

## 电子

# 硅光有望突破算力天花板，引领高速片间通信

### 报告摘要

#### ◆ 英特尔、英伟达寄予厚望，硅光有望突破算力天花板。

ChatGPT 掀起的 AI 和大型语言模型浪潮使训练数据集的规模产生了相当程度的提升，对更快处理速度的需求也在不断增加，而传统计算中心在能耗、带宽、延迟、可扩展性等方面面临的限制与挑战，硬件层面的革新“光进铜退”成为必然选择。凭借能耗和可扩展性的优势，光学元件已经在数据中心的 Server-to-Server 互联逐渐渗透，诸多芯片和云计算巨头开始倾向于通过光学设备来改善服务器集群的能耗比。NVLink 对算力的大幅扩展提升已经证明片间互联（Chip-to-Chip）是下一代计算中心关键技术之一，该技术也同样存在光学元件替换传统铜线通讯的需求，而片间互联光学元件体积和成本更严苛的要求也使硅光有望成为主流解决方案。硅光技术不仅是从工艺、成本层面对传统的可插拔光模块进行改良，更是满足了片间通讯对收发器密度和性能的需求升级，硅光技术能够压缩光收发器体积从而部署在体积更小的显卡或加速卡上，使更短距离互联成为可能。目前英特尔、英伟达、思科、Acacia 等国际巨头，以及国内的中际旭创、光迅科技等企业纷纷在硅光技术领域加码布局。

#### ◆ 硅光技术应用百花齐放，数据中心光模块是核心应用。

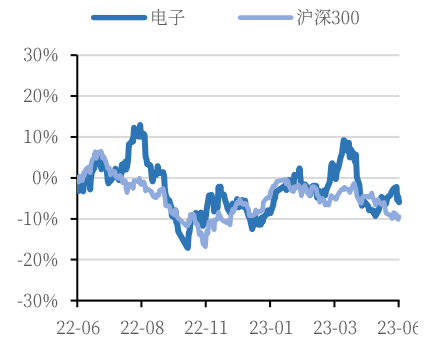
硅基光电子技术已经在数据中心、通信、激光雷达、传感、高性能计算和人工智能等领域彰显出广阔的应用前景和产业化趋势。根据市场研究机构 Yole Intelligence，2021 年基于硅基光电子技术的产业总体市场规模约为 1.51 亿美元，其中数据中心通信由于连接数量大、节点间距离短、环境温度相对稳定以及对光模块成本敏感，硅基光电子应用优势明显，成为最主要的应用场景。到 2027 年，预计硅基光电子产业市场规模将迅猛增长至 9.72 亿美元，2021-2027 年均复合增长率达到 36%，数据中心光模块仍将以 22% 的 CAGR 成为市场规模最大的应用，而 CPO 引擎、光子处理、光子互联、免疫测量、消费者健康等新应用也将百花齐放。

投资评级

增持

维持评级

### 行业走势图



### 作者

刘牧野

分析师

SAC 执业证书: S0640522040001

邮箱: liumy@avicsec.com

### 相关研究报告

电子行业周报：王者归来？关注华为手机链  
—2023-06-05

电子行业周报（2023.05.22-2023.05.28）日本  
半导体设备制裁落地，全面国产化加速推进  
—2023-05-29

存储行业 23Q1 观点更新：边际改善已现，H2  
拐点将至 —2023-05-29

股市有风险 入市需谨慎

中航证券研究所发布 证券研究报告

请务必阅读正文之后的免责声明部分

联系地址：北京市朝阳区望京街道望京东园四区2号楼中航产融大

厦中航证券有限公司

公司网址：www.avicsec.com

联系电话：010-59219558 传真：010-59562637

◆ **硅光在高速率传输具有性价比优势, AI 浪潮下有望迎来重大发展机遇。**近期数据中心、人工智能、云计算等领域的高速发展对联结带宽升级需求迫切, 多通道技术成为提高带宽的必经之路。传统的可插拔光模块主流为 4 通道, 良率尚且稳定, 而超过 8 通道, 尤其是 32 通道时良率显著下滑, 随着未来多通道要求进一步提高, 传统可插拔光模块陷入瓶颈, 硅光技术性能、成本优势凸显。我们认为随着人工智能浪潮来袭, 指数级增长的复杂应用场景驱动网络传输迭代升级, 进一步推升高速率光模块的需求, 800G 光模块正处在放量前夕。未来光通信系统技术路径升级, 调制格式越来越复杂, 光模块速率向 800Gbit/s 甚至 Tbit/s 级别演进, 迫切需要开发更高集成度、更低成本的解决方案, 硅基光电子将迎来重要的发展机遇。

