



高速互联需求驱动光通信行业发展， 国产光芯片有望加速渗透

投资评级：推荐（维持）

报告日期：2024年08月03日

- 分析师：毛正
- SAC编号：S1050521120001
- 联系人：何鹏程
- SAC编号：S1050123080008

研究创造价值

高速率光芯片前景广阔，3.2T时代硅光方案值得期待

光模块通过将电信号转换为光信号，并在光纤中传输，使得高速数据通信成为可能。光芯片不仅决定了光模块的性能和效率，还直接影响到网络的速度和稳定性。在数通、电信，光纤接入等场景都有广泛的应用场景，不可或缺的关键零部件。目前中低速率的光芯片国产化率已经较高，**高速率光芯片例如100G/200G EML**等产品的国产化前景十分广阔。此外，随着光通信发展的加速，光芯片在光模块中价值占比也有提升的趋势。展望未来，在3.2T及6.4T的时代**硅光芯片**有望凭借更高的集成度和性能加速渗透，**大功率CW激光器**相关标的值得跟踪关注。

Blackwell平台发布驱动超大算力集群加速升级，高速网络需求带动高速率光模块加速渗透

GTC 2024大会上，英伟达公布了下一代GPU架构Blackwell。通过第五代NVLink技术NVLink Switch，以GB200架构为例，该集群可以支持多达576个GPU的扩展。L1层GPU和NVLink Switch之间采用铜互联的方式，L1层与L2层之间需要用到光模块，**GPU：1.6T光模块的比例为1:9**。千卡甚至万卡集群需要使用到InfiniBand架构，根据我们的测算，在网络层数分别为1/2/3的情况下，**GPU：800G：1.6T光模块分别为1:1:0.5/1:1:1.5/1:1:2.5**。我们预计本次计算平台的升级将进一步提振市场对于**100G EML，200G EML**等高速率光芯片产品的需求。

投资建议

随着AI技术的不断升级，市场对超大算力集群的需求不断提升，驱动高速率光芯片的出货，国产光芯片及光器件厂商有望显著受益。建议关注：1) 国产光芯片厂商：源杰科技、永鼎股份；2) 国产光器件厂商：长光华芯、光迅科技；3) 硅光设备：罗博特科。

重点关注公司及盈利预测

公司代码	名称	2024-08-02 股价	EPS			PE			投资评级
			2023	2024E	2025E	2023	2024E	2025E	
002281.SZ	光迅科技	32.01	0.78	1.02	1.31	36.55	31.34	24.46	未评级
300757.SZ	罗博特科	90.61	0.70	0.84	1.16	116.48	108.06	78.04	未评级
600105.SH	永鼎股份	3.59	0.03	0.12	0.19	179.92	29.11	18.66	未评级
688048.SH	长光华芯	30.00	-0.52	0.24	0.49	-120.15	124.67	61.25	未评级
688498.SH	源杰科技	105.39	1.23	1.64	2.15	85.68	64.26	49.02	买入

资料来源：Wind，华鑫证券研究（注：“未评级”盈利预测取自万得一致预期）

- 下游需求不及预期风险
- 光芯片国产化进度不及预期
- 行业竞争加剧风险
- 贸易摩擦加剧风险
- 推荐公司业绩不及预期风险

目录

CONTENTS

1. 光芯片总览
2. 硅光技术：具备成本优势及更高性能的技术方案
3. 薄膜铌酸锂：电光调制器理想的解决方案
4. 政策端：推进光芯片国产化急速
5. 需求端：AI数据中心带动数通侧光模块需求进而提升光芯片用量
6. AI大模型驱动超级算力集群发展，光通信迎来高速成长时代
7. 供给端：高速率光芯片前景广阔，国产化势在必行
8. 重点关注标的

01 光芯片总览

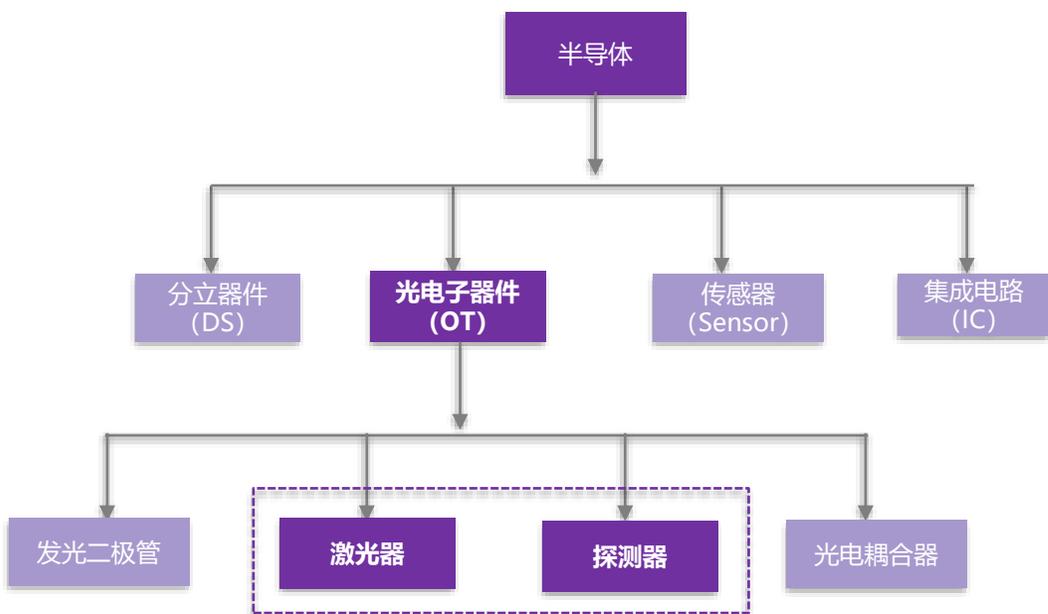
研究创造价值

1.1 光芯片归属于半导体

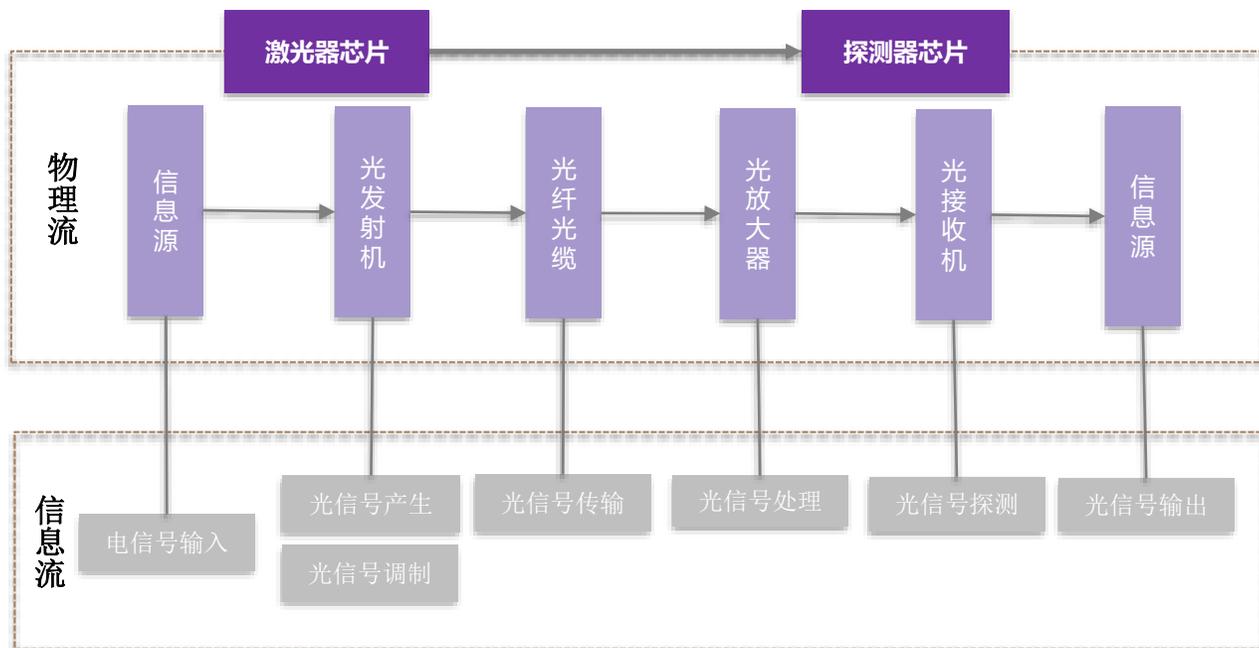
光芯片是光电子器件的核心组成部分，属于半导体领域。光芯片是现代通信网络的核心之一，是实现光电信号转换的基础元件，其性能决定了光通信系统传输效率。光芯片可以进一步加工组成光电子器件，再集成到光通信设备的收发模块实现广泛应用。光芯片在光通信系统工作中实现光电转换的作用。

光芯片主要包括激光器芯片和探测器芯片，是光通信产业链技术壁垒最高的一环。在光通信系统传输信号过程中，发射端通过激光器芯片进行电光转换，将电信号转换为光信号，经过光纤传输至接收端，接收端通过探测器芯片进行光电转换，将光信号转换为电信号。

图表：光芯片与半导体关系示意图



图表：光芯片在光通信系统中的工作



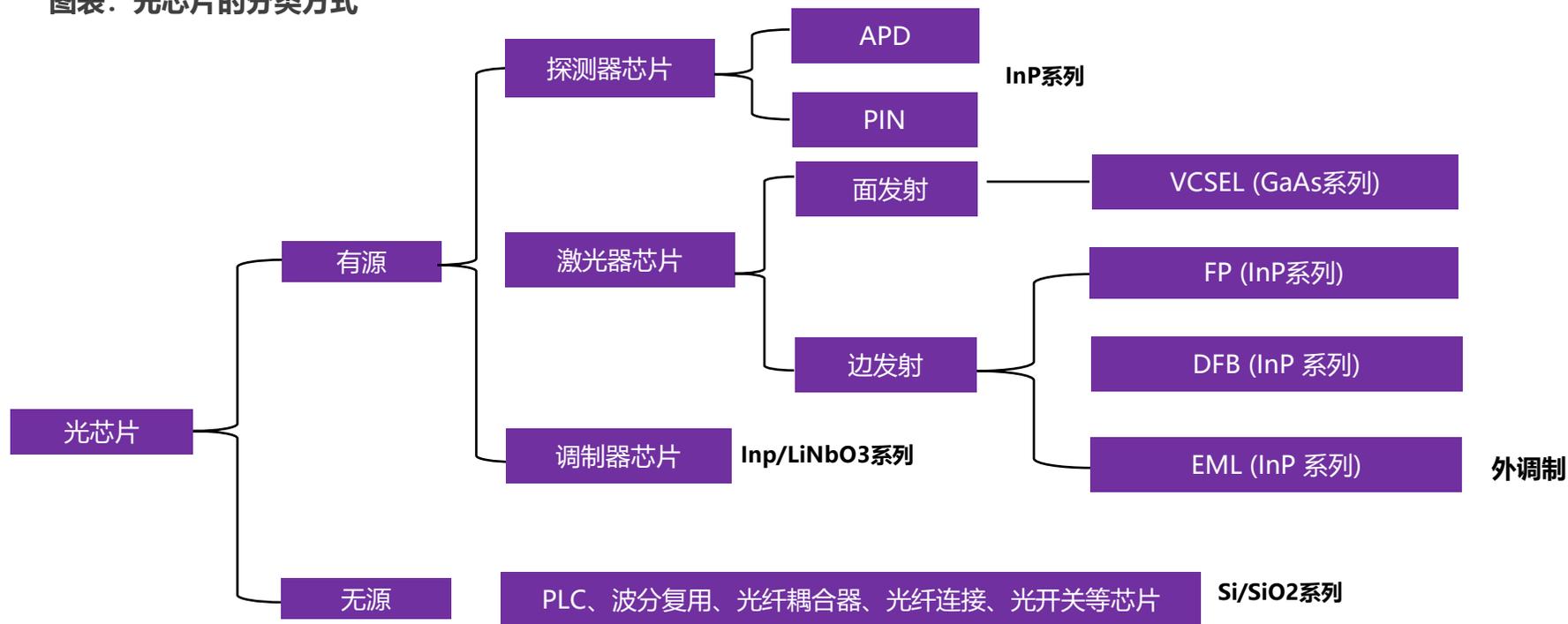
资料来源：源杰科技招股书，华鑫证券研究所

1.2 光芯片的分类

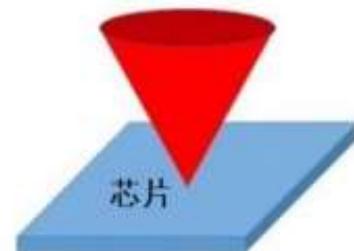
激光器芯片主要用于发射信号，将电信号转化为光信号，价值占比大且技术壁垒高，是光芯片中的“明珠”。光芯片可以被分为有源光芯片和无源光芯片，有源光芯片可以进一步被分为激光器芯片、探测器芯片和调制器芯片。激光器芯片方面，按照发光类型可以分为面发射与边发射。其中，面发射型激光主要为VCSEL；边发射型激光包括FP、DFB和EML等，传统的FP激光器芯片因损耗较大且传输距离短在光通信领域的应用逐渐收窄，因此核心激光芯片主要有三种：DFB、EML和VCSEL。按照调制类型可以分为直接调制（DML）和外调制（EML）。DML有电路直接控制激光的开关，DFB是最常用的直接调制激光器，主要应用于中长距离传输；EML激光通过在DFB的基础上增加电吸收片（EAM）作为外调制器，啁啾与色散性能均优于DFB，更适用于长距离传输。

探测器芯片主要用于接收信号，将光信号转化为电信号。探测器芯片主要可以分为PIN和APD两种类型，前者灵敏度相对较低，应用于中短距，后者灵敏度高，应用于中长距。

图表：光芯片的分类方式



图表：面发射激光芯片



图表：边发射激光芯片



资料来源：源杰科技招股说明书、光纤在线，华鑫证券研究所

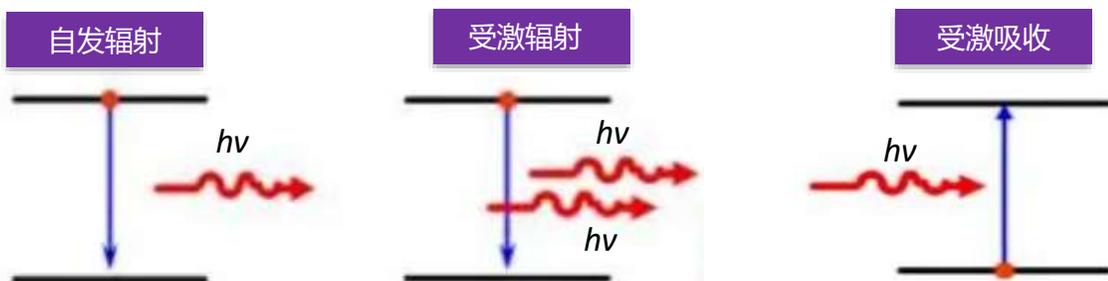
1.3 光芯片工作原理：激光器芯片

光芯片发光的原理：光的发射和吸收是光场和物质作用的结果，该行为主要包括自发辐射、受激辐射和受激吸收。自发辐射的过程主要表现为高能级的电子自发地向低能级跃迁并发射一个能量为 $h\nu$ 的光子；受激辐射的过程主要表现为高能级原子受到能量为 $h\nu$ 的光子诱激发之后释放出一个与激发光子特征完全相同的光子进而跃迁到低能级；受激吸收的过程主要表现为低能级的原子吸收一个能量为 $h\nu$ 的光子后跃迁到高能级。

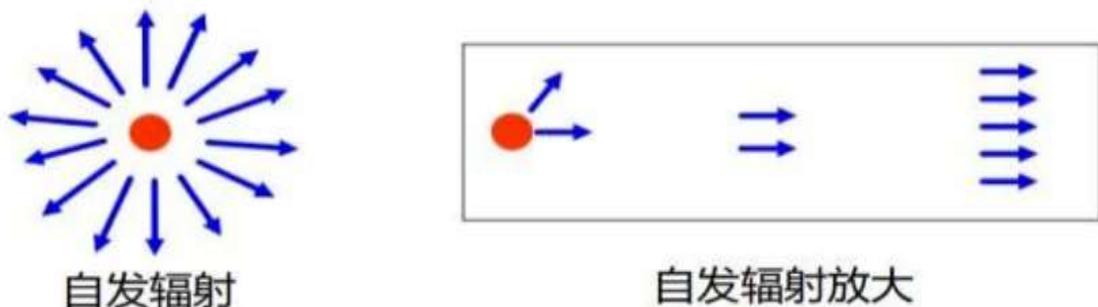
激光器的主要构成为泵浦源、增益介质和谐振腔。泵浦源是激活工作物质的能量源，能够源源不断地为增益介质提供能量激励构成初始的激光信号；增益介质受激后能够产生光子从容生成并放大激光；谐振腔有一对反射镜构成，其中一面为半反射镜，光束在左右两篇镜子之间来回反射，产生谐振效应是的光的能量谐振放大，最后透过半透射镜发射出激光。

电光信号转换是由光模块发射部分的激光器按照输入的电信号码率来转换成光信号。全“1”码时的平均光功率表示激光器发光的平均功率，全“0”码时的平均光功率即表示激光器不发光的平均功率。

图表：光芯片发光原理示意图

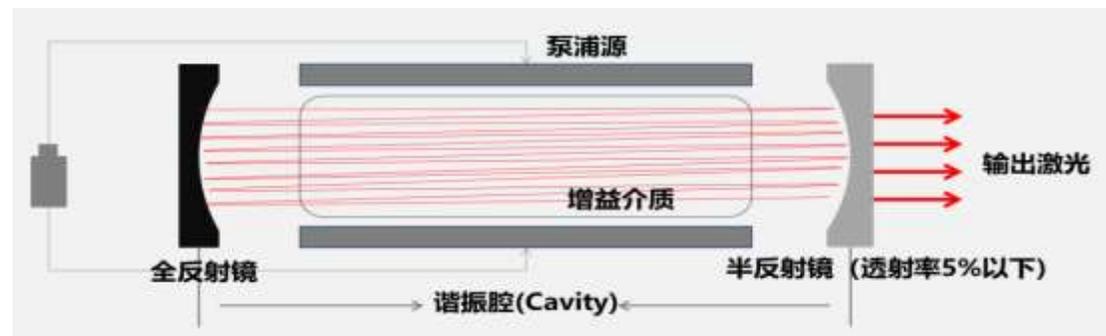


图表：谐振腔的工作原理示意图

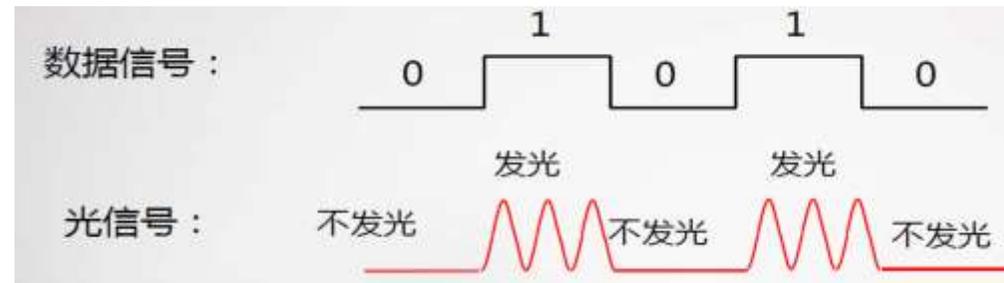


资料来源：华为官网、激光之窗、创道硬科技研究院，华鑫证券研究所

图表：激光器受激辐射原理图



图表：激光器受激辐射原理图



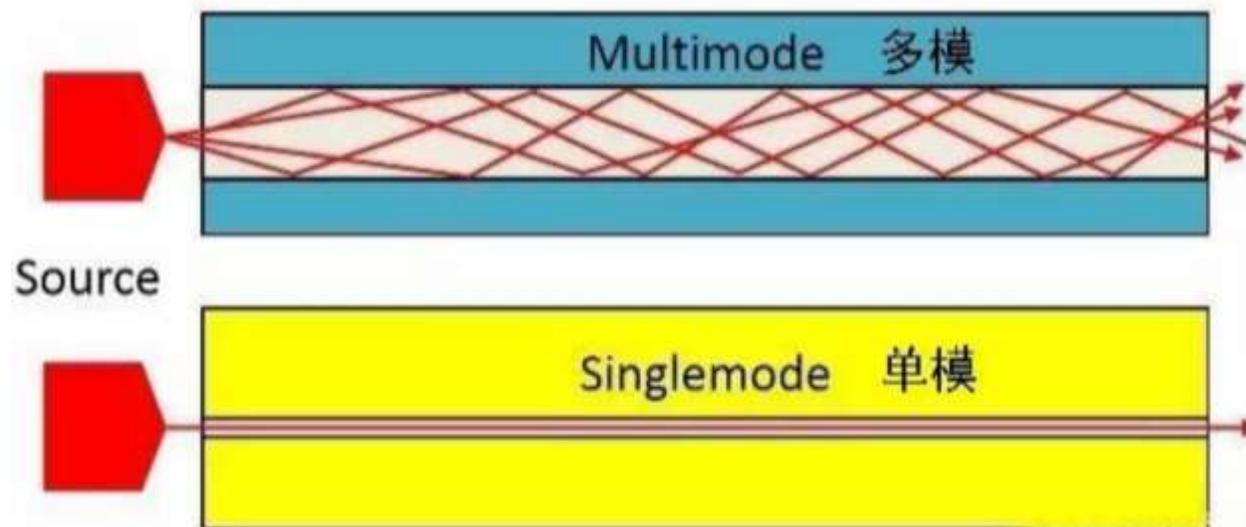
1.4 激光器芯片工作的波长窗口

光通信常用的波长窗口一般只有三个，中心波长为850nm、1310nm、1550nm。每个波长窗口可以被进一步划分成很多的子载波信道。这三个中心波长在光通信中被广泛采用的原因主要系该波长比较适合在光纤中传输，光纤损耗小、抗色散、支持可靠的功率放大等。其中，850nm是多模传输，1310/1550nm是单模传输。传输距离方面，850nm传输距离在500米以内；1310nm/1550nm传输距离一般是2-40公里，1550nm传输距离一般是40-120公里。从激光器芯片方面看，VCSEL激光器芯片产生850nm波长范围的激光，主要运用于多模光模块；FP、DFB、EML激光器芯片产生1310nm/1550nm波长范围的激光，主要运用于单模光模块。

图表：光通信的波长



图表：单模和多模传输



资料来源：创道硬科技研究院、CSDN，华鑫证券研究所

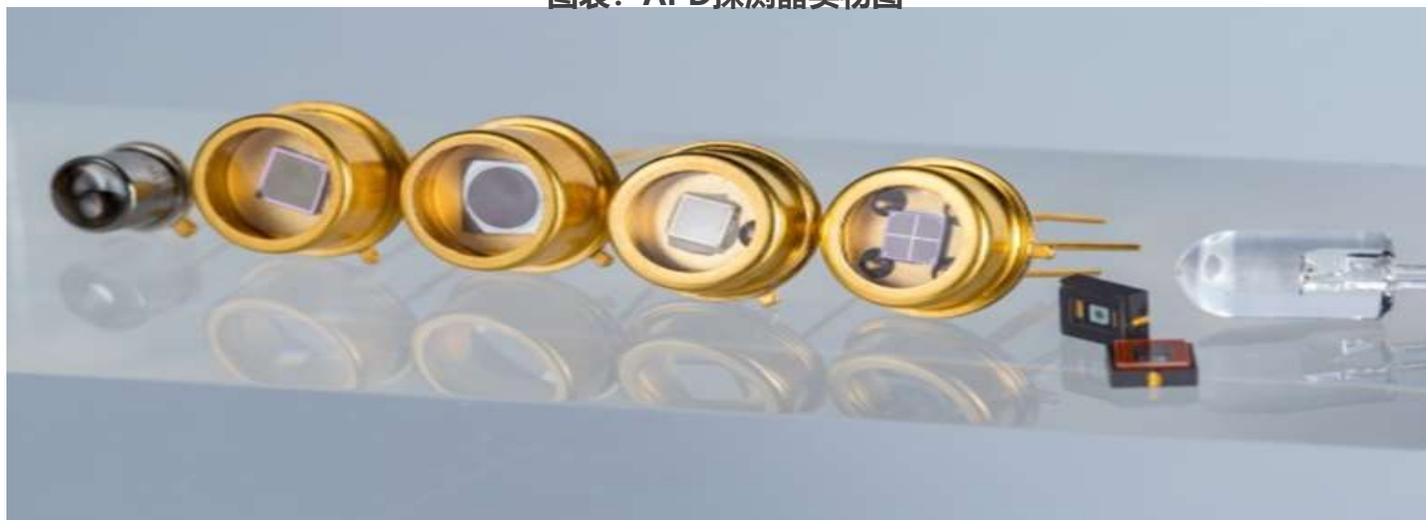
1.5 光芯片工作原理-探测器芯片

光探测器主要可以分为PIN型探测器和APD型探测器。光电探测器利用内光电效应进行光电探测，通过吸收光子产生电子空穴对，从而在外电路产生光电流。探测器在入射光照射下产生光生载流子，进而光电流与外围电路之间相互作用并输出电信号。APD探测器相较于PIN探测器会多出一项载流子在电流增益机制下倍增的过程。

PIN型光电探测器是指P型半导体和N型半导体之间放一层本征半导体。其中，P型半导体是指空穴比自由电子多的半导体，正电荷可以自由流动。N型半导体是指自由电子比空穴多的半导体，负电荷可以自由流动。本征层半导体是指不含杂质的纯净半导体，也就是既没有可流动的正电荷也没有可流动的负电荷。

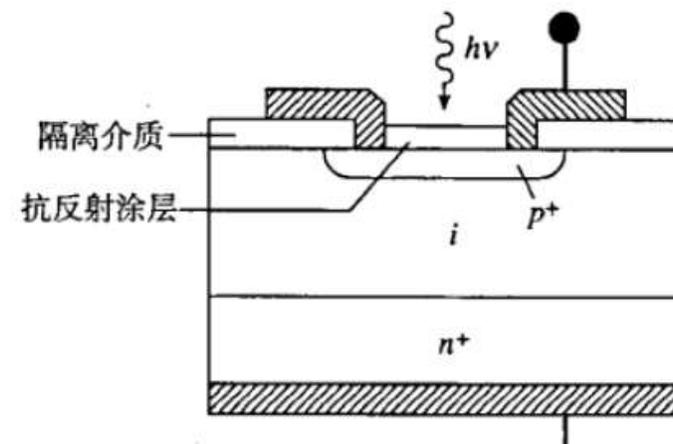
APD型探测器比PIN型探测器多一层倍增层，也被称作雪崩层。APD可以检测入射的光信号,并通过雪崩增益效应放大转换为电信号输出。与传统光电二极管相比,APD可以提供更高的增益与灵敏度。结构方面，APD与PIN光电二极管类似，由两个高掺杂(p+ 和 n+)区域和两个低掺杂(I区或本征区和P区)区域组成，p+区域起阳极作用,而n+区域起阴极作用，反向偏压电场主要加在pn+结上。p+区域连接负极，n+区域连接正极。本征区吸收光子产生的电子空穴对在电场作用下向高场的pn+结运动,在此发生雪崩增益效应。

图表：APD探测器实物图

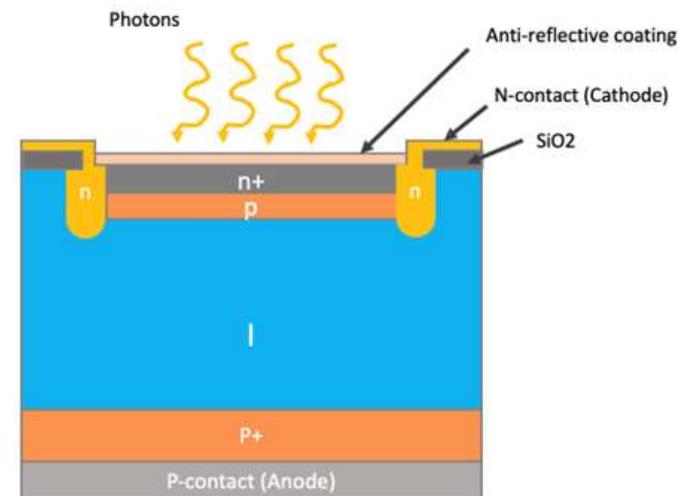


资料来源：Semiconductor Device Fundamentals、ENLITECH，华鑫证券研究所

图表：PIN探测器



图表：APD探测器



1.6 VCSEL芯片是多模光模块的主流光芯片

FP: FP (Fabry-Perot) 激光器是一种半导体发光器件，以FP腔作为谐振腔，产生多纵模相干光。主要用于低速率短距离传输，如20公里以内的通信，速率通常不超过1.25Gbps，波长可分为1310nm和1550nm两种。一些制造商为了降低成本而制作千兆40km的模块，需要增加发射光功率，这会导致器件老化并缩短使用寿命。FP激光的光线(>1nm)，波长的温度漂移也较大(0.5nm/°C)，不适用于高速和/或远程应用。

DFB: DFB (Distributed Feedback Laser) 激光器通常采用两种波长，1310nm和1550nm，主要用于高速中长距离传输，传输距离通常超过40公里。DFB激光器的特点包括光线相对较窄 (<0.04nm) 和波长对温度的漂移较小 (0.1nm/°C)，非常适用于高性能通信应用。DFB激光器也存在一些缺陷，当工作在1500nm波段时，容易产生啁啾现象，通常需要外部调制器来解决；DFB没有FP或VCSEL激光那样容易产生，而且所需的阈值电流也比VCSEL激光大。

VCSEL: VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) 激光器是一种半导体器件，是光通信领域的一项革命性光发射器件。其激光垂直于顶面射出，不同于常规的边射型激光，拥有多个优点：出射光束为圆形，发散角小，便于高效耦合光纤和其他光学元件；可实现高速调制，适用于长距离和高速率的光纤通信系统；具有高电光转换效率，预期寿命较长；可轻松实现二维阵列，用于高速、大容量数据处理和高功率应用；适用于光集成电路，可采用微机械等技术。此外，VCSEL激光线宽较窄 (0.35nm)，波长对温度漂移较小 (0.06nm/°C)，阈值电流较低，在10Gbps数据速率下也可直接应用于调制。VCSEL制造和准直调整相对容易，有望实现低成本的VCSEL-based收发器。尽管850nm的VCSEL已广泛应用，但长波长 (1310nm、1550nm) VCSEL因输出功率不足和制造工艺复杂等问题，尚未得到大规模应用。

图表：主流光芯片梳理

产品类别	传输速度	传输距离	工作波长	优点	缺点	应用场景
FP	155M-25G	中距40KM	1310-1550nm	谱线较窄、调制速率高、成本低	耦合效率低、线性度差	基站、数据中心。主要应用于中低速无线接入短距离市场，由于存在损耗大、传输距离短的问题，部分应用场景逐步被DFB激光器芯片取代
DFB	2.5G-40G	长距80KM	1270-1610nm	谱线窄、调制速率高、波长稳定好	耦合效率低、成本高	基站，数据中心。中长距离的传输，如FTTx接入网、传输网、无线基站、数据中心内部互联等
VCSEL	155M-25G	短距500m	800-900nm	线宽窄，功耗低，调制速率高，耦合效率高，成本大幅下降	线性度差	数据中心，500米以内的短距离传输，如数据中心机柜内部传输；消费电子领域（3D感应面部识别）

资料来源：源杰科技招股书、易飞扬通信、量青光电，华鑫证券研究所

1.7 EML芯片是单模光模块的主流光芯片

EML: 高速电吸收调制激光器 (EML) 是在光纤通信领域具有重要应用的光子集成器件，融合了分布反馈 (DFB) 激光器和电吸收调制器 (EA) 的功能。相对于直接调制半导体激光器，EML拥有低成本、低频率啁啾、高调制速率和长距离传输等特点，因此已成为高速骨干网和城域网光发射模块的首选解决方案。中国半导体研究所在EML领域具有长期研究和多项自主知识产权，包括高达40Gb/s的最大调制速率、低阈值电流、出光功率、边模抑制比等性能。其应用领域包括骨干网、接入网、数据中心等。

PIN: PIN探测器一种半导体器件，用于将光信号转换为电信号的重要光电元件。PIN光电二极管具有高灵敏度、宽光谱范围、低噪声、快速响应时间和小巧的尺寸等优点，适用于高精度光检测、多波长光检测、信号完整性要求高的应用，以及需要快速响应和空间紧凑的系统。但是它们也存在动态范围有限、温度灵敏度、相对较高的价格和一定的能量消耗等缺点，需要根据具体应用需求综合考虑这些因素。此外，PIN光电二极管在光电应用中具有广泛的用途，包括高速数据传输、射频控制和微波开关等领域。

APD: APD探测器是在PIN光电二极管的基础上，对P区和N区都进行了重掺杂，在邻近P区或N区引入n型或p型倍增区，以产生二次电子和空穴对，导致一种雪崩效应。这种雪崩效应放大了光信号，从而增加了探测器的灵敏度。APD具有许多显著的优点，其中包括内部电子倍增效应，使其能够在极低光水平下检测到单个光子，因此在量子通信和光子计数等领域有广泛应用；APD还表现出高灵敏度，快速响应时间和覆盖紫外到近红外光谱范围的特性，使其适用于科学研究、高速通信和成像系统。缺点方面，APD需要较高的工作电压，可能引入电子噪声，其动态范围有限，并且设计与制造相对复杂，成本较高。

图表：主流光芯片梳理

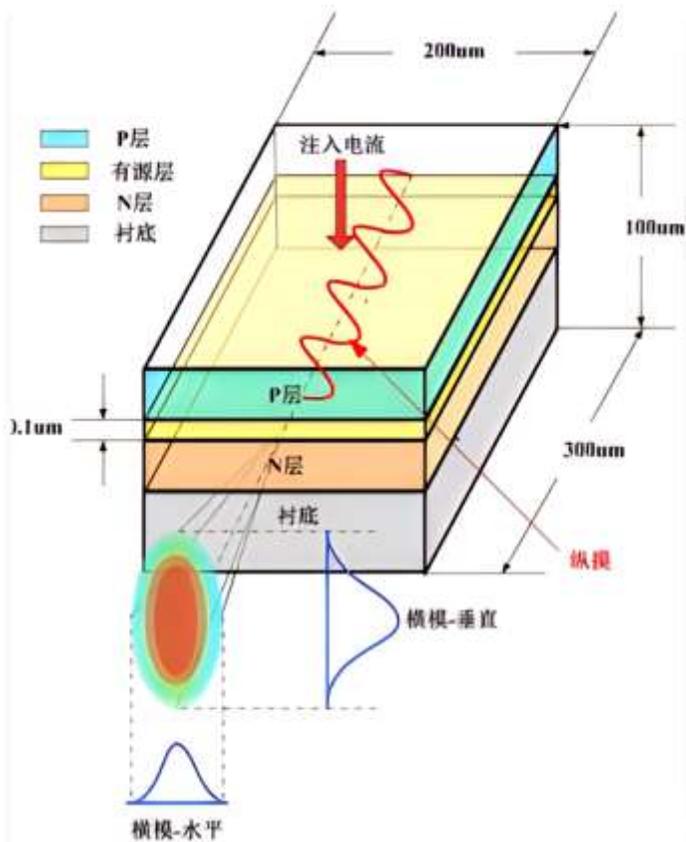
产品类别	传输速度	传输距离	工作波长	优点	缺点	应用场景
EML	大于10G	长距80KM	1310-1550nm	调制速率高、稳定性好	成本高	基站、数据中心。长距离传输，如高速率、远距离的电信骨干网、城域网和数据中心互联
PIN	155M-40G	/	830-860/1100-1600nm	噪声小、工作电压低、成本低	灵敏度低	基站、数据中心，中长距离传输
APD	1.25G-10G	/	1270-1610nm	灵敏度高	成本高	基站、数据中心，长距离单模光纤

资料来源：源杰科技招股书、头豹，华鑫证券研究所

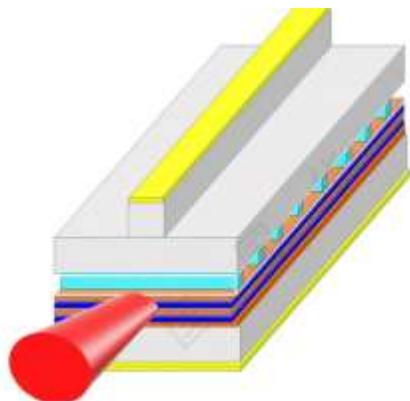
1.8 激光器的结构

FP激光器结构和工艺简单适用于短距离传输，DFB激光器基于FP激光器衍化适用于远距离传输。首先，半导体激光器由于边界条件，存在三个方向的模式：横模 - 水平，横模 - 垂直，纵模。其中，横模 - 水平代表平行于有源层方向的模式；横模 - 垂直代表垂直于有源层方向的模式；纵模代表沿激光器输出方向的驻波模式。FP激光器在尽显高速调制时，其激光模式会出现多模的工作状态不适用于高速长距离光纤通信系统，但是其结构和制造较为简单且成本最低，因此仍然受到广泛运用。DFB激光器是在FP激光器的基础上将布拉格光栅集成到激光器内部的有源层中，进而在谐振腔内形成选模结构，最终实现单模的工作模式。DFB在高速调制时，仍然可以保持单模的特性，因此可以用于远距离传输。

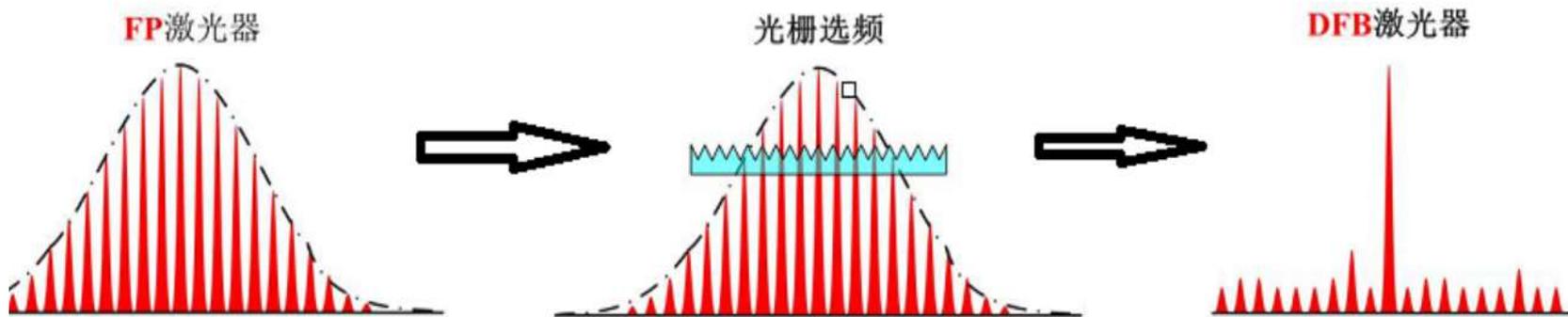
图表：FP激光器示意图



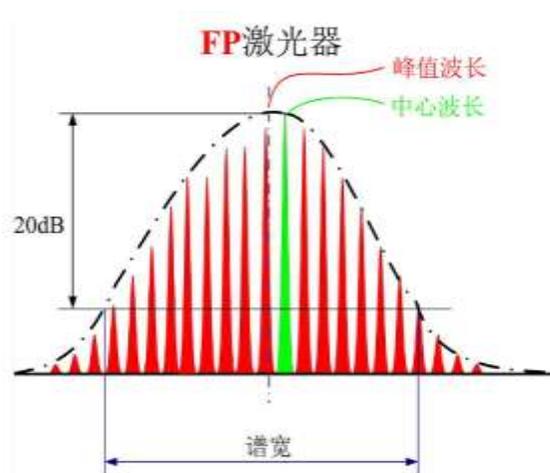
图表：DFB激光器示意图



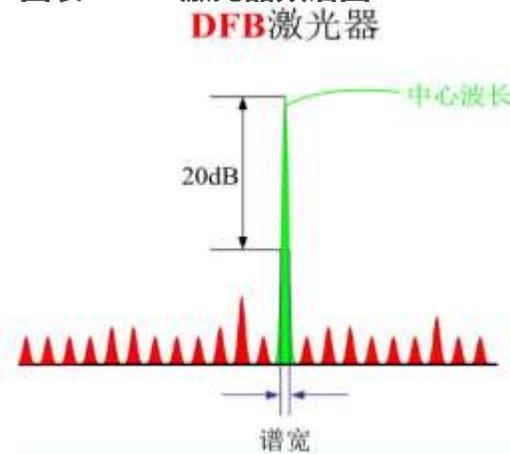
图表：DFB的原理图



图表：FP激光器频谱图



图表：DFB激光器频谱图



资料来源：沐普科技、OFweek，华鑫证券研究所

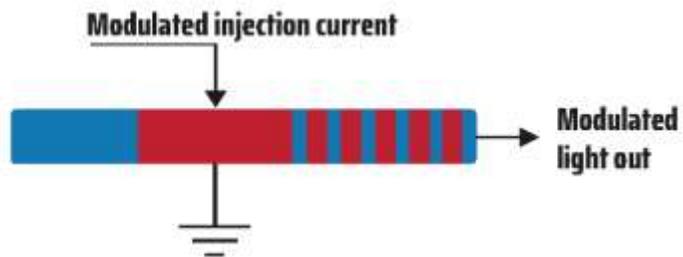
1.9 激光器的调制方式

DML: 直接调制激光器的优势在于稳定性高、适合小型配置、成本低以及较窄的谱线宽度。这种激光器通过电流的直接调制来生成调制光信号。然而，DML也存在一些限制，包括高色散、相对较低的频率响应和消光比，以及在长距离传输中性能下降的问题。

