



AI系列：光是通信的必由之路，OCS已成功应用

中泰电子王芳团队

分析师：王芳

执业证书编号：S0740521120002

分析师：杨旭

执业证书编号：S0740521120001

分析师：王九鸿

执业证书编号：S0740523110004

分析师：张琼

执业证书编号：S0740523070004

中泰证券研究所
专业 | 领先 | 深度 | 诚信



- **谷歌大模型持续迭代，亟需算力支撑：**2023年12月，谷歌推出自身首个多模态大模型Gemini 1.0，其中高性能版本Gemini Ultra可对标GPT-4，2024年2月16日，谷歌Gemini模型Pro版迭代出1.5版本，该模型在长语境理解方面取得突破，显著增加可处理信息量；2024年2月22日，谷歌推出新型开源模型系列“Gemma”。谷歌不断加速迭代大模型，大模型性能提升除了软件层面优化，更需强大算力支撑
- **谷歌自研TPU性能不足，引入OCS光交换机提升计算集群性能：**根据公开数据，谷歌训练Gemini Ultra所使用芯片为TPUv4、TPUv5e，性能无法与英伟达H100相比，TPUv5e峰值算力只有英伟达三年前发布的A100的六成，最新版本TPUv5p峰值算力不到H100的三成，在此背景下，谷歌引入OCS光交换机提升整体计算集群性能，可降低功耗和延迟
- **谷歌TPU集群的大规模采用将给OCS光交换机产业链公司带来机遇：**谷歌TPU集群除谷歌自用外，已在Salesforce和Lightrick等客户大模型训练实现商用，带动OCS光交换机放量，OCS光交换机中的核心部件：**MEMS阵列、发射/接收模组及其光学器件、光模块、环形器、850nm光源、光纤及连接器、铜缆等**供应商均将受益
- **光连接是AI高速传输的必由之路，关注更广泛的光连接产业链：**计算设备之间通过光模块和光纤光缆实现连接和数据格式转换，关注光模块产业链（包括上游的光芯片、电芯片、光学器件以及光模块）和光纤光缆产业链
- **建议关注：1) OCS光交换机产业链核心标的：**
 - ✓ 环形器/波分复用器/光学器件：**【腾景科技】**
 - ✓ MEMS阵列代工：**【赛微电子】**
 - ✓ 光模块：**【中际旭创】**
 - ✓ 铜缆：长芯盛（**【博创科技】**收购）
 - ✓ 连接器：**【太辰光】**
 - ✓ 光源：**【光迅科技】**、**【长光华芯】**、纵慧芯光（**【华西股份】**投资）
- **2) 广泛的光连接产业，建议关注：**
 - ✓ 光芯片：源杰科技、仕佳光子、长光华芯
 - ✓ 光器件：天孚通信、腾景科技、太辰光、光库科技
 - ✓ 光模块：中际旭创、新易盛、光迅科技、博创科技、联特科技、华工科技、立讯精密
 - ✓ 光纤光缆：长飞光纤、亨通光电、中天科技、烽火通信
- **风险提示：**大模型商业化进程不及预期、全球数据中心资本开支不及预期、全球电信运营商资本开支不及预期、国内外宏观经济下行风险、相关公司国际供应链风险、相关数据更新不及时风险

目录

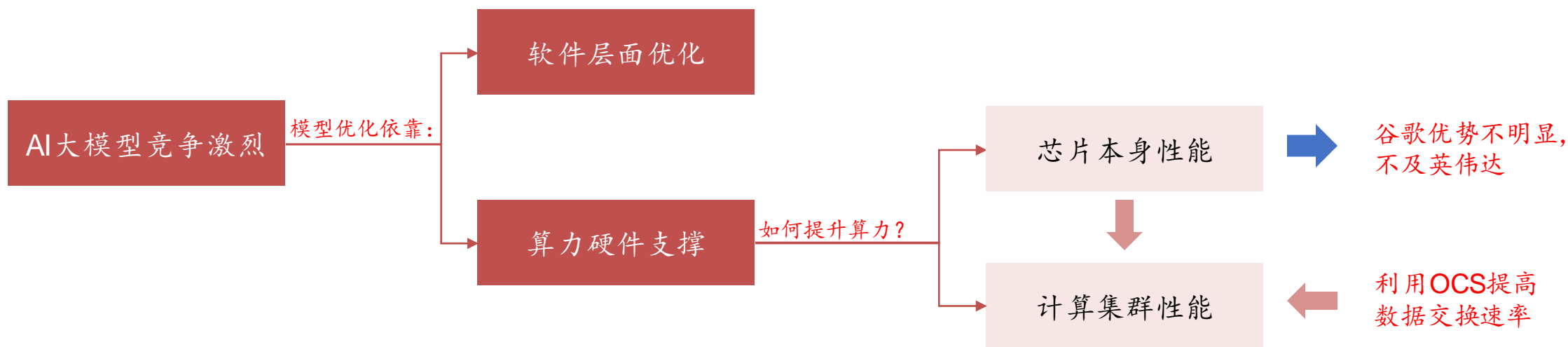
一、使用光交换机能够显著提升AI超算集群效率

二、光交换机产业链增量明显，相关标的受益

三、光是AI时代高速传输的必由之路

四、投资建议及风险提示

- 2023年12月7日，谷歌推出自身首个多模态大模型Gemini 1.0，其中高性能版本Gemini Ultra可对标GPT-4
- 2024年2月16日，谷歌Gemini模型Pro版迭代出1.5版本：
 - ✓ 该模型在长语境理解方面取得突破，显著增加可处理信息量，持续运行多达100万个tokens，是迄今为止基础模型中最长的上下文窗口
 - ✓ Gemini 1.5 Pro可一次处理大量的信息——包括1小时的视频、11小时的音频、超过3万行代码或超过70万字的代码库
 - ✓ 谷歌透露其在研究中还成功测试了多达1000万个tokens
- 2024年2月22日，谷歌推出新型开源模型系列“Gemma”：该开源模型基于Gemini研究和技术开发，与Gemini相比，Gemma展示了更高的效率和轻量化设计，同时免费提供全套模型权重，并明确允许商业使用
- 谷歌不断加速迭代大模型，大模型性能提升除了软件层面优化，更需强大算力支撑，算力一方面来自底层的芯片性能，另一方面则来自计算集群效率，为了高效地将多个计算芯片连接起来，谷歌在通用解决方案基础上，创造性地引入OCS光交换机（Palomar）



注：Palomar是谷歌对OCS光交换机的命名

■ 谷歌大模型的迭代动作加快：

- ✓ 2023年初推出聊天机器人Bard：2023年2月6日，谷歌宣布将推出一款聊天机器人Bard，2023年3月21日，谷歌向公众开放Bard 的访问权限
- ✓ 2023年12月推出首个多模态大模型Gemini 1.0：模型共分为Ultra、Pro、Nano三个版本，同时将聊天机器人Bard背后的模型从PaLM2换成了Gemini Pro，其中高性能版本Gemini Ultra可对标GPT-4，Gemini Ultra 在大型语言模型（LLM） 研发中使用的32个广泛使用的学术基准中，有30个的性能超过了当前最先进的结果
- ✓ 2024年2月16日，Gemini 1.0 Pro迭代至1.5：在文本、代码、图像、音频和视频评估达到了与Gemini 1.0 Ultra相当的质量，但减少了计算资源
- ✓ 2024年2月22日，谷歌推出新型开源模型系列“Gemma”

表：Gemini 1.0三版本对比

表：Gemini 1.0 Ultra、1.5 Pro和GPT-4文本能力对比

表：Gemini 1.0 Ultra、1.5 Pro和GPT-4图/音/视频能力对比

模型规模	模型描述
Ultra	参数最大，性能最强，可以在各种高度复杂的任务中提供最先进的性能，包括推理和多模态任务。由于采用 Gemini 架构，它可以在 TPU 加速器上高效地大规模运行
Pro	参数比 Ultra 版本少，在成本和延迟方面进行性能优化，现在已经应用于 Google 聊天机器人 Bard
Nano	专门为移动设备训练的模型。针对不同内存的设备，训练了两个版本，参数量分别是 18 亿（Nano 1）和 32.5 亿（Nano 2）

能力	基准 越高越好	描述	Gemini 1.0 Ultra	GPT-4	Gemini 1.5 Pro
通用	MMLU: 大规模多任务语言理解	57个学科的代表性问题	90.0%	86.4%	81.9%
推理	Big-Bench Hard	需多步骤推理的各种挑战性任务	83.6%	83.1%	84.0%
	DROP	综合阅读	82.4	80.9	78.9
数学	HellaSwag	日常任务的综合推理	87.8%	95.3%	92.5%
	GSM8K	基本算术运算	94.4%	92.0%	91.7%
	MATH	挑战性数学难题	53.2%	52.9%	58.5%
编程	HumanEval	Python 编码生成	74.4%	67.0%	71.9%
	Natural2code	无线Python编程生成	74.9%	73.9%	77.7%

能力	基准 越高越好	描述	Gemini 1.0 Ultra	GPT-4	Gemini 1.5
图像	MMMU	多学科挑战性推理	59.4%	56.8%	58.5%
	VQAv2	自然图像理解	77.8%	77.2%	73.2%
	TextVQA	图像文本识别	82.3%	78.0%	73.5%
	DocVQA	文件理解	90.9%	88.4%	86.5%
	Infographic VQA	信息图理解	80.3%	75.1%	72.7%
	MathVista	视觉环境数学推理	53.0%	49.9%	52.1%
视频	VATEX	英文视频字幕	62.7	56.0	63.0
	Perception Test MCQA	视频问题回答	54.7%	46.3%	-
音频	CoVoST 2	21种语音翻译	40.1	29.1	40.1
	FLEURS	62种语音翻译（越低越好）	7.6%	17.6%	6.6%

- 谷歌2016年涉足ASIC芯片，截止目前已推出6代版本：
 - ✓ 2015年谷歌首次发布了第一代TPU，正式涉足定制ASIC芯片，2017年发布第二代TPU v2，2018年发布第三代TPU v3，第四代TPU v4于2021年5月正式推出，此次迭代间隔三年，并于2023年8月推出第五代TPU v5e，以及2023年12月6日最新发布TPU v5p
- 单芯片性能不足，提高计算集群效率（POD）是同英伟达竞争的关键：谷歌训练 Gemini Ultra所使用芯片为TPU v4、TPU v5e，性能无法与英伟达H100相比，TPU v5e峰值算力只有英伟达三年前发布的A100的六成，最新版本TPU v5p峰值算力不到H100的三成，且英伟达将于2024年推出更高性能的B100产品

表：谷歌历代TPU迭代情况

版本	TPU v1	TPU v2	TPU v3	TPU v4	TPU v5e	TPU v5p
发布时间	2015	2017	2018	2021	2023	2023
制程	28nm	16nm	16nm	7nm	未公布	未公布
HBM内存 (GB)	-	16	32	32	16	95
HBM内存带宽 (GB/S)	34	700	900	1200	819	2765
峰值算力 (BF16, tflops)	-	46	123	275	197	459
峰值算力 (int8, tops)	92	-	-	-	394	918
单芯片ICI带宽 (GB/S)	-	1984	2624	2400	1600	4800
集群芯片数	-	256	1024	4096	256	8960

