

紧抓AI之光

——通信行业2023年半年度展望

2023年7月12日

看好/维持

通信

行业报告

分析师

李美贤 电话：13718969817 邮箱 limx_yjs@dxzq.net.cn

执业证书编号：S1480521080004

投资摘要：

2023年上半年，通信板块一路领跑。2月以来，随着 chatGPT 的火爆，景气度从光模块传导到服务器、交换机等设备，市场对数据中心的算力网络的增长预期大幅提升。今年上半年，通信板块大幅跑赢科创 50、沪深 300 等指数。

展望下半年，我们认为 AI 依然是今年主线，长期来看，建议关注中国光模块产业链崛起机遇。

大模型是一种新的生产力工具，来帮助我们更准确地认知世界和预测世界。大模型的出现是一系列的变革，我们看到不仅是 800G 光模块、HBM 需求旺盛的现象，其背后是深度学习对于链上所有参与环节的突破，包括解决存储墙出现的 HBM、解决算力墙出现的集群和分布式训练、解决通信墙而出现的网络架构革新、解决功率墙出现的液冷等等，是通信和电子一系列技术新一轮的变革。

本轮光模块 800G 周期有何不同？网络架构变革是 800G 超预期的原因。光模块行业是一个周期成长的行业，本身遵循光摩尔定律，即每 2-3 年网络带宽翻倍，因此光模块公司的业绩往往跟随速率升级的周期节奏。而本轮 800G 周期和以往 100G、400G 的不同之处在于，不仅仅是速率升级，还有网络架构的变革。**我们看到 AI 数据中心网络架构有两个变革：一个是从 Spine-Leaf 架构→Fat-tree 架构；二是 GPU All-to-all 直连**，这两种变革都额外地、大幅地增加了光模块需求。我们测算，由于使用 Fat-tree 的架构，DGX A100 中 GPU:光模块的比重将达到 1:6，而 GPU All-to-all 直连是光模块增量最大的部分，使得 GPU:光模块从 1:2.5 大幅提升至 1:7。

网络架构的变革的驱动力？传统适用于 HPC 的网络，无法满足大模型集群训练的带宽和时延需求。大模型训练的本质是将权重参数网络多次迭代，海量的数据因此需要不停地从存储和计算单元反复转移，需要至少数百万次的迭代，直到输出可接受的结果。而分布式训练需要 GPU 之间通信，使得 AI/ML 数据中心东西流量大增，流量模式也异于传统云计算。分布式训练的两种方式——数据并行(Data parallelism)和模型并行(Model parallelism)，都涉及频繁的 GPU 间通信。无阻塞(Non-blocking)的网络，由于其不收敛的特点，可以提高网络效率，加快训练速度，这是专用于 AI/ML 训练的数据中心，其网络架构从 Spin-leaf 转到 Fat-tree 的原因。GPU 本身为了解决存储墙而对 HBM 的采用，虽然使得存储带宽的大幅提升，但也进一步拉大了存储带宽和网络带宽的差距，使得网络带宽成为算力瓶颈，这是推动 GPU 进行 all-to-all 直连的原因。

未来，模型大型化的演进，会持续提升的算力需求。AI 对算力增长的推动主要来自两个方面：1) 更大规模的模型；2) 多模态模型。HBM 迭代加快，更高带宽的 HBM3E 有望今年底量产，将进一步推动网络带宽的提升。算力、存储、网络是绑定关系，更高的算力、更大带宽的存储，必然需要升级网络。第二代 800G 产品将采用 200G PAM4，可以进一步提升带宽、降低功耗。在今年的 3 月举办的 OFC 上，包括 II-VI 等在内的头部光模块厂商都展出了基于 200G PAM4 方案的 800G 和 1.6T 光模块样品，产业落地逐步加快。

事实上，光模块已成为我国优势产业，有望尽享 800G 红利。近 5 年来，中国光模块厂商凭借强大的工程师红利，在与海外光模块厂商竞争中不断占据上风。2022 年，合计七家光模块厂商进入全球前十，中际旭创更是凭借在数通领域的强大优势，与 II-VI 并列第一，连续两年成为全球光模块龙头。我们认为，未来中国光模块厂商优势稳固，在全球光模块产业链中的比重将继续提升。**上游器件&芯片国产化将有望加速。**依托光模块的地位，上游器件&芯片的国产替代有望加速，国内主要光模块厂商扶持上游元器件的意愿明显。

我们认为，**光模块产业链下一步可关注两个国产替代方向：**1) 中高端激光芯片。10G DFB 国产化相当成熟，25G DFB 国产化加速，50G DFB 和 100GEML 仍有非常大的空间。2) TEC 器件，光器件中价值量占比约 13%，目前国产化程度低于光芯片以及陶瓷外壳，未来有望受益于国产替代+数据中心/激光雷达不断增长的激光芯片温控需求。

风险提示：AI 技术发展不及预期，中美贸易冲突加剧。

目 录

1. 上半年行情回顾：通信板块领涨全市场，光模块表现最为耀眼	4
2. 紧抓 AI 算力主线——新生产力工具背后的技术变革，这一轮 800G 周期有何不同？	6
2.1 本轮光模块超预期的直接原因：网络架构的变革导致光模块用量大幅增长	6
2.2 网络架构的变革的驱动力：传统适用于 HPC 的网络，无法满足大模型集群训练的带宽和时延需求	7
2.3 下一步是什么？200G PAM4 和持续提升的带宽需求	12
2.4 光模块：我国目前竞争优势最突出的 AI 产业链环节	13
2.5 中际旭创：光模块龙头，尽享 800G 红利	13
3. 关注中国光模块产业崛起机遇	14
3.1 光模块厂商扶持上游意愿明显，光模块芯片&器件替代加速	14
3.2 光模块上游国产替代方向 1：高端光芯片	15
3.3 源杰科技：国内光芯片优秀厂商	16
3.4 光模块上游国产替代方向 2：TEC	16
3.5 富信科技：国内稀缺的光模块 TEC 厂商	18
风险提示	19
相关报告汇总	19

插图目录

图 1：通信板块年上半年涨幅（23.1.3-23.6.30）	4
图 2：申万各行业板块上半年涨幅	4
图 3：AI 产业链上新技术的底层逻辑——是通信、电子领域等一系列技术变革	6
图 4：模型训练的本质是大量的参数在不同的计算和存储单元之间来回流动	8
图 5：分布式训练是 AI 数据中心东西流量的来源	8
图 6：分布式训练中，每个 GPU 负责计算一部分样本，直接通信，提高计算效率	9
图 7：AI 流量和传统云计算流量的不同之处	10
图 8：DGX H100 采用的 NVSwitch 可以将存储和网络带宽差进一步缩小	10
图 9：使用了 NVSwitch 的 H100 集群，训练速度大幅高于使用 IB/Ethernet 的 H100 集群	11
图 10：数据中心光网络演进是算力和存储驱动的	12
图 11：公司绝大部分收入来自于数据中心高速光模块	14
图 12：近年随着 800G 新品导入，高速率模块毛利率攀升	14
图 13：光芯片分为激光器芯片和探测器芯片，分别负责发射和接收光信号	15
图 14：2017 年，我国 25G 高端光芯片国产化率不足 5%	15
图 15：源杰科技数据中心收入逐快速增长	16
图 16：源杰科技数据中心产品和新品进展（2022 年）	16
图 17：TEC 在光模块中紧贴激光器芯片，保证光模块内部各路激光的输出波长及功率稳定	16
图 18：从 L2 到 L4/5 级别，单车激光雷达数量明显提升	17
图 19：FMCW 激光雷达必须使用 TEC 进行波长控制	17
图 20：富信科技各业务线营收占比（2022 年）	18