◆ **目前硅光行业由海外公司主导, 国内产业链不断完善中。**

硅光前景广阔和商用价值受到业界的认可, 英特尔作为行业领跑者; Luxtera、Rockley Photonics、Skorpio 在硅基光电集成收发芯片的设计方面走在前沿; 格芯、台积电、Silex、APM 和 VTT 等代工厂积极研发硅光子规模制造工艺。近年来, 我国硅光产业发展迅速, 基础研究不断取得突破, 部分关键产品已基于自主研发实现产业化突破, 但仍面临产业链不均衡、中试平台和服务体系不成熟、产学研转化供给渠道不畅通的挑战。我国上游材料厂商标的稀缺, 云南锗业具备磷化铟、砷化镓晶片生产能力, 济南晶正的硅基铌酸锂材料一枝独秀; 燕东微开发建设硅光电子工艺平台, 目前正处于样品试制阶段; 光芯片 IDM 长光华芯将硅光平台纳入规划, 源杰科技硅光激光器在研; 光库科技、天孚通信、炬光科技、电科芯片、华工科技、中际旭创、光迅科技等光器件与光模块厂商在硅光领域百舸争流。

◆ **建议关注:**

- (1) 上游材料稀缺标的: 云南锗业、天通股份等;
- (2) 硅光芯片在研的光芯片 IDM: 源杰科技、长光华芯等;
- (3) 硅光相关器件厂商: 天孚通信、炬光科技、光库科技、电科芯片等;
- (4) 布局硅光的光模块厂商: 华工科技、中际旭创、光迅科技、剑桥科技、新易盛等。

◆ **风险提示:**

终端需求不及预期风险、研发进展不及预期风险、流动性风险等。

## 正文目录

一、 硅光有望突破算力天花板，引领高速片间通信.....4

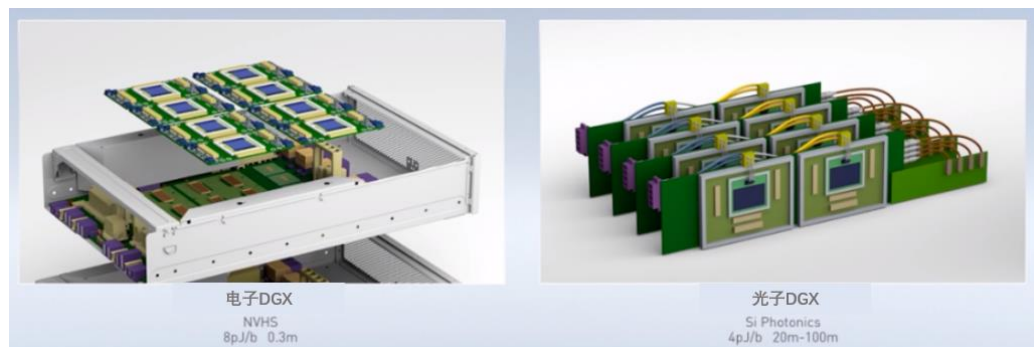
## 图表目录

图 1 英伟达采用电信号传输和基于硅光技术的光信号传输解决方案.....4  
图 2 基于体硅晶圆的硅基光电子集成芯片.....5  
图 3 2021-2027 年硅光子应用市场规模预测 .....5  
图 4 硅基光电子技术的发展历程.....6  
图 5 英伟达光学引擎创建 GPU/NVSwitch 网络框图 .....6  
图 6 硅光芯片在光模块中的应用.....6  
图 7 硅光与III-V 器件在不同速率和传输距离应用 .....7  
图 8 硅光模块集成方案发展方向.....8  
图 9 可用于硅基光电异质集成的材料体系及光电器件 .....8  
图 10 全球硅光产业链布局情况：成熟完整 .....9  
图 11 我国硅光产业链布局情况.....9

