

## AI 浪潮奔涌，CPO 等光技术持续演进

### 核心观点

- **事件：**ChatGPT 风靡全球，英伟达创始人兼 CEO 黄仁勋提出 AI 迎来“iPhone 时刻”，算力、网络设备和光模块等领域有望迎来快速发展。受益于此，英伟达、博通和 Marvell 等厂商股价大涨。Marvell 近期预计 2024 财年 AI 相关产品营收同比至少倍增，并在未来几年持续迅速成长。
- **光芯片前景广阔，集成趋势下硅光芯片有望异军突起。**在 AI 算力高弹性、国产化进程持续推进、下游模块厂商海外业务拓展等的共同催化下，光芯片领域发展前景广阔，国产替代正当时。产业多种光芯片方案快速推进，DFB、EML 等传统光芯片在稳定性和低成本方面不断发力。未来光芯片顺应集成化规律，向硅光芯片集成高速光引擎的发展趋势是目前行业共识，硅光芯片凭借低成本、高性能的优势亦有望成为更优解决方案。此外，立讯精密、长电科技等消费电子/半导体公司入局光模块/芯片赛道，有望将成熟技术应用到光芯片产业链，进一步降本增效促进行业发展。
- **CPO 和 LPO 封装方案有望逐步成熟落地。**CPO 方案是通过在交换机光电共封装起到降低成本、降低功耗的目的。CPO 是长期来看在实现高集成度、低功耗、低成本以及未来超高速率模块应用方面是综合最优的封装方案。LPO 短距离、低功耗、低时延等特性适配 AI 计算中心。由于可以直接应用于目前成熟的光模块供应链，在高线性度 TIA/Driver 厂商大力推动下或可快速落地。
- **“相干下沉”空间可期，薄膜铌酸锂调制器有望借势破局。**随着光模块速率的不断提升，直接探测方案的传输距离将受到限制，相干探测凭借着高容量、高信噪比等优势得到广泛应用，预计未来相干光链路的用量将迎来高速增长。薄膜铌酸锂是超高速数据中心和相干光传输的核心光器件，具有高性能、低成本、小尺寸、可批量化生产且与 CMOS 工艺兼容等优点，是未来高速光互连极具竞争力的解决方案。

### 投资建议与投资标的

- AI 算力需求增长趋势确定，预计直接提升高速率光模块产业链市场增量，光芯片作为光模块的核心器件有望深度受益，我们看好其在国产替代和技术创新趋势下的表现。光赛道技术领先的供应商直接受益于市场增量，对于产业发展趋势更具话语权。1) 光芯片领域有较强国产替代预期，建议关注源杰科技、华工科技、长光华芯、华西股份；2) 薄膜铌酸锂调制器芯片作为一种新的光电调制方式，有望成为高速光互联更优解决方案，建议关注福晶科技；3) Micro TEC 是目前高速率光通信领域实现精准控温的优质方案，建议关注富信科技。

### 风险提示

- 行业竞争加剧；下游需求不及预期；扩产进度不及预期；渠道调研的局限性。

行业评级 看好 (维持)

国家/地区 中国  
行业 电子行业  
报告发布日期 2023 年 05 月 30 日



### 证券分析师

蒯剑 021-63325888\*8514  
kuaijian@orientsec.com.cn  
执业证书编号: S0860514050005  
香港证监会牌照: BPT856

李庭旭  
litingxu@orientsec.com.cn  
执业证书编号: S0860522090002

### 联系人

杨宇轩 yangyuxuan@orientsec.com.cn  
韩潇锐 hanxiaorui@orientsec.com.cn  
张释文 zhangshiwen@orientsec.com.cn  
薛宏伟 xuehongwei@orientsec.com.cn

### 相关报告

AI 刺激持续，国产化进程加速 2023-05-28  
算力需求提升，光芯片正扬帆 2023-03-26

## 目录

AI 迎来“iPhone 时刻”，光技术持续演进 .....	4
1 CPO 是光通讯实现光电转换的长期路径.....	8
2 LPO 是短中期极具性价比的过渡方案.....	11
3 硅光集成趋势下光引擎地位凸显.....	13
4 “相干下沉”+相干光链路空间可期.....	15
5 薄膜铌酸锂调制器有望借势破局.....	16
6 投资建议 .....	18
风险提示.....	18

## 图表目录

图 1: ChatGPT 成为史上增速最快的消费级应用之一 .....	4
图 2: AI 应用预计推动国际科技巨头业绩增长 .....	4
图 3: 光芯片产业链上下游 .....	4
图 4: 光模块与光器件成本组成 .....	4
图 5: 全球数据规模 (ZB) .....	5
图 6: Top 5 云厂商以太网光模块市场规模 (百万美元) .....	5
图 7: 2018-2027E 光芯片占光模块市场比重 .....	6
图 8: 2019-2024E 中国光芯片占全球市场份额 .....	6
图 9: 2021 年光芯片国产替代率 .....	6
图 10: 光模块全球前十生产商 .....	7
图 11: 光芯片种类不断升级迭代 .....	7
图 12: 从可插拔光模块向 CPO 发展的路径 .....	8
图 13: CPO 技术路线 .....	8
图 14: 中国计算机互连技术联盟 CPO 及 Chiplet 标准 .....	8
图 15: 800G 及 1.6T 光模块/光引擎与 AOC 出货 (万件) .....	9
图 16: CPO 与数据中心网络架构优化路径 .....	9
图 17: TEC 半导体制冷器工作原理 .....	10
图 18: TEC 半导体制冷器外形特征 .....	10
图 19: 光电封装发展路径 .....	11
图 20: 400G ZR 光模块能耗占比 .....	11
图 21: 线性直驱路线在各材料方案中具备功耗优势 (pJ/Bit) .....	11
图 22: 光模块方案参数对比 .....	11
图 23: Intel 硅光模块样品示意图 .....	13
图 24: 博创科技 400G 硅光模块结构图 .....	13
图 25: 核心硅光芯片器件 .....	14
图 26: 硅光芯片集成光引擎结构图 .....	14
图 27: 相干传输系统结构图 .....	15
图 28: 400G 相干光模块互通标准的发展演化 .....	15
图 29: 电光调制器三种材料方案对比 .....	16
图 30: 薄膜铌酸锂调制器芯片横截面结构图 .....	16
图 31: 富士通薄膜铌酸锂调制器较体材料铌酸锂产品尺寸缩小 60% .....	16
图 32: 铌酸锂薄膜图形化技术路线 .....	17
图 33: 全球铌酸锂调制器市场主要参与者 .....	17

## AI 迎来“iPhone 时刻”，光技术持续演进

AI 未来已来，算力、网络设备和光模块等领域率先受益。2022 年 11 月底，OpenAI 发布聊天机器人 ChatGPT，仅用 5 天用户破百万，2 个月活跃用户破亿，成为史上增速最快的消费级应用之一。2023 年 3 月，英伟达召开的 GTC 开发者大会犹如“深水炸弹”，创始人兼 CEO 黄仁勋提出的全新概念：我们正处于 AI 的“iPhone 时刻”。目前 AI 正在迎来爆发式增长，将成为数十年来最有前途的技术领域之一，并将驱动算力、网络设备和光模块等领域的极大发展。受益于此，博通和 Marvell 等网络与通信芯片巨头的股价均迎来大幅上涨。博通表示 23 年用于生成式 AI 业务的以太网设备销售额将从 2 亿美元上升到超 8 亿美元；Marvell 也于近期表示 AI 已成为关键成长动能，预估 2024 财年 AI 相关产品营收至少较 2023 年度呈现倍增，并在未来几年持续迅速成长。