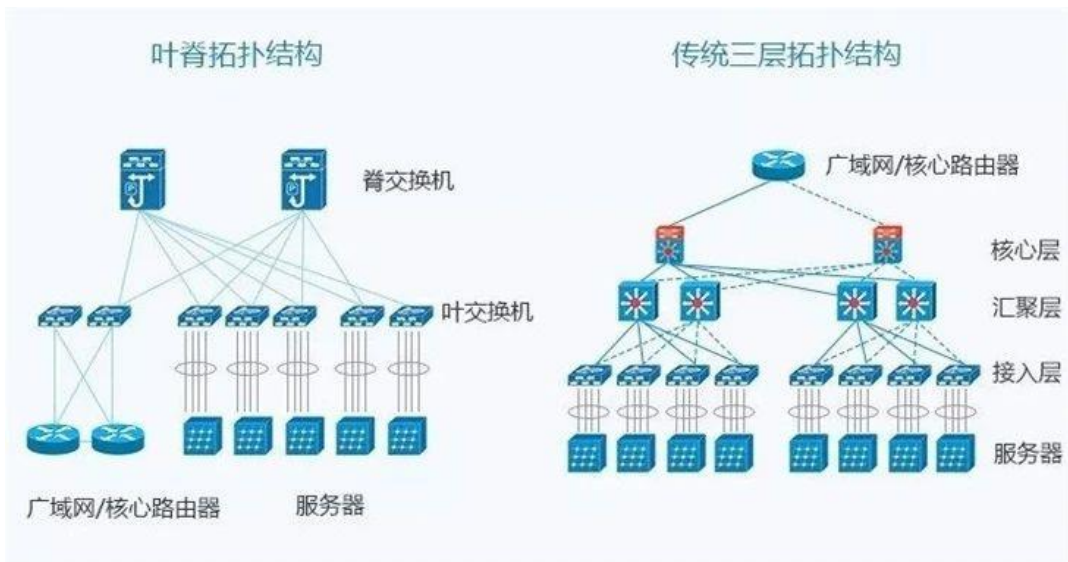
注：单芯片ICI带宽，指的是板卡上每个TPU芯片之间信息传输速率

表：谷歌近两代TPU与英伟达近两代产品性能对比

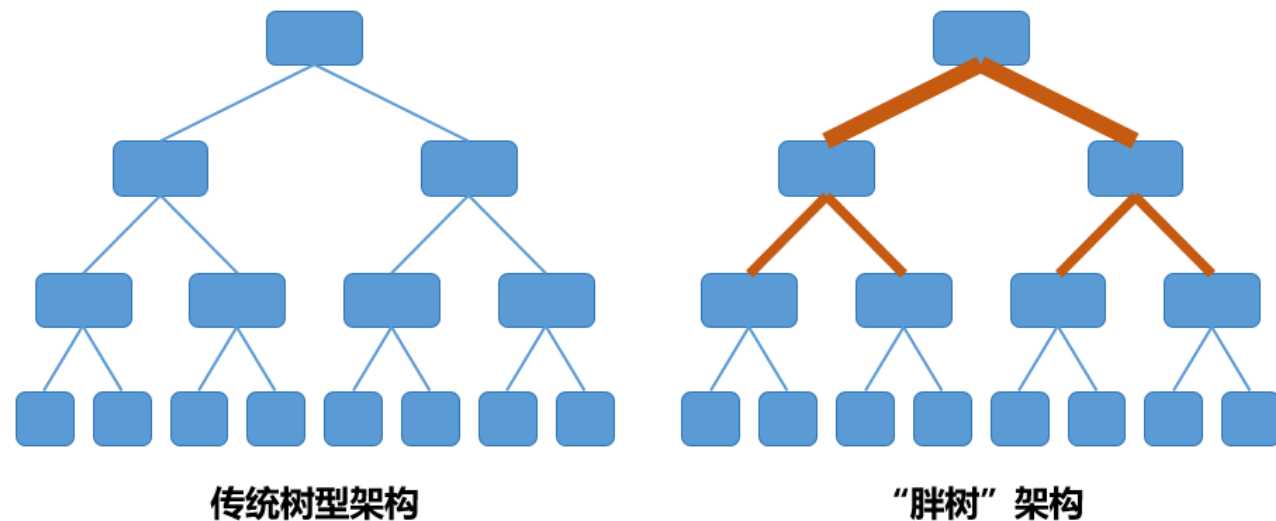
版本	H200 SXM	H100 80 G PCIe	A100 40 G PCIe	TPU v4	TPU v5e	TPU v5p
发布时间	2023	2022	2020	2023	2023	2021
HBM内存 (GB)	141	80	40	32	16	95
HBM内存带宽 (GB/S)	4800	2000	1555	1200	820	2750
峰值算力 (int8, tops)	3958	3200	624	-	394	918

- **传统三层架构：**包括接入层、汇聚层和核心层，对应位置均采用电交换机，一台下层交换机会通过两条链路与两台上层交换机互连，实际承载流量的只有一条，其它上行链路，只用于备份，一定程度上造成了带宽的浪费，因此传统网络架构有网络带宽阻塞，上层带宽小于下层带宽和
- **叶脊拓扑结构：**相比于传统网络的三层架构，叶脊网络进行了扁平化，变成了两层架构，叶交换机相当于传统三层架构中的接入交换机，脊交换机，相当于核心交换机
- **胖树架构和英伟达Infiniband架构：**
- ✓ 传统三层架构存在网络带宽阻塞，在叶脊架构中，视各家具体方案不同，汇聚层或核心层也存在网络带宽阻塞，胖树架构下，自下而上不存在网络带宽阻塞，英伟达infiniband架构采用两层的胖树架构，即叶脊和胖树的结合
- **以上网络架构中，各层交换机均采用电交换机，与光交换机相比存在一些不足：**首先耗电量较大，同时因为需要对数据包进行编解码导致延迟较高，另外在摩尔定律下，电交换机相关芯片迭代速率较快，电交换机2-3年迭代一版，频繁迭代下资本支出较大

图：传统三层网络架构和叶脊架构对比



图：传统树形有阻塞三层架构和胖树架构

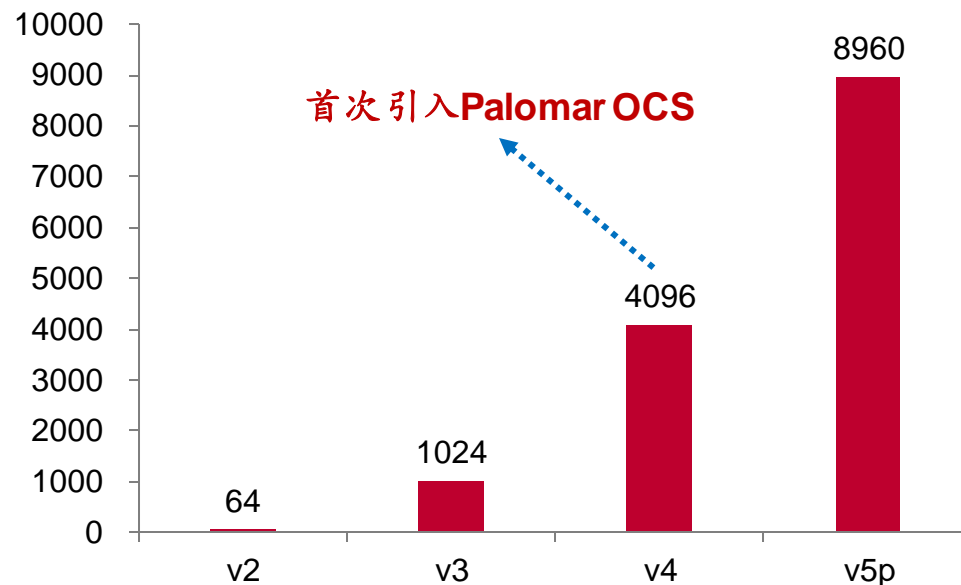


- **谷歌从TPUv2版本开始构建超级计算机集群**：谷歌在2017年发布TPUv2的同时，宣布计划研发可扩展云端超级计算机TPUPods，通过新的计算机网络将64块Cloud TPU相结合
- **TPUv3集群 (Pod)**：2018年与TPUv3芯片一同推出，每个Pod最多拥有1024个芯片
- **TPUv4集群首次引入OCS**：首次引入Palomar OCS (Optical Circuit Switches, 光交换机)，一个集群总共有4096个TPU，是TPUv3的4倍
- **TPUv5p集群**：每集群TPU数量达到8960个，每集群可用FLOP总数是TPUv4的4倍，每秒浮点运算数 (FLOPS) 比TPUv4提高一倍，每Pod芯片数量增加一倍，可以提高训练速度的相对性能；TPUv5p集群同样使用了Palomar光交换机
- 短时间内，谷歌在单颗芯片性能上超过英伟达难度较大，通过其擅长的软硬件集成，提高计算集群效率，在支撑自身大模型训练的基础上，可以通过出售算力资源获取收入，**Salesforce 和 Lightrick 等客户已经在使用 Google Cloud 的 TPU v5p 超级计算机来训练大模型**

图：谷歌TPU v5p参数及v5p集群芯片数量

	v4	v5e	v5p
Chips per pod	4096	256	8,960
Chip Bf16 TFLOPs	275	197	459
Chip Int8 TOPs	N/A	394	918
HBM (GB)	32	16	95
HBM BW (GB/s)	1228	820	2,765
ICI BW per chip (Gb/s)	2,400	1,600	4,800

图：谷歌历代TPU集群集成的芯片数量



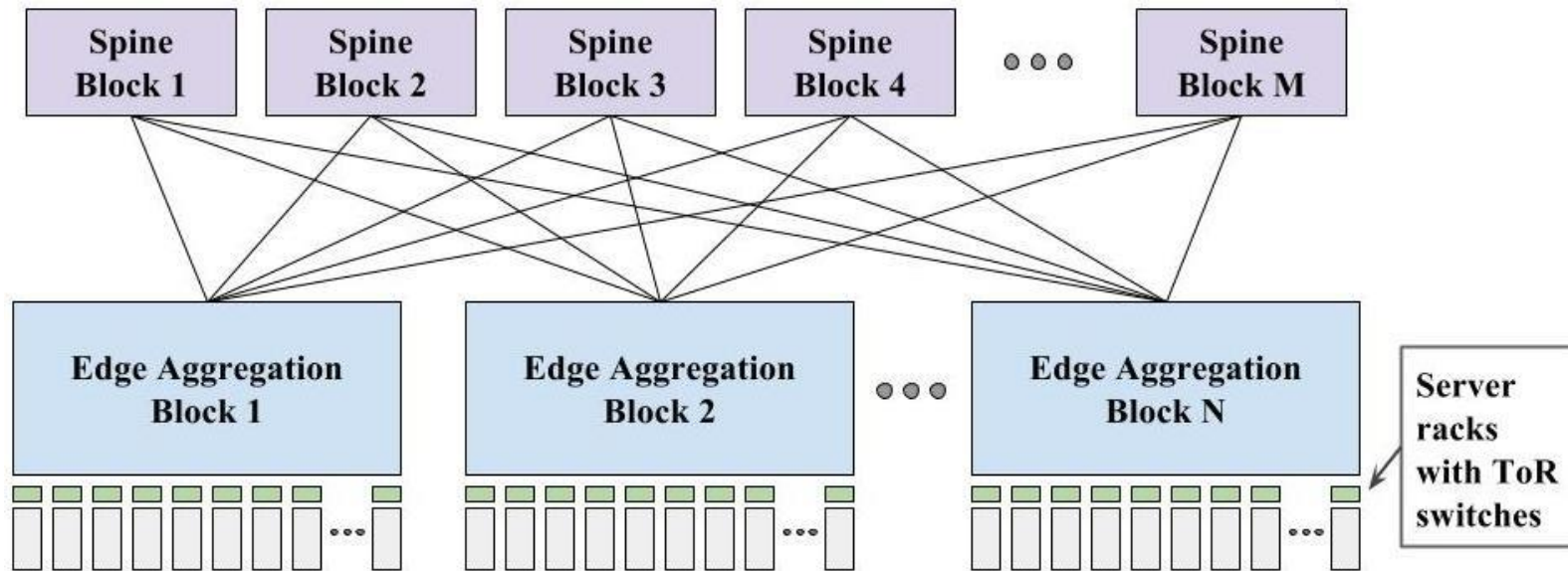
- **谷歌数据中心早期架构**：2004年推出，被称为4-Post架构，由4个大容量交换机和512台ToR交换机连接组成，每台ToR交换机与40台服务器相连，从而形成了一个512×40，约2万台服务器的集群。这种架构缺点是可扩展性差，不适用于大带宽应用场景
- **2005年~2012年**：2005年推出第一代自研架构 Firehose，通过定制硬件构建集群，经历五代演进，2015年Jupiter可实现3万台服务器组网