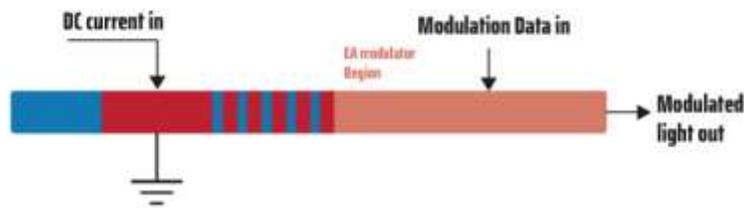
EML: 外调激光器是将激光二极管与电吸收调制器（EAM）集成在单个芯片中。EML激光通过在DFB的基础上增加电吸收片（EAM）作为外调制器，啁啾与色散性能均优于DFB，更适用于长距离传输。EML能够以较高的速度进行调制，并且具有更低的线性调频脉冲。总体来看，EML的具有低色散、高调制速度、适合长距离传输的特点。

DML vs EML: 选择DML还是EML通常取决于具体的应用需求。从性能上看，EML各方面的性能（包括啁啾效应、消光比、眼图、抖动、传输距离等）都优于DML；DML的优势在于体积小，成本低，功耗小。应用层面看，DML更适用于数据中心的应用，而EML适用于电信级的应用。总的来看，对于较低数据速率和较短距离的需求，DML是更合适的选择，因为它成本较低且性能稳定。对于更高数据速率和长距离传输的需求，EML更适合，尤其是面临来自高速和长距离通信领域的需求。

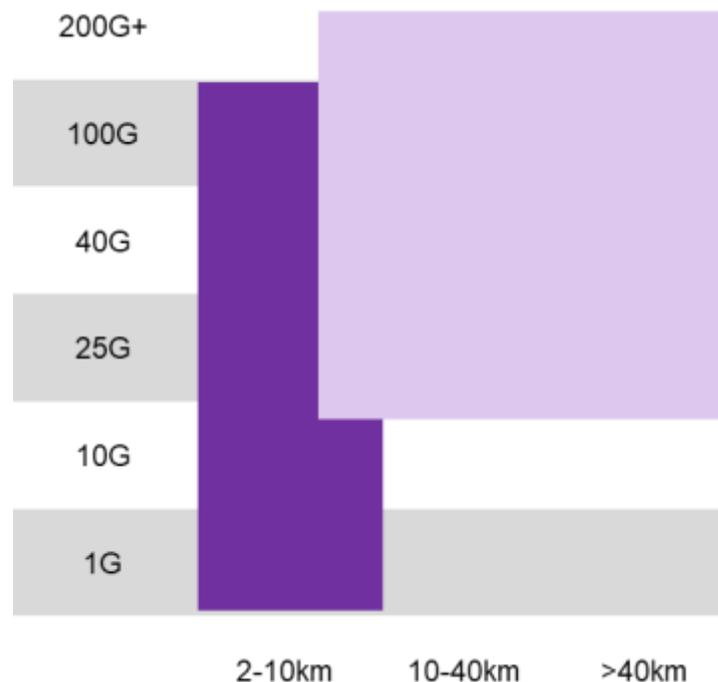
图表：DML示意图



图表：EML示意图



图表：EML和DML的传输速率与传输距离对比图



图表：EML和DML参数对比图

	EML	DML
啁啾	Small	Large
消光比	Large	Small
眼图	Large Standard Margin	Small Standard Margin
抖动	Small	Large
能耗	Large	Small
成本	High	Low
驱动	High	Low
传输距离	40km	10km
载体玻璃应用	Supported	To be discussed
供给	Tight	In General

资料来源：Salumanus官网、gigalight，华鑫证券研究所

1.10 光芯片的衬底：第二代半导体材料

半导体材料分为三代，其中III-V族化合物半导体材料被广泛应用在通信领域。首先，单元素半导体材料，主要包括硅（Si）和锗（Ge），其中硅是最常见、产量最大、成本最低、应用最广的半导体材料；其次是III-V族化合物半导体材料，如砷化镓（GaAs）和磷化铟（InP），这些材料具有高电子迁移率和出色的光电性能；最后是宽禁带半导体材料，代表材料有氮化镓（GaN）和碳化硅（SiC），它们具备高禁带宽度、高耐压和大功率等特性，目前成本较高。根据这些材料的出现时间，产业界将它们分别称为一代、二代和三代半导体材料。

不同半导体材料之间下游应用重合度不高，三者之间不存在迭代关系。在高频、高功耗及发光等场景下，III-V族化合物半导体材料相较于硅基材料优势明显，例如在高功耗的情况下以III-V族化合物半导体材料为基底的芯片拥有更高的线性度、稳定性及抗辐射能力；第二代半导体材料制成的器件能够比硅器件拥有更快的响应高频微波并有效地将其转变为电流。相较之下，硅基材料制成的芯片主要用于低功耗环境，发展主要依靠制程节点技术的提升；第三代半导体材料制成的芯片主要在高温、高压之下表现更有优势。

光通信领域主要采用第二代半导体材料，磷化铟和砷化镓之间也有异同。其中，磷化铟(InP)由于其优异的导热性、光电转换效率和传输效率，主要被用于制作FP、DFB、EML边发射激光器芯片和PIN、APD探测器芯片，应用于电信、数据中心等中长距离传输；砷化镓(GaAs)由于其优异的光电性能、耐热和抗辐射能力，主要被用于制作VCSEL面发射激光器芯片、射频模组等，应用于数据中心短距离传输。

图表：半导体材料分类

项目	单元素半导体材料		III-V族化合物半导体材料				宽禁带半导体材料	
	硅	锗	砷化镓	磷化铟		氮化镓	碳化硅	
分子式	Si	Ge	GaAs	InP		GaN	SiC	
优点	储量大、价格便宜	电子迁移率、空穴迁移率高	光电性能好、耐热、抗辐射	导热性好、光电转换效率高、光纤、传输效率高		高频、耐高温、大功率		
应用领域	先进制程芯片	空间卫星	LED、显示器、射频模组、光通信（VCSEL面发射激光器芯片，主要应用于数据中心短距离传输、3D感测等领域）	光通信（FP、DFB、EML边发射激光器芯片和PIN、APD探测器芯片；主要应用于电信、数据中心等中长距离传输）		充电器	电动汽车	
主要应用场景	CPU 内存 	空间卫星 太阳能电池面板 	手机、电脑 新一代显示 面部识别 大功率半导体激光器 	5G基站 光模块 	数据中心 光模块 激光雷达 可穿戴设备 	快速充电芯片 高铁芯片 	新能源车 充电桩 	
制造成本	低	较低	高	较高		非常高		

资料来源：北京通美招股书，华鑫证券研究所

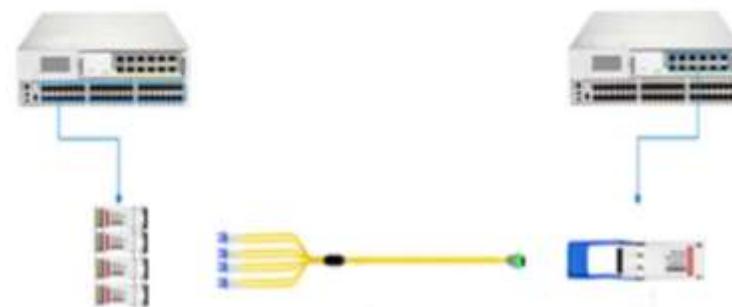
1.11 光芯片是光模块重要的组件

光模块是光通信系统中不可或缺的组件之一，它的结构主要包括光芯片和电芯片两大类。在光模块中，光芯片承担了关键的角色，被装于激光器和探测器中，用于光信号的发射和接收。激光器是光信号的源头，而探测器则负责将光信号转换为电信号。电芯片则包括放大器、驱动芯片和复用/解复用器等，用于处理电信号和光信号之间的转换和调控，确保信号的稳定传输。这两大类芯片的协同工作使光模块成为现代通信技术的关键组成部分。应用光模块的设备主要包括交换机、光纤收发器、光纤路由器等。

TOSA（光发射器件）和ROSA（光接收器件）是光模块的重要组成部分。TOSA实现了电/光转换，包括激光器芯片、隔离器、耦合透镜等器件，通常具有多种封装形式。ROSA则负责光/电转换，包括探测器芯片和DeMux等，其封装类型通常与TOSA相似。这两者的联合作用确保了信号在光模块中的高效传输，从而实现了可靠的光通信。

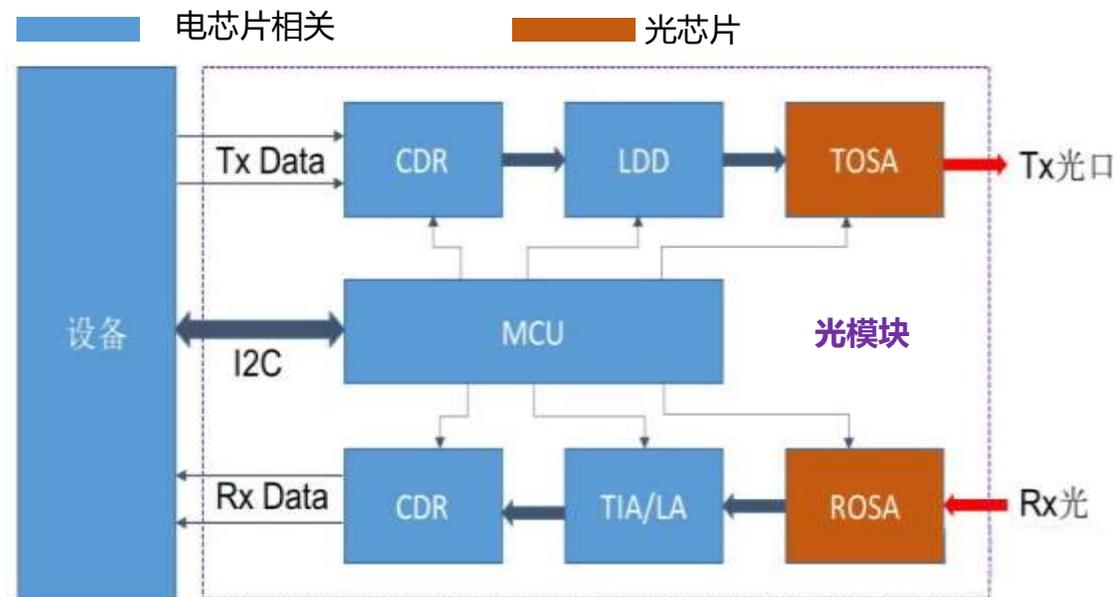
光模块的其他关键组件包括CDR、LDD、TIA、LA和DSP等。CDR（时钟数据恢复芯片）提取输入信号的时钟信号并调整相位关系；LDD（激光二极管驱动芯片）将其转换为激光器的调制信号；TIA（跨阻放大器）和LA（限幅放大器）协同工作以稳定化电信号，为后续处理提供可靠的输入；DSP（数据处理芯片）负责底层软件的运行、DDM功能的监控以及光模块的状态维护，确保光通信链路的稳定性和可管理性。这些组件的协同作用使光模块成为现代通信技术中不可或缺的关键元素。

图表：光模块与交换机之间的连接



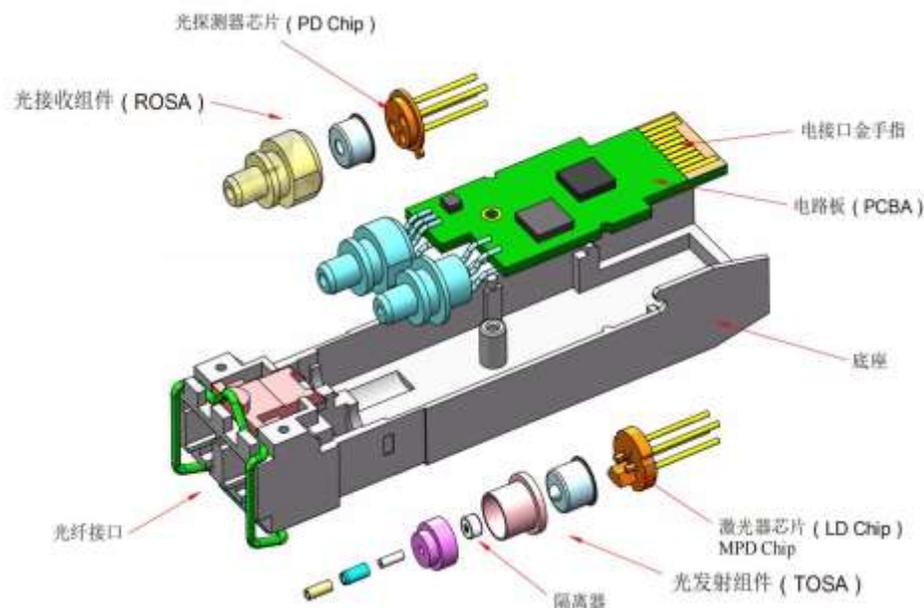
图表：ROSA、TOSA主要部件

图表：光电芯片在光模块中的应用



资料来源：光隆科技招股书、fibermall，华鑫证券研究所

图表：光模块构造示意图



ROSA主要部件

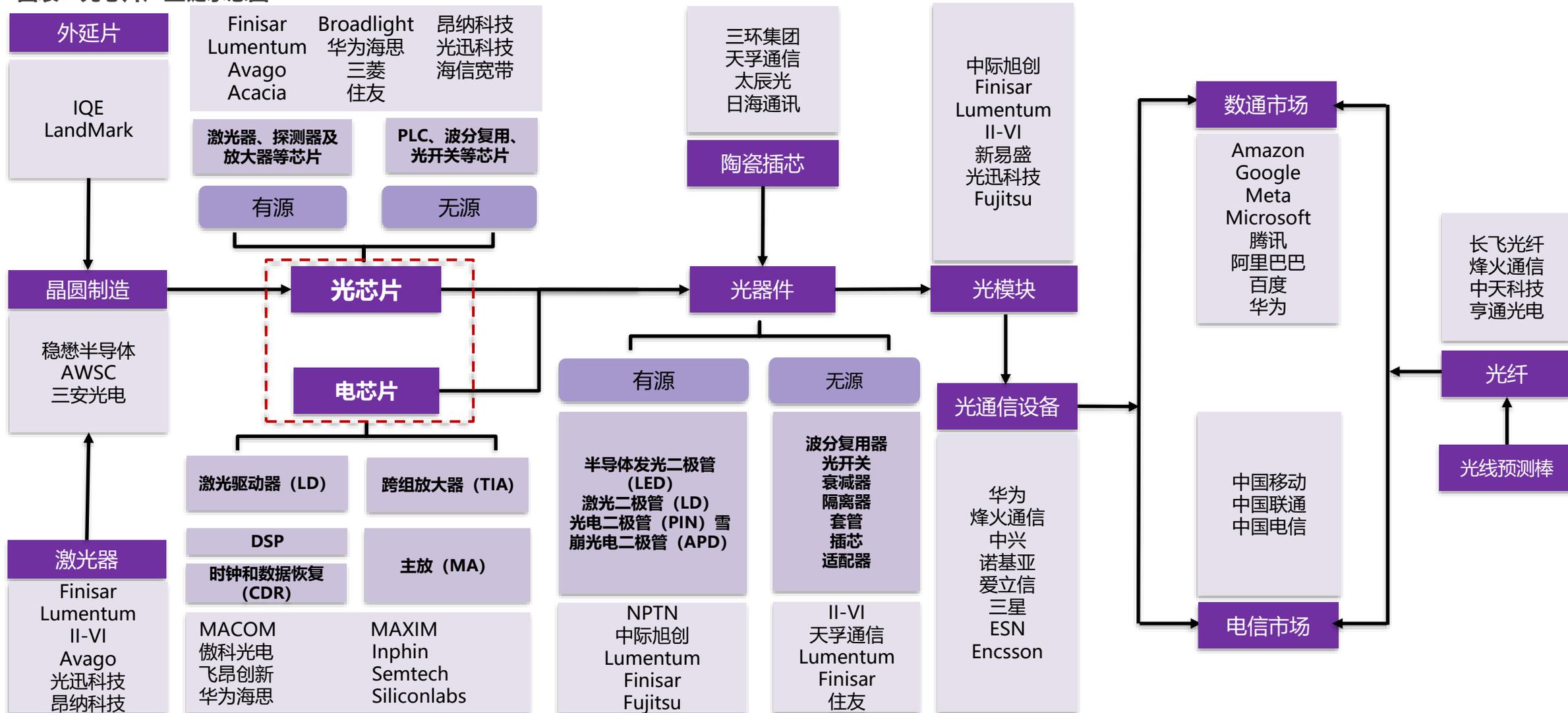
探测器芯片（PIN、APD等）和电芯片（TIA 跨阻放大器、LA 限幅放大芯片、CDR 时钟恢复前向纠错芯片）

TOSA主要部件

激光器 LD 芯片（VCSEL、DFB、EML等）、调制器芯片、电芯片（LD 激光驱动芯片、调制器驱动芯片）

1.12 光通信产业链：光芯片是光模块的核心零部件

图表：光芯片产业链示意图



资料来源：电子元件技术网、Ofweek激光网、电子发烧友，华鑫证券研究所整理

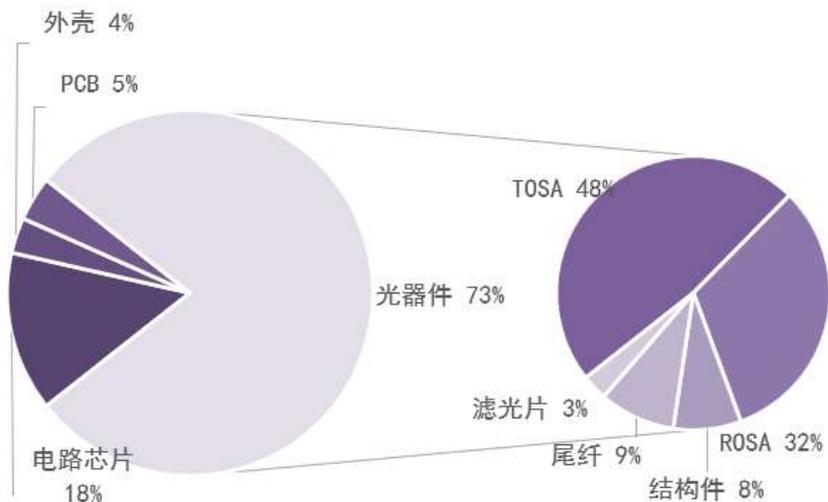
1.13 光芯片的成本拆分

光器件占光模块成本占比的73%，是光通信模块成本拆分里占比最高的部分。在光通信系统中将电信号转换为光信号以及将光信号转换为电信号。光通信模块产品所需要的原材料主要包括光器件、电路芯片、PCB板以及外壳，其中光器件占73%，电路芯片占18%，PCB占5%，外壳占4%。光器件的主要组成部分为TOSA和ROSA，分别占比48%和32%。

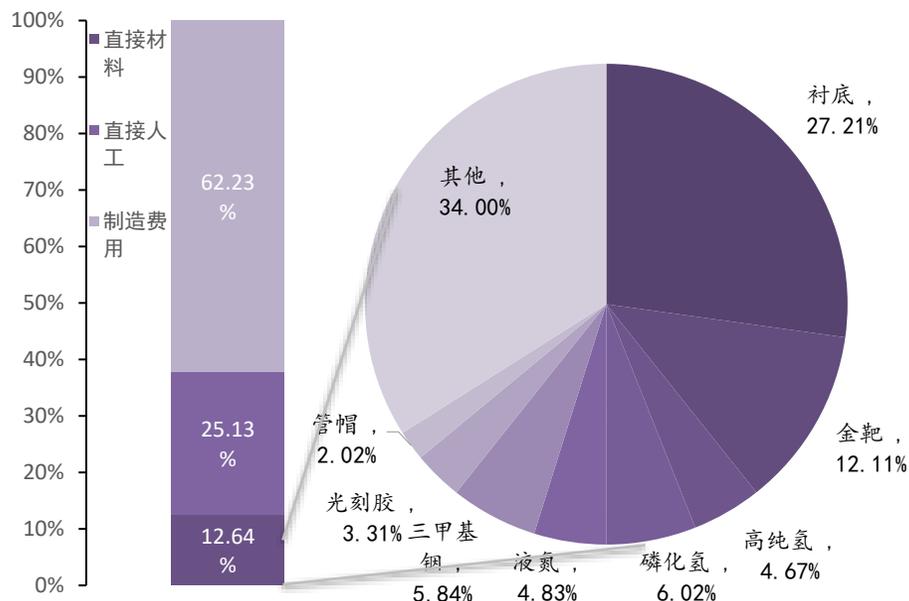
光芯片是光模块的核心组成部分，速率越高占比越大。从1998年发展至今，光模块朝着更高的速率的趋势不断发展。从1.25Gbit/s发展到2.5Gbit/s，再到10Gbit/s、40Gbit/s、100Gbit/s、单波长100Gbit/s、400Gbit/s乃至1T。越是高速率、高端的光模块，光芯片的价值量占比就越高。

制造费用为光芯片的主要成本构成，衬底为直接材料中的主要构成但构成比例有下滑趋势。光芯片（以激光器芯片为例）的主要成本可以被分为直接材料、直接人工及制造费用，分别占比12.64%、25.13%、62.23%。制造费用主要由折旧费、装修费摊销、水电费等构成，直接材料主要由衬底、金靶、特殊气体、金属有机物等构成。其中，衬底材料基本决定了激光器的波长、频率和颜色等工作性能参数。根据源杰科技，衬底材料占比在27.21%，近些年占比有逐步下滑的趋势，原因主要系衬底材料的单价下滑和部分衬底材料的国产化。

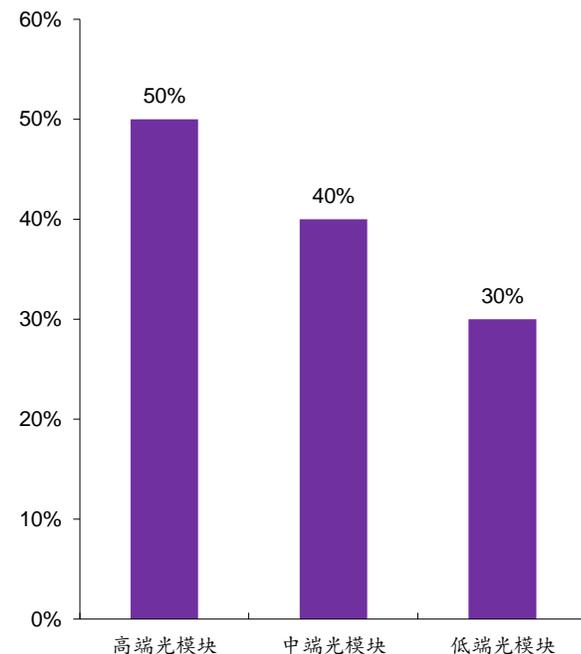
图表：光模块成本拆分



图表：光芯片成本拆分(以激光器芯片为样本)



图表：不同光模块中光芯片价值量占比

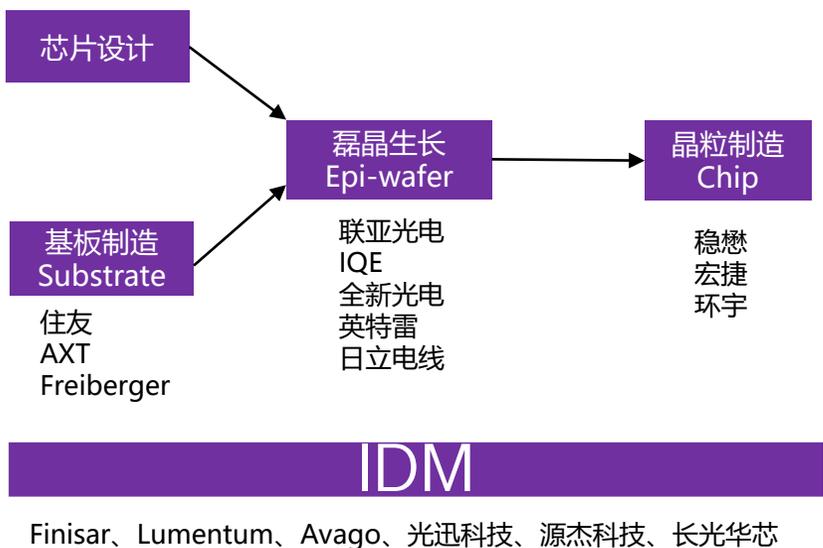


资料来源：头豹、源杰科技招股书，华鑫证券研究所

1.14 IDM模式：灵活且高效的生产模式，是重要的技术壁垒

国际主流光芯片厂商基本采用的是IDM模式，IDM模式拥有诸多优势。IDM主要是指集芯片设计、衬底外延生成、芯片制造、芯片封装和测试。由于光芯片属于特色工艺，器件价值提升不完全依靠尺寸缩小，光芯片龙头通常采用设计、制造、封测一体的模式。相较于设计+代工模式，IDM更有利于各环节的自主可控，及时响应市场需求，灵活调整生产计划。此外，采用IDM模式有助于各个环节的自主可控性。首先，IDM模式能够灵活地响应市场需求，快速调整产品设计、生产工艺参数以及生产计划，而无需重新采购大型自动化设备以适应不断变化的规格需求。其次，IDM模式有助于快速识别问题根本原因，精确定位到产品设计、生产工序或测试环节等问题，以便进行改进。IDM和Fables模式没有明显的优劣之分，IDM能够保证产能，可以更快、更安全地将工艺实现，但也存在产线建设投入大，产能能否被充分利用的风险。尽管Fables 具有成本低，反应快的优势，但同时也面临产能分配受制于人，产品工艺配合受限等缺点。**光芯片行业壁垒较高，龙头具备垄断地位。**光芯片产业链主要包括芯片设计、基板制造、磊晶生长和晶粒制造。其中，核心壁垒最高的是磊晶生长。磊晶生长过程中产生的外延片质量是决定光芯片性能的关键因素，这一环节涉及到关键技术和设备的研发壁垒非常高，具有相当程度的市场垄断性。目前磊晶生长方式有MODCVD、MBE等方式。光芯片行业规模有限，行业龙头公司占据主导地位，Finisar、Lumentum和Avago等IDM厂商把控高端光芯片的生产能力。

图表：垂直一体化厂商 (IDM)



图表：全球光芯片行业领先厂商

厂商	模式	产品线	产品介绍	激光器
II-VI /Finisar	IDM	全产品线	拥有领先的光芯片研发能力	有
Lumentum	IDM	全产品线	VCSEL领导者	有
Oclaro	IDM	全产品线	高速光芯片	有
AAOI	IDM	全产品线	高度垂直产业整合	有
LeoPhotonics	IDM	无全产品线	高端 100/200/400G coherent 光模块, 高端EML芯片	有
Acacia	Fables	无全产品线	40到400G多种产品, 应用于长途、城域和跨数据	无

图表：代工模式梳理

Fables模式
Fables模式下的企业只负责芯片的设计与销售，将磊晶生长以及晶粒制造环节外包。Fables芯片设计企业无需建设生产线，因此企业资产较轻，初始投资规模小。该类型的企业例如华为海思、飞昂光电等。

Foundry模式
Foundry模式下的企业只负责，将磊晶生长以及晶粒制造。Foundry企业可以同时为多家设计公司服务，且不承担由市场调研不准、产品设计缺陷等造成的风险，但磊晶生长属于资产密集型行业，前期投入较大。当前中国外延技术严重依赖进口。

IDM模式
IDM模式下的企业业务覆盖光通信芯片整个生产流程包括芯片设计、磊晶生长以及晶粒制造环节。IDM厂商拥有单独生产光通信芯片的能力，主要优势在于设计、制造等环节协同优化。典型企业有Finisar、Lumentum、光迅科技、源杰科技、长光华芯等。

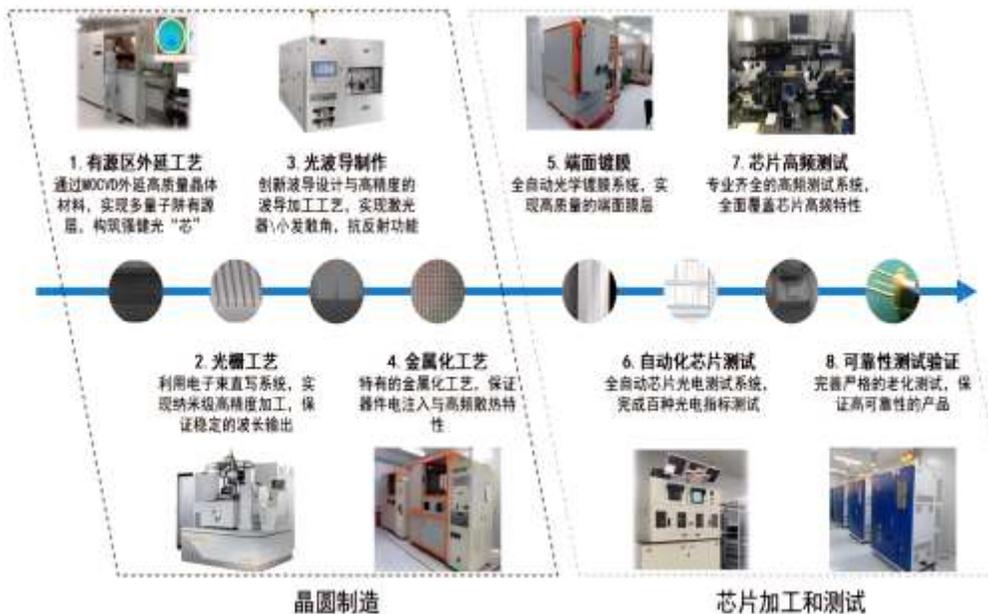
资料来源：创道硬科技研究院、亿渡数据，华鑫证券研究所整理

1.15 IDM模式：量产能力及产品可靠性的保障

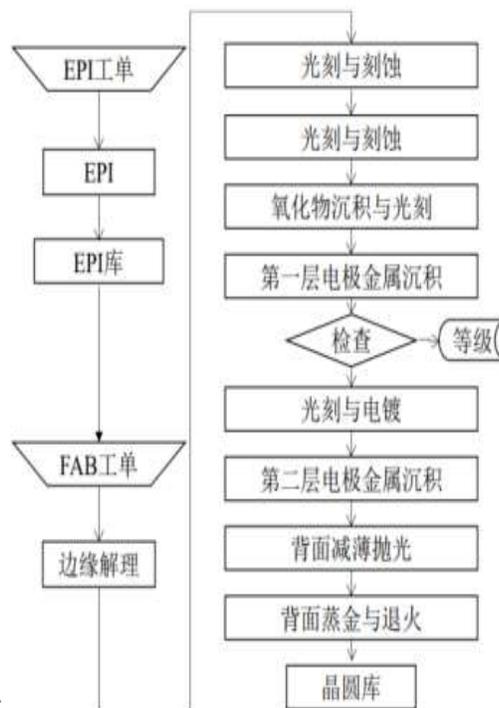
光芯片生产制造过程极为复杂，商业化量产能力至关重要。光芯片具体的制造流程包括多个环节，依次为MOCVD外延生长、光栅工艺、光波导制作、金属化工艺、端面镀膜、自动化芯片测试、芯片高频测试以及可靠性测试验证等。在工艺和流程达到成熟水平后，通常需要1-2年的时间才能将新技术或产品推向市场。然而，一旦进入量产阶段，仍然需要一段时间来积累工艺经验，解决散热、封装和稳定性等多重技术难题。这些挑战的克服是为了提高产品的良品率，确保生产过程的可靠性。因此，整体的回报时间会被拉长，但这些投入和努力对于确保产品质量和市场竞争力的至关重要。

光芯片应用场景复杂，产品可靠性要求更高。光芯片在应用场景中通常要面对极端恶劣的环境条件，例如户外的高温、高湿、低温等。因此，对光芯片的可靠性验证需要考虑多种项目指标，并进行长时间的测试。这些验证包括高温大电流的长时间（5,000小时）老化测试、高低温温循环验证、高温高湿环境验证等，旨在确保产品能够在极端环境下持续稳定运行。如果市场需求紧迫，光芯片供应商必须提前制定可靠性验证计划，以确保能够及时满足市场需求。采用IDM（集成设计与制造）模式可以保证，一旦在可靠性验证阶段发现问题或出现失效情况，制造商能够迅速、高效地进行问题排查。他们可以精确地识别需要改进的地方，并快速展开第二型和第三型样品的迭代开发，从而有效提高可靠性验证项目的执行效率。这种方法有助于确保光芯片在极端条件下的可靠性，以满足市场需求。

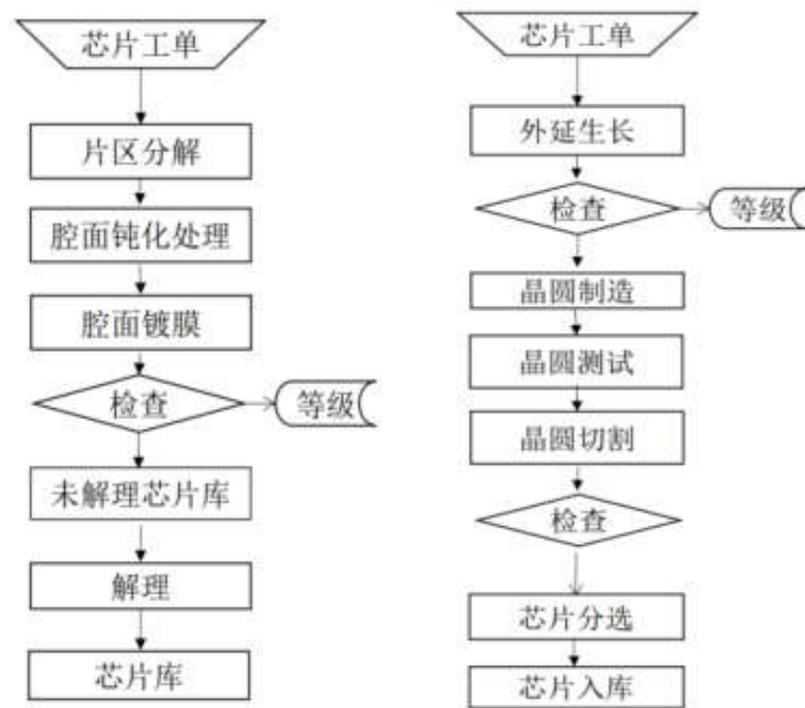
图表：光芯片主要工艺流程图



图表：晶圆制造工艺流程



图表：芯片加工工艺流程（左侧边发射激光芯片、右侧面发射激光芯



资料来源：源杰科技招股书、长光华芯招股书，华鑫证券研究所

02 硅光技术：具备成本优势 及更高性能的技术方案

研究创造价值

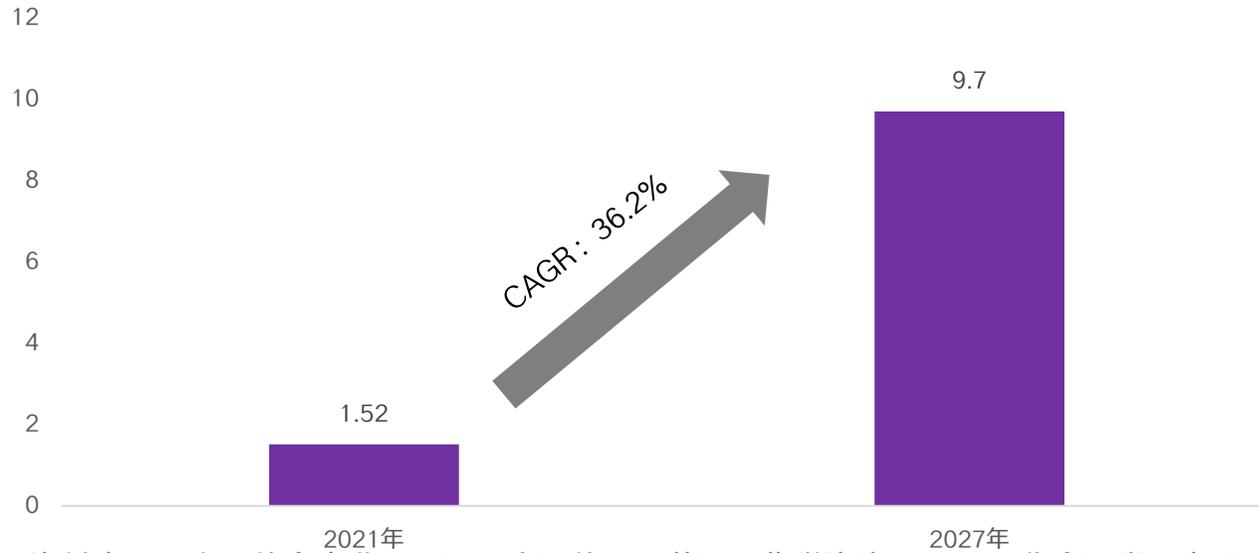
2.1 硅光技术推动光通信行业发展

硅光技术推动光通信技术的发展。硅光技术通过采用绝缘体上硅（SOI）晶圆作为基础半导体衬底，基于硅的CMOS微电子制造工艺，实现了光子器件的高度集成。该技术的核心在于使用激光束传输数据，而不是传统的电子信号，实现了光学与电子元件在单一微型芯片上的无缝集成。硅光技术结合了CMOS技术在超大规模集成、高精度制造方面的优势，以及光子技术在数据传输高速率和能效极低方面的显著特点，从而推动了通信技术的革新和发展。

