下载日志已记录，仅供内部参考

Industry & Sector

Industry Research / In-depth Analysis Report

Securities Research Report

财达证券 CAIDA SECURITIES

Machinery/Special Equipment

September 16, 2026

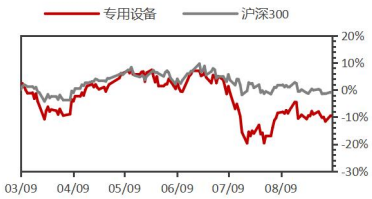
Chasing Light and Speed, Riding the Upswing

Optical Transceiver Packaging & Testing Equipment Industry , In-Depth Analysis

Market Weight

(Initiation of Coverage)

Industry vs. market performance over the past year



Named Analyst

Yang Peng 13393033373

S0400522100001

yangpeng@cdzq.com

Analyst Contact

Wang Yingxiao 18019075726

S0400124070045

wangyingxiao@cdzq.com

Report Summary

AI compute is driving generational upgrades in optical modules, and packaging & testing (P&T) equipment is set for simultaneous volume and ASP growth. As AI training and inference clusters continue to scale, optical module speeds are moving fully from 400G to 800G and accelerating toward 1.6T. Global 800G optical module shipments are expected to have reached 18 – 19.9 million units in 2025, roughly doubling YoY. 1.6T products have already achieved a mass-production breakthrough and are expected to enter a rapid volume ramp in 2026. Downstream shipment growth is directly lifting demand for P&T equipment. At the same time, higher-speed products impose stricter requirements on precision, throughput, and consistency, pushing equipment toward higher accuracy and higher automation—and lifting both unit equipment value and investment per production line. Demand expansion plus technology upgrades are creating a dual driver of volume growth and price/ASP uplift on the equipment side.

Testing, coupling, and die attach are the high-value core steps, and the industry addressable market is expanding rapidly. Optical module P&T covers die attach, bonding, coupling, and testing. Testing equipment accounts for the largest share of value: the global chip burn-in / aging-test equipment market reached RMB 1.63 billion in 2024, or 31.4% of the high-end optical module P&T equipment market. Coupling is the longest cycle-time step and the process bottleneck most prone to yield loss; the global optical coupling machine market reached RMB 1.21 billion in 2024 and is expected to grow to RMB 2.27 billion by 2029. Die-attach precision continues to rise with module speed; die-attach / bonding machines accounted for about 18.9% of the global market in 2024. As the mix of high-end specifications increases, equipment spend per line keeps rising. The global optical module P&T equipment market is expected to expand from RMB 5.18 billion in 2024 to RMB 10.16 billion by 2029—nearly doubling.

Dual constraints on precision and efficiency are driving P&T equipment toward automation, platformization, and standardization. The ramp of high-speed, highly integrated optical modules is simultaneously raising requirements for process precision and line takt time in die attach, coupling, and testing. Traditional manual coupling can take more than 30 minutes per channel with yields of only 70% – 80%, while high-speed modules already require yields above 90% — making legacy single-machine and discrete-instrument models unsustainable. Advanced packaging such as CPO is pushing the testing boundary upstream from the module level to the wafer and chiplet levels, and test gear is evolving from discrete instruments toward integrated optoelectronic automated platforms. We believe equipment vendors with full-line coordination, standardized interfaces, and integrated optoelectronic test capabilities will be best positioned.

Overseas leaders face rigid capacity; domestic equipment makers are opening an import/design-in window. Leading overseas suppliers have full order books and lengthening lead times, creating a design-in window for domestic equipment. Localization is already high in mid- to low-end segments: overall localization of coupling equipment has reached 80%, and domestic die-attach vendors already rank first globally—yet high-precision die attach and high-end test instruments remain largely overseas-dominated. Chinese firms have built coverage across sampling oscilloscopes, bit-error-rate (BER) analyzers, clock recovery units (CRU), and optoelectronic device test gear, with some metrics approaching or matching international advanced levels, and are poised to accelerate design-ins. As optical module lines move toward end-to-end automation, automated and full-line solutions are becoming the core path for capacity expansion, creating structural opportunities for domestic equipment makers.

Investment view: We believe the optical module P&T equipment industry is in an AI compute – driven technology-upgrade upcycle. New technologies such as CPO and silicon photonics create clear incremental equipment demand, domestic substitution is still in an acceleration phase, and earnings elasticity is

ample. **On this basis, we initiate coverage with a "Market Weight" rating.** We recommend focusing on leaders with high technical barriers in each sub-segment: (1)RoboTechnik, after acquiring Germany's ficonTEC, can supply full-process CPO P&T equipment and is deeply tied to leading customers such as NVIDIA and TSMC; (2)Semight Instruments, a domestic leader in optical-communications test instruments and the world's second vendor to launch a full suite of core 1.6T test instruments; (3)Lieqi Intelligent, a packaging-equipment segment champion, with 2025 global share of about 20% in die attach and 23% in coupling equipment, covering leading global optical module makers.

Risk factors

Slower-than-expected technology iteration; weaker-than-expected AI computing build-out demand, among others.

下载日志已记录，仅供内部参考

财达证券 CAIDA SECURITIES

机械设备/专用设备

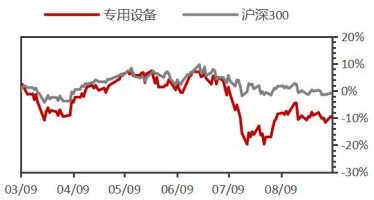
2026 年 09 月 16 日

追光逐速，乘势而起

——光模块封测设备行业深度报告

标配（首次覆盖）

一年内行业与大盘对比走势：



证券分析师
杨鹏 13393033373
S0400522100001
yangpeng@cdzq.com
联系人&研究支持
王映霄 18019075726
S0400124070045
wangyingxiao@cdzq.com

研报摘要：

AI 算力驱动光模块代际升级，封测设备迎来量价齐升。AI 训练与推理集群规模持续扩大，光模块速率由 400G 全面迈向 800G 并加速向 1.6T 升级。2025 年全球 800G 光模块出货量预计达 1800 万至 1990 万只，同比翻倍增长，1.6T 产品已实现量产突破，预计 2026 年进入快速放量期。下游出货量增长直接拉动封测设备需求，叠加高速率产品对精度、效率与一致性要求全面提升，推动设备向高精度、高自动化升级，单台设备价值量与单条产线投资额同步上行。需求扩张叠加技术升级，设备端迎来量增+价升双重驱动。

测试、耦合、贴片为高价值核心环节，行业空间快速扩容。光模块封测流程涵盖贴片、键合、耦合与测试，其中测试设备价值占比最高，2024 年芯片老化测试设备全球市场规模 16.3 亿元，占高端光模块封测设备总市场的 31.4%。耦合是工时最长、最易产生不良品的工艺瓶颈，全球光耦合机市场规模 2024 年达 12.1 亿元，预计 2029 年增至 22.7 亿元。贴片精度随速率提升持续升级，固晶贴片机 2024 年全球市场规模占比约 18.9%。随着高端规格占比提升，单条产线设备投入持续上行，全球光模块封测设备市场空间有望从 2024 年的 51.8 亿元增至 2029 年的 101.6 亿元，接近翻倍。

精度与效率双重约束，驱动封测设备向自动化、平台化、标准化演进。高速率、高集成光模块放量，对贴片、耦合、测试环节的操作精度与产线节拍要求同步提升。传统手工耦合单通道耗时超 30 分钟，良率仅 70%-80%，而高速率模块良率要求已达 90%以上，传统单机与分立仪器模式难以为继。CPO 等先进封装推动测试边界从模块级向晶圆级、芯粒级前移，测试设备由分立仪器向光电一体化自动平台升级。我们判断，具备整线协同、标准化接口与光电一体化测试能力的设备商将占优。

海外龙头产能刚性，国产设备厂商迎来导入窗口。海外龙头订单饱满、交期拉长，国产设备迎来导入窗口。中低端环节国产化率已较高，耦合设备整体国产化率达 80%，贴片设备国产厂商已居全球第一，但高精度贴片、高端测试仪器等领域仍由海外主导。国内企业在采样示波器、误码分析仪、时钟恢复单元及光电子器件测试设备等环节已完成布局，部分指标接近或持平国际先进水平，有望加速导入。随着光模块产线向全流程自动化演进，自动化、整线化解决方案成为扩产核心路径，国产设备厂商迎来结构性机会。

投资建议：我们认为，光模块封测设备行业当前处于 AI 算力驱动的技术迭代上行周期，CPO、硅光等新技术带来明确的设备增量空间，国产替代仍处于加速期，业绩弹性充足。基于此，首次覆盖给予“标配”评级。建议聚焦各细分赛道技术壁垒高的龙头标的：1）罗博特科收购德国 ficonTEC 后具备 CPO 全流程封测设备供应能力，深度绑定英伟达、台积电等头部客户；2）联讯仪器为光通信测试仪器国产替代领军者，系全球第二家推出 1.6T 全套核心测试仪器的厂商；3）猎奇智能为封装设备细分冠军，2025 年贴片、耦合设备全球市占率分别达 20%、23%，覆盖全球头部光模块厂商。

风险提示：技术迭代不及预期；AI 算力建设需求不及预期等。

下载日志已记录，仅供内部参考

目录

光模块：AI 算力基础设施的核心“血管” 6
光模块是实现光电信号高速、高精度转换的核心器件 6
AI 算力需求驱动光模块技术迭代 7
速率升级：从 400G 到 1.6T 的跨越式演进 8
技术演进：芯片设计和封装架构迭代并行推进 10
光模块封测工艺与核心设备 16
光模块封装测试的核心工艺及高价值量环节 16
贴片：高精度要求的核心工艺 17
键合：实现芯片与外部电路的电气互连 20
引线键合：传统封装领域的性价比之王 20
倒装芯片键合：高性能光模块的主流互连方案 22
混合键合：高密度垂直集成的技术支柱 24
光电芯片键合设备市场：全局规模与国产化趋势 27
耦合是光模块封装中工时最长、最容易产生不良品的步骤 28
测试设备：价值量占比最高的环节 31
通信测试仪器：光模块性能验证平台 33
光电子器件测试仪器：技术壁垒高筑，国产化进程加速 37
高速率时代封测设备的增量需求与自动化方向 44
增量需求：上游技术迭代驱动封测设备量价齐升 44
测试边界前移：新材料、新技术导入，封测设备谱系重塑 45
自动化升级：精度与效率双重约束推动全流程闭环智能制造 47
供给格局：海外龙头产能刚性，国产设备厂商迎来导入窗口 48
重点公司分析 49
罗博特科：收购 ficonTEC，打造量产级设备制造商 49
联讯仪器：光通信测试仪器国产替代领军者，卡位 CPO 全栈测试 51
猎奇智能：光模块封装测试设备细分冠军 53
风险提示 54

下载日志已记录，仅供内部参考

图表目录

图 1 ： 光模块结构示意图 6
图 2 ： 发送端完成电→光转换 7
图 3 ： 接收端完成光→电转换 7
图 4 ： 光模块产业链 7
图 5 ： 全球光互联市场规模（亿美元） 8
图 6 ： 数据中心光模块应用场景 8
图 7 ： 数据中心走向智算数据中心 AI DC 8
图 8 ： 光模块迭代周期不断加快 9
图 9 ： 800G 光模块在 2025 年迎来需求放量高峰 9
图 10 ： 全球数据中心各速率光模块出货量预测 10
图 11 ： 华工科技 3.2T 近封装光学方案 10
图 12 ： 光迅科技 3.2T 硅光单模近封装方案 10
图 13 ： 传统方案和 LPO 方案对比图 11
图 14 ： NPO 方案示意图 12
图 15 ： 英伟达宣布其 CPO 交换机系统已进入全面量产阶段 12
图 16 ： CPO 方案市场收入年复合增长率 13
图 17 ： 光模块多种封装方案商业化进展 13
图 18 ： CPO 的三种物理形态 13
图 19 ： OIO 工艺原理 14
图 20 ： 硅光模块结构 15
图 21 ： 硅光模块在全球光模块市场规模中的占比 16
图 22 ： 预计 2029 年全球硅光模块市场销售额将达 103 亿美元 16
图 23 ： 光模块制造核心工序及关键设备 17
图 24 ： 全球光模块封测设备市场规模 17
图 25 ： 多芯片共晶贴片工艺 18
图 26 ： 多芯片固晶（导电胶）工艺 18
图 27 ： 2026 年全球贴片机市场规模预计 30 亿美元 19
图 28 ： 2025 年全球贴片机市场份额按应用分类 19
图 29 ： 全球光模块贴片设备市场份额 20
图 30 ： 根据劈刀和焊点形状的不同，引线键合可分为球焊和楔焊 21
图 31 ： 球焊和楔焊在焊点形状、劈刀类型上有显著差异 21
图 32 ： 超声热压金丝球焊模型图 22
图 33 ： 倒装芯片组装流程示意图 22
图 34 ： 常见的回流焊芯片键合流程 23
图 35 ： 热压键合（TCB）工艺流程 23
图 36 ： 锡凸点和铜柱凸点结构图 23
图 37 ： 混合键合技术实现最高密度、最高精度、最低能耗 24

下载日志已记录，仅供内部参考

图 38 ： 倒装键合和混合键合工艺比较 25
图 39 ： 微凸点互连和混合键合的密度比较 25
图 40 ： 典型的混合键合工艺流程 25
图 41 ： 两种主要的混合键合工艺方案 26
图 42 ： 硅光 CPO 光电 3D 堆叠截面结构图 27
图 43 ： 全球混合键合设备营业收入变化 27
图 44 ： 全球光电芯片键合设备市场规模 28
图 45 ： 4 路高速光模块基本构成图示例 28
图 46 ： 阵列波导光栅接收光组件的耦合示意图 28
图 47 ： 直接耦合示意图 29
图 48 ： 单透镜耦合示意图 29
图 49 ： 直接耦合的对准及装配图 30
图 50 ： 双透镜系统的对准及装配图 30
图 51 ： 耦合设备的示意图 30
图 52 ： 光模块耦合设备核心竞争力的关键指标 31
图 53 ： 国内主要耦合设备厂商指标对比 31
图 54 ： 全球光模块光学耦合设备厂商竞争格局 31
图 55 ： CPO 测试可分为四个阶段 32
图 56 ： 全球光通信测试仪器市场规模（亿美元） 33
图 57 ： 中国光通信测试仪器市场规模（亿元） 33
图 58 ： 联讯仪器 DCA1065 采样示波器 35
图 59 ： PAM4 信号经均衡前后的眼图对比 35
图 60 ： 联讯仪器 CR3302 时钟恢复单元 36
图 61 ： 时钟信号经提取前后的眼图对比 36
图 62 ： 联讯仪器 PBT3058 误码分析仪 36
图 63 ： 误码分析仪实时监控示意图 36
图 64 ： 中国通信测试仪器市场份额 37
图 65 ： 光电子器件测试环节 38
图 66 ： 全球光电器件测试设备规模（亿美元） 38
图 67 ： 中国光电器件测试设备市场规模（亿元） 38
图 68 ： 硅光晶圆测试系统 39
图 69 ： 台积电 COUPE 平台呈现“上电下光”结构 40
图 70 ： ficonTEC 晶圆级 3D CPO 测试设备 40
图 71 ： 光芯片 KGD 分选测试系统 41
图 72 ： 爱德万 V93000 系列 ATE 设备 42
图 73 ： 泰瑞达 UltraFLEX 自动检测设备 42
图 74 ： 泰瑞达 ATE 自动测试架构 42
图 75 ： 边缘耦合流程示意图 45
图 76 ： 两种光栅耦合原理示意图 45
图 77 ： 硅光/CPO 测试三大缺口与行业努力方向 46

下载日志已记录，仅供内部参考

图 78 ： 某智能耦合机结构示意图 47
图 79 ： 某智能耦合机关键技术指标 47
图 80 ： ficonTEC PCM 软件平台 50
图 81 ： 联讯仪器产品可覆盖模块、芯片、晶圆等核心环节测试需求 52
图 82 ： 猎奇智能产品覆盖贴片、耦合、老化测试三大核心环节 53