表：谷歌历代数据中心网络网络架构演进

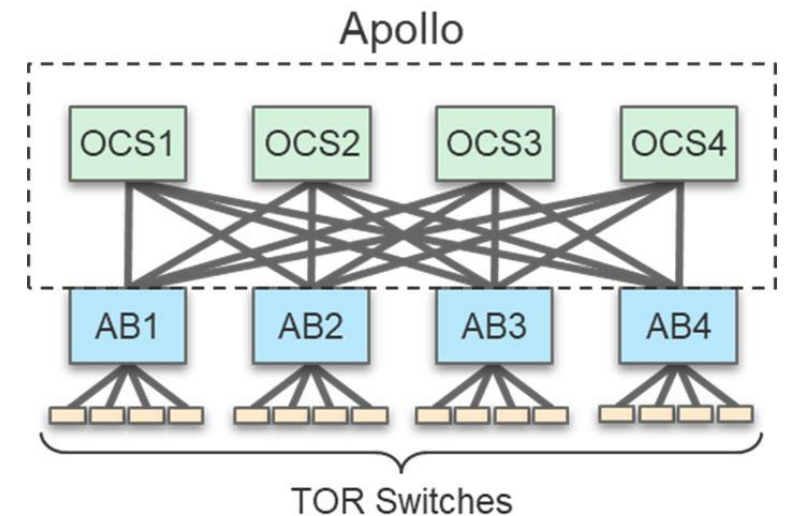
网络架构	Four-Post CRs	Fire House 1.0	Fire House 1.1	Watchtower	Saturn	Jupiter
发布时间	2004	2005	2006	2008	2009	2012
商用交换芯片	Vendor	8×10G 40×10G (ToR)	8×10G	16×10G	24×10G	16×40G
ToR交换机配置	48×1G	2×10G上行 24×1G下行	4×10G上行 48×1G下行	4×10G上行 48×1G下行	24×10G	16×40G
汇聚层交换机配置	-	2×32×10G (有阻塞)	64×10G (有阻塞)	4×128×10G (非阻塞)	4×288×10G (非阻塞)	8×128×40G (有阻塞)
Spine层交换机配置	-	32×10G (非阻塞)	32×10G (非阻塞)	128×10G (非阻塞)	288×10G (非阻塞)	128×40G (非阻塞)
网络速率	10G	10G	10G	10G	10G	10/40G
服务器端口速率	1G	1G	1G	n×1G	n×10G	n×10G/ n×40G
网络带宽	2T	10T	10T	82T	207T	1.3P

- 早期Jupiter采用“Clos”拓扑：也称为脊叶配置：spine and leaf configuration，机架装有【CPU、GPU、FPGA、存储和/或ASIC】，然后该机架连接到叶（leaf，汇聚层）或架顶交换机，然后通过各种聚合层连接到主干（spine）
- Clos拓扑下电交换机的资本开支和功耗较大：Clos拓扑中，主干层使用电交换机（EPS：Electronic Packet Switch），通常由Broadcom、Cisco、Marvell等提供，EPS耗电量大，此外，每2到3年网络速度翻一番，需升级现有spine层EPS，每一代更新都会带来巨大的资本支出
- 2022年谷歌引入光交换机替代主干层电交换机降低功耗、延迟和资本开支：引入光交换机取代Spine层传统电交换机，主干层功耗显著下降，同时由于不必解码数据包导致延迟显著降低，且主干层交换设备无须再进行设备代际更新，使用寿命增加，节约全生命周期资本开支；
- 引入光交换机也存在一些缺点：1) 尽管全生命周期成本下降，但前期资本开支较大；2) 信号插入损耗：光要多次反射折射才能到达接收端，存在信号功率损失；3) 重新配置时间：光交换机的光路是提前设置好的，如果要与不同的端口通信，光开关必须重新配置这些镜像；
- 谷歌数据中心网络和TPU超级计算集群引入Palomar光交换机，未来随着其自身算力需求的不断扩大，以及外部客户的采购，光交换机产业链有望持续放量，迎来投资机会

图：早期谷歌Jupiter架构采用Clos拓扑



图：引入光交换机取代主干层的电交换机



目录

一、使用光交换机能够显著提升AI超算集群效率

二、光交换机产业链增量明显，相关标的受益

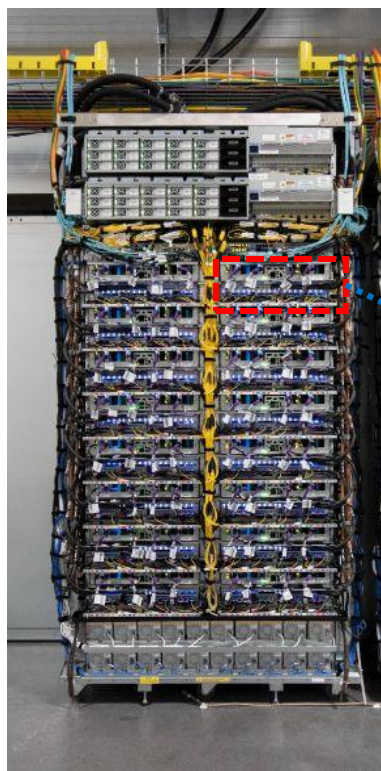
三、光是AI时代高速传输的必由之路

四、投资建议及风险提示

TPU v4集群：总共4096个TPU互联

- **TPU v4集群**：谷歌目前训练大模型的主要集群，一个集群共有4096个TPU互联，未来升级到TPU v5p集群，届时将有8960个TPU互联，由于目前最新资料是基于TPU v4，本文后续将基于TPU v4论文进行OCS架构和产业链分析
- **TPU v4集群中4096个TPU芯片的构成**：一个集群有64个机架，每个机架16个tray盘，每个tray盘上4个TPU，共计4096个芯片

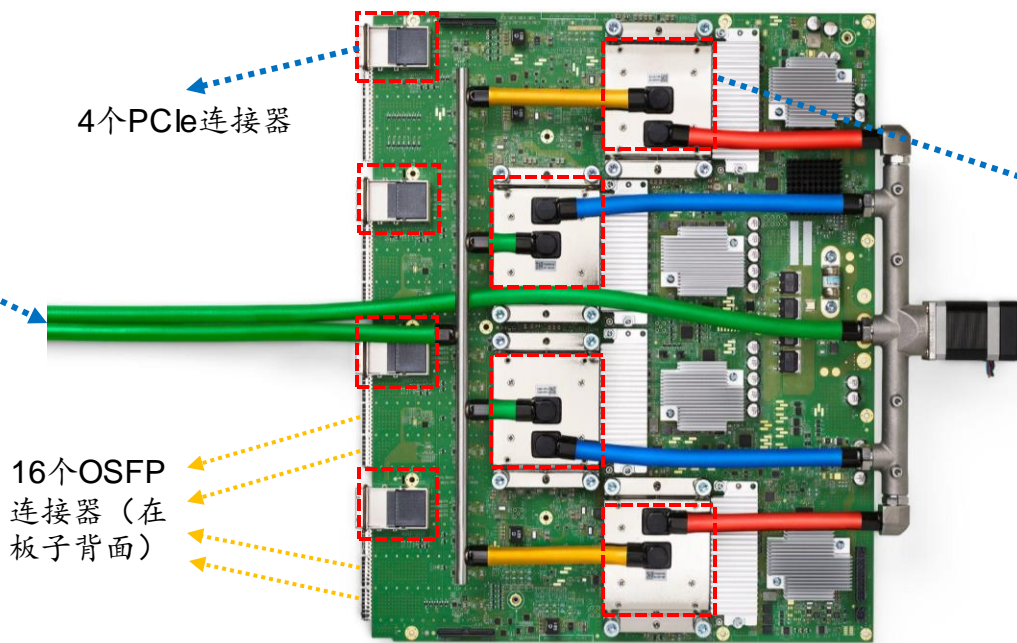
单台机架示意图



一个集群共
64个rack (机架)

一个机架有16个tray盘
(板卡)，左右两列各8个

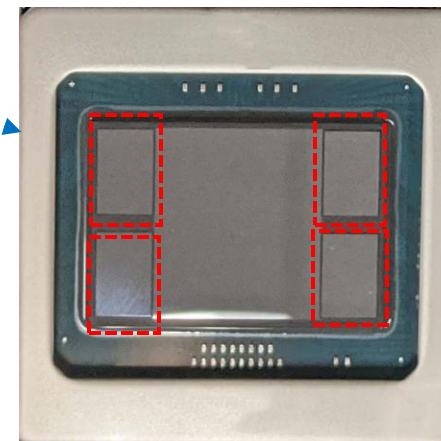
图：TPU v4集群：64 (机架) × 16 (tray盘) × 4 (TPU) = 4096个TPU



4个PCIe连接器

16个OSFP
连接器 (在
板子背面)