图 1：ChatGPT 成为史上增速最快的消费级应用之一



数据来源：Statista、东方证券研究所

图 2：AI 应用预计推动国际科技巨头业绩增长

厂商	AI 推动业绩增长
英伟达	生成式 AI 推动第二季销量大涨 64%，正快速扩产应对急速上升的市场需求
博通	23 年用于生成式 AI 业务的以太网设备销售额将从 2 亿美元上升到超 8 亿美元
Marvell	预估 2024 年度 AI 相关产品营收至少较 2023 年度呈现倍增

数据来源：英伟达、科创板日报、东方证券研究所整理

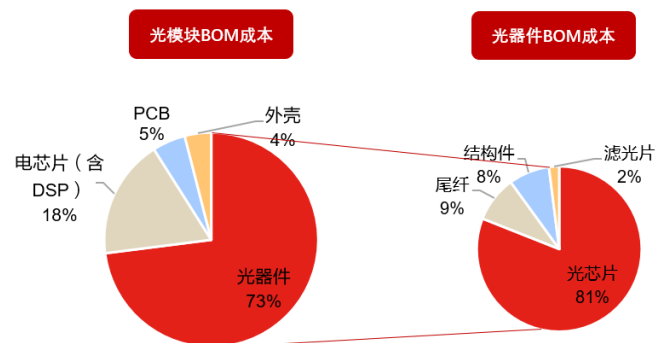
高速率光技术持续演进。作为 AI 算力的核心器件，光模块及其配套芯片持续迭代：1）CPO、LPO 等先进封装技术在降低光模块成本及功耗上作用显著，中际旭创、新易盛等光模块厂商率先布局；2）EML、硅光和薄膜铌酸锂等光芯片不断升级来适配高速率场景应用，源杰科技、长光华芯和光库科技等厂商不断突破芯片技术瓶颈。光芯片作为光模块中最核心的部件（光器件占光模块成本的 73%，光芯片占光器件成本的 81%），拥有更大的附加价值量弹性和国产替代预期，在产业链中地位尤其重要，光芯片厂商亦有望在 AI 浪潮中持续受益。

图 3：光芯片产业链上下游



数据来源：东方证券研究所整理

图 4：光模块与光器件成本组成

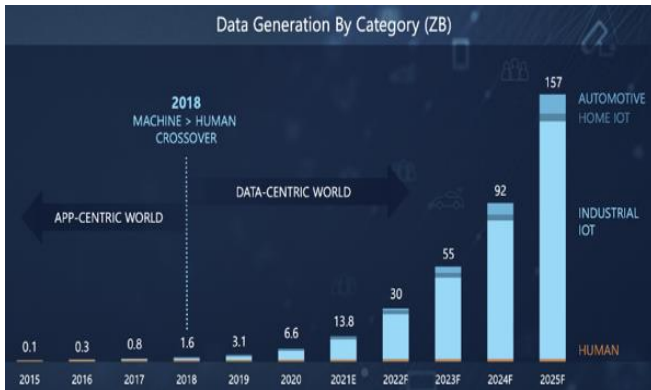


数据来源：亿渡数据、东方证券研究所

**光芯片三重逻辑共振：1) AI 算力高弹性；2) 国产替代预期；3) 下游模块厂商出海加持。**在 AI 算力需求拉动下光模块向更高速率演进，光芯片作为光模块核心器件有望深度受益；中国光芯片市场规模持续增加，国产化进程有望持续迈进；国内下游模块厂商海外业务不断拓展，光芯片可以跟随光模块出海，有望应用到谷歌、微软等海外互联网大厂。在前沿光通信技术发展和高算力需求的共同催化下，将有力推动光芯片的技术升级和更新换代，硅光芯片、薄膜铌酸锂调制器芯片等有望成为更优解决方案。

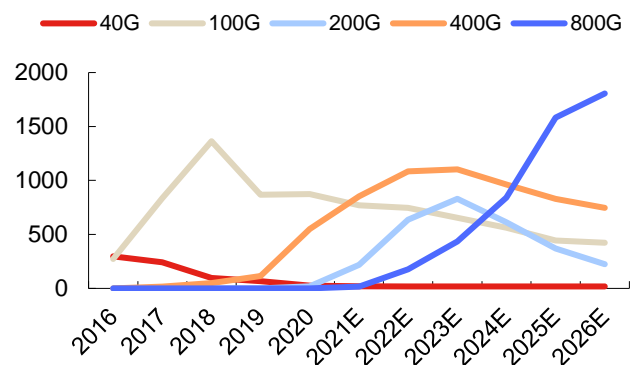
**1) 算力需求带动高速率光模块市场量价齐升。**全球数据规模随着 AIGC 的发展预计增速会持续提升，数据中心高速率光模块市场相应将获得较大增量市场。根据中国计算机互连技术联盟（CCITA）CPO 标准及草根调研数据，云计算通用服务器所属叶脊架构的交叉互连网络中上行、下行端口收敛比约为 3:1，1 台服务器约需要 4-6 个光模块，整体平均单价在 1 美金/GB 左右；而 AI 服务器所用的 A100、H100 等 GPU，需用 200G 以上的高速率光模块 8-10 个/片。根据 LightCounting 的统计，全球 Top 5 云厂商以太网光模块市场体现出对高速率光模块的偏好。2023 年 800G 光模块需求预计将进一步替代较低速率光模块的份额，整体高速率光模块用量和规格不断提升，呈量价齐升之势。

图 5：全球数据规模（ZB）



数据来源：应用材料、东方证券研究所

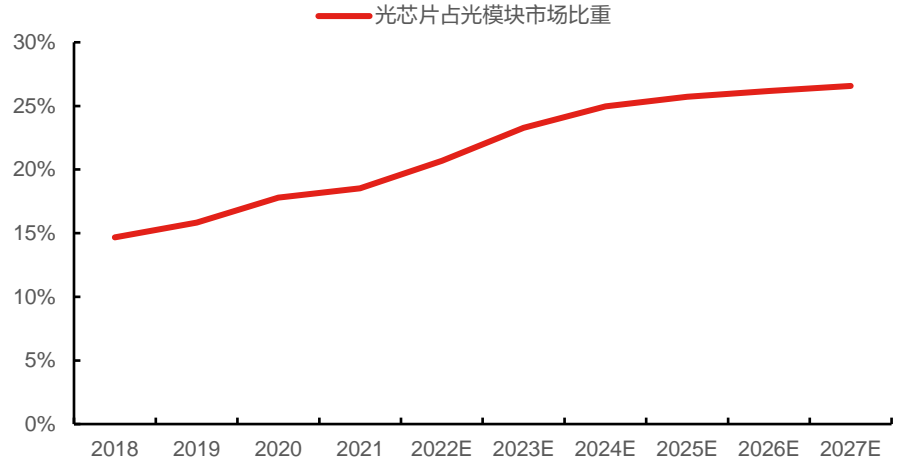
图 6：Top 5 云厂商以太网光模块市场规模（百万美元）



数据来源：LightCounting、东方证券研究所

**光芯片是光模块的核心器件，附加价值量弹性更大。**根据 LightCounting 数据测算，光芯片占光模块市场比重从 2018 年约 15%的水平到 2025 以后超过 25%的水平，光芯片有望深度受益。相对于光模块和器件，光芯片具有更大的附加价值量弹性，其成本占比分布在低端器件、中端器件、高端器件上的数据逐级提升，大约分别为 20%、50%、70%。随着通讯、AI 等产业对高性能光模块的需求快速增长，光芯片将呈现量价齐升的增长趋势。

