

通信周专题（1.15—1.19）

投资建议： 强于大市（维持）
 上次建议： 强于大市

硅光子技术有望在数据中心场景加速落地

➤ 硅光子技术具备低成本、传播速度快等特点

硅光子技术可以将电换成传输速度更快的光，实现更快的传输速率、更远的传输距离以及更低的功耗和延迟。根据 C114 通信网，硅光芯片有三大优势：集成度高、成本下降潜力大、波导传输性能优异。

- ① 硅光子技术具有更高的集成度及更多嵌入式功能，可提升芯片的集成度。
- ② 硅光子芯片基础材料只需硅基材料，大规模生产可降低成本。
- ③ 硅对 1.1-1.6 μm 通信波段透明，具有优异的波导传输特性，折射率高可形成大折射率差。

➤ 数据中心为硅光主要应用场景

Yole 指出，2022 年，硅光芯片市场价值为 6800 万美元，预计到 2028 年将超过 6 亿美元，2022 年—2028 年的复合年均增长率为 44%。推动这一增长的主要因素是用于高速数据中心互联和对更高吞吐量及更低延迟需求的机器学习的 800G 可插拔光模块。

➤ 产业巨头加速布局硅光

英特尔引领硅光子技术在 100G 时代大放异彩。根据 OFweek 光学网 2023 年 9 月报告，台积电计划携手博通、英伟达等大客户共同开发硅光子技术、共同封装光学元件（CPO）等新产品。制程技术从 45nm 延伸到 7nm，最快 2024 年下半年开始迎来大单，并在 2025 年左右达到放量阶段。国内中际旭创、新易盛等光模块头部公司积极布局硅光产业。

➤ 硅光在激光雷达领域的应用尚处在研发阶段

现阶段激光雷达主要分为两类：一类基于 905nm 利用大面积 SPAD 阵列直接成像；另一类基于 1550nm 的固态 FMCW 和相干接收的激光雷达。FMCW 激光雷达可以避免传统雷达的高功率激光对人眼的危害，灵敏度更高，抗干扰性更强。根据新思界，FMCW 激光雷目前尚处于研发阶段，未实现量产应用。

➤ 硅光子基于可用于光子计算芯片 VR、片间互联

CINNO Research 预测 2025 年全球 AR/VR 硅基 OLED 显示面板市场规模将达到 16.7 亿美元。另一方面，Ayar Labs 的 TeraPHY 外接光电收发器可以实现数据中心的计算背板/模块间的高速光互联，而 CMOS 硅光器件可以用于片上/die 间计算集成的 PHY 高速互联。当前电子城高科与光子算数正合作建设光电芯片封装测试验证平台，目前平台第一阶段建设已完成，具备光电芯片基本测试封装能力。光子芯片的龙头产业赛微电子已具备量产硅光子芯片的能力。

➤ 投资建议

数据中心是硅光最主要的市场，建议关注长期布局硅光技术的光模块厂商：中际旭创；天孚通信；新易盛。

布局国内 CW 大功率光源的光芯片厂商：源杰科技（CW）、仕佳光子（AWG+CW）。

风险提示：AI 需求不及预期风险；产品研发不及预期风险；硅光芯片量产不及预期；竞争激烈风险。

相对大盘走势



作者

分析师：张宁

执业证书编号：S0590523120003

邮箱：zhangnyj@glsc.com.cn

相关报告

- 1、《通信：商用交换芯片国产替代加速》2024.01.07
- 2、《通信：“信号升格”，网络优化集成和小基站行业有望受益》2024.01.04

正文目录

1. 硅光子技术及其应用场景	3
1.1 硅光子技术具备低成本、传播速度快等优点.....	3
1.2 硅光芯片位于产业链核心.....	3
1.3 数据中心为硅光最主要应用场景.....	4
2. 硅光光模块迎来发展机遇	5
2.1 硅光模块和传统光模块的不同.....	6
2.2 硅光光模块在竞争中加速演进.....	6
2.3 硅光子适用于激光雷达、光子计算芯片等场景.....	7
3. 投资建议	8
3.1 关注硅光光模块产业机会.....	8
3.2 关注硅光芯片产业机会.....	9
4. 风险提示	9