4边角上的HBM+中间
一块计算单元

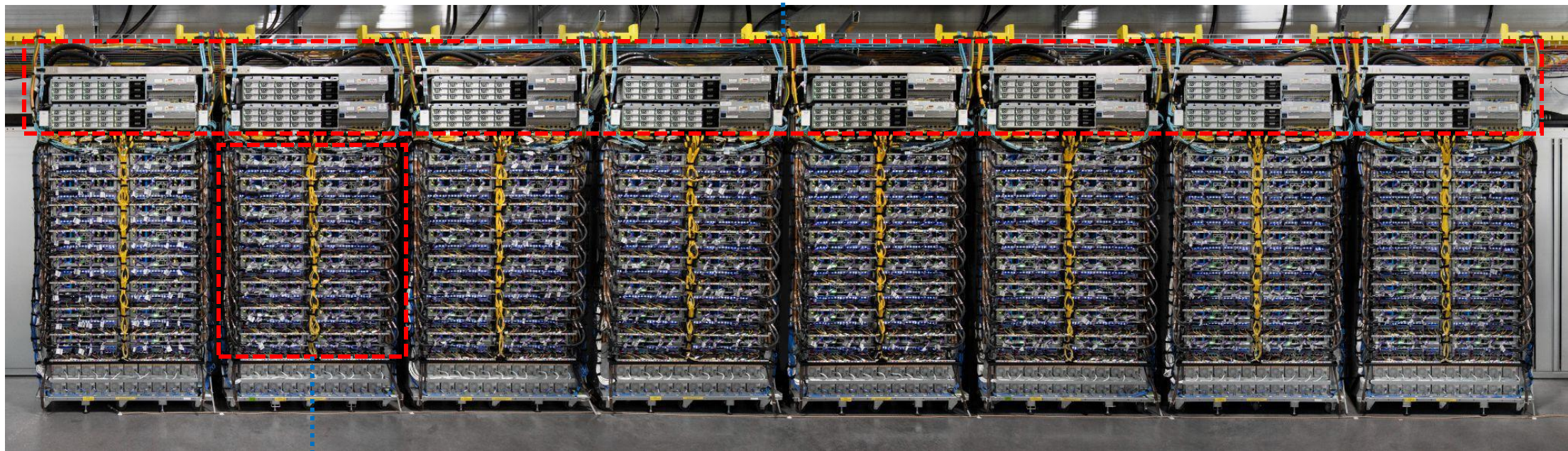


TPU V4

一个tray盘上包含4个TPU，4个PCIe连接器，
16个OSFP连接器，红黄绿色的管子是液冷管

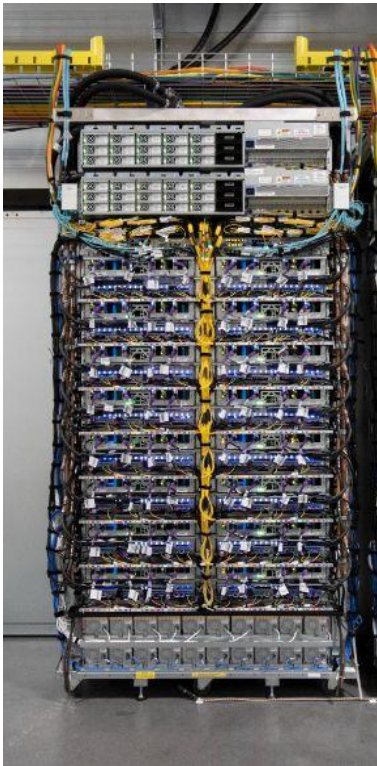
注：OSFP连接器为采用OSFP封装的光模块，PCIe为接口芯片，均用于tray盘间的信息传输

64个机架之间通过48个光交换机互联，光交换机内部不需要转化成电再处理

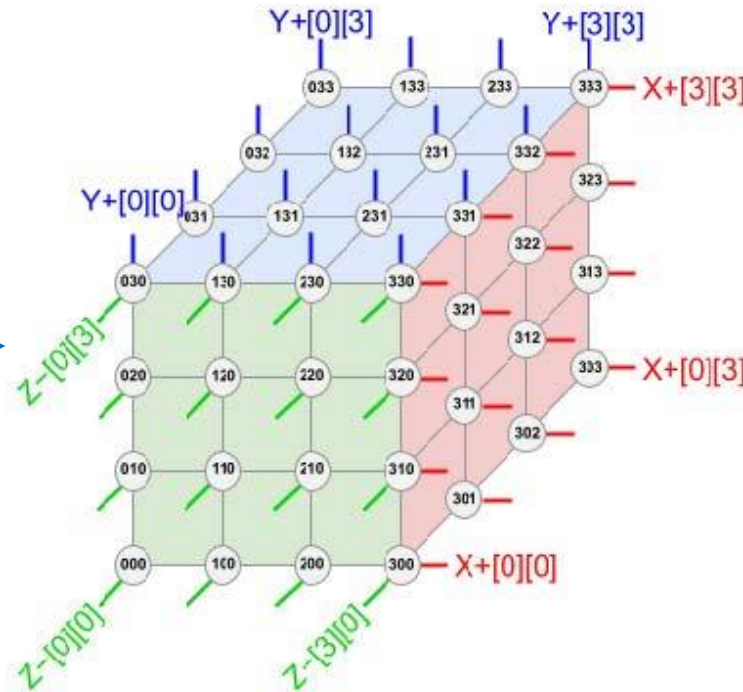


目前每个机架内部的64个TPU之间是通过电芯片（PCIe和OSFP）和电缆连接，未来随着TPU算力提升，有可能升级到光互联

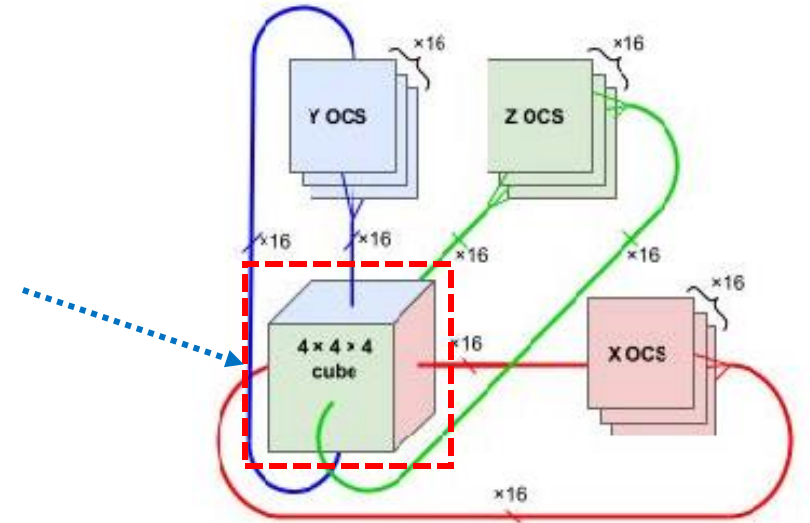
单台机架示意图



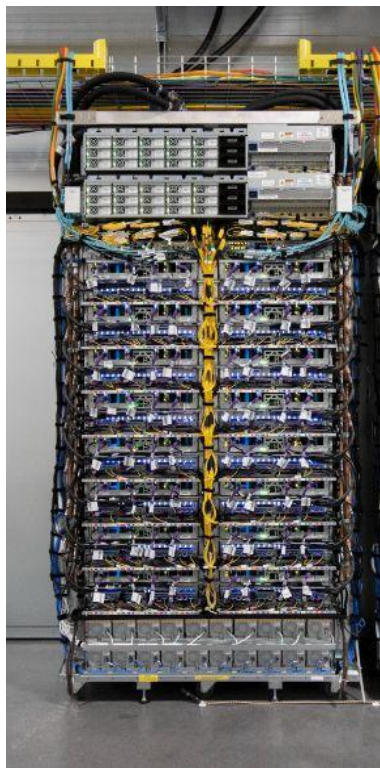
把一台机架内的64个TPU互联方式抽象成右图的逻辑图 (cube)



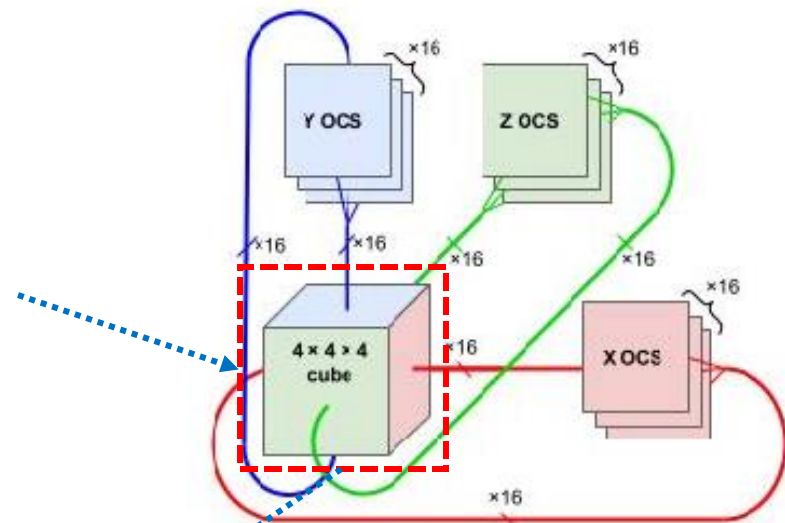
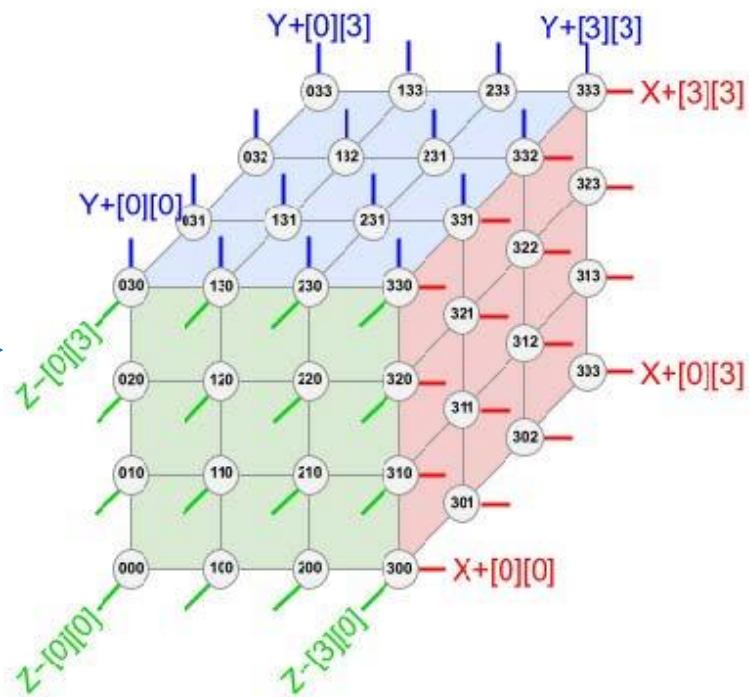
3D环面结构：一台机架内的64个TPU互联，其连接方式可以抽象成一个4*4*4的立方体 (cube)，每个立方体有6个面，每个面伸出来4*4=16条线与机架外部的光交换机连接，6个面总共6*16=96条线，理论上对应96个光交换机，但对立面上的两个点连同一台交换机，**96÷2=48，实际上需要48个交换机**



