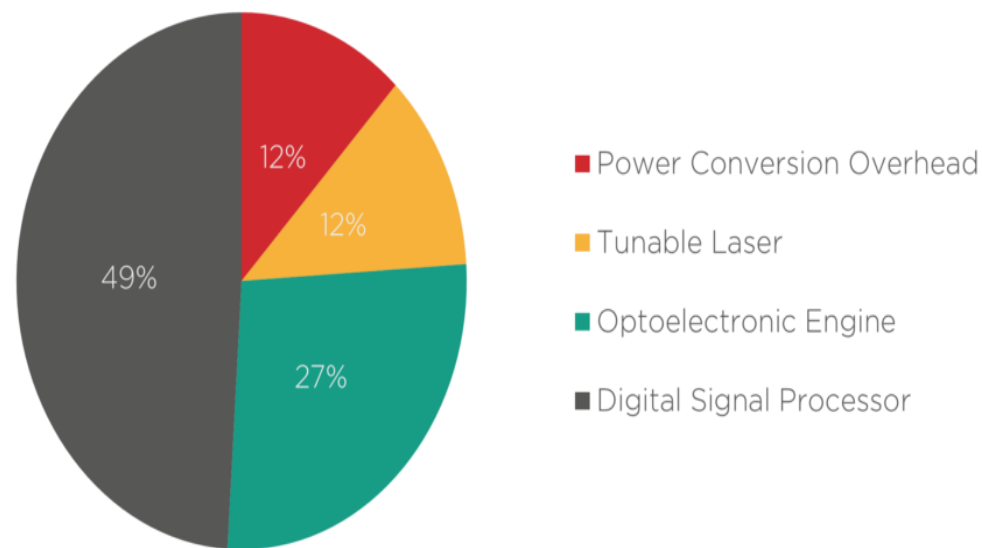
► 传统方案中：1) 发送端，将数字信号转换为模拟信号；2) 接收端，将模拟信号转换为数字进行接收。但是，传输过程中数据容易失真，因此需要应用DSP进行修复。具体修复工作包括数字时钟恢复、色散补偿功能等。除了DSP之外，光模块中的电芯片还包括激光驱动器（LDD）、跨阻放大器（TIA）、时钟数据恢复芯片（CDR）等。其中CDR也用于数据还原，从接收的向好中提取出数据序列，并且恢复出与数据序列相对应的时钟序列信号，从而还原出具体的信息。