## 一、硅光有望突破算力天花板，引领高速片间通信

硅光有望突破算力天花板，引领高速片间通信。ChatGPT 掀起的 AI 和大型语言模型浪潮使训练数据集的规模产生了相当程度的提升，对更快处理速度的需求也在不断增加，而传统计算中心在能耗、带宽、延迟、可扩展性等方面面临的限制与挑战，硬件层面的革新“光进铜退”成为必然选择。光纤的能耗通常是铜缆的五分之一左右，但光纤的最大互联距离却是铜缆的一百倍左右，具有着更强的算力可扩展能力。凭借能耗和可扩展性的优势，光学元件已经在数据中心的 Server-to-Server 互联逐渐渗透，诸多芯片和云计算巨头开始倾向于通过光学设备来改善服务器集群的能耗比。NVLink 对算力的大幅扩展提升已经证明片间互联（Chip-to-Chip）是下一代计算中心关键技术之一，该技术也同样存在光学元件替换传统铜线通讯的需求，而片间互联光学元件体积和成本更严苛的要求也使硅光有望成为主流解决方案。英特尔、英伟达曾参与投资的 Ayar Labs 基于硅光技术的光信号互联芯片的面积带宽密度是主流设备的 20 倍，延迟和能耗却只需要主流设备的 1/30 和 1/3 左右。硅光技术不仅是从工艺、成本层面对传统的可插拔光模块进行改良，更是满足了片间通讯对收发器密度和性能的需求升级，硅光技术能够压缩光收发器体积从而部署在体积更小的显卡或加速卡上，使更短距离互联成为可能。

图1 英伟达采用电信号传输和基于硅光技术的光信号传输解决方案

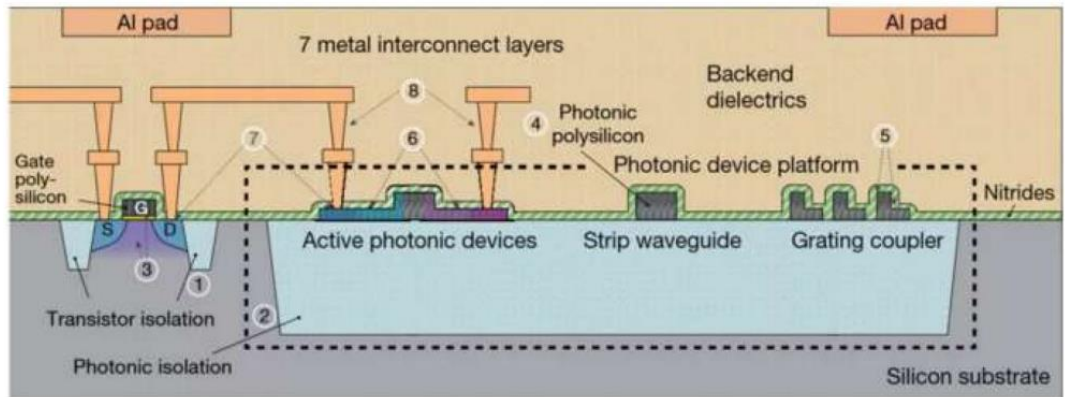


资料来源：英伟达、海外独角兽、中航证券研究所

光电融合相得益彰，硅光芯片成为颠覆性技术。硅光芯片基于绝缘衬底上硅（Silicon-On-Insulator, SOI）平台，兼容互补金属氧化物半导体（Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS）微电子制备工艺。硅基光电子技术结合了集成电路技术超大规模、超高精度制造的特性，和光子技术超高速率、超低功耗的优势，与现有的半导体晶圆制造技术相辅相成，更适应未来高速、复杂的光通信系统，未来随着技术逐渐成熟，激光雷达、光子计算等领域的应用也有望实现突破。硅光芯片也被列入阿里巴巴达摩院 2022 年十大科技趋势之一，达摩院认为光电融合、硅光子和硅电子取长补短将驱动算力持续提升，未来 3 年，硅光芯片将支撑大型数据中心的高