表 1 ： CPO 的三种技术路线对比 13
表 2 ： 传统光模块和硅光模块对比 15
表 3 ： 光模块贴片工艺对比 18
表 4 ： 贴片设备的核心竞争力在精度、工艺兼容性及升降温速率三方面 18
表 5 ： 根据键合能量不同可分为热压键合法、超声键合法和热超声键合法 20
表 6 ： 先进封装不同互连技术关键参数对比表 24
表 7 ： 耦合常用透镜材料性能与应用对比 29
表 8 ： 测试设备对光通信产业链有关键核心作用 32
表 9 ： 测试包括光模块发射端、光模块接收端测试 33
表 10 ： 光/电测试指标要求 34
表 11 ： 光模块速率提升，测试设备技术指标同步升级 35
表 12 ： 国内外通信测试仪器技术指标对比 37
表 13 ： 国内领先企业 CoC 老化测试设备性能对比 43
表 14 ： 贴片精度随光模块速率提升而提升 44
表 15 ： CPO 测试相较于传统光模块测试各环节挑战 45
表 16 ： 国内厂商在关键通信测试仪器环节已完成产品布局 48
表 17 ： ficonTEC 全自动组装设备系列具体产品 49
表 18 ： ficonTEC 全自动测试设备系列具体产品 49
表 19 ： 2026 年罗博特科已公布订单情况 51
表 20 ： 猎奇智能 2023-2025 年营业收入拆分 54

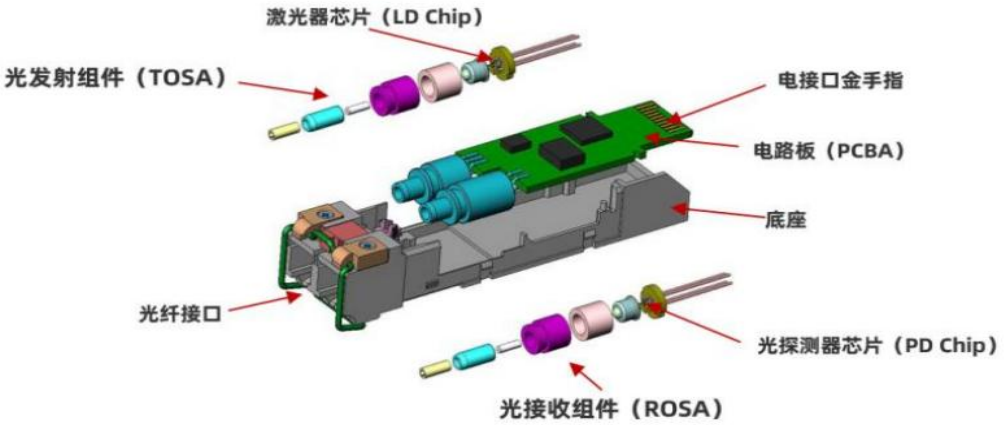
下载日志已记录，仅供内部参考

光模块：AI 算力基础设施的核心“血管”

光模块是实现光电信号高速、高精度转换的核心器件

光模块是数据中心高速组网与数据传输的底层硬件，在物理层完成光电信号的双向转换。数据中心内部的计算与交换芯片基于电信号处理数据，但电信号在 PCB 和铜缆中传输时受趋肤效应与介电损耗限制，随速率提升距离急剧缩短；光纤的传输损耗极低（约 0.2dB/km），但无法直接传输电信号。光模块通过光电调制解调技术实现两种介质间的信号适配，是数据中心内设备互联及跨数据中心互连的必要环节，其性能与迭代速度直接决定数据中心的吞吐能力、调度效率与扩容空间，是算力网络建设不可或缺的基础性核心器件。

图 1：光模块结构示意图

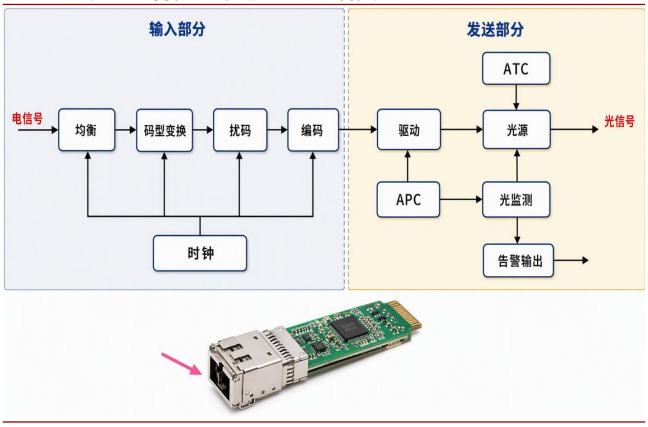


资料来源：IMT-2020（5G）推进组，财达研究

光模块工作流程分为发送与接收两个过程：发送端，交换芯片或 GPU 输出的高速差分电信号经 DSP（数字信号处理器，负责对高速电信号进行复杂的数学运算处理）重定时和预均衡后，驱动激光器（VCSEL、DFB 或 EML）将电信号转换为光脉冲，经耦合进入光纤；接收端，微弱的光信号被光电探测器（PIN 或 APD）转换为光电流，再经 TIA（跨阻放大器）和限幅放大器放大、整形，恢复为原始电信号输出给交换芯片。整个光电转换过程必须在纳秒级时间内完成，且需保证极低的抖动和误码，这对光模块内部的电芯片、光芯片和无源器件的协同设计提出了极高要求。

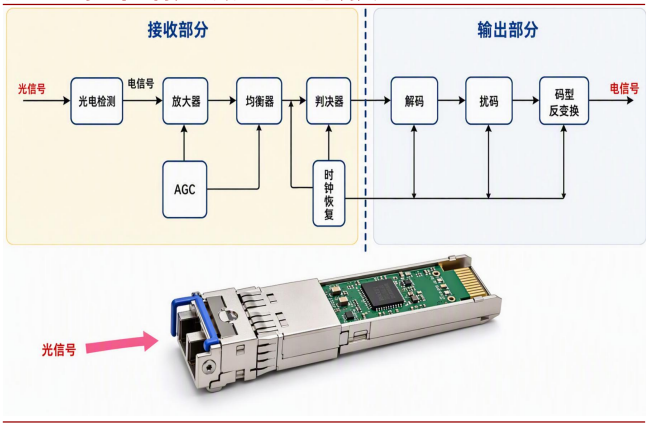
下载日志已记录，仅供内部参考

图 2：发送端完成电→光转换



资料来源：Focus 光通信，财达研究

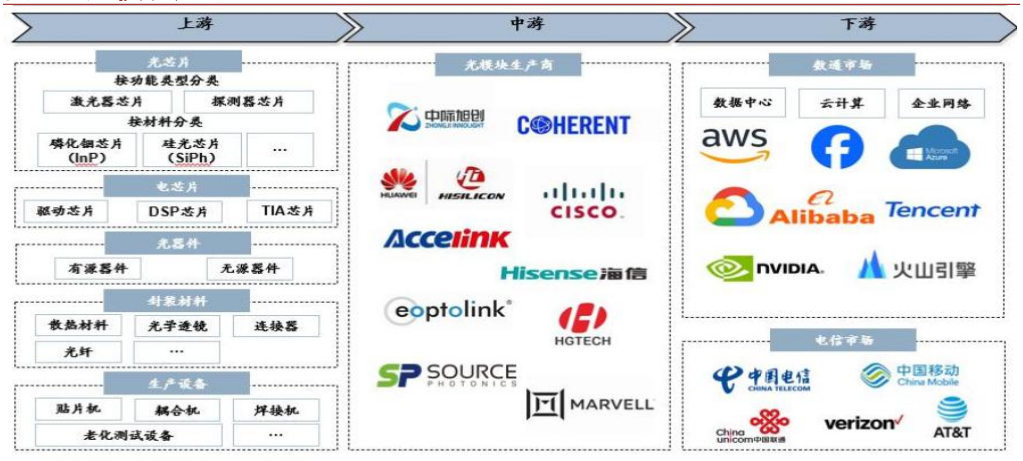
图 3：接收端完成光→电转换



资料来源：Focus 光通信，财达研究

从产业链来看，光模块产业链上游主要包括光芯片、电芯片、光器件、封装材料等，中游光模块厂商将光芯片、电芯片等零部件集成，完成光模块的设计、制造与封装，下游主要为微软、谷歌、Meta、阿里巴巴、腾讯、字节跳动等国内外云厂商为代表的数通市场，以及中国移动、中国联通等电信市场运营商。数通市场以数据中心、云计算、企业网络为核心场景，聚焦高速数据传输与算力互联，是光模块增长最快的市场。

图 4：光模块产业链



资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

AI 算力需求驱动光模块技术迭代

AI 算力需求的增长，驱动光模块行业市场扩容与技术迭代。据 LightCounting 数据，2025 年全球 AI 集群横向扩展与纵向扩展网络所用以太网光模块（100G 及以上）及 CPO 销售额已达 165 亿美元，预计 2026 年以太网光模块销量将增长 73%，2031 年市场规模达到 800 亿美元。光互连市场方面，2025 年全球光互连市场规模 248 亿美元，预计 2030 年增至 1,110 亿美元，年均复合增速 31.6%。其中数通市场是主要驱动力，基于 AI 基础设施的建设需求，未来数通市场有望由 scale-out、scale-up、scale-across 三大应用场景共同驱动。

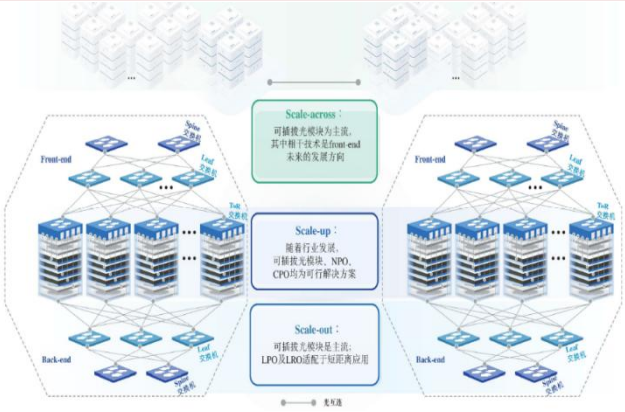
下载日志已记录，仅供内部参考

图 5：全球光互联市场规模（亿美元）



资料来源：中际旭创半年报，财达研究

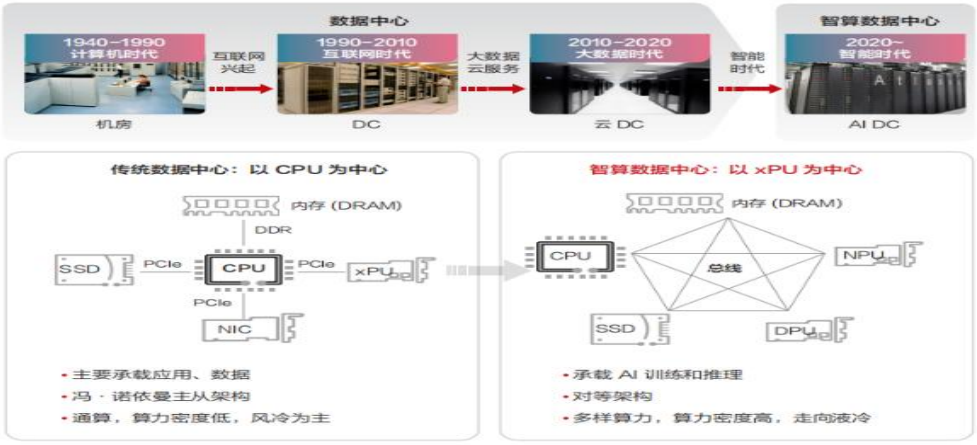
图 6：数据中心光模块应用场景



资料来源：中际旭创港股招股书，财达研究

AI 算力网络对光模块的性能要求较传统数据中心全面提升，主要体现在以下方面：①传输速率，AI 训练和推理涉及大规模参数同步，对光模块的单通道速率和总带宽提出更高要求；②信号质量，算力集群跨机架、跨机房连接增加，光模块需在高速传输下保持低损耗、低误码率和强抗干扰能力；③集成度，算力机房设备密度持续提升，空间资源紧张，光模块需在有限空间内实现更高端口密度，缩小单模块体积；④功耗与可靠性，大规模集群长期高负荷运行，要求光模块具备更优的能效比和更稳定的工作寿命。

图 7：数据中心走向智算数据中心 AI DC



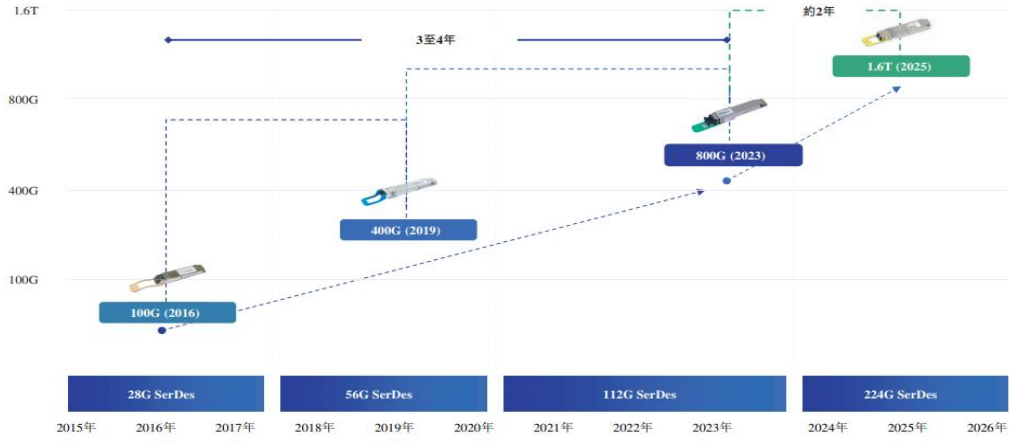
资料来源：华为《AI DC 白皮书》，财达研究

速率升级：从 400G 到 1.6T 的跨越式演进

光模块速率迭代周期缩短，400G/800G/1.6T 呈现接力放量格局。新一代计算芯片平台通常需要升级网卡、交换机芯片和光互连，驱动光模块迭代周期不断加快；过往 100G 到 400G、400G 到 800G 光模块量产的时间间隔均为 3-4 年，800G 到 1.6T 的时间间隔已缩短至约 2 年。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 8：光模块迭代周期不断加快

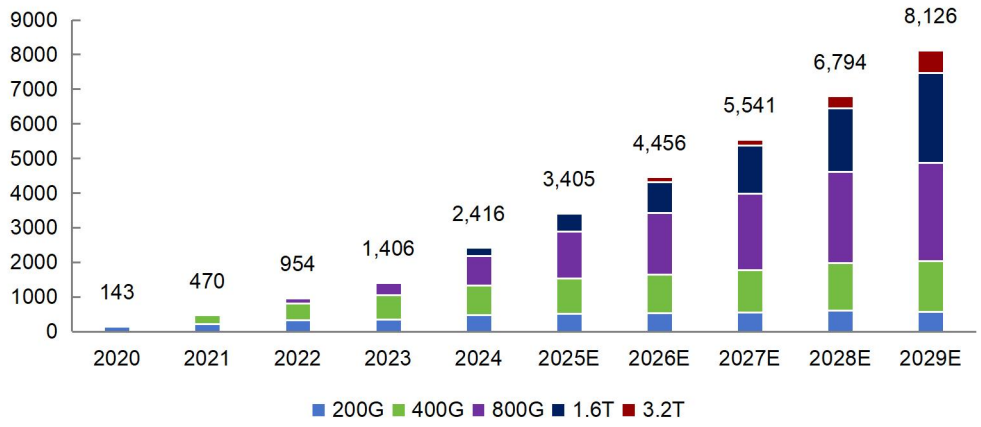


资料来源：中际旭创港股招股书，财达研究

（1）400G/800G：当前市场主力，800G 进入放量高峰期

400G 光模块曾是初代 AI 算力集群的标配，随着英伟达 H100/B200 系列 GPU 的大规模部署，数据中心内部互联带宽需求跃升，推动 800G 光模块需求在 2025 年进入爆发期，从产业化节奏看，行业当前处于 800G 向 1.6T 迭代过渡阶段。LightCounting 数据显示，2025 年全球 800G 光模块出货量预计达 1800 万至 1990 万只，同比实现翻倍增长。当前，800G 产品已进入规模化交付阶段，成为数据中心光互联的主力速率。