► 能耗排序看：DSP是耗能大户，占49%；作为收发核心的光引擎，耗能占比达到27%；激光器能耗占比达到12%。

• 800G光模块结构



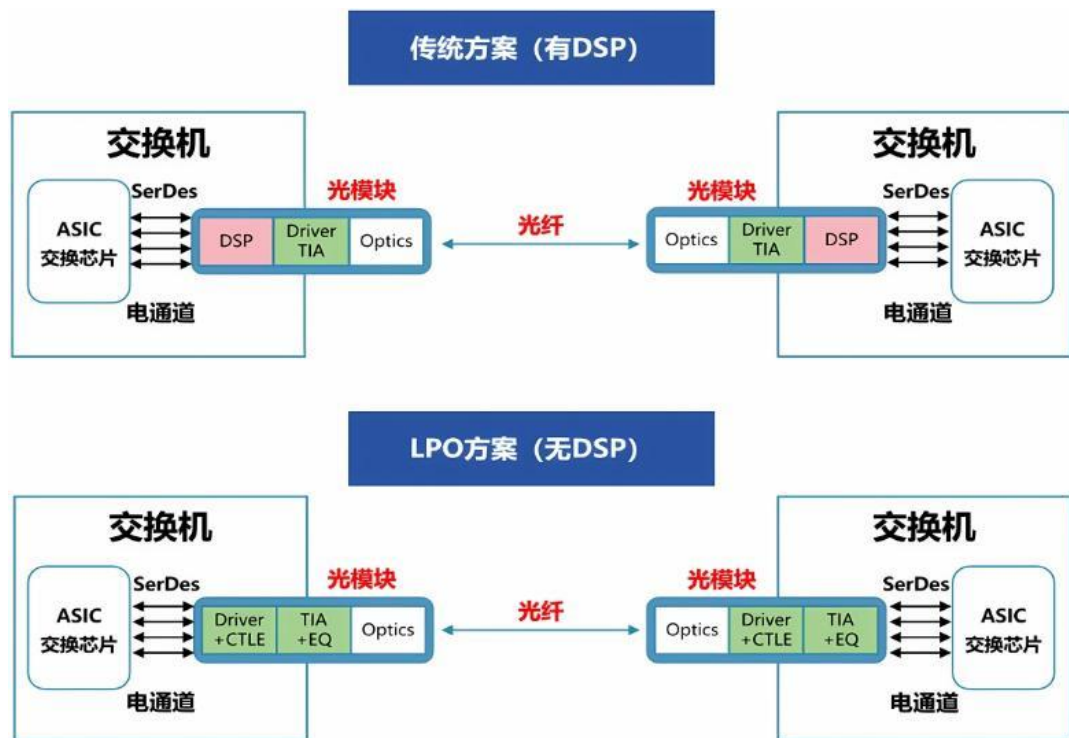
• 光模块能耗构成



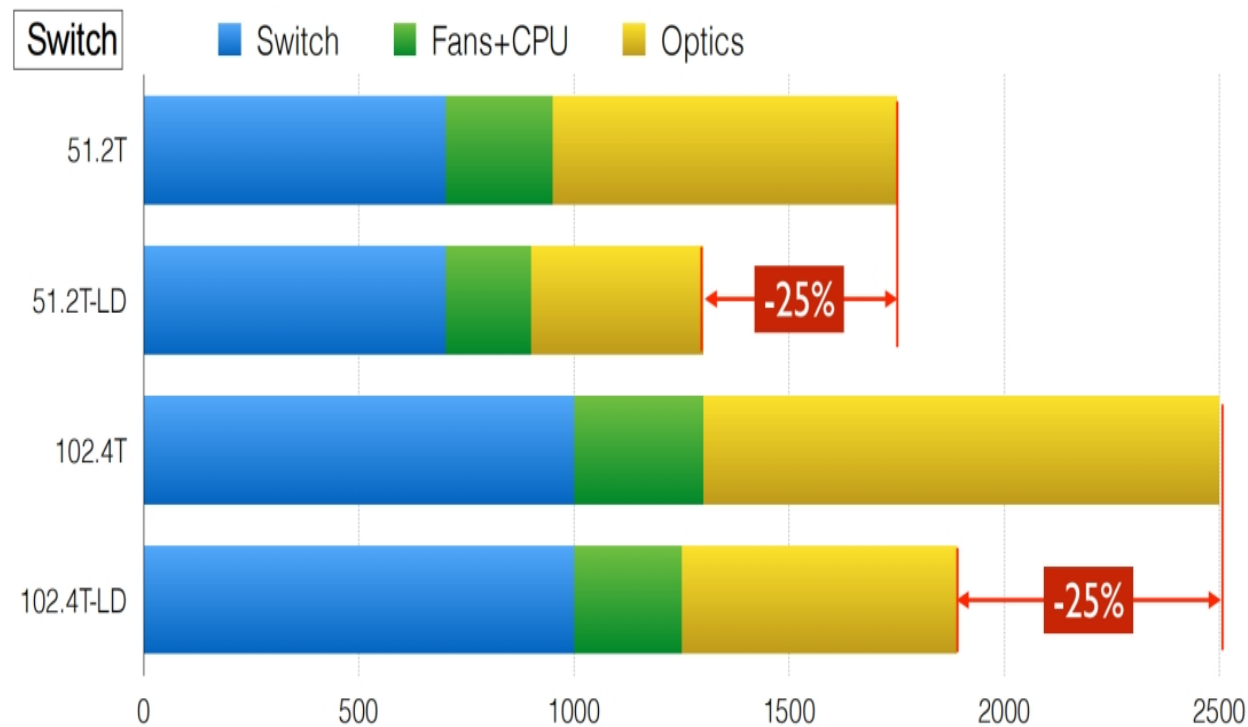
LPO: 利用线性驱动替代DSP, AI数据中心场景具备应用潜力

► LPO: 所谓“线性驱动”, 通过线性直驱技术替换传统的DSP, 将功能集成到交换芯片中, 只留下驱动芯片 (Driver) 和跨阻放大器 (TIA) 芯片。LPO光模块中用到的Driver和TIA芯片性能也有所提升。由于去除了传统的DSP (数字信号处理) /CDR (时钟数据恢复) 芯片, 实现系统低功耗、降延迟的优势, 但系统误码率和传输距离有所牺牲。该技术适用于数据中心等短距离传输场景。

• 传统方案 (有DSP) 和LPO方案 (无DSP) 对比



• LPO方案与传统方案功耗对比



LPO: 云厂商、设备商积极布局LPO线性直驱方案, 最新100G产品已经应用

➤ 由于LPO在能耗上表现相对优秀, 同时兼具着可插拔维护便利的优势, 目前市场上从上游芯片、交换机到下游终端用户均在重视LPO技术发展与应用, 具备应用潜力。目前, 厂商如Arista、Broadcom、Cisco、Credo、新易盛、中际旭创、MACOM、Marvell、Nvidia和Semtech等厂商, 均在LPO领域进行了布局。

➤ LPO将适用于多模(VCSEL)和单模应用(EML、SiPh), 但与TFLN、BTO和Organics等线性调制器结合使用效果最佳。LPO的技术生态系统已经准备就绪, 100G SerDes 已集成到最新的网络交换机芯片中。

• MACOM光模块方案的转变

> Lower Power consumption

- ❑ Cooler temp inside & outside module

> Reduced BOM components

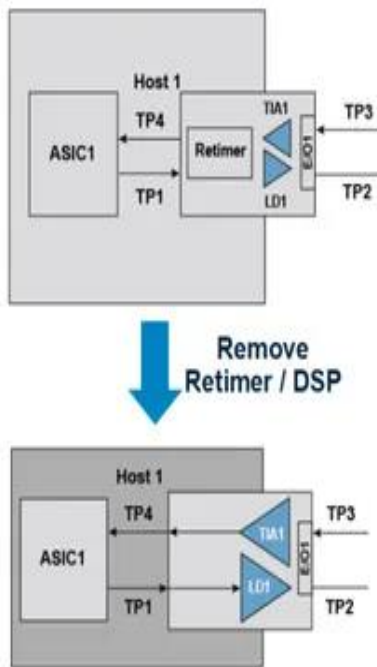
- ❑ Lower cost & improved component planning

> Minimal Latency

- Absolute & variation
- Faster link bring up

> Leverage best decision maker

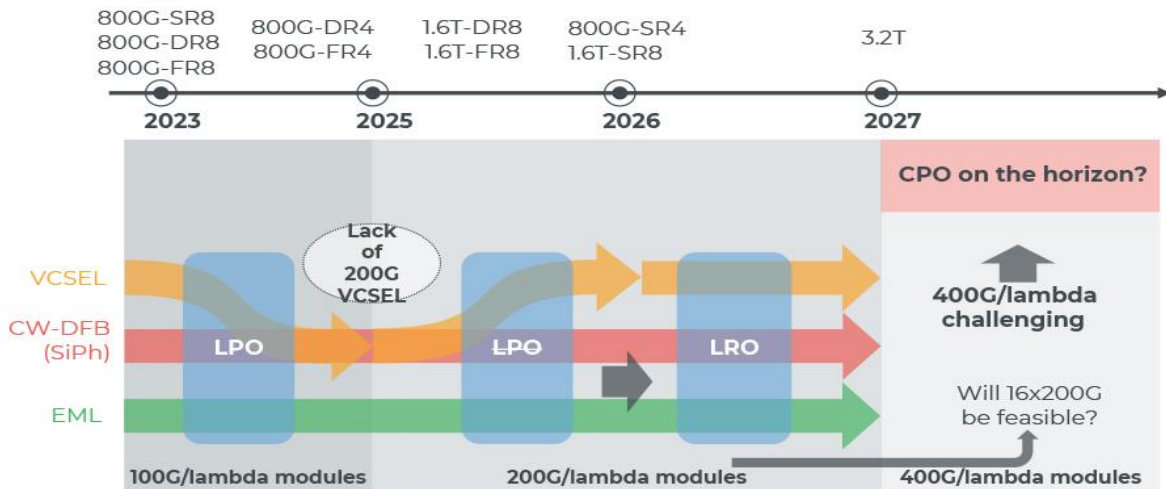
- ❑ Mid-link retiming locks in bit error even if down stream can make a better decision



• 2023-2027年数据中心光模块演进

2023-2027 technology roadmap of optical transceivers for datacom

(Source: Optical Transceivers for Datacom and Telecom 2024, Yole Intelligence, May 2024)



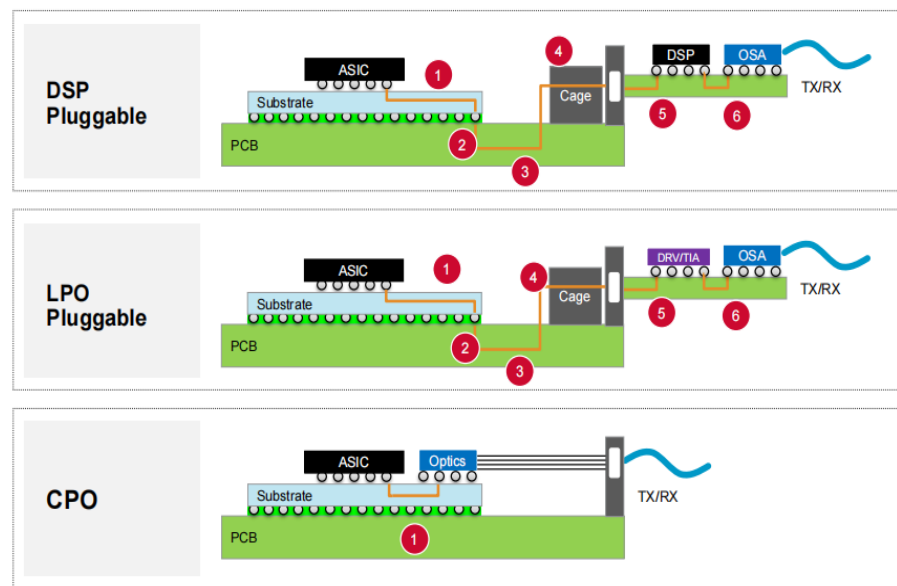
© Yole Intelligence 2024

CPO: 实现交换芯片与光芯片共封装，实现更好能效和交换性能

- 除了LPO的封装路径之外，随着光模块向800G光模块演进，CPO（Co-Package Optics）的成本和技术优势将逐渐凸显。
- CPO利用激光而非电子信号来传输数据。通过将光学器件和电子元件封装在一起（光器件+交换芯片），CPO实现了光信号和电信号处理的深度融合。这一转变标志着从传统光学模块中的“电互连”向真正的“光互连”的转变。

主要光模块封装形态对比

CPO Insertion Loss Savings vs. Pluggables



11 | Copyright © 2021 Broadcom. All Rights Reserved. The term "Broadcom" refers to Broadcom Inc. and/or its subsidiaries.