速信息传输；未来 5-10 年，以硅光芯片为基础的光计算将逐步取代电子芯片的部分计算场景。

图2 基于体硅晶圆的硅基光电子集成芯片



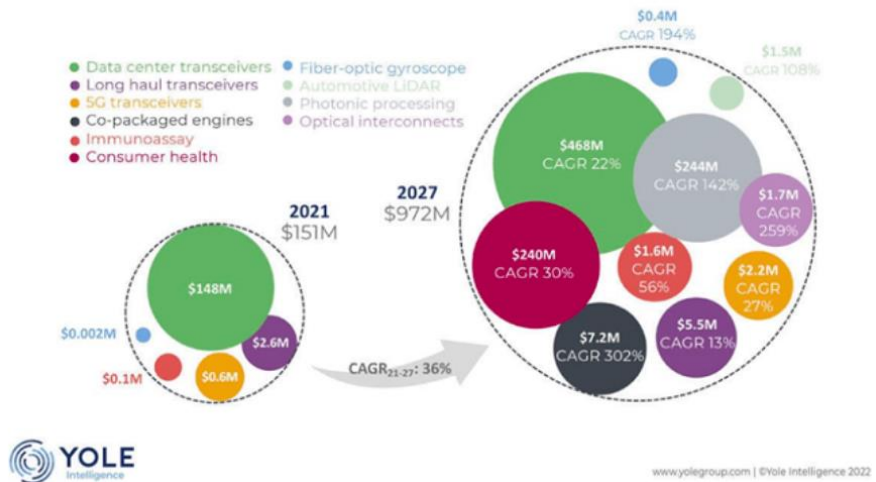
资料来源：《硅基光电子：微电子与光电子的交融点》、中航证券研究所

硅光技术应用百花齐放，数据中心光模块是核心应用。得益于硅基光电子技术集成度高、尺寸小、与微电子工艺相兼容等优势，已经在数据中心、通信、激光雷达、传感、高性能计算和人工智能等领域彰显出广阔的应用前景和产业化趋势。根据市场研究机构 Yole Intelligence，2021 年基于硅基光电子技术的产业总体市场规模约为 1.51 亿美元，其中数据中心通信由于连接数量大、节点间距离短、环境温度相对稳定以及对光模块成本敏感，硅基光电子应用优势明显，成为最主要的应用场景。到 2027 年，预计硅基光电子产业市场规模将迅猛增长至 9.72 亿美元，2021-2027 年均复合增长率达到 36%，数据中心光模块仍将以 22% 的 CAGR 成为市场规模最大的应用，而 CPO 引擎、光子处理、光子互联、免疫测量、消费者健康等新应用也将百花齐放。

图3 2021-2027 年硅光子应用市场规模预测

2021-2027 SILICON PHOTONIC DIE FORECAST BY APPLICATION

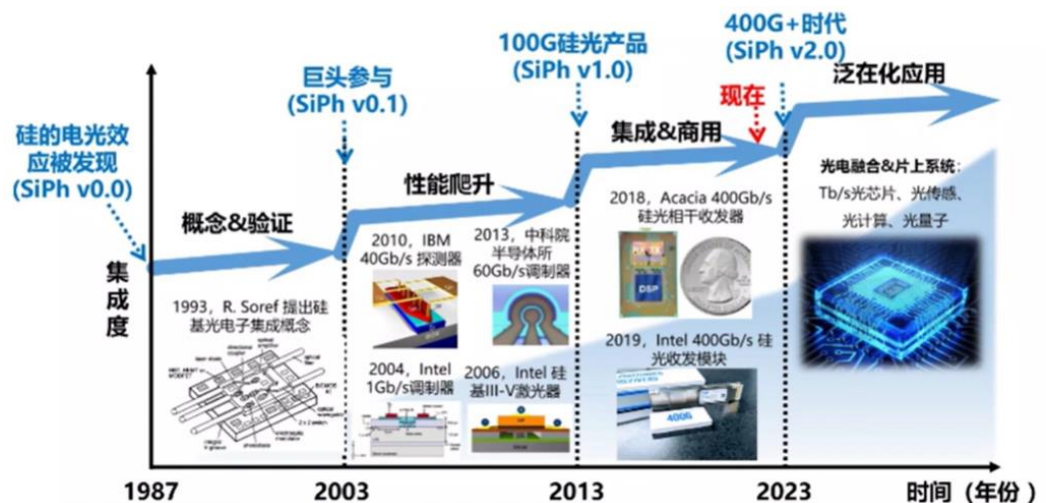
Source: Silicon Photonics 2022 Report, Yole Intelligence, 2022