图表目录

图表 1: 硅光产业链结构	4
图表 2: 2022 年电信领域硅光份额	4
图表 3: 2022 年数通领域硅光份额	4
图表 4: 2022-2028 年硅光芯片市场规模预测	5
图表 5: 2030 年硅光子发展路线图	5
图表 6: 4*100 Gbps FR4 硅光技术方案	6
图表 7: 硅光技术主要布局公司	7
图表 8: 激光雷达中高集成度收发一体的硅光 FMCW SoC 架构	8
图表 9: 硅基 OLED 器件结构	8

1. 硅光子技术及其应用场景

1.1 硅光子技术具备低成本、传播速度快等优点

硅光子技术可以将电换成传输速度更快的光，实现更快的传输速率、更远的传输距离以及更低的功耗和延迟。理论上，当光学接口与 CPU 和 GPU 封装在一起，能够有效扩展 GPU 间的带宽，同时节省能耗和面积，真正将数百台服务器作为一个巨型的 GPU。

根据 C114 通信网，硅光芯片有三大优势：集成度高、成本下降潜力大、波导传输性能优异。

- ①硅光子技术具有更高的集成度及更多嵌入式功能，可提升芯片的集成度。
- ②硅光子芯片基础材料只需硅基材料，大规模生产可降低成本。
- ③硅对 1.1-1.6 μm 通信波段透明，具有优异的波导传输特性，折射率高可形成大折射率差。

硅光子技术有望超越摩尔定律的原因是其通过硅光集成，用光代替电进行传输。北京邮电大学教授李培刚指出，硅光芯片使用光子代替电子进行信息传输，因而克服了传统电子芯片面临的两大限制：在数据运输上，光子传输避开了电子的物理极限问题和发热问题；在算力上，光子适用于矩阵计算，矩阵乘法突破了传统先行运算的算力局限。同时，硅光芯片的时延远低于电子芯片。因此，硅光芯片被称为“突破摩尔定律极限的芯片”。

硅光技术的发展分为三个阶段：

- ①用硅把光通信底层器件做出来，达到工艺的标准化。
- ②集成技术从耦合集成向单片集成演进，实现部分集成，再把这些器件通过不同器件的组合，集成不同的芯片。
- ③光电一体技术融合，实现光电全集成化。

我们认为目前硅光技术已经发展到了第二个阶段，硅光产业现在正处在前期扩张阶段，未来可能会成为一个像集成电路那样大规模的产业。

1.2 硅光芯片位于产业链核心

光模块厂商位于硅光产业链的中间环节。硅光产业链上游主要有 PIC 设计、SOI 衬底、代工厂几大环节；中游主要为光模块厂商，下游主要分为通信设备、电信市场、数据中心通信多个重点应用领域。

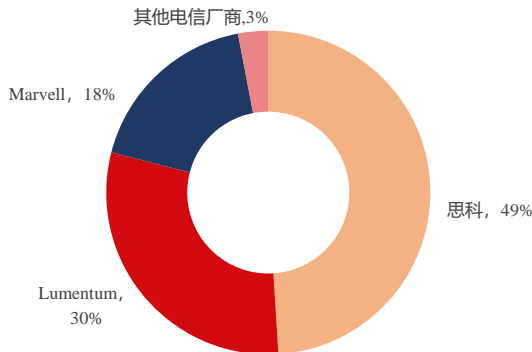
图表1：硅光产业链结构



资料来源：激光之家，前瞻产业研究院，新材料在线，国联证券研究所整理

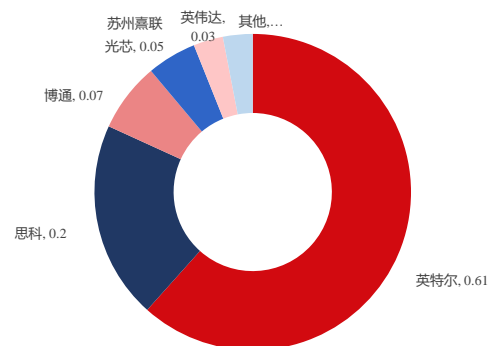
2022年英特尔以61%的市场份额领跑数据通信市场，思科、博通和其他小公司紧随其后。在电信领域，思科（Acacia）占据了近50%的市场份额，Lumentum（Neophotonics）和Marvel（Inphi）紧随其后，相干可插拔ZR/ZR+模块推动了电信硅光市场的发展。中国公司处于原型或样品阶段。