图 9：800G 光模块在 2025 年迎来需求放量高峰（单位：万只）



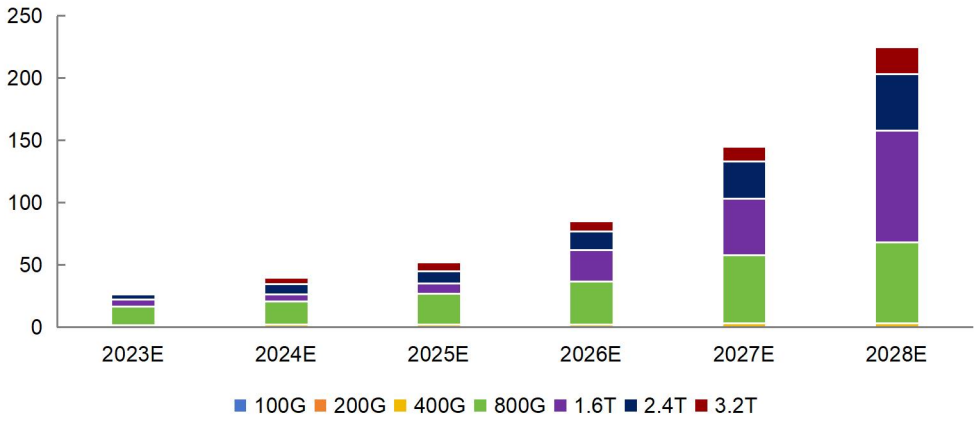
资料来源：LightCounting，财达研究

（2）1.6T：头部厂商实现量产突破，2026 年进入快速放量期

1.6T 光模块是单通道 200G 时代的标志性产品。2025 年，主要光模块厂商在 1.6T 领域取得关键进展：中际旭创 1.6T 产品通过重点客户验证并进入量产阶段；新易盛于 2025 年 11 月披露已实现规模化量产；Coherent 在 2025 财年第四季度亦实现 1.6T 产品交付并开始贡献收入。从出货节奏看，Nomura 预计，2026 年全球数据中心 1.6T 光模块出货量约为 2510 万只，2027－2028 年将进入高速爬坡期，逐步接替 800G 成为新一代主流速率。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 10：全球数据中心各速率光模块出货量预测（单位：百万只）



资料来源：Nomura Research，财达研究

（3）3.2T 及以上：研发与标准推进阶段，瞄准下一代超高速互联

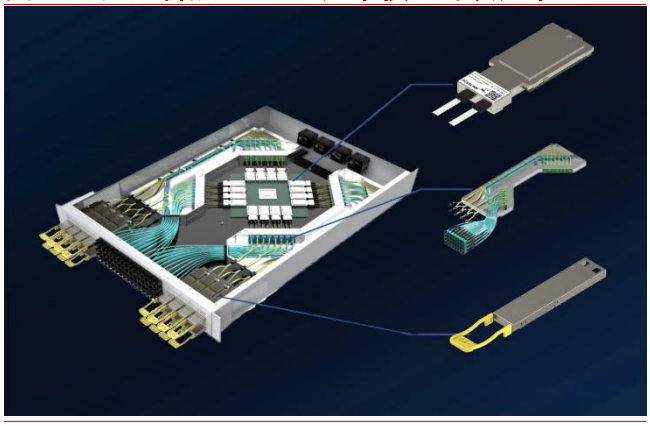
3.2T 光模块尚处核心技术突破与标准收敛阶段，EML、硅光与薄膜铌酸锂三条技术路线并行。从量产进度看，根据华工科技披露，其 3.2TNPO 产品已有在手订单，预计 2026 年年内实现批量交付；光迅科技在 OFC 2026 推出全球首款 3.2T 硅光单模 NPO 模块，并已在头部云厂商完成全系统验证；中际旭创 3.2T 方案成熟预计要到 2028 年。应用侧，阿里巴巴 3.2T NPO 已完成 Beta 版本测试，预计 2026 年三季度试点落地；腾讯云计划四季度启动试点部署；华为发起国内首个 NPO 光互连多源协议。从单通道速率看，3.2T 的实现有赖于 200G/通道向 400G/通道的跃升，预计 2027－2028 年前后相关技术逐步成熟。LightCounting 预测，2028 年 3.2T 光模块市场规模有望达到 13.96 亿美元，至 2031 年或将提升至 240 亿美元，成为百万卡级 GPU 集群互联的关键支撑。

图 11：华工科技 3.2T 近封装光学方案



资料来源：华工正源公众号，财达研究

图 12：光迅科技 3.2T 硅光单模近封装方案



资料来源：光迅科技公众号，财达研究

技术演进：芯片设计和封装架构迭代并行推进

面对日益升级的传输需求，光模块的技术演进正从多个层面同时展开。在封装架构层面，从可插拔 LPO 到共封装 CPO 和芯片内嵌 OIO，

下载日志已记录，仅供内部参考

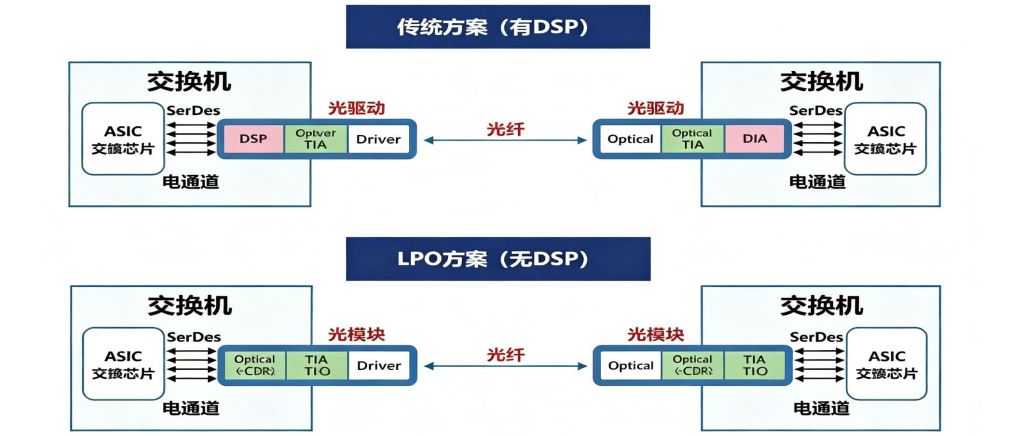
核心思路是缩短信号路径、降低功耗与延迟；在底层材料与制造工艺层面，硅光技术用 CMOS 兼容工艺替代传统的 III-V 族分立器件工艺，将价值重心从封装环节前移至芯片设计与制造环节。此外，行业内亦在探索薄膜铌酸锂、量子点激光器等新型材料与异质集成方案，共同构成多元化的技术储备。

1.2.2.1 封装架构迭代：可插拔仍为主流，CPO 进入量产导入期

①可插拔 LPO：已规模量产，当前主流补充方案

传统光模块方案依赖 DSP，发射端对信号进行预补偿与重定时，接收端执行时钟恢复、色散补偿与均衡判决以高精度还原数据，但导致较高功耗与传输延迟。LPO 线性驱动技术舍弃 DSP，改用线性度与均衡性能出众的跨阻放大器、驱动芯片完成信号处理，省去信号复原环节，有效削减运算损耗，显著缩短传输时延。中际旭创、新易盛等厂商已实现 LPO 系列产品送样、认证及销售。

图 13：传统方案和 LPO 方案对比图



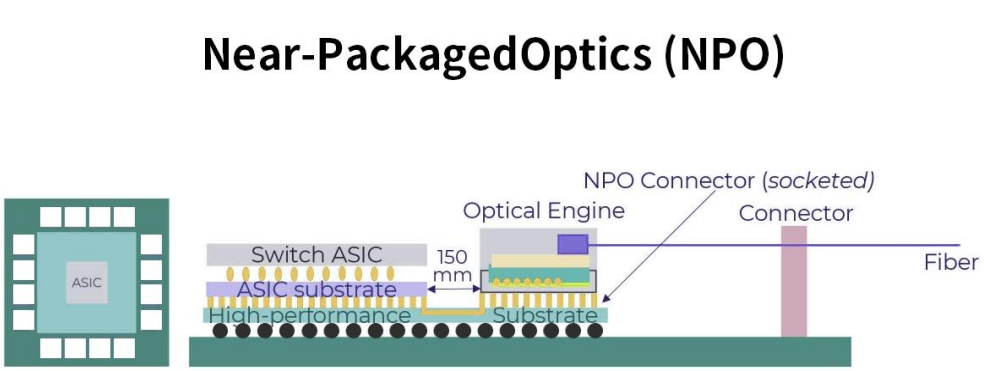
资料来源：中兴光电子技术有限公司，今日光电，财达研究

②近封装 NPO：过渡方案，进入商用部署阶段

NPO 为近封装光学技术，是折衷于传统可插拔与 CPO 之间的架构。它将光引擎从交换机前面板移至交换芯片附近，缩短高速电信号路径，显著降低信号损耗与功耗。相比传统方案，NPO 保留可插拔性与维护便利性，兼容成熟供应链，无需彻底改造工艺。目前，NPO 作为 AI 数据中心高密度互联的关键过渡方案，已进入规模化部署阶段，旨在以更低成本功耗满足算力集群带宽密度需求。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 14：NPO 方案示意图



资料来源：逍遥设计自动化，财达研究

③共封装 CPO：scale-out 量产启动，批量部署在即

CPO（光电共封装）技术将光引擎与 GPU、交换 ASIC 等算力芯片集成封装至同一基板，取消独立插拔式外壳，将光引擎从交换机前面板移至芯片附近，以光信号替代电信号传输，大幅压缩信号路径，减少损耗与衰减。凭借高密度集成优势，CPO 可提升数据交换效率与整机能效。2026 年 8 月，英伟达宣布其 Spectrum-X CPO 以太网交换机系统（Spectrum-X Ethernet Photonics）已进入全面量产阶段，实现激光器数量减少 4 倍、功耗降低 5 倍、平均故障间隔时间提升 10 倍。

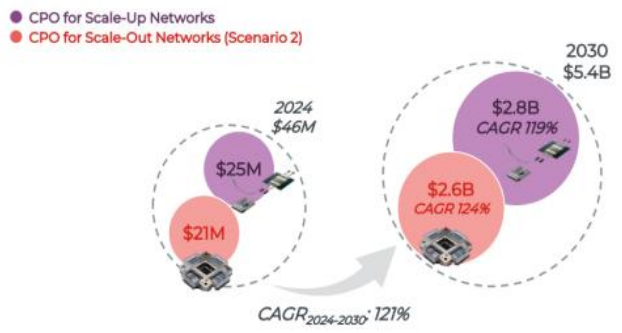
图 15：英伟达宣布其 CPO 交换机系统已进入全面量产阶段



资料来源：Nvidia，财达研究

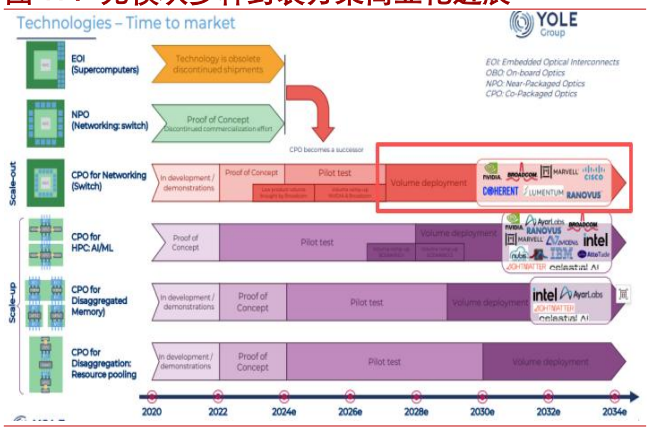
下载日志已记录，仅供内部参考

图 16：CPO 方案市场收入年复合增长率



资料来源：Yole，财达研究

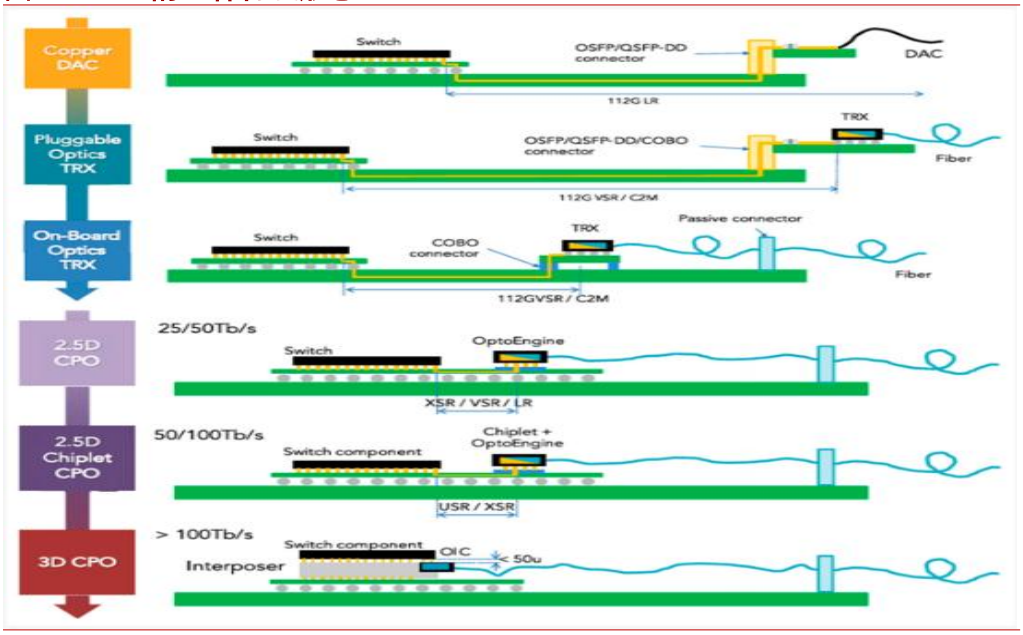
图 17：光模块多种封装方案商业化进展



资料来源：Yole，财达研究

按物理结构分类，CPO 主要有三种技术形态：2D 平面 CPO、2.5D CPO 和 3D CPO。其中 2D 方案工艺成熟但性能提升空间有限，3D 方案性能最优但封装挑战最大，2.5D 方案在性能与工艺复杂度之间取得较好平衡，是目前产业化的主要方向。先进封装工艺（TSV、凸点 Bumping 等）是限制 CPO 大规模量产的关键环节，对传统光模块封装厂商提出全新能力要求。

图 18：CPO 的三种物理形态



资料来源：《Progress in Research on Co-Packaged Optics》，财达研究

表 1：CPO 的三种技术路线对比

对比维度	2D 平面 CPO	2.5D CPO	3D CPO
光（PIC）电（EIC）互连方式	PIC 与 EIC 并排放置在同一基板或 PCB 上，通过引线或基板布线实现互连	PIC 与 EIC 均倒装于中介层上，中介层再与下方基板相连	PIC 与 EIC 垂直互连堆叠
互连距离	较长	较短	最短
集成密度	较低	较高	最高

下载日志已记录，仅供内部参考

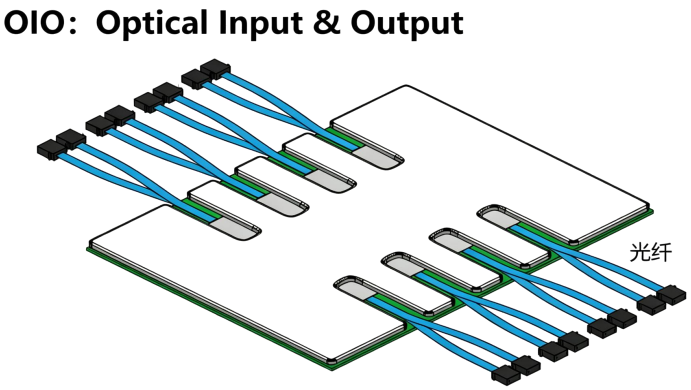
高频性能	一般	较好	最佳
功耗	较高	较低	最低
主要技术路线	引线键合 CPO、倒装 CPO、扇出型晶圆级封装 CPO	硅转接板 CPO、玻璃转接板 CPO、嵌入式多芯片互连桥接 CPO	硅穿孔（TSV）、凸点（Bumping）和重布线（RDL）等先进封装技术