资料来源：Yole Intelligence、中航证券研究所

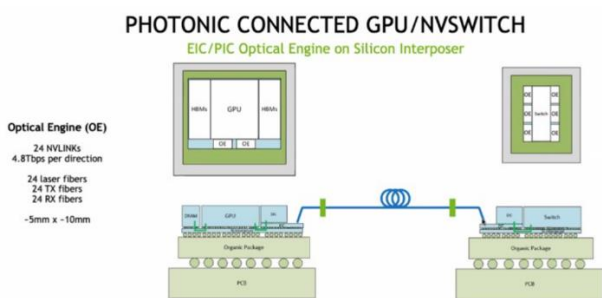
英特尔 2016 年打开硅光商用新局面，英伟达等国际巨头加码产业布局。硅基光电子技术发展始于上世纪 80 年代，Soref 发现了晶体硅中的等离子色散效应，为硅基电光调制提供了理论基础；到了 2010 年产业开始参与到硅基光电子领域，2016 年英特尔硅光收发器的商用也为硅光技术的发展打开新的局面，其 2018 年推出的 100Gbit/s PSM4 QSFP28 硅基光电子收发模块累计出货量超 300 万支；目前英特尔、英伟达、思科、Acacia 等国际巨头，以及国内的中际旭创、光迅科技等企业纷纷在硅光技术领域加码布局。AI 芯片巨头英伟达持续关注硅光技术的发展，曾在 2022 年的 OFC 上展示了使用密集波分复用 CPO 器件的目标，以及如何将硅光子学用作交叉连接机架的传输和机架的 GPU 计算引擎；英伟达参与了硅光技术厂商 Ayar Labs 的 C 轮投资，并于上月底向其追加 C1 轮投资；根据台媒《电子时代》报道，台积电深度参与了一项由英伟达牵头的研发项目，该项目将基于硅光技术使用台积电 COUPE（紧凑型通用光子引擎）封装技术，将多个 AI GPU 组合成一块 GPU。