图表2：2022年电信领域硅光份额



资料来源：C114通信网《Yole：2028年，硅光芯片市场将超过6亿美元》，国联证券研究所

图表3：2022年数通领域硅光份额



资料来源：C114通信网《Yole：2028年，硅光芯片市场将超过6亿美元》，国联证券研究所

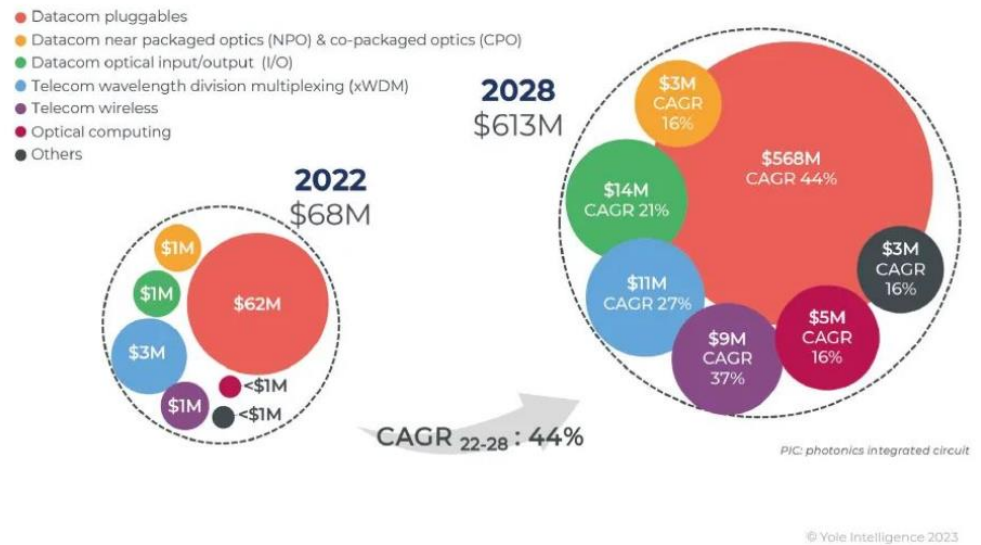
1.3 数据中心为硅光最主要应用场景

根据C114 2023年11月引用市场研究机构Yole Intelligence观点：硅光最主要、最直接的应用场景是数据中心，英特尔在该领域占据主导地位。此外，在电信领域、光学激光雷达、量子计算、光计算以及在医疗保健领域都有广阔的发展前景。

Yole指出，2022年，硅光芯片市场价值为6800万美元，预计到2028年将超过60亿美元，2022年—2028年的复合年均增长率为44%。推动这一增长的主要因素是用于高速数据中心互联和对更高吞吐量及更低延迟需求的机器学习的800G可插拔光

模块。

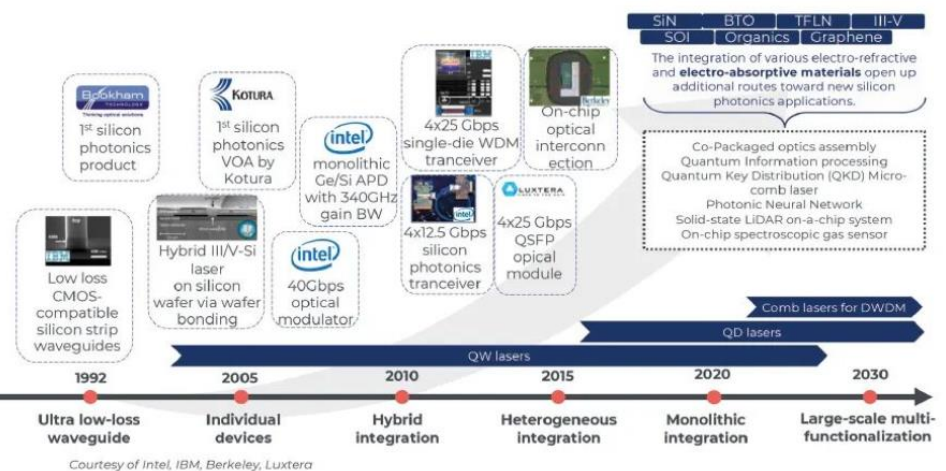
图4：2022-2028 年硅光芯片市场规模预测



硅光并不局限于单一的衬底或材料。用于光子集成的各种材料平台，如薄膜 LiNbO3 (TFLN)、SiN、BTO、GaAs 等，都已显示出其潜力。其中，硅基薄膜 TFLN 进展迅速，TFLN 具有严格的模式限制，已被证明对于创建高速调制器非常有价值。