\$
>30%
Cost Savings

➔
>80%
Insertion Loss savings

- 1 ASIC through substrate
- 2 Via Losses
- 3 PCB Trace Loss
- 4 Connector Losses
- 5 Module PCB Losses
- 6 OSA Interconnect loss

BROADCOM

主要光模块封装形态的性能指标对比

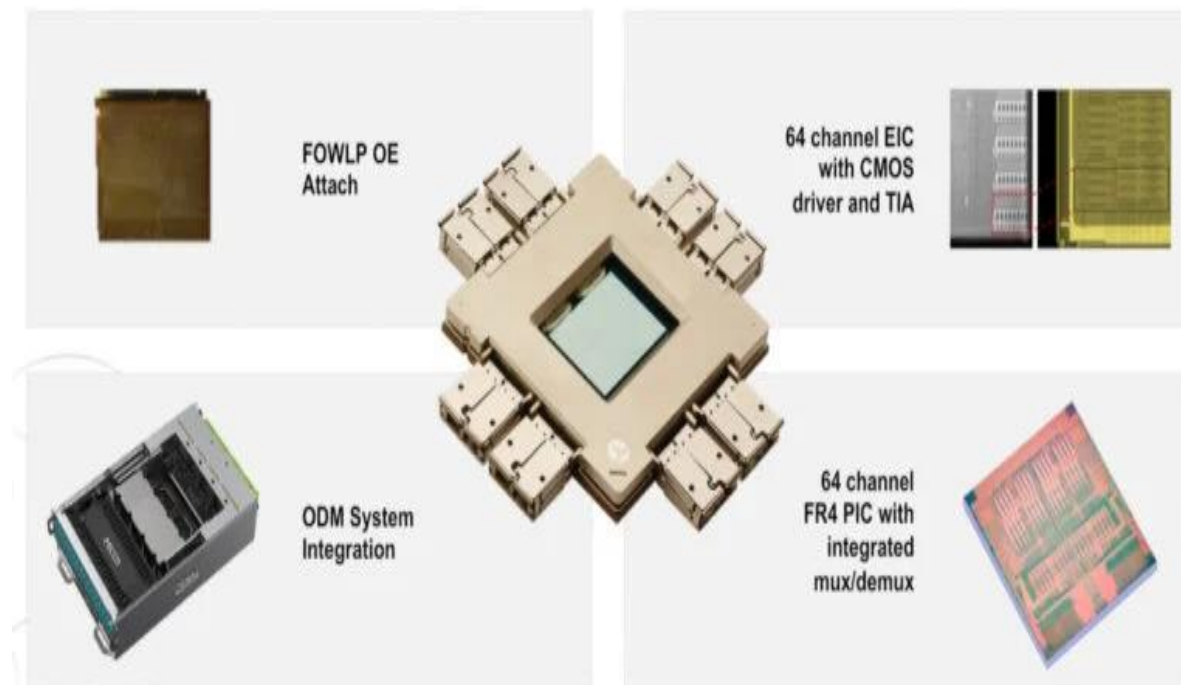
Top View	Side View	Package	Engine Data Speed
		QSFP	QSFP (Quad Small Form-factor Pluggable) 100/400/800G
		BGA/LGA OE	OE (Optical Engine) 800G/1.6T
		Advanced Packages	3.2/6.4/12.8T
		Advanced Packages	6.4/12.8T & beyond

Higher bandwidth / Lower power

CPO: 博通在OFC上推出了带有CPO的51.2T交换机系统

- 博通作为重要的交换芯片和光电子芯片的厂商，在CPO芯片和交换机产品方面持续取得进展。2021年公司宣布进军CPO领域，2022年8月宣布腾讯和锐捷成为该领域的合作伙伴，2024年3月，公司开始向客户交付51.2T以太网交换机Baily。
- 公司基于CPO的51.2T交换机：含有8个6.4T FR64光引擎，每个光引擎含有64通道的PIC和EIC芯片。另外，EIC上的驱动器和TIA（跨阻放大器）采用CMOS技术，单通道信号传输速率为100Gbps；PIC集成支持CWDM4波长（1271nm、1291nm、1311nm和1331nm）的复用器/解复用器。

博通基于CPO打造的交换机系统



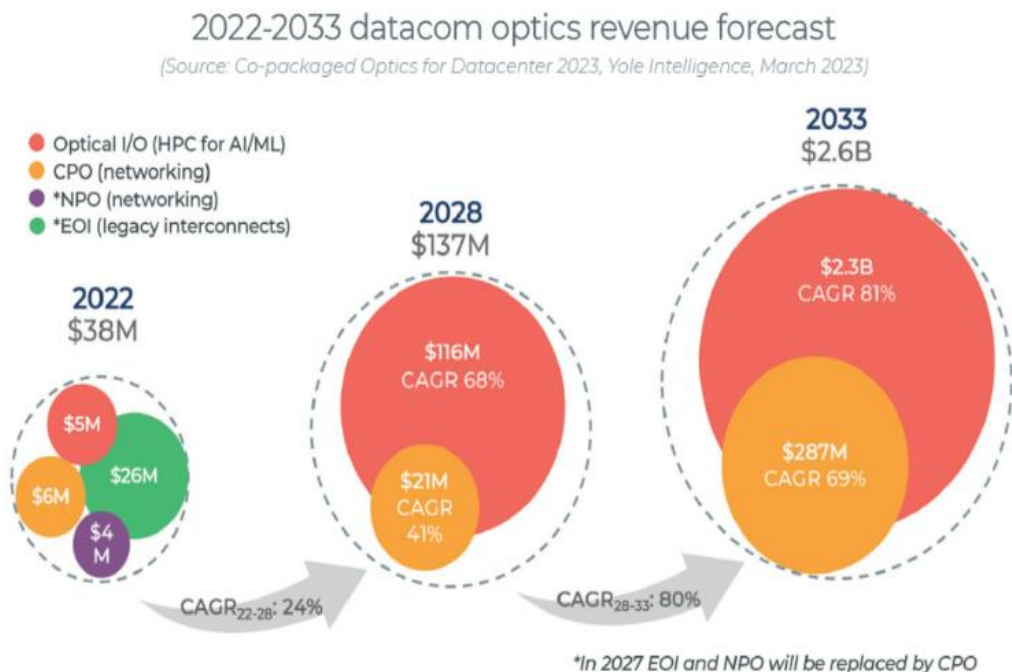
博通CPO光模块产品演进



CPO: 市场仍处在起步阶段, 6.4T之后市场提速预计更为明显

- 虽然CPO在商业模式上, 还需要交换机厂商以及处理器厂商(电芯片)的配合, 另外灵活性、可维护性以及产品成熟度都相对较差, 但凭借着其在功耗、时延等方面的性能优势, 预计仍将是光模块长期的解决方案。
- Yole预计, 随着6.4T光学模块的问世, CPO和可插拔光学器件之间的真正直面竞争可能会在2029年发生。预计到那时, CPO系统中的多个技术障碍将得到解决。2022年CPO市场产生的收入达到约3800万美元, 预计到2033年将达到26亿美元, 增长较快。