资料来源：中兴光电子技术有限公司，今日光电，财达研究

④全光互联 OIO：研发预研阶段

OIO 即光输入输出技术，作为芯片级全光互联方案，也是光通信器件长期演进的终极形态，属于 CPO 技术的升级版本。该方案直接将光引擎内嵌于 CPU、GPU 及内存芯片封装内部，用光传输线路替换原有铜质电路，实现芯片之间、芯片与存储单元的全光数据互通。CPO 与 OIO 同属光电集成封装范畴，前者光电芯片搭配交换芯片组合使用，后者可直接对接各类算力芯片，省去中间光芯片中转环节。目前，OIO 尚处于核心技术突破与产业合作验证阶段。

图 19：OIO 工艺原理



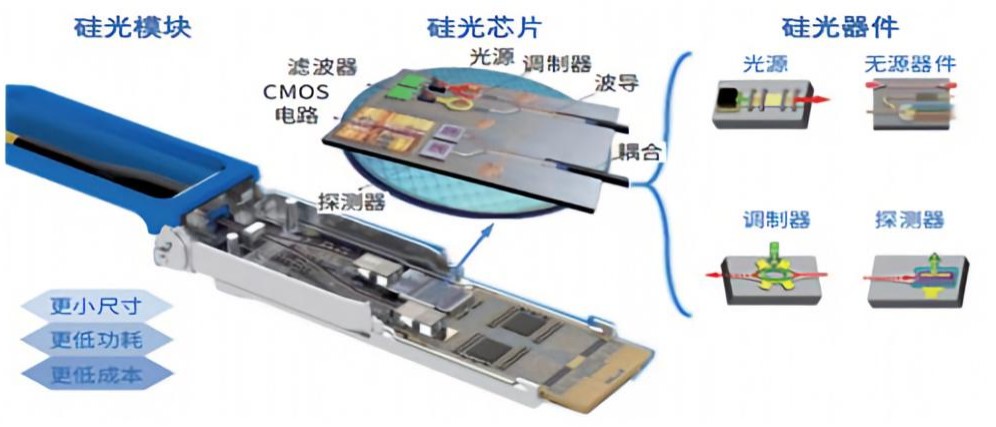
资料来源：通信大讲堂，财达研究

（2）硅光技术：产业变革逻辑重构

硅光技术基于硅和硅基衬底材料，利用 CMOS 工艺在单晶圆上实现光波导、调制器、探测器等光学元件的单片集成，核心理念是以光代电，即用激光束替代电子信号传输数据。但硅是间接带隙半导体，发光效率极低，激光器需作为独立光源引入。硅光模块工作原理一般为：发射端，光源产生连续光，通过波导传输至调制器，电信号经驱动芯片传输至调制器，将电信号加载到连续光上，完成电→光转换，携信号的光经波导传输至输出端耦合进光纤；接收端，光纤传入的光信号经波导传输至探测器，将光信号转换为电信号，经电芯片放大处理后输出。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 20：硅光模块结构



资料来源：Intel，财达研究

与传统 III-V 族（磷化铟、砷化镓）分立器件方案相比，硅光技术的核心优势在于：①CMOS 工艺兼容性，可直接复用全球成熟的硅基芯片制造基础设施，摆脱对专用化合物半导体产线的依赖；②高密度集成能力，单芯片可集成数十个光学元件，大幅缩减光模块体积与制造成本；③规模化优势，借助晶圆级制造摊薄单颗芯片成本，边际成本随产量增加而递减。

表 2：传统光模块和硅光模块对比

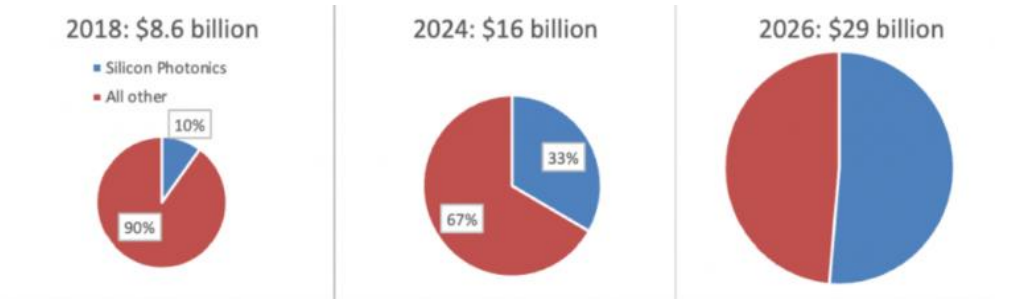
特性	传统光模块	硅光模块
核心材料	磷化铟、砷化镓等	硅/硅基衬底
集成度	分立元件集成	单片光电集成
制造工艺	光学对准、手工较多	CMOS 兼容，自动化程度高
成本趋势	随速率提升，成本优化难	规模化后成本下降潜力大
优势	技术成熟，性能稳定	高密度，低功耗，易扩展

资料来源：易天光通信，财达研究

市场渗透方面，据 LightCounting 数据，基于硅光调制器的光模块销售占比已从 2018 年的 10%提升至 2024 年的 33%，预计 2026 年将首次超过 50%。市场规模方面，根据 Yole 于 2024 年发布的数据，全球硅光模块市场规模预计将由 2023 年 14 亿美元扩张至 2029 年的约 103 亿美元，年复合年增长率（CAGR5）达 45%。从应用结构看，市场由两大场景主导：一是数据中心可插拔光模块，收入将从 2023 年的约 6.08 亿美元增至 2029 年的约 53 亿美元；二是电信波分复用场景，收入将从约 7.24 亿美元增至约 46 亿美元。NPO/CPO、数据中心光 I/O 及其他新兴方向目前基数较小，但有望随技术的不断成熟成为后续增量的重要来源。

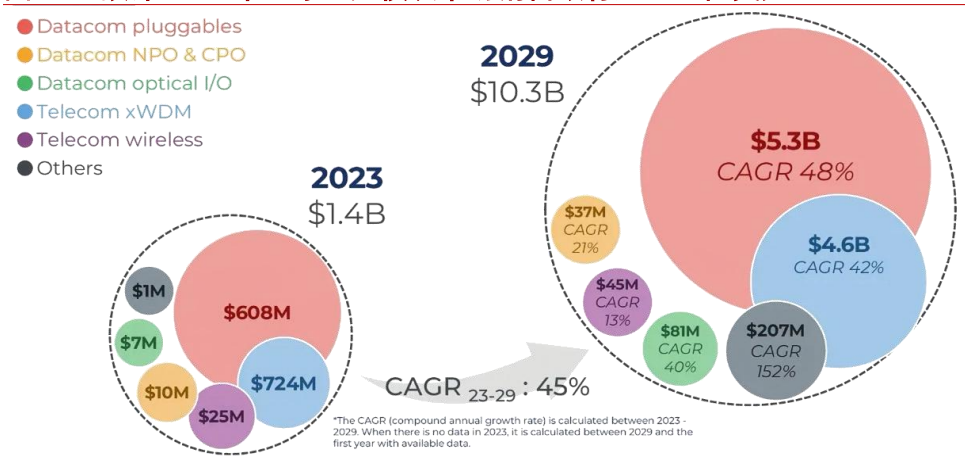
下载日志已记录，仅供内部参考

图 21：硅光模块在全球光模块市场规模中的占比



资料来源：LightCounting，财达研究

图 22：预计 2029 年全球硅光模块市场销售额将达 103 亿美元



资料来源：Yole，财达研究

光模块封测工艺与核心设备

光模块封装测试的核心工艺及高价值量环节

光模块的制备是将光芯片、电芯片等核心组件通过贴片、引线键合、光学耦合、封装、老化测试等工艺形成功能性模块的过程。其中，光学耦合技术难度最高，是决定模块性能的核心瓶颈；贴片与测试环节对精度和可靠性要求严苛，构成高壁垒领域。核心设备包括光学耦合机、高精度贴片机（固晶/共晶机）、采样示波器、误码分析仪、老化测试系统等。

下载日志已记录，仅供内部参考

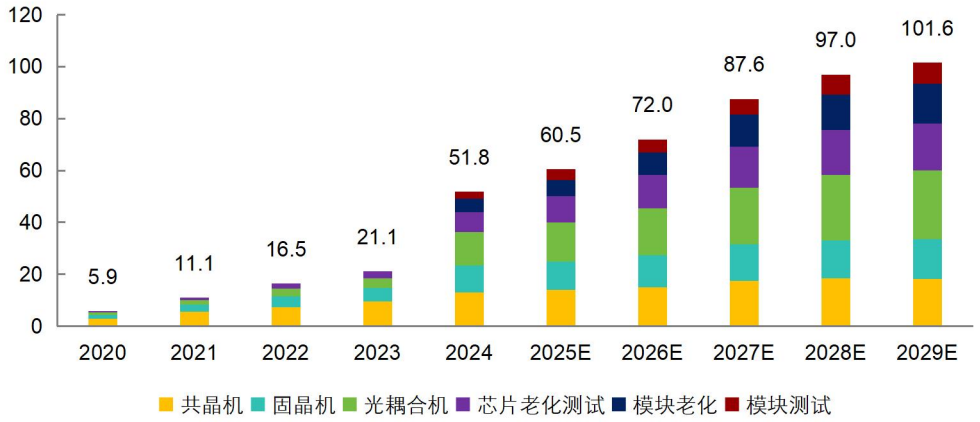
图 23：光模块制造核心工序及关键设备

	工艺简介	关键设备
贴片	将光芯片、电芯片高精度贴装至基板（COB/COU结构），实现光耦合占位精度控制	晶圆贴片机、共晶贴片机
引线键合	用金属引线（金线）实现芯片与电路板之间的电气互连，形成可靠电气通路	金线键合机
光学耦合	将激光器芯片发出的光信号低损耗、高效率地耦合进光纤，是决定光模块性能的核心环节	全自动光学耦合平台、高精度六轴微调平台、UV固化机
封装	通过外壳对内部光路与芯片进行保护，固定密封、隔绝环境干扰	平行封焊机、激光封焊机、点胶机
老化测试	模拟极端环境对模块进行可靠性筛选，通过温度、驱动测试等验证电性能	老化测试系统、采样示波器、误码分析仪

资料来源：光模块制造核心工序及关键设备，财达研究

光模块封测设备的价值量主要集中在老化测试、光学耦合和贴片三大环节。 根据 Frost&Sullivan 数据，芯片老化测试设备是光模块封测设备中价值占比最高的设备，2024 年其全球市场规模为 16.3 亿人民币，占高端光模块封测设备总市场的 31.4%。全球光耦合机市场规模在 2024 年达到 12.1 亿人民币，预计 2029 年全球市场规模为 22.7 亿元人民币。固晶贴片机、共晶机、光耦合机单价相对较高，其中固晶贴片机 2024 年全球市场规模占比约为 18.9%。

图 24：全球光模块封测设备市场规模（亿元）



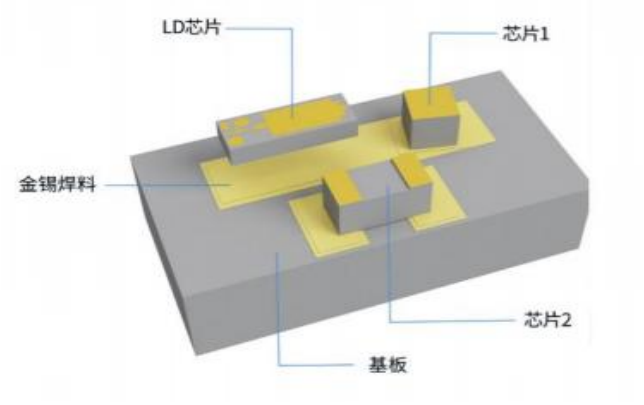
资料来源：Frost&Sullivan，财达研究

贴片：高精度要求的核心工艺

贴片是将光芯片、电芯片等元器件高精度贴装至基板（PCB 或陶瓷基板）的首道工序，其核心设备为固晶贴片机与共晶贴片机。根据工艺差异，贴片工艺可分为共晶和固晶两类：共晶贴片利用低熔点合金（如 AuSn 焊料）在高温加压下实现芯片与基板的冶金结合，适用于激光器等高散热、高可靠性场景；固晶贴片采用导电银胶进行粘接，效率高、适用范围广，适用于电芯片、探测器等大批量常规场景。

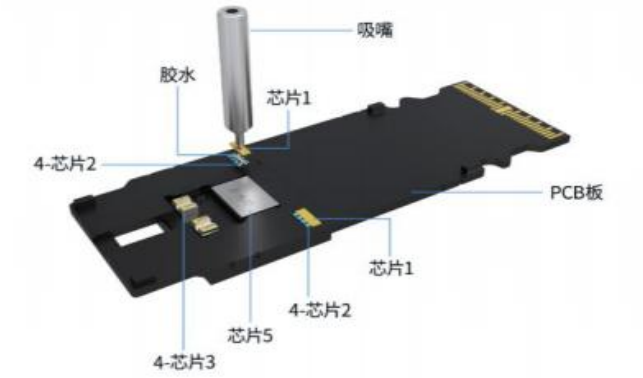
下载日志已记录，仅供内部参考

图 25：多芯片共晶贴片工艺



资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

图 26：多芯片固晶（导电胶）工艺



资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

表 3：光模块贴片工艺对比

对比维度	共晶贴片	固晶贴片
连接材料	低熔点合金	导电银胶
工艺原理	焊料熔化后与芯片/基板形成冶金结合	胶水粘接，加热固化
加热温度	较高（约 280-350℃）	较低（约 150-200℃）
工艺复杂度	复杂，需精准温控和压力控制	相对简单
适用场景	激光器芯片、功率器件等高散热、高可靠性需求	电芯片、探测器等大批量、常规场景
核心优势	连接强度高、导热性好、可靠性高	效率高、成本低、适用范围广

资料来源：基于博众半导体公众号整理，财达研究

贴片设备的核心竞争力体现在精度、工艺兼容性及升降温速率三方面。精度是保障光模块尺寸与良率的基础，限于光模块 PCB 尺寸，800G 和 1.6T 光模块内部光芯片的贴片精度需控制在±3μm，以为后续耦合工艺预留足够对准公差。工艺兼容性要求设备能适配固晶、共晶、多芯片贴装及倒装等多种工艺。升降温速率直接影响共晶焊接的效率与质量控制，速率越高则焊接一致性越好。

表 4：贴片设备的核心竞争力在精度、工艺兼容性及升降温速率三方面

指标类别	指标名称	指标含义	评价方法
精度	设备精度 XY（@3σ）	设备在 X 轴（水平方向）和 Y 轴（垂直方向）上的定位精度，其误差范围通过统计学中的 3σ原则进行限定；3σ是统计学中的三西格玛（Three-Sigma）规则，表示该技术在 99.73%的置信水平下的精度误差情况；设备精度代表贴片设备自身的制造精度，加工精度代表贴片机装贴不同芯片产品所能实现的精度	在产品需求的精度范围内，精度误差越小越好。高精度可减少返修率，提升良品率
	加工精度 XY（@3σ）		
	芯片旋转	是指在光模块制造过程中，贴片机将芯片（如激光器、探测器等）放置到基板（PCB 或陶瓷基板）上时，芯	偏差角度越小精度越高