图 21： 富信科技光模块 TEC 产品与可比公司对比，已经能满足光模块温控使用要求18

表格目录

表 1： SW 通信个股上半年涨幅前 20 大多为光模块产业链5

表 2： NVSwitch 和 Fat-tree 的使用，使得英伟达 DGX 集群中光模块数量大幅增长.....7

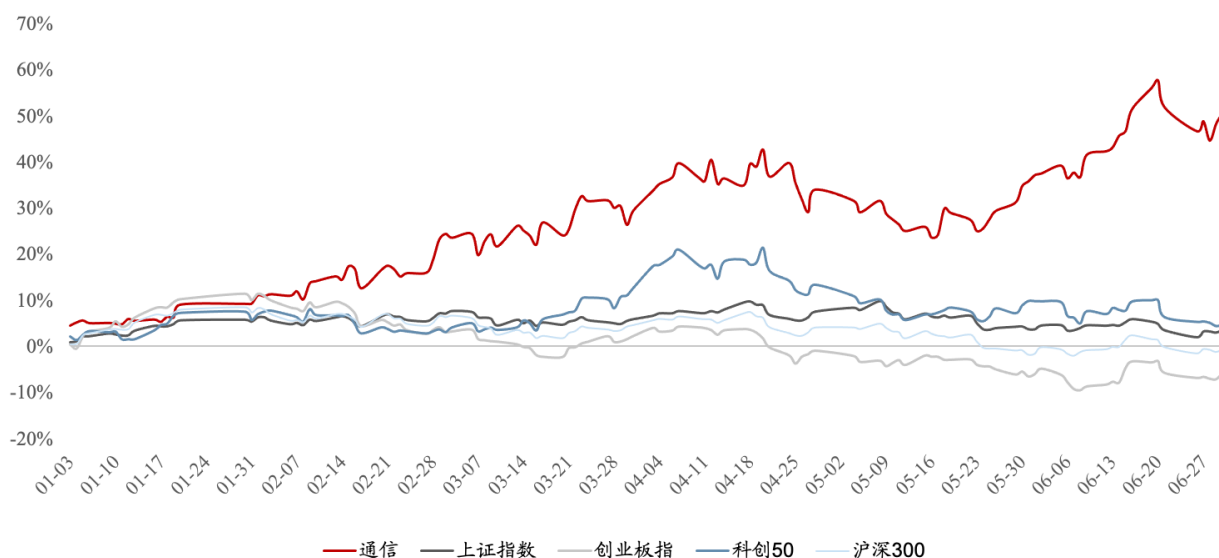
表 3： 从 2010 年到 2022 年，全球 TOP 10 光模块厂商中 7 家为中国企业，中国光模块产业优势已十分明显13

表 4： 光器件中各类组件占比及目前国产化情况14

1. 上半年行情回顾：通信板块领涨全市场，光模块表现最为耀眼

2023 年上半年，通信板块一路领跑。2 月以来，随着 chatGPT 的火爆，景气度从光模块传导到服务器、交换机等设备，市场对数据中心的算力网络的增长预期大幅提升。今年上半年，通信板块大幅跑赢科创 50、沪深 300 等指数。

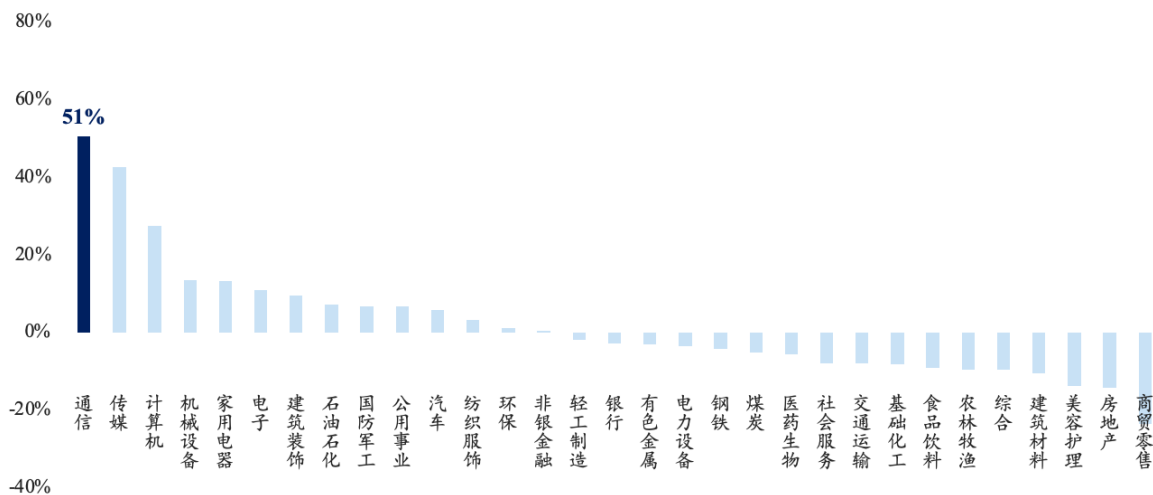
图1：通信板块年上半年涨幅（23.1.3-23.6.30）



资料来源：iFinD，东兴证券研究所

在 A 股所有板块中，通信涨幅最大。以通信、传媒、计算机、电子为代表的 TMT 板块涨幅靠前，其中，通信上半年涨幅 51%，位居所有板块前列。

图2：申万各行业板块上半年涨幅



资料来源：iFinD，东兴证券研究所

上半年 AI 行情中，光模块产业链个股市场表现最优。以中际旭创、联特科技为代表的光模块公司、以天孚通信为代表的光器件公司、以及产业链上数通设备、线缆公司涨幅靠前。

表1：SW 通信个股上半年涨幅前 20 大多为光模块产业链

股票代码	股票简称	行业	上半年涨幅	股票代码	股票简称	行业	上半年涨幅
301205.SZ	联特科技	光器件	772.87%	002902.SZ	铭普光磁	磁性器件	149.74%
603083.SH	剑桥科技	光模块	459.52%	300620.SZ	光库科技	光芯片&光器件	144.40%
300308.SZ	中际旭创	光模块	449.57%	002281.SZ	光迅科技	光模块	137.43%
300394.SZ	天孚通信	光器件	329.90%	688182.SH	灿勤科技	射频器件	121.12%
300913.SZ	兆龙互连	线缆	303.35%	600105.SH	永鼎股份	线缆	118.48%
300502.SZ	新易盛	光模块	302.80%	300548.SZ	博创科技	光芯片&光器件	106.66%
300570.SZ	太辰光	光器件	278.35%	688313.SH	仕佳光子	光器件	95.00%
300025.SZ	华星创业	内容	205.05%	301191.SZ	菲菱科思	数通设备	91.79%
603042.SH	华脉科技	线缆&光器件	174.37%	688292.SH	浩瀚深度	信息安全	88.20%
688159.SH	有方科技	物联网模组	172.03%	301165.SZ	锐捷网络	数通设备	85.29%

资料来源：iFinD，东兴证券研究所

2. 紧握 AI 算力主线——新生产力工具背后的技术变革，这一轮 800G 周期有何不同？

大模型是一种新的生产力工具，来帮助我们更准确地认知世界和预测世界。大模型（Foundation Model）的出现是一系列的变革，我们看到不仅是 800G 光模块、HBM 需求旺盛的现象，其背后是深度学习对于链上所有参与环节的突破，包括解决存储墙出现的 HBM、解决算力墙出现的集群和分布式训练、解决通信墙而出现的网络架构革新、解决功率墙出现的液冷等等，是通信和电子一系列技术新一轮的变革。

图3：AI 产业链上新技术的底层逻辑——是通信、电子领域等一系列技术变革



资料来源：东兴证券研究所绘制

2.1 本轮光模块超预期的直接原因：网络架构的变革导致光模块用量大幅增长

本轮光模块 800G 周期有何不同？光模块行业是一个周期成长的行业，本身遵循光摩尔定律，即每 2-3 年网络带宽翻倍，因此光模块公司的业绩往往跟随速率升级周期节奏。而本轮 800G 周期和以往 100G、400G 的不同之处在于，不仅仅是速率升级，还有网络架构的变革。我们看到 AI 数据中心网络架构有两个变革：一个是从 Spine-Leaf 架构→Fat-tree 架构；二是 GPU All-to-all 直连，这两种变革都额外地、大幅地增加了光模块需求。

- 变革 1：Spine-Leaf 架构→Fat-tree 架构：**与云计算普遍采用的 Spine-Leaf 架构不同，Fat-tree 架构是一种无阻塞（Non-blocking），交换机上行和下行的速率一致，在 AI/ML 的数据中心中普遍采用。由于

不做收敛，需要更多的光口来保证上下行速率一致，因此增加了光模块数量。例如，传统的 Spine-Leaf 一般收敛比是 3:1，而 Fat-tree 1:1 的收敛比使得光模块用量是原来的 3 倍；

