

推荐 (维持)

提前到来的 1.6T 时代

2024 年 02 月 01 日

投资要点

重点公司

重点公司	评级
中际旭创	增持
中瓷电子	增持
天孚通信	增持
新易盛	增持
鼎通科技	增持
中瓷电子	增持

来源：兴业证券经济与金融研究院

相关报告

《【兴证通信】800G 光模块，AI 算力底座》2023-06-06

分析师：

章林

zhanglin20@xyzq.com.cn

S0190520070002

代小笛

daixiaodi@xyzq.com.cn

S0190521090001

仇新宇

qiuxinyu@xyzq.com.cn

S0190523070005

研究助理：

许梓豪

xuzihao@xyzq.com.cn

- **AI 驱动下 1.6T 需求紧迫，光模块升级周期缩短**：Scaling Laws 是最早由 Open AI 提出的大模型开发的黄金经验法则，即给定算力资源，大模型参数量和数据量存在最大化模型效果的最优解，若提升算力资源，最优解更大，即大模型效果更好，算力规模增大和升级仍是通往 AGI 的关键。英伟达更强性能的 B100 有望于 2024Q2 推出，对应服务器网卡升级至 800G，交换机侧光模块升级至 1.6T 且 GPU：1.6T 光模块配置比例约为 1：2.5。光模块是典型的由产品升级驱动的周期成长性行业，云计算时代产品升级周期 4-5 年，AI 驱动 800G-1.6T 升级周期缩短至两年，大模型军备竞赛持续，板块成长性不断加强。
- **DSP/SerDes 为 1.6T 升级瓶颈，2024Q3 或为成熟拐点**：①**光模块行业标准**：OSFP MSA 针对 1.6T 已推出行业标准；8*200G 或为最优量产方案。②**光芯片**：单波 200G 为 1.6T 光模块未来主流方案，海外巨头已推出 200G PAM4 EML 芯片；200G VCSEL 研发难度高，或无法紧跟该轮升级窗口。③**电芯片**：Marvell、博通正加速支持 1.6T 的 DSP 产品升级，低功耗诉求下逐步向 3nm 制程升级，目前技术标准仍需完善，产品正逐渐成熟。④**200G SerDes 成为产业成熟关键**：博通 200G SerDes 有望于 2024Q3 推出，打通以太网 1.6T 成熟最后一环，使得 1.6T 光模块在功耗、延迟、成本等方面将更具量产优势，英伟达 200G SerDes 产品进度或与博通相当；随着 200G SerDes 大批量出货，1.6T 放量确定性高，EML 凭借成熟的产业链配套方案，有望率先起量。
- **产业链还有哪些投资机会？**
- **1) 硅光**：在集成度提升、EML 芯片或短缺背景下，1.6T 硅光模块成熟进度虽落后传统方案，但具备相较此前更好的量产条件。CW 激光器、硅光设备包括耦合、贴片和封装等均有望受益于行业快速发展。
- **2) 激光器**：1.6T 时代，200G EML 有望成激光器主要量产方案，200G VCSEL 目前研发进度落后 EML，或在短距多模场景给硅光 CW 激光器机会，国内激光器芯片厂商具备国产替代机会。
- **3) 连接器**：数据中心是主要应用场景之一，AI 影响下迭代周期快；需求量与光模块强相关。高速 IO 连接器与光模块对插使用，海外已有 224G 产品，国内 112G 逐步起量。光纤连接器竞争激烈，头部公司市场份额高、竞争力强。
- **4) 其他**：陶瓷基板、薄膜铌酸锂、TEC 芯片等环节有望受益于 1.6T 升级。
- **投资逻辑及标的推荐**：Scaling Laws 经验法则表明算力提升仍是未来大模型通往 AGI 的关键，2024 年，英伟达有望于 Q2 推出 B100 系列芯片，AI 驱动光模块升级周期缩短，交换机传输间或标配 1.6T 光模块。随着 200G DSP/SerDes 在 2024Q3 的成熟，全产业链成熟助力 1.6T 光模块起量，传统 EML 单模方案为主流。**重点推荐**：中际旭创、天孚通信、新易盛；**建议关注**：鼎通科技、中瓷电子、太辰光、罗博特科、源杰科技、仕佳光子、博创科技、光库科技、光迅科技、华工科技等。
- **风险提示**：电芯片升级进度不及预期；贸易摩擦加剧；AI 应用进度不及预期。