硅光技术的核心器件包括光源、光波导、调制器和探测器。光源提供了系统所需的初始能量，是实现光通信的基础。其中，光波导负责在芯片上传输光信号。硅基光调制器是用于控制光信号的关键器件，可通过改变光的相位、振幅或频率来调制光信号。硅基光探测器负责将光信号转换回电信号，完成光电信号转换的闭环。整个传输过程起始于光源发射光束，光束随后通过光波导在芯片内传输，并通过光调制器进行调制，最终由光探测器接收并转换回电信号。

目前硅光技术发展处于第二阶段，硅光芯片市场有望高速增长。硅光技术的第一阶段是通过硅基材料制造光通信的底层器件，光分立器件逐步淘汰；第二阶段，集成技术从混合集成逐渐向单片集成发展，各类器件通过不同组合实现不同功能的单片集成；未来，第三阶段，预计将通过光电一体技术融合，实现光电全集成融合；第四阶段，器件分解为多个硅单元排列组合，矩阵化表征类，通过编程自定义全功能，实现可编程芯片。根据YOLE数据，2027年全球硅光芯片市场规模预计将达到9.7亿美元，2021-2027年的CAGR达到36.2%。

图表：全球硅光芯片市场规模（亿美元）



图表：硅光芯片示意图

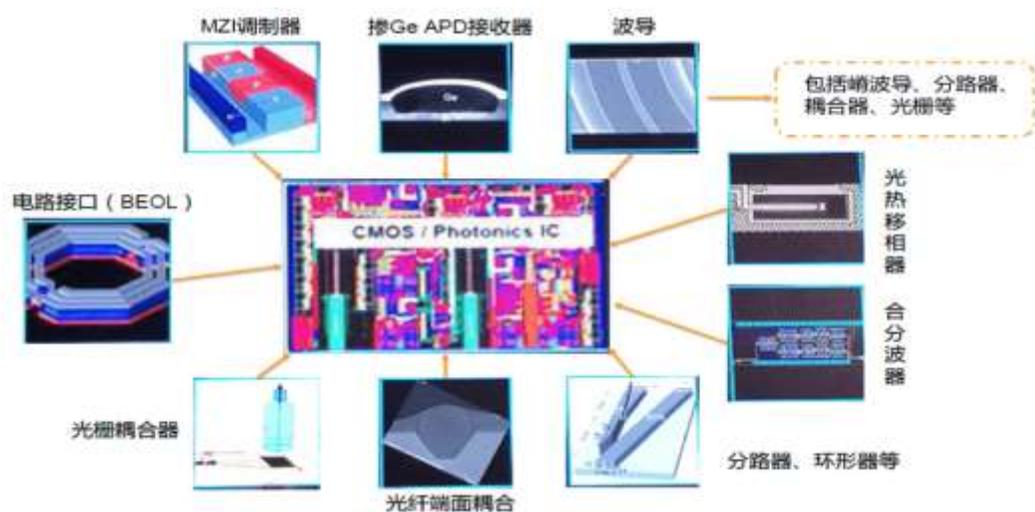


资料来源：电子信息产业网、讯石光通信网、芯语、集微咨询、36kr，华鑫证券研究所

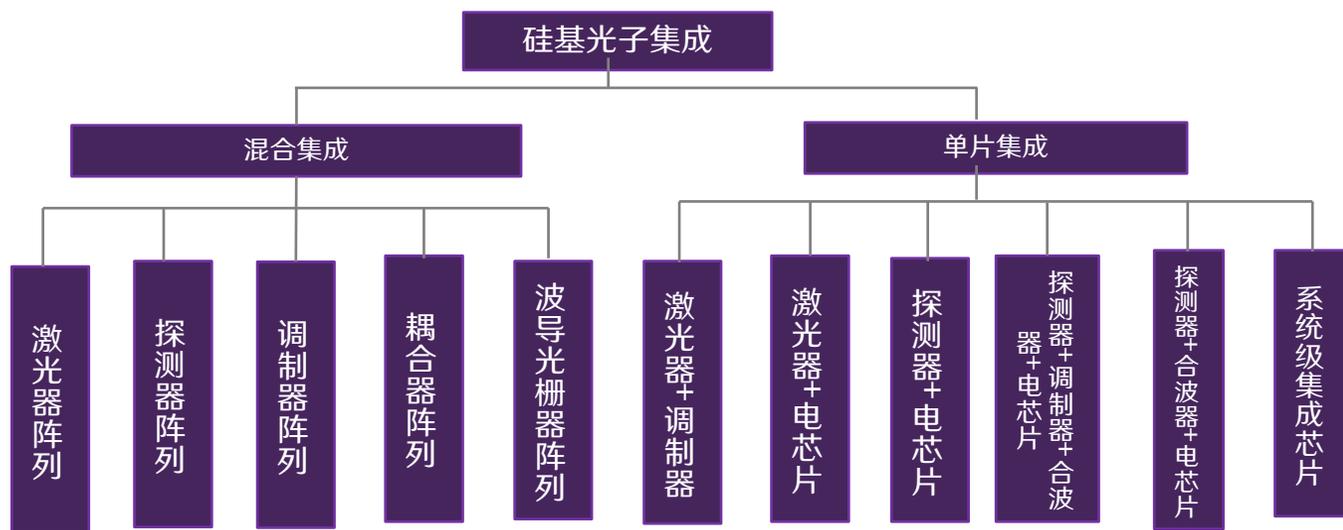
2.2 硅光方案具有成本低、集成度高和带宽大的特点

传统方案提升带宽逼近极限，三大优势驱动硅光方案加速渗透。在传统方案下，随着芯片制程的逐步缩小，互连线需要越来越细，然而互连线间距缩小，电子元件之间引起的寄生效应也会越来越影响电路的性能。诸如铝、铜、碳纳米管等材质的互连线都会遇到物理极限，光互连则是解决该问题的理想方案。硅光方案拥有成本下降潜力大的特点，相较于传统的三五族半导体材料，硅原材料因在世界范围内拥有丰富的储备量，成本相对低廉。硅光方案拥有高集成度且整合易的特点，硅材料具备高折射率、高光学限制能力的天然优势，可将光波导弯曲半径缩减至5微米以下，阵列波导光栅(AWG)弯曲半径在硅光平台下为二氧化硅平台下的千分之一。此外，硅基衬底延展性好，具有更多的嵌入式功能，可以利用成熟的硅CMOS工艺制作光器件，有利于提升芯片的集成度。硅光方案拥有带宽大，速度快的特点。硅光技术利用光通路取代芯片间的数据电路，在实现大容量光互连的同时也保持着低能耗和低散热，能够有效解决网络拥堵和延迟等问题，同时用激光束代替电子信号传输数据能够实现更高速率的数据传输。单片集成是硅光技术的发展方向。硅光技术按材料和制造工艺可分为单片集成和混合集成两类。单片集成是指在同一硅晶圆上利用半导体制造工艺技术，使多个相同或不同功能的硅基光子器件在整体上构成阵列化、模块化的单个芯片，以此实现基于硅光子单元的一种或多种光学信息处理功能，即同一芯片上光子器件的平面集成。混合集成主要实现的功能目标与单片硅基光子集成基本相似，但材料通常为多个孤立的半导体衬底，且通常包含不同体系的材料，如III-V族半导体材料、铁电体材料、有机聚合物等，将这些具有不同功能不同材料的芯片用焊接或键合技术在物理上组成一个整体而实现一个完整的功能。

图表：硅光方案的高集成度示意图



图表：硅光集成主流方案



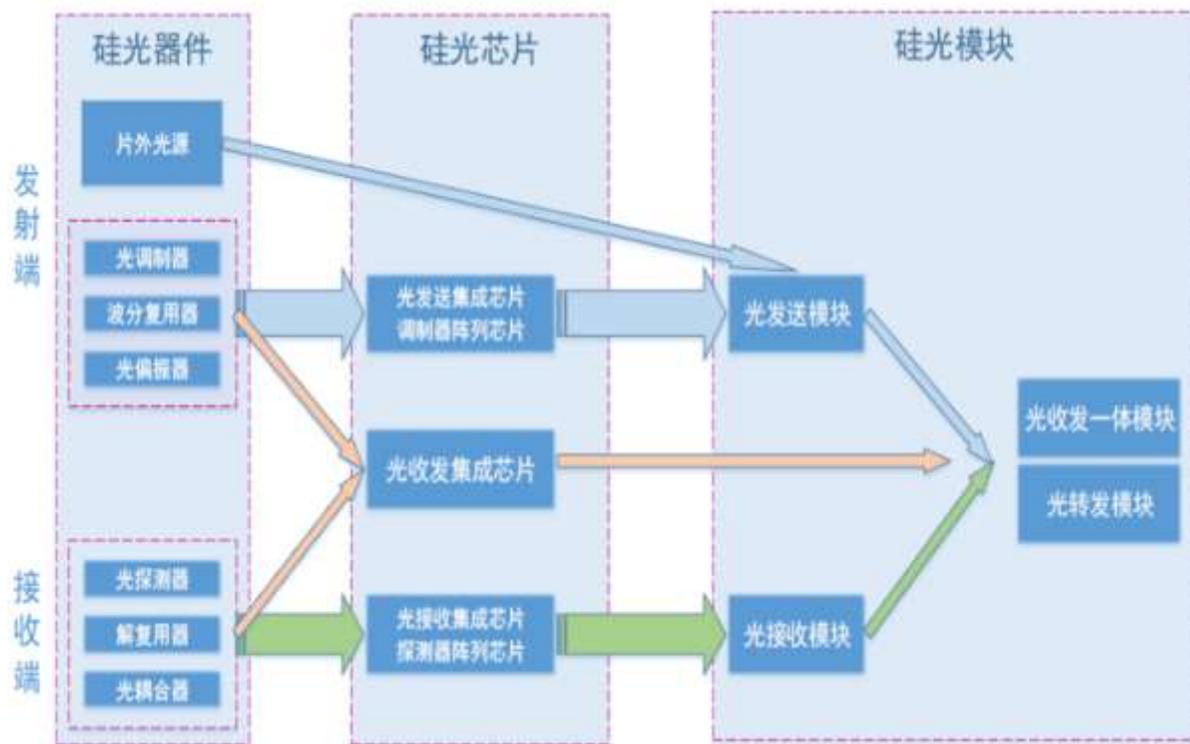
资料来源：讯石光通信网、集微咨询、《硅基光子集成研究进展》，华鑫证券研究所

2.3 硅光芯片：更高度集成度的光芯片

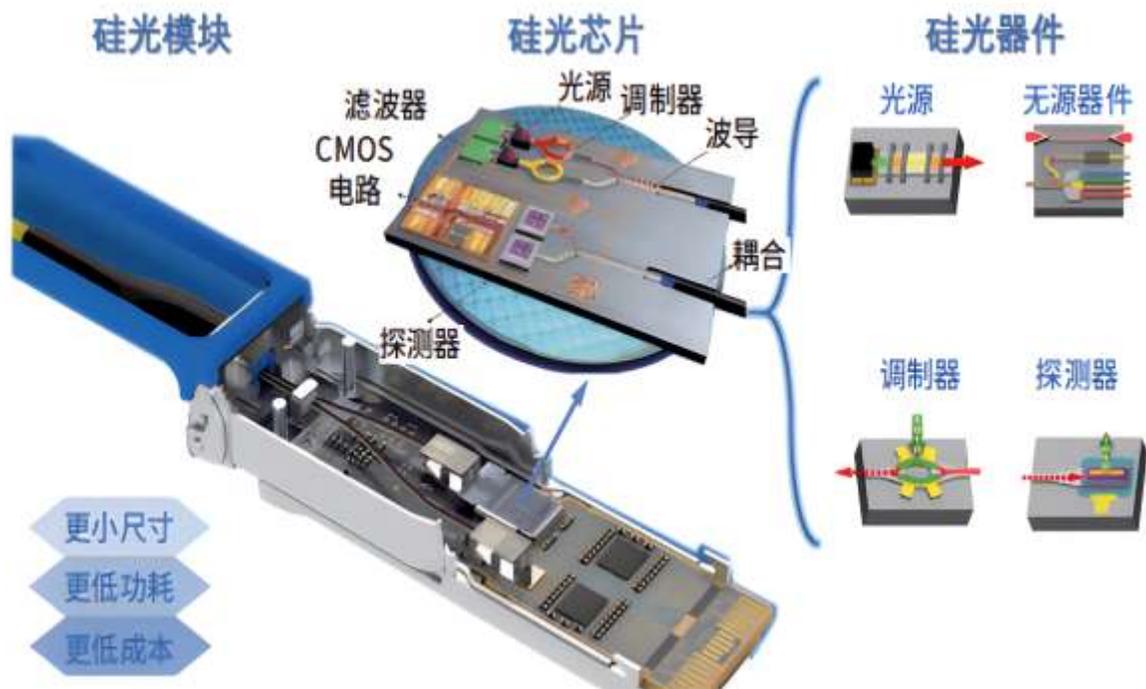
硅光芯片将若干基本器件进行单片集成。硅光芯片主要由光调解器、波分复用器、光偏振器、光探测器、解复用器及光耦合器等硅光器件组成。硅光芯片主要包括光发送集成芯片、光接收集成芯片、光收发集成芯片、相同功能器件阵列化集成芯片（探测器阵列芯片、调制器阵列芯片）等。

硅光产业发展加速，硅光模块顺势受益。根据Intel的硅光子产业发展规划，硅光子技术经过50年的发展，产业已经进入快速发展期，到2019年，硅光子技术在每秒峰值速度、能耗、成本方面分别能提高8倍、降低85%、降低84%。硅光模块由光源、硅光子器件/芯片、外部驱动电路（激光器驱动、调制器IC和探测器读出放大IC等）集成到一个模块、光发送模块、光接收模块和光收发一体模块等组成。更高的集成度给硅光模块带来更小的尺寸、更低的功耗以及更低的成本。

图表：硅光器件、硅光芯片及硅光模块示意图



图表：硅光模块结构示意图



资料来源：世纪电源网、elecfans，华鑫证券研究所

2.4 硅光技术是CPO方案的主流选择

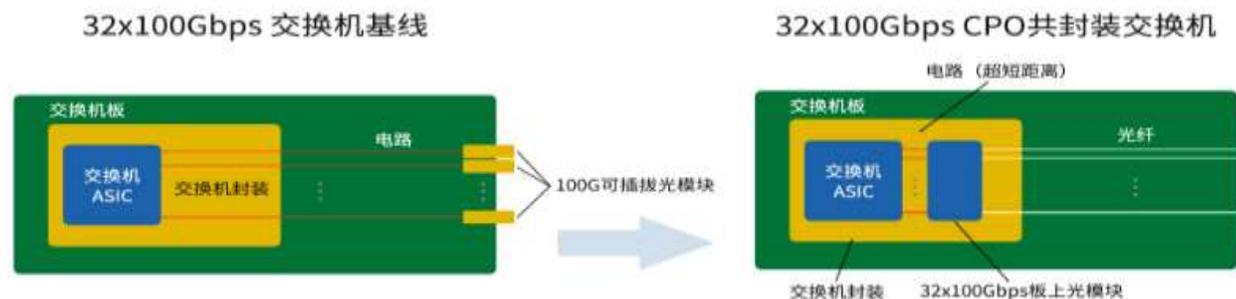
CPO技术方案拥有众多优势，有望主宰未来数据中心光互联。根据LightCounting，高性能计算对网络速率的需求是目前的10倍以上，CPO能够将现有可插播光模块架构的功耗降低50%。此外，CPO技术方案能够缩短光引擎和交换芯片间的距离，能够有效减少尺寸，降低功耗。

硅光技术是CPO方案的主流选择，未来在高性能计算领域起到重要作用。硅光技术由于不需要气密封装，CMOS兼容更易与电芯片集成且硅光调制器和探测器均可支持56GBaud以上速率等因素成为CPO光引擎的主要方案。CPO方案能够使得光器件与芯片之间的数据传输损耗减小、提高传输速度。高性能计算方面，硅光技术有助于解决高性能计算平台中的功率问题合IO以及带宽密度的挑战。随着AI工作负载的复杂性和规模不断增长，GPU和其他处理单元之间需要更快、更高效的数据传输。相较于传统的电子互联，硅光技术可以在GPU、CPU和其他处理单元之间实现更高速、更低延迟的互连，从而提高效率和数据传输速度。

图表：硅光模块的CPO封装

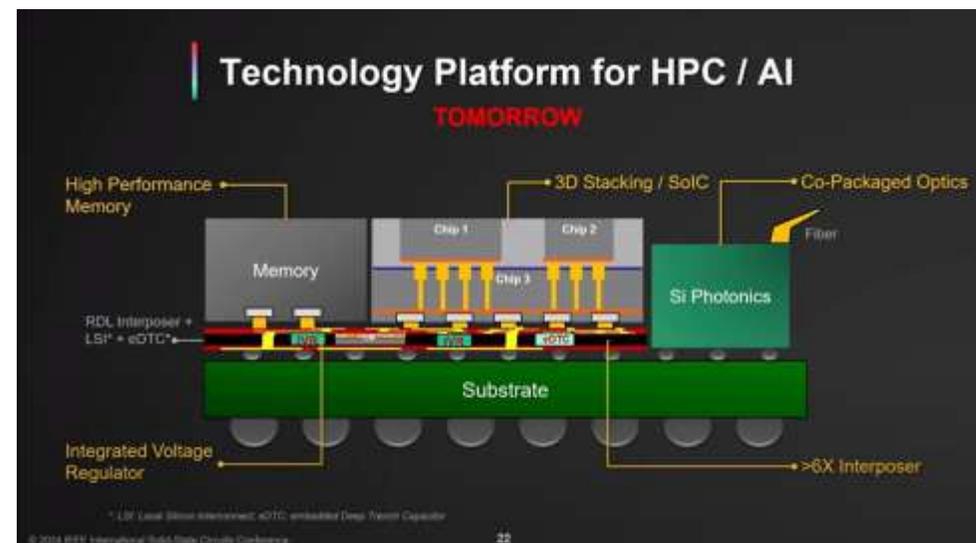


图表：CPO交换机

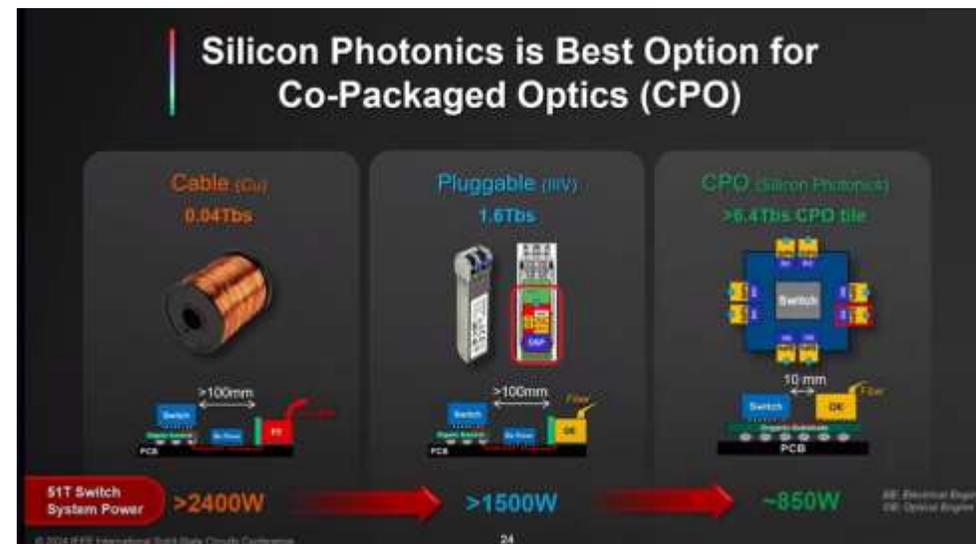


资料来源：ISSCC、ModuleTek、FS、，华鑫证券研究所

图表：未来硅光技术引入高性能计算平台



图表：硅光方案在CPO技术中的应用



2.5 硅光芯片产业链及制造流程梳理

硅光芯片的上下游产业链可以分为7个环节。硅光芯片产业链的七个环节可以分为硅光设计、SOI硅片基板、外延片供应、硅光流片厂、光模块厂商、通信设备厂商以及终端应用厂商延片环节的参与度仍旧较低，剩余环节国内均匀相关厂商参与。

硅光芯片的生产步骤包括三个关键步骤：设计、制造和封装。研发设计主要包括功能设计、内部结构规划、芯片仿真以及多物理仿真等；代工和封装主要是代工厂将晶圆经过一系列加工成硅光芯片，主要包括硅基片的制备、光刻工艺、离子注入、腐蚀、金属化及封装。目前，硅光芯片的制造和设计瓶颈已经取得突破，封装环节成为出货量和良率受制的主要因素。

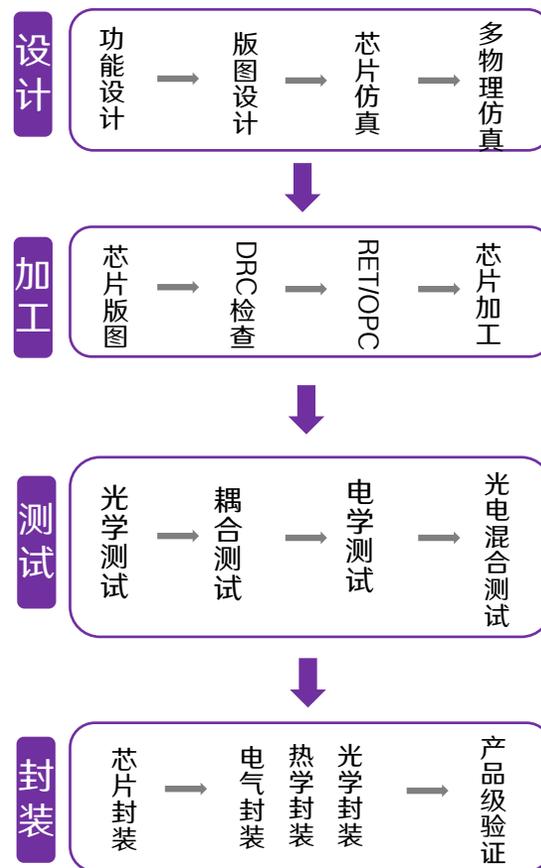
图表：硅光芯片产业链



■ Coherent optical communication

资料来源：Yole、今日光电，华鑫证券研究所

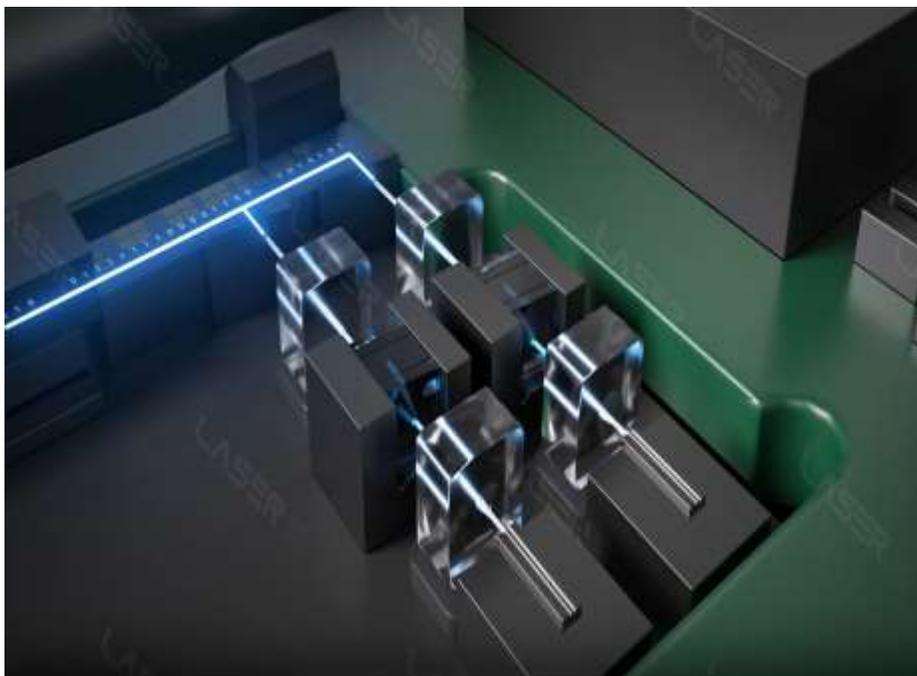
图表：硅光芯片制造流程



2.6 硅光设备：高精度设备需求提升显著

硅光模块需要多种设备，耦合封装相对难度较大。光模块的核心生产环节主要包括贴片、引线键合、光学耦合、封装、焊接、老化测试等环节。硅光方案需要用到耦合、贴片、封装、测试等设备。相较于VCSEL/DFB/EML，硅光芯片与光纤阵列的对光耦合需要更高精度的耦合设备，其中多通道耦合的技术难度大，工艺复杂。贴片机是封装芯片贴装环节中最关键、最核心的设备，可以高速、高精度地贴放元器件，并实现定位、对准、倒装、连续贴装等关键步骤。具体来说，贴片机将芯片从已经切割好的晶圆上抓取下来，并安置在基板对应的Die flag上并且利用银胶把芯片和基板粘接起来。封装方面，硅光封装主要负责实现高度集成，能够将电驱动芯片、激光器芯片、探测器芯片集成到一块硅光介质层载体上，形成了2.5D及3D的封装结构。测试方面，硅光方案需要光纤需要精准与耦合器对准以找到最大传输功率功率的位置。**材料方面**，硅光技术主要是以硅和硅基衬底材料(如SiGe/Si、SOI等)作为光学介质。然而，硅光子领域的衬底或材料不局限于单一的衬底材料，如薄膜LiNbO3（TFLN）、SiN、BTO、GaAs等都具有相当的潜力。其中，硅基薄膜TFLN进展迅速，已被证明对创建高速调制器非常有效。

图表：精准耦合透镜示意图



图表：自动光路耦合机示意图



图表：高精度固晶贴片机



资料来源：镭神技术官网、光纤在线、未来半导体，华鑫证券研究所

2.7 CW光源：功率输出稳定，外置光源是主流方案

制作硅基发光器件是硅光子技术的难点，目前主要采用外置光源方案。传统光通信采用III - V族作为发光材料，但是III - V族材料与CMOS不兼容和成本较高的缺点使得硅基激光器映入眼帘。目前主要有三种制备硅基发光器的方法，主要包括：1) 利用耦合器将外置的光源引入到硅波导中；2) 采用III-V族DFB芯片倒装焊于SOI晶圆上，通过端面耦合进硅波导中；3) 将III-V族发光材料键合在SOI晶圆上，制作成激光器耦合进硅波导中。其中，外置光源的方案最为简单快速，也相对成熟。外置光源的主要在于激光器的损坏不会影响道主芯片的良率并且能够有效降低主芯片的功耗，但是耦合损耗一个值得关注的问题。

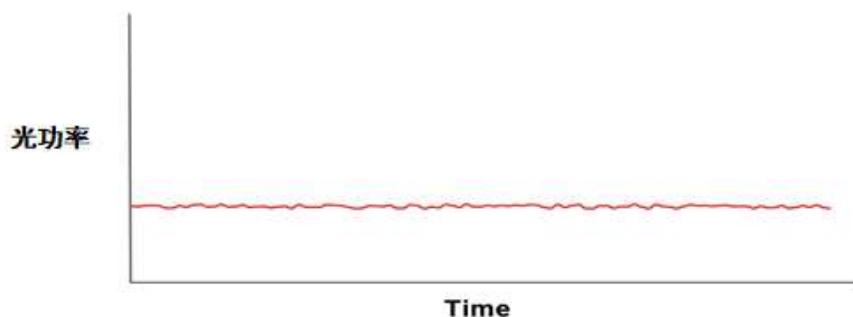
连续波激光器能够发射稳定、不间断的光束，并随着时间的推移保持恒定的关键参数，如功率输出和强度等。硅光芯片的应用场景通常会存在温度、振动以及产品本身老化的缘故，稳定性的实现比较困难，连续激光器的稳定性让其脱颖而出。连续波激光器能够在短到微妙长到数周的时间内尽可能保持稳定，让其在众多产品当中脱颖而出。此外，连续波激光器因其稳定的输出而在各个领域得到应用，包括材料加工、医疗和生物医学、电信、光谱学、科学研究等。

连续波激光器可以大致分为五类。激光介质内的连续泵浦和发射过程促进了这些激光器的连续运行。连续波激光器有多种类型，每种都有其独特的介质和应用领域，主要可以分为半导体、固态、气体、纤维以及OPO等种类。其中，半导体激光器和光纤激光器在通信领域被广泛使用。

图表：外置光源方案示意图



图表：连续激光器的功率示意图



资料来源：Meetoptics、讯石光通信网，华鑫证券研究所

图表：连续激光器的分类

连续激光类型	主要特征	光束特性	典型输出功率	应用领域
半导体	尺寸紧凑，性价比高	中等质量的多模光束	毫瓦-瓦	消费电子、电信、材料加工
固态	高电源效率	多模/单模 高光束质量	毫瓦-千瓦	材料加工、科学研究、激光光谱
气体	波长范围宽、功率高	多模	毫瓦-千瓦	激光光谱、科学研究、材料加工
光纤	结构紧凑、寿命长、热管理良好	多模/单模，优异的光束质量	毫瓦-千瓦	材料加工、电信、医疗
OPO	可调谐	取决于转换方法	毫瓦-瓦	光谱学、医学成像、研究、非线性光学应用

2.8 硅光技术的下游应用与竞争格局

硅光技术下游应用领域广泛。硅光技术正在彻底改变长距离通信和数据中心运营。硅光技术因其高集成度、高带宽、低时延及低功耗的特性在通信和人工智能领域有较大潜力，目前应用于数据中心光学互连和CPO的相关产品开发正在进行中，共封装光学器件 (CPO) 预计将在 2025 年后在高性能计算 (HPC) 领域取得重大进展。此外，硅光子的应用正在扩展到5G收发器、光纤陀螺仪、免疫分析和消费者健康等领域。随着行业朝着更加垂直整合的供应链发展以及硅光子的不断进步，预计激光雷达、生物传感和光子计算等领域的突破和商业实施将逐步展开。

竞争格局：Intel、思科、Inphi为代表的美国企业占据了硅光芯片和模块出货量的大部分，国内中际旭创、熹联光芯、华工科技、新易盛等企业正在快速追赶，技术差距逐步缩小。

图表：硅光芯片下游应用场景

应用场景	
连接(数据中心&电信领域)	<ol style="list-style-type: none"> 1、数据中心高性能光模块 2、5G基础设施 3、CPO及芯片到芯片的数字互联
传感(环境测量/识别)	<ol style="list-style-type: none"> 1、机器人和汽车激光雷达 2、化学分析 3、气体探测&血液分析 4、可穿戴生物传感
计算(新一代计算的量子光学)	<ol style="list-style-type: none"> 1、光子量子计算 2、量子通信 3、量子密钥分发

图表：硅光芯片/模块相关厂商梳理

地区	主要公司	技术进展	应用情况
美国	Intel	2010 年Intel成功研发50G(5万兆)硅光模块；2016 年， Intel出100G硅光模块，2017 年批量出货；英特尔硅光子学可插入光学收发器英特尔 2018年, Intel I 出400G硅光模块；等。 2021年推出800G硅光模块。	英特尔硅光子学可插入光学收发器
	Cisco	通过并购上下游交换机芯片厂商、硅光芯片厂商形成CPO方案的一体化布局:先后收购了Lightwire, Luxtera及Acacia等公司。 Luxtera在用于数据通信的硅光模块市场中拥有35%的份额, 而Acacia则是Acacia产品主要包括硅光子集成 思科 远距离硅光模块市场的主要玩家。 电路的集成光学互联模块和低功耗 连贯数字信号处理器等。 2015 年发布100G PSM4硅光子芯片;Acacia 400G硅光模块方案主要是将分离光器件集成为硅光芯片的基础上再与自研DSP电芯片互联, 最终外接激光器进行封装, 已于2020年开始送样给客户。	Acacia产品主要包括硅光子集成 电路的集成光学互联模块和低功耗 连贯数字信号处理器等。
	Marvel	Marvell 2022年Marvell推出业界首款800Gbps或8x 100Gbps多模平台解决方案。(收购Inphi) 同年用于数据中心的400G DR4硅光子平台解决方案实现量产。	硅光子收发器等。
国内	中际旭创	400G硅光模块已进入市场导入阶段, 正在接受海外客户认证;800G硅光模块已开发成功并向海外客户送样;公司400G/800G的硅光模块已采用自研的硅光芯片。	产品集中于数通市场领域, 主要光 模块客户为国外云计算龙头企业, 如谷歌、亚马逊等; 接受海外客户认证中, 部分自用。
	熹联光芯	100G硅光模块已实现规模化量产, 400G光学引擎及硅光模块正处于多个客户认证测试中。熹联光芯在张家港经开区建设国内第一条硅光芯片及封测生产线, 项目总投资达20亿元。	100G PSM4光模块产品自2020年 起持续向美国顶尖客户供货。
	华工科技	2021年400G硅光芯片已实现量产; 2022年800G硅光芯片已发布并实现小批量生产。	-
	新易盛	2022 年通过全资收购境外子公司Alpine Optoelectronics; 前已成功推出基于硅光解决方案的800G、 400G光模块产品及400G ZR/ZR+相干光模块产品、以及基于LP0方案的800G光模块产品。	包含数通客户和电信客户, 客户认 证中。
	光迅科技	2018 年发布100G硅光收发芯片并正式投产使用; 200G/400G硅光数通模块已开始出货; 800G产品已开始给客户送样。	产品集中于电信市场领域, 光模块 核心客户为华为、中兴、烽火等; 400G硅光模块的客户包括百度、 阿里巴巴、腾讯和华为。
	博创科技	2020 年推出400G数据通信硅光模块解决方案。已建成数通400G硅光模块量 博创科技 产线, 并实现量产。	数通400G硅光模块及400G线缆产 品已向国外客户出货; 凭借硅光方案, 切入华为 25G前装 光模块市场。
	华为	2020 年推出400G数据通信硅光模块解决方案。已建成数通400G硅光模块量 博创科技 产线, 并实现量产。 2012 年和2013年分别收购英国光子集成公司CIP和比利时硅光子公司 Caliopa; 2019年后累计投资十余家光芯片产业链相关企业, 比如熹联光芯 华为、微源光子及长光华芯。芯视界等。 目前领跑国内800G光模块发展。	-
亨通光电	400G硅光模块已出货, 800G光模块已通过测试但未量产。	100GAOC主要应用于数据中心以 及超算中心的光连接; 800G硅光模块以及CPO主要应用 领域是下一代数据中心高速、高密度的光连接。	

资料来源：36kr、集微咨询，华鑫证券研究所

03 薄膜铌酸锂：电光调制器 理想的解决方案

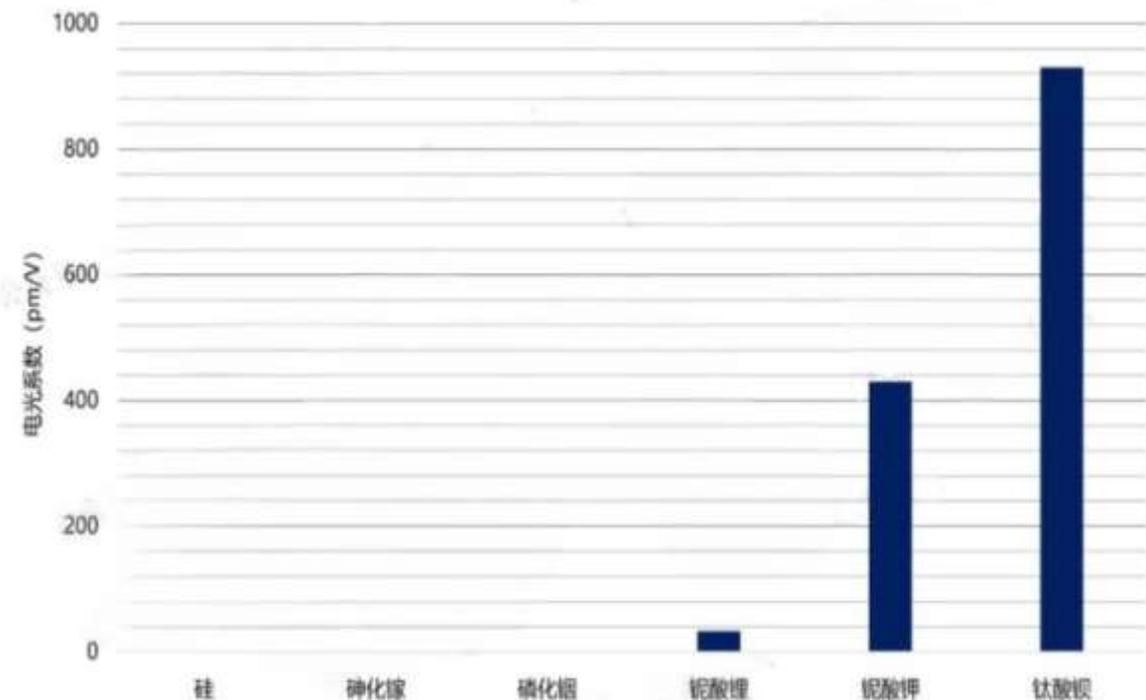
研究创造价值

3.1 电光调制器：铌酸锂是理想的材料

铌酸锂晶体性能突出，是光信号调制器的理想材料。铌酸锂晶体具有高电光系数和优良的特性，比磷化铟InP要高很多。我们观察到铌酸锂的光电系数由于磷化铟、砷化镓以及硅等材料，但是铌酸钾和钛酸钡的电光系数表现更为优异。最终高速率调制器采用铌酸锂作为主要材料之一的原因主要在于铌酸锂在产业化方面更加可靠且具有合适的性能。铌酸锂光调制器，是利用铌酸锂晶体的电光效应制造而成的光调制器，具有高速率、高消光比、低调啾、频带宽、响应速度快、插入损耗低、信噪比高、半波电压低、稳定性好等优点，是主流电光调制器产品之一，目前被广泛用作光通信领域。

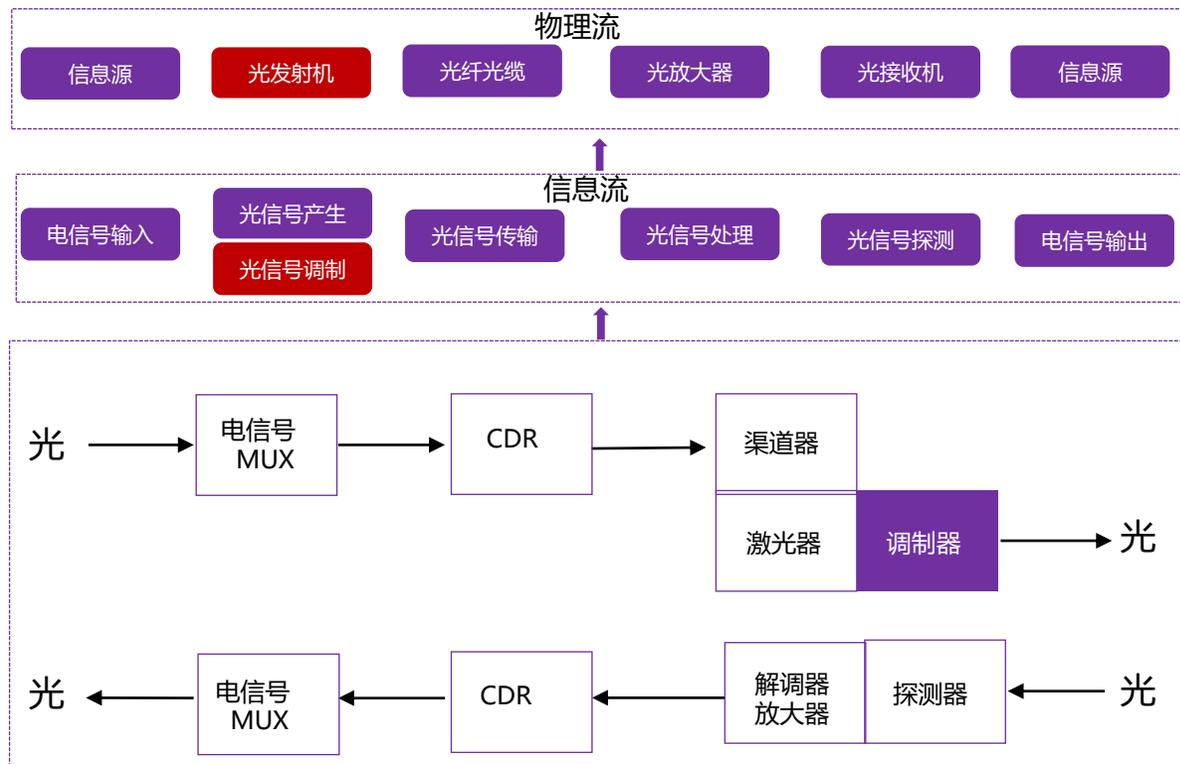
电光调制器是一种用于调制光信号的设备，对光通信系统的传输起重要的作用。它通过应用外部电场来改变光的折射率或相位，从而实现对光信号的调制。在信息时代，大数据、物联网和人工智能等技术加速渗透的趋势下，通信系统对于传输速度和容量的需求不断增加。光信号调制是光模块的重要功能，尽管在短距离通信场景下我们可以采用内部调整的方法来替代独立的调制器，但是在中长距离光通信中尤其是在相干通信情境下，调制器则成为不可或缺的器件。