- **变革 2：集群内 GPU All-to-All 直连。**在英伟达 DGX A100 中，NVLink 取代 PCIe，负责对服务器内 GPU 进行直连（载体为 PCB），因此获得更大的带宽，加快训练速度，但跨服务器的 GPU 依然要通过英伟达的 IB（Infiniband）/Ethernet 进行通信。而在英伟达 DGX H100 集群中，不同服务器的 GPU 之间使用 NVLink 连接到 NVSwitch 进行通信，而不是 IB/Ethernet 进行连接，因此新增了一套 NVSwitch 相连的光网络系统，每个服务器有 18 个 OSFP 和 NVSwitch 相连，大幅增加了光模块的使用量。

我们计算，在英伟达 DGX A100 集群中，GPU:光模块(200G)=1:6；而在 DGX H100 中，如果不使用 NVSwitch，GPU:光模块（400&800G）=1:2.5，如果使用 NVSwitch 将集群内所有 GPU 进行连接，那么 GPU:光模块（400&800G）之比将从 1:2.5 大幅升高至 1:7。

表2：NVSwitch 和 Fat-tree 的使用，使得英伟达 DGX 集群中光模块数量大幅增长

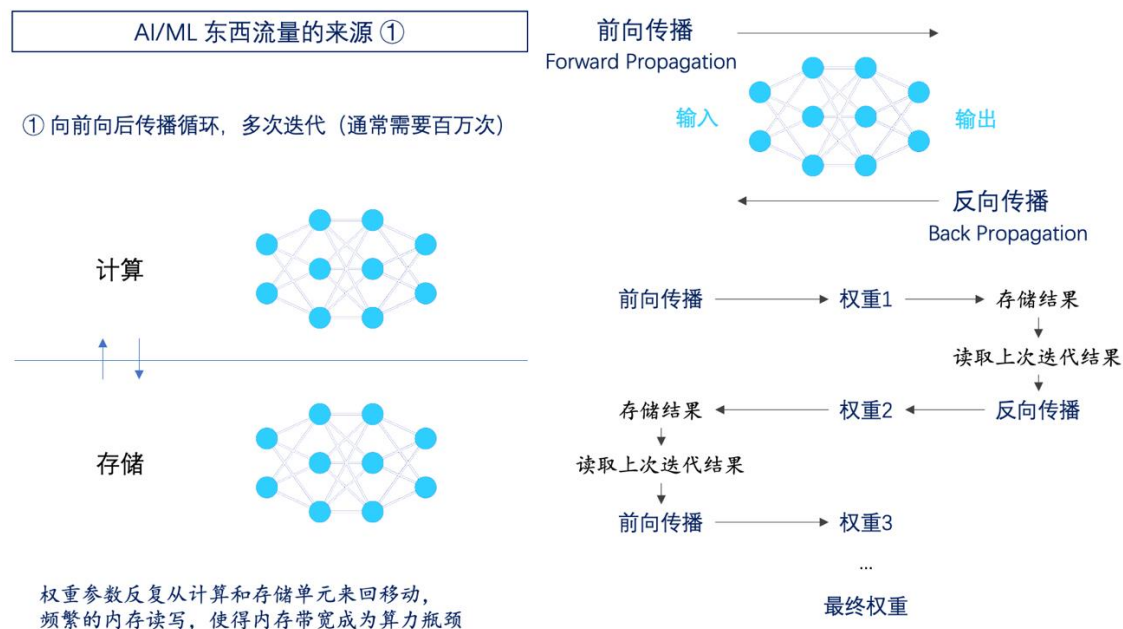
集群	DGX A100	DGX H100	DGX H100 + NVLink
发布时间	2020.5	发布时间	2022.6
GPU间通信（服务器内部）	NVLink 3	GPU间通信（服务器内部）	NVLink 4
GPU间通信（跨服务器）	Infiniband/Ethernet	GPU间通信（跨服务器）	Infiniband/Ethernet NVLink on optics
服务器内GPU数量	8	服务器内GPU数量	8
SU数量	7	SU数量	4
集群内服务器数量	140	集群内服务器数量	128
集群内GPU数量	1120	集群内GPU数量	1024
服务器 I/O	200G	服务器 I/O	800G
服务器 - Leaf cables	1120	交换机I/O	400G
① Infiniband/Ethernet 连接		服务器800G端口（个）	4
Leaf - Spine cables	1120	Leaf 交换机（个）	32
Spine - Core cables	1120	Spine交换机（个）	16
计算端线缆	3360	服务器 - Leaf 800G光模块（接服务器）	512
200G光模块	6720	服务器 - Leaf 400G光模块（接Leaf交换机）	1024
		Leaf-Spine 800G光模块	1024
② NVSwitch		NVLink 光口	无光模块直连
GPU ALL-to-ALL直连		单服务器NVLink-NVSwitch光口	18 x 800G OSFP
		800G光模块数量	-
		光模块合计	7168
		GPU : 光模块	1:7

资料来源：Nvidia，东兴证券研究所整理

2.2 网络架构的变革的驱动力：传统适用于 HPC 的网络，无法满足大模型集群训练的带宽和时延需求

大模型训练的本质是将权重参数网络多次迭代。深度学习目标是通过反复迭代，算出预测输出准确率最高时的权重。首先，模型设定初始权重（通常服从均值为 0 的高斯分布），从输入逐步计算每一层神经元的值，直到计算出模型的输出，将其和实际结果比对计算出偏差，这是向前传播（Forward propagation）。权重和偏差的数据会暂存到 DRAM 中。而利用得到的偏差，再通过计算梯度调整上一层权重，逐渐反推到第一层，这是反向传播（Back propagation）。这样，计算单元每进行一次迭代，都需要把上一次迭代得到的参数从存储中读取出来，完成计算后再存回存储，以备下一次迭代使用。现代的神经网络通常有十亿级别甚至百亿的参数，海量的数据因此需要不停地从存储和计算单元反复转移，需要至少数百万次的迭代（大部分时间计算单元需要等待存储单元读写数据，存储首先成为了算力瓶颈），直到输出可接受的结果。

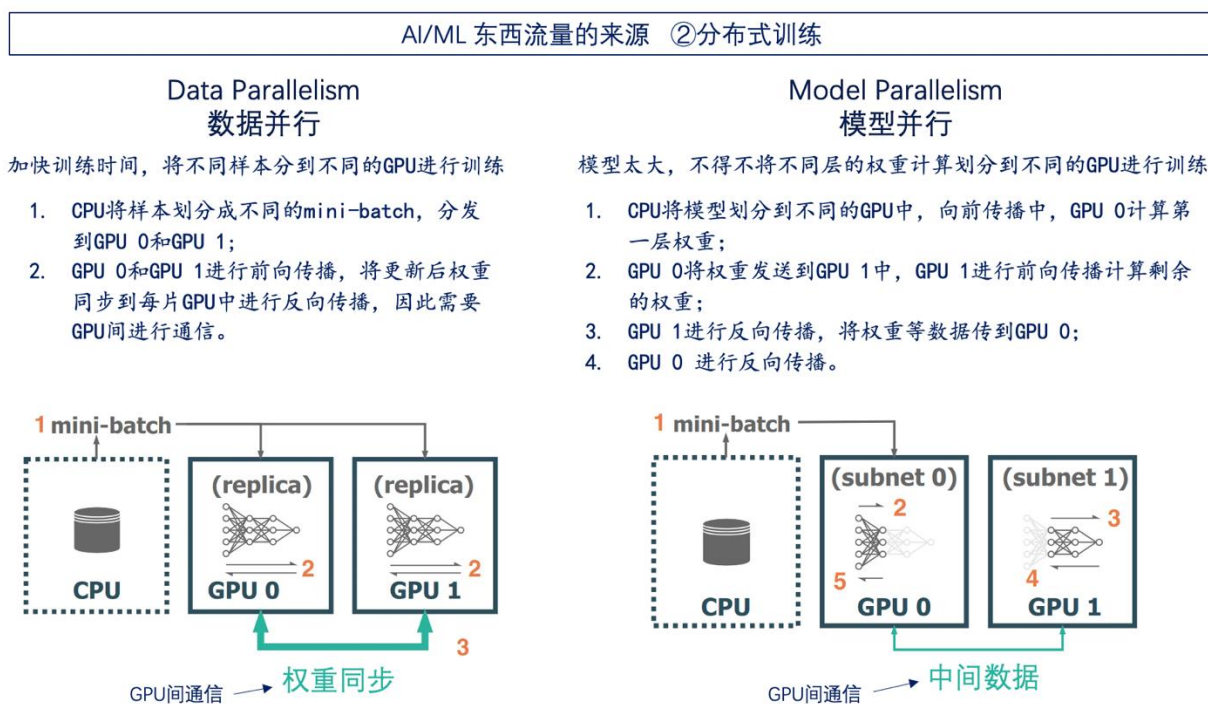
图4：模型训练的本质是大量的参数在不同的计算和存储单元之间来回流动



资料来源：东兴证券研究所绘制

分布式训练需要 GPU 之间通信，使得 AI/ML 数据中心东西流量大增，流量模式也异于传统云计算。大模型数十亿甚至百亿的参数，远超单片芯片的计算能力，因此，目前的大模型训练通常把数百片甚至数千片 GPU