• 光电共封装 (CPO) 收入预测



• 光电共封装 (CPO) 供应链

Supply chain of selected co-packaged optics players

(Source: Co-packaged Optics for Datacenter 2023, Yole Intelligence, March 2023)

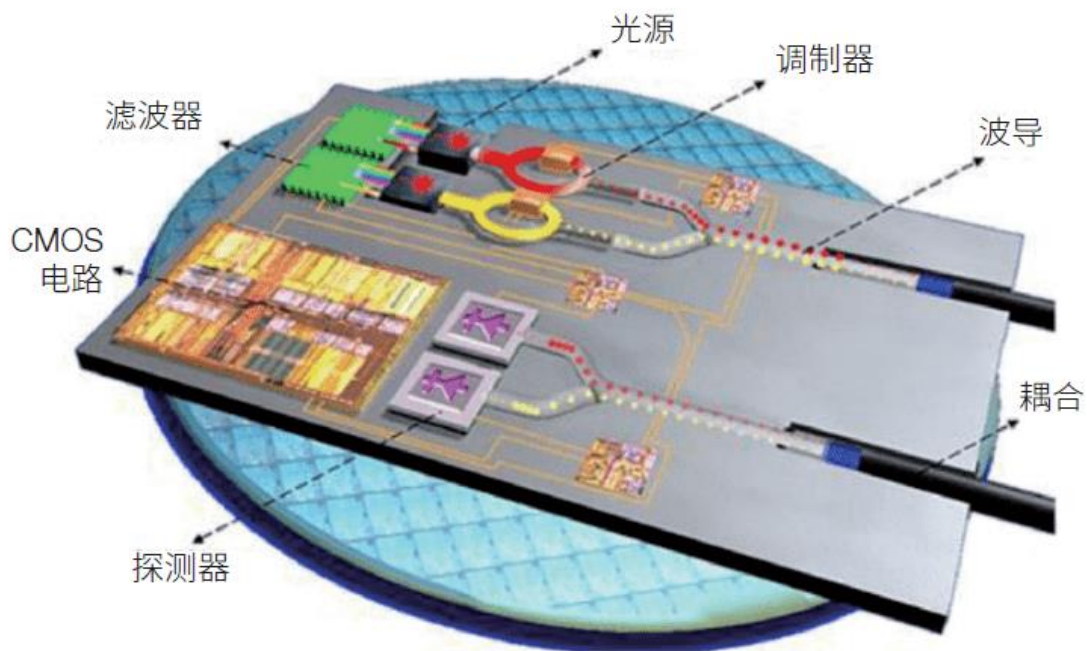
Design	Optical engines (transceiver) suppliers	Laser suppliers for OEs	Merchant silicon vendors (IC/xPU)	SiPh Foundries	Equipment vendors (CPO assembly)
BROADCOM	BROADCOM	BROADCOM	BROADCOM	BROADCOM	BROADCOM
intel	intel	intel	intel BAREFOOT	intel Tower	intel
CISCO	CISCO	MACOM	CISCO	tsmc	CISCO
MARVELL	MARVELL	AOI	MARVELL	tsmc	MARVELL
RANOVUS	RANOVUS	RANOVUS	AMD	tsmc	AMD
RAGILE	intel	AOI	BROADCOM	intel	RAGILE
AyarLabs	AyarLabs	LUMENTUM	intel	tsmc	AVANEX
NVIDIA	NVIDIA	MACOM	NVIDIA	tsmc	NVIDIA
OpenLight	OpenLight	OpenLight	?	Tower	JUNIPER

Non-exhaustive list of companies

硅光技术：多种光器件集成在同一硅基衬底上，集成度高、带宽高且成本低

- ▶ 硅光技术是一种通过传统微电子CMOS工艺实现光电子器件和微电子器件的单片集成。这种芯片主要由光源、调制器、探测器、无源波导器件等组成，它可以将多种光器件集成在同一硅基衬底上，实现光信号的产生、传输、控制和检测等功能。此类芯片具有集成度高、成本低、传输带宽高等特点。
- ▶ 硅光技术目前主要的瓶颈在于集成问题。光芯片依然使用的是传统的III-V族材料和LiNbO3等，采用分立贴装（光迅、Luxtera等）或晶圆键合加工（Intel等）将III-V族等材料的激光器与硅上集成的调制器、波导等加工在一起。

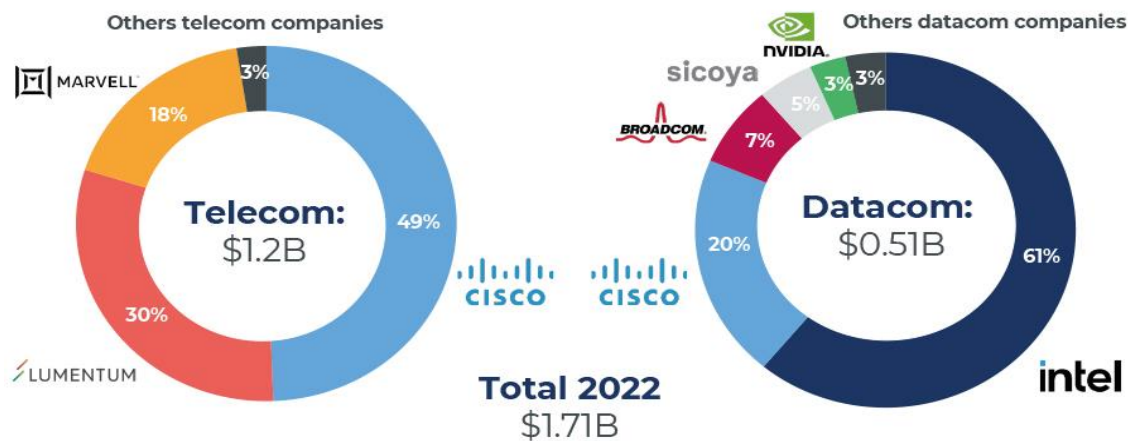
• 硅光芯片集成概念图



• 硅光芯片市场竞争格局

2022 datacom and telecom modules revenue market share

(Source: Silicon Photonics 2023, Yole Intelligence, November 2023)



© Yole Intelligence 2023

硅光技术：英特尔发布最新光计算互联方案，可实现XPU与硅光芯片合封

- ▶ 英特尔是全球较早发力硅光技术的厂商之一，最早专注于硅光子可插拔光收发器和微环调制器技术的研发，2020年开始进入硅光领域。2024年OFC会议上，公司公布了其最新的OCI光计算互联方案，其OCI方案就是光芯片在电芯片上堆叠而成，其中电芯片由微处理器、驱动和跨阻放大器构成。产品可以用于CPU和GPU高密度计算集群。
- ▶ 公司此次发布的OCI（光学计算互连）包含64通道，每个通道允许在100m的距离内以32Gbit/s的速度传输数据，整体吞吐量达到2Tbps；预计数据传输速度有望提升至32Tbps。