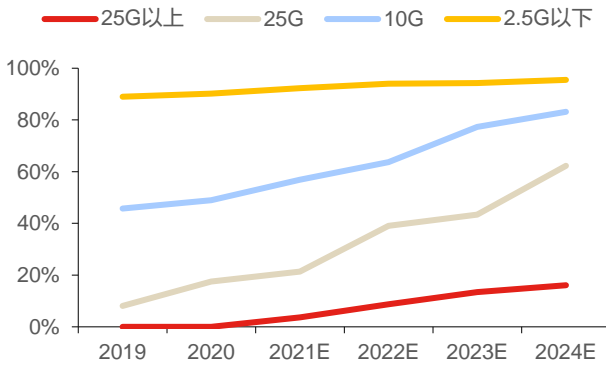
图 7：2018-2027E 光芯片占光模块市场比重



数据来源：LightCounting、东方证券研究所

2) 中国光芯片市场规模持续增加，光芯片国产替代正当时。根据 ICC 预测，2019-2024 年，中国光芯片厂商销售规模占全球光芯片市场的比例将不断提升。目前，我国光芯片企业已基本掌握 2.5G 及以下速率光芯片的核心技术；部分 10G 光芯片产品性能要求较高、难度较大，如 10G VCSEL/EML 激光器芯片等，国产化率不到 40%；25G 及以上光芯片方面，随着 5G 建设推进，我国光芯片厂商在应用于 5G 基站前传光模块的 25G DFB 激光器芯片有所突破，数据中心市场光模块企业开始逐步使用国产厂商的 25G DFB 激光器芯片，2021 年 25G 光芯片的国产化率约 20%，但 25G 以上光芯片的国产化率仍较低，约为 5%，目前仍以海外光芯片厂商为主。

图 8：2019-2024E 中国光芯片占全球市场份额



数据来源：Modor Intelligence、东方证券研究所

图 9：2021 年光芯片国产替代率

光芯片分类	国产替代率
10G	10G VCSEL/EML 等芯片难度较大，不足 40%
25G	20%
25G 以上	5%

数据来源：源杰科技招股书、东方证券研究所

3) 光芯片可以跟随光模块出海，有望应用到海外大厂的 AI 服务器及数据中心当中。海外光芯片企业已形成产业闭环和高行业壁垒，可自主完成芯片设计、晶圆外延等关键工序，可量产 25G 及以上速率的光芯片。部分中国光芯片企业已具备领先水平，随着技术能力提升和市场认可度提高，竞争力将进一步增强。目前全球光模块市场主要由美中日三国占据主导地位，2021 年光模块全球前十的生产商中有一半来自中国。随着国内下游模块厂商海外业务的不断拓展，光芯片可以跟随光模块出海，有望应用到海外大厂，国产光芯片发展前景广阔。



图 10：光模块全球前十生产商

排名	2021 年全球光模块排名	
	公司	国家
1	II-VI	美国
2	中际旭创	中国
3	海信宽带	中国
4	光迅科技	中国
5	Cisco	美国
6	Broadcom	美国
7	Intel	美国
8	Lumentum	美国
9	新易盛	中国
10	华工正源	中国

数据来源：博创科技、东方证券研究所

CPO、LPO、硅光、相干以及薄膜铌酸锂等技术值得关注，将有力推动光芯片技术升级和更新换代。数据中心的商业模式下，云厂商在成本端有充分的动力为低功耗服务器买单；同时，在低功耗的基础上，AI 服务器对低时延有着更高的要求。因此，除了以 CPO 与硅光技术为主线的光模块发展路径外，LPO 方案应运而生。同时，在相干光通讯和非相干数据中心的信号传输中，薄膜铌酸锂所制备的超高速率电光调制器有望受益于光器件集成新趋势，从而打开更加广阔的市场空间。在前沿光通信技术发展与高算力需求拉动的共同催化下，超高速率光芯片前景广阔，更高速率的 DFB、EML 芯片、硅光芯片、薄膜铌酸锂调制器芯片等将成为更优解决方案。此外，立讯精密、长电科技等消费电子/半导体公司也逐步进入光模块/芯片赛道，有望将成熟技术应用到光芯片产业链，进一步降本增效促进行业发展。

图 11：光芯片种类不断升级迭代

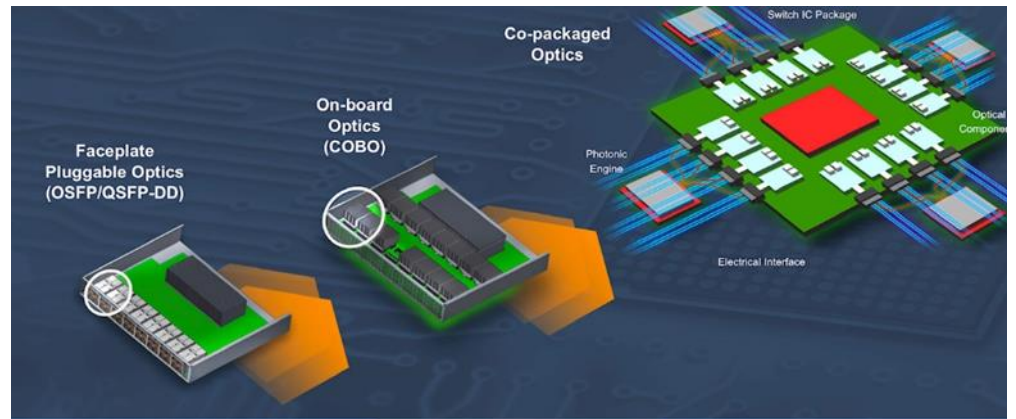
产品类别	工作波长	产品特性	应用场景
DFB 芯片	1270-1610nm	谱线窄，调制速率高，波长稳定，耦合效率低	中长距离传输
EML 芯片	1270-1610nm	调制频率高，稳定性好，传输距离长，成本高	长距离传输
硅光芯片	—	超高速率、超低功耗、集成度高、与 CMOS 传统工艺兼容性好、光学损耗低	长距离传输
薄膜铌酸锂调制器芯片	—	高性能、低成本、小尺寸、可批量化生产，与 CMOS 工艺兼容	长距离传输