图4 硅基光电子技术的发展历程



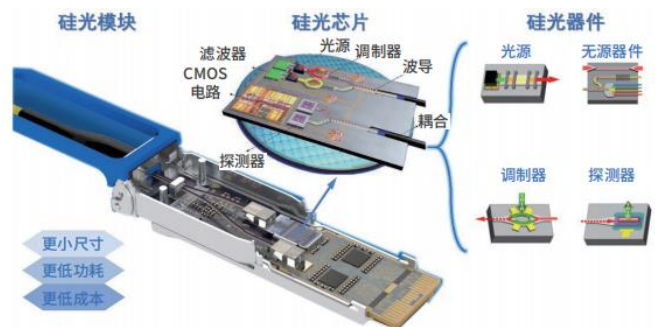
资料来源：国家信息光电子创新中心、中航证券研究所

图5 英伟达光学引擎创建 GPU/NVSwitch 网络框图



资料来源：英伟达、半导体产业纵横、中航证券研究所

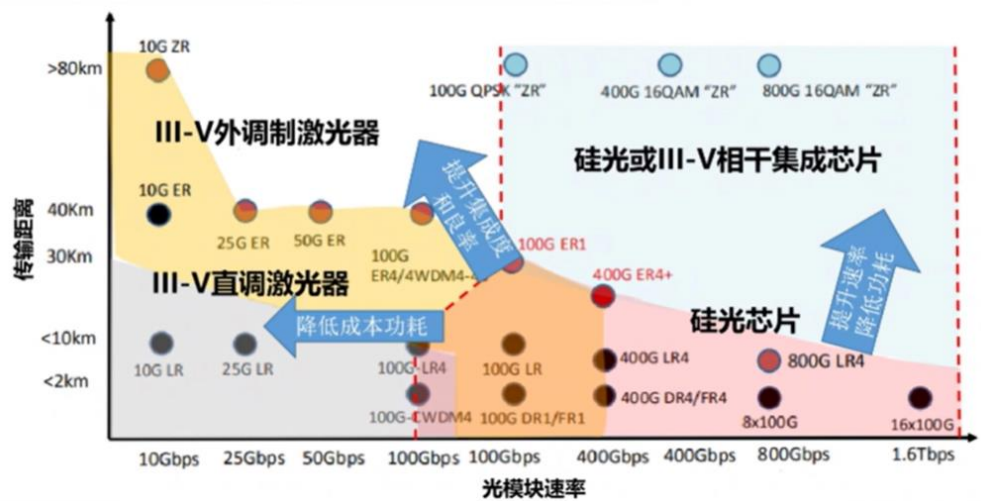
图6 硅光芯片在光模块中的应用



资料来源：华中科技大学武汉光电国家研究中心、中航证券研究所

硅光在高速率传输具有性价比优势，AI 浪潮下有望迎来重大发展机遇。在单通道波特率低于 25G，短距离传输 (<10km)，III-V DML 的性价比较优；而随着传输数据与距离增加，EML 凭借其优异的高速调制频响、低驱动电压、低啁啾成为主要光电器件。而近期数据中心、人工智能、云计算等领域的高速发展对联结带宽升级需求迫切，多通道技术成为提高带宽的必经之路。传统的可插拔光模块主流为 4 通道，良率尚且稳定，而超过 8 通道，尤其是 32 通道时良率显著下滑，随着未来多通道要求进一步提高，传统可插拔光模块陷入瓶颈，硅光技术性能、成本优势凸显。从 4×25G 为代表的 100Gbps 大数据中心光互联时代开始，Intel、Luxtera 的硅光产品便开始崭露头角，规模化进入市场。目前，100G 已经进入成熟应用，400G 正在进入规模商用，同时 800G 也已开始在人工智能及高密度交换机互联领域兴起。在高速长距离传输场景下，相干技术因其抗色散特性成为主流技术解决方案，硅光集成技术为相干所需更复杂的多通道调制解调平衡探测组合提供重要技术支持。我们认为随着人工智能浪潮来袭，指数级增长的复杂应用场景驱动网络传输迭代升级，进一步推升高速率光模块的需求，800G 光模块正处在放量前夕。未来光通信系统技术路径升级，调制格式越来越复杂，光模块速率向 800Gbit/s 甚至 Tbit/s 级别演进，迫切需要开发更高集成度、更低成本的解决方案，硅基光电子将迎来重要的发展机遇。

图7 硅光与III-V 器件在不同速率和传输距离应用

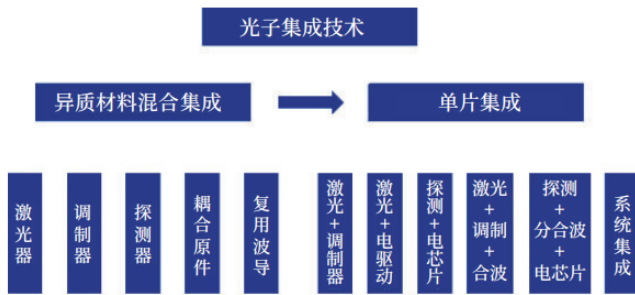


资料来源：国家信息光电子创新中心、中航证券研究所

当前的硅光器件仍处于发展中阶段，从异质材料集成向单片集成演进。硅光芯片中的光器件分为有源器件和无源器件，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（Photonic Integrated Circuit, PIC）来实现硅光芯片。业内认为，硅基光电子技术发展主要可以分为三个阶段：第一阶段为硅器件逐步取代分立元器件，即用硅把光通信底层器件做出来，达到工艺的标准化；第二阶段为集成技术从耦合集成向单片集成演进，实现部