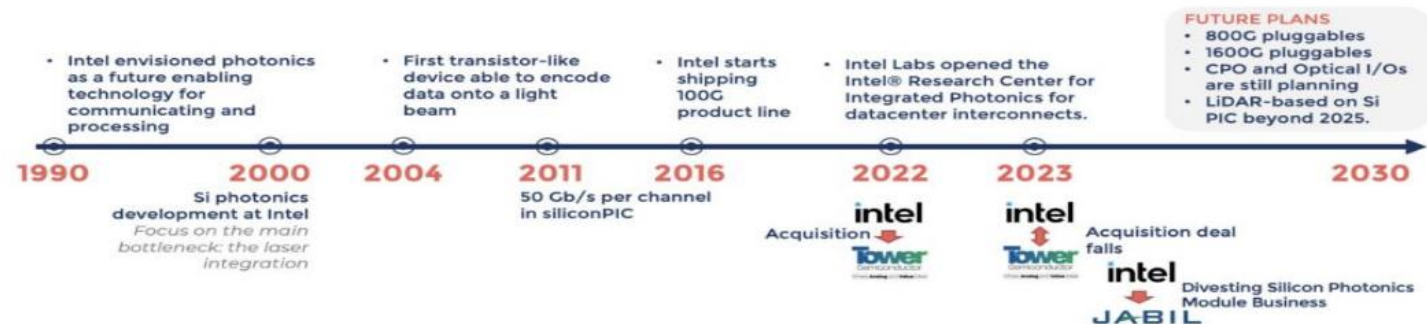
• 英特尔硅光发展演进及趋势

• 英特尔光计算连接解决方案（OCI）

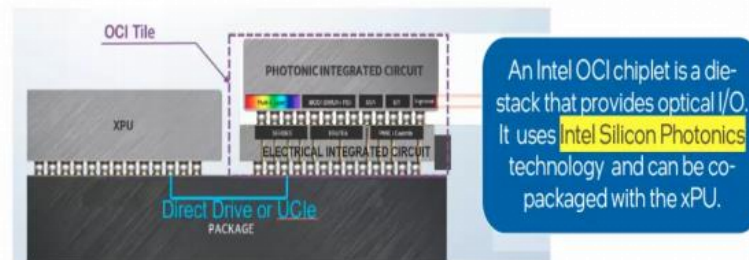
SILICON PHOTONICS AT INTEL – A SUCCESSFUL STRATEGY

Source: Silicon Photonics report, Yole Intelligence, 2023

In 20+ years, Intel has moved from the development of wafer-scale processes for photonics, to market leadership in Si photonics



Our Solution: Optical Compute Interconnect (OCI)



- The OCI Chiplet is a Silicon Photonics-based Photonic Integrated Circuit (PIC) stacked on top of an Electrical IC (EIC) mounted on a substrate/package
- The EIC has an integrated micro-controller, modulator driver and transimpedance amplifier (TIA)
- The EIC can have a SERDES or not, depending on the host electrical I/O (PCIe, CXL, Ethernet, UCIe, etc.)

硅光技术：硅基光电集成材料路径多元，薄膜铌酸锂调制器具备较大潜力

- ▶ 硅光技术并不局限于单一材料。用于光子集成的各种材料平台，如薄膜LiNbO3(TFLN)、SiN、BTO、GaAs等，应用潜力已经得到证明。其中，薄膜铌酸锂发展迅速，尤其是在制造高速调制器方面已被证明是非常有效的。
- ▶ 光芯片（PICs）中：硅光芯片和薄膜铌酸锂（TFLN）市场占比有望扩大。Lightcounting预测，硅光子芯片的销售额将从2023年的8亿美元增长到2029年的略高于30亿美元。到2029年，带有TFLN调制器的PIC的销售额将从现在的几乎为零增长到7.5亿美元。

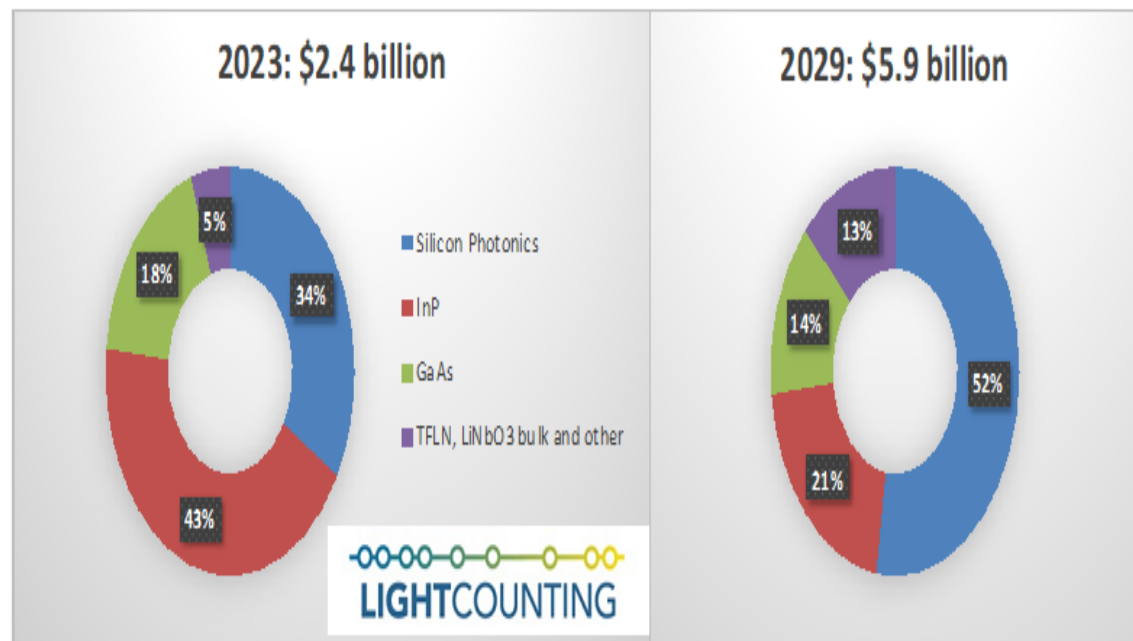
• 用于硅基光电异质集成的材料体系及光电器件

材料体系	异质材料	异质集成器件
硅材料	SOI	调制器 探测器
III-V 族材料	InP	激光器 单光子源 调制器
	GaAs	
VI 族材料	Ge	探测器
其他材料	LiNbO ₃	调制器
	YIG	隔离器
	2D	调制器
	SiN	低损耗波导

异质集成

• 光模块中主要光芯片收入预测（按技术）

Figure: Sales of lasers and photonic integrated circuits (PICs) used in optical transceivers