图表：铌酸锂晶体的电光系数示意图



资料来源：电子发烧友、华经情报网，华鑫证券研究所

图表：光信号调制在光信号处理流程中的作用

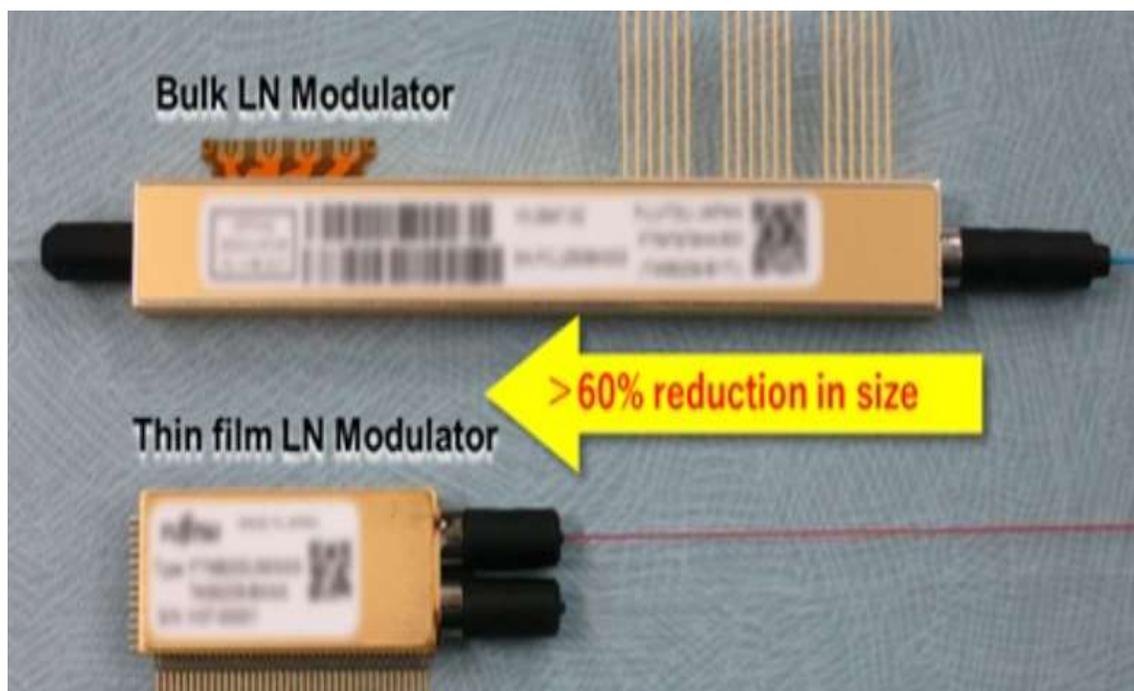


3.2 薄膜铌酸锂调制器：拥有更小的体积与更高的性能

光通信领域主要采用三种不同基底的电光调制器技术，分别基于硅、磷化铟和铌酸锂材料。这些不同的基底材料在性能和应用方面各有优势，适用于不同通信距离的应用场景。硅基调制器通常适用于短距离数据通信，其极限速率约为60-90Gbaud。磷化铟（InP）调制器可以达到更高的速率，大约为130Gbaud。铌酸锂调制器的性能可能超过130Gbaud，主要在长途相干光传输和超高速数据中心方面具备竞争力，主要用于100Gbps以上直至1.2Tbps的长距离骨干网相干通信和单波100/200Gbps的超高速数据中心。随着技术的进步，铌酸锂调制器不断迈向更小尺寸、更高速率、更大带宽和更低驱动电压的方向。

薄膜铌酸锂应需而生，硅光薄膜铌酸锂助力光子集成技术突破。传统铌酸锂的光斑直径大约10 μ m，光斑直径相较于磷化铟和硅基材料不具备优势。然而，现在铌酸锂材料借助硅基衬底也能够实现光斑直径的降低，达到1-2 μ m。薄膜铌酸锂调制器是将铌酸锂薄膜沉积在光纤或者其他光学波导上，形成一个光学调制器。相比于传统的铌酸锂晶体调制器，薄膜铌酸锂调制器具有较高的数据传输带宽、较低的驱动电压和更小的体积，与硅基和磷化铟基调制器相比也展现出显著的高速率、低能耗及高集成度等优势。展望未来，薄膜铌酸锂调制器有望结合硅光技术为光通信行业提供低传输损耗、高密度集成以及低调制功耗需求的优秀解决方案。

图表：薄膜铌酸锂调制器尺寸示意图



资料来源：中国光学光电子行业网、智研咨询、华经产业研究院、光纤在线，华鑫证券研究所

图表：四种主要的调制器方案对比

调制器类型	应用场景	优点	缺点
硅基调制器	短程的数据通信用收发模块	尺寸小	性能一般，高速长距离通信网络不适用
磷化铟基调制器	中距和长距光通信网络收发模块	调制效率高，驱动电压小，带宽可调制，期间结构紧凑	对材料和工艺要求高，成本和集成难度大
铌酸锂基调制器	100G及以上长距骨干网相干通信	电光系数大、调制带宽大、波导传输损耗小、稳定性好，发展成熟	体积较大
薄膜铌酸锂调制器	长途相干光传输和超高速数据中心、小型化、可满足相干光模块、数通光模块日渐小型化的要求	有频带宽、稳定性好、信噪比高、体积小、有利于集成、高性能、低成本、可批量化生产且与CMOS工艺兼容等优点	工设计难度大、工艺复杂

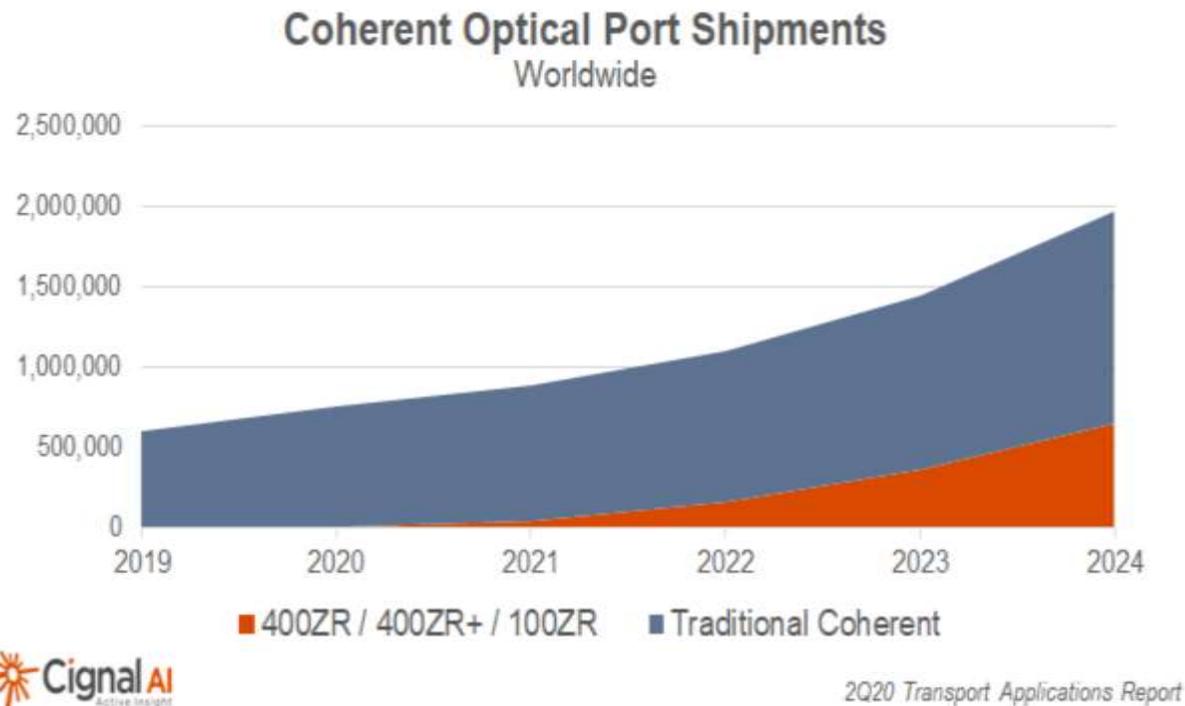
图表：不同材料铌酸锂性能对比图

		尺寸	驱动电压	插入损耗	带宽	单波速率
块状铌酸锂	富士通	70mm	3.5V	14dB	23GHz	100G
	微电极薄片式	N/A	1.2V	>10dB	N/A	N/A
	薄片式	8mm	7.1V	10dB	10GHz	N/A
	单晶铌酸锂薄膜	2mm	1.8V	6dB	15GHz	40G
	新型硅基混合铌酸锂	5mm	2.2V	2.5dB	70GHz	112G

3.3 薄膜铌酸锂调制器的市场规模

全球通信网络组件和设备追求更高性能解决方案，高速率调制器市场规模未来可期。随着云服务和数据中心存储与处理需求的迅速增长，数据中心系统变得更加分散，管理变得更加复杂。此外，人工智能等应用对低延迟和高带宽的网络架构有迫切需求，以满足服务器之间产生的大量机器对机器的输入/输出需求。为了支持这些应用，分布式数据中心之间的最大传输距离必须限制在大约100公里以内，因此需要以集群方式连接这些数据中心。为了实现高带宽和高密度的数据中心互联，400ZR、400ZR+等技术应运而生。根据Signal AI指出，2024年400ZR、400ZR+和100ZR将实现大约三分之一的城域和长途连接，并显著改变网络设计。这些新技术能够增加带宽容量并降低运营成本，能够提升超大规模数据中心、分布式数据中心以及城域电信网络所需要的互联速度。随着高速相干光传输技术在不同领域的广泛应用，光调制器的需求将持续增长。根据华经产业研究院预测，2024年全球高速相干光调制器的出货量将达到200万个，每个端口平均需要1至1.5个调制器。假设薄膜铌酸锂调制器的市场渗透率达到50%，相应全球的市场空间将达到约82至110亿元。

图表：全球高速相干光调制器出货量



图表：通信行业薄膜铌酸锂调制器空间测算

2024年通信行业薄膜铌酸锂调制器市场空间测算		
全球高速相干光调制器出货量/万	200	
每个端口所需调制器/个	1	1.5
调制器总数/万个	300	400
薄膜铌酸锂调制器占比	50%	
薄膜铌酸锂售价/(美元/个)	400	
薄膜铌酸锂市场空间/亿元	81.6	108.8

资料来源：华经产业研究院、Signal AI，华鑫证券研究所

3.4 产业链及竞争格局

产业链：铌酸锂光调制器产业链包括上游原材料，如铌酸锂、封装管壳材料、涂覆层材料、包层材料、光刻机、刻蚀机等；中游涵盖铌酸锂光调制器的制造行业；而下游应用领域广泛，包括光通信、光纤传感器、微波光子等多个行业。

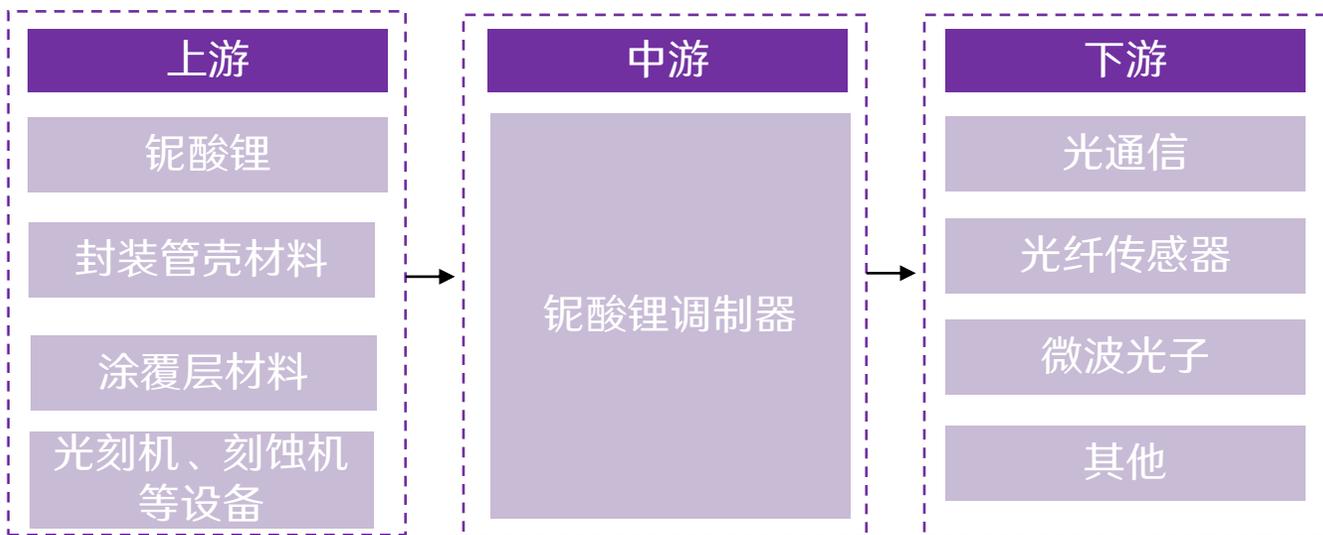
行业壁垒：主要全球公司都采用IDM模式。这意味着这些公司需要拥有从产品设计、制造、封装测试到销售的全面能力。铌酸锂调制器等产品在设计、工艺制造和封装等方面都具有极高的技术门槛和复杂性。这是一个技术密集、需要大量资金投入、周期较长的领域，因此不太容易让轻资产的公司脱颖而出。

供给端：根据智研咨询，我国铌酸锂光调制器市场规模保持较高的增长速度，但行业国产化率仍处于较低的水平，目前约为15.9%左右。目前我国电信级铌酸锂高速调制器器件主要依赖进口。从全球角度来看，全球仅有三家主要供应商能够大规模供货，分别是Lumentum、富士通和住友集团。值得注意的是，光库科技于2020年通过收购Lumentum相关产品线进入该领域，成为国内少数提供铌酸锂技术的厂商之一。从国内角度来看，我国铌酸锂光调制器产业相对集中，主要生产地位于北京、长三角和珠三角地区，这些地区形成了从铌酸锂晶体材料到铌酸锂有源器件以及相关下游设备生产的产业集群。

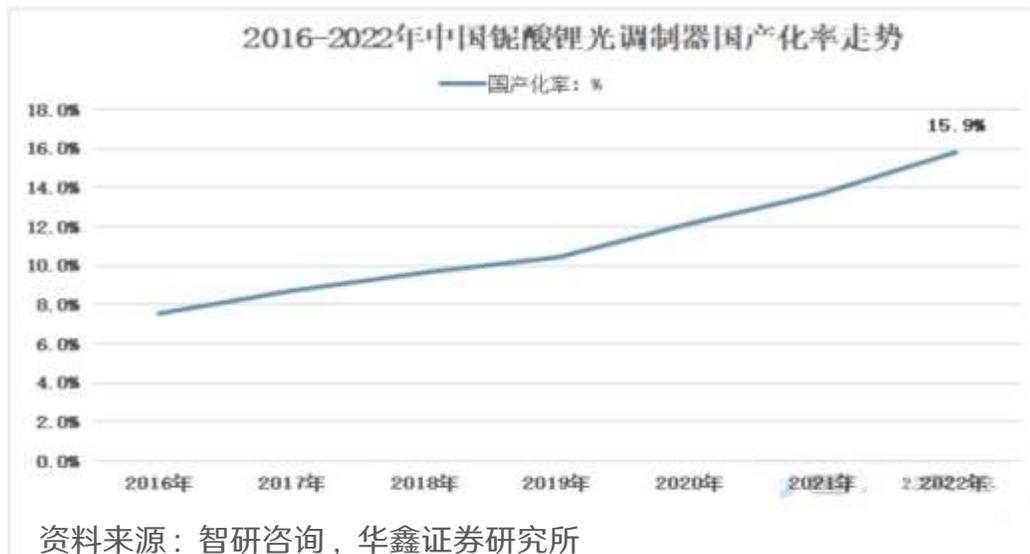
图表：全球铌酸锂调制器市场主要参与者

企业名称	国家	基本情况
富士通	日本	2009年成功推出世界上第一个高速大容量光传输的铌酸锂调制器，2017年推出600G铌酸锂调制器，全球市场份额微70%。
住友	日本	光器件业务（包括铌酸锂调制器业务）主要由于子公司Sumtomo Osaka CementCo., Ltd运营
光库科技	中国	收购Lumentum相关产品线，进入该行业
其他参与者	Thorlabs (美)、JDS Uniphase (美)、AVANEX (美)、PHOTLINE (日)、Neeotrons (日)、NTT (日)、iXblue (法)、fabrinet (泰)、Optilab (美)、铌奥光电、晶正科技、世通科技等	

图表：铌酸锂产业链梳理



图表：2016-2022年中国铌酸锂光调制器国产化率走势



04 政策端：推进光芯片 国产化急速

研究创造价值

4.1 政策支持光芯片行业加速发展

光芯片行业在法规政策方面得到了多方面的支持和鼓励，为行业的发展创造了积极的土壤。国家层面的战略文件明确提出发展超高速、超大容量、超长距离光通信技术，并强调加强光电子技术与器件的研发，从国家战略角度推动行业发展。产业层面的政策文件要求提升光通信器件供给保障能力，增强核心光电子芯片的国产化，降低对进口芯片的依赖。此外，下游市场方面的法规政策鼓励对高速宽带网络、5G移动通信网络、数据中心等基础设施的建设，增加了光芯片行业的需求。工信部发布的《“十四五”信息通信行业发展规划》进一步明确了信息基础设施建设的目标，包括推进新一代通信网络基础设施、5G移动通信网络、千兆光纤网络等领域的建设或升级，以及构建绿色智能、互通共享的数据与算力设施，积极发展工业互联网和车联网等融合基础设施。2025年目标相较于2020年，各指标均有大幅提升。

图表：光芯片行业法律法规及产业政策汇总

序号	法律法规 / 产业政策	颁布机构	颁布时间	相关规定
1	《“十四五”信息通信行业发展规划》(工信部规〔2021〕164号)	工信部	2021年11月	到2025年，信息通信行业整体规模进一步壮大，发展质量显著提升，基本建成高速泛在、集成互联、智能绿色、安全可靠的新型数字基础设施，创新能力大幅增强，新兴业态蓬勃发展，赋能经济社会数字化转型升级的能力全面提升，成为建设制造强国、网络强国、数字中国的坚强柱石
2	《新型数据中心发展三年行动计划(2021-2023年)》(工信部通信〔2021〕76号)	工信部	2021年7月	用3年时间，基本形成布局合理、技术先进、绿色低碳、算力规模与数字经济增长相适应的新型数据中心发展格局
3	《“双千兆”网络协同发展行动计划(2021-2023年)》(工信部通信〔2021〕34号)	工信部	2021年3月	用三年时间，基本建成全面覆盖城市地区和有条件乡镇的“双千兆”网络基础设施，实现固定和移动网络普遍具备“千兆到户”能力。千兆光网和5G用户加快发展，用户体验持续提升。增强现实/虚拟现实(AR/VR)、超高清视频等高带宽应用进一步融入生产生活，典型行业千兆应用模式形成示范
4	《基础电子元器件产业发展行动计划(2021-2023年)》(工信部电子〔2021〕5号)	工信部	2021年1月	重点发展高速光通信芯片、高速高精度光探测器、高速直调和外调制激光器、高速调制器芯片、高功率激光器、光传输用数字信号处理器芯片、高速驱动器和跨阻抗放大器芯片

图表：《“十四五”信息通信行业发展规划》

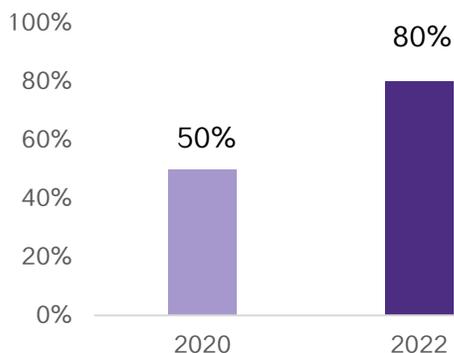
类别	指标	2020年	2025年目标	年均增速 / 累计变化
总体规模	信息通信业收入(万亿元)	2.64	4.3	10%
	信息通信基础设施累计投资(万亿元)	2.5	3.7	1.2
	每万人拥有5G基站数(个)	5	26	21
	10G-PON及以上端口数(万个)	320	1200	880
基础设施	数据中心算力(每秒百亿亿次浮点运算)	90	300	27%
	工业互联网标识解析公共服务节点数(个)	96	150	54
	移动网络IPv6流量占比(%)	17.2	70	52.8
	国际互联网出入口宽带(太比特每秒)	7.1	48	40.9
应用普及	通信网络终端连接数(亿个)	32	45	7%
	5G用户普及率(%)	15	56	41
	千兆宽带用户数(万户)	640	6000	56%
	工业互联网标识注册量(亿个)	94	500	40%
	5G虚拟专网数(个)	800	5000	44%

资料来源：源杰科技招股书，华鑫证券研究所

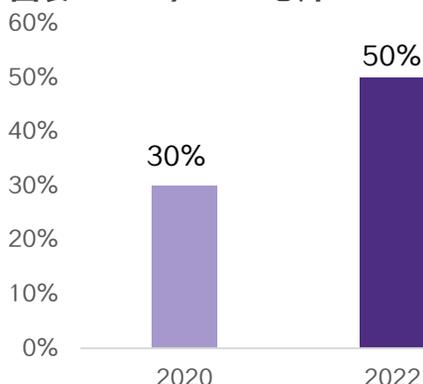
4.2 高速率光芯片国产化加速

高速率光通信芯片和器件在国产化方面将加速推进部署。根据中国电子元件协会，从2020年到2022年，10Gb/s和25Gb/s及以上速率的EML、DFB、VCSEL芯片以及TIA和LD Driver芯片都将加快国产化过程，逐步替代了进口产品。EML芯片方面，10Gb/s速率芯片国产化率从50%提高到了80%，25Gb/s速率芯片国产化率将从30%提升至也有显著提升至50%，50Gb/s速率芯片将从0%提升至20%；DFB芯片方面，25Gb/s及以上速率芯片国产化率将从30%提升至60%；VCSEL芯片方面，25Gb/s及以上速率芯片国产化率将从10%~20%提升至30%~40%；电芯片方面，25Gb/s及以上速率TIA和LD Driver芯片的国产化将从5%~10%提升至30%。除此之外，协会对众多关键有源光器件产品提出发展的要求。这一系列国产化进展表明，中国光电子领域将逐渐降低对进口产品的依赖，取得更大的市场份额，并在高速通信领域实现了自主能力的增强。

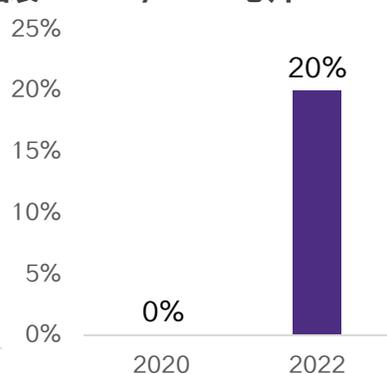
图表：10Gb/s EML芯片



图表：25Gb/s EML芯片



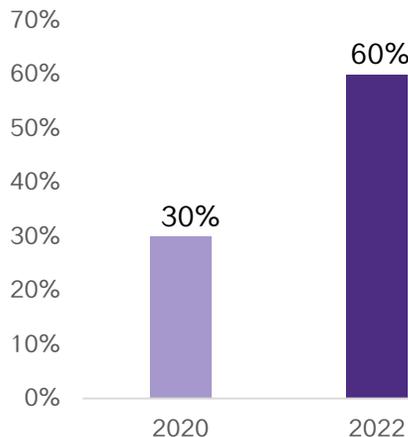
图表：50Gb/s EML芯片



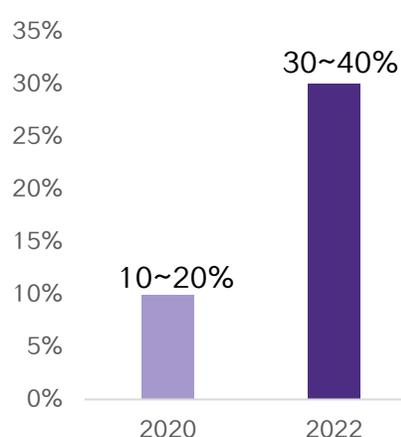
图表：2020-2022年其余关键芯片和有源光器件规划规划

重点发展产品	发展目标（2020）	发展目标（2022）
非气密、高功率 DFB 激光器芯片及器件	该型产品规模销售（应用），实现该型产品市场占有率达到 10%左右。	实现该型产品市场占有率超过 40%。
宽带多通道可调谐激光器芯片及器件	该型产品形成市场突破，实现规模化应用。	实现该型产品市场占有率超过 30%。
硅基相干光收发芯片（100G/200G，400G/600G，1T）芯片及器件	支撑 100Gb/s-600Gb/国产化 光收发模块的规模应用。	支撑 1Tb/s 国产化光收发模块的规模应用，不断扩大市场占有率。
硅基 100G PAM-4 调制芯片（阵列）	支撑 100Gb/s（单通道）、400Gb/s（4 通道）光收发模块或有源光缆的规模生产。	400Gb/s（4 通道）光收发模块或有源光缆的规模生产。持续提升市场占有率。
硅基波导光开关、可变光衰减器阵列芯片	该型产品规模销售，实现该型产品市场占有率超过 10%。	实现该型产品在大端口光交叉连接（OXC）模块中的规模应用，市场占有率达到 40%。
PLC型 AAWG芯片及器件	该型芯片产品规模销售，并不断替代进口，实现该型产品市场占有率达 40%	实现该型产品市场占有率超过 70%
LiNbO3 基光调制器芯片及器件	该型产品市场占有率超过 5~10%，并不断替代进口，扩大市场占有率。	实现该型产品市场占有率超过 30%
MEMS 光开关、VOA 芯片	该型产品规模销售，并不断替代进口，扩大市场占有率。	实现该型产品国内市场占有率超过 40%。

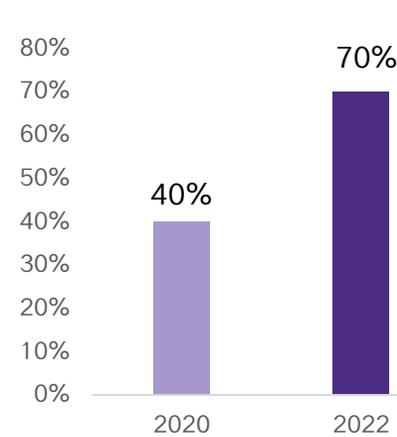
图表：25Gb/s 及以上 DFB芯片



图表：25Gb/s 及以上 VCSEL芯片



图表：PIN/APD芯片



芯片和有源光器件

资料来源：《中国光电子器件产业技术发展路线图》、亿渡数据，华鑫证券研究所

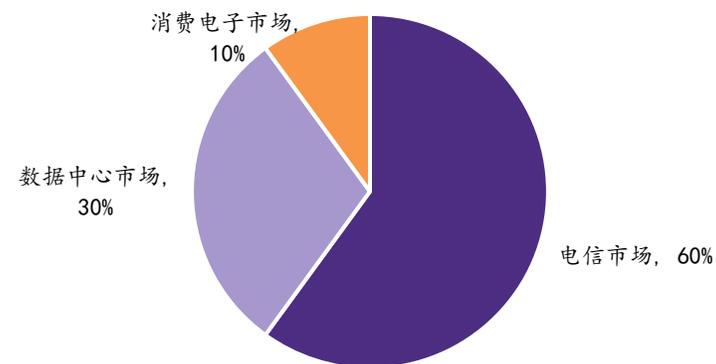
05 需求端：AI数据中心带动数通侧
光模块需求进而提升光芯片用量

研究创造价值

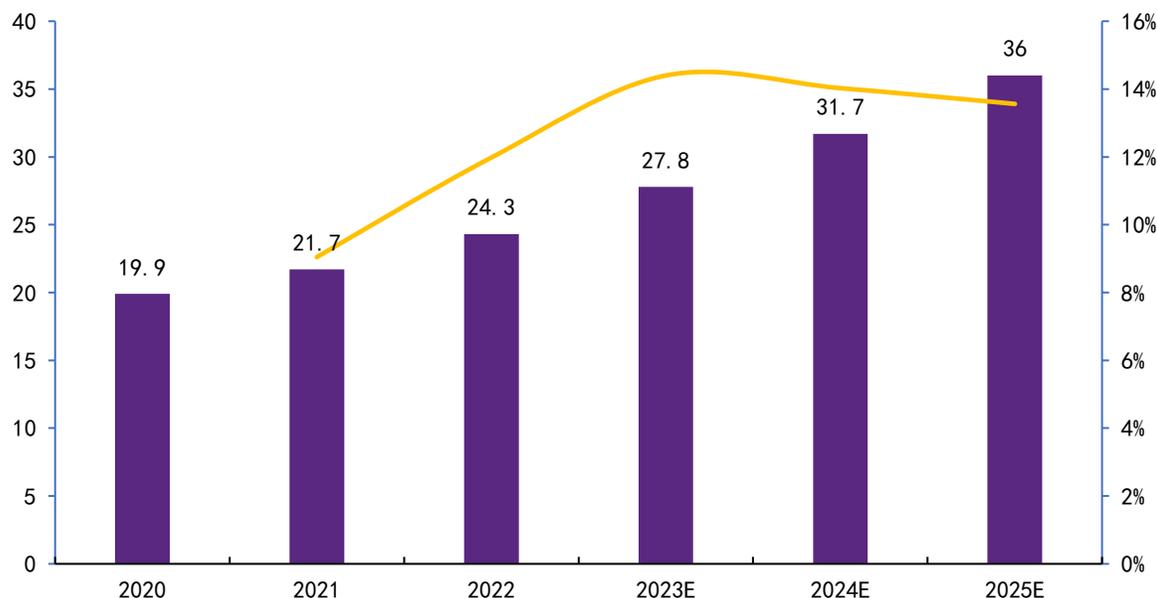
5.1 光芯片市场规模

光芯片市场规模不断扩大，在各个下游应用领域占据越来越重要的地位。随着通信技术的飞速发展，光芯片市场在全球范围内呈现出强劲的增长势头，这主要得益于下游应用领域对高速、高带宽、低延迟通信的需求不断增加。例如，在数据中心和云计算领域，高密度、高性能的光互连解决方案已经成为基础设施的核心，光芯片在这些领域中的应用占比不断上升。根据C&C统计，2020年全球光通信用光芯片的市场规模为20亿美元，2025年有望达到36亿美元，CAGR约为12.59%。根据观研天下预测，2025年中国光芯片市场规模有望达到26.07亿美元，2020-2025年CAGR约为15.16%。此外，光芯片还可以在人工智能、医疗诊断、激光雷达、工业自动化等领域发挥着关键作用。同时，随着5G通信的商用化和物联网的普及，光芯片在移动通信、无线网络和智能设备中的应用也愈发重要。总的来说，光芯片市场规模的增长和其在各个下游应用领域的占比提高，都反映了光电子技术在现代通信和信息领域的关键地位，以及其在推动科技进步和社会发展中的不可或缺性。

图表：光芯片下游应用市场占比



图表：2020-2025年全球光芯片市场规模预测（亿美元）



图表：2016-2026年中国光芯片市场规模预测（亿美元）

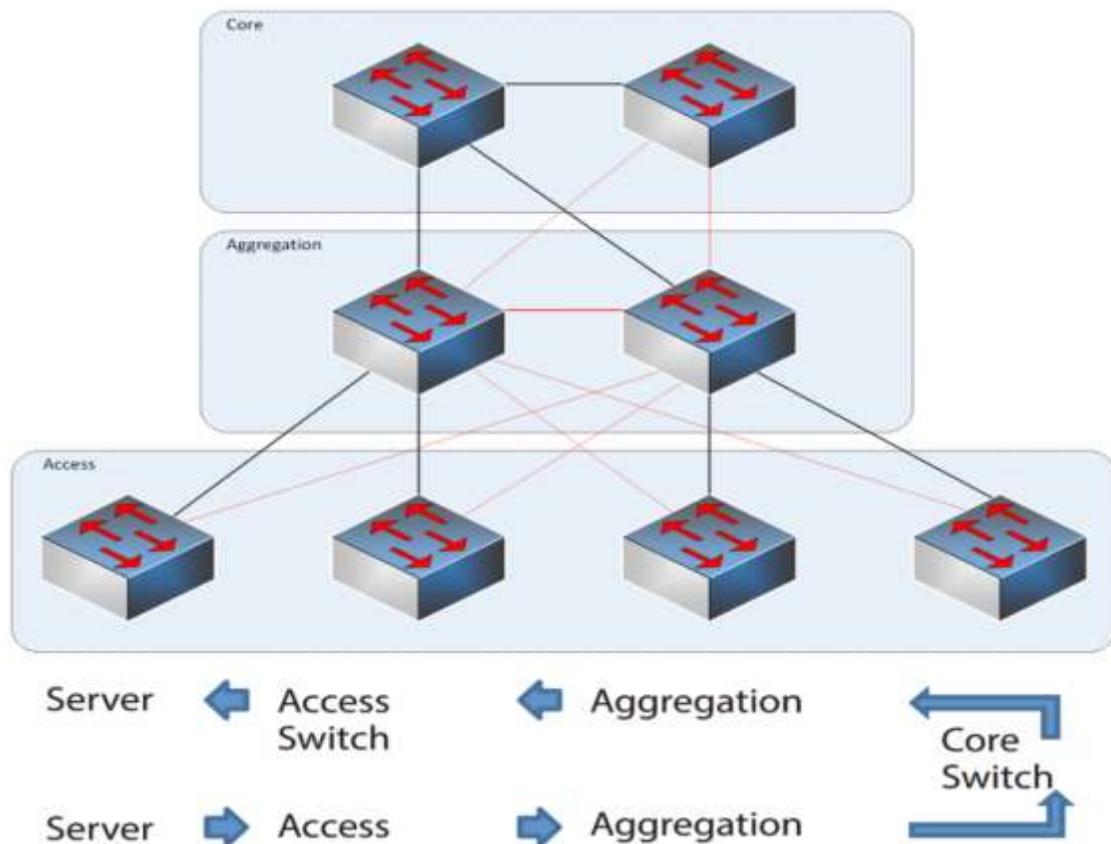


资料来源：源杰科技招股说明书、观研天下，华鑫证券研究所

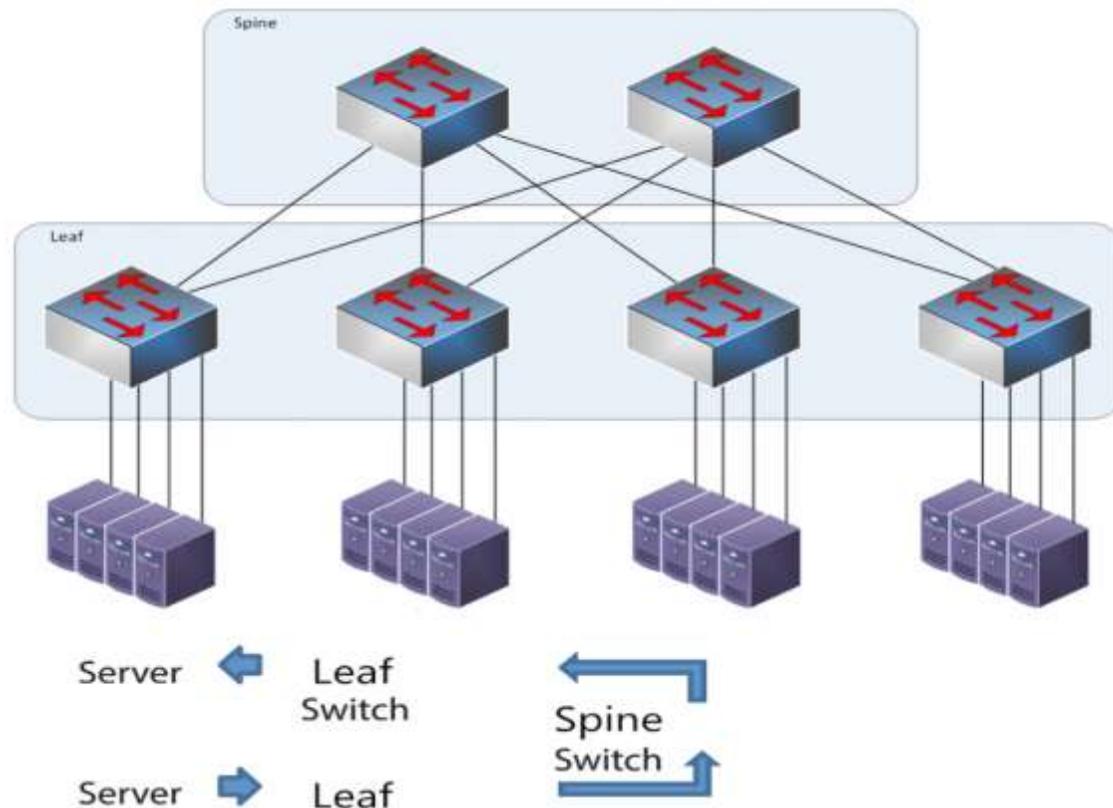
5.2 数据流量增加推动光器件用量提升

数据流量增加推动叶脊式架构发展，架构改变提升光器件用量。随着网络数据的持续增长，传统三层架构（接入层、汇聚层、核心层）逐渐难以满足内部流量高度集中的趋势。为适应这一趋势，数据中心需要采用扁平化的网络架构，其中东西向数据流量取代南北向数据流量，这一趋势推动了叶脊式两层架构的广泛应用。叶脊式架构通过增加接入层、汇聚层与主机之间的连接数，使得每台叶交换机都直接连接到每台脊交换机，实现了网络的扁平化。这样的结构既提高了数据的传输效率有又减少了网络延迟和瓶颈。此外，相较于传统的三层架构，叶脊式结构更加灵活，允许添加额外的骨干交换机并扩展上行链路到每个叶子交换机，从而增加了层间宽带，使得网络能够随着流量的增长而扩展。值得注意的是，交换机与交换机直接更多的连接需求带来更多光模块的需求，进而带动上游光芯片的需求。