数据来源：源杰科技招股书、东方证券研究所

## 1 CPO 是光通讯实现光电转换的长期路径

CPO 是长期路径；LPO 易落地，是短中期极具性价比的过渡方案。CPO 方案是通过在交换机光电共封装起到降低成本、降低功耗的目的。长期来看，CPO 是实现高集成度、低功耗、低成本以及未来超高速率模块应用方面最优的封装方案。由于目前的技术与产业链尚不成熟等原因，短期内难以大规模应用。相比之下，LPO 主要的技术壁垒在于更复杂的 RF 模块，仍然采用可插拔模块的形式，可靠性高且便于维护，可以直接应用于目前成熟的光模块供应链。

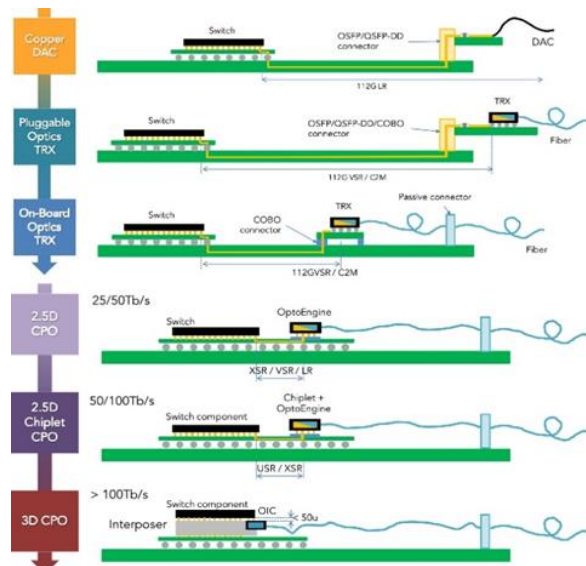
图 12：从可插拔光模块向 CPO 发展的路径



数据来源：COBO、gazettabyte、东方证券研究所

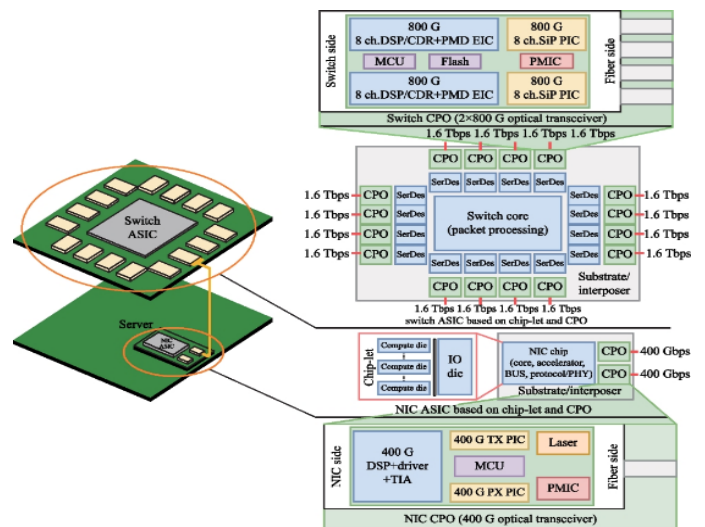
CPO 是在成本、功耗、集成度各个维度上优化数据中心的光电封装方案。CPO (Co-packaged Optics) 将光模块不断向交换芯片靠近，缩短芯片和模块之间的走线距离，最终将光引擎和电交换芯片封装成一个芯片。理想情况下，CPO 可以逐步取代传统的可插拔光模块，将硅光子模块和超大规模 CMOS 芯片以更紧密的形式封装在一起，从而在成本、功耗和尺寸上都进一步提升数据中心应用中的光互连技术。

图 13：CPO 技术路线



数据来源：IET Research、东方证券研究所

图 14：中国计算机互连技术联盟 CPO 及 Chiplet 标准

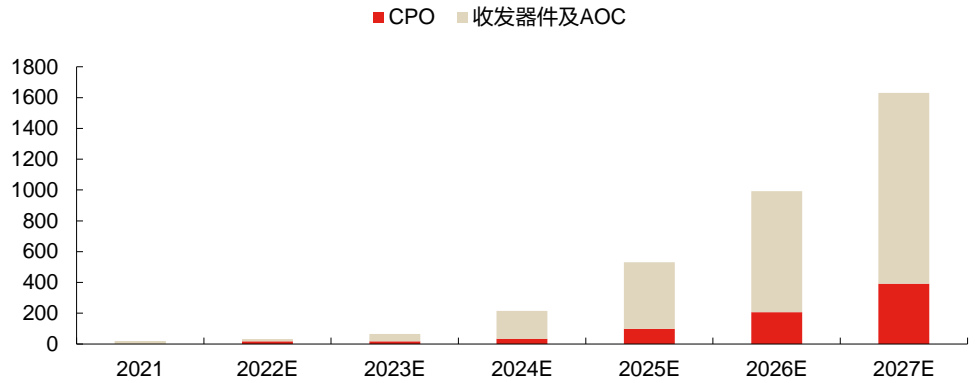


数据来源：中国计算机互联技术联盟、东方证券研究所



高速率 CPO 渗透率预计从 24 年开始显著提升，高速率光模块需求海外先行。根据 LightCounting 数据预测，800G/1.6T 光模块与 AOC 加上 CPO 出货将从 2022 年不到百万件增长至 2027 年超过 1500 万件，其中 CPO 渗透率将从 24 年开始快速提升。2023 年 4 月 5 日全球光互连论坛 OIF 发布业界首个 3.2T 共封装模块实施协议，可见目前海外市场，尤其是高速率板块对 CPO 需求更为迫切，国内上量节奏紧随其后。

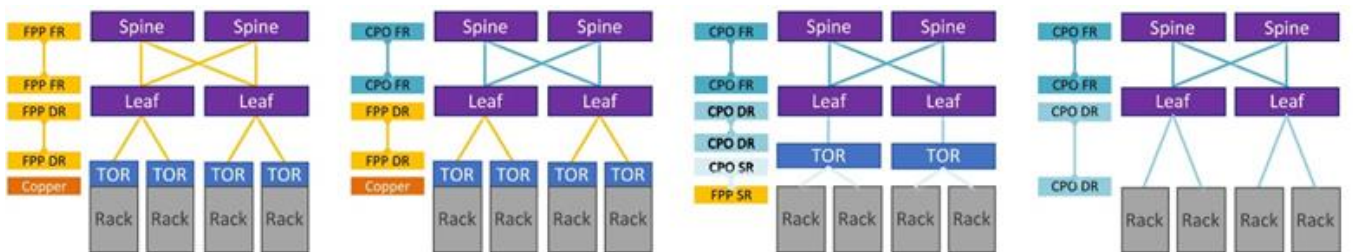
图 15: 800G 及 1.6T 光模块/光引擎与 AOC 出货 (万件)



数据来源: LightCounting、东方证券研究所

CPO 的发展需要产业链协同推进，考验光模块/光引擎厂商的长期综合实力。CPO 的技术路线在逐步推进的过程中本质上也是对整个网络架构的优化，需要数据中心整体产业链的协同推进。其中涉及到的环节在现有光模块产业链的基础上预计还需要得到交换芯片及设备厂商，以及各元器件厂商的合作。因此 CPO 的进度本质上是对光模块/光引擎厂商综合实力的长期考验，包括在光模块零部件、封装等方面的技术积累与研发实力，以及下游客户的关系。