图5：分布式训练是 AI 数据中心东西流量的来源



资料来源：OneFlow，东兴证券研究所绘制

组成一个集群进行训练。主要有两种分布式训练，都涉及频繁的 GPU 间通信（假设两片 GPU 进行训练的场景）：

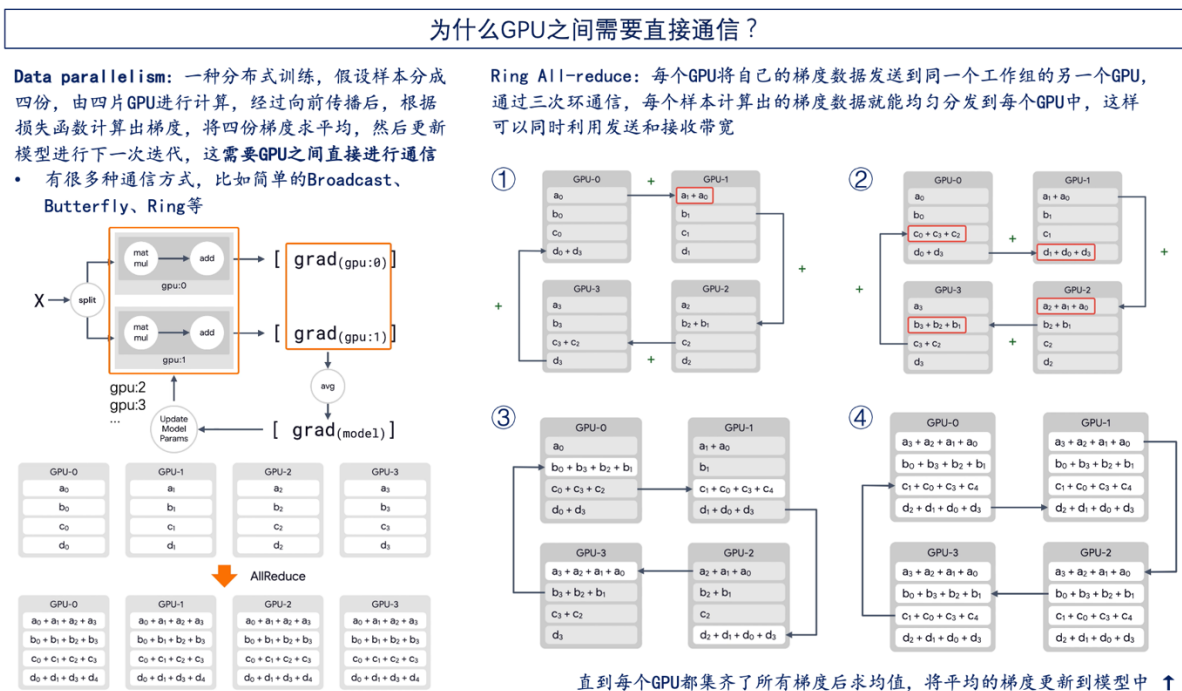
- 1) **数据并行 (Data parallelism)** 将不同样本分到不同的 GPU 进行训练，可以加快训练时间。首先，CPU 将样本划分成不同的 mini-batch，分发到 GPU 0 和 GPU 1；GPU 0 和 GPU 1 进行前向传播，将更新后权重同步到每片 GPU 中进行反向传播，因此需要 **GPU 进行通信**，以保证模型的权重是同步的。
- 2) **模型并行 (Model parallelism)** 将不同层的权重计算划分到不同的 GPU 进行训练。首先，CPU 将模型划分到不同的 GPU 中，向前传播中，GPU 0 计算第一层权重；第二步，GPU 0 将权重发送到 GPU 1 中，GPU 1 进行前向传播计算剩余的权重；第三步，GPU 1 进行反向传播，将权重等数据传到 GPU 0；第四步，GPU 0 进行反向传播，以此循环。权重、偏差等中间数据在不同的 GPU 间流动。

更具体地，在数据并行训练中，通过 Ring All-reduce 算法，GPU 之间进行了快速的权重同步：

Ring All-reduce：每个 GPU 将自己的梯度数据发送到同一个工作组的另一个 GPU，这样可以同时利用发送和接收带宽，比如：

- 第一步，GPU-0 发送 a_0 到 GPU-1，同时，GPU-1 将 b_1 发送到 GPU-2，GPU-2 将 c_2 发送到 GPU-3，GPU-3 将 d_3 发送到 GPU-0，以上收和发同时进行，这是一次通信；
- 第二步，GPU-0 将上一轮收到的 $d_3 + d_0$ 发送到 GPU-1，同时，GPU-1 将上一轮收到的 $a_0 + a_1$ 发送到 GPU-2……以此类推；
- 第三步，GPU-0 将上一轮收到的 $c_0 + c_3 + c_2$ 发送到 GPU-1……这样，每个 GPU 都集齐了其它 GPU 求的梯度。

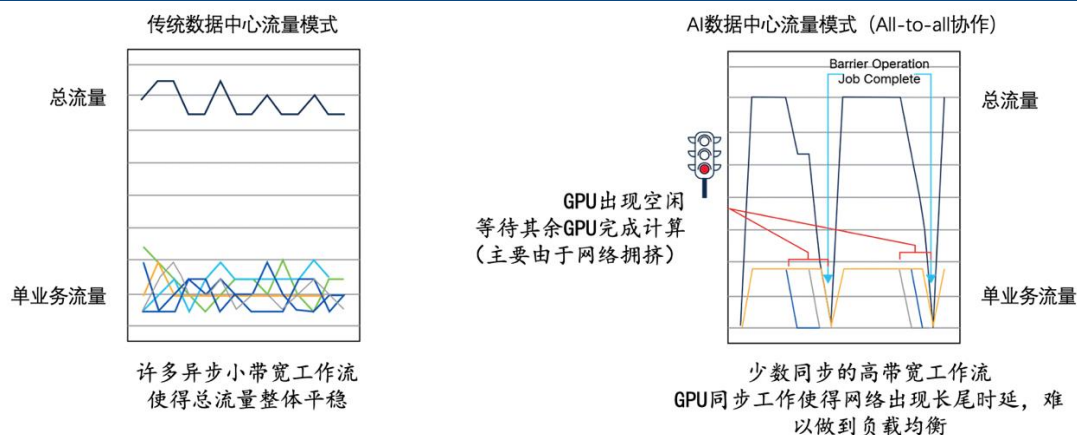
图6：分布式训练中，每个 GPU 负责计算一部分样本，直接通信，提高计算效率



资料来源：Tensorflow，东兴证券研究所绘制

因此，大量的数据需要在不同的服务器之间来回流动，为了实现同步，需要等所有 GPU 都计算完再分发数据，因此有部分任务小的 GPU 出现空闲，出现了长尾时延。这种集群同时协作的特点，使得数据中心流量呈现明显的瞬时性，流量模式和传统云计算最大的不同在于：云计算每个任务是异步的小流量，因此整体流量比较均衡。但 AI 的数据是短时的大流量，这使得在传统的云计算网络架构下，神经网络的训练会造成网络延迟和训练速度的降低。而无阻塞（Non-blocking）的网络，由于其不收敛的特点，可以提高网络效率，加快训练速度，这是专用于 AI/ML 训练的数据中心，其网络架构从 Spin-leaf 转到 Fat-tree 的原因。