分集成，再把这些器件像积木一样通过不同器件的组合，集成不同的芯片；第三阶段为光电一体技术融合，实现光电全集成化。根据中科院半导体研究所的王启明院士，目前硅基光电子技术仍然处在第二阶段。光电集成芯片要实现大规模应用，需要依托硅材料与不同种类光电材料的异质集成，以充分发挥各种材料的优异特性。III-V 族材料制作的光源、铌酸锂制作的调制器和 YIG 材料制作的隔离器相比于硅基器件具有较大优势。走在硅光最前沿的英特尔的方案中，激光器发光部分是 III-V 材料，通过硅晶圆工艺和硅光集成到一起，属于异质集成，但芯片效率和峰值功率不高。单片集成技术是对制作好的硅晶圆开槽，直至单晶硅衬底，而后使用选取外延的方式在单晶硅衬底上生长 III-V 族材料，工艺难度大，但损耗低、易于封装、可靠性强、集成度高，被认为是未来实现硅光大规模生产的一种最可行的方案。

图8 硅光模块集成方案发展方向



资料来源：华中科技大学武汉光电国家研究中心、中航证券研究所

图9 可用于硅基光电异质集成的材料体系及光电器件

材料体系	异质材料	异质集成器件
硅材料	SOI	调制器 探测器
III-V 族材料	InP	激光器 单光子源 调制器
	GaAs	
VI 族材料	Ge	探测器
其他材料	LiNbO <sub>3</sub>	调制器
	YIG	隔离器
	2D	调制器
	SiN	低损耗波导

资料来源：中国科学院院刊、中航证券研究所

目前硅光行业由海外公司主导，国内产业链不断完善中。硅基光电子前景广阔和商用价值受到业界的认可，英特尔作为行业领跑者 2021 年已实现 500 万颗以上模块的销售，是目前世界上利用异质集成技术实现规模量产的唯一一家公司，同时，对于直接生长异质集成技术也正在布局硅基量子点激光器技术。美国 Luxtera、英国 Rockley Photonics、美国 Skorpio 分别采用片间混合集成、片上倒装焊混合集成和片上异质集成技术实现了产品的展示，在硅基光电集成收发芯片的设计方面走在前沿；如格芯、台积电、Silex、APM 和 VTT 等代工厂积极研发硅光子规模制造工艺。近年来，我国硅光产业发展迅速，基础研究不断取得突破，部分关键产品已基于自主研发实现产业化突破，但仍面临产业链不均衡、中试平台和服务体系不成熟、产学研转化供给渠道不畅通的挑战。我国上游材料厂商标的稀缺，云南锗业具备磷化铟、砷化镓晶片生产能力，济南晶正的硅基铌酸锂材料一枝独秀，是目前国内外几乎所有薄膜铌酸锂调制器的材料供应商；燕东微开发建设硅光电子工艺平台，目前正处于样品试制阶段；国产光芯片 IDM 长光华芯将硅光平台纳入规划，源杰科技硅光激光器在研；光库科技、天孚通信、炬光科技、电科芯片、华工科技、中际旭创、光迅科技等光器件



与光模块厂商在硅光领域百舸争流。

综上，我们认为硅基光电子技术结合了集成电路技术超大规模、超高精度制造的特性，和光子技术超高速率、超低功耗的优势，与现有的半导体晶圆制造技术相辅相成，将更适应未来高速、复杂的光通信系统。随着人工智能浪潮来袭，指数级增长的复杂应用场景驱动网络传输迭代升级，进一步推升高速率光模块的需求，光模块速率向800Gbit/s甚至Tbit/s级别演进，迫切需要开发更高集成度、更低成本的解决方案，硅基光电子将迎来重要的发展机遇。建议关注：（1）上游材料稀缺标的云南锗业、天通股份等；（2）硅光芯片在研的光芯片IDM：源杰科技、长光华芯等；（3）硅光相关器件厂商：天孚通信、炬光科技、光库科技、电科芯片等；（4）布局硅光的光模块厂商：华工科技、中际旭创、光迅科技、剑桥科技、新易盛等。