图 16: CPO 与数据中心网络架构优化路径



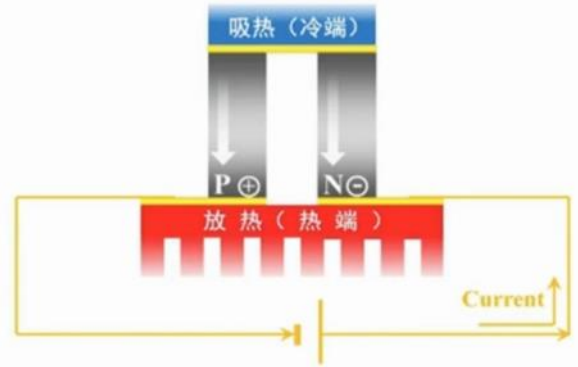
数据来源: IET Research、东方证券研究所

Micro TEC 是高速率光通信领域实现精准控温的优质方案。TEC ( Thermo Electric Cooler ) 半导体制冷器是指利用热电材料的帕尔贴效应制取冷量的器件，又称热电制冷器，具有无噪声、无振动、不需制冷剂、体积小、重量轻等特点，易于进行冷量调节。TEC 的重要性对于光模块而言，不仅在于降温散热，核心在于保持工作波长的稳定，激光器波长会根据自身温度来进行漂移，如果不控制波长温度，就会引起通道间串扰，TEC 则可以通过该电流精准实现优于 0.1℃ 的温度控制。在光模块领域，对于目前的 200G/400G/800G 高速光模块，必须使用 Micro TEC 来实现工

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

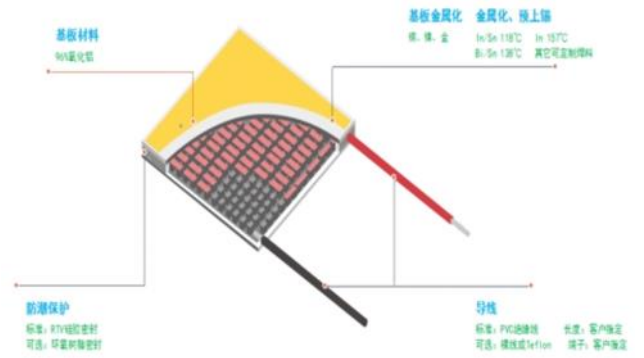
作波长的稳定。随着数据中心 400G/800G 模块、长距离相干模块的发展，对微型化的局部精准控温提出了更高要求，TEC 未来市场前景广阔。

图 17: TEC 半导体制冷器工作原理



数据来源：半导体开发网、东方证券研究所

图 18: TEC 半导体制冷器外形特征



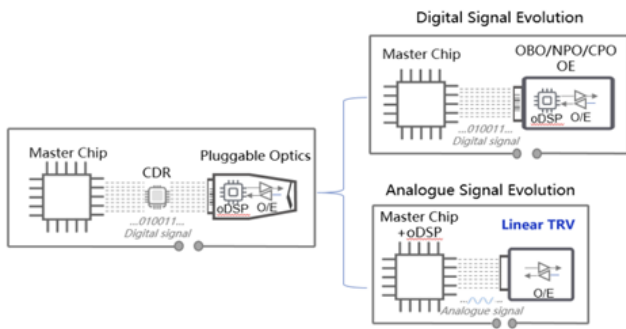
数据来源：富信科技官网、东方证券研究所

光模块龙头及光芯片技术领先的供应商直接受益于市场增量，对于产业发展趋势更具话语权。目前，华工科技、源杰科技等多家厂商布局 CPO 领域。其中，华工科技“光联接+无线联接”的解决方案市占率行业领先，100G/200G/400G 全系列光模块批量交付，CPO 技术的各种类型 800G 系列产品已经给北美头部厂家送样测试。源杰科技是国内高速率光芯片龙头，公司 CW 大功率光源可以用于 CPO 领域，已向多家客户送样测试。铭普光磁的光模块产品广泛应用于数通领域，400G 系列产品已生产交付，800G 光模块预研中，其中 CPO 相关技术是公司未来研发的重要方向之一。中际旭创、仕佳光子、联特科技等厂商在 CPO 领域亦有所布局。富信科技是目前国内少数能够批量生产光通信应用高性能超微型热电制冷器件的企业，22 年公司已经具备了年产 200 万片 Micro TEC 的批量化生产能力。

## 2 LPO 是短中期极具性价比的过渡方案

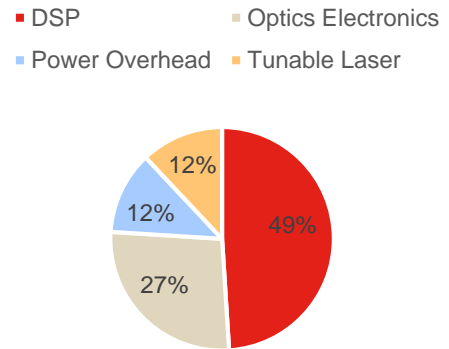
LPO 光模块在功耗、时延方面更优，设计核心在于去 DSP 化。LPO (Linear-drive Pluggable Optics) 线性驱动可插拔光模块是基于 Linear Driver 芯片技术实现的可插拔光模块，线性驱动的方案直接表征在于去 DSP 化，在数据链路中只使用线性模拟元件，无 CDR 或 DSP 的设计方案。DSP 是数字信号处理器，随着高性能 DSP 不断迭代，目前整体来看高速率光模块中 DSP 芯片功耗占比约在 50%的水平。因此 LPO 去 DSP 在可插拔光模块上具备显著的低功耗优势。

图 19: 光电封装发展路径



数据来源: LightCounting、东方证券研究所

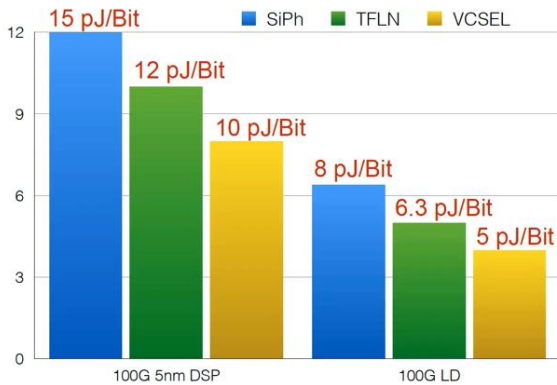
图 20: 400G ZR 光模块能耗占比



数据来源: “Low Power DSP-Based Transceivers for Data Center Optical Fiber Communications”, Journal of Lightwave Technology、东方证券研究所

短距离、低功耗、低时延、低成本特性使得 LPO 方案适配 AI 计算中心。LPO 方案的特点是适用于短距离、低成本、低功耗、低时延。根据草根调研，LPO 方案较之传统可插拔光模块方案成本保守估计可降低 15%，功耗降低 50%，时延可从微妙级降至纳秒级。这些都是取缔 DSP 而产生的优势，但也在信号恢复方面有所牺牲。目前的 LPO 方案其信号恢复性能主要由 Host 交换芯片所含的收发 DSP/Serdes，以及线性直驱 driver 中的 CTLE 和 TIA 中的 Pre-emphasize 来补偿。

图 21: 线性直驱路线在各材料方案中具备功耗优势 (pJ/Bit)