目 录

1、AI 驱动下 1.6T 需求紧迫，光模块升级周期缩短	- 4 -
1.1、为什么 Scaling Laws 重要？	- 4 -
1.2、英伟达GPU 持续升级，加速 1.6T 光模块迭代	- 6 -
1.3、1.6T 高性价比突出，B100 芯片配置需求比例高	- 6 -
2、SerDes 为 1.6T 升级瓶颈，2024Q3 或为成熟拐点	- 8 -
2.1、1.6T 光模块标准落地，8*200G 为最优量产方案	- 8 -
2.2、光芯片：200G 光口速率成为主流，EML 芯片先发优势显著	- 9 -
2.3、电芯片：200G DSP 产品初步成熟，低功耗诉求推动制程升级	- 10 -
2.4、200G SerDes 为 1.6T 升级瓶颈，2024Q3 或为成熟拐点	- 11 -
3、产业链还有哪些受益环节？	- 14 -
3.1、硅光技术成为 1.6T 补充方案，可插拔形式或先落地	- 14 -
3.2、激光器：200G EML 或为主流，硅光 CW 激光器加速国产替代	- 16 -
3.3、连接器：数据中心升级下更新迭代快，需求数量与光模块强相关	- 17 -
3.4、其他：陶瓷基板、薄膜铌酸锂、TEC 等环节受益行业进展	- 20 -
4、投资逻辑及标的推荐	- 23 -
5、风险提示	- 24 -

图目录

图 1、OpenAI 提出的Scaling Laws 重点关注模型参数规模提升	- 4 -
图 2、给定计算资源下，模型参数量和训练量存在最优解	- 5 -
图 3、模型参数增加需要的算力资源会同比增长	- 5 -
图 4、英伟达训练/推理 GPU 加速升级	- 6 -
图 5、数通市场光模块往更高速率迁移	- 6 -
图 6、随速率提升，光模块低单位功耗优势显著	- 7 -
图 7、OSFP MSA 的 1.6T 光模块的行业封装标准	- 8 -
图 8、OSFP、OSFP-XD 或为未来高速光模块主流封装	- 8 -
图 9、不同封装形式结构示意图	- 8 -
图 10、行业标准推动光口 200G 成熟度较高	- 9 -
图 11、Lumentum 明确 1.6T 时代 200G 速率激光器为主流	- 10 -
图 12、三菱单波 200G EML 芯片及 800G 光模块示意图	- 10 -
图 13、博通推出 100G PAM4 VCSEL	- 10 -
图 14、博通 200G 速率 DSP 及其配置参数	- 11 -
图 15、Marvell 加速推进DSP 芯片发展成熟	- 11 -
图 16、博通 200G/通道 PAM-4 DSP PHY 电口仍为 100G	- 12 -
图 17、200G SerDes 成熟后可进一步简化 1.6T 光模块	- 12 -
图 18、200G SerDes 有望于 2025 年加速放量	- 13 -
图 19、2022-2028 硅光子 PIC 市场规模及预测（2023 年预测）	- 14 -
图 20、硅光芯片设计制备测试封装流程图	- 15 -
图 21、硅光平台 8 英寸 CMOS 工艺线部分设备	- 15 -
图 22、晶圆检测设备	- 16 -
图 23、耦合、组装等设备	- 16 -
图 24、硅光芯片设计制备测试封装流程图	- 16 -
图 25、长光发布 100mW CW 激光器（2024 年 1 月）	- 17 -
图 26、在连接器市场中数据中心占比较高且更新迭代快	- 17 -
图 27、光模块和高速 IO 连接器对插使用	- 18 -

图 28、Molex OSFP 1600 连接器及 224G 产品组合	- 19 -
图 29、Molex 224G 背板连接器及电缆.....	- 19 -
图 30、MPO 的配线方式（直连、转接其他接口）	- 19 -
图 31、全球 MPO 光纤连接器龙头（2021）.....	- 20 -
图 32、SENKO 1.6T 光模块用 MPO.....	- 20 -
图 33、基于薄膜铌酸锂的异质集成方案（调制器）	- 21 -
图 34、MicroTEC 器件.....	- 22 -