图10 全球硅光产业链布局情况：成熟完整



资料来源：国家信息光电子创新中心、中航证券研究所

图11 我国硅光产业链布局情况



资料来源：国家信息光电子创新中心、中航证券研究所

### 公司的投资评级如下:

买入: 未来六个月的投资收益相对沪深 300 指数涨幅 10%以上。

持有: 未来六个月的投资收益相对沪深 300 指数涨幅-10%~10%之间。

卖出: 未来六个月的投资收益相对沪深 300 指数跌幅 10%以上。

### 行业的投资评级如下:

增持: 未来六个月行业增长水平高于同期沪深 300 指数。

中性: 未来六个月行业增长水平与同期沪深 300 指数相若。

减持: 未来六个月行业增长水平低于同期沪深 300 指数。

### 研究团队介绍汇总:

首席: 赵晓琨 十六年消费电子及通讯行业工作经验, 曾在华为、阿里巴巴、摩托罗拉、富士康等多家国际级头部品牌终端企业, 负责过研发、工程、供应链采购等多岗位工作。曾任职华为终端半导体芯片采购总监, 阿里巴巴人工智能实验室供应链采购总监。长期专注于三大方向: 1、半导体及硬科技; 2、智慧汽车及机器人; 3、大势所趋的新能源。 分析师: 刘牧野 约翰霍普金斯大学机械系硕士, 2022 年 1 月加入中航证券。拥有高端制造、硬科技领域的投研经验, 从事科技、电子行业研究。

### 销售团队:

李裕淇, 18674857775, liyuq@avicsec.com, S0640119010012

李友琳, 18665808487, liyoul@avicsec.com, S0640521050001

曾佳辉, 13764019163, zengjh@avicsec.com, S0640119020011

### 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, 再次申明, 本报告清晰、准确地反映了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: 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证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

### 免责声明:

本报告由中航证券有限公司(已具备中国证券监督管理委员会批准的证券投资咨询业务资格)制作。本报告并非针对意图送发或为任何就送发、发布、可得到或使用本报告而使中航证券有限公司及其关联公司违反当地的法律或法规或可致使中航证券受制于法律或法规的任何地区、国家或其它管辖区域的公民或居民。除非另有显示, 否则此报告中的材料的版权属于中航证券。未经中航证券事先书面授权, 不得更改或以任何方式发送、复印本报告的材料、内容或其复本给予任何其他人。未经授权的转载, 本公司不承担任何转载责任。

本报告所载的资料、工具及材料只提供给阁下作参考之用, 并非作为或被视为出售或购买或认购证券或其他金融票据的邀请或向他人作出邀请。中航证券未有采取行动以确保于本报告中所指的证券适合个别的投资者。本报告的内容并不构成对任何人的投资建议, 而中航证券不会因接受本报告而视他们为客户。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被中航证券认为可靠, 但中航证券并不能担保其准确性或完整性。中航证券不对因使用本报告的材料而引致的损失负任何责任, 除非该等损失因明确的法律或法规而引致。投资者不能仅依靠本报告以取代行使独立判断。在不同时期, 中航证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告仅反映报告撰写日分析师个人的不同设想、见解及分析方法。为免生疑, 本报告所载的观点并不代表中航证券及关联公司的立场。

中航证券在法律许可的情况下可参与或投资本报告所提及的发行人的金融交易, 向该等发行人提供服务或向他们要求给予生意, 及或持有其证券或进行证券交易。中航证券于法律容许下可于发送材料前使用此报告中所载资料或意见或他们所依据的研究或分析。

联系地址: 北京市朝阳区望京街道望京东园四区 2 号楼中航产融大厦中航证券有限公司

公司网址: www.avicsec.com

联系电话: 010-59219558

传 真: 010-59562637