图表：传统三层网络架构



图表：叶脊式两层网络架构



资料来源：TBD group，华鑫证券研究所

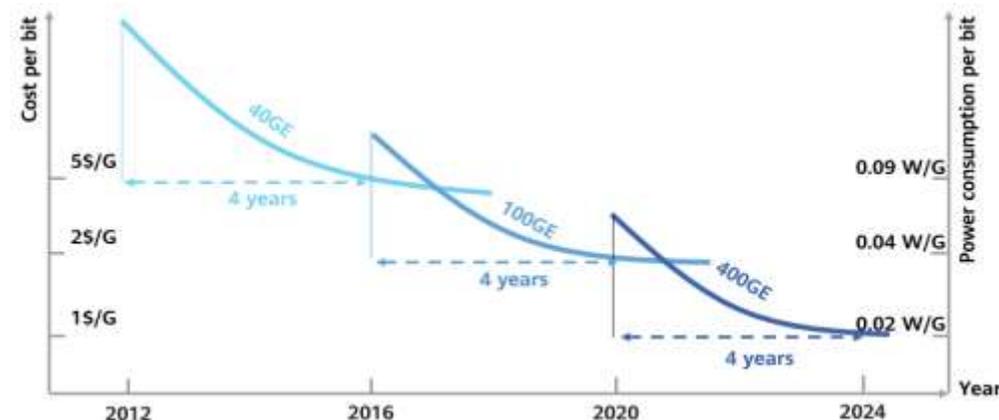
5.2 光摩尔定律推动光模块技术迭代升级

“光摩尔定律”指出光模块技术以四年为周期进行更迭。戈登·摩尔提出的著名摩尔定律，在半导体行业，预言了集成电路每18个月可容纳的晶体管数量将翻倍，推动了行业的巨大发展。类似地，光电领域也存在着“光摩尔定律”，即每4年左右光模块演进一代，使比特成本减半、功耗减半。

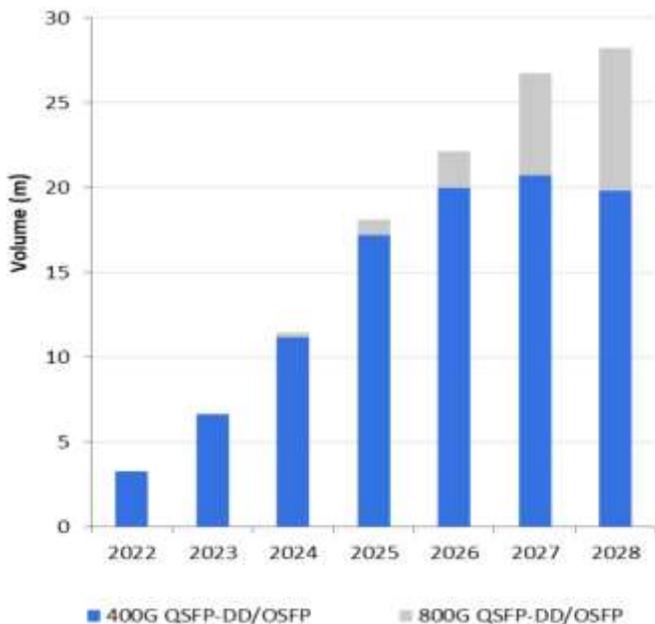
光模块技术持续突破提升使得下游厂商催生新需求。光模块为实现更高速率通常采用三种途径，包括PAM4高阶调制技术、增加通道数（多lane）以及提高光电芯片的波特率等方式。随着技术的持续更新，运用新技术的光模块应运而生。

800G模块的发展前景愈发光明，率先于北美市场成为主流。根据Omdia，400G模块仍将在未来几年内占据主导地位，直至2026年，800G模块的需求将急剧攀升。这些趋势表明，光通信领域正迅速演进，以满足不断增长的带宽需求，这对数据中心和通信网络的未来发展具有重要意义。

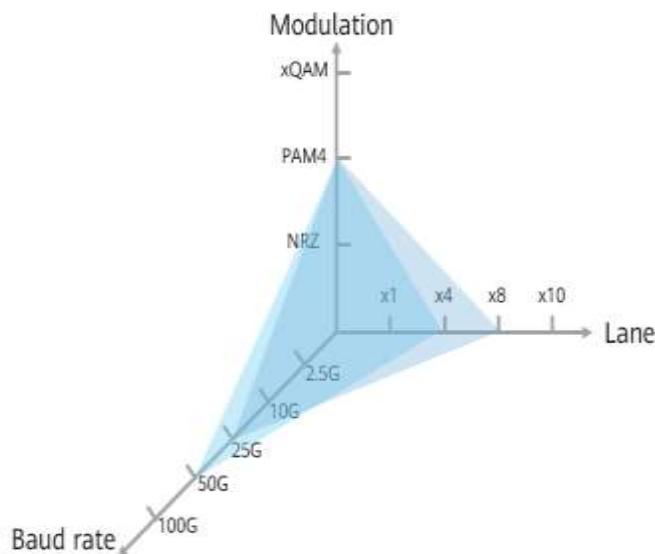
图表：数据中心组网中的“光摩尔定律”



图表：全球高速率光模块出货量预测（百万支）



图表：光模块提升速率的技术路径



资料来源：海思光电、Omdia，华鑫证券研究所

图表：不同数据中心对比

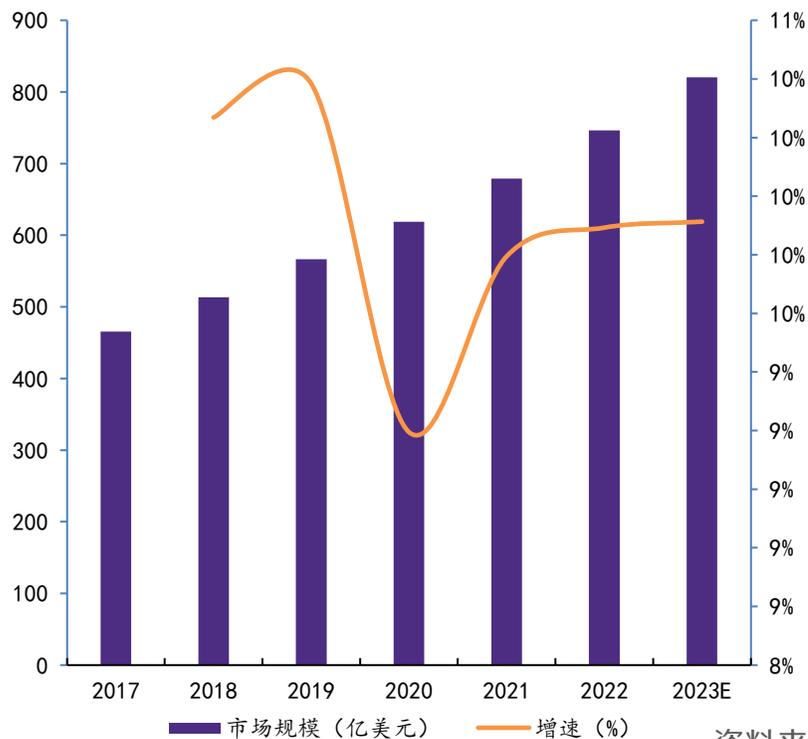
客户类型	传统企业数据中心	中国云数据中心	北美云数据中心
数据中心规模	小	中/大	大
网络架构	传统三层网络架构	Spine/leaf架构	Spine/leaf架构
流量&流向	小 南北向为主	中/大 东西向流量大	大 东西向流量大
单服务器光模块用量	小	中/大	大
光模块速率	1G/10G	25G/100G →50G/400G	25G/100G→50G/400G →100G/800G

5.2 数据中心市场规模增速显著

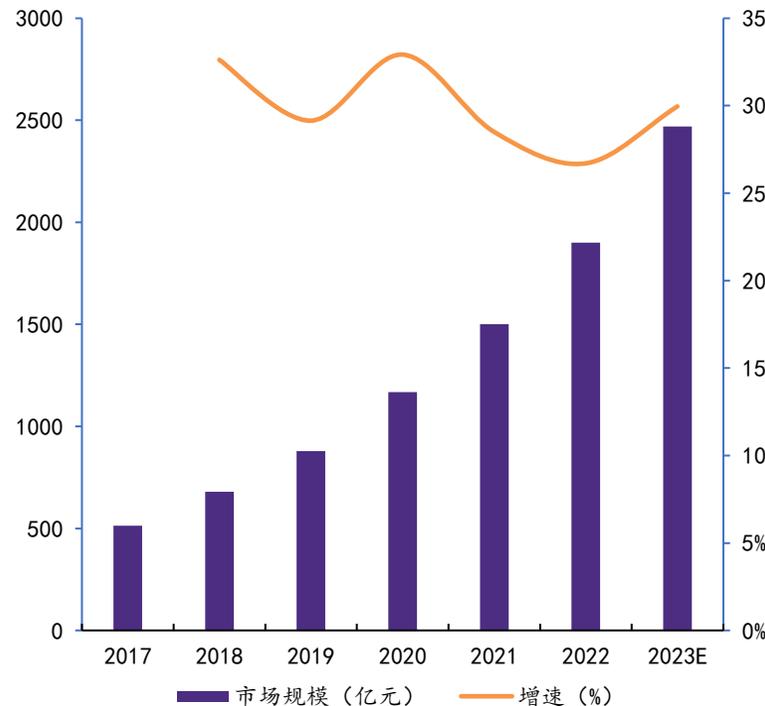
新一代信息技术快速发展带动数据量暴增。互联网、物联网、大数据、云计算和5G的迅猛崛起推动了全球数据量的爆发式增长。根据IDC的预测，到2025年，全球的数据总量将从2018年的33ZB增长至175ZB，2018年-2025年CAGR为26.91%。同时，边缘计算的数据量也将迅速增长，预计到2025年，每人每天的平均数据交互次数将达到5,000次，是当前交互数量的7倍。庞大的数据流和高速交互对网络连接速度和基础设施提出了巨大挑战。因此数据中心作为传输、加速、处理、计算和存储数据信息的关键数据设施将获得前所未有的发展机遇。

全球数据中心市场规模高速，中国市场增速显著高于全球总体水准。从2017年至2021年，全球数据中心市场经历了平稳增长，市场规模从465.5亿美元增长至679.3亿美元，2017年-2021年CAGR为9.91%。预计到2023年，全球数据中心市场规模将进一步扩大，达到820.5亿美元。在国家政策的推动下，包括新基建、数字化转型和数字中国远景目标等，以及企业对成本降低和效率提升的追求，中国数据中心市场规模持续高速增长。截至2021年，中国数据中心市场规模已达1500.2亿元，2016年-2021年CAGR达到29.96%。随着互联网企业、金融机构、制造及软件企业、政府部门等领域持续推进数智化转型以及人工智能应用场景的多样化演绎，中国数据中心市场规模将继续保持持续增长，预计到2023年市场规模将达到2470.1亿元。

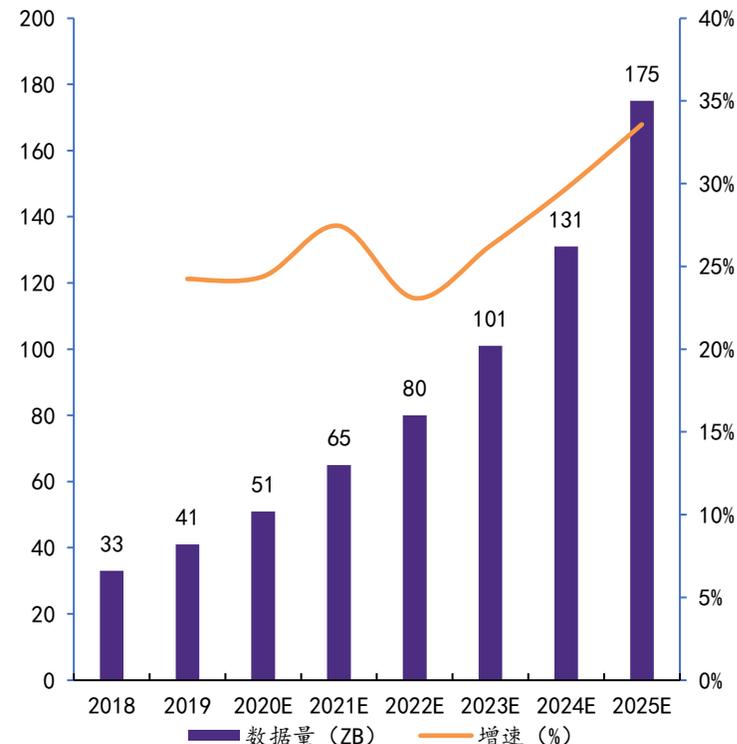
图表：全球数据中心市场规模预测（亿美元）



图表：中国数据中心市场规模预测（亿元）



图表：2018-2025全球数据量增长趋势图



资料来源：长光华芯招股书、中商情报网，华鑫证券研究所

5.2 数通市场光芯片市场规模

全球数据中心资本支出高企，高速率光模块迎来确定性增长。近年来，全球市场互联网和云计算行业蓬勃发展，推动了对数据中心光模块的需求增加。海外互联网厂商对于数据中心建设大幅投入，国内互联网厂商奋起直追。2022年，全球数据中心资本支出预计增长17%，其中超大规模云厂商的数据中心支出将增长30%。展望到2026年，全球数据中心资本支出预计将达到3,500亿美元。云厂商的资本支出与光模块制造商的营收之间存在强烈的正相关，因此云厂商资本支出的超预期增长有望显著推动光模块制造商的营收增长。根据LightCounting数据，2021年以太网用数据中心光模块市场规模同比增长超过10%，其中100G及以上光模块占比约为82.48%。2025年，预计全球以太网用数据中心光模块市场规模将达到62.74亿美元，年均复合增长率为11.19%，其中100G及以上光模块市场占比将超过90%。

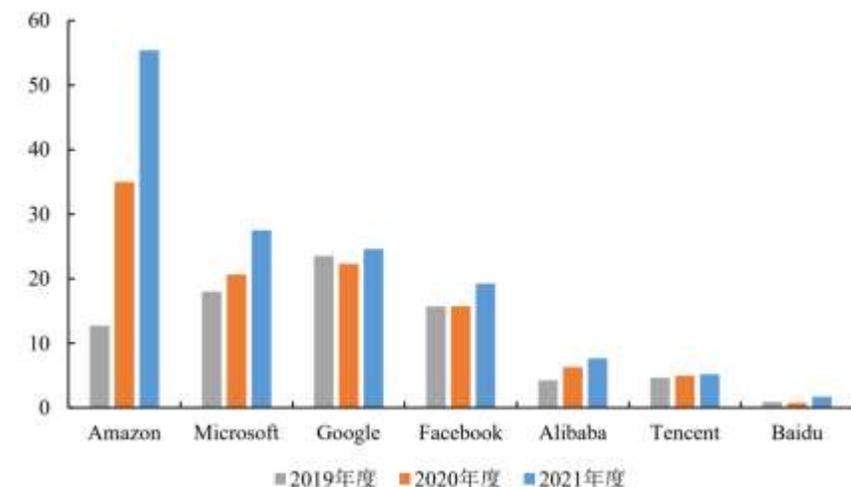
2025年数据中心对应光芯片市场规模测算：参考源杰科技、中际旭创、联特科技、德科立、优迅科技等光模块或光器件上市/拟上市公司的招股说明书或年度报告等公开资料，我们根据光模块全球市场规模、细分光模块毛利率、直接材料占比、光芯片及组件占光模块材料比例、光芯片占光芯片及组件的比例测算，2025年数据中心对应全球光芯片市场规模约为101.67亿元人民币。

图表：数据中心光模块产品及对应激光器芯片解决方案

数据中心主要光模块类别	市场规模 (万个)		对应速率主要模块产品	主要采用的激光器芯片方案
	2021年	预计2025年		
100G光模块	1,580.02	2,690.37	100G FR4 QSFP28	FR4: 4*25G DFB
			100G LR4 QSFP28	LR4: 4*25G DFB
			100G ER4 QSFP28	ER4: 4*25G EML
			100G FR1 QSFP28	FR1: 100G EML/硅光CW光源
200G及以上速率光模块	280.61	1,466.94	200G FR4 QSFP-DD	FR4: 4*50G DFB/EML
			400G DR4 QSFP-DD	400G DR4: 4*100G EML/硅光CW光源
			400G FR4 QSFP-DD	EML/硅光CW光源
			2*200G FR4 OSFP	FR4: 4*100G EML

资料来源：源杰科技公告，华鑫证券研究所

图表：2019-2021年海内外互联网厂商资本开支 (亿美元)



图表：2025年数据中心对应全球光芯片市场规模测算

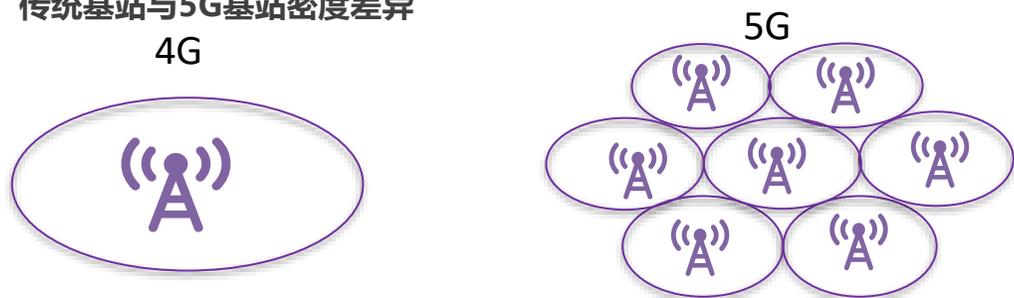
数据中心		
光模块	光模块全球市场规模 (亿美元)	73.33
	10G及以下速率光模块 (A1)	10.83
	25G及以上速率光模块 (A2)	62.50
	中低速率光模块毛利率 (B1)	25%
	高速率光模块毛利率 (B2)	30%
对应光芯片及组件	直接材料 占光模块成本比例 (C)	80.00%
	光芯片及组件占光模块材料比例 (D)	50.00%
	光芯片占光芯片及组件材料比例 (E)	70%
对应光芯片	光芯片全球市场规模 (亿美元)	$A1 \times (1-B1) \times C \times D \times E + A2 \times (1-B2) \times C \times D \times E$
		14.52
	光芯片全球市场规模 (亿元)	101.67

5.3 5G建设带动高速光芯片发展

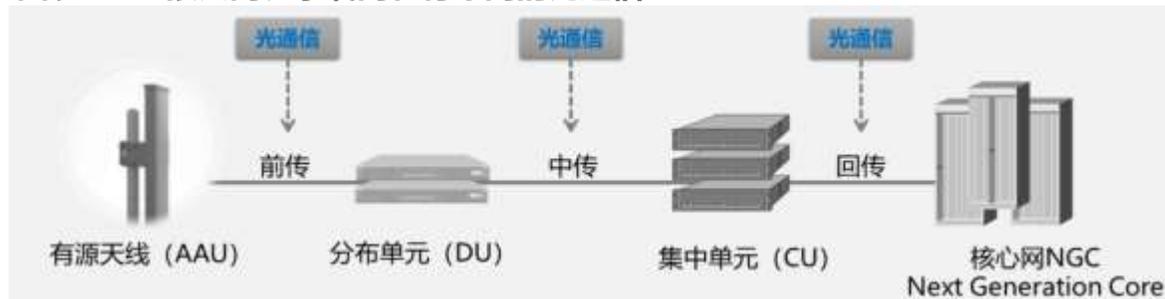
国内外5G建设稳步推进，带动光芯片需求提升。从技术角度来看，5G工作在中高频段，宏基站所覆盖的信号范围十分有限，因此为保障信号的覆盖程度，5G基站的数量和部署密度较4G基站会有所提升。根据工信部的数据，截至2022年底，国内新建了88.7万个5G基站，全国已经累计建成了231.2万个5G基站。2023年，计划新增60万个5G基站，将使总数超过290万个。未来的建设目标聚焦在以下方面：在城市地区要提高覆盖密度，在农村地区要继续扩展网络，争取实现更广泛的覆盖，在工业园区要深化覆盖。从全球角度来看，根据GSA发布的数据，截至2022年年底，全球已经有514家运营商投资建设了5G网络，其中47%已经正式商用。预计到2023年，全球5G连接数将达到30亿。随着正式商用基站比例的逐步提升，将进一步推动5G网络的投资。这表明5G技术在全球范围内的迅速发展和扩展。5G单基站光模块数要比4G单基站光模块数多2-4个，达到8-10个，对应5G基站光芯片数量是4G基站的2.8倍，主要用到的光芯片类型为DEB/EML。

结构变化增加了光通信需求，推动高速光芯片发展。5G网络架构在4G的基础上经过升级，引入了CU（中央单元）、DU（分布单元）和AAU（无线接入单元）的三级结构，增加了前传和中传光通信的需求。为了满足这些需求，需要采用基于25G/50G的无源WDM、有源WDM OTN/M-OTN、SPN、WDM PON等光器件。因此，5G将带来5000万只光模块的增量需求，每年需求近千万只光模块。强劲的下网网络建设需求将推动下游通信光芯片行业的的市场需求扩大。此外，由于5G网络带来了流量和速率的提升，对高速光模块的需求也相应提升。前传部分从10G升级到25G，承载网从10G、40G升级到100G，骨干网从100G升级到400G，以适应不断增长的通信需求。

图表：传统基站与5G基站密度差异

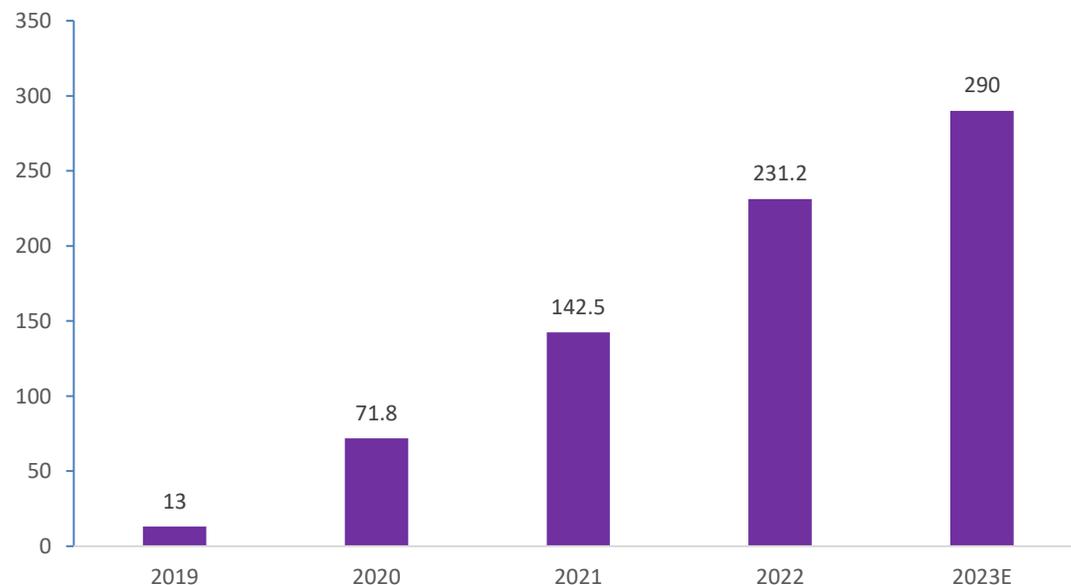


图表：5G 接入网、承载网和骨干网的光通信



资料来源：源杰科技公告、中国服务贸易指南网、创道硬科技研究院、中商产业研究院、观研天下、雷锋网，华鑫证券研究所

图表：2019-2023年中国5G基站数量统计（万个）

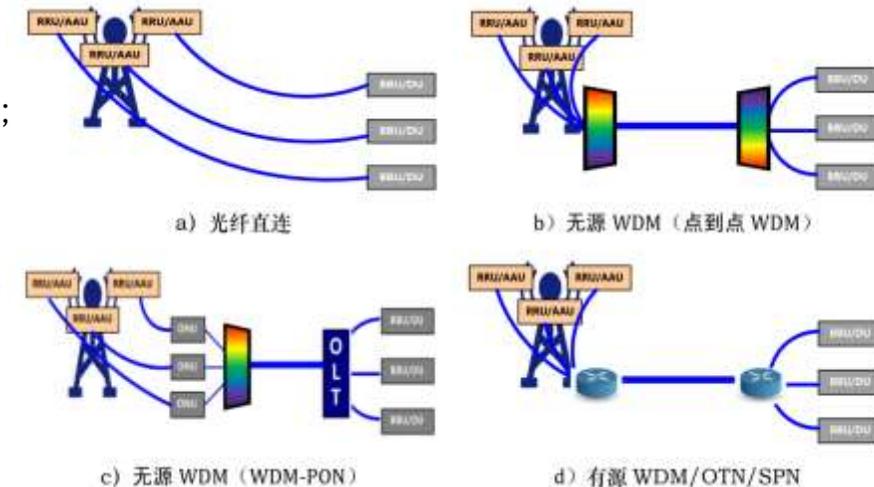


5.3 移动通信市场光芯片市场规模

5G对于光模块的多场景运用能力及可靠性提出新要求。5G承载网络一般可以分为城域接入层、城域汇聚层、城域核心层/省内干线，实现5G业务的前传和中回传功能，各层设备之间主要依赖光模块进行互联。5G前传网络采用四种典型的连接方式，以适应不同应用场景。光纤直连适用于小规模集中场景，使用25G灰光模块，支持双纤双向和单纤双向连接，覆盖传输距离为300米至10千米；无源WDM通过光纤实现AAU到DU的连接，使用10Gb/s或25Gb/s彩光模块；半有源WDM简化部署并降低成本，有源WDM则提供更强大的管理维护能力，但成本较高。前传场景下的光模块需要能够满足工业级温度范围（-40℃~85℃）、具备高可靠性及低成本等特点。5G中回传覆盖城域接入层、汇聚层以及核心层。接入层将主要采用25Gb/s、50Gb/s、100Gb/s等速率的灰光或彩光模块，而汇聚层及以上则更多地采用100Gb/s、200Gb/s、400Gb/s等速率的DWDM彩光模块。

2025年移动通信对应光芯片市场规模测算：参考源杰科技、中际旭创、联特科技、德科立、优迅科技等光模块或光器件上市/拟上市公司的招股说明书或年度报告等公开资料，我们根据光模块全球市场规模、细分光模块毛利率、直接材料占比、光芯片及组件占光模块材料比例、光芯片占光芯片及组件的比例测算，2025年移动通信对应全球光芯片市场规模约为93.34亿元人民币。

图表：5G前传典型应用场景



图表：5G承载光模块应用场景及需求分析

网络分层	城域接入层		城域汇聚层	城域核心层/干线
	5G前传	5G中回传	5G回传+DCI	5G回传+DCI
传输距离	<10/20km	<40km	<40-80km	<40-80km/几百km
组网拓扑	星型为主，环网为辅	环网为主，少量为链型或星型链路	环网或双上联链路	环网或双上联链路
客户接口速率	eCPRI: 25Gb/s CPRI: Nx10/25Gb/s 或1x100Gb/s	5G初期: 10/25Gb/s 规模商用: Nx25/50Gb/s	5G初期: 10/25Gb/s 规模商用: Nx25/50/100Gb/s	5G初期: 25/50/100Gb/s 规模商用: Nx100/400Gb/s
	线路接口速率	10/25/100Gb/s灰光或Nx25G/50Gb/s WDM彩光	25/50/100Gb/s灰光或Nx25/50Gb/s WDM彩光	100/200Gb/s灰光或Nx100Gb/s WDM彩光

资料来源：源杰科技公告、《5G承载光模块白皮书》、观研天下，华鑫证券研究所

图表：2025年移动通信领域对应全球光芯片市场规模测算

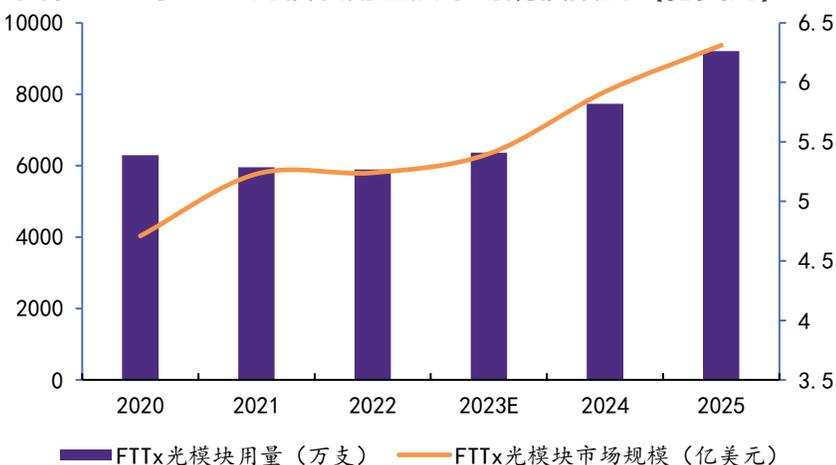
移动通信		
光模块全球市场规模		39.45
光模块	10G及以下速率光模块 (A1)	8.03
	25G及以上速率光模块 (A2)	31.42
对应光芯片及组件	中低速率光模块毛利率 (B1)	25%
	高速率光模块毛利率 (B2)	30%
	直接材料 占光模块成本比例 (C)	80.00%
	光芯片及组件占光模块材料比例 (D)	85.00%
	光芯片占光芯片及组件材料比例 (E)	70%
对应光芯片	光芯片全球市场规模 (亿美元)	$A1 \times (1-B1) \times C \times D \times E + A2 \times (1-B2) \times C \times D \times E$ 13.33
	光芯片全球市场规模 (亿元)	93.34

5.4 光纤接入市场对光模块需求持续增长

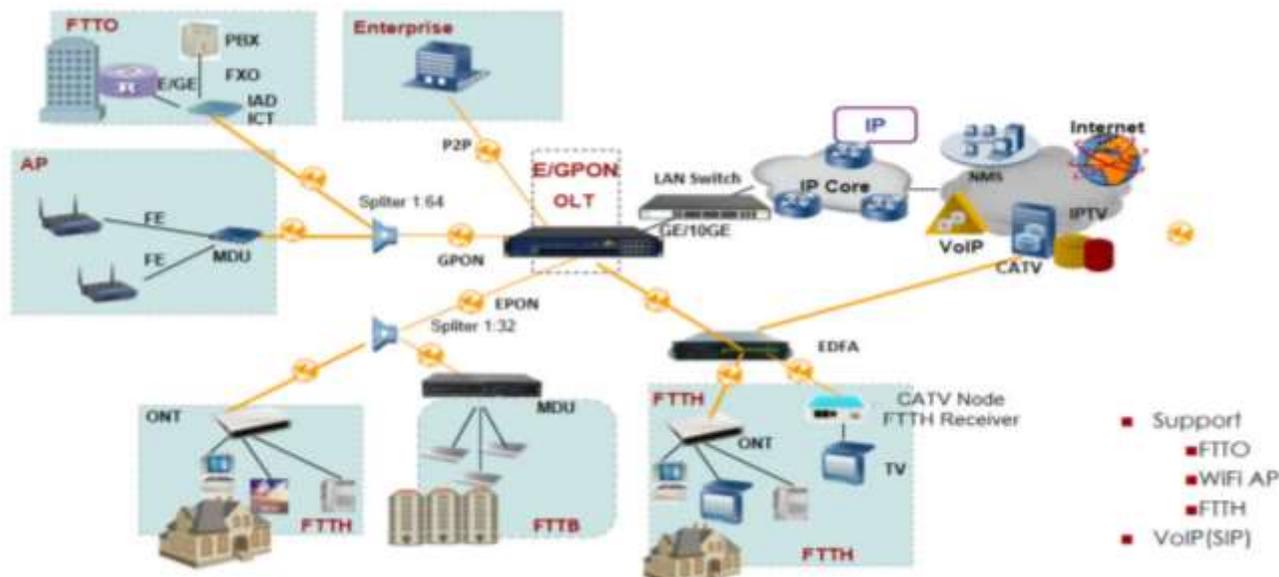
FTTx光纤接入市场是全球光模块需求最大的应用领域之一。当前，全球运营商正在逐步将铜线网络升级为光纤网络，而PON（无源光网络）技术已经成为实现FTTx的主要选择。PON技术以其在成本、可靠性、稳定性和保密性等方面的卓越性能而获得了广泛认可。当前主流的PON技术包括APON/BPON、EPON、GPON和10G-PON，其中10G-PON技术以其10Gbps的对称传输速率逐渐引起关注。根据LightCounting的数据，2020年全球FTTx光模块市场的出货量约为6289万只，市场规模达到4.73亿美元。随着新一代PON技术的应用逐渐扩展，预计到2025年，全球FTTx光模块市场的出货量将达到9208万只，年均复合增长率为7.92%，市场规模将增至6.31亿美元，年均复合增长率为5.93%。

固网技术迭代驱动高速率光模块需求。千兆宽带目前已经在全球取得了显著进展。它支持1Gbit/s以上的下载速率，根据LightCounting统计,2022年全球光纤接入光模块市场中10G-PON及以上的高速率光模块占比为56.11%，2025年该比例将提升至70.05%。我们可以看到高速率光模块将在光纤接入市场的份额也在不断提升，特别是10G-PON及以上的光模块。这一趋势表明，高速宽带正在成为全球范围内的主流选择，而10G-PON技术在这一领域的应用也逐渐成熟。

图表：全球FTTx光模块用量及市场规模预测（亿美元）



图表：FTTx解决方案示意图



资料来源：源杰科技公告、ZPCABLE官网，华鑫证券研究所

图表：固网迭代历史沿革

固网代际	第一代	第二代	第三代	第四代	第五代
发展历程	2000年前	2000-2010年	2005-2015年	2010-2020年	2015-2025年
典型业务	语音、拨号	多媒体网页、标清视频	720P/1080P 高清视频	4K超高清、云游戏	8K视频、Cloud VR
典型带宽	窄带 PSTN/ISDN 64Kbps	宽带 ADSL 10Mbps	超宽带 VDSL/Vec/SV 30-200Mbps	超百兆 GPON/EPON / G.fast 100-500Mbps	千兆超宽 10G-PON 1Gbps-5Gbps
建网模式	电话端局/窄带接入网	CO DSLAM	FTTC/FTTB	FTTH/FTTdp	FTTH

5.4 光纤接入市场光芯片市场规模

10GPON趋于成熟，50GPON未来可期。10GPON产业链已经趋于成熟，从芯片、光模块、系统设备等在内均已有成熟方案。10G PON可以被视为PON技术的第二代，第三代PON技术正朝着两个主要方向发展，分别是由IEEE 802.3ca工作组主导的单波25G/50G方案和由ITU T SG15 Q2组主导的单波50G TDM PON方案。中国在10GPON大规模部署的前提下，选择50G技术路线作为下一代升级方向。中国电信和中国移动等主要运营商积极试验和探索引入50G PON技术，以提升接入带宽，并构建大带宽、差异化、智能化、开放化、快速接入的基础网络。50G PON标准的制定正在积极进行中，这些标准包括总体需求、传输汇聚层、物理介质相关层等。至于波长选择，目前正在讨论中，但已确定了几种可选方案。为了实现10G PON到50G PON的平滑演进，采用了波分共存技术，通过更换ONU来升级网络，这是未来PON技术发展的关键。根据以往经验，每一代PON技术的部署周期大约为7-8年，预计50G PON的大规模部署将在2023-2025年左右出现。我们认为下一代PON技术的发展将带动上游光芯片产业进行相应的升级。

2025年光纤接入对应光芯片市场规模测算：参考源杰科技、中际旭创、联特科技、德科立、优迅科技等光模块或光器件上市/拟上市公司的招股说明书或年度报告等公开资料，我们根据光模块全球市场规模、细分光模块毛利率、直接材料占比、光芯片及组件占光模块材料比例、光芯片占光芯片及组件的比例测算，2025年光纤接入市场对应全球光芯片市场规模约为23.43亿元人民币。

图表：2025年光纤接入对应光芯片市场规模测算（光纤接入）

光纤接入领域		
	光模块全球市场规模	9.44
光模块	10G及以下速率光模块（A1）	8.49
	25G及以上速率光模块（A2）	0.94
对应光芯片及组件	中低速率光模块毛利率（B1）	25%
	高速率光模块毛利率（B2）	30%
	直接材料占光模块成本比例（C）	80.00%
	光芯片及组件占光模块材料比例（D）	85.00%
	光芯片占光芯片及组件材料比例（E）	70%
	$A1 \times (1-B1) \times C \times D \times E$	
对应光芯片	光芯片全球市场规模（亿美元）	$+A2 \times (1-B2) \times C \times D \times E$
		3.35
	光芯片全球市场规模（亿元）	23.43

图表：PON技术演进

技术体系	下行速率	IEEE	ITU-T
GPON/EPON	2.5G/1.25Gbps	EPON (IEEE 802.3ah)	GPON (ITU-T G.984)
10G PON	10Gbps	10G-EPON (IEEE 802.3av)	XG-PON (ITU-T G.987) XGS-PON (ITU-T G.9807)
50G-PON	25G/50Gbps	25G/50G-EPON (IEEE 802.3ca)	50G-PON (ITU-T G.9804)

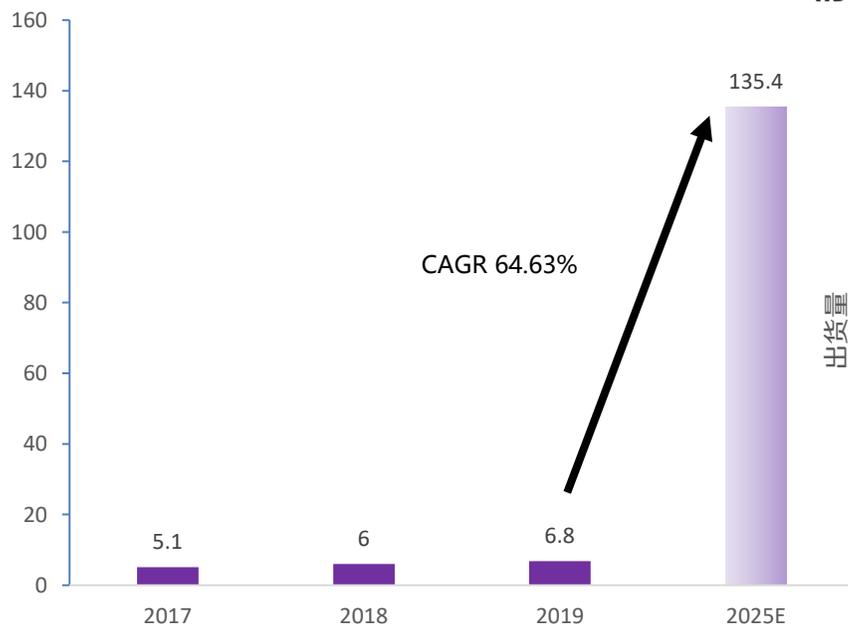
资料来源：源杰科技公告、《下一代固网接入技术发展白皮书》，华鑫证券研究所

5.5 VCSEL激光器将受益于激光雷达市场高速增长

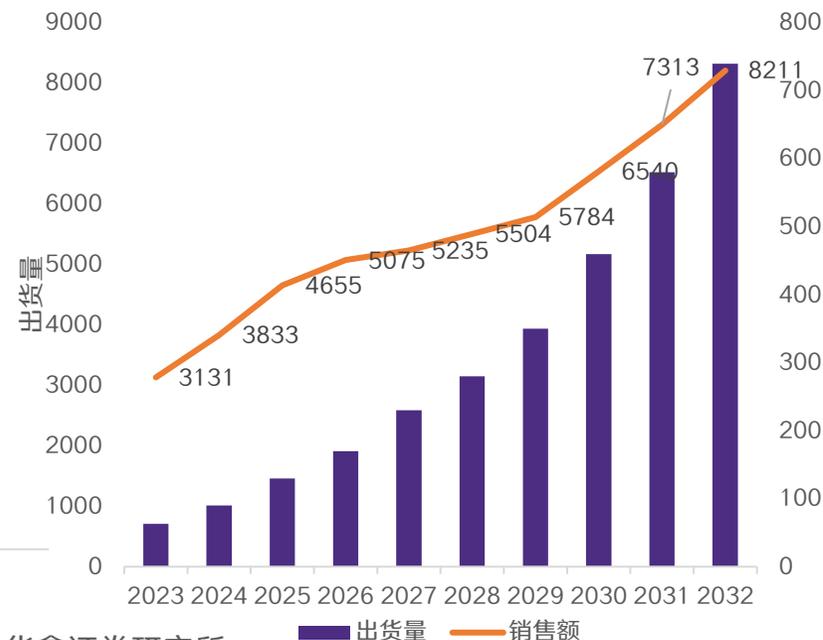
激光雷达受益于下游应用场景蓬勃发展，市场规模维持高速增长。激光雷达系统包括激光发射、扫描、激光接收和信息处理四大部分，相互协同形成传感闭环。其中，半导体激光器是激光雷达核心系统之一，提供激光脉冲。激光雷达通过发射激光脉冲，使用扫描系统扫描目标区域，然后接收激光反射信号，通过信息处理系统生成目标的3D模型。激光雷达的应用领域主要包括无人驾驶、高级辅助驾驶、服务机器人和车联网，受到人工智能和5G技术的推动，这些行业有望蓬勃发展。根据沙利文研究，2025年全球激光雷达市场规模将达到135.4亿美元，年均复合增长率为64.63%。随着自动驾驶技术的普及，激光雷达的市场规模将进一步扩大，而激光雷达的价格下降也将促进其广泛应用。根据Yole预测，2032年全球无人驾驶领域的激光雷达出货量将接近740万个，销售额约82.11亿美元。