表目录

表 1、单个模型对光模块需求弹性测算（假设同样的三层胖树集群架构）	- 7 -
表 2、头部厂商加速布局 1.6T 光模块.....	- 13 -
表 3、电连接器和光连接器是通信连接器重要组成.....	- 18 -
表 4、优迅科技(典型气密性封装企业)成本结构.....	- 20 -
表 5、薄膜铌酸锂适用于调制器等器件.....	- 21 -
表 6、1.6T 产业链受益标的.....	- 23 -
表 7、当前估值较低，未来增长确定性强（2024-01-25）	- 24 -

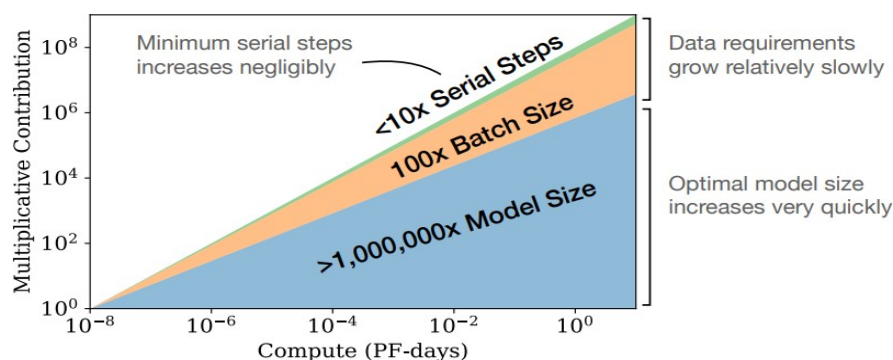
报告正文

1、AI 驱动下 1.6T 需求紧迫，光模块升级周期缩短

1.1、为什么 Scaling Laws 重要？

Scaling Laws（缩放法则）：模型参数量、数据集、计算量之间应该存在最优解。Scaling Laws 最早由 OpenAI 提出，2020 年 OpenAI 发布了论文《Scaling Laws for Neural Language Models》研究了模型参数量、数据集、计算量之间关系，其给出的结论是最佳计算效率训练涉及在相对适中的数据量上训练非常大的模型并在收敛之前 early stopping，即**参数规模是最重要的**。

图 1、OpenAI 提出的 Scaling Laws 重点关注模型参数规模提升



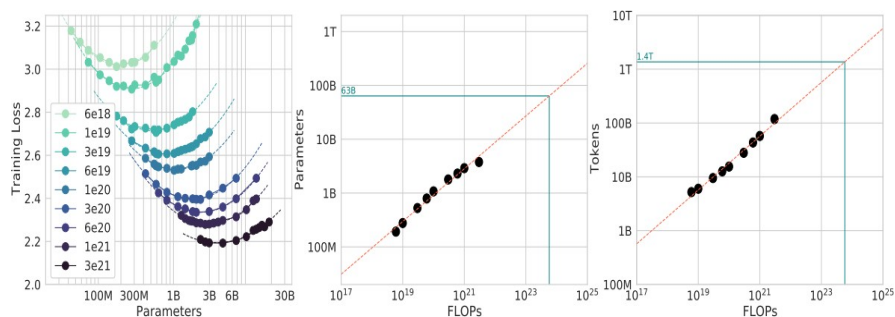
资料来源：《Scaling Laws for Neural Language Models》，兴业证券经济与金融研究院整理

但是 DeepMind 在 2022 年发布了论文《Training Compute-Optimal Large Language Models》重点研究了计算资源（FLOPs）、模型大小（model size）、训练数据规模（training tokens）的关系，发现三者之间存在最优解的同时，在最优的模型下，**计算量增大时，模型大小和训练数据也应该同比例增大**。

角度一：给定 FLOPs（计算资源），找到最优的模型参数与训练 token 数组合，使得最后的训练误差最小。

在模型效果的记录下，通过针对计算量的固定可以发现，不同的计算量均存在模型参数量和训练数据量的最优解，同时随着计算资源的提升，所需要的模型参数量和训练数据量也持续提升。