数据来源: IPEC、Arista、东方证券研究所

图 22: 光模块方案参数对比

	Retimed Pluggable	Linear-Drive Pluggable	Linear-Drive CPO
Power	●	●	●
Cost	●	●	●
Latency	●	●	●
Product Maturity	●	●	●
Serviceability	●	●	●
Late Binding Commitment	●	●	●
Link Performance	●	●	●
Link Accountability	●	●	●
Interoperable Ecosystem	●	●	●

数据来源: IPEC、Meta、东方证券研究所

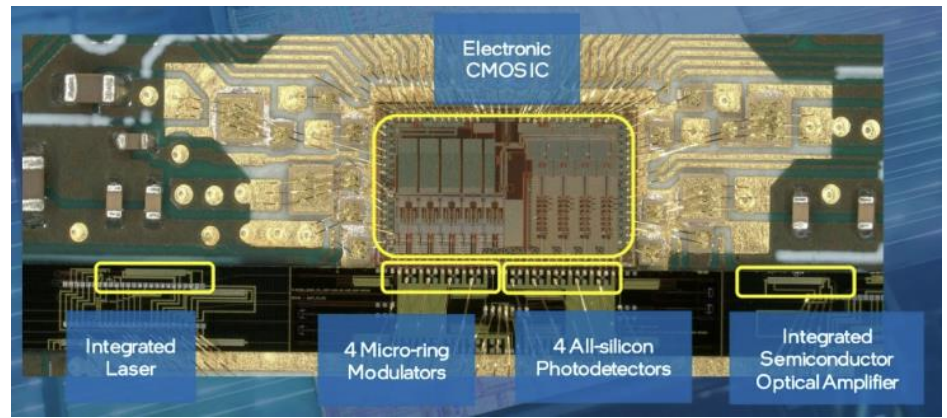
**加速落地，高线性度 TIA/Driver 厂商大力推进 LPO 方案。**Macom、Semtech、美信等电芯片实力强劲的厂商，在 DSP 领域不及博通、Inphi，从而希望通过 LPO 方案绕开 DSP 短板。因此这些厂商有很强的驱动力与光模块封装设计厂商合作，比如目前 Macom 与剑桥科技的战略合作等。加上 LPO 方案在性能、成本等方面确有不小的优势，契合服务器厂商需求，整体推进速度较快。

**华工科技、新易盛、中际旭创等 LPO 进度较快的厂商有望率先发力。**其中，华工科技积极布局 LPO 方案，结合 LPO 技术 800G 系列产品都已经给北美头部厂家送样测试。新易盛作为高速率光模块供应商，在 LPO 技术领域已深入布局，OFC 2023 期间推出多款相关产品，与主流厂商和用户建立起了良好合作关系，并积极推动 LPO 相关测试项目的进展，力争在 LPO 相关产品的市场竞争中占得先机。

### 3 硅光集成趋势下光引擎地位凸显

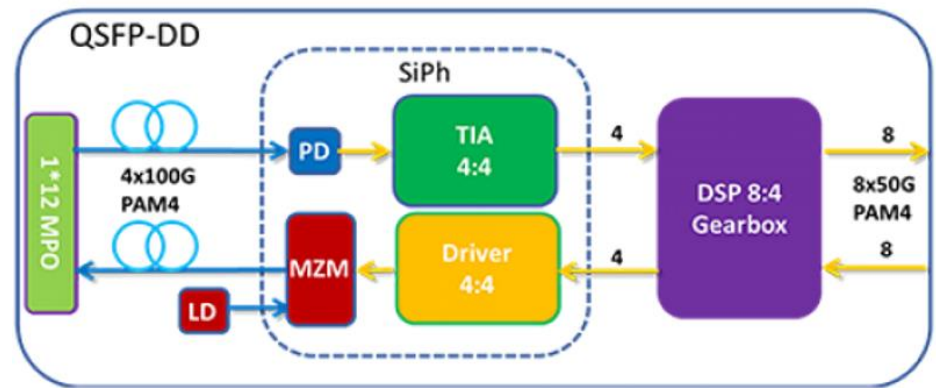
“以光代电”，硅光模块对比传统光模块在高速率领域具有高集成度、低成本、低功耗的显著优势。硅是用量最大的半导体晶圆材料，具有低成本和加工工艺成熟的优势。硅光基于硅和硅基衬底材料，通过 CMOS 工艺进行光器件开发和集成的新一代技术。硅光模块产生的核心理念是“以光代电”，即利用激光束代替电子信号进行数据传输。普通光模块采用分立式结构，光器件部件多，封装工序较为复杂，从而需要投入较多人工成本，而硅光模块由于芯片的高度集成，组件与人工成本也相对减少。在 400G 及以上的高速率的场景中，传统 DML 和 EML 成本较高，硅光模块成本优势更为显著。

图 23: Intel 硅光模块样品示意图



数据来源: Intel、Venture Beat、东方证券研究所

图 24: 博创科技 400G 硅光模块结构图



数据来源: 博创科技、东方证券研究所

硅光芯片中的光器件分为有源器件和无源器件。硅光芯片中的有源器件包括激光器、调制器和光电探测器；无源器件包括平面波导、光栅或边缘耦合器等。基于这些元器件，可以构成光发射/接收芯片，并开展阵列化的应用，最终通过光子集成技术（PIC）来实现硅光芯片。其中，核心硅光芯片器件主要包括硅基激光器、硅光调制器、光电探测器、无源复用技术等。



图 25：核心硅光芯片器件

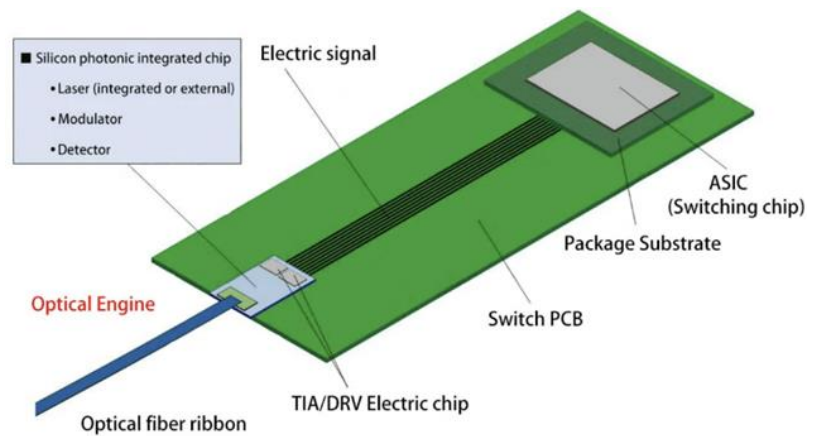
器件	相关信息
硅基激光器	指集成在以硅为衬底的光芯片上的激光器；常用的硅基激光器按照结构可分为 VCSEL、FP、DBR、DFB 和 EML，制作材料主要以 III-V 族半导体材料为主；关于 III-V 族激光器与硅光芯片的耦合，主流设计方案包括片上倒装焊集成、异质键合集成和直接外延生长集成，后者是未来实现硅光大规模生产的可行方案。
硅光调制器	指集成在硅光芯片上的调制器；硅光调制器集成度高、消光比较高、损耗低、驱动电压小、但线性度差，因此目前多使用混合集成调制器，通过异质键合、外延等技术，将成熟的铌酸锂调制器、InP 调制器等集成到硅基上，可实现微米量级大小，调制效率为全硅调制器的 5 倍以上。
光电探测器	光电探测器将接收的光信号转变为电信号，但由于硅 1.1 μm 以上的光波透明，单体硅无法制作探测器。目前集成在硅基片上的高频探测器主要有混合集成 III-V 族和硅锗混合探测器，前者耦合效率高、灵敏度高、响应快，后者性能优越，器件制备技术与 CMOS 工艺兼容，更适合大规模集成，是目前的主流方案。
无源复用技术	为了提高通信容量，通常采用复用技术把多个低速信道组合成一个高速信道。其中，波分复用技术在目前硅光芯片产品中已经开始使用，基于光束干涉来产生多个通信信道。