图7：AI 流量和传统云计算流量的不同之处

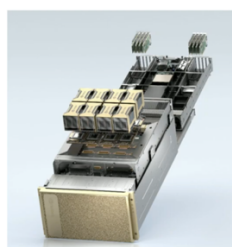


资料来源：Cisco，东兴证券研究所

为什么英伟达使用了 GPU All-to-all 直连？自 2016 年开始英伟达在 P100 上使用了 HBM2，至今 HBM3 已经用在 H100 上，存储带宽累计提升 4 倍。GPU 本身为了解决存储墙而对 HBM 的采用，虽然使得存储带宽的大幅提升，但也进一步拉大了存储带宽和网络带宽的差距，使得网络带宽成为算力瓶颈。以 DGX A100 为

图8：DGX H100 采用的 NVSwitch 可以将存储和网络带宽差进一步缩小

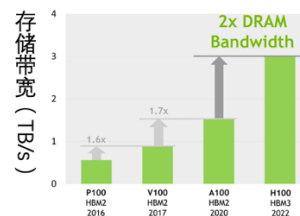
为什么英伟达使用GPU All-to-all 互联？



DGX A100中的光网络瓶颈

- 8x A100, 640GB HBM2, 每个GPU 用有 2 TB/s 存储BW (带宽)
- 一个DGX A100服务器总共提供 16 TB/s 的存储带宽
- 服务器内8片A100使用NVLink3互联
- 总共 2.4 TB/s 的BW
- 10x CX-6网络适配器, 200 Gb/s速率
- 500 GB/s 网络带宽

32x
带宽差距！



- 8x H100, 每个GPU 用有 3TB/s 存储BW
- 一个DGX H100服务器总共提供 24 TB/s 的存储带宽
- 8x 400Gb/s IB/Ethernet接口 (通过800G OSFP)
- 800 GB/s 网络带宽
- 额外加入服务器间NVLink光网络系统
- 72x NVLink4, 通过18x 800G OSFP
- 与NVSwitch相连 (32x 800G OSFP)
- +3.6 TB/s = 4.4 TB/s 网络带宽

5.5x
带宽差距



HBM2自2016年开始在P100上使用, 至今HBM3已经用在H100上, 存储BW累计提升4倍

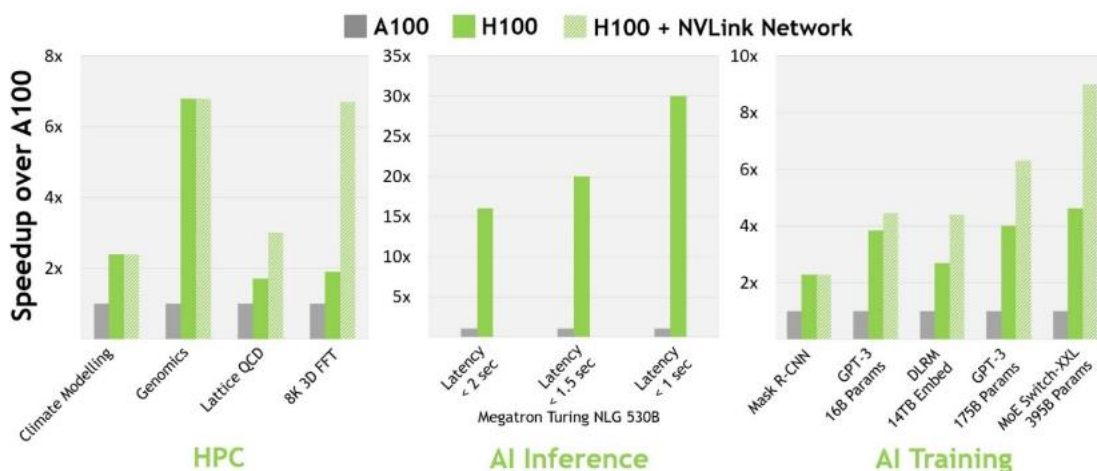
存储带宽的大幅提升, 进一步拉大了存储带宽和网络带宽的差距

网络带宽成为算力瓶颈

资料来源: Nvidia, 东兴证券研究所绘制

例, 由于不同服务器间的 GPU 通过 IB/Ethernet 连接, 网络带宽仅为 500GB/s, 而存储带宽高达 16 TB/s, 网络带宽差距高达 32 倍。因此, 英伟达在 DGX H100 中额外引入了服务器间 GPU All-to-all 直连, 通过 18 个 800G OSFP 光模块和 NVSwitch 相连, 网络带宽额外增加了 3.6TB/s, 与存储带宽的差距缩小到 5.5 倍。正如我们前面计算, 这一直连是光模块增量最大的部分, 使得 GPU:光模块从 1:2.5 大幅提升至 1:7。英伟达统计, H100 集群和 NVSwitch 配合使用, 训练速度是通过 IB/以太网通信的 H100 的三倍。因此, 为了实现更快的训练速度, 网络速率/带宽的提升是持续的。我们看到, 在今年 5 月底最新发布的 DGX GH200 集群中, 英伟达继续沿用了 NVSwitch 系统进行 GPU 互联, 形成二级无阻塞的 Fat-tree 网络, 并把 GPU 互联的速率升级到 900GB/s, 进一步提升了 GPU 间通信能力。

图9: 使用了 NVSwitch 的 H100 集群, 训练速度大幅高于使用 IB/Ethernet 的 H100 集群



资料来源: Nvidia, 东兴证券研究所

2.3 下一步是什么？200G PAM4 和持续提升的带宽需求

未来，模型大型化的演进，会持续提升的算力需求。AI 对算力增长的推动主要来自两个方面：1) 更大规模的模型，会持续向更高数量级的参数和更大样本集演进，以获得更准确的结果。例如，OnpenAPI 发现，随着 GPT-3 的参数规模从 130 亿拓宽到 1750 亿，其完成算术题的准确性从<20%跃升至接近 100%，达到了量变到质变的变化；2) 多模态模型，由于复杂度上升，同样提升了算力的要求。

HBM 迭代加快，更高带宽的 HBM3E 有望今年底量产，将进一步推动网络带宽的提升。作为第一个推出 HBM 的公司，SK 海力士将在下半年推出 HBM 3E 新品。2022 年，SK 海力士 HBM 市场全球市场份额高达 50%（Trendforce 数据），是英伟达的主要供应商。根据 Tom's Hardware 报道，日前（2023 年 6 月），英伟达正在评估 SK 海力士新推出的 HBM3E。HBM3E 带宽将从 HBM3 的 819.2GB/s 提升至 1TB/s，即 25% 的提升，计划于 2023 年下半年送样，2023 年底或者 2024 年开始上量，有望应用在英伟达的新一代的 AI 和 HPC GPU 中。随着新一代 HBM 的量产，网络带宽扩张确定性较高。

算力、存储、网络是绑定关系，更高的算力、更大带宽的存储，必然需要升级网络。800G 周期从 2022 年开始，目前数据中心 800G 产品主要基于 100G PAM4 调制，而第二代 800G 产品将采用 200G PAM4，可以进一步提升带宽、降低功耗。在今年的 3 月举办的 OFC 上，包括 II-VI 等在内的头部光模块厂商都展出了基于 200G PAM4 方案的 800G 和 1.6T 光模块样品，产业落地逐步加快。目前来看，作为算力需求最大的公司，英伟达将最有希望首先采用 200G PAM4。

图 10：数据中心光网络演进是算力和存储驱动的

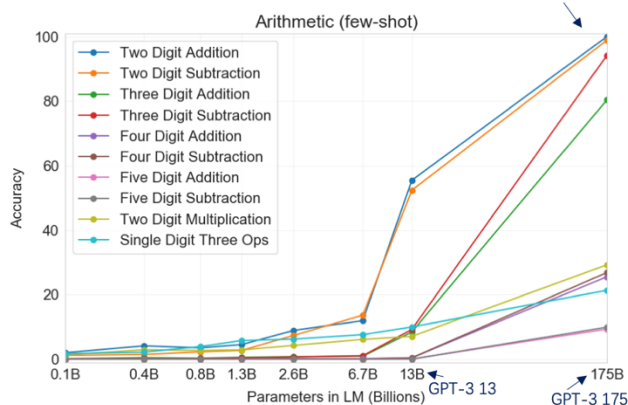


- ① 持续的算力提升需求 ← 更大规模的模型（参数、样本）
← 多模态模型
- ② 存储的演进比较确定 → 进一步提升网络要求
- ③ 算力、存储、网络，算力和存储升级，传导到网络升级，避免成为瓶颈