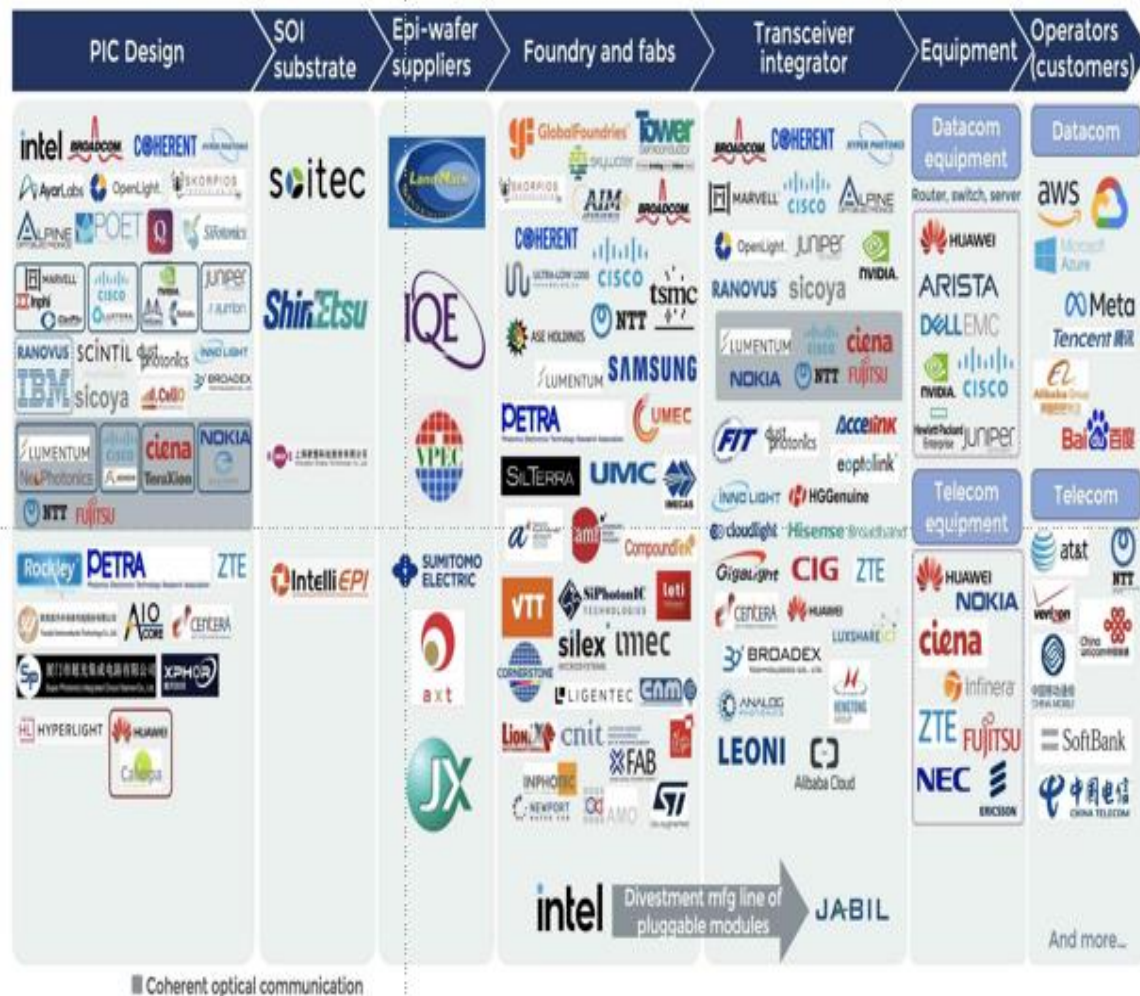
硅光技术：全球产业链参与度较高，中国厂商也在积极布局

- 硅光技术赛道上，参与者众多：1) 整体方案提供商：英特尔、高通、相干公司、Marvell、英伟达等；2) 晶圆制造厂：Global Foundries、Tower Semiconductor、TSMC等；3) Ayar Labs、OpenLight等设计公司；4) 光模块公司：中际旭创、新易盛等；5) 光通信设备：华为、中兴、爱立信等……
- 中国企业进展较快，华为、中兴、中际旭创、新易盛、联特光电等，均在积极投入该领域，并取得积极成果。

国内主要企业硅光业务布局情况

企业	硅光业务发展或布局情况
华为	2012年收购英国集成光子研究中心CIP Technologies；2013年完成对比利时硅光技术开发商Calioipa的并购
新易盛	2022年收购硅光公司Alpine，参与硅光模块、芯片市场
博创科技	开发基于硅光技术的应用于数据中心内部互联和无线前传领域的收发模块，已经开始向数据中心客户出货
联特光电	SIP（硅光）和TFLN（薄膜铌酸锂）调制技术
中际旭创	OSFP和QSFP-DD800硅光光模块已经出货
新易盛	境外子公司Alpine在硅光模块、相干光模块以及硅光子芯片技术方面能够给公司业务提供强劲支持
罗博特科	参股公司ficonTEC在硅光封测设备方面有着较强竞争力
源杰科技	正在进行大功率CW激光器的研发

全球用于光通信的硅光技术价值链





目录CONTENTS

- 催化：AIGC刺激，800G+数通光模块开始担当大任
 - 市场：1.6T上量，2024年数通光模块将实现高速增长
 - 趋势：技术演进快速，LPO、CPO及硅光应用加快
- 投资建议与风险提示

投资建议：继续关注AIGC带来的光模块及上游零部件等领域的投资机会

► 光模块是电信、数据通信基础设施建设中不可或缺的组成部分。随着AIGC算力设施建设的快速增长，数据中心的网络架构也出现明显变化，数通光模块尤其是800G+的需求较快增长。国内厂商作为光模块产业链中的重要组成部分，近年来也在这一轮的需求增长、技术演进中快速成长。未来，随着AIGC应用端的丰富，算力基础设施建设将会更上一个台阶，国内光模块产业链会继续受益。上游元器件方面，建议关注激光器芯片厂商源杰科技，平台型元件厂商天孚通信；光模块方面，建议关注中际旭创、新易盛、华工科技、光库科技等。

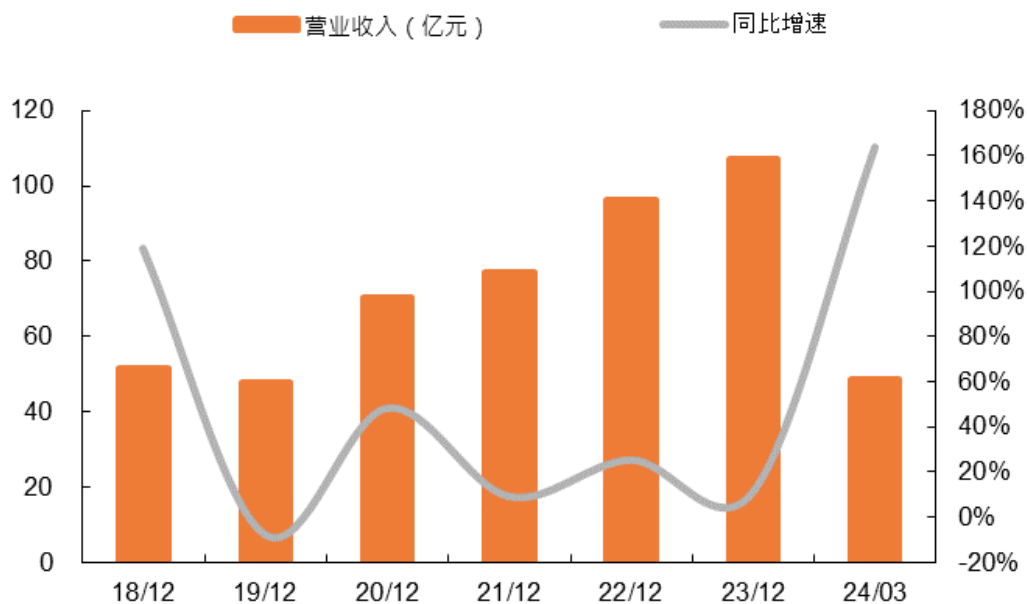
• 光模块产业链重点公司附表

股票简称	股票代码	市值 (亿元)	收盘价 (元)	EPS (元)				PE (倍)				评级
				2024/7/8	2023A	2024E	2025E	2026E	2023A	2024E	2025E	
源杰科技	688498	105.29	123.20	0.23	0.71	1.21	1.73	540.50	172.60	102.22	71.14	推荐
中际旭创	300308	1,618.85	144.39	1.94	4.34	5.83	7.50	74.48	33.24	24.78	19.25	未评级
新易盛	300502	804.15	113.45	0.97	2.07	2.97	4.10	116.82	54.77	38.20	27.64	未评级
天孚通信	300394	498.96	90.08	1.32	2.42	3.53	4.85	68.36	37.15	25.49	18.57	未评级
华工科技	000988	290.89	28.93	1.00	1.30	1.63	1.97	28.89	22.27	17.72	14.70	未评级
光库科技	300620	85.68	34.30	0.24	0.36	0.53	0.71	143.67	96.01	65.12	48.48	未评级