激光器技术逐步完善，VCSEL有望显著受益。随着多结工艺技术工艺的发展，VCSEL激光器的发光功率低的劣势被逐步解决。VCSEL有望逐步取代EEL成为激光雷达激光器的主流选择。根据Yole，2022年应用于激光雷达的VCSEL市场规模为180万亿美元，2027年相关VCSEL市场规模为5300万美元，2022-2027年CAGR达到96.70%。

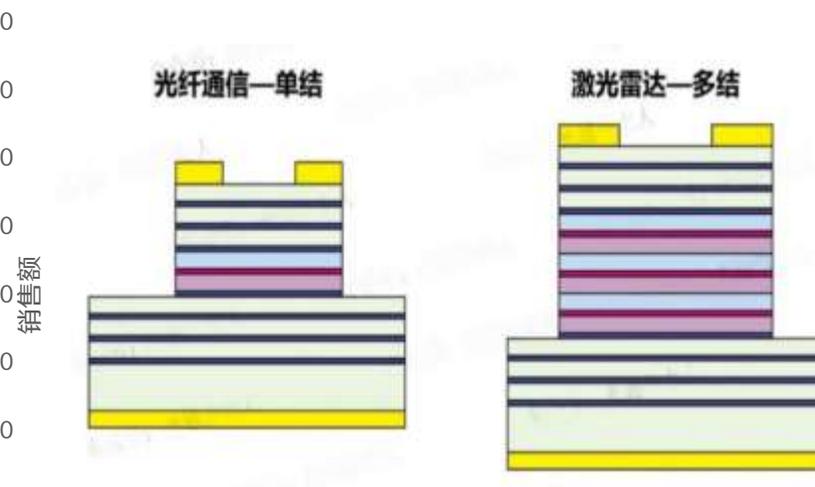
图表：2017-2025E 全球激光雷达市场规模



图表：2020-2032 年全球激光雷达在无人驾驶领域的销售额（百万美元）及出货量（万个）



图表：单节VS多结VCSEL示意图



资料来源：长光华芯招股书、奥纬咨询、菲魅通信，华鑫证券研究所

06 AI大模型驱动超级算力集群发展，光通信迎来高速成长时代

研究创造价值

6.1 英伟达：计算平台与互联技术

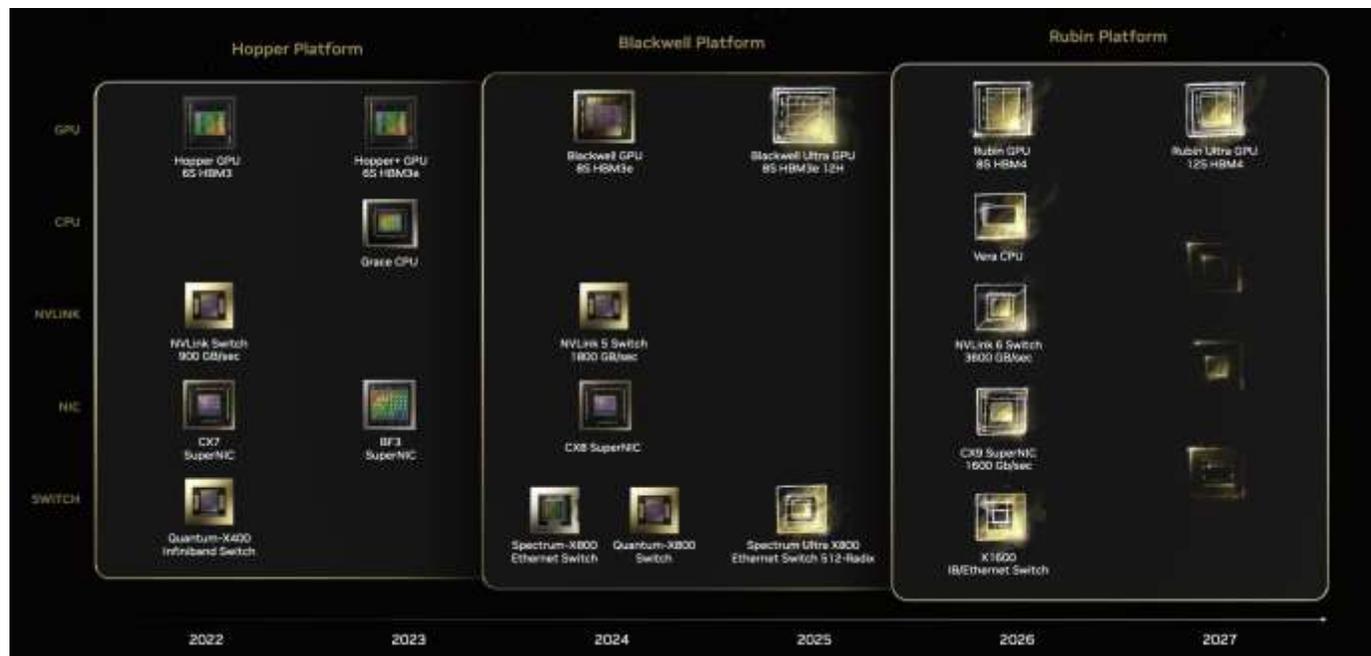
NVIDIA近年来推出多款用于高性能计算和AI训练的GPU架构助力AI加速发展。

NVIDIA Grace Hopper Superchip 架构是第一个真正的异构加速平台，在单个超级芯片中与高带宽和内存一致的 NVIDIA NVLink Chip-2-Chip (C2C) 互连相连，支持新的 NVIDIA NVLink 交换系统，利用 GPU 和 CPU 的优势加速应用程序。

Blackwell架构在2024年推出，每款芯片由两颗Compute Die组成，通过10TB/秒的 NVLink-HBI（高带宽接口）技术连接，两颗芯粒周围配备了8个8层堆叠HBM3e，总容量达到192GB，总带宽达到8TB/s。

NVLink和 NVSwitch技术优化了节点间的通信。最新一代NVLink技术支持最多576个GPU域内直连，带宽从第二代的300GB/秒增加到第五代的1,800GB/秒。此外，每个GPU的最大链路数量从6增加到18。NVSwitch技术提供更高的总聚合带宽，从2.4TB/秒提升至1PB/秒，能够支持更大规模的计算集群。

图表：英伟达GPU架构演进



图表：NVLink 性能参数

NVLink	第一代	第二代	第三代	NVLink Switch
NVLink域内直接连	最多8个	最多8个	最多8个	最多576个
NVSwitch GPU到GPU	300GB/秒	600GB/秒	900GB/秒	1,800GB/秒
总聚合带宽	2.4TB/秒	4.8TB/秒	7.2TB/秒	1PB/秒
支持的NVIDIA架构	NVIDIA VoltaM架构	NVIDIA Ampere架构	NVIDIA HopperTM架构	NVIDIA Blackwell架构

图表：NVSwitch 性能参数

	第二代	第三代	第四代	第五代
每个GPU的NVLink 带宽	300GB/秒	600GB/秒	900GB/秒	1,800GB/秒
每个GPU的最大链接数	6	12	18	18
支持的NVIDIA架构	NVIDIA VoltaM架构	NVIDIA Ampere架构	NVIDIA HopperTM架构	NVIDIA Blackwell架构

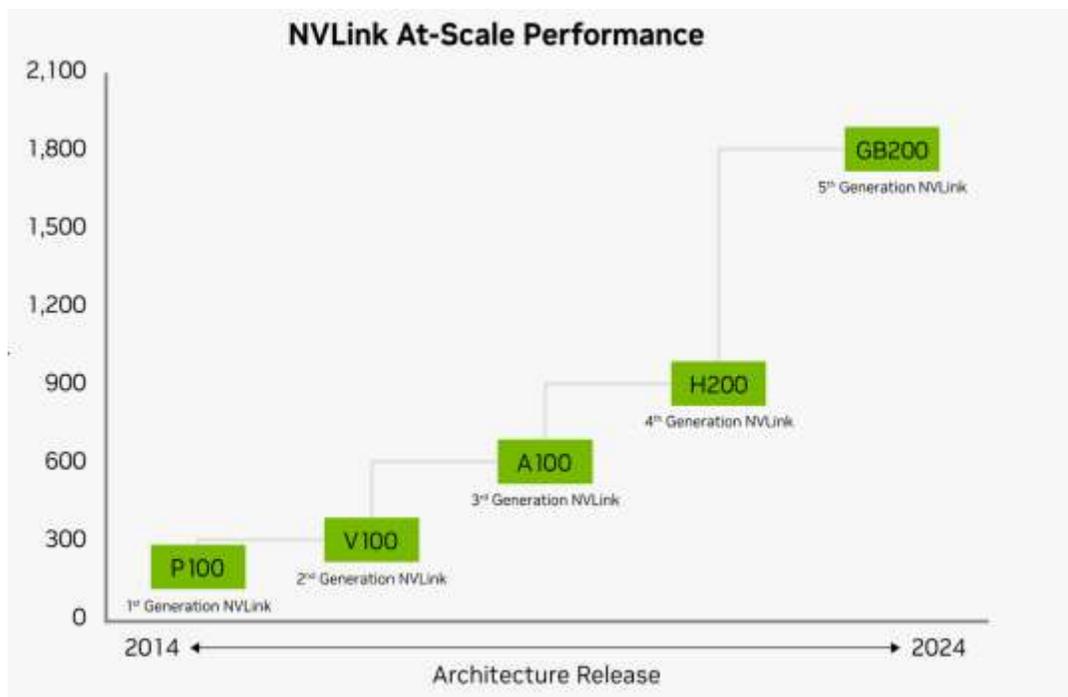
资料来源：英伟达官网、华尔街见闻，华鑫证券研究所

6.1 英伟达：NVSwitch 与 InfiniBand

NVSwitch 将数据中心变成一个巨大的GPU：NVLink Switch 搭配 Blackwell 架构下的 GB200 芯片可以在 NVL72 设置中实现了 130TB/s 的 GPU 带宽，以实现大型模型并行。具有 NVLink 的多服务器集群可以提升 GPU 之间的通信能力以适应计算能力的激增，支持的 GPU 数量最多是传统 8-GPU 系统的九倍。GB200 NV 72 可以进一步扩展到576颗GPU的集群。

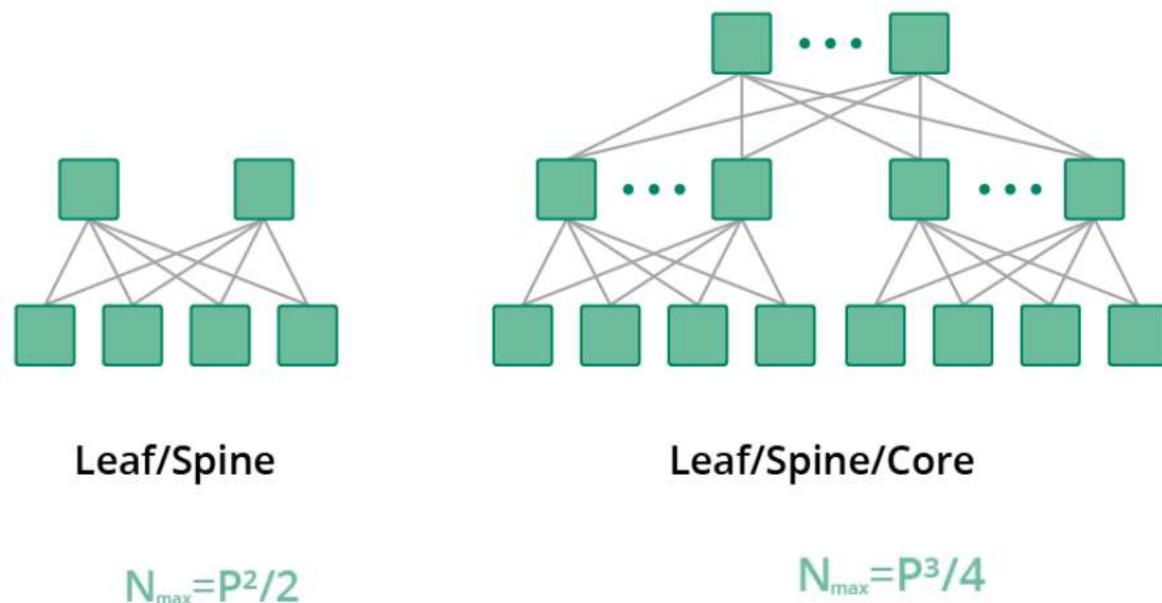
InfiniBand 技术是超级计算机最首选的内部连接技术：InfiniBand技术拥有众多优势，包括简化管理、高带宽、完全CPU卸载、超低延迟、集群可扩展性和灵活性等。Infiniband 的单个子网中可以部署多达48,000个节点，多个子网的连接可以通过交换机和路由器来实现。InfiniBand支持各种网络拓扑，如胖树、Torus、Dragonfly+等。较小规模的情况，一般使用2层胖树拓扑结构，对于较大规模的情况，可以选择3层胖树网络拓扑结构。NVIDIA通过使用Fat-Tree无阻塞计算网络架构构建无收敛网络，使得连接节点增加的同时提升训练的效率。

图表：NVLink 技术迭代示意图



资料来源：英伟达官网、FS，华鑫证券研究所

图表：InfiniBand 网络（胖树拓扑结构）

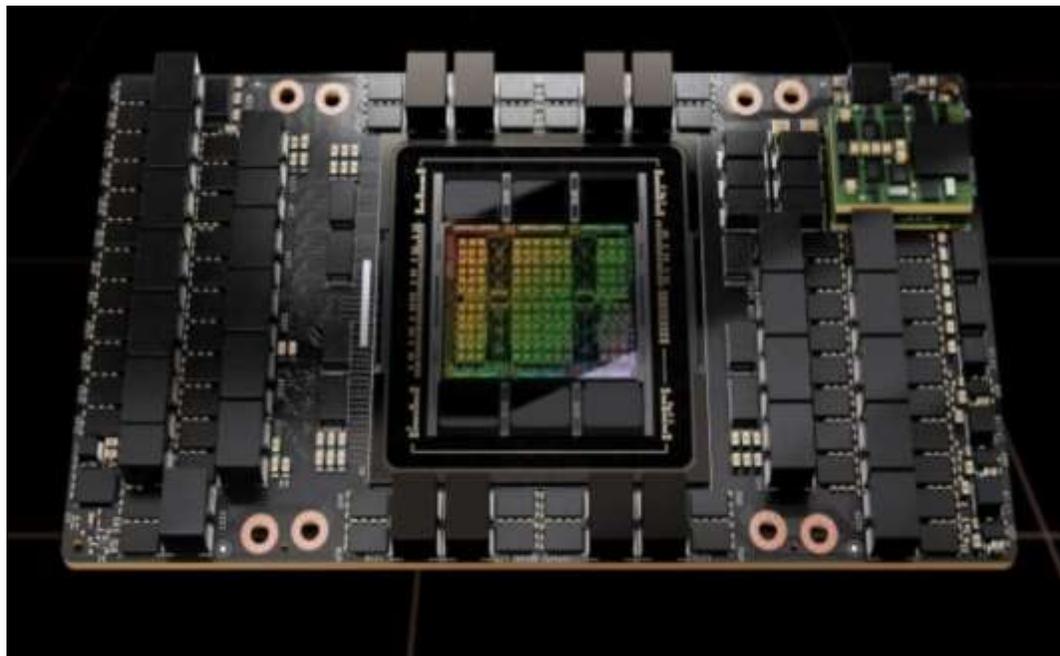


6.2 英伟达：DGX H100

分布式训练和大模型驱动需求：随着AI模型规模的不断增大，分布式训练架构变得常见，计算节点数量大幅增加。这导致了不同节点之间频繁的数据通信需求，需要更高速率的光模块来满足传输速率和时延的高要求。英伟达的GPU服务器在大规模AI训练中发挥重要作用，因此对光模块的需求迫切，光芯片作为光模块的核心组成部分，其需求也会相应增加。

高带宽需求推动市场增长：光模块市场正在迎来高景气周期，其中一项主要推动力是数据中心和通信领域对高速、高带宽光模块的需求不断增加。而光模块的需求增加必然会带动光芯片的需求变化。例如，NVIDIA DGX H100 配备了8块 H100 GPU，同时配备了8个400G网卡 ConnectX-7，这些网卡组合成4个800G接口，因此，该服务器对于800G光模块有很大的需求。这表明在高速、高带宽应用场景中，光模块的需求呈现快速增长的趋势。而光模块的快速增长，则对光芯片的需求增加提出了挑战和机遇。作为光模块的核心组成部分，光芯片的需求将随着光模块市场的繁荣而迅速增长。数据中心和通信领域对高速、高带宽光模块的需求推动了光芯片技术的不断改进和创新，以满足更高性能和更大容量的需求。

图表：英伟达DGX H100服务器图示



图表：英伟达DGX H100部分技术规格

主要部件	参数
GPU	8 个NVIDIA H100 GPU, 提供640GB总GPU内存
CPU	2 个Intel Xeon 8480C PCIe Gen5 CPU, 每颗56核, 2.0/2.9/3.8 GHz (基本/全核睿频/最大睿频)
NVSwitch	4 个第四代NVLink, 提供900GB/s的GPU到GPU带宽
网卡(集群)	4 个QSFP端口, 用于8个 NVIDIA@ ConnectX@-7单端口 InfiniBand卡 每张卡提供以下速度: >InfiniBand (默认):最高400Gbps >以太网: 400GbE、200GbE、100GbE、50GbE、40GbE、25GbE和10GbE
网卡(存储和带内管理)	2 个NVIDIA@ConnectX@-7双端口以太网卡 每张卡提供以下速度: >以太网(默认):400GbE、200GbE、100GbE、50GbE、40GbE、25GbE和 10GbE >InfiniBand: 高达400Gbps

资料来源：英伟达官网、《分布式机器学习系统网络性能优化》、FS，华鑫证券研究所

6.2 英伟达：DGX H100 集群

Quantum-2 InfiniBand 平台交换机：QM9700 是 NVIDIA 基于 Quantum-2 架构开发的高性能 InfiniBand 交换机，设计用于超算和高性能计算（HPC）环境。它提供 64 个 400Gb/s 的 NDR InfiniBand 端口，能够实现高达 51.2 Tb/s 的双向总吞吐量。QM9700 系列交换机使中小型部署能够通过两级 Fat Tree 拓扑进行扩展，同时降低功耗、延迟和空间要求。

InfiniBand 胖树网络架构：我们以 DGX SuperPod 为例来展示 127 节点的 AI 网络架构。NVIDIA 建议需要留出一个节点用于管理目的 UFM 实际只连接了 127 个节点。通过使用 QM9700 交换机和两级 Fat-Tree 架构实现 2048 个 GPU 的无阻塞网络；通过三级 Fat-Tree 架构则可实现 65536 个 GPU 的无阻塞网络。

不同网络层数下光模块用量测算：我们做出以下假设：1) 每个计算单元（SU）有 32 个节点，每个节点 8 颗 GPU；2) 每个 GPU 与 ConnectX-7 网卡相连；3) 网络架构采用无阻塞的胖树架构；4) 第一层与第二层之间使用 400G 光模块，其余层使用 800G 光模块；5) 在网络层数分别为 1/2/3 的情况下，GPU:400G:800G 分别为 1:1:0.5/1:1:1.5/1:1:2.5。

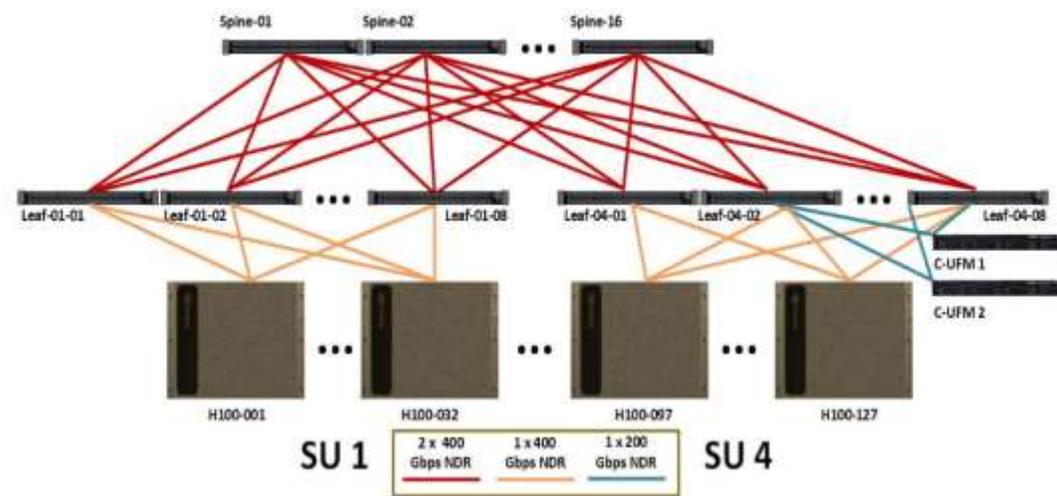
图表：Quantum-2 系列交换机 QM9700 示意图



图表：Quantum-2 系列交换机 QM9700 参数规格

System Specifications	
Performance	400Gb/s per port
Switch radix	64 400Gb/s non-blocking ports with aggregate data throughput up to 51.2Tb/s
Connectors and cabling	32 octal small form-factor pluggable (QSFP) connectors; passive or active copper or active fiber cable; optical module

图表：英伟达 DGX H100 SuperPod 服务器示意图



图表：IB 网络架构 H100 系列 GPU 对应光模块用量测算

SU 数量	网络层数	服务器/节点数量	GPU 数量	InfiniBand 交换机数量			光模块数量				比例关系	
				Leaf	Spine	Core	400G	Leaf: 800G	Spine: 800G	Core: 800G		800G 总数
-	1	8	64	1	0	0	64	32	0	0	32	1/1/0.5
2	2	64	512	16	8	0	512	512	256	0	768	1/1/1.5
4	2	128	1024	32	16	0	1024	1024	512	0	1536	1/1/1.5
8	2	256	2048	64	32	0	2048	2048	1024	0	3072	1/1/1.5
16	3	512	4096	128	128	64	4096	4096	4096	2048	10240	1/1/2.5
32	3	1024	8192	256	256	128	8192	8192	8192	4096	20480	1/1/2.5
64	3	2048	16384	512	512	256	16384	16384	16384	8192	40960	1/1/2.5

资料来源：英伟达官网、Fibermall、FS，华鑫证券研究所

6.2 英伟达：DGX GH200 集群

英伟达DGX GH200：GH200 将 NVIDIA Grace CPU 和 Hopper GPU 结合在单一封装中，NVLink Switch 系统连接多达 256 个 GH200 超级芯片。NVIDIA NVLink-C2C 提供高达 900 GB/s 的双向带宽。

NVLink Switch部分的网络架构：NVIDIA NVLink Switch系统采用两级网络结构。Level 1层，8个NVIDIA Grace Hopper超级芯片模块组通过三个NVLink交换机连接。在Level 2层，32个8-GPU模块通过36个NVLink交换机互连，形成 256-GPU 的 DGX GH200 系统。

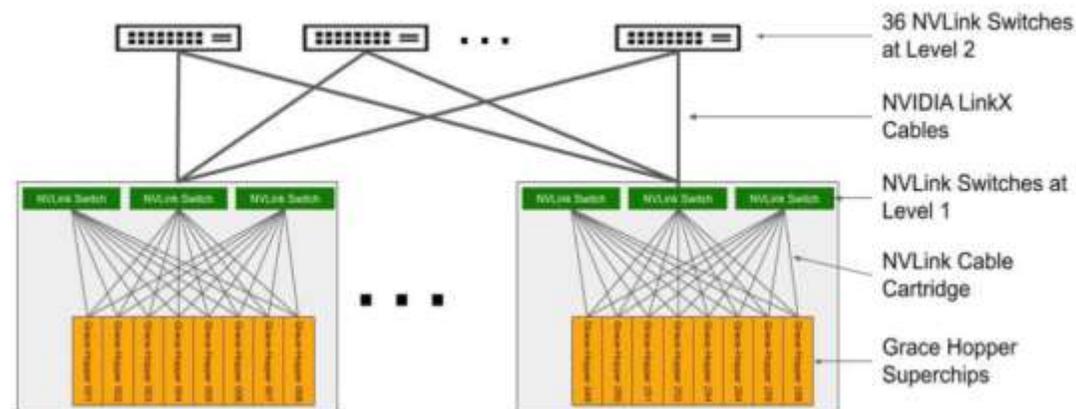
800G光模块用量测算：Level 1层内，GPU和NVLink Switch是采用铜缆互联，L1层和 L2层之间才用到光互联。由于L1层内部有256个芯片且每个GPU的单向接入带宽为450GB/s(3600Gb/s)。因此，整个L1层的接入带宽为115200GB。单个800G光模块的传输速率为100GB/s，L1层的上行链路需要1152只800G光模块，在无收敛fat-tree的网络架构下，L2层下行链路也需要1152只800G光模块。**GPU：800G为1：9。**

图表：DGX GH200 supercomputer 技术参数

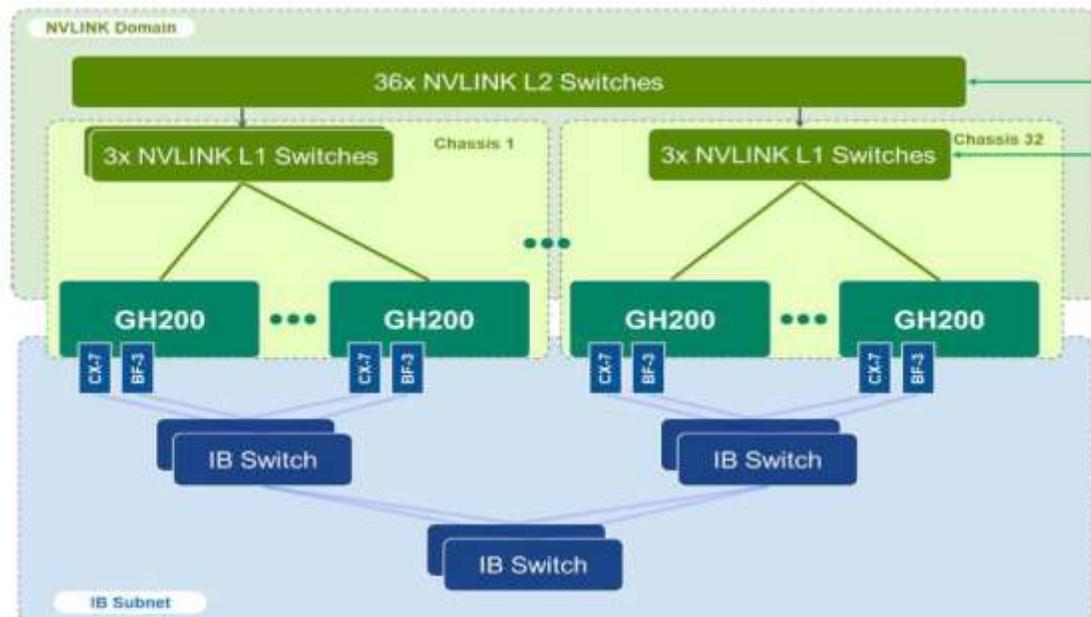
主要部件	具体参数
CPU and GPU	>256 NVIDIA Grace Hopper Superchips
NVIDIA NVLink Switch System	<ul style="list-style-type: none"> > 96x L1 NVIDIA NVLink Switches > 36x L2 NVIDIA NVLink Switches > 2304 LinkX Optical Cables
Networking	<ul style="list-style-type: none"> > 256x OSFP single-port NVIDIA ConnectX-7 VPI with 400Gb/s InfiniBand > 256x dual-port NVIDIA BlueField-3 or 256 dual-port NVIDIA ConnectX-7 VPI with 200Gb p/s InfiniBand and Ethernet > 24x NVIDIA Quantum-2 QM9700 Infiniband Switches > 20x NVIDIA Spectrum SN2201 Ethernet Switches > 22x NVIDIA Spectrum SN3700 Ethernet Switches
GPU-to-GPU NVLink	900 GB/s bi-directional

资料来源：英伟达官网，华鑫证券研究所

图表：NVIDIA GH200 NVL32 与 NVLink Switch系统



图表：DGX GH200 网络拓扑结构



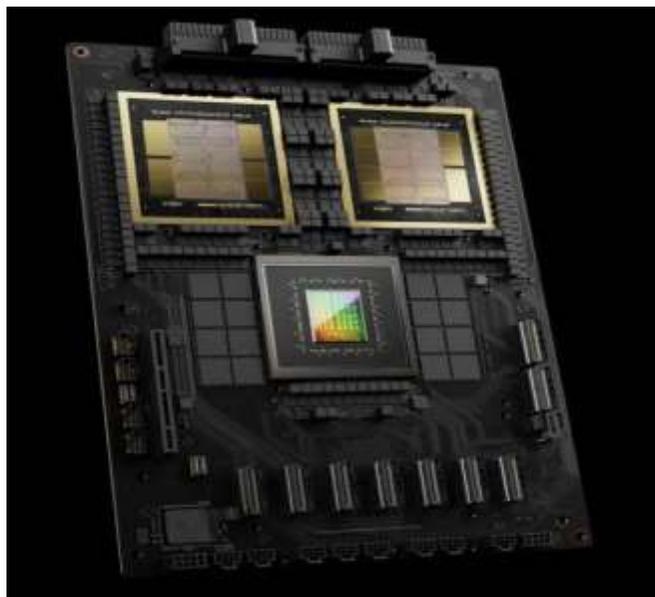
6.3 英伟达：DGX GB200 集群

分布式训练和大模型驱动需求：GTC 2024 大会上，英伟达公布了下一代 GPU 架构 Blackwell，NVIDIA DGX B200 是全球首个搭载 NVIDIA Blackwell GPU 的系统。DGX B200 配置了八个 Blackwell GPU，具有 1.4 TB 的 GPU 内存、每秒 64 TB 的 HBM3e 内存带宽，以及每秒 14.4 TB 的全互连 GPU 带宽。

GB200 Grace Blackwell Superchip：Superchip 通过 NVIDIA® NVLink®-C2C 互连连接了两个高性能 NVIDIA Blackwell Tensor Core GPU 和一个 NVIDIA Grace CPU，提供每秒 900 GB 的双向带宽。

GB200 NVL72：NVL72 集群在机架规模设计中连接了 36 个 GB200 超级芯片，是一个液冷的、机架规模的 72-GPU NVLink Domain，可以作为一个庞大的 GPU 单元工作。推理方面，GB200 NVL72 引入第二代 Transformer 引擎，大幅加速大语言模型（LLM）的推理工作负载，与 H100 相比，GB200 NVL72 的速度提高30倍。训练方面，GB200 包含更快的 Transformer 引擎，支持 FP8 精度，相较于 NVIDIA Hopper GPU，能够为GPT-MoE-1.8T提供 4 倍的训练性能提升。与此同时，成本和能耗大幅降低。

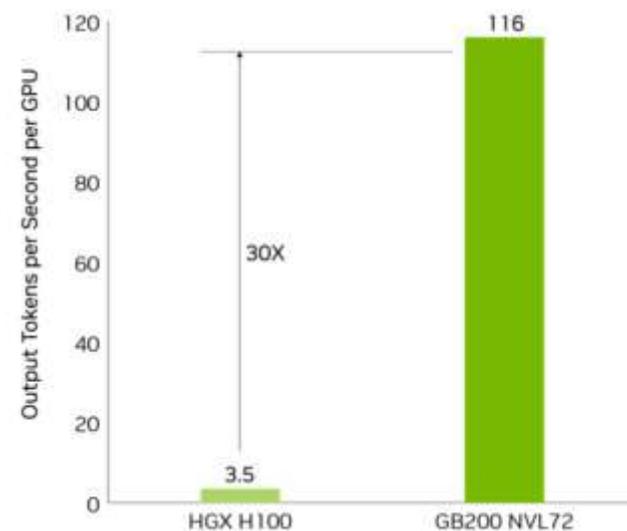
图表：GB200 Grace Blackwell Superchip



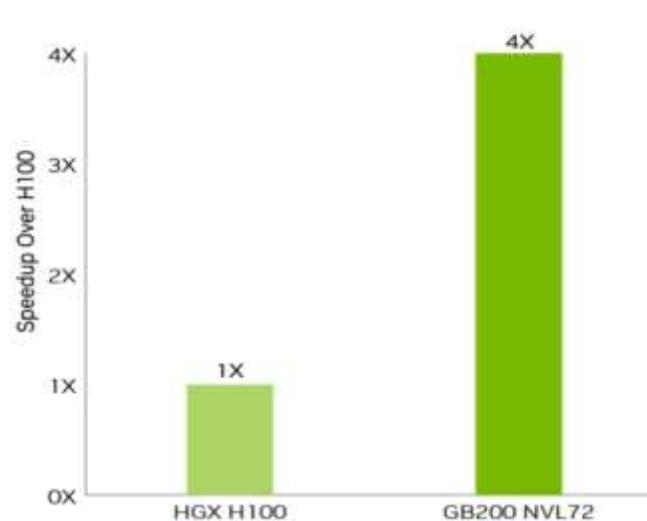
图表：NVIDIA GB200 NVL72



图表：1.8T GPT-MoE 推理性能对比图



图表：1.8T GPT-MoE 训练性能对比图



资料来源：英伟达官网，华鑫证券研究所

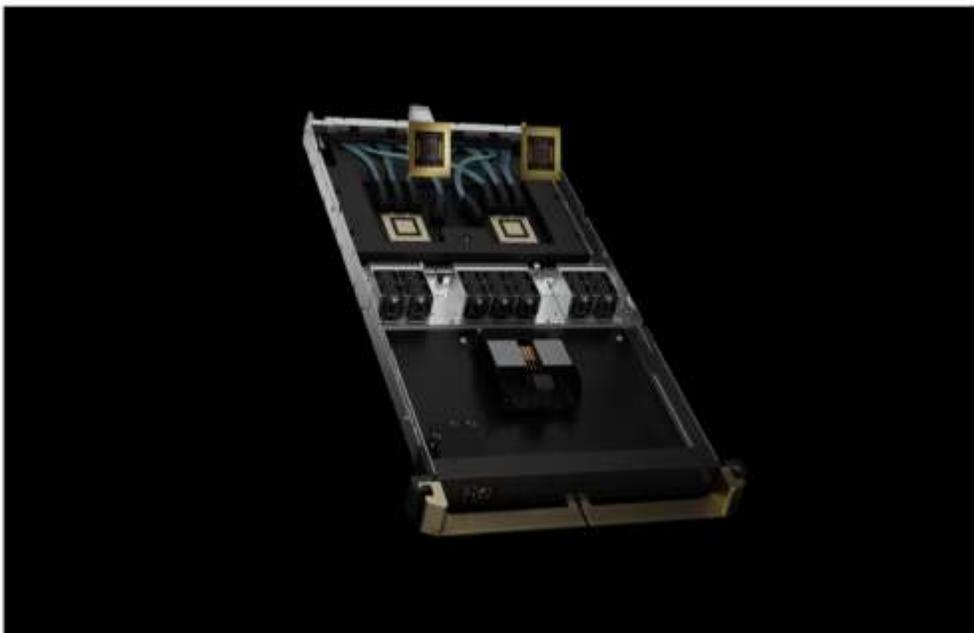
6.3 英伟达：DGX GB200 集群

Quantum-X800 infiniband交换机：Q3400-RA 具有 144 个 800Gb/s 的端口，分布在 72 小型可插拔接口，采用风冷设计。交换机单机带宽提升且端口数量增多，同等节点规模下需要的交换机就越少。QU3400系列交换机支持两层 fat-tree 拓扑结构，能够以最小的延迟和最佳的任务局部性连接多达 10,368 个网络接口卡（NIC），也可以通过进一步增加层数为更多 GPU 组成的超大集群提供连接。Q3200 2U交换机提供 36 个 800Gb/s 的端口，采用风冷设计，更适用于中小集群。

最新一代NVLink交换系统：第五代 NVLink 技术 NVLink Switch 支持多达 576 个 GPU 的扩展，提升万亿和多万亿参数 AI 模型的性能。因此，对于 576张GPU及以下的集群，L1层 GPU 和 NVLink Switch 之间采用铜互联的方式。此外，Blackwell GPU 包含 18 个第五代 NVLink 链接，提供总带宽为每秒 1.8 TB（单向为900GB/s）。L1层和 L2层之间用到光互联，L1层内部有576个芯片且每个GPU的单向接入带宽为900GB/s(7200Gb/s)。因此，整个L1层的接入带宽为518400GB。单个1.6T 光模块的传输速率为200GB/s，L1层的上行链路需要2592只1.6T光模块，在无收敛fat-tree的网络架构下，L2层下行链路也需要2592只1.6T光模块。**GPU：1.6T光模块为1：9。**

不同网络层数下光模块用量测算：如果在576张GPU互联的基础上想要进一步扩展到千卡甚至万卡以上的集群，需要运用infiniband的网络架构进行组网。我们做出一下假设：1) 每个GPU与ConnectX-8网卡相连；2) 网络架构采用无阻塞的胖树架构；3) 第一层与第二层之间使用800G光模块，其余层使用1.6T 光模块；4) 在网络层数分别为1/2/3的情况下，GPU：800G：1.6T 分别为1:1:0.5/1:1:1.5/1:1:2.5。