数据来源：MEMS、华中科技大学武汉光电国家研究中心、东方证券研究所

**光引擎产品形态顺应集成化发展规律。**光引擎指的是光收发模块中负责处理光信号的部分。而高速光引擎是高速光收发模块的核心器件，在高速发射芯片和接收芯片封装基础上集成了精密微光学组件、精密机械组件、隔离器、光波导器件等，实现单路或者多路并行的光信号传输与接收功能。

**硅光芯片集成高速光引擎趋势确定性强。**硅光技术将硅光模块中的光学器件、电子元件整合到一个独立的微芯片中，使光信号处理与电信号的处理深度融合，实现真正意义上的“光互联”。硅光集成大规模应用之后，电芯片和硅光集成芯片与光纤连接，形成光引擎。相比分立器件光模块，硅光器件不需要 OSA 封装，具有低成本、高性能的优势。向硅光芯片集成高速光引擎的发展趋势是目前行业共识。

图 26：硅光芯片集成光引擎结构图



数据来源：fiber mall、东方证券研究所

硅光及光引擎顺应光模块集成大趋势，华工科技、源杰科技、立讯精密等厂商有所布局。华工科技积极推进硅光技术应用，现已具备从硅光芯片到硅光模块的全自研设计能力，800G 硅光模块已正式面市。源杰科技 50G、100G 高速率激光器芯片产品以及硅光直流光源大功率激光器芯片产品向商用推进，目标在高端激光器芯片产品的特性及可靠性方面对美、日垄断企业的全面对标。立讯精密 800G 硅光模块已在多家客户完成测试，小批量交付正在准备中。

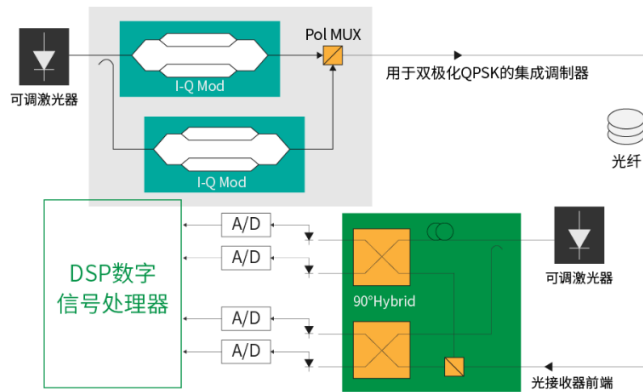
## 4 “相干下沉” +相干光链路空间可期

数据中心光互联方案可根据其传输距离来选择两种支撑技术，直接探测技术与相干探测技术。随着光模块速率的不断提升，直接探测方案的传输距离将受到限制，相干探测凭借着高容量、高信噪比等优势得到广泛应用。

相干探测调制方式灵活、灵敏度强，适用于长距离传输。相较于传统光接收机只响应光功率的变化，相干探测可探测出光的振幅、频率、位相、偏振态携带的所有信息，并且取代传统光复用技术的大频率间隔，具有以频分复用实现更高传输速率的潜在优势。相干检测能改善接收机的灵敏度，在相同的条件下，相干接收机比普通接收机提高灵敏度约 20dB，可以达到接近散粒噪声极限的高性能，因此也增加了光信号的无中继传输距离。

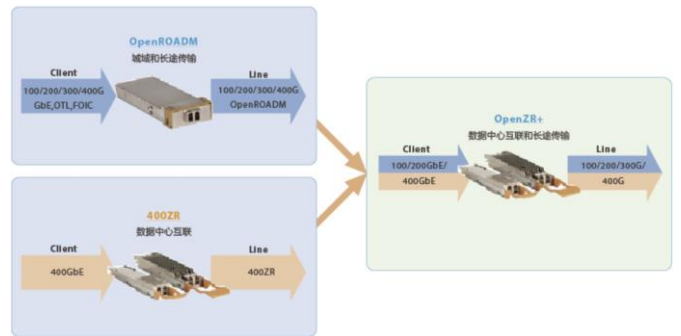
“相干下沉” +相干光链路需求提升驱动相干光通信市场增长。目前全球通信市场主要采用“相干下沉”的解决方案，相干技术从过去的适用于大于 1000km 的骨干网，逐步下沉到传输距离为 100km 到 1000km 的城域网，甚至小于 100km 的距离的边缘接入网，以及 80km 至 120km 的数据中心互联领域。在数通领域，相干技术也已经成为数据中心间互联的主流方案。预计未来几年相干光链路的用量将迎来井喷式增长。

图 27：相干传输系统结构图



数据来源：易飞扬通信、东方证券研究所

图 28：400G 相干光模块互通标准的发展演化



数据来源：中际旭创招股书、中兴通讯、东方证券研究所

相干光随应用距离下沉，市场增量可期，华工科技、中际旭创等厂商有望受益。华工科技的相干光模块产品在北美市场表现亮眼，推出了全球第一个 400GZR+PRO 产品，在发射光功率、接收灵敏度、光的性噪比方面优于业界水平。中际旭创拥有长距离传输功能的相干光模块产品，助力“东数西算”工程和算力枢纽建设。

## 5 薄膜铌酸锂调制器有望借势破局

电光调制器是超高速数据中心和相干光传输的核心光器件，体材料铌酸锂具备优势。电光调制器通过调制将通信设备中的高速电子信号转化为光信号，是光通信系统中不可或缺的一环。目前光调制的技术主要基于硅光、磷化铟和铌酸锂三种材料平台的电光调制器。其中铌酸锂电光系数显著高于磷化铟，而硅没有直接电光系数，因而铌酸锂调制器是大容量光纤传输网络和高速光电信息处理系统中的关键器件。