数据中心光模块演进路线

	400G → 4 λ	800G → 8 λ	800G → 4 λ	1.6T → 8 λ	1.6T → 8 λ
服务器电口	50G PAM4	100G PAM4	100G PAM4	100G PAM4	200G PAM4
电通道数	8	8	8	16	8
光口	100G PAM4	100G PAM4	200G PAM4	200G PAM4	200G PAM4
DSP制程	7 nm	7 nm/ 5nm	5 nm	3 nm	3 nm
PAM4 DSP芯片面积	1x	2x (7nm)	1.X x	1.7x	1.5x
PAM4 DSP功耗	1x	2x (7nm)	1.4 x	1.75x	1.75x
其它光器件、TIA、Driver	1x	2x	1.X x	2x	2x
激光器功耗	1x	2x	1.X x	2x	2x
最小的可插拔尺寸	QSFP-DD OSFP	QSFP-DD OSFP	QSFP-DD OSFP	OSFP-XD	OSFP-XD

随着参数达到1750亿，GPT-3的算术准确度出现飞跃



资料来源：Marvell, OpenAI, 东兴证券研究所

2.4 光模块：我国目前竞争优势最突出的 AI 产业链环节

事实上，光模块已成为我国优势产业。近 5 年来，中国光模块厂商凭借强大的工程师红利，在与海外光模块厂商竞争中不断占据上风。2010 年，全球前十大光模块厂商仅光迅科技一家中国企业，到了 2022 年，旭创科技（排名并列第 1）、华为（排名第 4）、光迅科技（排名第 5）、海信宽带（排名第 6）、新易盛（排名第 7）、华工正源（排名第 8）、索尔思光电（排名第 10）七家光模块厂商进入全球前十，中际旭创更是凭借在数通领域的强大优势，与 II-VI 并列第一，连续两年成为全球光模块龙头。我们认为，未来中国光模块厂商优势稳固，在全球光模块产业链中的比重将继续提升。

表3：从 2010 年到 2022 年，全球 TOP 10 光模块厂商中 7 家为中国企业，中国光模块产业优势已十分明显

排名	2010	2016	2018	2020	2021	2022
1	Finisar	Finisar	Finisar	II-VI (Finisar)	中际旭创 & II-VI	中际旭创 & II-VI
2	Op-next	海信宽带	中际旭创	中际旭创		
3	Sumitomo	光迅科技	海信宽带	华为 (海思)	华为 (海思)	Cisco (Acacia)
4	Avago	Acacia	光迅科技	海信宽带	Cisco (Acacia)	华为 (海思)
5	Source Photonics	FOIT (Avago)	FOIT (Avago)	Cisco	海信宽带	光迅科技
6	Fujitsu	Oclaro	Lumentum/Oclaro	Broadcom	Broadcom (Avago)	海信宽带
7	JDSU	中际旭创	Acacia	Intel	新易盛	新易盛
8	Emcore	Sumitomo	Intel	光迅科技	光迅科技	华工正源
9	WTD	Lumentum	AOI	新易盛	Molex	Intel
10	NeoPhotonics	Source Photonics	Sumitomo	华工正源	Intel	Source Photonics

注：A 股上市公司均标红；Source Photonics 于 2021 年被华西股份收购，因此从 2021 年之后开始标红；2022 年 7 月，II-VI 完成收购 Coherent，为了方便对比，我们依然沿用 II-VI 名称。

资料来源：LightCounting, 东兴证券研究所

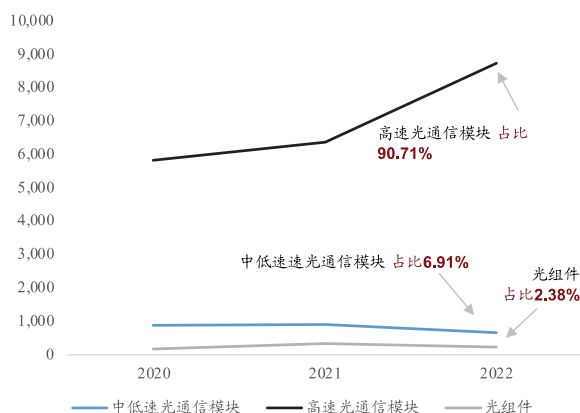
2.5 中际旭创：光模块龙头，尽享 800G 红利

中际旭创（300308.SZ）子公司苏州旭创（Innolight）为全球光模块龙头，主要产品为数据中心的高速率光模块，主要客户包括谷歌、AWS、FB 等知名云厂商；电信市场光模块由子公司储翰负责销售。

2022 年，高速光通信模块（100G/200G/400G/800G）为公司主要收入来源，占总营收比例为 91%。随着 800G 高速光模块上量，公司高速率光模块毛利率走高，从 2020 年的 25% 提升至 2022 年的 30%。

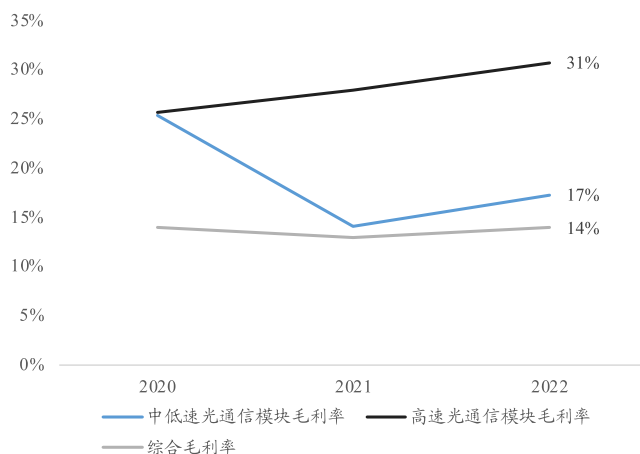
公司自凭借 100G 周期切入北美云大客户，2016 年市场份额全球第 7。凭借快速的迭代能力、充足的产能、稳定的交付能力、优秀的客户沟通能力，公司不断增加在北美云厂商的市场份额，2021 年开始，公司市场份额与 II-VI 并列第一。公司竞争优势突出，800G 份额继续领先，有望充分享受本轮 AI 周期下 800G 光模块红利。

图 11：公司绝大部分收入来自于数据中心高速光模块



资料来源：中际旭创年报，东兴证券研究所

图 12：近年随着 800G 新品导入，高速率模块毛利率攀升



资料来源：中际旭创年报，东兴证券研究所

3. 关注中国光模块产业崛起机遇

3.1 光模块厂商扶持上游意愿明显，光模块芯片&器件替代加速

在光器件的所有原材料中，光芯片、陶瓷外壳和 TEC 的国产化程度较低。其中，光芯片价值量占比(31.67%)最高。全球当前处于生产光芯片的龙头企业有美国的博通、II-V、Lumentum，日本的三菱、住友等，国内有源光芯片中，EML 较为突出的有华为海思和源杰科技，成熟 DFB 产品的有源杰科技、光迅科技、仕佳光子、博创科技等，VCSEL 方面较为成熟的是长光华芯。

除此之外，陶瓷外壳和 TEC 的国产化程度同样较低。陶瓷外壳占光器件成本约 16%，目前日本的京瓷处于领先地位，国内有中瓷电子正在快速突破。而 TEC 占 13%这一不小的比例，全球知名的公司有日本的 Ferrotec、美国的 Phononic，国内目前仅有富信科技拥有成熟量产光模块 TEC 的能力。

表4：光器件中各类组件占比及目前国产化情况

原材料	占比	全球对标	境内对标企业
光芯片	31.67%	美国 博通、II-VI、Lumentum、Macom	EML 华为（海思）、源杰科技
			DFB 源杰科技、光迅科技、仕佳光子、博创科技、武汉敏芯、中科光芯、光安伦、云岭光电
			VCSEL 长光华芯
		日本 三菱电机、住友	无源光芯片 仕佳光子、光迅科技
探测器		PIN、APD	光迅科技、三安光电、云岭光电、武汉敏芯等
陶瓷外壳	15.53%	日本 京瓷、NGK/NTK	中瓷电子