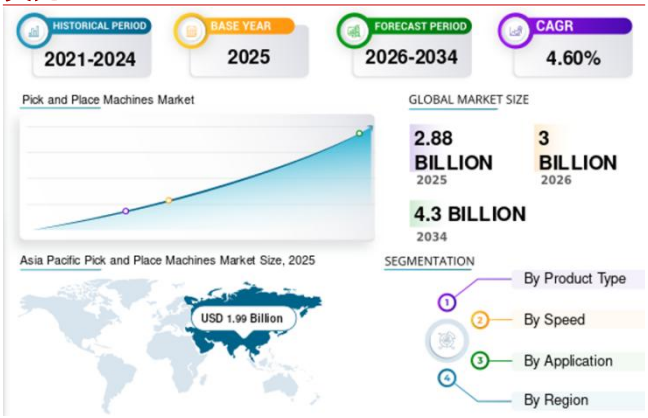
下载日志已记录，仅供内部参考

		片实际方向与理论设计方向的偏差角度；芯片旋转误差超过一定幅度，可能导致焊接短路或信号传输失败	
工艺及兼容性	贴片工艺	贴片工艺主要是指在光模块封测过程中，将光电器件如激光器驱动芯片、激光器芯片、探测器芯片等各类光电芯片通过共晶焊或导电胶精确地固定在载体上	可支持的贴片工艺类型越多，产品的兼容性越强，共晶、Flip Chip、多芯片贴装对设备技术要求更高
	焊台升温速率	共晶焊接过程中，设备从室温升至工作温度的速度以及从工作温度降至室温的速度	升降温速率越高，焊接效率和质量控制越好

资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

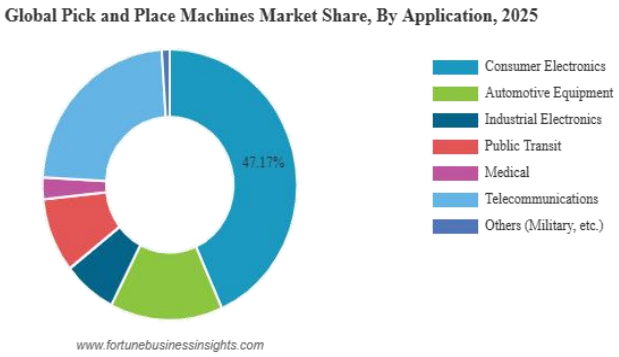
根据 Fortune Business Insights 数据，2025 年，全球贴片机市场规模为 28.8 亿美元。预计该市场将从 2026 年的 30 亿美元增长到 2034 年的 43 亿美元，预测期内复合年增长率为 4.60%。在贴片机应用市场中，电信领域是重要的增长极之一。除 5G 基站、高速路由器整机 PCB 组装带来的常规 SMT 设备需求外，高速光模块封装测试所需的高精度固晶、共晶贴片机，是电信领域贴片机市场增速较快的细分板块。据报告预测，全球电信应用领域贴片机市场在 2026—2034 年间的复合年增长率约为 2.74%。受益于光模块、光器件等细分赛道的扩产需求，该细分领域仍具备结构性增长机会。

图 27：2026 年全球贴片机市场规模预计 30 亿美元



资料来源：Fortune Business Insights，财达研究

图 28：2025 年全球贴片机市场份额按应用分类

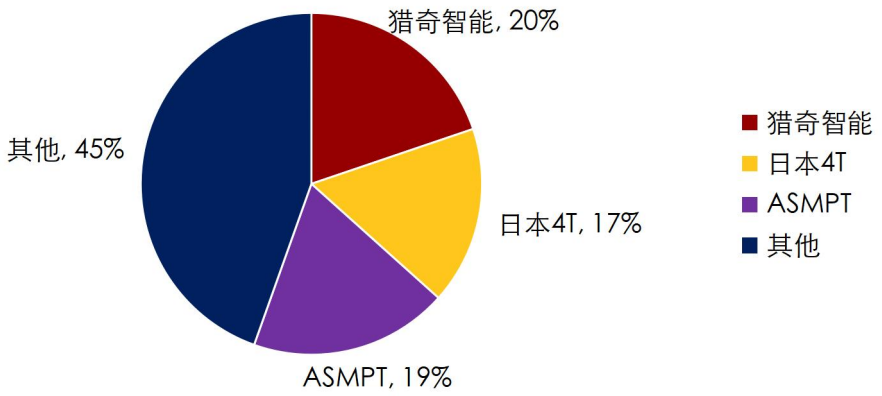


资料来源：Fortune Business Insights，财达研究

从竞争格局看，根据 Frost&Sullivan 数据，2025 年全球光模块贴片设备市场中，猎奇智能以 20%的市占率位列世界第一，ASMPT 占比 19%位列第二，日本 4T 占比达 17%。未来随着国产化替代的推进，海外厂商市场份额将有望逐年降低。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 29：全球光模块贴片设备市场份额



资料来源：Frost&Sullivan，财达研究

键合：实现芯片与外部电路的电气互连

键合是完成光/电芯片与外围电路电气互连的封装工艺，其选型直接决定了模块的高频性能、可靠性与集成密度。在传输速率迈向 800G/1.6T 及 CPO 架构兴起的背景下，键合技术正经历从传统引线键合，到高精度倒装芯片键合，再到面向 3D 集成的混合键合的持续演进。与此同时，以硅通孔（TSV） 和玻璃通孔（TGV） 为代表的垂直互连结构，作为信号层间穿行的物理通道，与键合工艺协同构成先进光模块的三维互连体系，支撑光模块在更小空间内实现更低寄生参数、更高密度和更高可靠性的电气连接。

引线键合：传统封装领域的性价比之王

引线键合（Wire Bonding）是指芯片贴装完成后，用金属引线将芯片的压焊位连接在印制电路板的焊盘上，形成可靠的电气键合，俗称打线。根据能量形式差异，工艺分为热压键合、超声键合与热超声键合三类；按焊点形貌与工具不同，又可分为球焊与楔焊两种路线。

表 5：根据键合能量不同可分为热压键合法、超声键合法和热超声键合法

键合方法	热压键合法	超声键合法	热超声键合法
适用材料	Au，Cu	Au，Cu，Al	Au，Cu
键合温度	300~500℃	室温	100~150℃
键合压力	无	有	有
键合强度	中高	弱	高
优点	键合强度高；可在同一位置再次键合；工艺简单，无方向性问题	不要加热；对表面洁净度不十分敏感；金属间化合物等引发的合金劣化问题小	键合温度和压力较低；对表面洁净度不十分敏感；无方向性问题
缺点	对表面洁净度敏感；加热以及金属间化合物等可能引发合金劣化	对表面粗糙度敏感；有方向性问题；铝丝在加工过程中存在加工硬化	工艺控制比热压键合法复杂

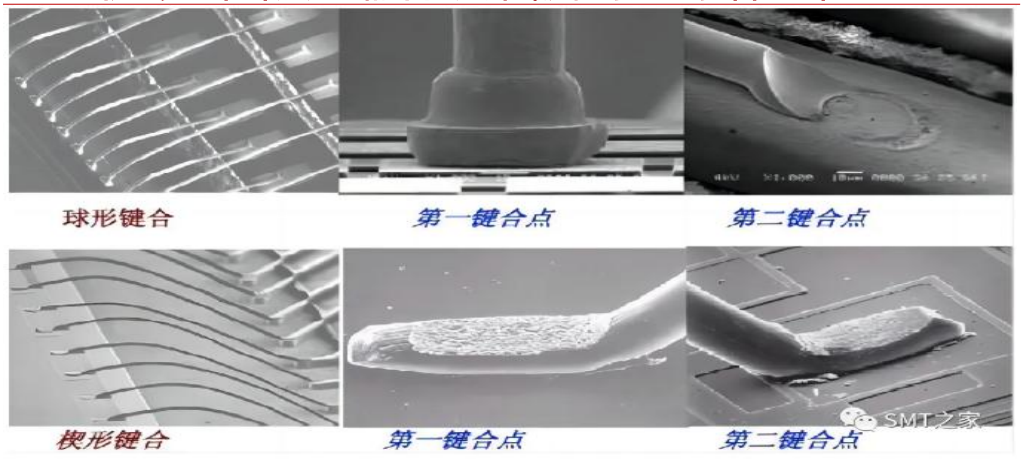
下载日志已记录，仅供内部参考

适用范围	金丝键合；单片式大规模集成电路（LSI、VLSI）	铝丝键合（一般添加硅等）；需要密封；铝丝在湿气中有劣化问题	芯片 LSI 的内部布线、连接等

资料来源：华经产业研究院，财达研究

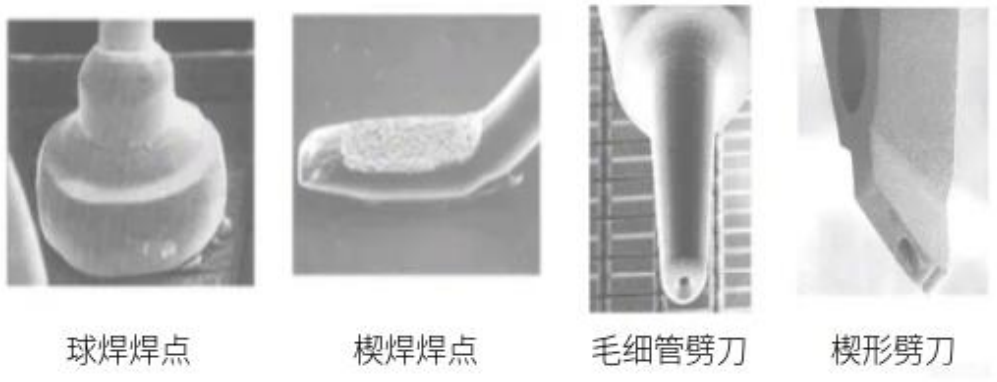
球焊以毛细管劈刀放电形成自由空气球（FAB）后压接形成第一焊点，随后牵引成弧完成第二焊点，速度快、通用性强；楔焊采用楔形劈刀直接压接，焊点呈方形，焊盘接触面积较小，适用于高频信号焊盘互连等场景。

图 30：根据劈刀和焊点形状的不同，引线键合可分为球焊和楔焊



资料来源：SMT 之家，财达研究

图 31：球焊和楔焊在焊点形状、劈刀类型上有显著差异



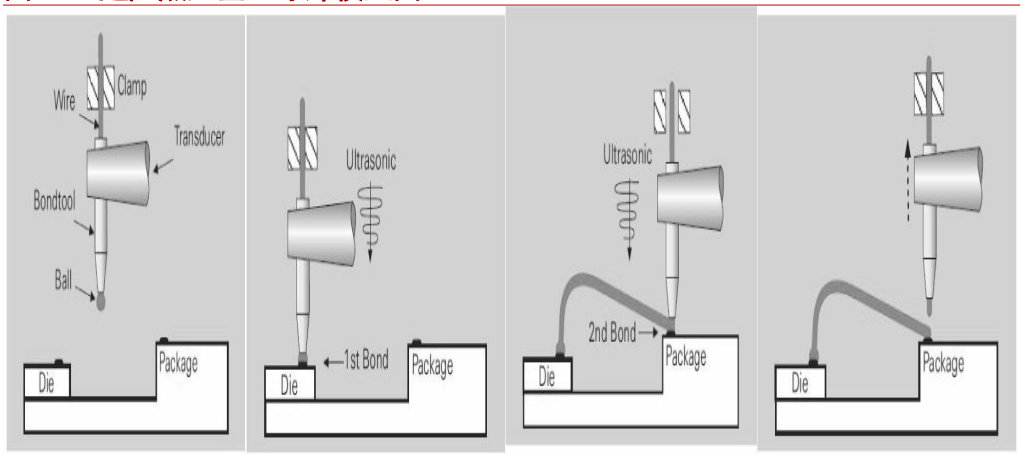
资料来源：光通信小黄人，财达研究

引线键合凭借工艺成熟和成本较低的优势，主要用于传统低速率光模块的电气互连，也可在高速光模块中承担直流偏置、监控信号等非核心低速链路的连接功能。金丝热超声球焊技术是当前应用较为广泛的引线键合工艺路径。金丝因其优异的延展性、导电性和可焊性，成为光器件内部引脚互连的主流材料，常用线径为 25μm，能够在高频信号传输中保持较好的信号完整性，同时可承受足够的拉断力。此外，光模块中的光电芯片表面普遍镀金，金丝与金焊盘之间形成金-金同质键合界面，可避免异质金属间化合物的生成。

下载日志已记录，仅供内部参考

在键合过程中，热超声工艺整合热量、压力与超声频率三种能量形式，金丝端部经电子打火熔融成球，劈刀在超声功率与压力作用下将金球压接至焊盘表面。金球发生塑性变形，超声频率的弹性振动摩擦作用破坏并去除界面氧化层，使纯净金属表面实现紧密接触，在温度场辅助下两种金属原子相互扩散，形成牢固的冶金键合。该过程温度相对较低且作用时间短，可有效抑制对光芯片的热应力冲击。

图 32：超声热压金丝球焊模型图

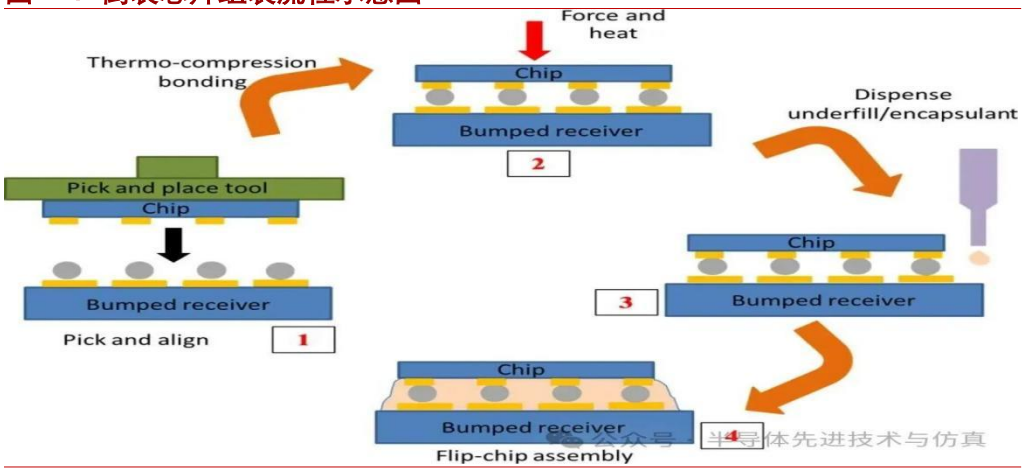


资料来源：《基于厚膜电路的金丝球焊键合工艺技术研究》，财达研究

倒装芯片键合：高性能光模块的主流互连方案

倒装芯片键合可有效解决金丝键合在高频下的寄生电感瓶颈。该方案由 IBM 于 20 世纪 60 年代率先研发，核心是将芯片有源面朝下，通过预先制备的凸点直接与基板焊盘连接。与引线键合仅能围绕芯片周边引线不同，倒装键合采用区域阵列式布线，凸点可分布于芯片整个表面，输入/输出（I/O）密度显著提升。

图 33：倒装芯片组装流程示意图



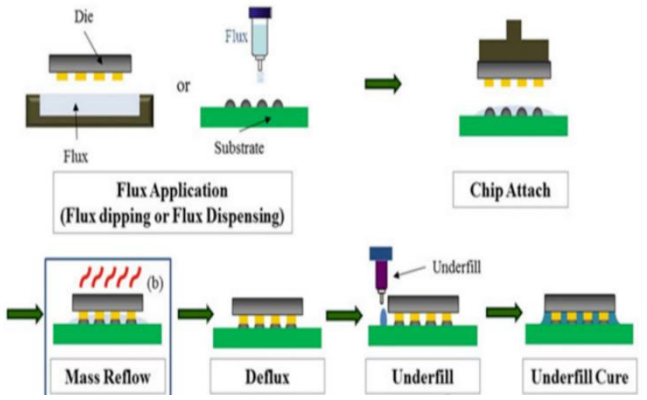
资料来源：半导体先进技术与仿真，财达研究

倒装芯片键合的键合方式主要包括批量回流焊（Mass Reflow）与热压键合（Thermal Compression Bonding，TCB）两种。批量回流焊是将贴装好的芯片与基板整体送入回流炉加热至焊料熔点以上，使凸点