另外，硅光子集成与硅集成电路相比，在规模上有很大差距，硅集成电路已缩小到几 nm，硅光芯片并不需要 3nm 光刻技术，45nm 技术完全足以生产高性能、高质量的硅光芯片。这一点非常有利，因为使用光刻水平较低的代工厂非常具有成本效益。

图5：2030 年硅光子发展路线图



2. 硅光模块迎来发展机遇

2.1 硅光模块和传统光模块的不同

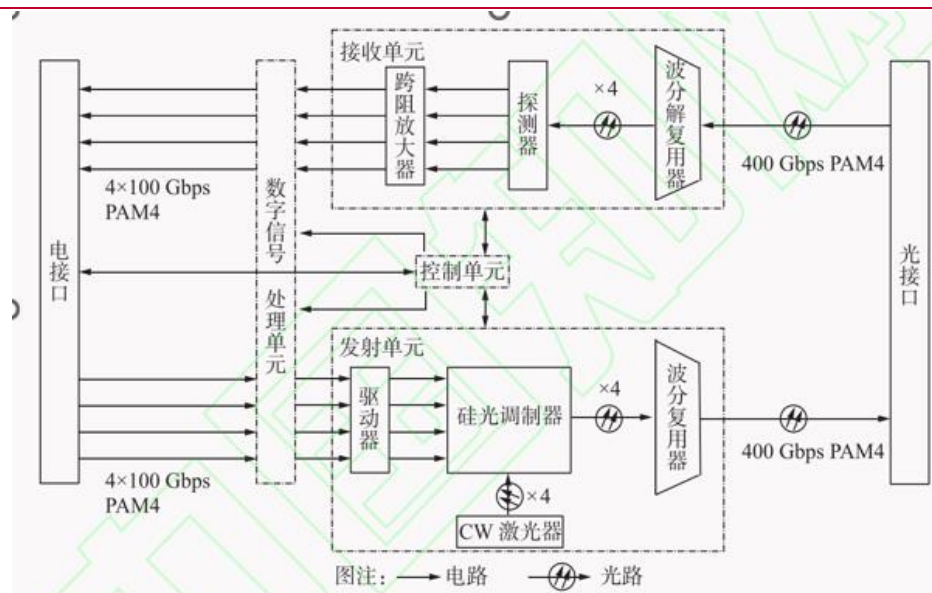
根据期刊论文《400G FR4 硅光收发模块的研究》宋泽国，**总体来看**，传统光模块由多种光学及电学器件封装而成，面临电气互连的传输瓶颈；硅光模块采用硅光子技术，能利用互补金属氧化物半导体（CMOS）工艺开发高性能光电芯片，因此具有高带宽、高集成度、低时延、低功耗的优点。

调制器来看，传统光模块采用直接调制激光器（DML）或电吸收调制器（EAM）等调制器，这可能导致高速长距场景下的信号失真或额外能耗；硅光模块的电光调制器兼容 CMOS 工艺，利用等离子色散效应，通过改变硅波导中的载流子浓度来调制光信号，从而实现低成本、低功耗、高密度的单片集成，可以进行高速率的光信号调制。

波分复用及解复用器来看，传统光模块使用的薄膜滤光片（TFF）方案耦合损失小，可靠性高，但光路复杂，且通道数量较多时面临制备难度和耦合精度的挑战；硅光模块采用的石英平面波导型波分复用及解复用芯片，利用列阵波导光栅（AWG）调制不同波长的相位，实现不同波长的光分束与合束，因此要求芯片具有高通道均匀性以及高光谱平坦性。

封装工艺来看，相较传统光模块，硅光模块采用了板上芯片封装 COB 技术，将裸芯片直接印制在电路板上，再进行电气连接和包封，具有尺寸小、成本低、自动化程度高的优点，但也面对光发射、接收组件耦合上的技术挑战。