图表：第五代 NVLink 和 NVLink 交换机系统



图表：IB网络架构B100系列GPU对应集群光模块用量测算

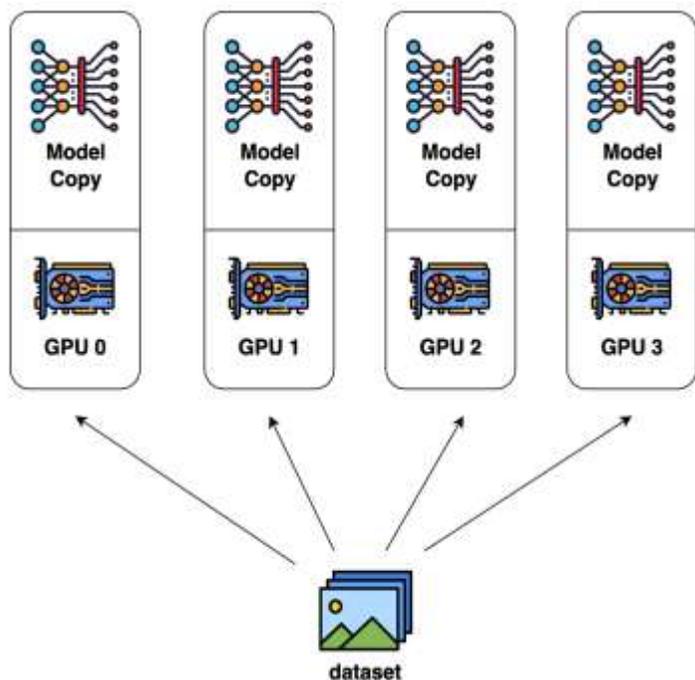
网络层数	服务器/节点数量	GPU 数量	InfiniBand 交换机数量				光模块数量				比例关系 GPU/800G/1600G
			Leaf	Spine	Core	800G	Leaf: 1.6T	Spine: 1.6T	Core: 1.6T	1.6T 总数	
1	9	72	1	0	0	72	36	0	0	0	1/1/0.5
1	18	144	1	0	0	144	72	0	0	72	1/1/0.5
2	72	576	8	4	0	576	576	288	0	864	1/1/1.5
2	144	1152	16	8	0	1152	1152	576	0	1728	1/1/1.5
2	288	2304	32	16	0	2304	2304	1152	0	3456	1/1/1.5
2	576	4608	64	32	0	4608	4608	2304	0	6912	1/1/1.5
2	1152	9216	128	64	0	9216	9216	4608	0	13824	1/1/1.5
3	2304	18432	256	256	128	18432	18432	18432	9216	46080	1/1/2.5

资料来源：英伟达官网，华鑫证券研究所

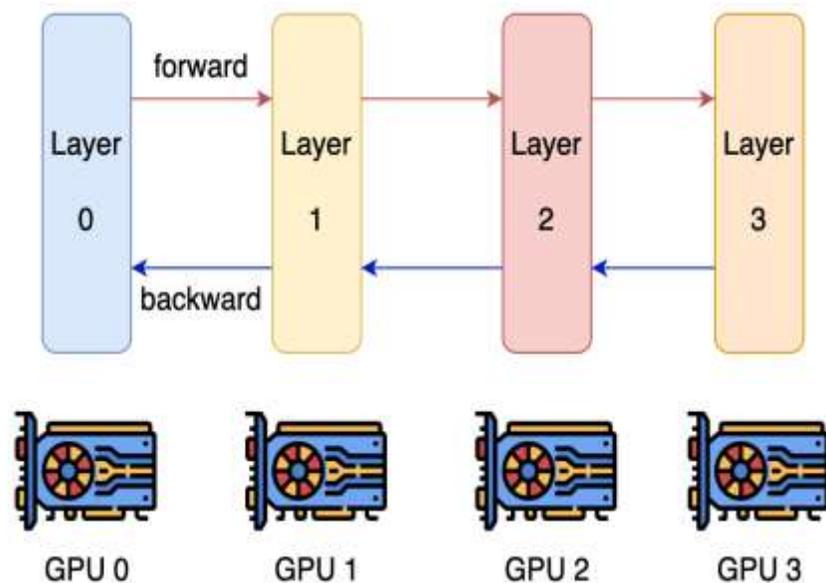
6.4 华为：AI大模型催生超大容量网络

大规模AI模型训练挑战：随着算力规模的不断提升，保障数万张处理器同时高效工作是AI网络发展的重要问题。因此，各种并行计算方式被业界引入来尝试解决这个问题，主要包括数据并行和模型并行（张量并行、流水线并行）。其中，张量并行是指将模型切分到不同GPU卡上，使得每张GPU上参数量大幅降低，从而使得大模型训练的效率提高。张量并行的通信量是数据并行和流水线并行的50倍左右；但由于其规模有限，通常只能局限在一个服务器的范围内，这被称之为“参数面小网”。数据并行和流水线并行模式适用于跨服务器通信，这被称之为“参数面大网”。未来，随着AI大模型训练的参数量持续提升，整个参数面承载网会扩展到数十万张卡，甚至上百万张卡。“参数面大网”的规模更大，每个节点的接入带宽高达400G甚至800G。在AI训练的端到端时间中，通信网络起到重要作用。千亿参数模型方面，通信端到端耗时占比达20%；万亿参数模型方面，通信端到端的耗时占比上升到50%。伴随着集群规模增大，通信量和复杂度也会相应提高，AI大模型并行计算模式需要以超大容量的网络为基础，传统网络无法满足这样的高带宽需求。

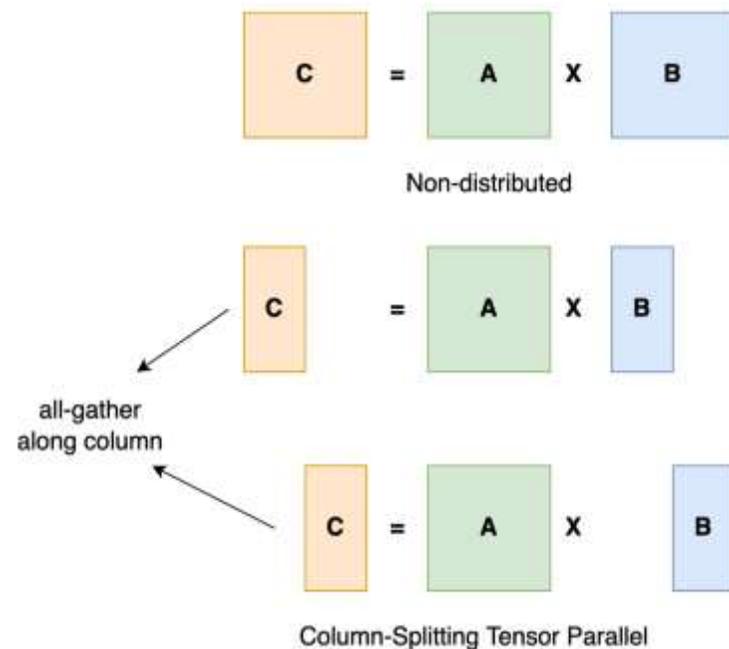
图表：数据并行示意图



图表：流水线并行示意图



图表：张量并行示意图

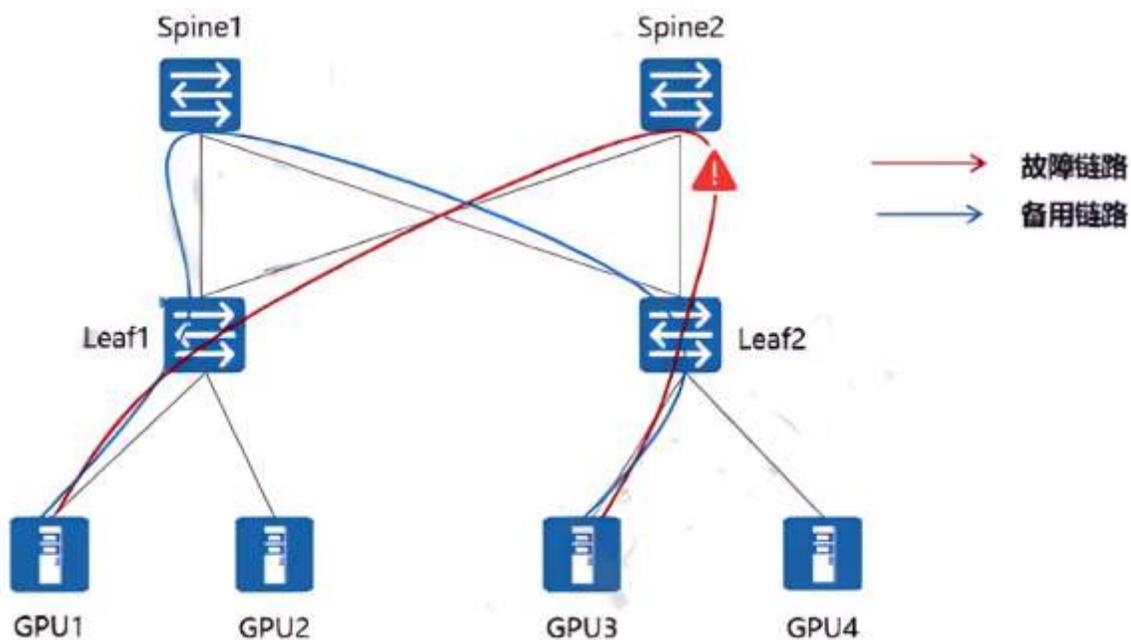


资料来源：华为、colossal AI，华鑫证券研究所

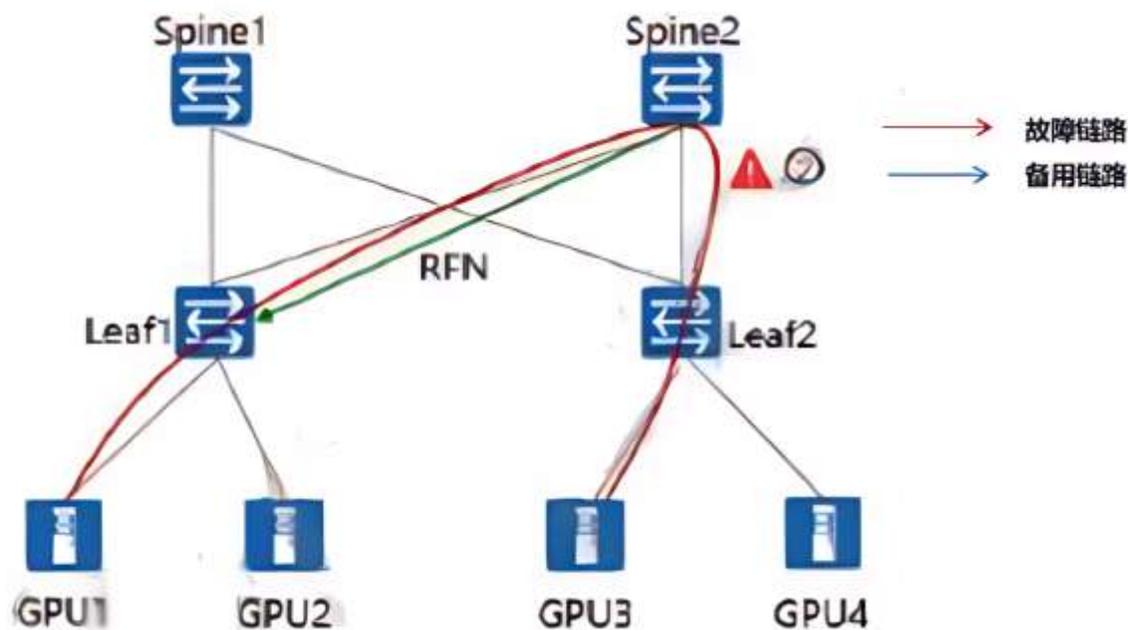
6.4 华为：星河AI网络打造AI时代最强运力

星河AI网络具备运得快、运得多以及运得稳三大特性：星河AI凭借独创的网络级负载均衡（NSLB）、网络智能调优（AI ECN）以及数据面故障快速收敛（DPFR）等创新技术打造了AI时代最强运力。在运得多层面，华为星河AI网络实现了端口高吞吐和网络高吞吐，支持万卡集群训练，AI智算交换机CloudEngine XH16800支持576*400GE接口，AI组网规模是业界的4倍。在运得快层面，华为打造了AI加速器NSLB算法，通过绘制全局的流量矩阵，计算出最佳的流量分布，然后自动进行导流，从而达到全网吞吐最优，加之自动化开局和全栈可视运维技术实现算网实时协同调度，使得网络有效吞吐从业界的50%提升到98%，AI训练效率提升20%。在运得稳层面，通常在clos组网中一条链路出现故障时，需要完成从故障链路到备用链路的收敛。星河AI凭借DPFR技术可以做到毫秒级收敛，提供基于数据面的本地快收敛或远程快收敛。技术特性主要包含故障快速感知，故障本地快速收敛，故障通告生成、接收和中继处理故障远程快速收敛和表项老化处理。尤其在交易类关键应用场景，星河AI可以做到应用无感知的故障快速收敛效果，在链路故障发生时业务性能没有显著下降。

图表：DPFR本地快速收敛示意图



图表：DPFR远端快速收敛示意图



资料来源：华为，华鑫证券研究所

07 供给端：高速率光芯片前景广阔，国产化势在必行

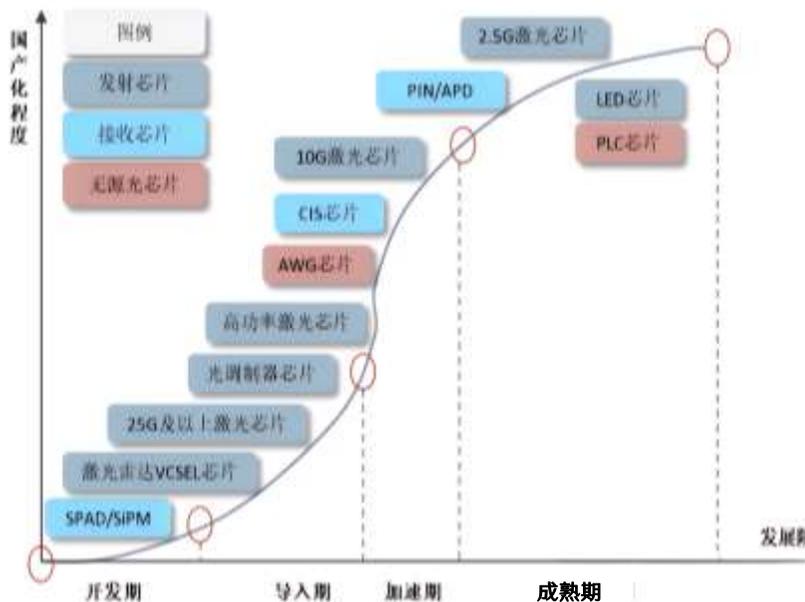
研究创造价值

7.1 中低速率光芯片国产化程度较高

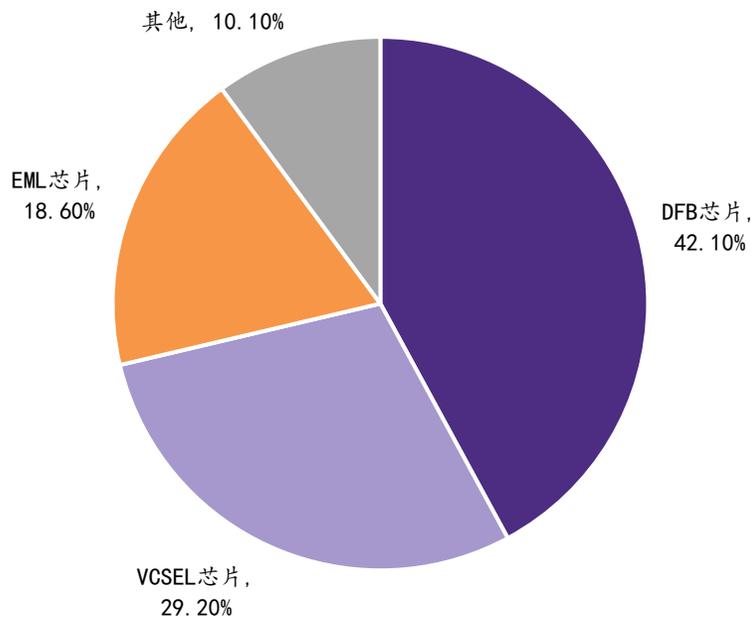
中低速率激光芯片国产化程度较高，高速率激光芯片国产化加速。在2.5G及以下速率光芯片领域，中国光芯片企业已基本掌握核心技术，拥有较高的国产化率。根据ICC的预测，在2021年，国产光芯片在该速率范围内占据全球市场份额超过90%。10G光芯片领域，10G光芯片国产化情况根据其技术及工艺存在一定差异，一些性能要求较高、难度较大的光芯片，例如10G VCSEL/EML激光器芯片等，国产化率还不到40%。25G及以上光芯片领域，随着5G基站建设的推进，中国光芯片厂商在应用于5G基站前传光模块的25G DFB激光器芯片方面取得了一些突破。2021年，25G光芯片的国产化率约为20%。然而，25G以上光芯片的国产化率仍然较低，约为5%。此外，应用于数据中心的高速率光芯片产品也由海外厂商主。

光芯片国产化势在必行，高速率产品静待花开。根据研精毕智，2021年DFB芯片、VCSEL芯片和EML芯片三种类型在市场中的份额分别达到42.1%、29.2%和18.6%。随着政府陆续出台相关行业支持政策和产业规划，未来将大力增加在光芯片技术研发方面的投入，从而提高光芯片的国产化率。在中下游的激光器、光模块及相关设备国产化不断推进的背景下，光芯片作为上游核心元器件将成为我国光电子领域国产化的下一个重点突破领域。从国产化的发展趋势来看，目前我国高功率激光芯片和部分高速率激光芯片（如10Gbps和25Gbps等）已经进入了国产化加速突破的阶段，而光探测芯片和25Gbps以上高速率激光芯片仍然处于进口替代的早期阶段，未来国产化的提升潜力广阔。

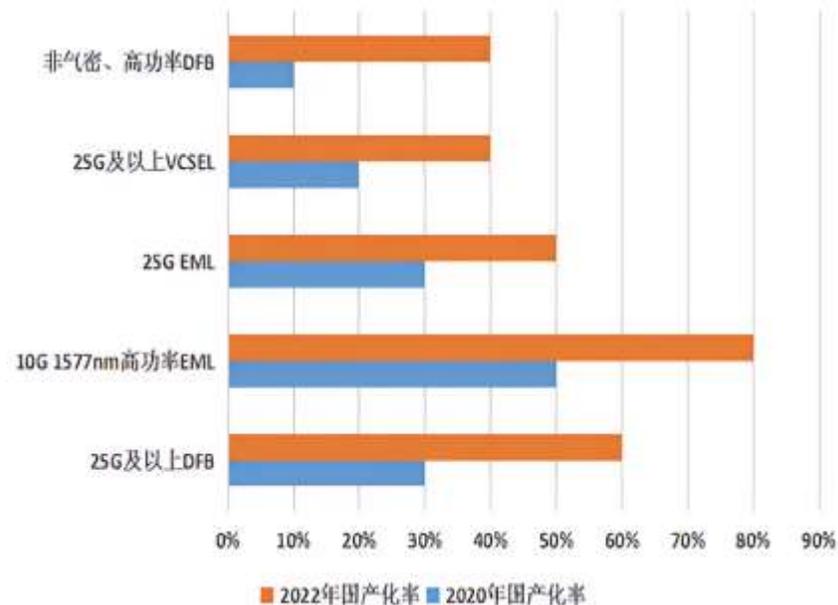
图表：光芯片国产化率曲线图



图表：2021年中国光芯片细分市场规模占比



图表：核心光芯片国产化率情况



资料来源：华经产业研究网、研精毕智、源杰科技公告，华鑫证券研究所

7.2 不同速率光芯片竞争格局 I

中高速率激光芯片国产化加速，低速率领域国内厂商份额较高。中国的低速光芯片市场已经进入了高度竞争的阶段，已经有30多家企业涉足10G及以下光芯片的销售，市场逐渐趋于饱和。在这种市场环境下，低速光芯片的价格每年下降15%到20%，因此部分厂商正在积极研发中高、高速率产品。一些领先企业已经宣布量产25G光芯片，并将50G速率光芯片列为重点研发项目。

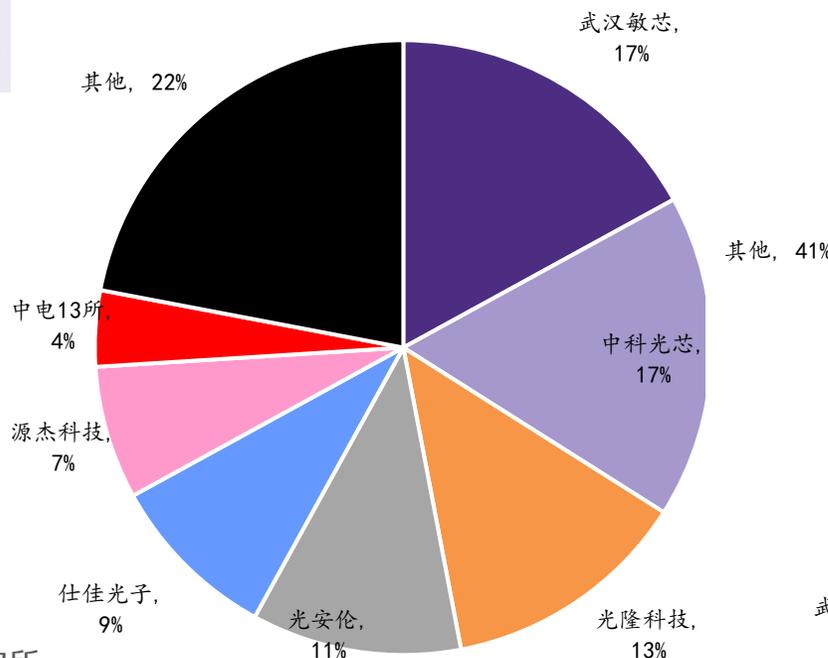
不同速率光芯片市场的竞争格局：2.5G及以下光芯片方面，中国企业主导了2.5G及以下光芯片市场，其中武汉敏芯在该市场中的份额约为17%。这个市场的国产化率较高，市场集中度也较高，2021年CR7比重达到78%。源杰科技主要专注于2.5G 1490nm DFB激光器芯片，该产品的可靠性要求较高，难度较大，主要用于PON(GPON)数据下传光模块，国内可批量生产该产品的厂商相对较少；10G光芯片方面，中国企业在10G光芯片市场占据领先地位，主要应用于光纤接入和4G移动通信网络。陕西源杰科技股份有限公司在该市场中占据20%的份额，位居全球首位。公司的产品主要应用于10GPON数据上传光模块，并已开始拓展用于5G基站升级的市场。尽管在数据中心建设领域国内仅有少数企业具备10G光芯片的出货能力，但国产化的进展正在逐步推进；25G及以上光芯片方面，主要包括25G、50G、100G激光器及探测器芯片。目前，中国企业在25G及以上光芯片市场的国产化率相对较低，主要受到工艺稳定性、可靠性、供货能力和下游客户认证等因素的限制。虽然一些突破已经在应用于5G基站前传光模块的25GDFB激光器芯片方面取得，但该市场仍然被海外企业主导，国内企业正逐步进行国产替代。随着国产化的持续推进，这一领域的国产化率有望逐渐提高。

图表：海内外光芯片厂商竞争格局

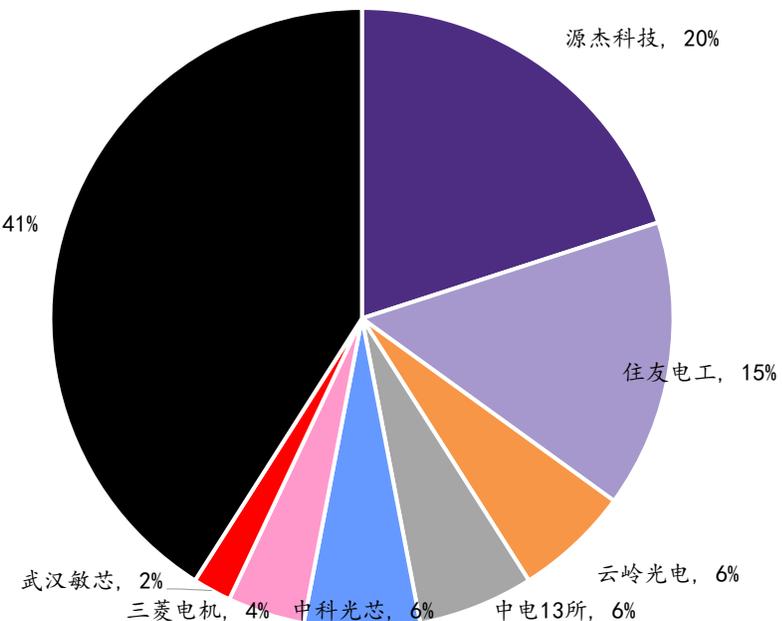
产品速率	主要应用领域	海外头部光芯片厂商	国内光芯片厂商	
			专业光芯片厂商	综合光芯片模块厂商
2.5G	光纤接入	☆	★★☆	★★
	光纤接入	★	★★☆	★☆☆
10G	移动通信网络	★☆☆	★☆☆	★★
	数据中心	★★	★★	★
25G及以上	移动通信网络	★★	★☆☆	★☆☆
	数据中心	★★★★☆	★	☆

★：代表市场参与度

图表：全球2.5G及以下DFB/FP激光器市场份额



图表：全球10G DFB激光器芯片市场份额



资料来源：源杰科技公告、立鼎产业研究，华鑫证券研究所

7.2 不同速率光芯片竞争格局 II

2.5G激光器芯片主要应用于光纤接入，10G光芯片主要应用于4G/5G移动通信网络。主要供应厂商有武汉敏芯、源杰科技、三安光电、中科光芯、雷光科技、海信宽带、光迅科技、MACOM、三菱电机、云岭光电等。

25G激光器芯片主要应用于5G移动通信网络，50G光芯片主要应用于数据中心。主要供应厂商有MACOM、Lumentum、武汉敏芯、三菱电机、安高华等。

图表：2.5G-10G光芯片主要供应商梳理

产品(按速率)	产品类型	产品图例	竞争情况	主要供应商	国产化	应用领域
2.5G	1310nm DFB激光器芯片		应用于光纤接入PON(GPON)数据上传光模块，技术相对成熟，市场竞争较为激烈	源杰科技、武汉敏芯、三安光电、中科光芯、雷光科技、光按伦	较高	光纤接入PON(GPON)
	1490nm DFB激光器芯片		应用于光纤接入PON(GPON)数据上传光模块，产品性能、可靠性要求高，实现批量供货厂商较少，但源杰科技等国内厂商市场份额较大，国产化率较高	三菱电机、源杰科技、海信宽带	较高	光纤接入PON(GPON)
	1270nm DFB激光器芯片		应用于光纤接入10G-PON(XG-PON)数据上传光模块，产品难度较1310nm DFB激光器芯片更高，但供应商逐渐增多，市场竞争逐步加剧	三菱电机、源杰科技、武汉敏芯、海信宽带、光迅科技	较高	光纤接入10G-PON(XG-PON)
	1550nm DFB激光器芯片		应用于40km/80km长距离传输光模块，产品性能、可靠性要求高，实现批量供货厂商较少	三菱电机、源杰科技、武汉敏芯、光迅科技	中等	光纤接入40km/80km
10G	1270nm DFB激光器芯片		应用于光纤接入10G-PON(XGS-PON)数据上传光模块，产品性能、可靠性要求高，实现批量供货厂商较少，源杰科技等国内厂商市场份额较集中	三菱电机、MACOM、源杰科技、武汉敏芯、海信宽带	中等	光纤接入10G-PON(XGS-PON)
	1310nm FP激光器芯片		应用于4G/5G移动通信网络光模块、技术相对成熟，市场竞争较为激烈	三菱电机、源杰科技、云岭光电、武汉敏芯、海信宽带	较高	4G移动通信网络
	1310nm DFB激光器芯片					4G/5G移动通信网络
	CWDM 6波段DFB激光器芯片		应用于4G/5G移动通信网络光模块、技术相对成熟，国内厂商逐渐扩大市场份额	MACOM、Lumentum、源杰科技、武汉敏芯	中等	4G/5G移动通信网络

资料来源：源杰科技招股说明书，华鑫证券研究所

光纤接入：光纤传输的光通信系统中，光网络单元(ONU)与光线路终端(OLT)之间的光信号传输

4G/5G基站：电信运营商通信网络主要包括骨干网与城域网，城域网分为核心层、汇聚层、接入层，其中接入层通常为终端用户连接或访问网络的部分。电信运营商在接入层建设大量通信基站，将用户数据转换为光信号，并通过汇聚层、核心层网络回传至骨干网

7.2 不同速率光芯片竞争格局 III

图表：25G-50G光芯片供应商情况

产品速率	产品类型	产品图例	竞争情况	主要供应商	国产化	应用领域
25G	CWDM 6波段 DFB激光器芯片		应用于5G移动通信网络光模块，产品难度大，其中WDM12波段DFB激光器芯片主要应用于国内5G基站方案，国外厂商发货产品较少，该产品2020年源杰科技等国内光芯片厂商实现大批量发货	MACOM、Lumentum、源杰科技、三菱电机、武汉敏芯	中等	5G移动通信网络
	LWDM 12波段 DFB激光器芯片					
	MWDM 12波段 DFB激光器芯片					
	CWDM 4波段 DFB激光器芯片		应用于100G数据中信光模块，产品难度大，国内部分厂商实现产品突破	安华高、MACOM、Lumentum、源杰科技、武汉敏芯	较低	数据中心 100G
	LWDM 4波段 DFB激光器芯片					
50G	PAM4 CWDM 4波段 DFB激光器芯片		应用于100G/200G/400G数据中信光模块，技术难高，还未实现批量发货；源杰科技50G PAM4 CWDM 4波段DFB激光器处于设计验证测试阶段，工业级大	安华高、Lumentum	较低	数据中心 200G
硅光直流光源	1270/1290/1310/1330nm大功率25/50/70mW 激光器芯片		测试阶段、工业级大功率贵广激光器处于工程验证测试阶段		较低	数据中心 100G/200G/400G

资料来源：源杰科技招股说明书，华鑫证券研究所

08 重点关注标的

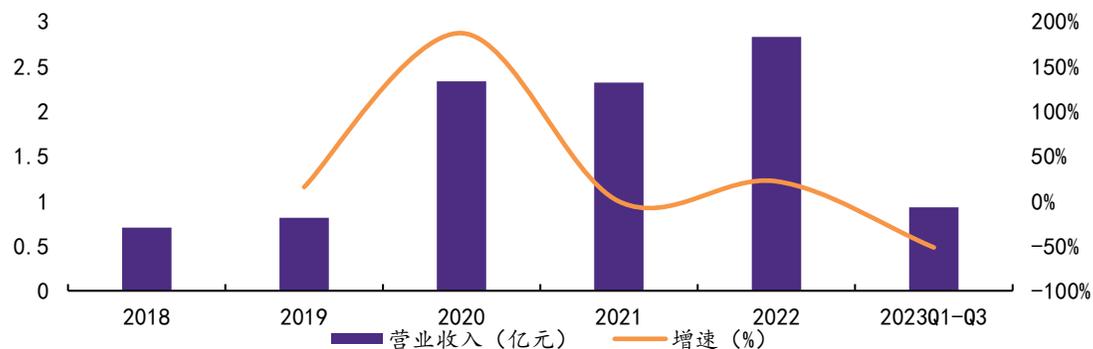
研究创造价值

8.1 源杰科技：国内高速率光芯片的领先者

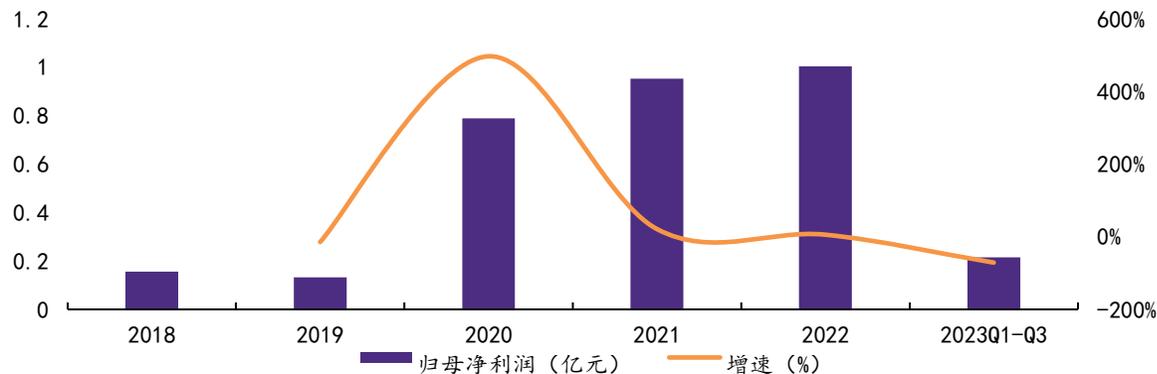
公司聚焦于光芯片行业，主营业务为光芯片的研发、设计、生产与销售。公司的光芯片产品主要应用于电信市场、数据中心市场、车载激光雷达市场等领域。目前，公司已建立“掩埋型激光器芯片制造平台”和“脊波导型激光器芯片制造平台”两大平台并积累“高速调制激光芯片技术”及“异质化合物半导体材料对接生长技术”等八大技术以求实现性能提升且成本降低。公司产品获得下游客户广泛认可，2.5G 1490nm DFB激光器芯片已成为下游客户主要供应商；10G 1270nm DFB激光器芯片在出口海外10G-PON (XGS-PON) 市场中实现了批量供货；25G MWDM 12波段 DFB激光器芯片成为满足中国移动相关5G建设方案批量供货的厂商；100G PAM4 EML、70mW/100mW 大功率 CW 芯片已经完成产品研发与设计定型，并在客户端送样测试。

公司业绩短期承压，光芯片行业未来可期：2023年，公司实现营收1.44亿元，同比下滑49.10%；公司实现归母净利润0.19亿元，同比下滑81.06%；实现销售毛利率41.88%，同比下滑20.02pct，实现销售净利率13.49%，同比下滑21.97pct。公司业绩短期承压的主要原因系电信、数据中心等市场的光芯片需求表现不佳。展望未来，光芯片下游应用场景不断扩展，需求量不断增加。同时下游的数通及电信领域对芯片的速率、功率、传输距离等性能参数提出更高的要求。此外，高速率光芯片目前还是由海外厂商主导，在当前国家大力发展高端科技的背景下，国内厂商迎来将持续的发展机遇和政策支持。

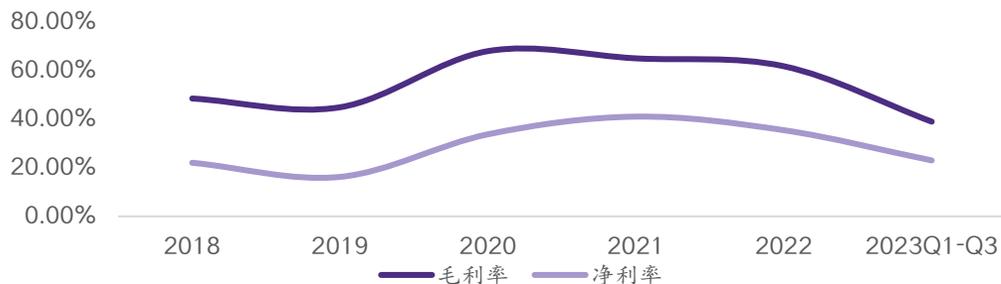
图表：2018-2023年源杰科技营业收入 (亿元)



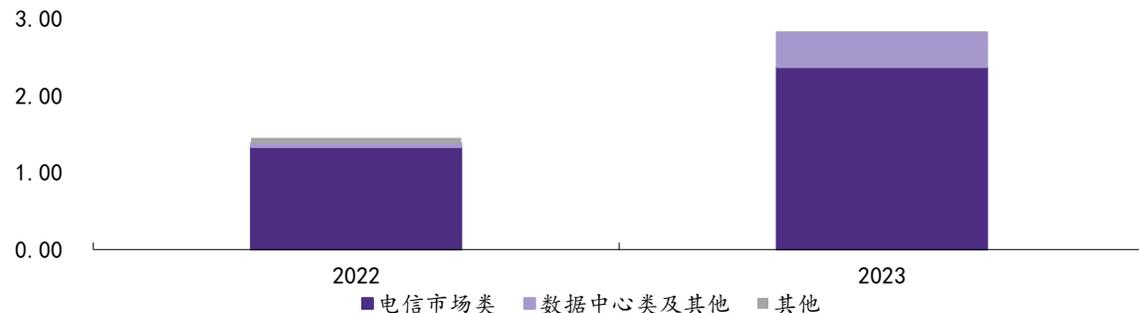
图表：2018-2023年源杰科技归母净利润 (亿元)



图表：2018-2023年源杰科技毛利率和净利率示意图



图表：2022-2023年源杰科技营收构成 (亿元)



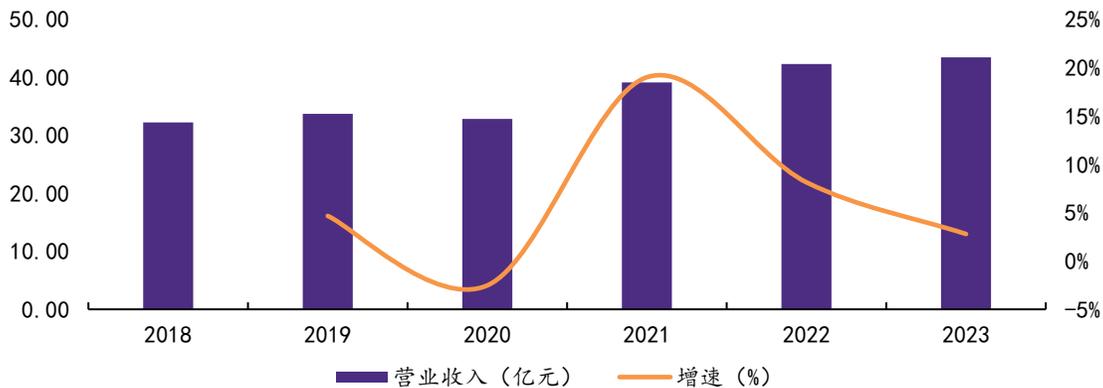
资料来源：Choice、源杰科技公告，华鑫证券研究所

8.2 永鼎股份：“棒纤缆”为基，积极拓展高端光器件业务

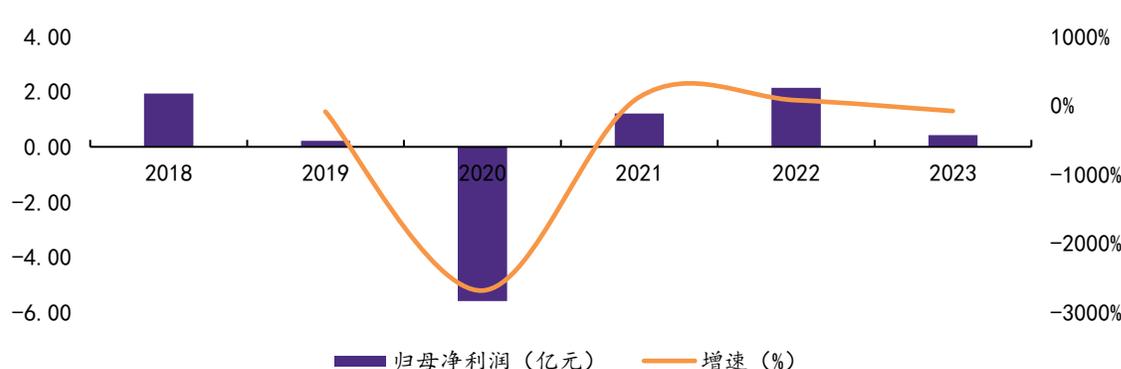
公司坚定执行“光电交融，协同发展”的战略布局。光通信方面，公司巩固和拓展了传统的光棒、光纤、光缆业务，同时积极布局了光芯片、光器件、光模块等领域。电力传输方面，公司在传统电信、电缆业务领域稳步经营；做大做强新能源汽车线束，在新能源车渗透率稳步提升的趋势下，进一步提高市场份额；高温超导产业化加速落地，第二代超导带材技术领先，军民两用领域持续推进。