图 2、给定计算资源下，模型参数量和训练量存在最优解



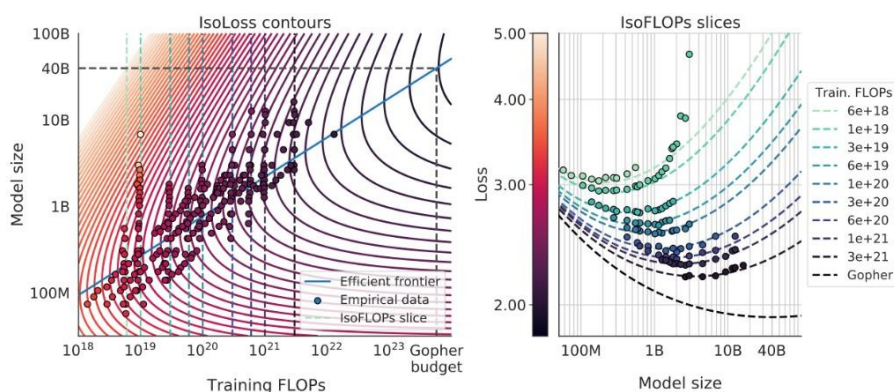
资料来源:《Training Compute-Optimal Large Language Models》，兴业证券经济与金融研究院整理

角度二：基于最优解的关系，拟合训练模型效果（Loss）。

实验分析显示，为了得到效果最好的大模型（Loss 最小），模型大小（model size）和计算量（FLOPs）之间存在最优解，且在最优模型状态下，模型参数越大需要的算力也会等比例增加。

当前大模型仍处于发展前期，基于 Scaling Laws 的启示，为了达到最优的模型效果，当我们不断增加模型参数规模时，所需要配置的算力规模仍需要等比例提升，推动算力硬件需求长期增长。通往 AGI 的进程中，算力仍然是主要掣肘，GPU 及其网络设备仍需持续升级换代。

图 3、模型参数增加需要的算力资源会同比增长



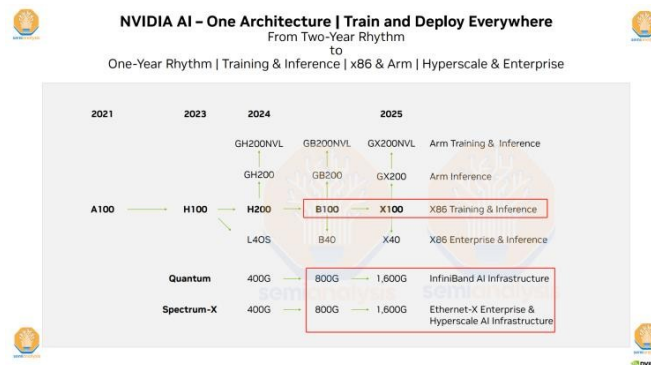
资料来源:《Training Compute-Optimal Large Language Models》，兴业证券经济与金融研究院整理

1.1 、英伟达 GPU 持续升级，加速 1.6T 光模块迭代

英伟达训练芯片升级路径明确，B100 GPU 或于 2024 年 2 季度发布，该架构推动 800G/1.6T 光模块需求提升。根据海外 semianalysis 报道，英伟达或进一步明确未来的 AI GPU 升级路径，2024 年针对训练端推出 B100 芯片，推理端推出 B40 芯片；2025 年针对训练端推出 X100 芯片，推理端推出 X40 芯片。与 H100 相比，在 InfiniBand 和以太网架构中，B100 配置升级成 800G 网卡，交换机数据传输间考虑到高时效性及高带宽要求，1.6T 光模块或成为其标配方案；X100 芯片对应网卡升级成 1.6T，2025 年 1.6T 光模块进入真正爆发式增长确定性高。从英伟达的升级路径中可以发现，在大模型持续迭代背景下，对应训练端的 GPU、交换机、光模块等算力硬件基础设施持续升级，2025 年有望持续高成长。

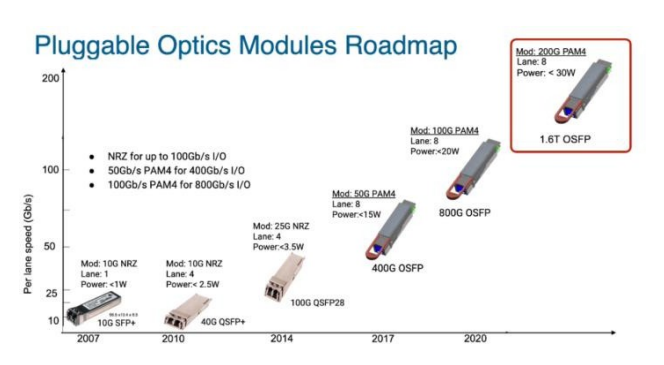
AI 东西向流量爆发驱动带宽压力加大，缩短高速光模块更新迭代周期。数通市场光模块更新迭代周期通常为 4-5 年（如 400G 在 19 年规模商用，到 22 年 800G 规模商用）；AI 加持下东西向流量增长驱动网络架构升级，大幅提升光模块需求量及传输速率，1.6T 有望于 24 年开始商用，更新周期缩短至 2 年。