图表6: 4*100 Gbps FR4 硅光技术方案



资料来源：《400G FR4 硅光收发模块的研究》宋泽国，国联证券研究所

2.2 硅光光模块在竞争中加速演进

根据 OFweek 光学网 2023 年 9 月报告，台积电董事长刘德音发表演讲，强调了硅光子技术在半导体产业中的关键作用。他指出，随着人工智能应用的不断发展，硅

光子技术将成为未来半导体产业的重要推动力。

目前台积电计划携手博通、英伟达等大客户共同开发硅光子技术、共同封装光学元件（CPO）等新产品。制程技术从 45nm 延伸到 7nm，最快 2024 年下半年开始迎来自大单，并在 2025 年左右达到放量阶段。台积电已组建了一支由约 200 名专家组成的专门研发团队，专注于利用硅光子技术开发未来芯片。此次合作旨在生产下一代硅光子芯片，预计最早将于 2024 年下半年获得大量订单。

图表7：硅光技术主要布局公司

	主要公司	技术进展	应用状况	应用场景	
美国	英特尔	2010年Intel成功研发50G(5万兆)硅光模块； 2016年，Intel推出100G硅光模块； 2018年，Intel推出400G硅光模块； 2021年推出800G硅光模块。	英特尔硅光子学可插入光学收发器等。	目前，硅光子技术主要用于通信领域，后续将逐步扩展到人工智能（AI）、激光雷达和其他传感器等新型应用中。	
	思科	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则是远距离硅光模块市场的主要参与者。 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到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续数字信号处理器等。		
	Marvell (收购Inphi)	2022年Marvell推出业界首款800Gbps或8×100Gbps多模平台解决方案。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。		
布局企业	中国	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。
		燕联光芯	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；在张家港经开区建设国内第一条硅光芯片及封装生产线，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硅光芯片发布并实现小批量生产。		—
	国家信息光电子创新中心鹏城实验室、中国信息通信科技集团光纤通信技术和网络国家重点实验室、武汉光讯科技股份有限公司	在国内率先完成了1.6Tb/s硅基光收发芯片的联合研制和功能验证，实现了我国硅光芯片技术向Tb/s级的首次跨越。	100G/200G硅光相干收发芯片已在国内运营商和南方电网OTN设备使用。		
	新易盛	2022年通过全资收购境外子公司Alpine Optoelectronics；目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LPO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硅光数通模块已经开始出货；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	2012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Calipso；2019年后累计投资十余家光芯片产业链相关企业，比如燕联光芯、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	100G、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及超算中心的光连接；800G硅光模块及CPO主要应用领域为下一代数据中心高速、高密度的光连接。		
	硅光芯片制造	Intel	IDM模式	—	
台积电	2021年，台积电推出用于硅光子芯片的先进封装技术；2022年台积电宣布联手英伟达押注硅光子芯片。	—			
格芯	美国芯片制造商格芯推出新一代硅光子平台：GF Fotonix；目前格芯是唯一提供300mm单芯片硅光解决方案的晶圆代工厂。	—			

资料来源：ofweek，国联证券研究所

2.3 硅光子适用于激光雷达、光子计算芯片等场景

硅光在激光雷达领域的应用尚处在研发阶段。现阶段激光雷达主要分为两类：一类基于 905nm 利用大面积 SPAD 阵列直接成像；另一类基于 1550nm 的固态 FMCW 和相干接收的激光雷达。激光雷达的原理是采用三角波线性连续调频的方式产生发射激光束，激光束经 FMCW（频率调制连续波）信号处理单元进行处理，根据出射光和反射光分析目标距离和目标速度，从而实现长距探测车载激光雷达等雷达应用。