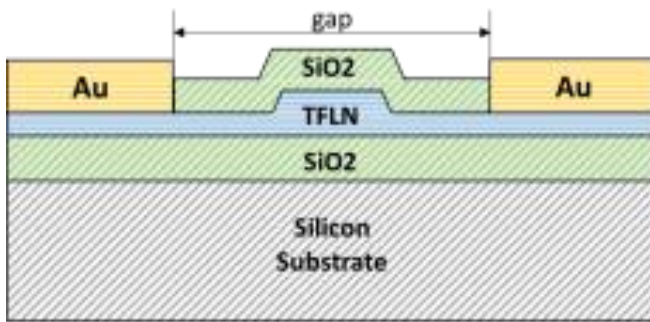
图 29：电光调制器三种材料方案对比

材料	主要应用场景	优势	劣势
硅光方案	短程的数据通信收发模块	尺寸小，易集成，成本低，低能耗	调制性能一般、带宽低、插入损耗大
磷化铟方案	中距和长距光通信网络收发模块	尺寸小，集成度高	成本高、良率低、功耗高、偏振器件无法集成
铌酸锂方案	100Gbps 以上的长距骨干网相干通讯； 单波 100/200Gbps 的超高速数据中心	电光性能好，带宽高、稳定性好、信噪比高、传输损耗小、工艺成熟	传统型尺寸大，不利于集成

数据来源：光库科技公告、公开调研纪要、东方证券研究所

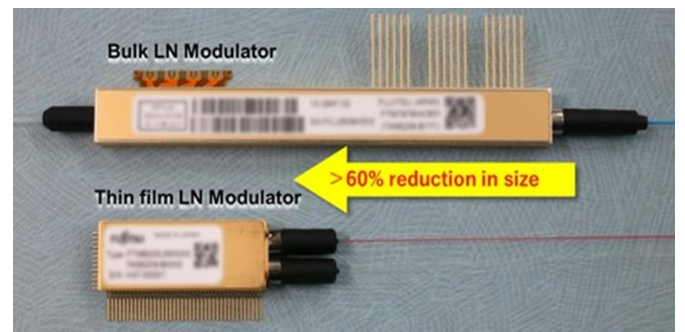
薄膜铌酸锂调制器芯片突破原有瓶颈，具有性能高、尺寸小、成本低特性，有望成为高速光互联新宠。新一代薄膜铌酸锂调制器芯片技术将解决尺寸大不利于集成的问题。铌酸锂材料通过新型微纳工艺，在硅基衬底上蒸镀二氧化硅（SiO<sub>2</sub>）层，将铌酸锂衬底高温键合构造出解理面，最后剥离出铌酸锂薄膜。该工艺下制备出的薄膜铌酸锂调制器芯片具有高性能、低成本、小尺寸、可批量化生产且与 CMOS 工艺兼容等优点，是未来高速光互连极具竞争力的解决方案。

图 30：薄膜铌酸锂调制器芯片横截面结构图



数据来源：ori-chip、东方证券研究所

图 31：富士通薄膜铌酸锂调制器较体材料铌酸锂产品尺寸缩小 60%



数据来源：光纤在线、东方证券研究所

薄膜铌酸锂调制器芯片的关键制备技术为铌酸锂薄膜的图形化。铌酸锂单晶薄膜相对较硬，组分特殊，难以刻蚀。目前已公开的铌酸锂薄膜图形化技术路线中，主要包括电子束光刻（EBL）+干法刻蚀/湿法刻蚀、紫外+干法刻蚀、DUV+干法刻蚀四种。其中，相对于湿法刻蚀，干法刻蚀对薄膜铌酸锂的形貌和刻蚀速率的可控性更高，运用 EBL+干法刻蚀的路线能够充分发挥电子束光刻加工精度高、版图设计灵活、无需掩模版直接曝光等优点。

**图 32：铌酸锂薄膜图形化技术路线**

编号	技术路线	刻蚀掩膜
1	电子束光刻 (EBL) + 干法刻蚀	无机光刻胶 (HSQ)
		氯丁橡胶 (Cr)
		电子束正胶 (ZEP 520)
		电子束正胶 (CSAR 62)
2	电子束光刻 (EBL) + 湿法刻蚀	氧化硅
3	紫外+干法刻蚀	紫外胶
4	光刻机 (DUV) + 干法刻蚀	非晶硅 (a-Si)
		氧化硅

数据来源：LaserHub 光通信、东方证券研究所

**薄膜铌酸锂技术壁垒高，行业先发优势或成卡位关键。**电信级铌酸锂高速调制器芯片产品设计难度大，工艺非常复杂。根据智研咨询数据，全球主要批量供货体材料铌酸锂调制器的企业为富士通、住友和光库科技三家。而薄膜铌酸锂在此基础上通过上下分布二氧化硅压缩光斑，拉近电极的距离，提高电场、射频带宽，技术壁垒再上一个台阶。目前在薄膜铌酸锂领域已有布局的厂商或可保持先发优势，深度收益于超高速率电光调制器需求提升。

**图 33：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
主要企业	富士通	日本	2009 年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，全球市场份额为 70%
	住友	日本	光器件业务主要由子公司 Sumi tomo Osaka CementCo.,Ltd 运营
	光库科技	中国	收购 Lumentum 相关产品线进入该领域
其他参与者	Thorlabs、JDS Uniphase、AVANE、PHOTLINE、Neotrons、NTT、iXblue、fabrinet、Optilab、铌奥光电、晶正科技、世维通科技等		

数据来源：智研咨询、东方证券研究所

**薄膜铌酸锂调制器产业链有望借势打开局面，福晶科技、光库科技等厂商具备关键核心能力。**福晶科技是全球非线性光学晶体龙头，开展独立自主研发，能够提供各种规格高质量的铌酸锂晶体，相关产品已成功推向 Lumentum 等光器件厂商。光库科技在 2019 年收购 Lumentum 的铌酸锂高速率调制器生产线进入该领域，掌握了包括芯片设计、芯片制程、封装和测试等核心技术，具备开发 800G 及以上速率的薄膜铌酸锂调制器芯片和器件的关键能力。

## 6 投资建议

AI 算力需求增长趋势确定，预计直接提升高速率光模块产业链市场增量，光芯片作为光模块的核心器件有望深度受益，我们看好其在国产替代和技术创新趋势下的表现。光赛道技术领先的供应商直接受益于市场增量，对于产业发展趋势更具话语权。

- 1) 光芯片领域有较强国产替代预期，建议关注源杰科技(688498，未评级)、华工科技(000988，未评级)、长光华芯(688048，未评级)、华西股份(000936，未评级)；
- 2) 薄膜铌酸锂调制器芯片作为一种新的光电调制方式，有望成为高速光互联更优解决方案，建议关注福晶科技(002222，未评级)；
- 3) Micro TEC 是目前高速率光通信领域实现精准控温的优质方案，建议关注富信科技(688662，买入)。

## 风险提示

**下游需求不及预期：**行业受到景气度及宏观因素影响，若需求不及预期将影响企业盈利能力。

**行业竞争加剧：**全球中低端光芯片厂商较多，若竞争加剧将影响相关公司业绩。

**产品研发进度不及预期：**CPO 等光技术壁垒较高，若研发不及预期将影响客户导入节奏。

**渠道调研的局限性：**渠道调研数据存在局限性，存在假设条件发生变化导致结果产生偏差的风险。



## 分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

## 投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内的公司的涨跌幅相对同期的上证指数/深证成指的涨跌幅为基准；

### 公司投资评级的量化标准

- 买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；
- 增持：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15%；
- 中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
- 减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

### 行业投资评级的量化标准：

- 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在-5% ~ +5%之间波动；
- 看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

## 免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

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本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

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，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

---

## 东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

电话：021-63325888

传真：021-63326786

网址：[www.dfzq.com.cn](http://www.dfzq.com.cn)

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。