图 4、英伟达训练/推理 GPU 加速升级



资料来源：Semianalysis，兴业证券经济与金融研究院整理

图 5、数通市场光模块往更高速率迁移

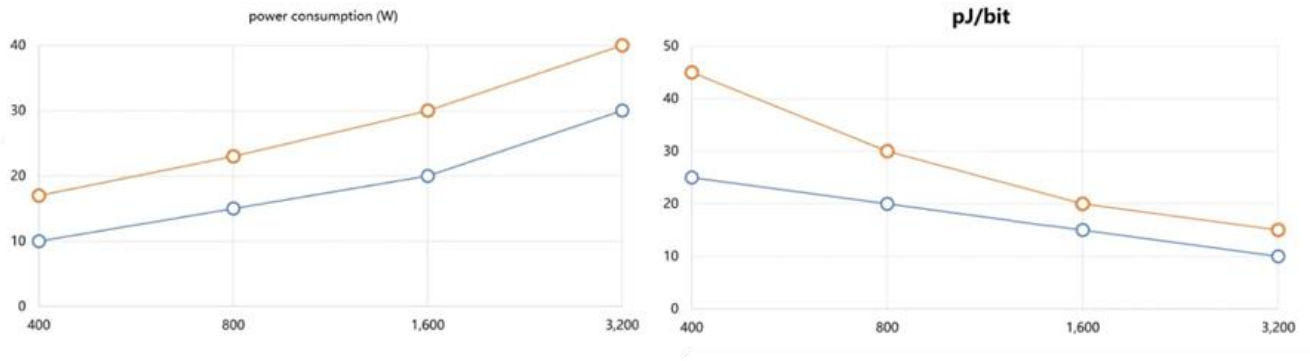


资料来源：Arista，兴业证券经济与金融研究院整理

1.2 、1.6T 高性价比突出，B100 芯片配置需求比例高

1.6T 光模块单位功耗/成本优势显著，客户升级驱动力强。根据 FiberMall 测算，以太网光模块为例，400G-800G-1.6T-3.2T，功耗分别约 10W、15W、20W、30W，从 800G 到 1.6T，速率提升至 2 倍情况下，功耗从 15W 提升至 20W，单位功耗持续优化，在 AI 低功耗诉求下供给端升级驱动力强。从成本端来看，1.6T 量产初期，单价或为 800G 的 2-3 倍，随后进入逐年降价阶段，每 G 成本持续下降，这也是云厂商持续升级光模块的核心原因。

图 6、随速率提升，光模块低单位功耗优势显著



资料来源：FiberMall，兴业证券经济与金融研究院整理

注：蓝色为以太网光模块，橙色为相干模块；两图横轴为光模块速率 G，左图纵轴为功耗 W，右图纵轴为 pJ/bit。

假设 B100 服务器网卡配套升级下，对应 B100 芯片与 1.6T 光模块配比比例为 1:2.5，与 H100/800G 配比关系保持一致。以英伟达 16K GPU 训练集群为例，测算该训练集群规模下不同 GPU 芯片对应配套速率光模块需求弹性：首先以 H100（配套 ConnectX-7 的 400G 网卡）服务器到 TOR 层使用为 400G AOC/DAC，叶交换机下行和上行均为 800G 光模块，脊交换机下行和上行均为 800G 光模块；且 AI 服务器整体算力负荷高于传统数据中心，带宽需求高，我们以收敛比 1:1 进行测算。根据我们的详细测算，800G 光模块：H100 GPU 约为 2.5:1；如果在同样的架构下采用 B100 芯片，假设服务器配套网卡升级成 ConnectX-8、速率为 800G，对应服务器到 TOR 层使用 800G AOC/DAC，往上传输到交换机层面均采用 1.6T 的光模块，因此与 H100 配 800G 方案类似，可得 1.6T 光模块：B100 芯片为 2.5:1；考虑到 1.6T 光模块价值量和盈利能力较 800G 预计有较大提升，未来行业成长空间广阔。