FMCW 激光雷达可以避免传统雷达的高功率激光对人眼的危害，灵敏度更高，抗干扰性更强。但根据新思界，FMCW 激光雷达的生产难度大，目前尚处于研发阶段，

未实现量产应用。

图表8：激光雷达中高集成度收发一体的硅光 FMCW SoC 架构

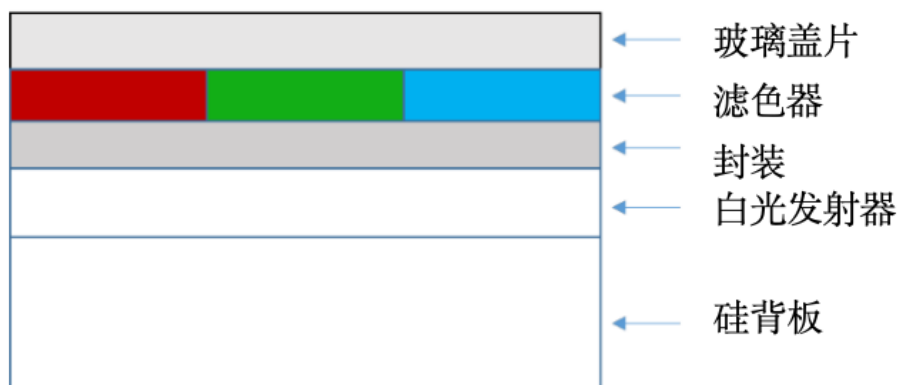


资料来源：洛微科技，国联证券研究所

多家厂商在光子计算芯片应用研究积极布局。根据中关村 2022 年第 9 期期刊，与依赖晶体管的传统芯片不同，光子芯片通过光电转换原理、利用光信号快速低耗地完成特定大量计算任务。当前电子城高科与光子算数正合作建设光电芯片封装测试验证平台，目前平台第一阶段建设已完成，具备光电芯片基本测试封装能力。光子芯片的龙头产业赛微电子已具备量产硅光子芯片的能力。

另外，硅光子技术在 VR、片间互联、异质集成等领域也具有前沿应用。根据 2022 年 11 月版中国电子报，VR 市场上 LCD 显示屏仍占据主流位置，但硅基 OLED 凭借色彩饱满、屏幕响应时间短等优势崭露头角，CINNO Research 预测 2025 年全球 AR/VR 硅基 OLED 显示面板市场规模将达到 16.7 亿美元。

图表9：硅基 OLED 器件结构



资料来源：陈弈星《硅基微显示芯片综述》，国联证券研究所

3. 投资建议

3.1 关注硅光光模块产业机会

数据中心是硅光最主要的市场，建议关注长期布局硅光技术的光模块厂商：中际旭创；天孚通信；新易盛。

3.2 关注硅光芯片产业机会

布局国内 CW 大功率光源的光芯片厂商：源杰科技（CW）、仕佳光子（AWG+CW）。

4. 风险提示

➤ AI 需求不及预期风险

当前的 800G 光模块市场以北美的互联网头部客户为主，AIGC 产品开发进度、商业模式将会影响 AI 网络建设的节奏。

➤ 产品研发不及预期风险

无论是 800G 光模块、还是国产光芯片，都需要过硬的研发质量来支撑产品送样测试，提升良率降低成本、保证交付质量。一旦产品研发不及预期，就有可能影响产品的送样、测试、交付工作。

➤ 硅光芯片量产不及预期

硅光芯片如果良率不及预期，将影响硅光模块应用进度。

➤ 竞争激烈风险

当前布局硅光子技术公司较多，一旦突破量产的厂商变多，价格存在下降风险。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：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；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准；韩国市场以柯斯达克指数或韩国综合股价指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表指数涨幅20%以上
		增持	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于5%~20%之间
		持有	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于-10%~5%之间
		卖出	相对同期相关证券市场代表指数跌幅10%以上
	行业评级	强于大市	相对同期相关证券市场代表指数涨幅10%以上
		中性	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于-10%~10%之间
		弱于大市	相对同期相关证券市场代表指数跌幅10%以上

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属国联证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“国联证券”）。未经国联证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为国联证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，国联证券不因收件人收到本报告而视其为国联证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但国联证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。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。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，国联证券及其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，国联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。

国联证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。国联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。国联证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，国联证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司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。因此，投资者应当考虑到国联证券及其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

版权声明

未经国联证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、转载、刊登和引用。否则由此造成的一切不良后果及法律责任有私自翻版、复制、转载、刊登和引用者承担。

联系我们

北京：北京市东城区安定门外大街208号中粮置地广场A塔4楼

无锡：江苏省无锡市金融一街8号国联金融大厦12楼

电话：0510-85187583

上海：上海浦东新区世纪大道1198号世纪汇一座37楼

深圳：广东省深圳市福田区益田路4068号卓越时代广场1期13楼