公司业绩稳中有进，汽车线束业务产能释放：2023年，公司实现营收43.45亿元，同比上升2.78%；实现归母净利润0.43亿元，同比下降79.91%；实现销售毛利率17.32%，同比上升3.94pct；实现销售净利率2.62%，同比下降2.76pct。公司归母净利润下降的原因主要系信用减值损失同比增加4384.9万元以及光通信板块订单未达预期。从公司的营收结构来看，汽车线束和光缆、电缆仍占据主要部分。我们认为随着公司未来光器件产品的逐步放量，光通信业务的营收占比会有所提升，盈利能力将有所提升。

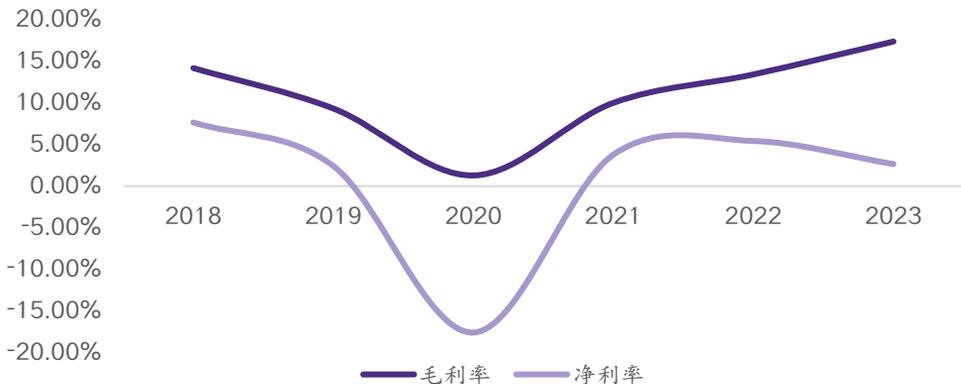
图表：2018-2023年永鼎股份营业收入（亿元）



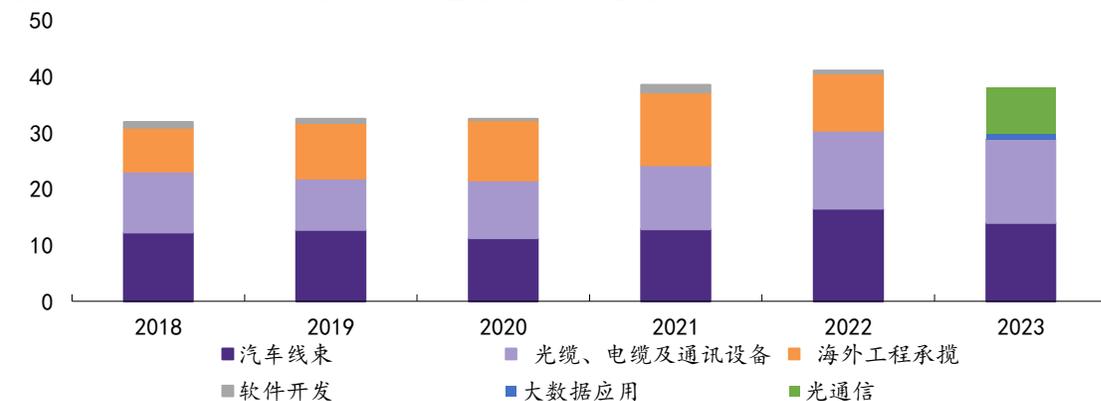
图表：2018-2023年永鼎股份归母净利润（亿元）



图表：2018-2023年永鼎股份毛利率和净利率示意图



图表：2018-2023年永鼎股份营收构成（亿元）



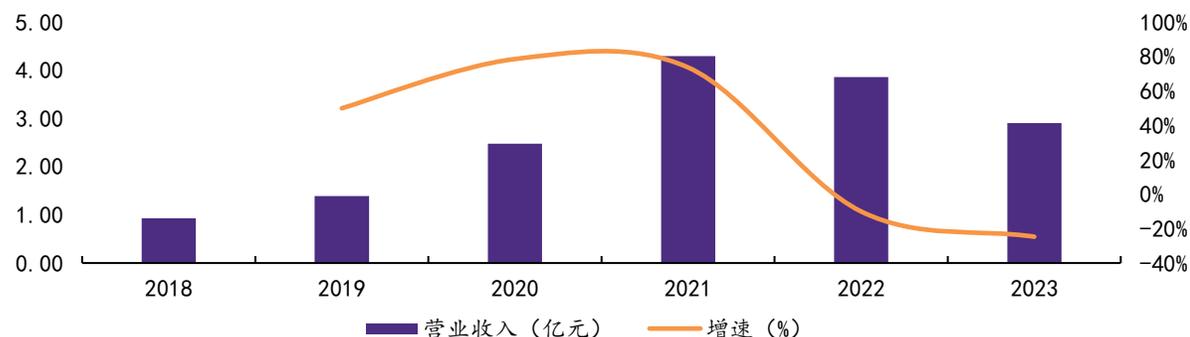
资料来源：Choice、永鼎股份公告，华鑫证券研究所

8.3 长光华芯：纵横拓展深化布局光通信芯片

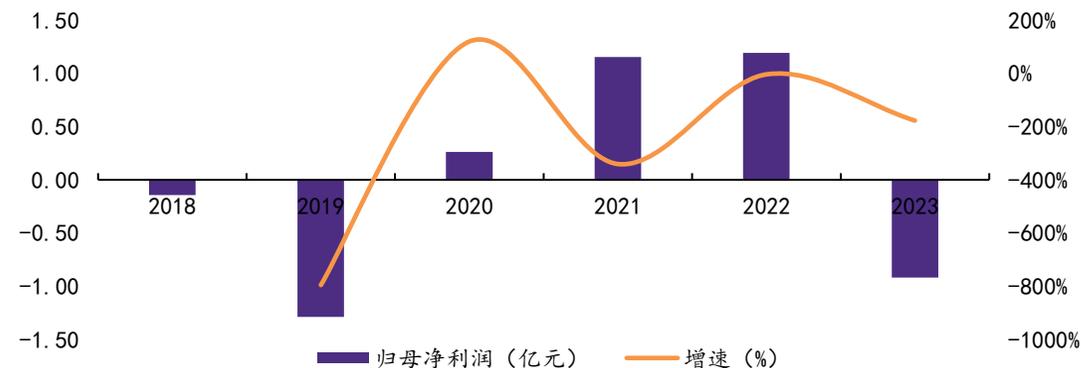
高功率半导体激光芯片积累深厚，构建两大工艺技术平台和三大材料体系。公司专注于半导体激光领域，主要从事半导体激光芯片的研发、设计和制造，强调对研发组织和过程的管理，持续加强了芯片设计、晶圆制造、芯片加工以及封装测试等工艺方面的积累。公司在半导体激光芯片领域的核心能力不断增强，屡次取得了技术突破。此外，公司还应对半导体激光行业应用场景的多元化和复杂化趋势，充分利用其在高功率半导体激光芯片领域的技术积累，构建了三大材料体系，包括GaAs（砷化镓）、InP（磷化铟）和GaN（氮化镓），建立了边发射和面发射两大工艺技术和制造平台。公司在下游产品开发方面延伸到了器件、模块以及直接半导体激光器等领域，同时也横向扩展到VCSEL和光通信激光芯片领域。

公司业绩短期承压，宏观经济因素导致对应的费用率上升。2023年，公司实现营收2.9亿元，同比下滑24.79%；实现归母净利润-0.92亿元，同比下滑177.10%；实现综合毛利率33.54%，同比下滑18.03pct；实现综合净利率-31.68%，同比下滑62.61pct。公司业绩下滑的主要原因系激光器市场竞争激烈，公司下调芯片价格；公司计提了较多存货跌价准备；公司投资的信托产品出现汇兑风险，公司确认了4800万元公允价值变动损失；VCSEL系列产品还没有起量等因素。

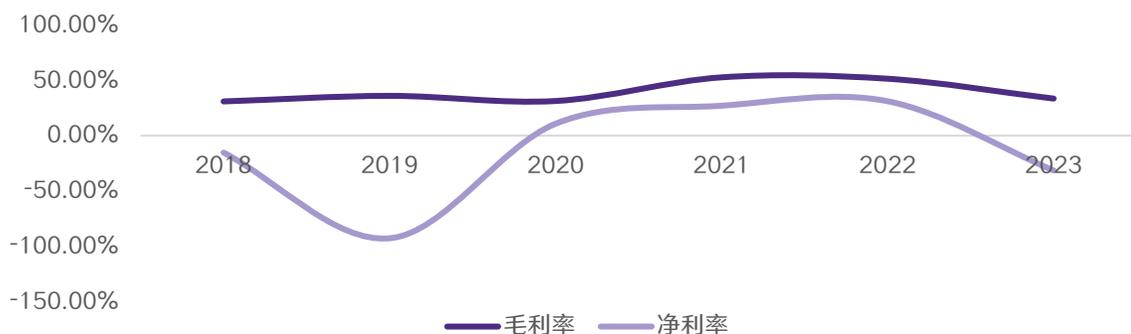
图表：2018-2023年长光华芯营业收入（亿元）



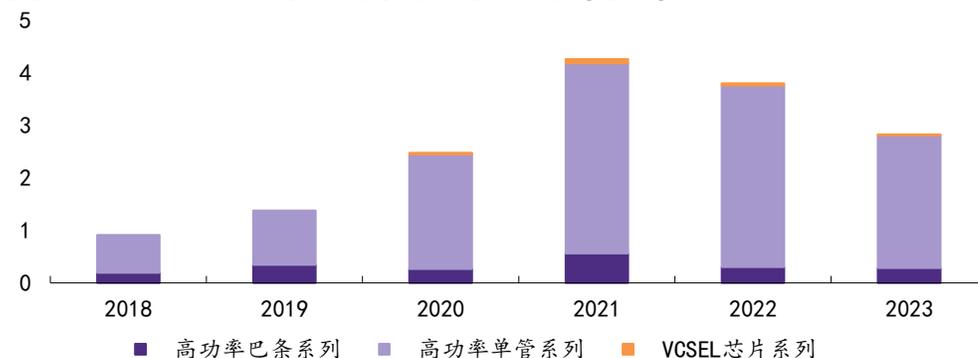
图表：2018-2023年长光华芯归母净利润（亿元）



图表：2018-2023年长光华芯毛利率和净利率示意图



图表：2018-2023年长光华芯营收构成（亿元）



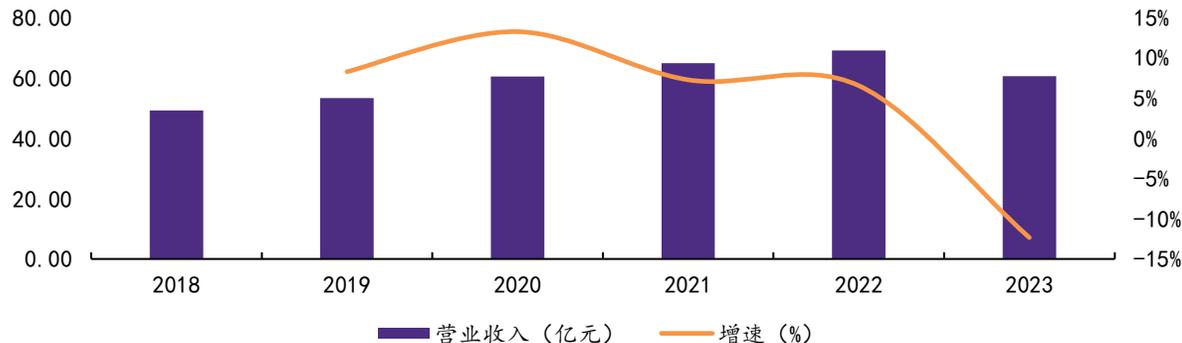
资料来源：Choice、长光华芯公告，华鑫证券研究所

8.4 光迅科技：纵横拓展深化布局光通信芯片

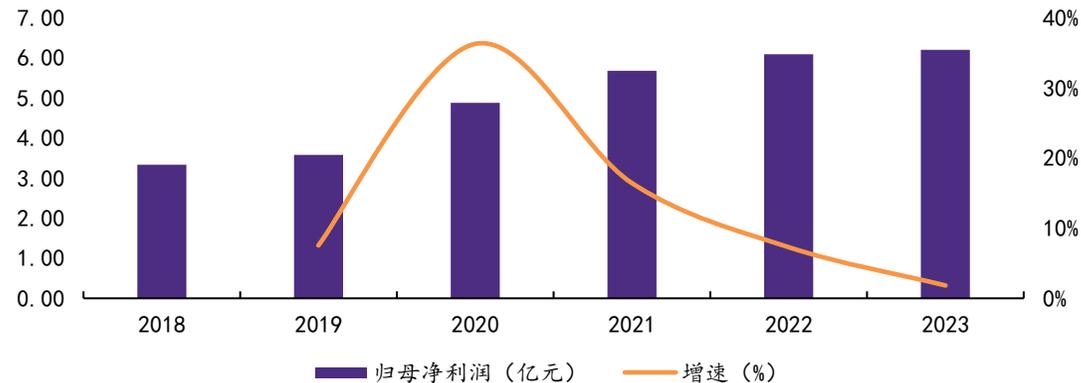
光电行业的先行者，光通信产品全方位布局。公司是光电子行业的先行者，具备从芯片到器件、模块、子系统的垂直整合能力，产品涵盖全系列光通信模块、无源光器件和模块、光波导集成器件、光纤放大器等，产品支持10G、25G、50G、100G、200G、400G、800G、1.6T等速率。产品被广泛应用于骨干网、城域网、宽带接入、无线通信、数据中心等领域。硅光相关产品公司也有所布局，硅光芯片具备自研能力。

公司业绩平稳，多因素驱动业绩持续增长。2023年，公司实现营收60.61亿元，同比下滑12.31%；实现归母净利润6.19亿元，同比上升1.80%；实现综合毛利率22.63%，同比下滑0.98pct；实现综合净利率10.22%，同比提升1.34pct。公司业绩总体较为平稳，所处行业存在持续驱动力。电信方面，骨干网400G升级、5G-A、25G/50G PON的逐步引入商用；数通方面，及人工智能集群对400G、800G、1.6T以及3.2T高速连接的需求以及未来智能汽车和卫星通信都将对光器件不断地产生需求。

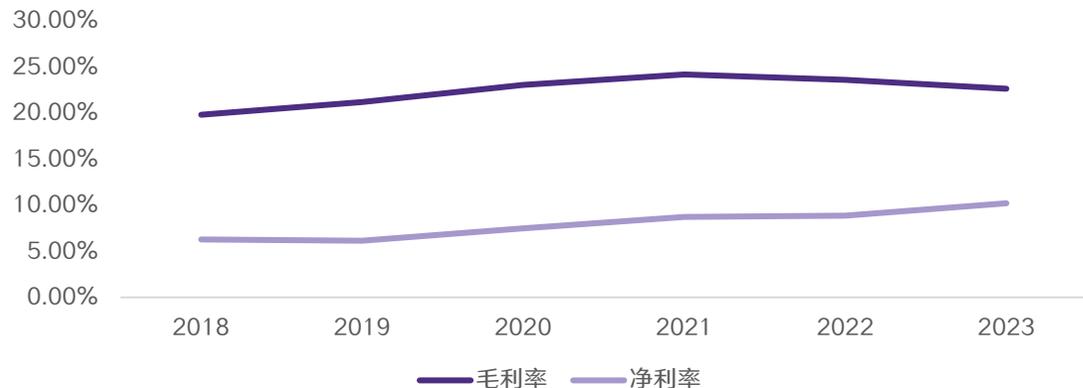
图表：2018-2023年光迅科技营业收入（亿元）



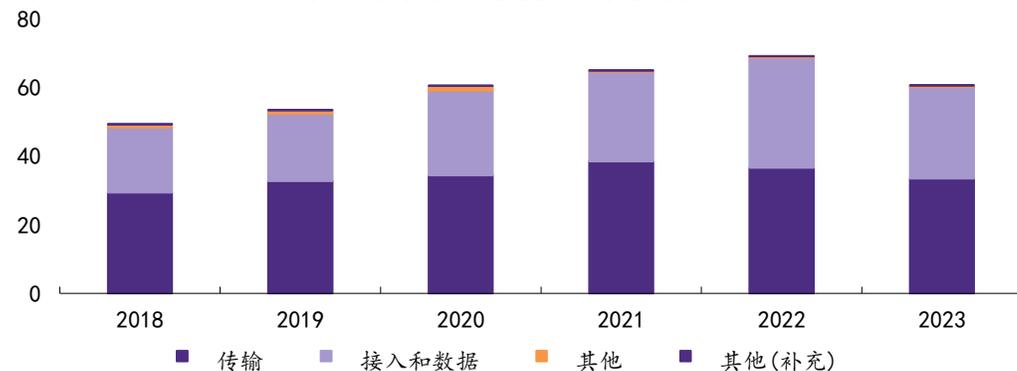
图表：2018-2023年光迅科技归母净利润（亿元）



图表：2018-2023年光迅科技毛利率和净利率示意图



图表：2018-2023年长光华芯营收构成（亿元）



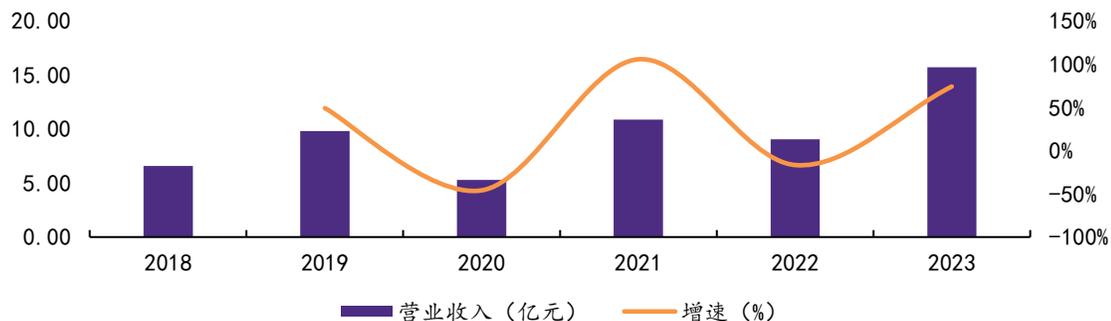
资料来源：Choice、光迅科技公告，华鑫证券研究所

8.5 罗博特科：光伏电池片自动化设备龙头，收购ficonTech布局硅光设备

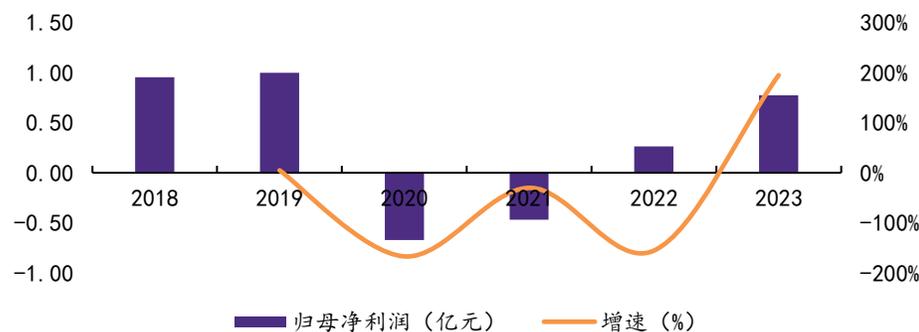
光伏自动化设备稳步增长，布局硅光子行业打造第二增长曲线。公司专注于研制高端自动化装备和基于工业互联网技术的智能制造执行系统软件。公司拥有完整的研发、设计、装配、测试、销售和服务体系，为光伏、电子及半导体等领域提供柔性、智能、高效的高端自动化装备及系统软件。公司产品主要运用于光伏电池领域。此外，公司凭借多年的战略布局与资本运作，迅速进入光电子、泛半导体高端装备领域。公司拟以发行股份及支付现金方式购买斐控泰克合计 81.18%的股权和 ficonTEC Service GmbH 和 ficonTEC Automation GmbH 各 6.97%股权，进而拓展光芯片、光电子业务，打造第二增长曲线。

公司业绩增势显著，产销两旺带动盈利提升。2023年，公司实现营收15.72亿元，同比增长74%；实现归母净利润0.77亿元，同比上升195.%，剔除股权激励影响，公司全年实现归属于上市公司股东的净利润为 1.03亿元，较上年增长 295.36%；实现综合毛利率22.85%，同比增长0.68pct；实现综合净利率4.86%，同比提升2.03pct。公司业绩增长显著，主要原因系下游大规模扩产和技术快速迭代为公司发展提供了广阔的市场空间；限制性股票激励计划助力公司发挥激励作用帮助实现产销两旺。

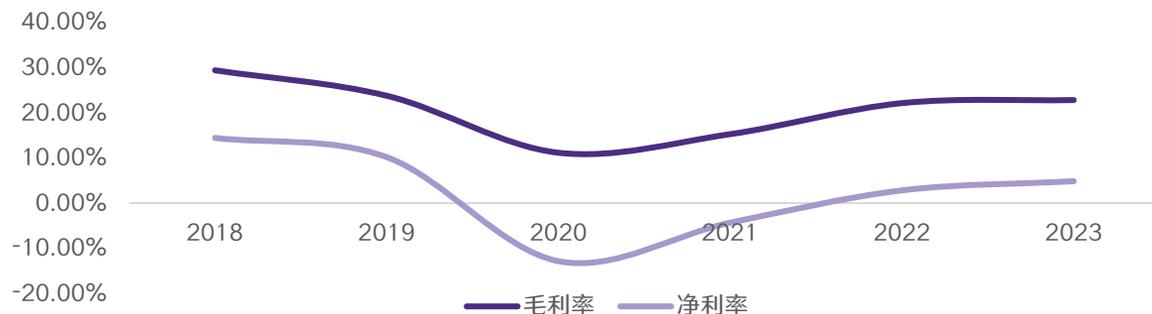
图表：2018-2023年罗博特科营业收入（亿元）



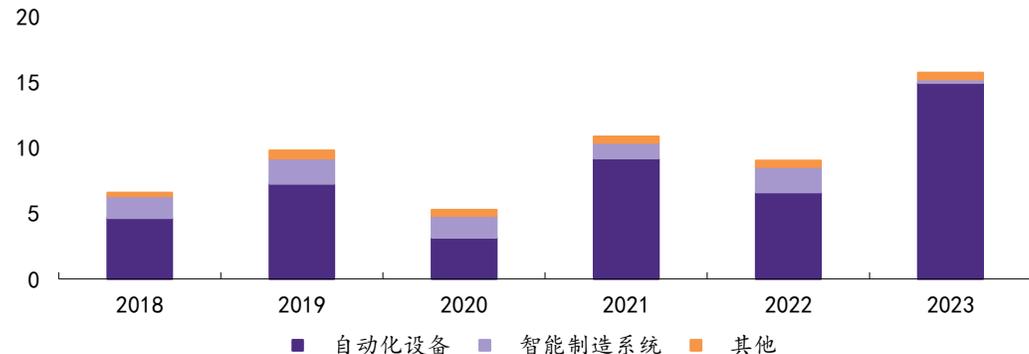
图表：2018-2023年罗博特科归母净利润（亿元）



图表：2018-2023年罗博特科毛利率和净利率示意图



图表：2018-2023年罗博特科营收构成（亿元）

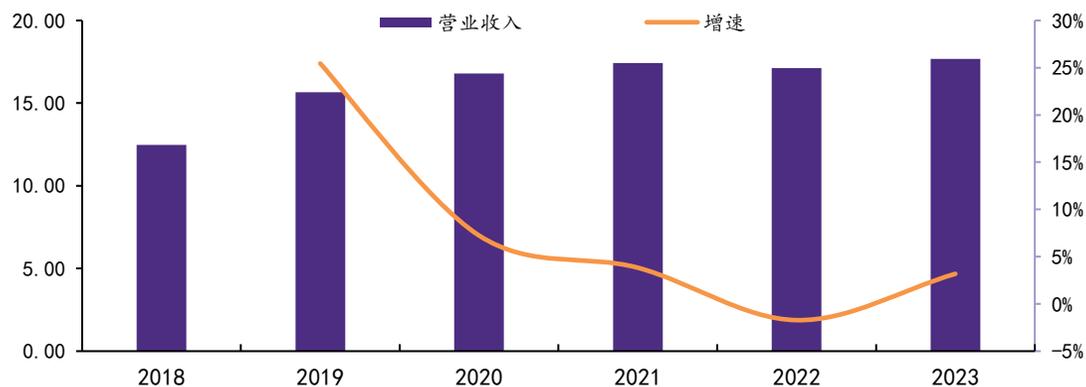


资料来源：Choice、罗博特科公告，华鑫证券研究所

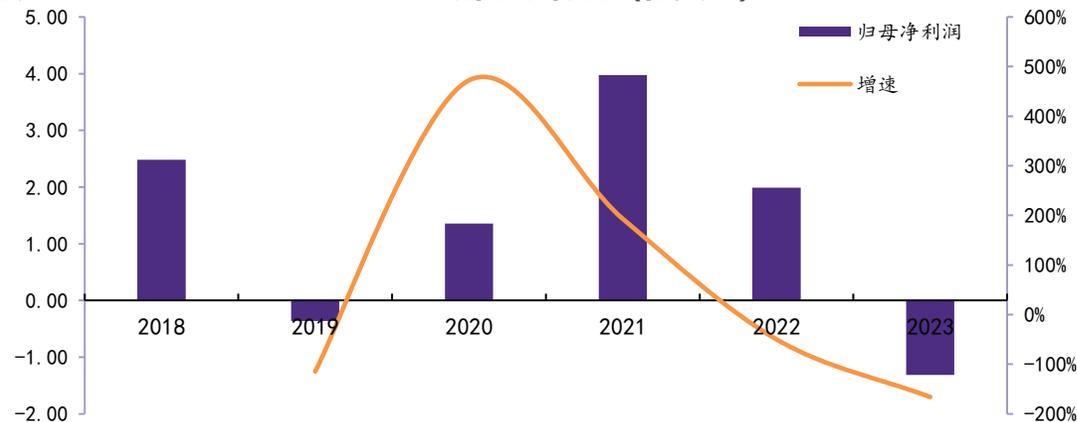
8.6 Lumentum：国际光通信芯片领域的领导者

Lumentum是一家专注于光学和光子技术的公司，以其卓越的光学技术和批量制造能力，积极拓展至多个有潜力的新兴市场。这些市场受益于光学和光子技术所带来的优势，包括成像和传感应用，以及用于消费电子产品的激光光源。公司的客户主要是原始设备制造商（OEM），下游客户将Lumentum的产品融入自己的产品中，然后应用于各种领域，包括通信、云计算、汽车工业等。Lumentum积极参与全球市场，这些市场具有长期的增长趋势，如数字化工作方式、3D传感技术、LiDAR应用、非接触生物识别和工业机器视觉解决方案。公司通过不断创新和与客户的紧密合作，不断满足市场需求，并推动技术的不断发展。Lumentum在其OpComms部门和Lasers部门运营，OpComms部门提供光通信解决方案，服务电信、数据通信和消费/工业市场。Lasers部门则提供各种激光器产品，涵盖多个领域包括制造、医疗、科学和更多。业绩方面，我们可以观察到Lumentum作为在光通信领域全方位布局的领导者，其营收规模仍然显著高于国内厂商处于高速成长期的企业。

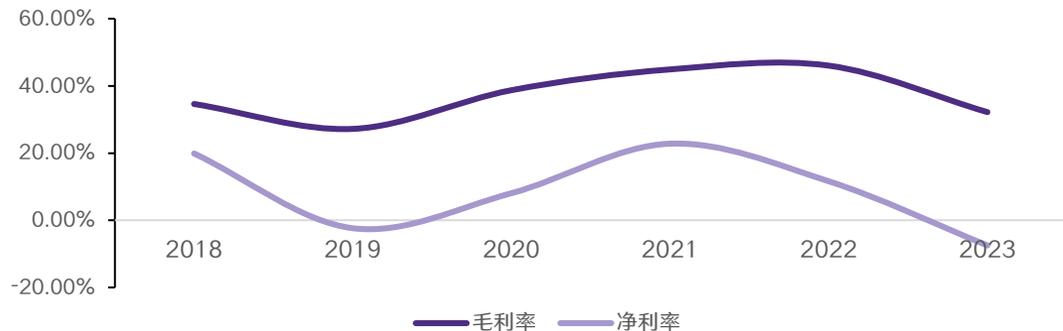
图表：2018-2023年Lumentum营业收入（亿美元）



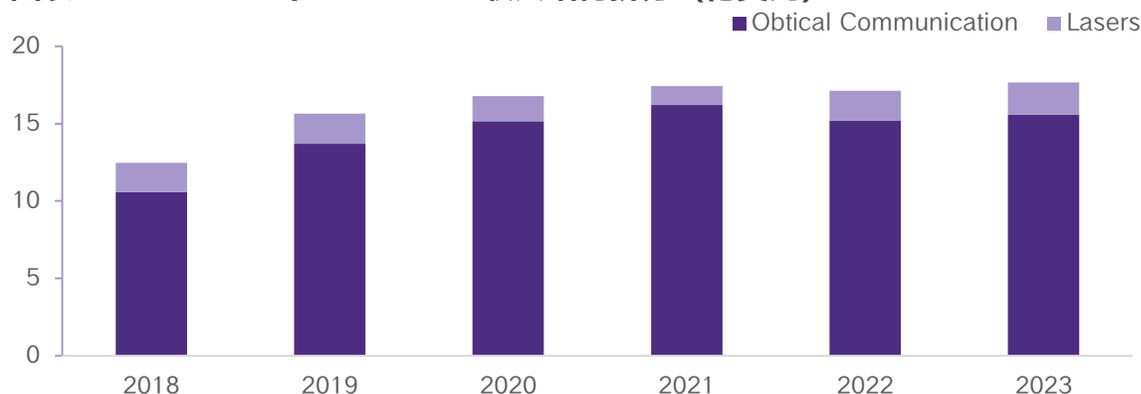
图表：2018-2023年Lumentum归母净利润（亿美元）



图表：2018-2023年Lumentum毛利率和净利率示意图



图表：2018-2023年Lumentum收入结构拆分（亿美元）

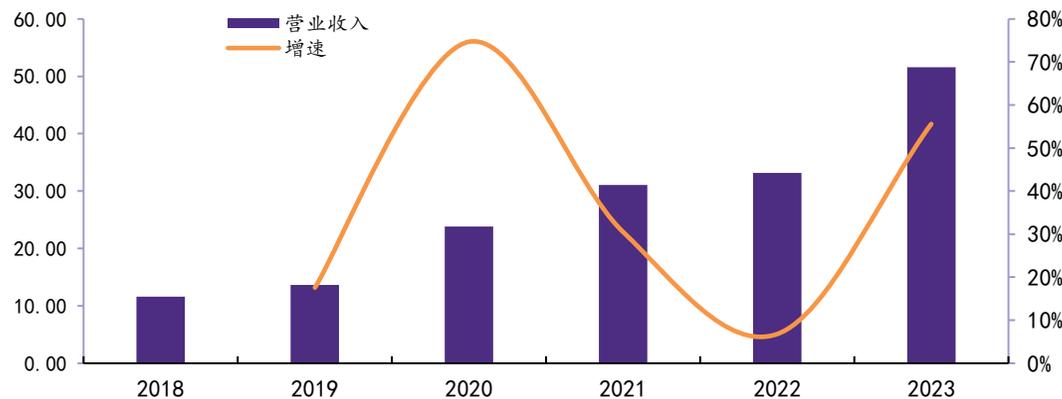


资料来源：Wind、Capital IQ，华鑫证券研究所

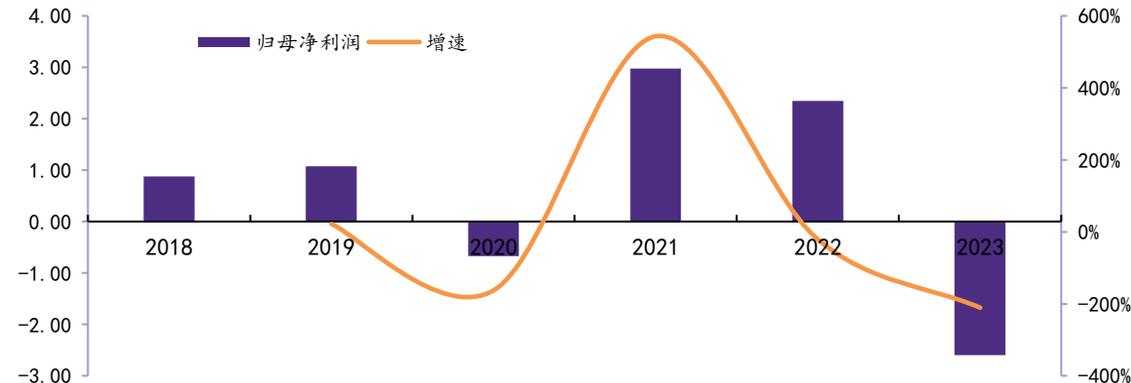
8.7 Coherent：通过研发投资和战略收购打造平台型企业

Coherent是一家开发、制造和销售工程材料、光电元件、设备、光学和激光光子系统的企业，它们应用于工业、通信、电子和仪器仪表市场。公司利用先进的工程材料生长技术和制造工艺来制造复杂的光电器件和模块，并在多个垂直市场提供产品，包括精密制造、半导体资本设备、航空航天和国防、电信网络、数据通信网络、消费类电子产品、汽车、生命科学和科学仪器。通过研发投资和战略收购，公司不断扩大其材料和产品平台组合，拥有强大的核心能力，尤其在外延晶体生长领域。此外公司还提供化合物半导体激光器产品，广泛应用于各种终端市场，如通信网络、数据中心等。公司的业务分为三个部门：材料部门、网络部门和激光部门。材料部门提供工程材料和光电器件，包括激光光学器件、二氧化碳激光器配件、光学材料和热电元件等。网络部门专注于光通信领域，提供用于高速光传输系统、网络和数据中心的组件和子系统，包括发射器、接收器、转发器和有源光缆。激光部门为半导体和显示设备、精密制造、航空航天和国防领域的客户提供激光器和光学产品。

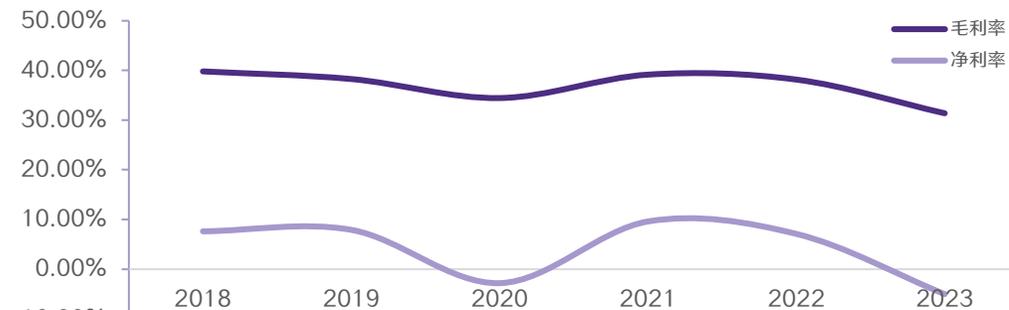
图表：2018-2023年Coherent营业收入（亿美元）



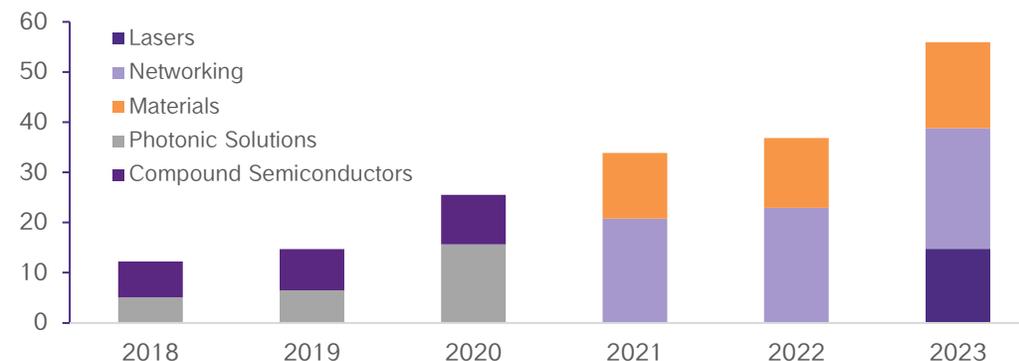
图表：2018-2023年Coherent归母净利润（亿美元）



图表：2018-2023年Coherent毛利率和净利率示意图



图表：2018-2023年Coherent收入结构拆分（亿美元）



资料来源：Wind、Capital IQ，华鑫证券研究所

- 下游需求不及预期风险
- 光芯片国产化进度不及预期
- 行业竞争加剧风险
- 贸易摩擦加剧风险
- 推荐公司业绩不及预期风险

毛正：复旦大学材料学硕士，三年美国半导体上市公司工作经验，曾参与全球领先半导体厂商先进制程项目，五年商品证券投研经验，2018-2020年就职于国元证券研究所担任电子行业分析师，内核组科技行业专家；2020-2021年就职于新时代证券研究所担任电子行业首席分析师，iFind 2020行业最具人气分析师，东方财富2021最佳分析师第二名；东方财富2022最佳新锐分析师；2021年加入华鑫证券研究所担任电子行业首席分析师。

高永豪：复旦大学物理学博士，曾先后就职于华为技术有限公司，东方财富证券研究所，2023年加入华鑫证券研究所。

吕卓阳：澳大利亚国立大学硕士，曾就职于方正证券，4年投研经验。2023年加入华鑫证券研究所，专注于半导体材料、半导体显示、碳化硅、汽车电子等领域研究。

何鹏程：悉尼大学金融硕士，中南大学软件工程学士，曾任职德邦证券研究所通信组，2023年加入华鑫证券研究所。专注于消费电子、算力硬件等领域研究。

张璐：早稻田大学国际政治经济学学士，香港大学经济学硕士，2023年加入华鑫证券研究所，研究方向为功率半导体、先进封装。

证券分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

免责条款

华鑫证券有限责任公司（以下简称“华鑫证券”）具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。本报告由华鑫证券制作，仅供华鑫证券的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告中的信息均来源于公开资料，华鑫证券研究部门及相关研究人员力求准确可靠，但对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。我们已力求报告内容客观、公正，但报告中的信息与所表达的观点不构成所述证券买卖的出价或询价的依据，该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并同时结合各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就财务、法律、商业、税收等方面咨询专业顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，华鑫证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露。

本报告中的资料、意见、预测均只反映报告初次发布时的判断，可能会随时调整。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。在不同时期，华鑫证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。华鑫证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本报告版权仅为华鑫证券所有，未经华鑫证券书面授权，任何机构和个人不得以任何形式刊载、翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若华鑫证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，华鑫证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成华鑫证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。如未经华鑫证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。华鑫证券将保留随时追究其法律责任的权利。请投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的华鑫证券研究报告。

证券投资评级说明

股票投资评级说明：

	投资建议	预测个股相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	买入	>20%
2	增持	10%—20%
3	中性	-10%—10%
4	卖出	<-10%

行业投资评级说明：

	投资建议	行业指数相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	推荐	>10%
2	中性	-10%—10%
3	回避	<-10%

以报告日后的12个月内，预测个股或行业指数相对于相关证券市场主要指数的涨跌幅为标准。

相关证券市场代表性指数说明：A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以道琼斯指数为基准。



华鑫证券

CHINA FORTUNE SECURITIES

研 究 创 造 价 值