单台机架示意图

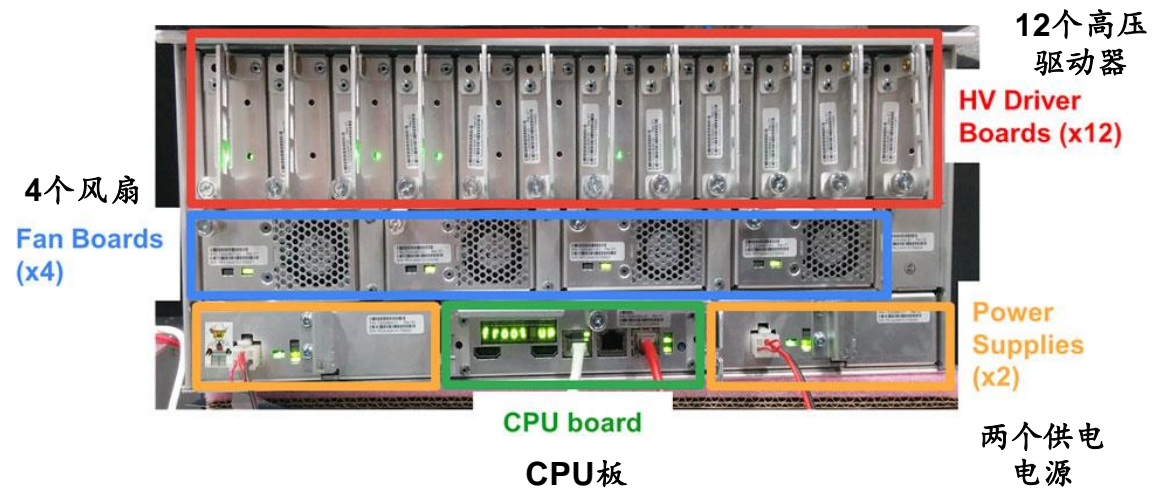
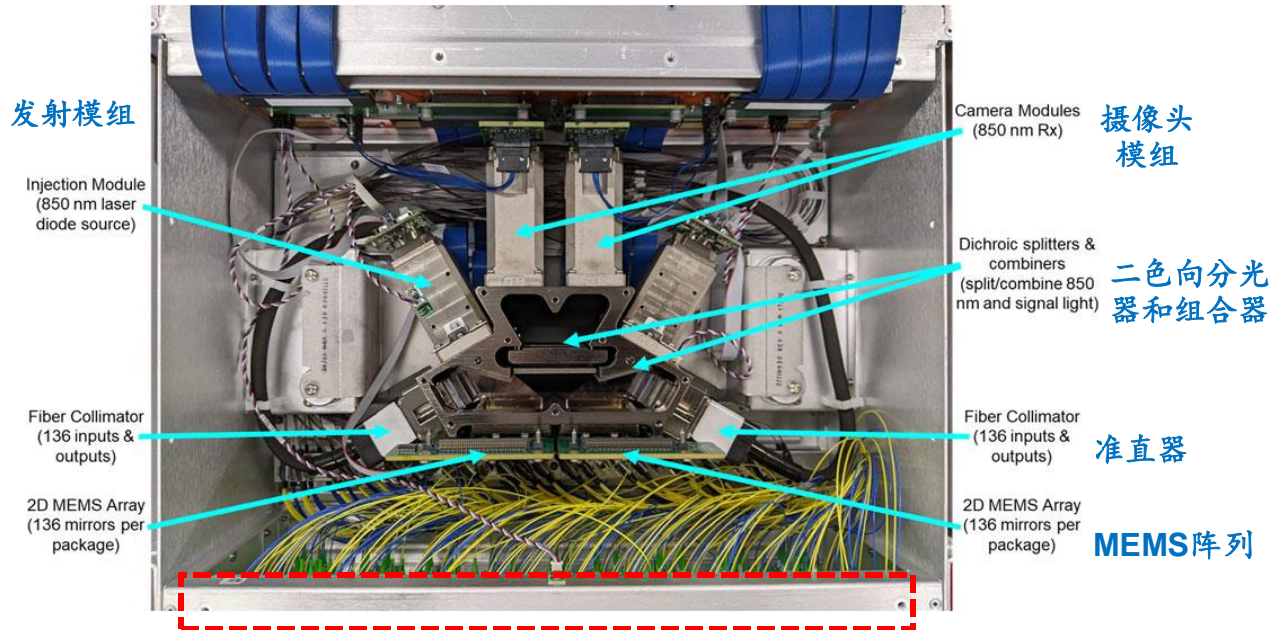
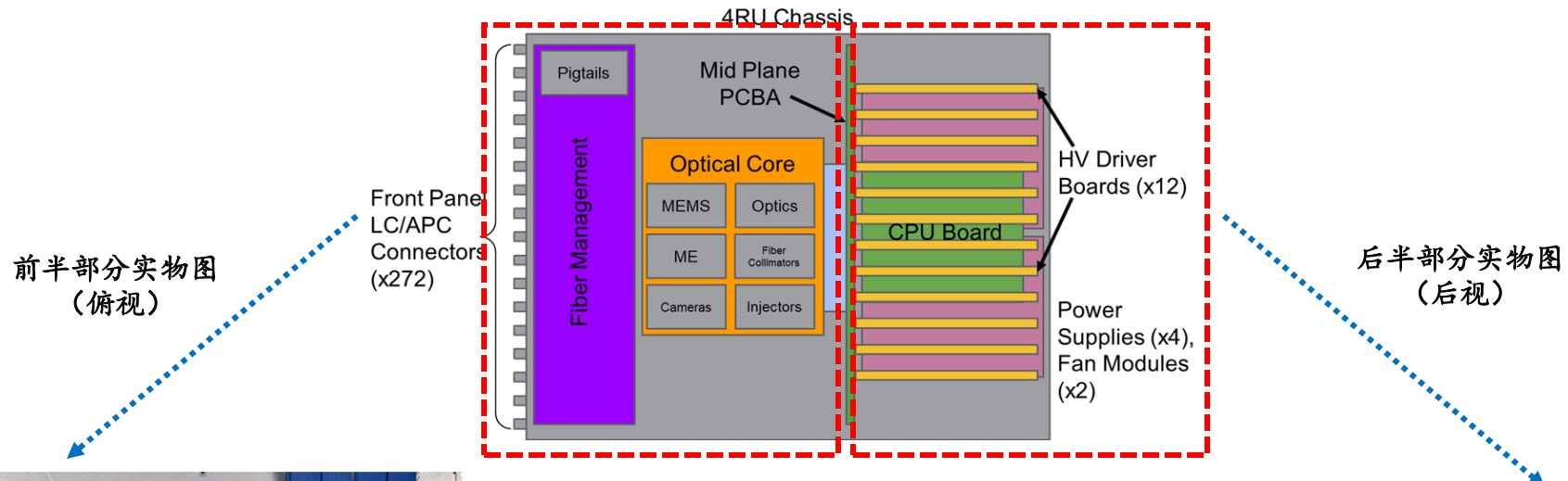


把一台机架内的64个TPU互联方式抽象成右图的逻辑图 (cube)



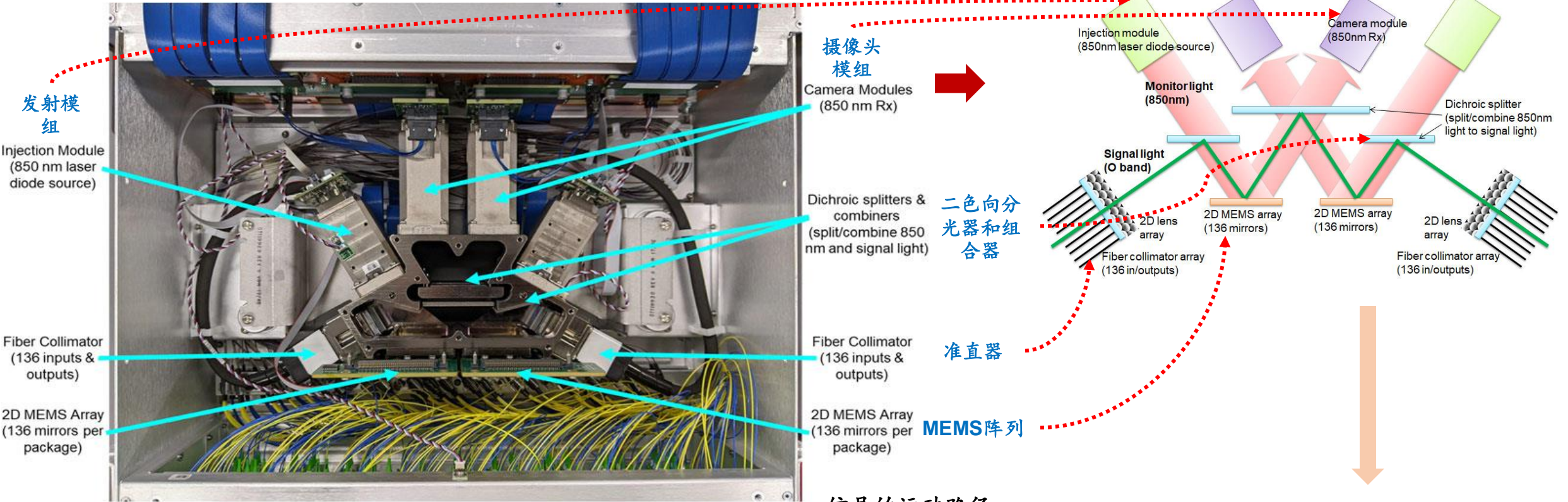
- **光模块用量：**每个cube（即每个机架）伸出来对立面上的2根线与每个光交换机互联，一共64个机架，所以每个光交换机需要有 $64 \times 2 = 128$ 个端口，所以每个集群总共有有48个交换机*128端口=6114个端口，所以在整个集群中TPU数量与端口数量之比为 $4096:6114=1:1.5$ ，与英伟达胖树架构的1:2.5相比，光模块用量变少了
- 论文中表示每个交换机有136个端口，其中8个端口是检测校准和监控的，不实际传递信号

TPU v4集群：OCS光交换机架构



光模块，定制800G光模块，当中集成了环形器，环形器可帮助实现双向通信，即同一根光纤既可以输入也可以输出

图：OCS光交换机工作机理

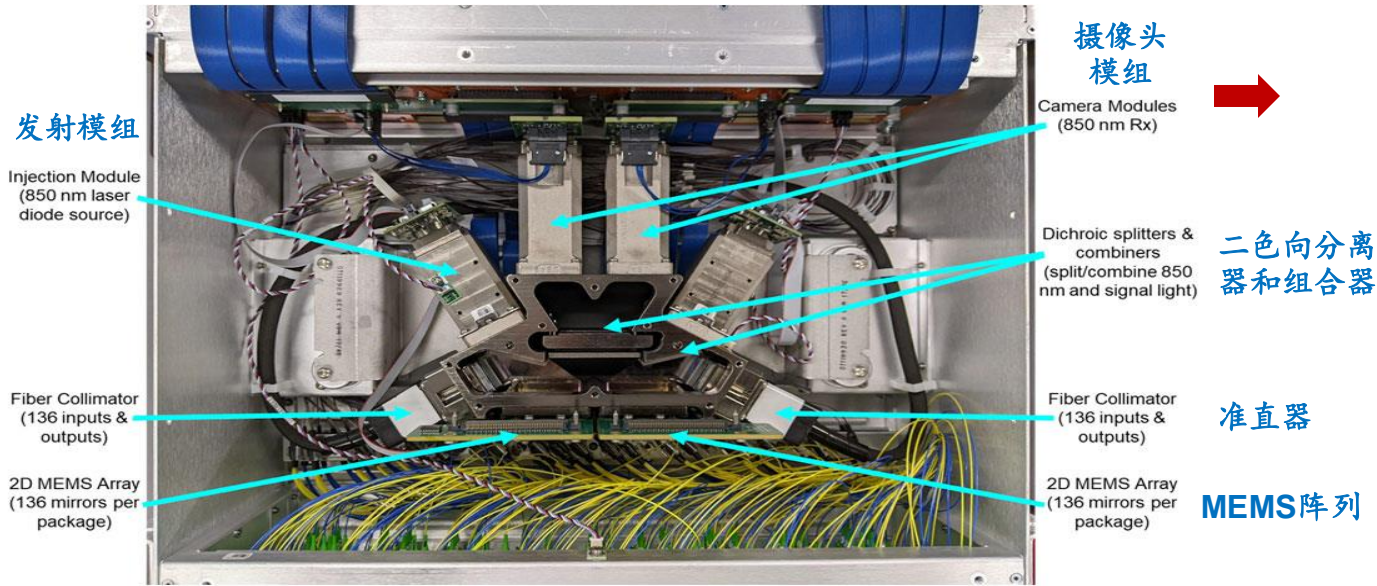


图：OCS光交换机内部实物结构

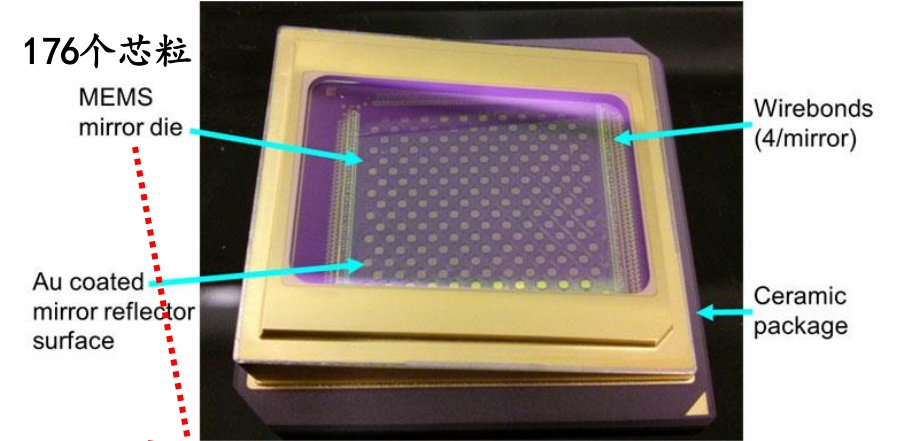
信号的运动路径:

- 1、带内光信号（绿色）通过准直器阵列和MEMS反射镜进入MEMS阵列
- 2、反射镜被驱动并倾斜以将光信号切换到相应的输入/输出准直器光纤
- 3、监控信号从发射模组发出（红色，850nm光源），通过MEMS反射镜和MEMS阵列反射后由匹配的相机模块接收，用于校准MEMS芯片
- 4、监控信号和带内信号重叠，有助于MEMS反射镜的调谐

图：OCS光交换机内部实物结构



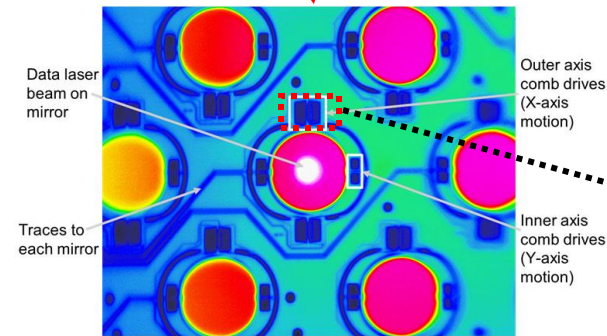
图：封装后的MEMS阵列实物形态



MEMS阵列：

- 1、每个交换机有两个陶瓷封装的MEMS阵列，每个阵列内部有176个芯粒
- 2、每个芯粒上有高反射金涂层，可最大限度减少光学损失
- 3、每个MEMS芯粒周围有4个控制轴来接收高压驱动器的信号
- 4、控制轴可以控制每个MEMS芯粒的旋转

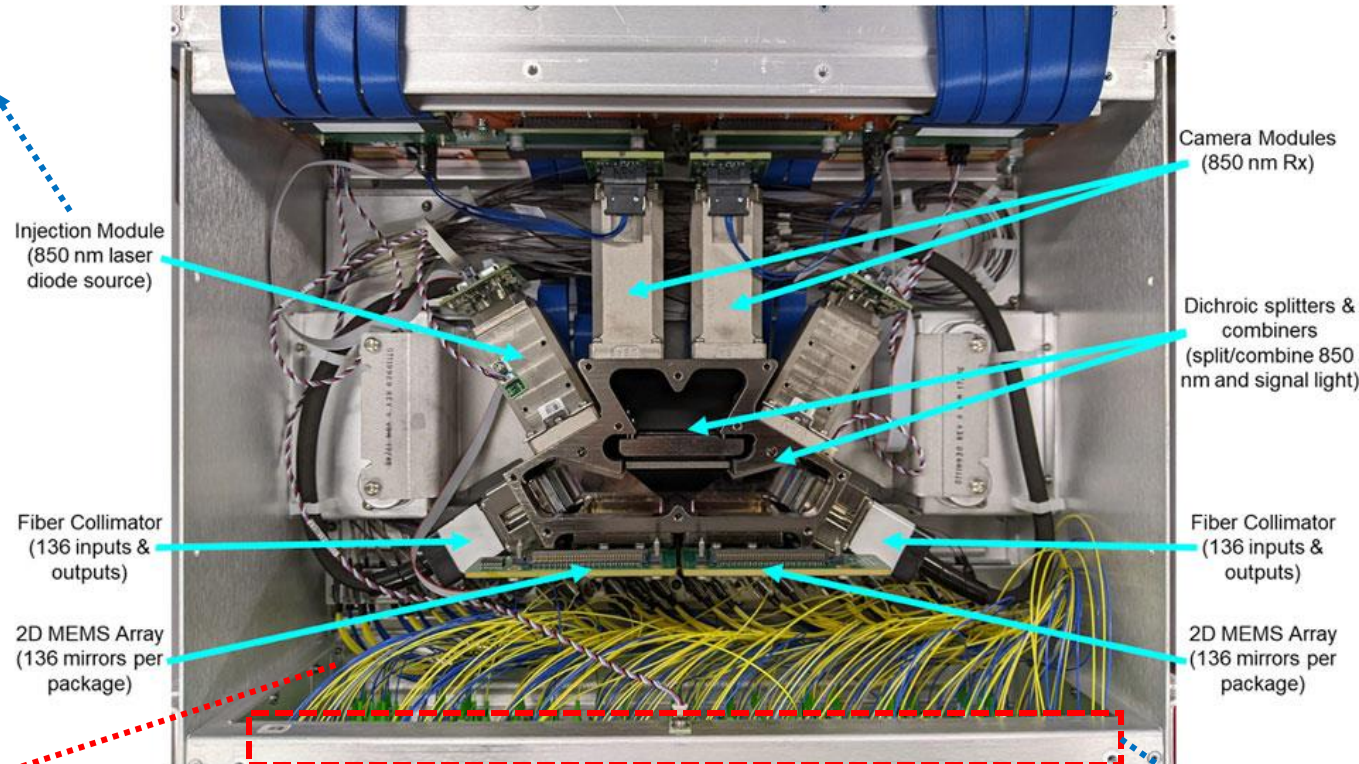
MEMS芯粒热力效应图



每个MEMS芯粒周围有4个控制轴来接收高压驱动器的信号

TPU v4集群：OCS光交换机核心单元供应商

发射/接收模组：每个约1000美元，4个共4000美元，由lumentum和coherent提供，其中光学器件占比15%，600美元。国内方面，【腾景科技】与lumentum、Finisar（现为Coherent的一部分）建立了合作关系



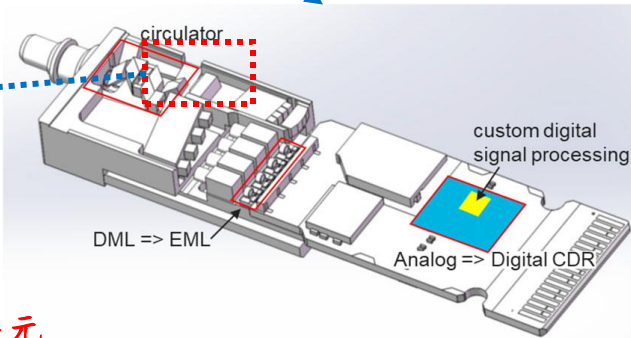
交换机之外，机架的内部电互联的铜缆：有源电缆预计150美元1套，长芯盛（【博创科技】收购）拥有相关产品，后续机架内部可能会切到AOC光连接（预计400美元/套以上）

850nm光源：lumentum和Finisar供应VCSEL光源，国内方面，【光迅科技、长光华芯、纵慧芯光（华西股份投资）】拥有相关产品

MEMS阵列：约1500美元一个，2个3000美元，谷歌自研，外部代工，工艺要求较高。国内方面，【赛微电子】公告称全资子公司瑞典Silix以MEMS工艺为某客户制造的OCS完成了工艺及性能验证，并于2023年12月22日收到该客户发出的批量采购订单，瑞典Silix开始进行MEMS-OCS的商业化规模量产