下载日志已记录，仅供内部参考

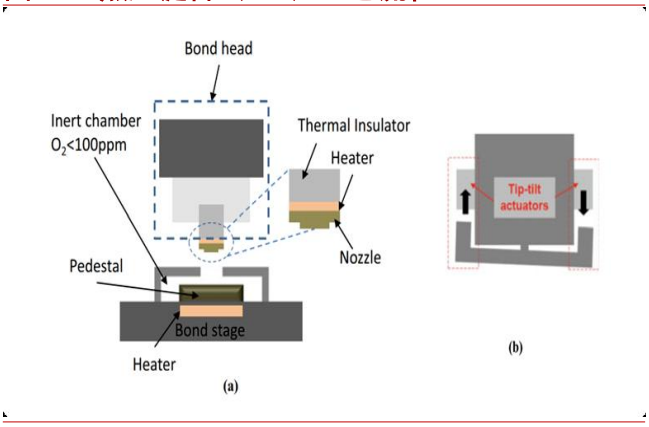
焊料熔融并与基板焊盘形成冶金连接，该方式适用于凸点间距 40-50um 的芯片，生产效率高，可达 10,000 颗/小时以上，但整体加热易致基板翘曲，且在细间距下熔融焊料易引发桥接短路。热压键合则通过加热键合头对芯片局部施加热量与压力完成键合，大幅降低热应力与翘曲风险，适用于凸点间距 10-40μm 的高密度互连场景，但设备复杂且产能较低，吞吐量通常约 1,000－3,000 颗/小时。

图 34：常见的回流焊芯片键合流程



资料来源：大米的老爹，财达研究

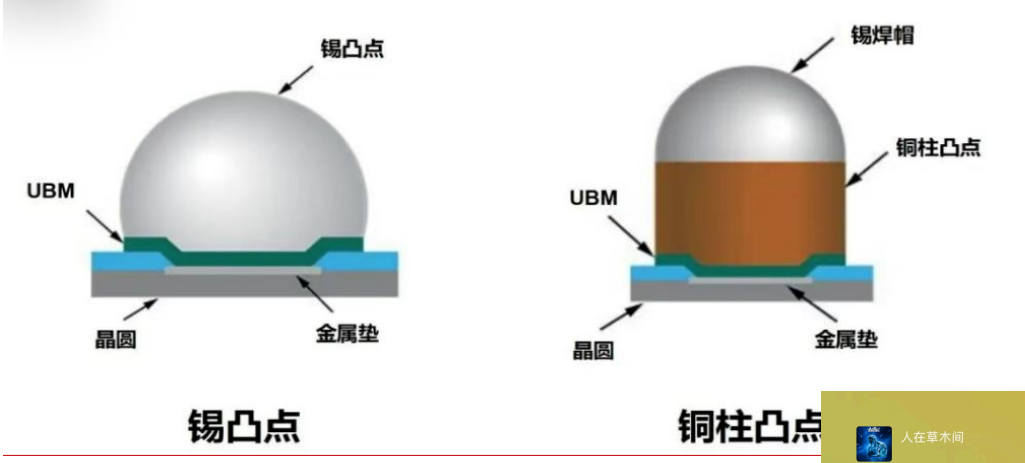
图 35：热压键合（TCB）工艺流程



资料来源：中国科学院半导体研究所，财达研究

倒装芯片键合所采用的互连凸点，已从传统 C4 焊料凸点（可控塌陷芯片连接，Controlled Collapse Chip Connection）向 C2 铜柱凸点（Cu-pillar bump）演进。而随着堆叠密度的进一步提升，铜柱正进一步微缩为铜微凸点（copper microbump），以满足 10μm 级间距的超细互连需求。后者凭借侧壁垂直、间距更细的优势，进一步提升了载流能力与互连密度。该技术在光模块封装中的主要挑战在于芯片与基板热膨胀系数差异导致的翘曲风险，以及细间距下焊料桥接对良率的影响。随着底部填充工艺的成熟应用，热应力得以有效缓冲，倒装键合已成为 800G/1.6T 高速光模块封装的核心互连技术。

图 36：锡凸点和铜柱凸点结构图



资料来源：SEMI 炉管设备攻城狮，财达研究

下载日志已记录，仅供内部参考

表 6：先进封装不同互连技术关键参数对比表

参数项（单位μm）	焊料凸块	铜柱凸块	微凸块	混合键合
凸块间距	>130	90 – 130	20 – 50	<10
凸块高度	>80	40 – 60	10 – 25	-0.015[1] – 0
直径	>100	45 – 65	10 – 25	<5
缺陷敏感度	>10	5 – 10	1 – 5	0.15 – 0.5
套刻/对准误差	>10	5 – 10	1 – 2	0.05 – 0.25
量测精度	5	2	1	0.001[2]

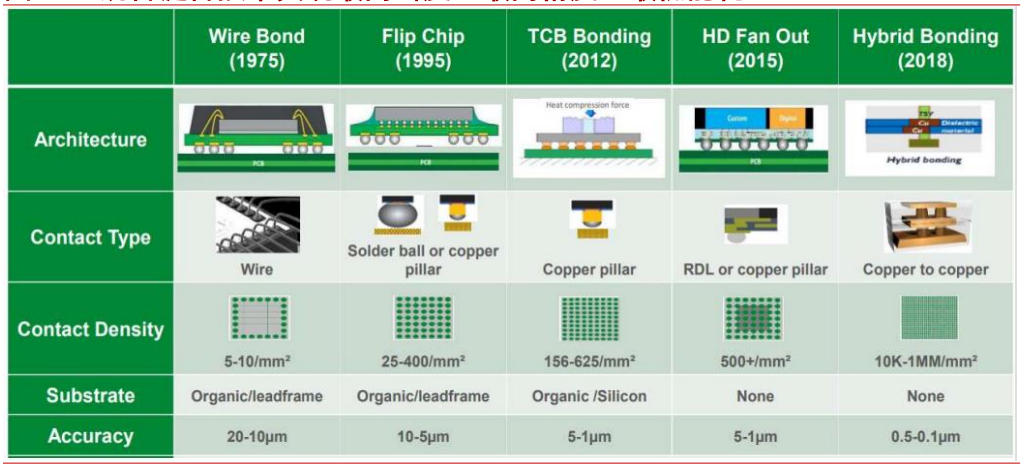
资料来源：半导体先进技术与仿真，财达研究

倒装芯片键合机是先进封装领域的通用设备，下游应用涵盖高性能计算（HPC）、高带宽内存（HBM）、汽车电子、消费电子、光通信等多个场景。据 GlobalInfoResearch 数据，2024 年全球倒装芯片键合机市场规模为 3.06 亿美元，预计 2031 年达 3.31 亿美元，CAGR 约 1.2%。其中，根据 Yole Group 统计，2025 年到 2030 年，TCB 细分市场在 HBM 堆栈、小芯片模块和高 I/O 衬底技术应用的驱动下，CAGR 将达到 11.6%。竞争格局方面，全球倒装芯片键合机的主要厂商包括 Besi、ASM Pacific Technology、Shibaura、Kulicke & Soffa 等，前四大制造商合计占据约 70%的市场份额。

混合键合：高密度垂直集成的技术支柱

混合键合（或称为直接键合）是一种先进的芯片互联技术，通过金属键合与介质键合的协同作用实现芯片间的高密度电气连接。据 Besi 数据，该技术互连间距小于 10μm，互连密度可达 10,000-1,000,000 /mm²，较微凸块倒装键合技术大幅提升；贴装精度达 0.5-0.1μm，每比特能耗低于 0.5pJ，从而实现更小更简单的电路、更大的带宽、更低的寄生电容和更低的功耗。

图 37：混合键合技术实现最高密度、最高精度、最低能耗



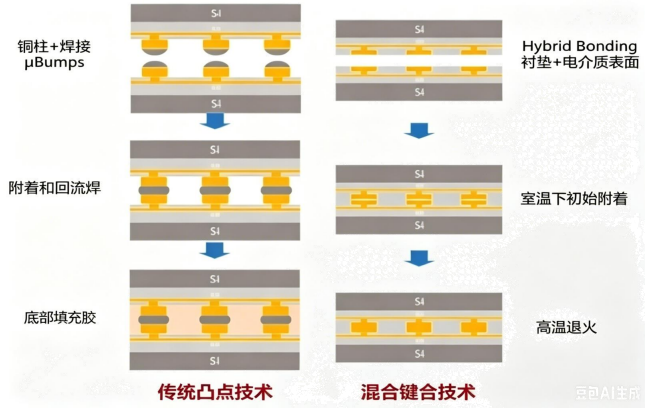
[1] 混合键合高度一栏的负值表示其互连形态为键合面无凸点凸起，处于同一平面或略微凹陷；量测精度的 0.001 反映了极高精度的纳米级测量要求。

[2] 同上

下载日志已记录，仅供内部参考

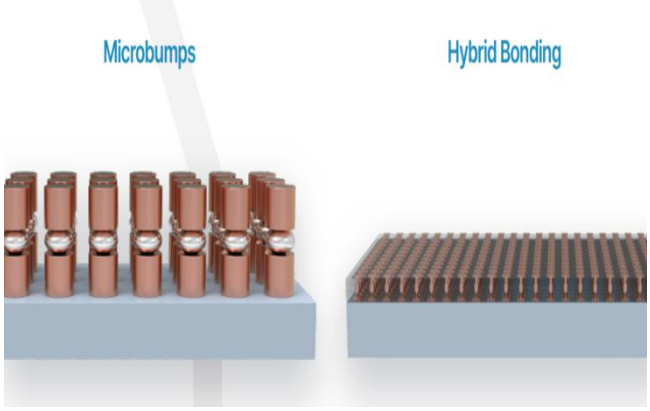
资料来源：Besi《Chip to Wafer Hybrid Bonding Development for High Volume Manufacturing》，财达研究

图 38：倒装键合和混合键合工艺比较



资料来源：资深半导体人，财达研究

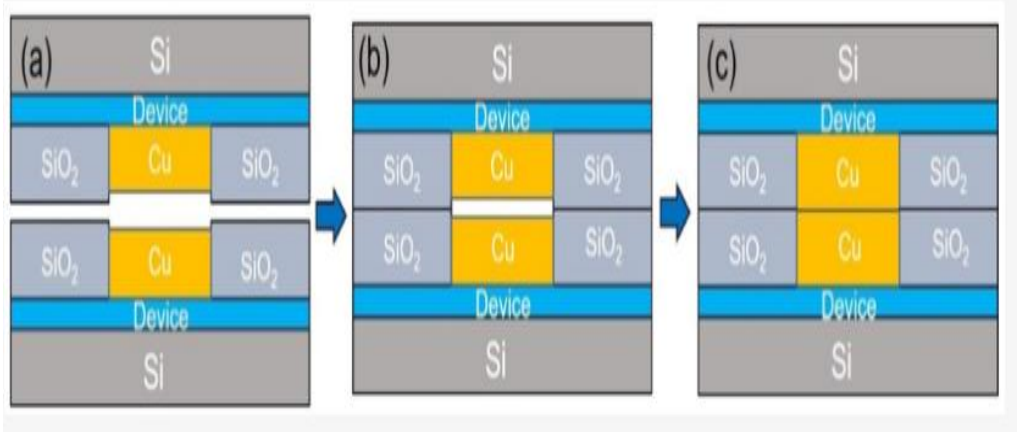
图 39：微凸点互连和混合键合的密度比较



资料来源:Metrology Challenges in Hybrid Bonding（2026），财达研究

典型的 Cu/SiO2 混合键合主要包括三个关键工艺步骤：（1）键合前预处理：晶圆需经过化学机械抛光/ 平坦化（CMP）和表面活化及清洗处理，实现平整洁净且亲水性表面；（2）两片晶圆预对准键合：两片晶圆键合前进行预对准，并在室温下紧密贴合后介质 SiO2 上的悬挂键在晶圆间实现桥连，形成 SiO2 -SiO2 间的熔融键合，此时，金属 Cu 触点间存在物理接触或凹陷缝隙（dishing），未实现完全的金属间键合；（3）键合后热退火处理：通过后续热退火处理促进了晶圆间介质 SiO2 反应和金属 Cu 的互扩散从而形成永久键合。混合键合的工艺难点主要在于光滑度、清洁度和对准精度。

图 40：典型的混合键合工艺流程



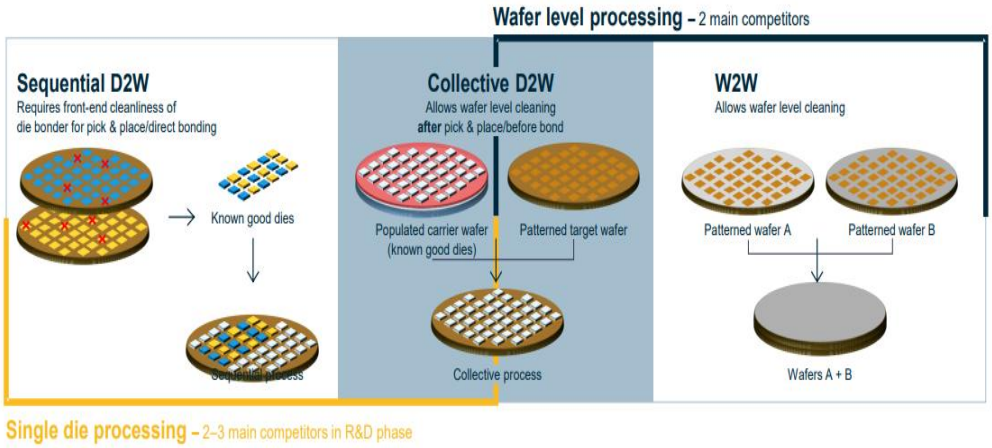
资料来源：《Low-Temperature Cu/SiO2 Hybrid Bonding with Low Contact Resistance Using （111）-Oriented Cu Surfaces》，财达研究

混合键合在应用层面分为晶圆到晶圆（W2W）和裸片到晶圆（D2W）两种路径。W2W 将两片晶圆直接键合后切割，具有吞吐量高、良率优良的优势，已在 CMOS 图像传感器、SRAM/处理器和 3D NAND 中量

下载日志已记录，仅供内部参考

产验证。D2W 则将切割后的裸片逐个贴装至目标晶圆，可集成不同尺寸、工艺节点的芯片，实现异构集成。D2W 进一步分为顺序式和集束式：顺序式逐颗拾取放置，灵活性高，但速度较慢、工艺步骤多；集束式先将裸片排布于临时载体，再整体键合，可在键合前进行晶圆级清洗与套刻精度校正，从而提高良率与对准补偿能力，但额外引入了临时键合与解键合步骤，增加工艺复杂度和潜在污染风险。在光模块领域，光子芯片与电芯片尺寸、功能各异，因此 D2W 混合键合工艺在光模块领域具有更直接的应用价值。

图 41：两种主要的混合键合工艺方案

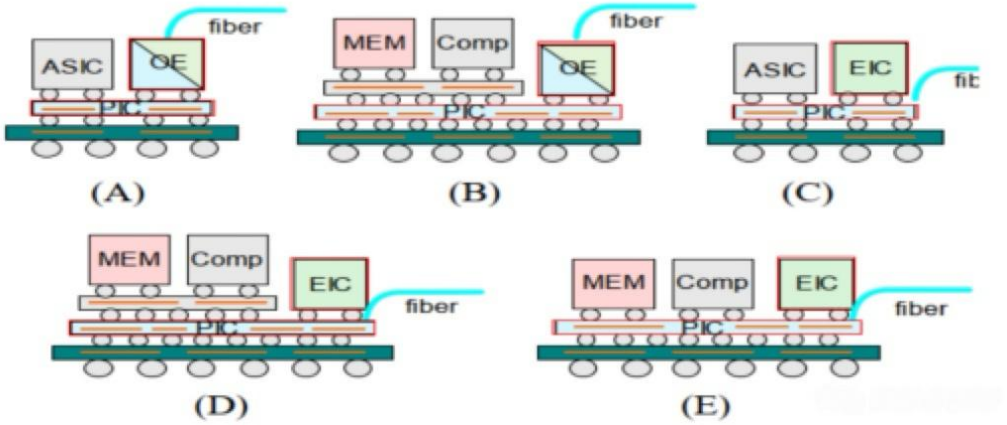


资料来源：SUSS MicroTec《Metrology for Hybrid Bonding》，财达研究

混合键合是实现下一代共封装光学的关键技术，在光模块领域的核心应用是实现光子芯片与电芯片的 3D 垂直互连。当单通道速率迈向 200Gbps 以上时，传统倒装焊的微凸点带来的寄生效应已成为高频瓶颈，混合键合通过无凸点的铜-铜直接键合，将互连间距压缩至 10μm 以下，芯片间垂直距离从数十微米缩短至数微米，可显著降低寄生电容与电感，台积电 COUPE 平台和 NVIDIA 3D 堆叠方案均采用此技术将电芯片直接堆叠于光芯片之上；此外，氧化物-氧化物介质键合还可用于实现无源光学元件与硅光芯片的无胶永久连接，例如将微透镜阵列直接键合于芯片表面，规避有机粘合剂老化和热膨胀导致的光路漂移。目前该技术在光模块领域仍处于研发导入阶段，尚未进入规模量产阶段。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 42：硅光 CPO 光电 3D 堆叠截面结构图