表 1、单个模型对光模块需求弹性测算（假设同样的三层胖树集群架构）

光模块需求测算	H100(CX-7 400G 网卡)	B100(假设 CX-8 800G 网卡)
POD 数量 (个)	8	8
单个 POD 节点数 (个)	8	8
单个节点所需服务器 (个)	32	32
服务器数量 (个)	2048	2048
单个服务器所需 GPU 数量 (个)	8	8
GPU 总数量 (个)	16384	16384
服务器到 TOR 400G/800G AOC/DAC 需求量 (个)	16384	16384
TOR 到叶交换机 1.6T/800G 光模块数量 (个)	8192	8192
叶交换机下行 1.6T/800G 光模块需求量 (个)	8192	8192
叶交换机上行 1.6T/800G 光模块需求量 (个)	8192	8192
脊交换机下行 1.6T/800G 光模块需求量 (个)	8192	8192
脊交换机上行 1.6T/800G 光模块需求量 (个)	8192	8192
1.6T (800G) 光模块需求量 (个)	40960	40960
GPU 芯片与 1.6T (800G) 光模块配置比例	1:2.5	1:2.5

资料来源：Semianalysis，NVIDIA，兴业证券经济与金融研究院整理

请务必阅读正文之后的信息披露和重要声明

2、SerDes 为 1.6T 升级瓶颈，2024Q3 或为成熟拐点

2.1、1.6T 光模块标准落地，8*200G 为最优量产方案

行业标准协会 OSFP MSA 推出 1.6T 封装标准，单模方案标准成熟早、份额或有明显提升。目前 OSFP MSA 推出的 1.6T 光模块标准中，电口均为 100G 速率，光口主要为 100G 或 200G 两种，主要有 DR16、DR8、4FR2、ZR2、4FR4、2FR4、2FR8、FR8 这 8 种方案。与上一轮 800G 行业标准推出时相比，本轮 1.6T 光模块标准基本均为 DR、FR 等单模光模块，没有 SR 等多模短距离方案，预计 1.6T 时代单模光模块窗口期先发优势显著，在 AI 加速推进下单模方案市场份额有望持续提升。

图 7、OSFP MSA 的 1.6T 光模块的行业封装标准

PMD	NOTES	Assignment of electrical lanes to Optical connector															
		TX1	TX2	TX3	TX4	TX5	TX6	TX7	TX8	TX9	TX10	TX11	TX12	TX13	TX14	TX15	TX16
DR16	16 x 1λ x 100G	TX1	TX2	TX3	TX4	TX5	TX6	TX7	TX8	TX9	TX10	TX11	TX12	TX13	TX14	TX15	TX16
DR8	8 x 1λ x 200G	TX1		TX2		TX3		TX4		TX5		TX6		TX7		TX8	
4FR2	4 x 2λ x 200G	TX1 λ1		TX1 λ2		TX2 λ1		TX2 λ2		TX3 λ1		TX3 λ2		TX4 λ1		TX4 λ2	
ZR2	1 x 2λ x 800G	TX λ1								TX λ2							
4FR4	4 x 4λ x 100G	TX1λ1	TX1λ2	TX1λ3	TX1λ4	TX2λ1	TX2λ2	TX2λ3	TX2λ4	TX3λ1	TX3λ2	TX3λ3	TX3λ4	TX4λ1	TX4λ2	TX4λ3	TX4λ4
2FR4	2 x 4λ x 200G	TX1λ1		TX1λ2		TX1λ3		TX1λ4		TX2λ1		TX2λ2		TX2λ3		TX2λ4	
2FR8	2 x 8λ x 100G	TX1λ1	TX1λ2	TX1λ3	TX1λ4	TX1λ5	TX1λ6	TX1λ7	TX1λ8	TX2λ1	TX2λ2	TX2λ3	TX2λ4	TX2λ5	TX2λ6	TX2λ7	TX2λ8
FR8	1 x 8λ x 200G	TX λ1		TX λ2		TX λ3		TX λ4		TX λ5		TX λ6		TX λ7		TX λ8	

资料来源：OSFP MSA，兴业证券经济与金融研究院整理

OSFP、OSFP-XD 成为未来主流封装形式，8*200G 为最优量产方案。随着速率提升，单个光模块的总功耗有所提升，QSFP-DD 小型化封装适配难度较高，主流或为 OSFP 和 OSFP-XD；其中 8*200G（八通道光口、电口均为 200G）方案的 OSFP 体积更精简，成本与功耗优势更明显。