TEC	13.10%	美国 Phononic、II-VI	富信科技
		日本 Ferrotec、KELK	
		俄罗斯 RMT	
自由空间隔离器	7.37%	已实现国产化	昂纳科技、福晶科技等
非球面透镜	5.40%	已实现国产化	舜宇光学、蓝特光学、腾景科技等
其他	26.93%	-	

注：A 股及港股上市公司已标红，比例为占原材料采购比

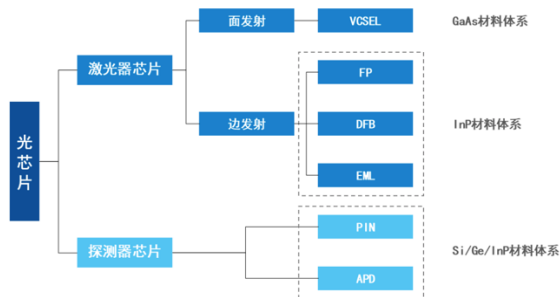
资料来源：大连优讯，东兴证券研究所

3.2 光模块上游国产替代方向 1：高端光芯片

光芯片是光模块中价值量最高的部分。光芯片主要为激光器芯片和探测器芯片，分别完成电光转换和光电转换的功能。光器件厂商将光芯片与透镜、金属盖、陶瓷套管等组件搭配分别封装成 TOSA、ROSA、BOSA 等光器件，再由光模块厂商将 PCB 与电芯片组成的驱动电路、结构件等封装成光模块。一般来说，芯片占据光模块整体成本的 50%~70%，是价值量最高的部分。

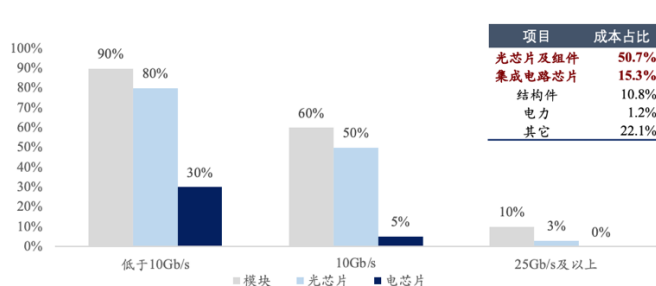
10G DFB 国产化相当成熟，25G DFB 国产化加速，50G DFB 仍有非常大的空间。2017 年，我国 10G 光芯片国产化率早已接近 50%，2.5G 等 10G 以下光芯片国产化率已达 80%，而 25G 光芯片国产化率不足 5%。近年来，“双千兆”建设带动运营商 10G PON 网络改造升级，10G DFB 光芯片基本已实现国产化，竞争渐趋激烈。而 25G DFB 国内厂商中能形成稳定出货的较少，其中源杰科技 25G DFB 已批量稳定出货，50G DFB 国内量产厂商稀缺，国产化空间巨大。

图13：光芯片分为激光器芯片和探测器芯片，分别负责发射和接收光信号



资料来源：源杰科技招股书，东兴证券研究所

图14：2017 年，我国 25G 高端光芯片国产化率不足 5%



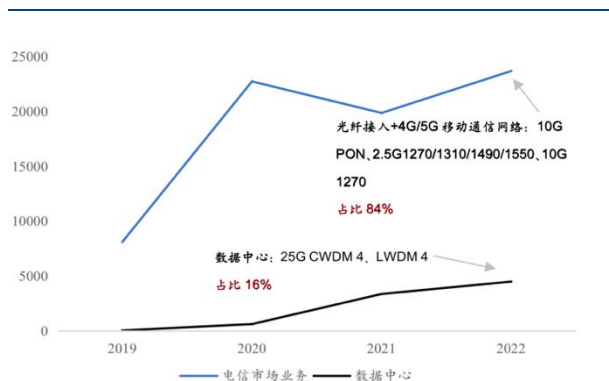
资料来源：工信部，中际装备：发行股份购买资产并募集配套资金暨关联交易报告书，东兴证券研究所

3.3 源杰科技：国内光芯片优秀厂商

源杰科技（688498.SH）是国内少数可以量产 25G DFB 产品的光芯片厂商，由华为旗下哈勃投资，与华为共同研发形成部分专利，主要客户为中际旭创、铭普光磁等。

数据中心产品发力，营收占比迅速扩大。2022 年，公司的电信市场业务收入 2.4 亿元，同比增长 19.26%。主要受益于电信运营商对 10G PON 网络建设的投入；得益于 25G DFB 激光器芯片批量出货，数据中心及其他业务实现收入 4,477.80 万元，同比增长 33.69%。公司数据中心产品从 2020 年的 3%，提升至 2022

图15：源杰科技数据中心收入逐快速增长



资料来源：源杰科技招股说明书、年报，东兴证券研究所

图16：源杰科技数据中心产品和新品进展（2022年）

应用领域	速率	产品类型
数据中心 100G/200G/400G 2Km	25G	1270~1330nm CWDM
	25G	LWDM4 Channel
	50G	1270~1330nm PAM4 CWDM4
	CW	1310nm High Power 70mW
	CW	1270~1330nm High Power 50mW
	CW	1310nm High Power 25mW
	50G	客户送样阶段 50G PAM4DFB激光器开发
	100G	验证测试阶段 100G EML 激光器开发
	车载激光雷达	1550nm Pulse DFB
	/	

资料来源：源杰科技年报，东兴证券研究所

年的 16%。公司是国产光芯片第一梯队公司，随着数据中心光模块中光芯片的国产化率提升，数据中心业务有望持续受益。

多款数据中心新品已完成研发，进度领先可用于目前数据中心主流速率光模块。公司有多款适用于数据中心光模块的新品，其中，50G PAM4 DFB 目前正在给客户送样，100G EML 处于验证测试阶段，可以用于目前数据中心 100G/400G/800G 的主流速率。

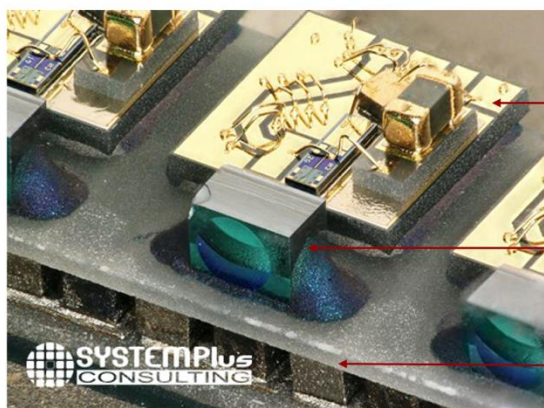
3.4 光模块上游国产替代方向 2：TEC

什么是 TEC？TEC 即半导体热电制冷器件（Thermoelectric Cooling Modules），是一种利用半导体材料的佩尔捷效应（Peltier Effect）实现制冷或加热的电子器件。与传统的机械压缩制冷方式不同，TEC 更适用于尺寸、便携性、静音性要求较高的小容积、小冷量制冷场景，如消费电子领域的小冰箱等，以及对环境适应性要求较高的场景，如激光系统冷却、光学的探测器和传感器的温度控制等。

为什么光模块需要 TEC？激光器发光中，部分电能会转化成热量浪费掉，但是这些热量还会对自身工作有影响，光芯片工作温度每变化 1℃，激光器发射的波长会漂移 0.08nm 至 0.1nm。波分复用特别是 DWDM（密集波分复用）激光器通常要求将波长间隔控制在 0.8nm、0.4nm 甚至 0.2nm，需要在光器件中内置 TEC 使激光器处于恒温的工作环境，保证光模块内部各路激光的输出波长及功率稳定，以及更高的安全性和更长的使用寿命。