光纤和连接器：每个交换机256个光纤和连接器，每个预计20美元，其中光纤约18美元，连接器约2美元。国内方面，【太辰光】拥有相关的连接器产品

环形器：集成在光模块里，一个约25美元，【腾景科技】拥有相关产品



光模块：用量下降，技术要求提高，其中关键的波分复用器一个约18美元，国内方面，【中际旭创】拥有光模块相关产品，【腾景科技】拥有波分复用器相关产品

全部交换机系统预计5-6万美元

目录

一、使用光交换机能够显著提升AI超算集群效率

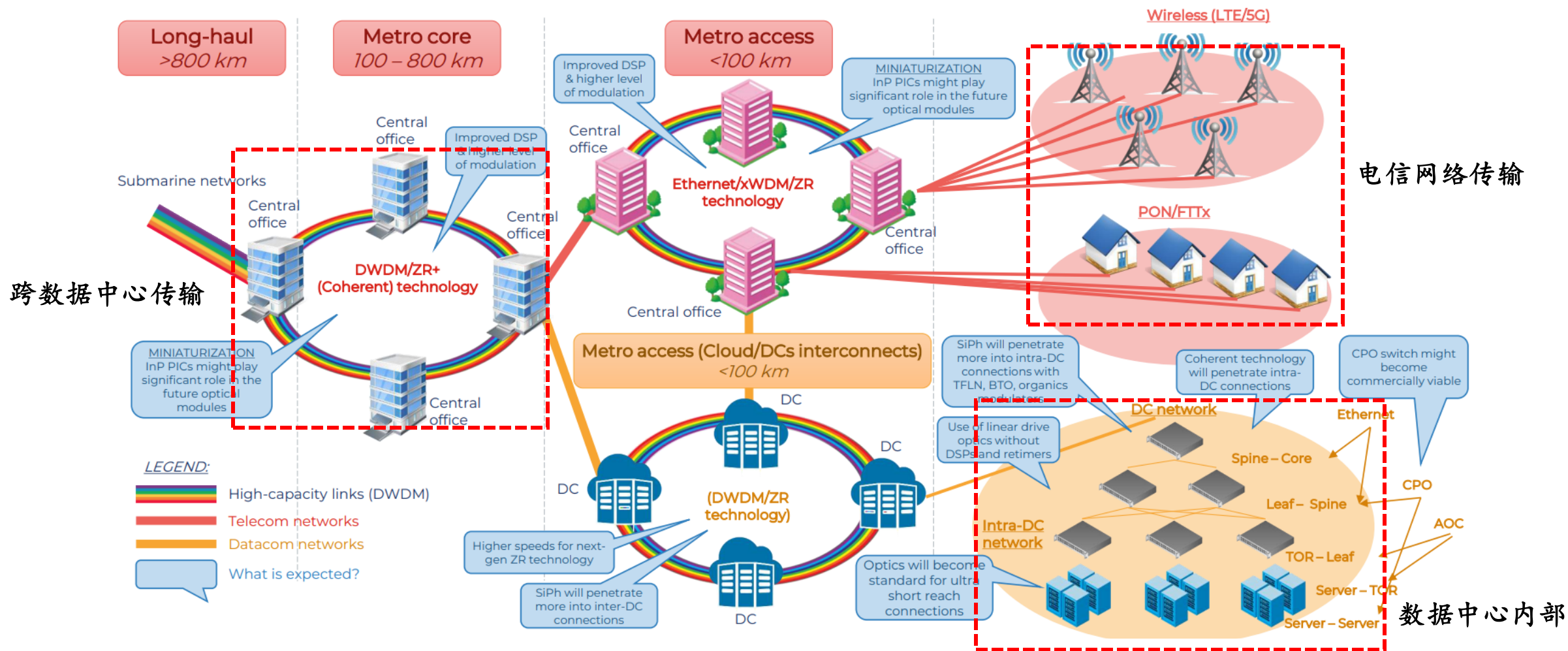
二、光交换机产业链增量明显，相关标的受益

三、光是AI时代高速传输的必由之路

四、投资建议及风险提示

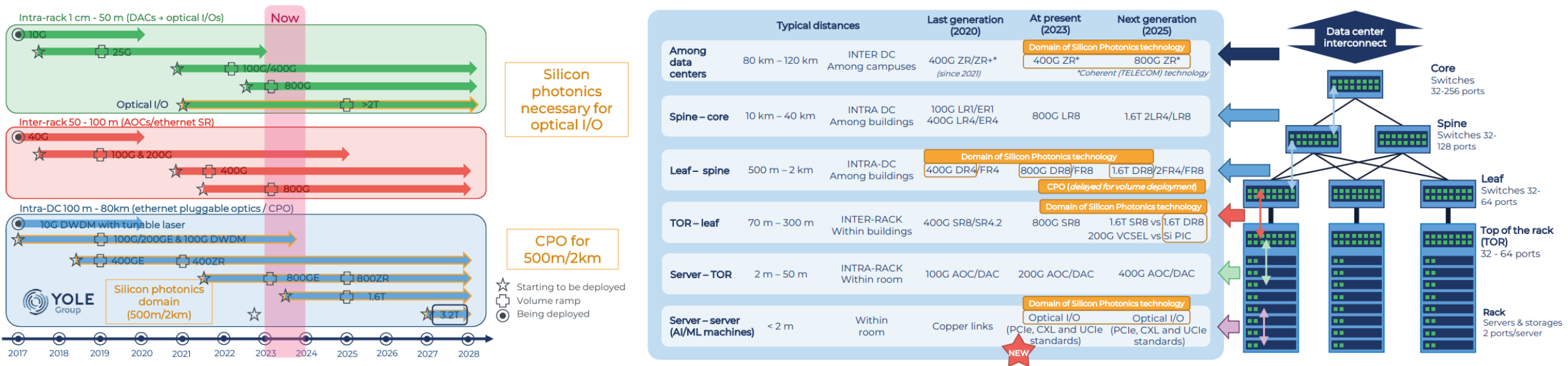
从网络架构看光连接的驱动力：从电信到数通

- 电信市场：FTTx（光纤到任意终端）不断拓展、5G网络建设推进，整个电信网络各级光传输节点的数量和端口速率要求明显提升
- 数通市场：AI对算力的需求持续提升，数据中心、机架、服务器、计算芯片之间的互联架构变革，更多地使用光连接，且速率要求不断提升
- 从整个网络架构的演进来看，随着数据交换速率的需求持续提升，光连接对应的线缆、组件、芯片需求不断提升



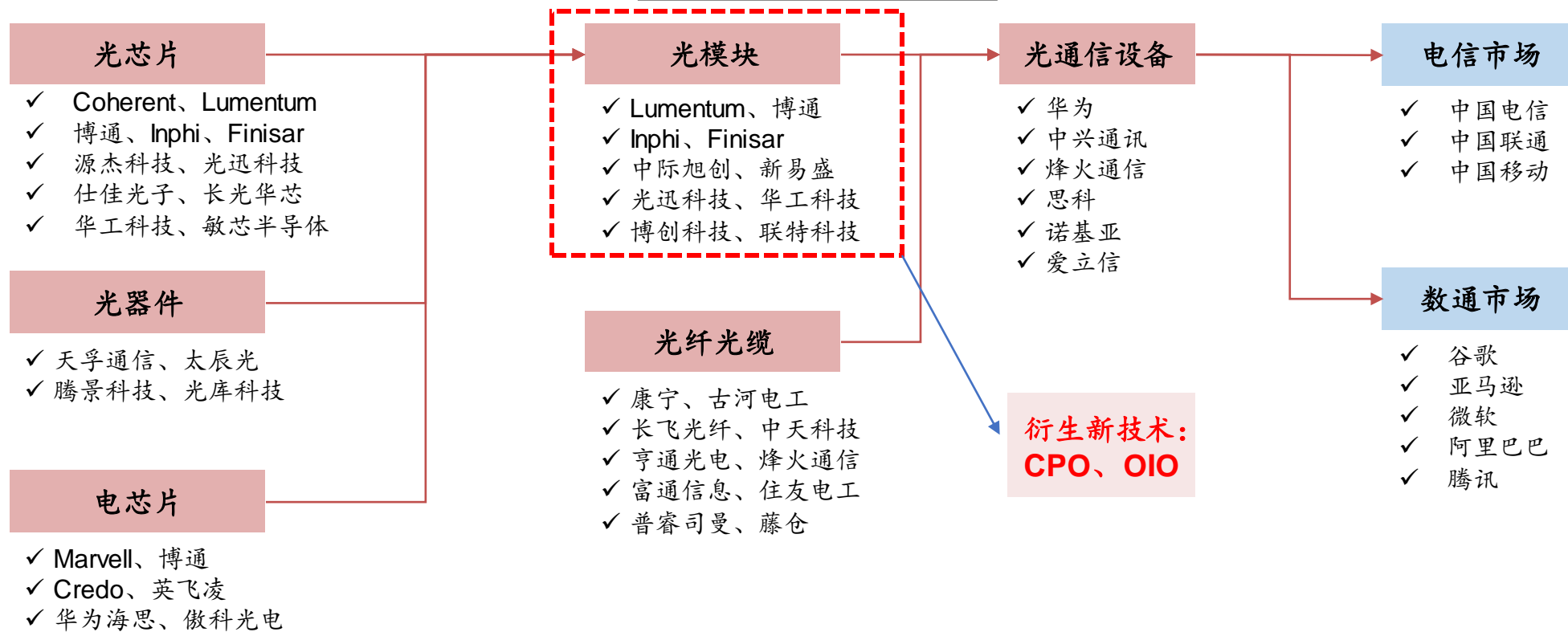
- 光所连接的节点的距离不断下沉，速率不断提高，同时伴随着CPO等新技术的不断涌现，成为AI时代的必由之路：
- ✓ 数据中心之间：目前使用400G ZR传输技术以及对应的光模块，2025年将主要使用800G ZR传输及对应光模块，均主要使用硅光技术
- ✓ 核心层和主干层之间：目前使用800G LR8传输技术以及对应的光模块，2025年将使用1.6TLR4/LR8传输及对应光模块
- ✓ 主干层和叶交换机之间：目前使用800G DR8/FR8传输技术以及对应的光模块，2025年将使用1.6T DR8/2FR4/FR8传输及对应光模块，其中800G DR8、1.6T DR8均主要使用硅光技术，CPO（共封装光学）技术将在后续进行规模化应用，应用在这一层级
- ✓ 叶交换机和架顶交换机之间：目前使用800G SR8传输技术以及对应的光模块，2025年将使用1.6T SR8和1.6TDR8传输及对应光模块，集成的VCSEL芯片升级为硅基光子芯片（SiPIC）
- ✓ 架顶交换机和服务器之间：目前使用200G电缆（DAC）或光缆（AOC），2025年将使用400GDAC/AOC
- ✓ 服务器之间：将越来越多使用光接口芯片（OIO）进行CPU、GPU乃至Chiplet间连接，取代传统的电IO方案，芯片输入输出的IO变为光信号

图：光连接技术的应用场景



- **光连接**：利用光模块、光通信设备和光纤光缆，将用户终端、基站、数据中心、数据中心内部各级节点、乃至CPU/GPU间连接起来，实现数据的传输
- **产业链概览**：上游为光芯片、电芯片、光器件等基础器件供应商，中游包括光模块、光纤光缆、光通信设备等，下游应用市场包括电信市场和数通市场

图：光连接产业链及主要玩家



目录

一、使用光交换机能够显著提升AI超算集群效率

二、光交换机产业链增量明显，相关标的受益

三、光是AI时代高速传输的必由之路

四、投资建议及风险提示

■ OCS光交换机产业链，建议关注：

- ✓ 环形器/波分复用器/光学器件：【腾景科技】
- ✓ MEMS阵列代工：【赛微电子】
- ✓ 光模块：【中际旭创】
- ✓ 铜缆：长芯盛（【博创科技】收购）
- ✓ 连接器：【太辰光】
- ✓ 光源：【光迅科技】、【长光华芯】、纵慧芯光（【华西股份】投资）

■ 广泛的光连接产业，建议关注：

- ✓ 光芯片：源杰科技、仕佳光子、长光华芯
- ✓ 光器件：天孚通信、腾景科技、太辰光、光库科技
- ✓ 光模块：中际旭创、新易盛、光迅科技、博创科技、联特科技、华工科技、立讯精密
- ✓ 光纤光缆：长飞光纤、亨通光电、中天科技、烽火通信

- **MEMS全球代工龙头**：2016年公司收购瑞典Silex，2022年完全剥离非半导体业务，目前公司以MEMS代工半导体业务为主，2023上半年MEMS晶圆制造占收入58.4%、MEMS工艺开发占收入32.5%。根据Yole，瑞典Silex在**2019-2022年连续4年蝉联全球MEMS代工第一**，作为全球MEMS代工龙头，公司业务遍及全球，服务客户包括国际知名的光刻机、DNA/RNA测序仪、红外热成像、计算机网络及系统、元宇宙、硅光子、AI计算、ICT、新型医疗设备巨头厂商以及各细分行业的领先企业，涉及产品范围覆盖了通讯、生物医药、工业汽车、消费电子等诸多应用领域。
- **MEMS代工多点开花，增长点众多**：公司瑞典线2023年上半年完成收购产线所在的半导体产业园区，为业务扩展提供了可预期的空间条件，北京FAB3已陆续实现硅麦克风、电子烟开关、BAW滤波器、MEMS微振镜的量产，已实现MEMS气体传感器、生物芯片，加速度计、陀螺仪的风险试产，同时对于压力、温湿度、硅光子、振荡器等MEMS器件，正积极从工艺开发向验证、试产、量产阶段推进，未来增长点众多。
- **瑞典线OCS器件工艺量产，未来有望受益光连接爆发**：2023年12月，公司全资子公司瑞典以MEMS工艺为某客户制造的OCS（光链路交换器件）完成了工艺及性能验证，该工艺开发与试产的总耗时间超过7年，2023年12月22日收到该客户发出的批量采购订单，瑞典线正式开始进行MEMS-OCS的商业化规模量产，该MEMS-OCS基于8英寸MEMS工艺和设计技术制造，结构复杂精密，是一组由指定数量平面镜所构成的微镜阵列，可用于精确调节光链路的折射方向，实现光链路之间的信号切换与双向传播，提高运算系统的整体性能及稳定性，同时降低系统成本与功耗，可在数据中心网络、超算系统集群等场景中得到广泛应用。
- **国内方面持续推进OCS器件工艺开发**：境内MEMS产线已执行不同阶段的工艺开发合同，制造工艺正在持续积累迭代中，公司持续关注硅光芯片在下游光通信、光互联与光计算领域的应用，努力为境内外客户和相关产业创造价值。