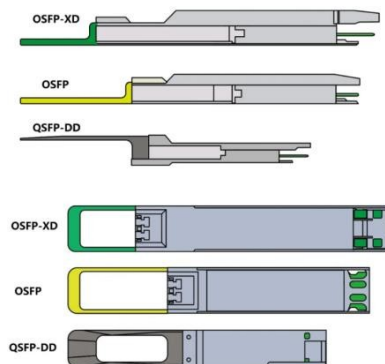
图 8、OSFP、OSFP-XD 或为未来高速光模块主流封装

Power Consumption of Hot-pluggable Optical Module

QSFP-DD	OSFP	OSFP-XD
400G (8*50G)	400G (8*50G)	1600G (16*100G)
800G (8*100G)	800G (8*100G)	3200G (16*200G)
	1600G (8*200G)	
25W	33W	40W

资料来源：FiberMall，兴业证券经济与金融研究院整理

图 9、不同封装形式结构示意图

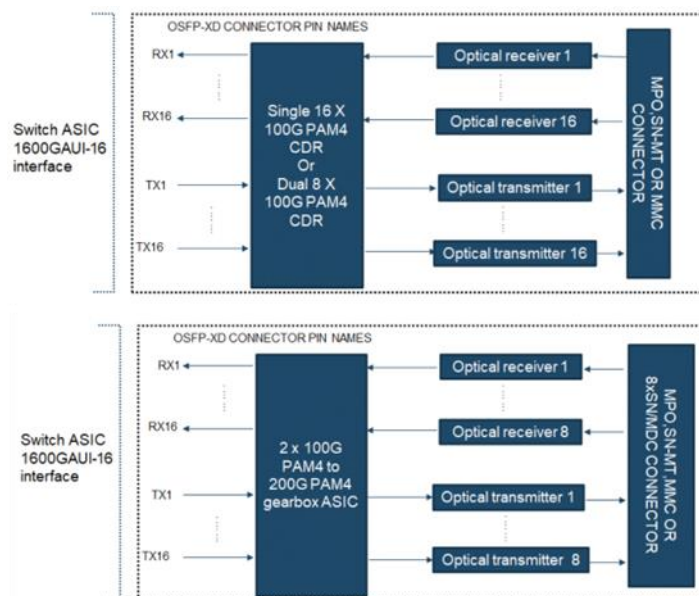


资料来源：FiberMall，兴业证券经济与金融研究院整理

2.1 、光芯片：200G 光口速率成为主流，EML 芯片先发优势显著

光口 200G 速率或为行业主流。以 OSFP-XD DR16 和 DR8 方案为例，两者差距主要为光口单通道速率；考虑到光模块内部的精简性和成本的优势，单通道 200G 速率或为未来主流。以各家目前推出的产品为例，中际旭创演示了 1.6T OSFP-XD DR8+方案的产品，光迅科技也推出了 1.6T OSFP-XD DR8/8+的产品等。

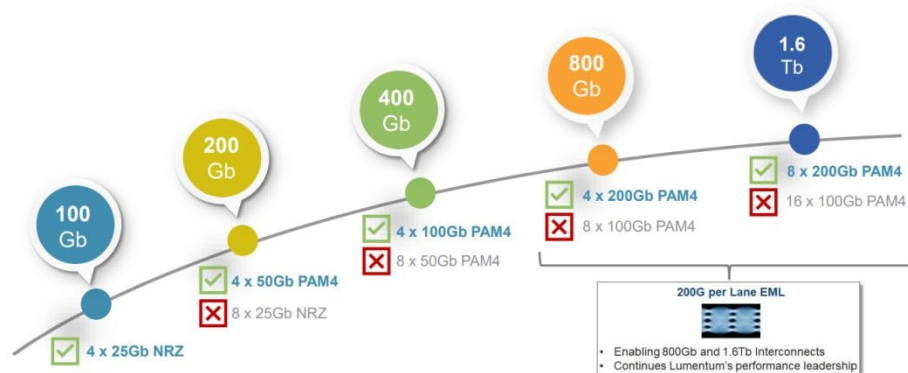
图 10、行业标准推动光口 200G 成熟度较高



资料来源：OSFP MSA，兴业证券经济与金融研究院整理

海外光芯片巨头聚焦 200G PAM4 EML 单模赛道，8*200Gb PAM4 为 1.6T 主要方案。目前从产业链研发进度来看，200G PAM4 EML 芯片为最成熟方案，多家海外头部厂商已推出相关产品，在 AI 驱动 1.6T 光模块加速升级背景下加速商用化进程，且凭借先发优势未来份额有望持续提升。Lumentum 作为 EML 芯片龙头，已于去年推出 200G PAM4 EML 芯片并预计于 24 年进行量产；三菱推出了专有的混合波导结构设计的 200G PAM4 CWDM4 EML 芯片；博通也已推出适用于 1.6T 光模块的 200G EML 芯片。