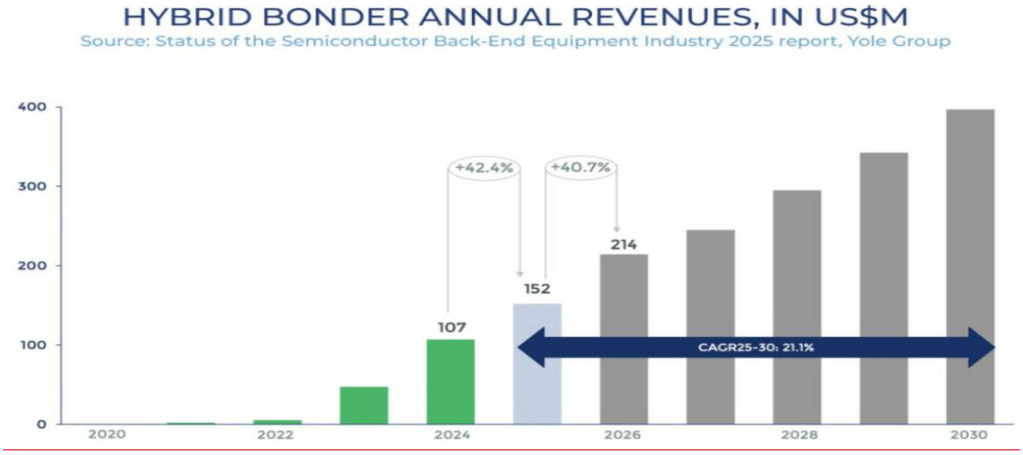


资料来源：光学小豆芽，财达研究

混合键合设备是先进封装领域增长最快的细分市场之一。据 Yole Group 数据，全球混合键合设备营收预计将从 2025 年的 1.52 亿美元增长至 2030 年的 3.97 亿美元，2025-2030 年复合年增长率（CAGR）高达 21.1%，增速显著高于后端设备行业整体（5.8%）。

全球领先厂商包括 EV Group、Besi、ASMPT、SUSS MicroTec、Applied Materials 和迈为股份，目前市场仍由海外龙头主导，整体国产化率处于低位。

图 43：全球混合键合设备营业收入变化



资料来源：Yole Group，财达研究

光电芯片键合设备市场：全局规模与国产化趋势

根据 QYResearch 数据，2025 年全球光电芯片键合设备市场规模大约为 2.00 亿美元，预计 2032 年将达到 3.59 亿美元，2026-2032 期间年复合增长率（CAGR）为 8.5%。在该市场中，Besi、ASMPT、EV Group 等国外厂商以及迈为股份、拓荆科技、猎奇智能等国产厂商为主要厂商。随着 800G/1.6T 高速光模块需求放量及 CPO 封装技术逐步落地，对高精度键合设备的需求将持续提升，国产替代进程有望加速，为本土设备厂商带来结构性增长机会。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 44：全球光电芯片键合设备市场规模

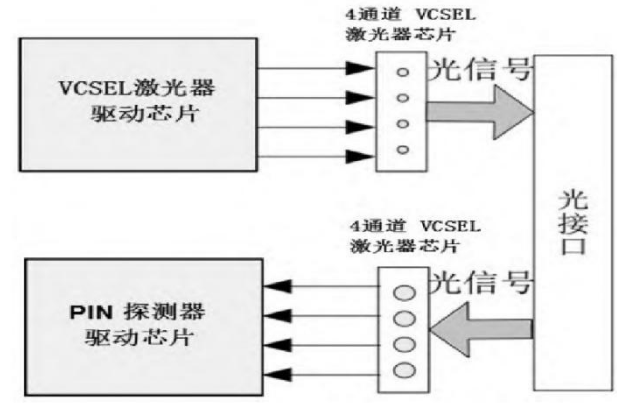


资料来源：QYResearch，财达研究

耦合是光模块封装中工时最长、最容易产生不良品的步骤

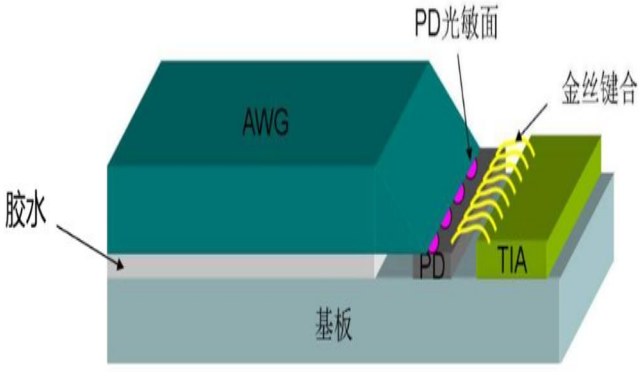
耦合是光模块封装中，将光芯片（激光器/探测器）与光纤或光波导之间的光路进行多自由度精密对准并固定，以实现光信号在光链路中高效、低损、高质量传输的核心工序。这一过程同时存在于发射端与接收端：发射端需将激光器发出的光，经内部光路后最大限度地耦合进输出光纤；接收端则需将输入光纤传来的光，经内部光路后精准照射到探测器光敏面上。耦合是光模块封装中耗时最长、最容易产生不良品的步骤，直接决定光模块的发射功率、信号质量与最终良率。

图 45：4 路高速光模块基本构成图示例



资料来源：《高速光模块多通道光学耦合对准技术研究》，财达研究

图 46：阵列波导光栅接收光组件的耦合示意图

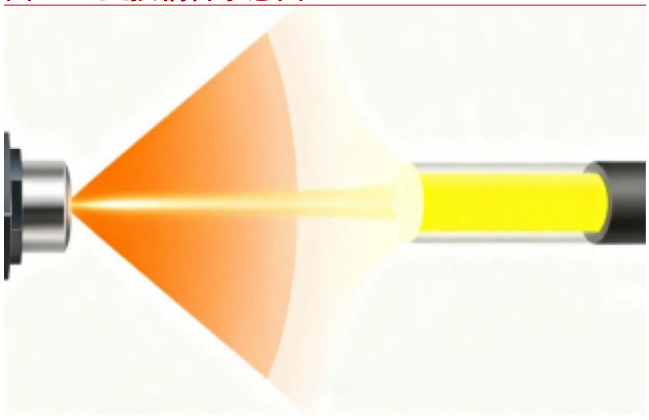


资料来源：《基于 AWG 光接收组件的自动化对接耦合工艺研究》，财达研究

按照光学结构分类，耦合工艺可分为透镜耦合和直接耦合。透镜耦合是在芯片与光纤之间插入微透镜，对发散光进行准直、聚焦后再注入光纤，可配置为单透镜或组合透镜，效率可达 60%-90%，是当前应用最广泛的方案。透镜作为核心物料，按材质分为玻璃、硅、PEI 塑料，按面型分为球面、非球面；直接耦合则无独立透镜，芯片与光纤直接对准，结构简单、成本低，但因出光光斑与纤芯形状不匹配，该种耦合方案效率受限，传统上多用于多模短距场景。

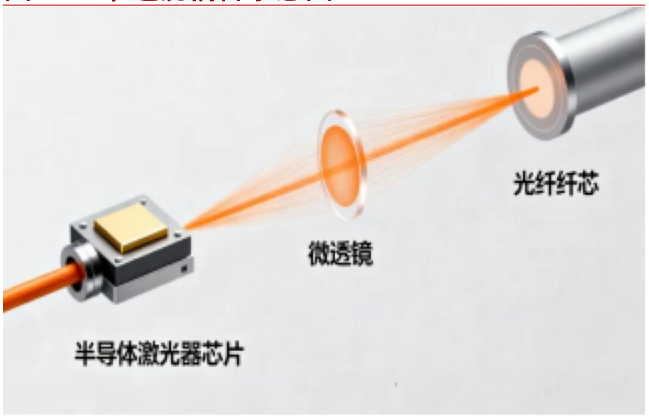
下载日志已记录，仅供内部参考

图 47：直接耦合示意图



资料来源：镭创光电，财达研究

图 48：单透镜耦合示意图



资料来源：镭创光电，财达研究

表 7：耦合常用透镜材料性能与应用对比

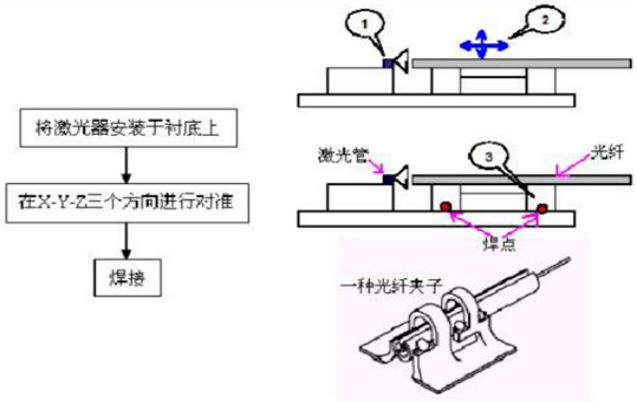
透镜材料	透镜颜色	优点	缺点	主要应用
玻璃	透明	热膨胀系数小 热光系数小 稳定性好 透过率高	贵	单模产品
硅	黑色	便宜	折射率高 热光系数大 热膨胀系数大	单模产品
PEI 塑料	浅黄色	便宜	结构稳定性差 透光率低	多模产品

资料来源：小黄人通信，财达研究

对准技术一般分为“有源对准”和“无源对准”。在有源对准技术中，激光器或者探测器通过外加偏压或电流使器件处于工作状态下进行光轴等的对准，优势是有直接反馈，但设备成本较高，曾是传统中高端模块的主流方案。对于无源对准，有源光器件不需要工作，而是通过高精度机器视觉识别标记点或边缘特征，计算位置后一次性对准，优势在于设备简单、速度快、适合自动化量产，难点是对元器件加工精度和视觉算法要求极高。随光模块速率提升及 CPO 等先进封装兴起，传统有源对准技术逐通道加电寻光的效率瓶颈日益突出，而无源对准更适配高密度、高效率的量产需求，优势逐渐凸显，正成为高速模块的主流技术方向。

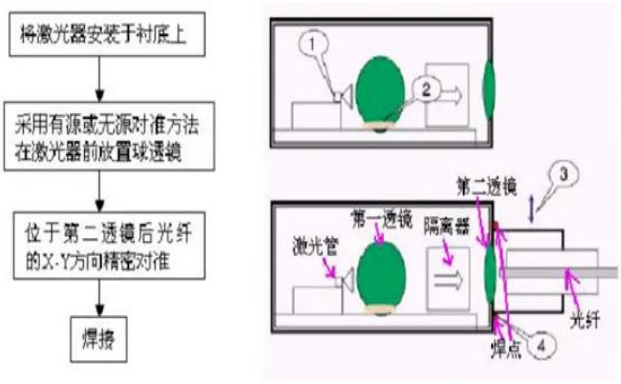
下载日志已记录，仅供内部参考

图 49：直接耦合的对准及装配图



资料来源：今日光电，财达研究

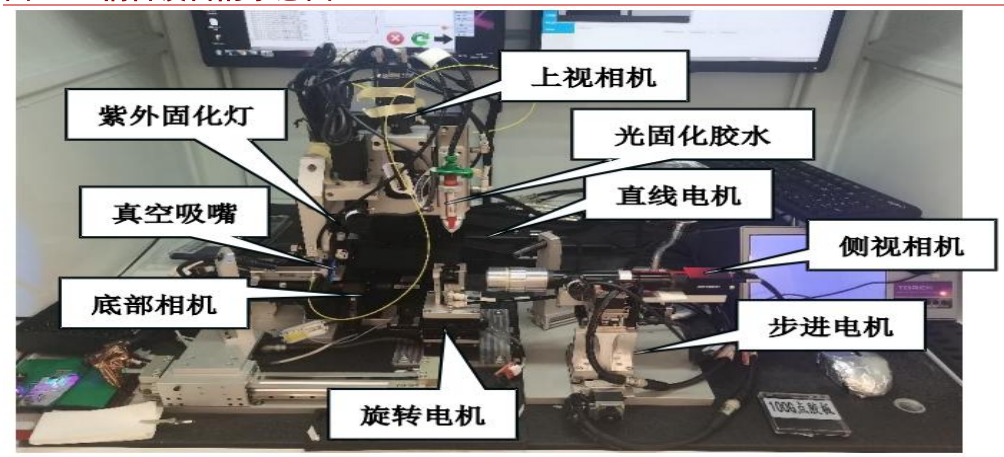
图 50：双透镜系统的对准及装配图



资料来源：今日光电，财达研究

耦合工艺的核心难点集中于四个方面:一是亚微米级多自由度空间寻优，耦合系统需在 X、Y、Z 平移及俯仰、翻转、水平旋转六个自由度上寻找全局最优位置，最终对准精度须控制在亚微米量级；二是空间寻优与物理防撞的矛盾，光学元件端面材质脆弱，轻微碰撞即造成不可逆损伤,调节机构必须在逼近最佳位置的同时严格控制各接触面的下压高度和侧向距离；三是多通道一致性收敛，多通道模块要求所有通道性能同时落入极窄目标窗口，难度随通道数增加指数级上升；四是胶水固化导致的位移漂移，紫外线胶固化过程中体积收缩产生内部应力，会使已对准好的位置产生微米级偏移。

图 51：耦合设备的示意图



资料来源：《基于 AWG 光接收组件的自动化对接耦合工艺研究》，财达研究

围绕上述难点，耦合设备核心竞争力集中于精度、效率与工艺兼容性三大维度。①精度方面，硅光子芯片及 800G/1.6T 等超高速率模块要求 0.05μm 级重复定位精度；中高速率模块（100G/200G）精度要求为 0.1μm 级，可通过被动对准实现成本与性能的平衡。②效率方面，设备生产效率直接决定产线成本与产能。③兼容性方面，硅光子封装需支持硅基光波导与光纤的三维耦合,设备须集成高精度视觉识别与纳米级位移控制模块。TO、BOX 等传统封装则要求多夹具快速切换与多光源适配能力。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 52：光模块耦合设备核心竞争力的关键指标

指标类别	指标名称	指标含义	评价方法
精度	XYZ 轴分辨率	光耦合设备在三维空间中执行精密运动时的最小可控步长，决定了设备在水平（XY）和垂直（Z）方向上的定位精度	分辨率精度误差数值越小，代表精度越高
	XYZ 轴重复精度	在相同操作条件下，设备或系统多次移动到同一目标位置时，实际到达位置的一致性或偏差程度。它反映设备重复执行相同定位任务时的稳定性和可靠性	精度越高，性能越好

资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

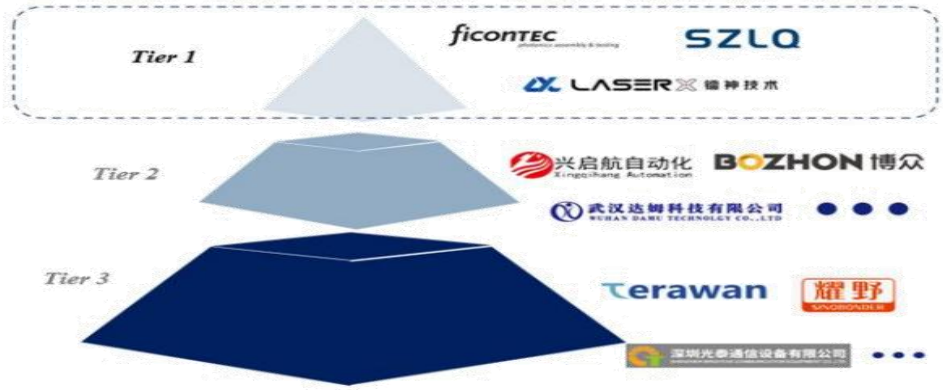
图 53：国内主要耦合设备厂商指标对比

关键指标参数	发行人	镭神技术	FiconTEC
XY/Z 轴重复精度	±0.05μm	±0.05μm（单模） ±0.3μm（多模）	±0.02μm
XYZ 轴分辨率	10nm	未披露	5nm
设备性能及特有技术	支持全自动，配备直线电机；自研耦合算法实现快速螺旋找光，压感快速触底算法提高耦合效率；开放式逻辑编辑平台提高产品兼容性	未披露	全自动，配备直线电机；fast alignment 技术，能做到一维和二维快速扫描