TEC 在光模块的使用场景？DWDM 光模块、EML 光模块（通常为数据中心 100G/400G 等高速光模块）、相干光模块一定会使用到 TEC。

图17：TEC 在光模块中紧贴激光器芯片，保证光模块内部各路激光的输出波长及功率稳定



TEC紧贴在4片EML芯片之下，为激光芯片降温



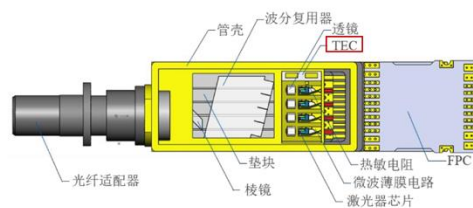
400G 数据中心光模块

TEC在光模块中的位置和种类

**BOX封装
TOSA TEC**
常用于数据中心100G
LR4/DR1, 400G
DR4/FR4/ZR光模块
尺寸：一般为4mm - 6mm



**TO CAN封装
TEC**
常用于电信
10G/25G/50G光模块，
场景为 10GPON、5G、
FTTx
尺寸：通常<3mm



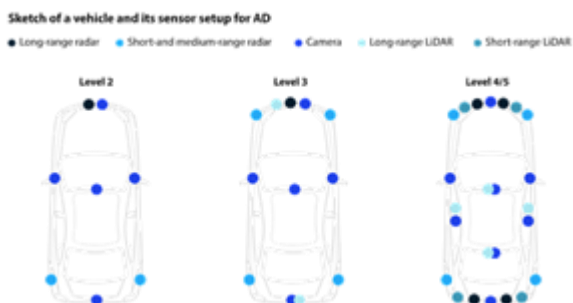
100G EML TOSA

资料来源：大连优讯，Phononic，SystemPlus，东兴证券研究所绘制

车规环境工作温度高，激光器件温控重要性凸显。汽车零部件所需的工作温度范围往往相当大（可以高达125℃），可能导致光源的波长漂移过大，从而影响光学系统信噪比，降低性能。在车载激光雷达中，FMCW激光雷达必须使用TEC进行波长控制，而使用EEL的激光雷达可以搭配TEC，使器件在较低的亚环境工作温度，提高激光雷达的整体可靠性。

- **FMCW 激光雷达**：由于需要使用频率的变化来判断物体距离，光波长（或频率）的控制非常重要，因此TEC是必要的。
- **探测芯片 APD/PIN**：使用TEC会提高PIN检测器的灵敏度。此外，使用TEC的主动冷却可以为APD带来更大的稳定工作温度范围。

图18：从 L2 到 L4/5 级别,单车激光雷达数量明显提升



资料来源：McKinsey，东兴证券研究所

图19：FMCW 激光雷达必须使用 TEC 进行波长控制

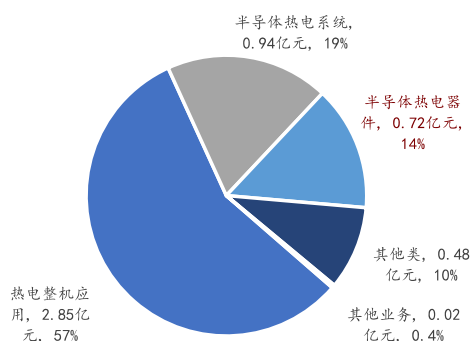
系统	分类	TEC使用情况	实物图
激光发射	VCSEL	VCSEL温度稳定性较好，可以不使用TEC	VCSEL激光雷达及其光源模组
	EEL	使用TEC可以提高性能	905nm EEL 激光雷达及其光源模组
	FMCW	必须使用TEC来控制波长	FMCW雷达
激光接收	PIN/APD	可以稳定工作温度	探测器

资料来源：Phononic，炬光科技招股书，Insight LIDAR，东兴证券研究所

3.5 富信科技：国内稀缺的光模块 TEC 厂商

富信科技（688662.SH）是国内少数能够生产用于光模块温控的微型热电制冷器件的国产厂商之一，II-VI 公司参投（间接持有 15.16% 股权）。公司生产的用于通信领域的高性能微型热电制冷器件与 Ferrotec、Phononic

图20：富信科技各业务线营收占比（2022 年）



资料来源：富信科技年报，东兴证券研究所

图21：富信科技光模块 TEC 产品与可比公司对比，已经能满足光模块温控使用要求

序 号	公司名称	产品系列	产品型号	尺寸 (mm)				晶粒对数	集成度	热电性能		热端温度 Th (°C)
				W	L1	L2	H			ΔTmax (°C)	Qcmax (W)	
1	KELK	Mini-TECs	KSAH012	2.56	3.8	4.8	0.97	12	1.23	74 92	1.7 1.8	27 70
2	Phononic	TO Can TECs	FBP-015289	1.5	1.5	2.1	0.9	8	3.56	87	0.96	75
3	Ferrotec	超微型致冷器	20034/008/009AN	1.8	1.8	2.4	0.9	8	2.47	76	0.6	50
4	lairdthermal	OptoTEC™	OT08-04-F0-0203-11-W2.25	3.4	1.8	3.4	2.44	4	0.65	68	0.2	27
		OT Series								76	0.2	50
5	富连京	超微型系列 (FPM)	FPM1-S014	1.4	3.2	3.8	1.3	5	1.12	67	0.5	27
6	富信科技	超微型致冷器件	TEM1-010012A	1.8	2	2.6	0.8	10	2.78	70.92 93.97	0.87 1.1	27 85

资料来源：富信科技招股说明书，东兴证券研究所

等外资知名企业同类产品处于同一水平区间，目前已在国内主要光模块客户量产。

2022 年，公司半导体热电器件收入 0.72 亿，占营收比例 14%，目前公司半导体热电器件下游以消费领域为主，公司积极拓展更高端的通信领域 TEC，截至 2022 年末，公司已经具备了年产 200 万片 Micro TEC 的批量化生产能力。

风险提示

AI 技术发展不及预期，中美贸易冲突加剧。

相关报告汇总

报告类型	标题	日期
行业深度	FPGA 提供了什么价值？——“FPGA 五问五答”系列报告一	2023-4-17
行业深度	FPGA 和 CPU、GPU 有什么区别？为什么越来越重要？——“FPGA 五问五答”系列报告二	2023-4-17

资料来源：东兴证券研究所

分析师简介

分析师：李美贤

中国人民大学硕士，2019 年 7 月加入东兴证券研究所，从事通信及电子研究，关注新兴科技领域，重点覆盖 AI、云计算、工业互联网等产业链。

分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，在此申明，本报告的观点、逻辑和论据均为分析师本人研究成果，引用的相关信息和文字均已注明出处。本报告依据公开的信息来源，力求清晰、准确地反映分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

风险提示

本证券研究报告所载的信息、观点、结论等内容仅供投资者决策参考。在任何情况下，本公司证券研究报告均不构成对任何机构和个人的投资建议，市场有风险，投资者在决定投资前，务必要审慎。投资者应自主作出投资决策，自行承担投资风险。

免责声明

本研究报告由东兴证券股份有限公司研究所撰写，东兴证券股份有限公司是具有合法证券投资咨询业务资格的机构。本研究报告中所引用信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，报告中的信息或意见并不构成所述证券的买卖出价或征价，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。

我公司及报告作者在自身所知情的范围内，与本报告所评价或推荐的证券或投资标的的存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，我公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本报告版权仅为我公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发，需注明出处为东兴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本研究报告仅供东兴证券股份有限公司客户和经本公司授权刊载机构的客户使用，未经授权私自刊载研究报告的机构以及其阅读和使用者应慎重使用报告、防止被误导，本公司不承担由于非授权机构私自刊发和非授权客户使用该报告所产生的相关风险和法律责任。

行业评级体系

公司投资评级（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数）：

以报告日后的 6 个月内，公司股价相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

强烈推荐：相对强于市场基准指数收益率 15% 以上；

推荐：相对强于市场基准指数收益率 5%~15% 之间；

中性：相对于市场基准指数收益率介于-5%~+5% 之间；

回避：相对弱于市场基准指数收益率 5% 以上。

行业投资评级（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数）：

以报告日后的 6 个月内，行业指数相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5% 以上；

中性：相对于市场基准指数收益率介于-5%~+5% 之间；

看淡：相对弱于市场基准指数收益率 5% 以上。

东兴证券研究所

北京

西城区金融大街 5 号新盛大厦 B 座 16 层
邮编：100033
电话：010-66554070
传真：010-66554008

上海

虹口区杨树浦路 248 号瑞丰国际大厦 5 层
邮编：200082
电话：021-25102800
传真：021-25102881

深圳

福田区益田路 6009 号新世界中心 46F
邮编：518038
电话：0755-83239601
传真：0755-23824526