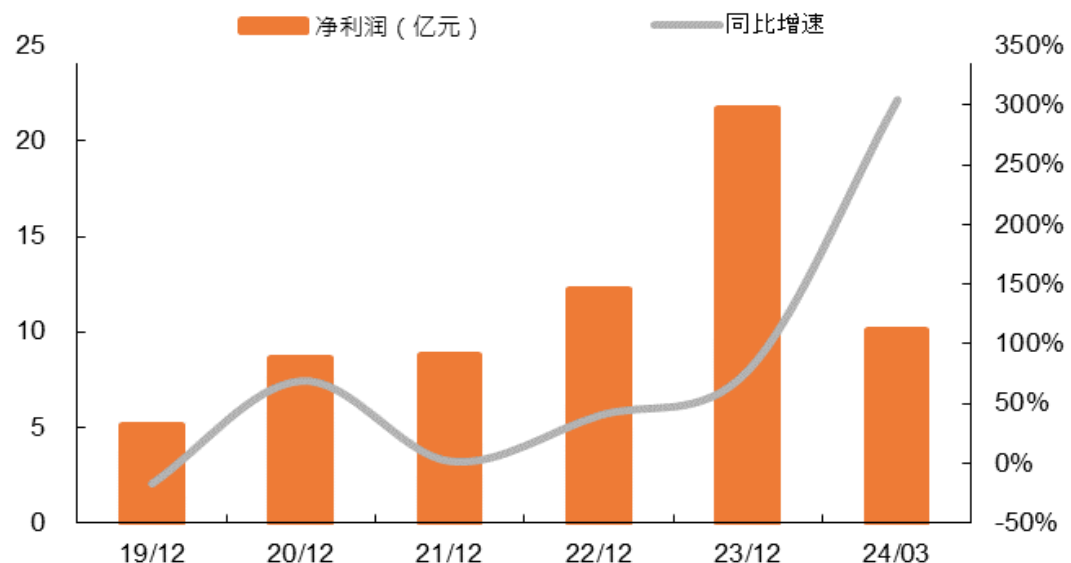
中际旭创：公司拥有全系列的数通光模块解决方案，1.6T正在导入市场

- ▶ 中际旭创是国内专业的高速光模块解决方案提供商，是集高端光通信收发模块的研发、设计、封装、测试和销售于一体的技术创新型企业。近年来，中际旭创保持着良好的营收表现和出色的资本运作能力，发挥平台优势，整合产业资源，不断加强光电产业全链条投资布局。受益于AIGC拉动的光模块需求增长，2024年1季度公司收入和净利润均在实现较快增长。
- ▶ 公司在数通领域，中际旭创拥有全系列的10G、25G、40G、100G、200G、400G和800G光通信模块。公司在投资者平台回复，1.6T目前正处于市场导入阶段。

• 中际旭创收入及同比增速



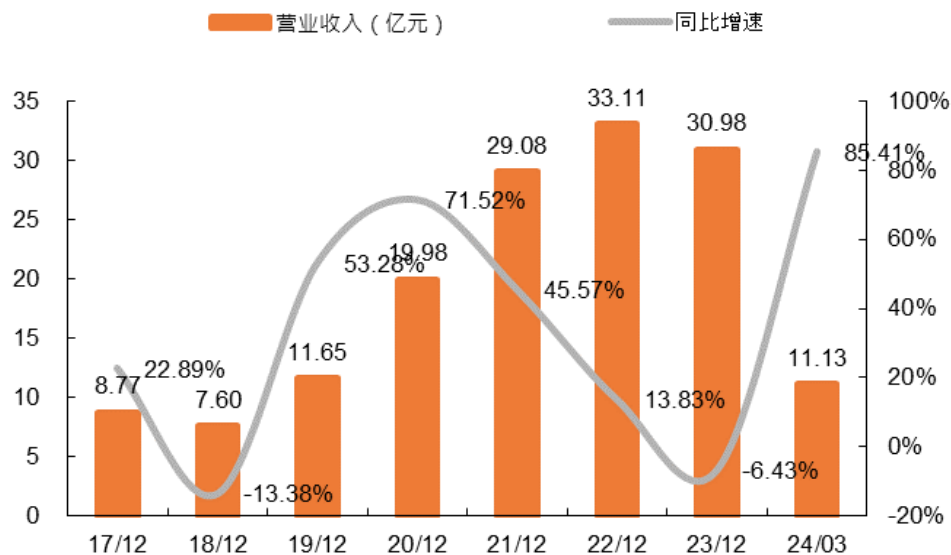
• 中际旭创净利润及同比增速



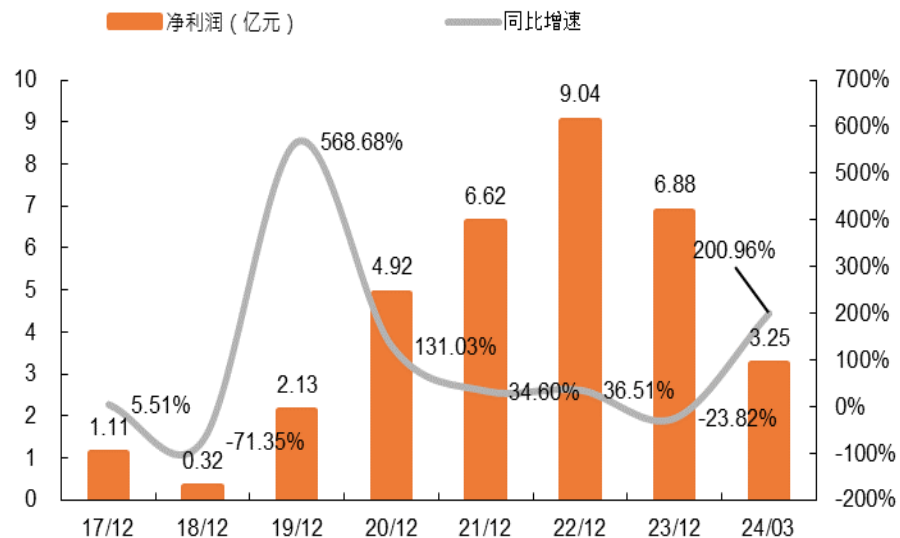
新易盛：公司新产品迭代迅速，800G高速光模块已经实现批量出货

- ▶ 新易盛是一家领先的光模块解决方案与服务提供商。新易盛一直专注于研发、生产和销售多种类的高性能光模块和光器件，产品可广泛应用于数据中心、电信网络（FTTx、LTE和传输）、安全监控以及智能电网等ICT行业。
- ▶ 目前公司已成功推出业界最新的基于单波200G光器件的800G/1.6T光模块产品，高速光模块产品组合涵盖VCSEL/EML、硅光、薄膜磷酸锂等技术解决方案；已推出400G和800GZR/ZR+相干光模块产品、以及基于LPO方案的400G/800G光模块。800G产品已批量出货。