图 11、Lumentum 明确 1.6T 时代 200G 速率激光器为主流



Each Generation Optimized Through Better Laser Performance

资料来源：Lumentum，兴业证券经济与金融研究院整理

VCSEL 芯片目前仍处于 100G 速率时代，200G 研发难度高或错过本轮窗口期。VCSEL 芯片目前行业龙头主要为博通，其最先进的 VCSEL 芯片为 AFCD-V84LP，速率达 112Gb/s PAM4；研发进度显著落后于 EML，或无法紧跟该轮 AI 推动的 1.6T 光模块更新迭代。

图 12、三菱单波 200G EML 芯片及 800G 光模块示意图



资料来源：Mitsubishielectric，兴业证券经济与金融研究院整理

图 13、博通推出 100G PAM4 VCSEL



资料来源：Broadcom，兴业证券经济与金融研究院整理

2.3、电芯片：200G DSP 产品初步成熟，低功耗诉求推动制程升级

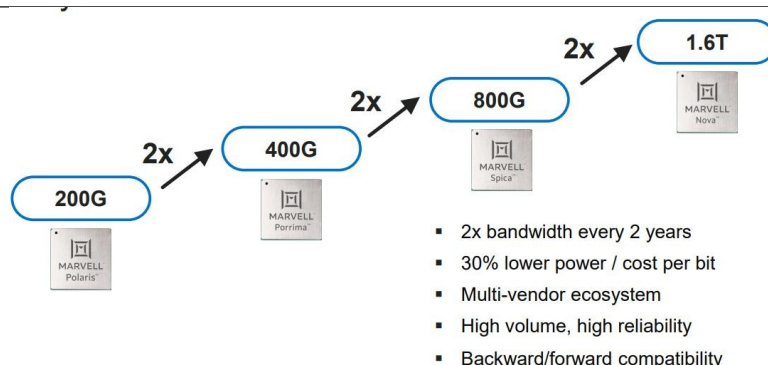
博通与 Marvell 均推出基于 5nm 制程的单波 200G 速率的 DSP 芯片，1.6T 光模块产业进一步成熟。博通推出了 BCM85822 和 BCM85821 两款满足 200G/lane 光传输要求的 DSP 芯片，以其适配的 800G 单模光模块为例，其中在 Line side 侧（光信号侧）可实现 4*226G PAM4，达到单波 200G，在 Client side（电信号侧）为 8*106G PAM4，达到单波 100G 速率。目前 200G DSP 初步推出，成熟度仍需提升，但成熟进度或快于 SerDes。

图 14、博通 200G 速率 DSP 及其配置参数

资料来源：Broadcom，兴业证券经济与金融研究院整理

DSP 芯片带宽加速提升，低功耗诉求下先进制程成为主流。 Marvell 预测 DSP 芯片可实现带宽每两年翻倍，并且在 23 年末 1.6T NOVA PAM4 DSP 芯片已在客户认证中。随着博通和 Marvell 的支持单波 200G 光速率的 DSP 芯片的推出，1.6T 光模块产业链已逐步进入成熟阶段；且随着速率的提升对应 DSP 芯片的制程也已提升至 5nm，未来有望逐步提升至 3nm 以降低功耗。

图 15、Marvell 加速推进 DSP 芯片发展成熟



资料来源：Marvell，兴业证券经济与金融研究院整理

2.3、200G SerDes 为 1.6T 升级瓶颈，2024Q3 或为成熟拐点

1.6T 产业链目前成熟度最低的主要是 SerDes，支持 200G SerDes 的交换机芯片或于 2024Q3 推出。 从现有 1.6T 光模块产业进度看，光器件如激光器的产业成熟度好于 DSP 等电芯片；光口为 8*200G 方案，电口仍为 16*100G 方案。由于光口与电口速率不统一，在 DSP 中需要内置一个 gearbox 来实现速率转换的功能；而当电口 200G SerDes 升级成熟使得光口、电口速率一致时，1.6T 光模块架构将达到最理想 8:8 PHY 芯片的状态，可省去 gearbox 芯片，在功耗、延迟、成本等方面将更具有商业化优势。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/378117056040006051>