表：公司国内外两条产线产能及产能利用率（截止2023上半年）

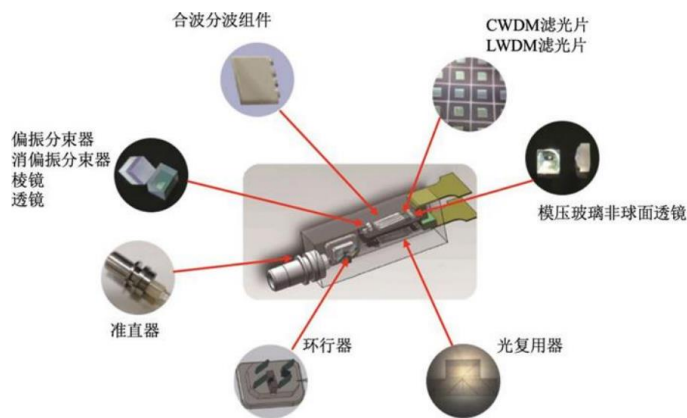
晶圆产线	产品制程	总体产能（片晶圆/年）	期间产能（片晶圆）	产能利用率	生产良率
瑞典8英寸MEMS产线（FAB1 & FAB2）	0.25um-1um	84,000	42,000	46.79%	69.39%
北京8英寸MEMS产线（FAB3）	0.25um-1um	120,000	60,000	14.22%	70.52%

表：公司核心工艺及技术水平状况

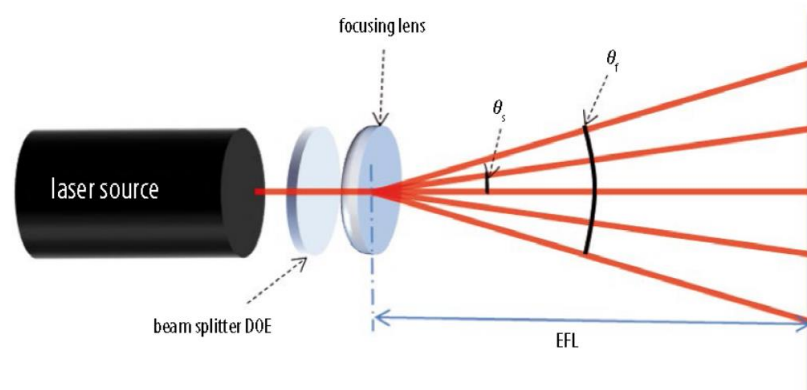
核心工艺模块	产品制程	效果/作用	技术水平
硅通孔技术SiVia@TSV	芯片互连、CMOS-MEMS集成、先进封装	在先进的三维集成电路中实现多层芯片之间的互联，能够在三维方向使得堆叠度最大而外形尺寸最小，提升芯片速度和低功耗性能	国际领先
硅通孔金属层MetVia@TSV			国际领先
玻璃通孔MetVia@TGV			国际领先
深反应离子刻蚀DRIE	刻蚀	在硅衬底上刻蚀深沟槽和深孔	国际领先
晶圆键合Wafer Bonding	键合与退火	将晶圆相互结合，使表面原子相互反应，产生共价键合，让其表面间的键合能达到一定强度，使晶片间无需媒介物而纯由原子键结为一体	国际领先
压电材料Piezo material	材料应用	利用压电材料受压力作用在两端面间出现电压的特性，实现机械能和电能的互相转换	相对领先
MEMS磁性材料MagMEMS	材料应用	磁性材料内部由于磁化状态的改变而引起长度变化，实现磁能和电能的互相转换	相对领先
聚合物材料Polymer	材料应用	聚合物增强了断裂强度、具有低杨氏模量、延长断裂时间和相对低成本，其具有惰性和生物相容的特点，适于生物和化学应用	相对领先
无铅焊锡电镀Plating solders	电镀	利用电解作用使金属或其他材料的表面附着一层金属膜，从而防止腐蚀，并提高耐磨性、导电性、反光性等	相对领先
封帽Capping	圆片封盖密封	形成机械结构所需的真空空间并保护晶圆避免受到机械刮伤、高温破坏	相对领先

- **供应光模块核心光学元件，受益AI算力需求释放：**公司40-50%收入来自光通信，与下游行业的知名厂商均建立了合作关系，可提供滤光片、棱镜、透镜、合分束器、光栅、波分组件（Z-blcok）等光学零部件，应用于数据中心用粗波分复用器（CWDM）、波长选择开关（WSS）等光通信核心模块，其中波分组件（Z-blcok）、滤光片等可应用于400/800G等高速率光模块产品。随着AI行业发展，数据高速传输需求大幅提升带动高速率光模块出货量增长，公司有望逐渐获取海内外客户相关订单，为24年带来不错收入贡献。
- **精密光学元件逐渐突破，受益半导体设备加速国产替代：**据公司2022年报，公司多波段合分束器已完成产品开发，成功进入半导体微电子设备厂供应链，同时积极开发高端光学模组，并已取得销售订单的增长。公司凭借技术优势、客户资源优势，有望显著受益国内半导体设备加速国产替代。
- **新兴业务多点布局，光纤激光器有望缓慢复苏：**公司目前仍有40%多收入来自光纤激光器领域，随着下游需求逐渐好转，以及在国产替代诉求和品类拓展助力下，光纤激光器业务有望逐渐复苏。同时，公司积极布局医疗、AR/VR、车载光学等新兴应用，目前在医疗方面，相关产品已应用于内窥镜系统、流式细胞仪、DNA测序仪、拉曼光谱仪、眼科OCT等生物医疗器械和设备。

图：公司光通信主要产品布局



图：公司分束器原理图



- **聚焦光芯片，打造IDM全流程业务体系：**公司成立于2013年，主营聚焦光芯片的研发、设计、生产与销售，目前主要产品为各类光芯片，主要应用于电信、数据中心、车载激光雷达等市场。光通信领域主要产品包括2.5G、10G、25G、50G以及更高速率的DFB、EML激光器系列产品，以及大功率硅光光源产品，主要应用于光纤接入、4G/5G移动通信网络和数据中心等领域；在车载激光雷达领域，产品涵盖1550波段车载激光雷达激光器芯片等产品。另外经过多年研发积累，公司已建立包括芯片设计、晶圆制造、芯片加工和测试的IDM全流程业务体系，拥有多条覆盖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、可靠性测试验证等全流程自主可控的生产线
- **进入海内外知名客户体系，相关产品出货量大陆领先：**根据C&C数据，2020年在磷化铟半导体激光器芯片产品对外销售的国内厂商中，公司收入排名第一，其中10G、25G激光器芯片系列产品的出货量在国内同行业公司中均排名第一，2.5G激光器芯片系列产品的出货量在国内同行业公司中排名领先。2020年，凭借2.5G 1490nm DFB激光器芯片，公司成为客户A该领域的主要芯片供应商；凭借10G 1270nm DFB激光器芯片，公司在出口海外10G-PON（XGS-PON）市场中已实现批量供货；凭借25G MWDM 12波段DFB激光器芯片，公司成为满足中国移动相关5G建设方案批量供货的厂商。目前公司已实现向客户A1、海信宽带、中际旭创、博创科技、铭普光磁等国际前十大及国内主流光模块厂商批量供货，产品用于客户A、中兴通讯、诺基亚等国内外大型通讯设备商，并最终应用于中国移动、中国联通、中国电信、AT&T等国内外知名运营商网络中

表：公司主要产品布局

应用领域	速率	产品类型		
光纤接入	光纤接入 EPON	2.5G 1310nm FP		
	光纤接入 GPON	2.5G	1310nm DFB	
		2.5G	1490nm DFB	
	光纤接入 10GPON	2.5G	1270nm DFB	
		10G	1270nm DFB	
	光纤接入 50GPON	10G	1577nm EML/+SOA	
		25G	1300nm/ 1286nm DFB	
	电信市场类	4G移动通信网络	50G	1286/1342nm EML
			10G	1310nm FP
		移动通信网络	10G	1310nm DFB
10G			1270~1570nm CWDM16 DFB	
25G			1310nm FP	
25G			10G 超频 1270~1370nm CWDM6 DFB	
25G			1270/1330nm DFB	
25G			1310nm DFB	
25G			1270~1370nm CWDM6 DFB	
25G			LWDM12 Channel DFB	
25G	MWDM12 Channel DFB			
数据中心类	数据中心 100G/200G/400G 2Km	50G	1270~1370nm PAM4 CWDM6 DFB	
		25G	1270~1330nm CWDM4 DFB	
		25G	LWDM4 Channel DFB	
		25G	LWDM4 Channel EML	
		50G	1270~1330nm PAM4 CWDM4 DFB	
		100G	1270~1330nm CWDM4 PAM4 EML	
		CW	1270~1330nm CWDM4 High Power 70mW	
		CW	LWDM4 Channel High Power 70mW	
		CW	1310nm High Power 50mW	
		CW	1270~1330nm CWDM4 High Power 25mW	
车载激光雷达	/	1550nm Pulse DFB		

- **纵横交织，构建VCSEL激光芯片和高速光通信芯片两大产品平台：**公司2012年成立，主要专注于半导体激光芯片的研发、设计及制造，主要产品包括高功率单管、高功率巴条、高效率VCSEL及光通信芯片等系列，已建成覆盖芯片设计、外延生长、晶圆处理工艺（光刻）、解理/镀膜、封装测试、光纤耦合等IDM全流程工艺平台和2吋、3吋、6吋量产线，是全球少数研发和量产高功率半导体激光芯片的公司之一，产品可广泛应用于：光纤激光器、固体激光器及超快激光器等光泵浦激光器泵浦源、激光智能制造装备、国家战略高技术、激光雷达、机器视觉定位、智能安防、消费电子、3D传感与摄像、人脸识别与生物传感等领域
- **光通信产品实现量产，正式进入高端光通信领域。**公司的单波100GEML(56GBdEML通过PAM4调制)和50GVCSEL（25G VCSEL通过PAM4调制）实现量产。公司光通信产品为当前400G/800G超算数据中心互连光模块的核心器件。

表：公司发展历程

年份	事件
2012年	建成包括芯片设计、封装测试、光纤耦合等工艺产线
2013年	实现光纤耦合模块、阵列模块的全面量产
2017年	1、率先提出和推行976nm光纤激光器泵浦方案 2、推出360w 200μm 976nm波长锁定光纤耦合模块产品
2018年	1、成立VCSEL事业部，横向扩展，建立VCSEL芯片6吋线 2、成立激光系统事业部，纵向延伸 3、推出1000w 940nm巴条芯片 4、推出180w 135μm/280w 200μm/350w 200μm 976nm光纤耦合模块产品
2019年	1、推出15w高功率半导体单管芯片 2、推出600w 200μm 976nm光纤耦合模块 3、推出各系列直接半导体激光器
2020年	1、推出18W、25W高功率半导体单管芯片 2、推出VCSEL面发射半导体激光芯片 3、导入InP光通信芯片制造工艺和产线
2021年	实现30W高功率半导体单管芯片的量产



图：公司主要产品布局

高功率单管系列
产品



高功率单管芯片



光纤耦合模块

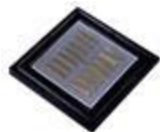


高功率单管器件



直接半导体激光器

高功率巴条系列
产品



高功率巴条芯片



高功率巴条器件



阵列模块

激光雷达与3D
传感系列产品



激光雷达VLR系列



激光雷达EEL系列



TOF系列



SL系列

光通信芯系列
产品



APD系列



EML系列



DFB系列



PD系列



- 大模型商业化进程不及预期
- 全球数据中心资本开支不及预期
- 全球电信运营商资本开支不及预期
- 国内外宏观经济下行风险
- 相关公司国际供应链风险
- 相关数据更新不及时风险

重要声明

- 中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。
- 本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，可能会随时调整。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。
- 市场有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。
- 投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。
- 本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。事先未经本公司书面授权，任何机构和个人，不得对本报告进行任何形式的翻版、发布、复制、转载、刊登、篡改，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。