• 新易盛收入及同比增速



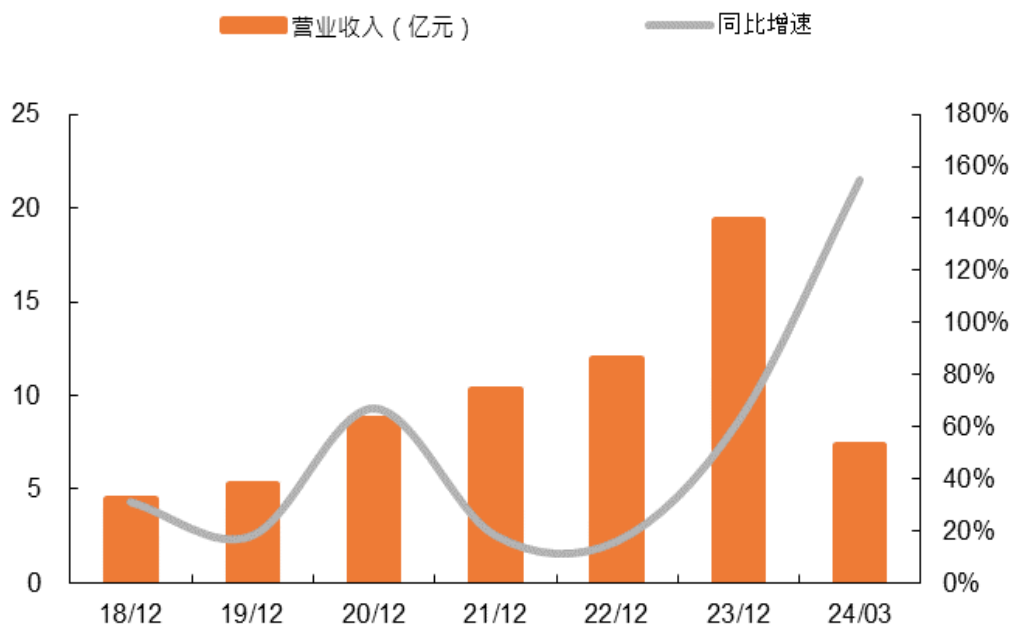
• 新易盛净利润及同比增速



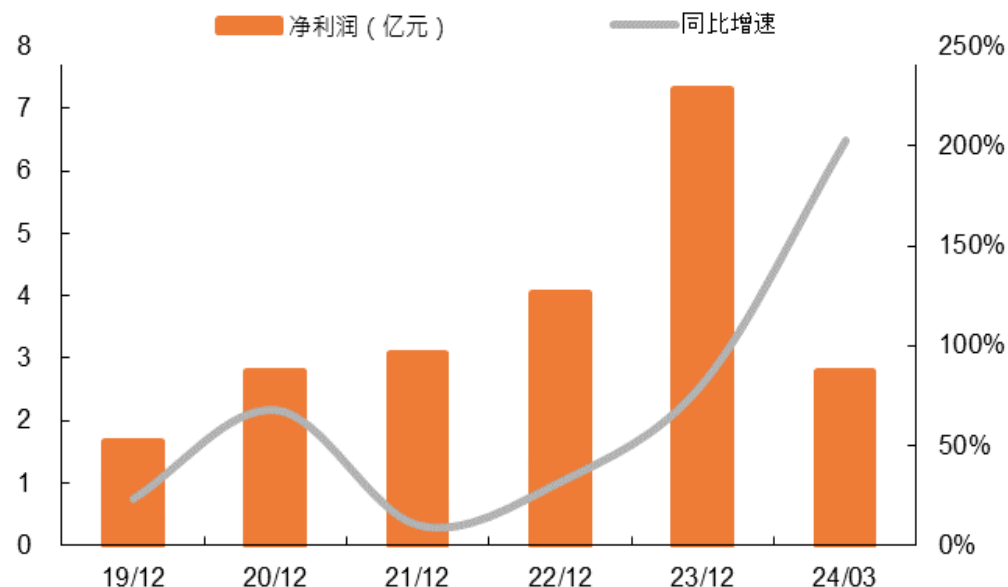
天孚通信：国内光通信器件龙头，受益于AIGC收入规模快速扩大

► 公司定位光器件整体解决方案提供商和先进光学封装制造服务商，公司产品在光通信系统中使用广泛，主要用于制造各类光收发模块以及光通信系统设备，其解决方案包括高速率同轴器件封装解决方案、高速率BOX器件封装解决方案、AWG系列光器件无源解决方案、微光学解决方案等。公司持续保持高强度研发投入，关注前沿技术发展，配合客户800G、1.6T新品研发。2024年1季度，公司实现营业收入7.32亿元，同比增长154.95%；实现归母净利润2.79亿元，同比增长202.68%。

• 天孚通信收入及同比增速



• 天孚通信净利润及同比增速



风险提示

- ▶ **AIGC基础设施建设不及预期**：数通光模块的需求与AIGC基础设施建设密切相关，如果下游CSP在相关领域投入不及预期，光模块的需求也可能受到较大影响。
- ▶ **技术演进可能不及预期**：AIGC的发展，也带来了数通光模块行业的快速迭代，技术周期显著缩短，这对国内企业的研发会产生较大的压力，如果技术升级节奏不及预期，落后于竞争对手，可能会很快从竞争中出局。
- ▶ **贸易保护加剧的风险**：国内光模块厂商产品竞争力较强，很多厂商的海外收入占比较大，如果后续出现针对中国的光模块产品增加关税、进口限制等贸易保护措施，相关厂商可能受到影响。

平安证券研究所电子信息团队

分析师	邮箱	资格类型	资格编号
付强	FUQIANG021@pingan.com.cn	投资咨询	S1060520070001
闫磊	YANLEI511@pingan.com.cn	投资咨询	S1060517070006
徐勇	XUYONG318@pingan.com.cn	投资咨询	S1060519090004
徐碧云	XUBIYUN372@pingan.com.cn	投资咨询	S1060523070002
郭冠君	GUOGUANJUN625@pingan.com.cn	投资咨询	S1060524050003
黄韦涵	HUANGWEIHAN235@pingan.com.cn	投资咨询	S1060523070003

股票投资评级：

强烈推荐（预计6个月内，股价表现强于沪深300指数20%以上）

推 荐（预计6个月内，股价表现强于沪深300指数10%至20%之间）

中 性（预计6个月内，股价表现相对沪深300指数在±10%之间）

回 避（预计6个月内，股价表现弱于沪深300指数10%以上）

行业投资评级：

强于大市（预计6个月内，行业指数表现强于沪深300指数5%以上）

中 性（预计6个月内，行业指数表现相对沪深300指数在±5%之间）

弱于大市（预计6个月内，行业指数表现弱于沪深300指数5%以上）

公司声明及风险提示：

负责撰写此报告的分析师（一人或多人）就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。市场有风险，投资需谨慎。

免责条款：

此报告旨在发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司2024版权所有。保留一切权利。