资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

市场格局方面，根据 Frost&Sullivan 数据，2025 年猎奇智能在光模块耦合设备市场份额以 23%的份额排名第二。目前，耦合设备整体国产化率为 80%，相对较高，但高端耦合设备市场仍由国外厂商主导。

图 54：全球光模块光学耦合设备厂商竞争格局



资料来源：Frost&Sullivan，财达研究

测试设备：价值量占比最高的环节

测试设备是光模块从研发到量产不可或缺的关键工具，贯穿光通信产业链从研发到量产的全流程。根据应用场景及测试项目的不同，测试/检测设备主要分为通信测试仪器、光电子器件测试设备两大类。①通信测试仪器主要应用于光模块的信号测试，核心设备包括采样示波器、误码分析仪和时钟恢复单元；②光电子器件测试设备主要应用于光模块产业链上游硅光晶圆、裸芯片、CoC 光芯片等元件的光学/电学性能及可靠性测试，核心设备包括 CoC 光芯片老化测试系统、光芯片 KGD 分选测试系统和硅光晶圆测试系统。此外检测设备还包括 AOI 检测设备（Automated Optical Inspection，自动光学检测），AOI 通过光学系统成像，将被检测物体的反射光强以定量化灰阶值输出，与标准图像比对，识别缺陷。

下载日志已记录，仅供内部参考

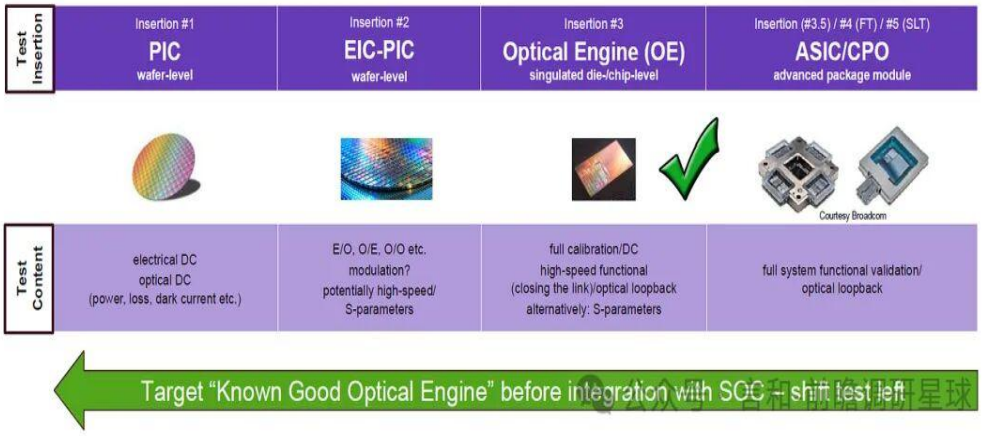
表 8：测试设备对光通信产业链有关键核心作用

产业链位置	测试环节	用户形态	用户所需测试仪器设备	仪器设备类型	测试项目
上游	硅光晶圆	硅光芯片厂商	硅光晶圆测试系统	光电子器件测试设备	光学和电学性能参数测试（含老化）
	裸芯片	光芯片厂商	光芯片 KGD 分选测试系统		
	CoC 光芯片		CoC 光芯片老化测试系统		
	光器件		光器件老化测试系统		
下游	光模块	光模块厂商	采样示波器、时钟恢复单元、误码分析仪、光功率计、光开关、光衰减器等	通信测试仪器	信号测试
			AOI 检测设备	AOI 检测设备	自动光学检测

资料来源：联讯仪器问询函回复，财达研究

随着 CPO、硅光等先进方案的逐步导入，测试环节由模块级向晶圆级、芯粒级前移，测试设备的产品边界相应扩展至 CPO 制造测试的多个插入点。按照测试插入点，CPO 测试可划分为四个阶段：Insertion 1 为光子晶圆（PIC）单面测试，Insertion 2 为晶圆级双面测试，Insertion 3 为芯粒级（die-level）测试，Insertion 4 为交换机模组级最终测试。

图 55：CPO 测试可分为四个阶段



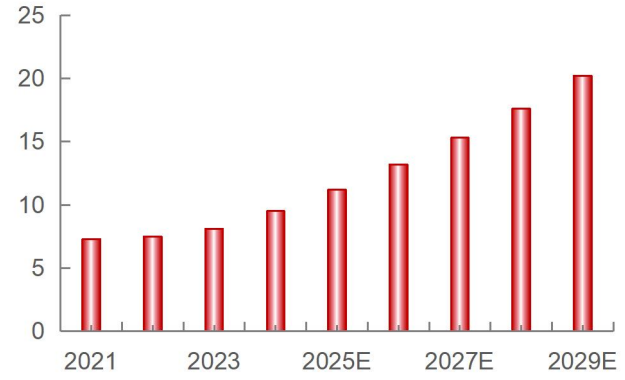
资料来源：爱德万测试，财达研究

下载日志已记录，仅供内部参考

通信测试仪器：光模块性能验证平台

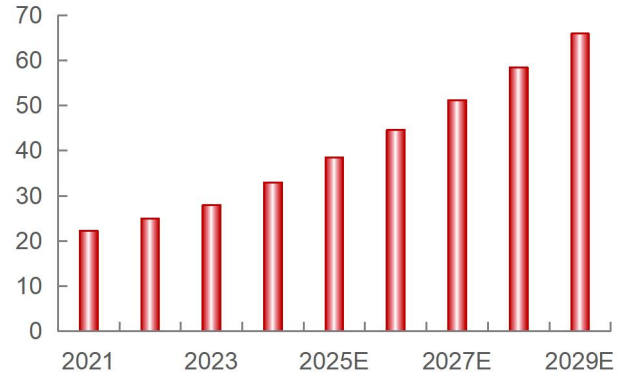
通信测试仪器是光模块研发与制造过程中完成参数验证与可靠性评估的核心设备，光通信测试的核心挑战在于对高速光电信号进行精准产生、采集与分析。受益于人工智能技术跨越式发展，高速光通信产品需求持续增长，直接拉动通信测试仪器市场规模扩张。全球光通信测试仪器市场规模于 2024 年达到 9.5 亿美元，预计 2029 年将达到 20.2 亿美元，年复合增长率 16.3%；中国市场 2024 年规模为 33.0 亿元，预计 2029 年增至 65.9 亿元，年复合增长率 14.8%。

图 56：全球光通信测试仪器市场规模（亿美元）



资料来源：Frost&Sullivan，财达研究

图 57：中国光通信测试仪器市场规模（亿元）



资料来源：Frost&Sullivan，财达研究

光模块测试按发射端与接收端展开，发射端测试主体为采样示波器，接收端测试主体为误码分析仪。发射端测试中，误码分析仪的码型发生器生成已知序列，经 DUT 验证板到达光模块金手指，由 TOSA 完成电光转换后输出光信号；时钟恢复单元从信号中提取同步时钟作为采样示波器的触发时钟，光开关配合波分复用器选择待测波长信号，最终由采样示波器完成眼图、抖动、消光比、TDECQ 等参数测量。接收端测试中，误码分析仪发送标准序列并经标准光源进入光模块接收端，ROSA 完成光电转换后送回误码分析仪，通过比对发送与接收序列统计误码率，同时可读取模块偏置电流及温度。

表 9：测试包括光模块发射端、光模块接收端测试

测试内容	测试仪器	测试流程
光模块发射端/光发射器件（TOSA）	采样示波器、时钟恢复单元、波长计等	采样示波器将光信号转化为可视的眼图，进行眼图测试并测量噪声、抖动、消光比、TDECQ（发射机色散眼图闭合代价）等参数；时钟恢复单元搭配采样示波器使用，其在提取光模块发射端/光发射器件（TOSA）发出信号中的时钟信号后，向采样示波器提供触发信号；波长计则可用于测量光模块发射端/光发射器件（TOSA）发出光信号的波长、频率、功率等参数
光模块接收端/光接收器件	误码分析仪、突发误码分	误码测试核心功能是对比接收端信息与其发出的误码信息的差异，进而判断光模块接收端/光接收器件（ROSA）的信号接收质量：1）误码分析仪用于常规的连续信号误码测试；2）突发误码

下载日志已记录，仅供内部参考

（ROSA）	析仪、网络测试仪等	分析仪用于 PON 网络的突发信号误码测试；3）网络测试仪则用于以太网环境下的跑流测试

资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

从测试指标看，光/电测试指标涵盖光学指标与电气指标两类，根据 IEEE 以太网标准草案（P802.3dj/D3.1），典型指标包括 TDECQ、消光比、外侧光调制幅度、发射机功率偏移、相对强度噪声、压力接收机灵敏度、输出抖动、时钟数据恢复信噪失真比、通道工作裕量、系统误码率、丢帧率等。

表 10：光/电测试指标要求

序号	指标名称	主要内容
1	消光比（ER）和外侧光调制幅度（OMAouter）	ER 是 PAM4 信号“3”电平与“0”电平的平均光功率之比；而 OMA 衡量平均光功率之差。两者需在特定的测试码型下，对连续 7 个“3”和 6 个“0”码元的中心 2 个 UI 进行平均后计算差值，在参考均衡器之前测量
2	发射机色散眼图闭合代价（TDECQ）	本质是一个功率代价，用于评估 PAM4 光发射机的信号质量
3	发射机功率偏移（TPE）	衡量信号功率的过冲与下冲幅度。其标准定义为：TPE = MAX(P_max - P_avg, P_avg - P_min)
4	相对强度噪声（RINxxOMA）	激光器强度噪声与信号调制功率（OMA）的比值（在参考均衡器之前测量）
5	压力接收机灵敏度（SRS）	接收机在输入信号存在各种损伤（如抖动、眼图闭合）时，维持目标 BER 所需的最小输入光功率。通常以 OMA（dBm）表示
6	输出抖动（Output jitter）	通过测量 PAM4 信号在 PRBS13Q 码型中 12 个特定边沿上的定时偏差来表征，是评估发射机输出信号定时精度的关键指标
7	时钟数据恢复信噪失真比（SNDR）	信号功率与噪声加失真功率之和的比值，通常以 dB 为单位，须大于 32.2 dB
8	时钟数据恢复眼高（EH）与垂直眼图闭合度（VEC）	EH 为 CDR 采样点处眼图垂直张开度，VEC 为以 dB 为单位的眼图垂直方向闭合程度的度量
9	通道工作裕量（COM）	参考接收机均衡后有效信号振幅与噪声振幅之比
10	受压输入容限（主机）	主机接收机在压力信号下维持目标 BER 的能力
11	受压输入容限（模块）	模块接收机在压力信号下维持目标 BER 的能力
12	接收机抗干扰容限	在 COM=3dB 的噪声注入链路上，接收机维持目标 BER 的能力
13	系统误码率（BER）	错误比特数占总发送比特数的比率
14	丢帧率（FLR）	MAC 判定无效的帧数占总发送帧数的比率(含 FEC 影响)

资料来源：IEEE P802.3dj/D3.1，财达研究

随着传输速率向 800G、1.6T 演进，信号完整性、抖动控制、噪声抑制等问题逼近物理极限，仪器需在超高带宽、飞秒级时序精度及纳伏级信号灵敏度之间实现系统平衡，三类核心设备的技术指标随此进程同步升级。

下载日志已记录，仅供内部参考

表 11：光模块速率提升，测试设备技术指标同步升级

采样示波器		时钟恢复单元		误码分析仪	
通道带宽	主要应用场景	最高恢复速率	主要应用场景	单通道最高传输速率	主要应用场景
10GHz	10G 及以下速率光模块测试（10GBaud 单通道）	10GBaud	10 及以下速率光模块测试（10GBaud 单通道）	25GBaud	100G/200G 及以下光模块测试
30GHz	400G 光模块测试（28GBaud 八通道）	28GBaud	400G 光模块测试（28GBaud 八通道）	30GBaud	400G 光模块测试
50GHz	400G 光模块测试（53GBaud 四通道） 800G 光模块测试（53GBaud 八通道）	56GBaud	400G 光模块测试（53GBaud 四通道） 800G 光模块测试（53GBaud 八通道）	59.37GBaud	800G 光模块测试
65GHz	800G 光模块测试（112GBaud 四通道） 1.6T 光模块测试（112GBaud 八通道）	120GBaud	800G 光模块测试（112GBaud 四通道） 1.6T 光模块测试（112GBaud 八通道）	113.44GBaud	1.6T 光模块测试

资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

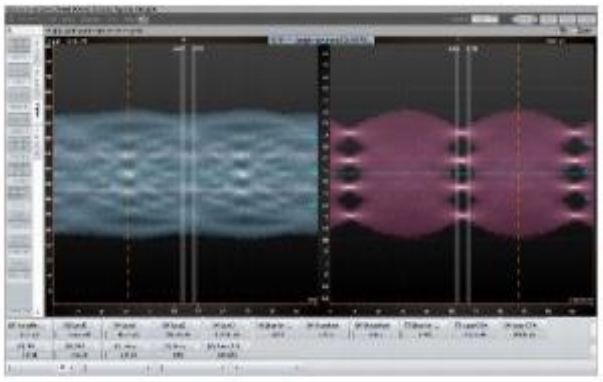
1）采样示波器涉及超高带宽模拟前端、自研芯片设计，为技术壁垒最高的通信测试仪器。其基于等效时间采样原理，对周期信号进行重复采样以获取眼图波形，其在低采样率下可实现高带宽、高垂直分辨率与低噪声。核心指标为通道带宽，带宽越高则可检测信号速率范围越广。光模块从 400G 向 1.6T 升级，对应通道带宽需求从 30GHz 提升至 65GHz，而 3.2T 阶段采样示波器带宽需突破 100GHz。

图 58：联讯仪器 DCA1065 采样示波器



资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

图 59：PAM4 信号经均衡前后的眼图对比



资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

2）时钟恢复单元与采样示波器协同使用，功能是从数据信号中提取同步时钟信号为示波器提供触发，提升波形恢复质量。核心指标为最高恢复速率，决定可处理数据信号速率的上限。1.6T 光模块单通道速率达 112GBaud，要求时钟恢复单元最高恢复速率达到 120GBaud。

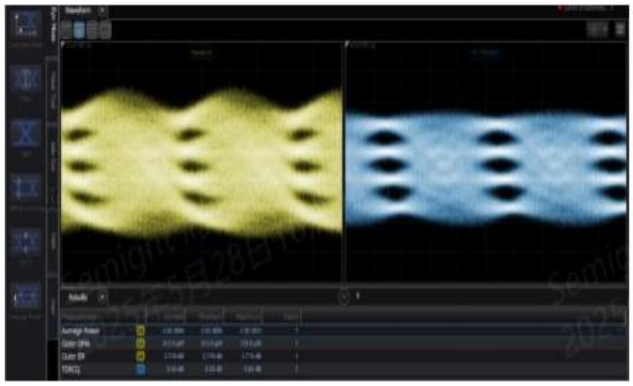
下载日志已记录，仅供内部参考

图 60：联讯仪器 CR3302 时钟恢复单元



资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

图 61：时钟信号经提取前后的眼图对比



资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

3）误码分析仪用于传输链路信号质量分析，可根据协议标准产生指定信号源，对接收端返回数据流进行采样锁定与逐位判定，输出误码统计、FEC 纠错分析及信噪比等测量结果。核心指标为单通道最高传输速率，当前已迭代至 120GBaud 量级。

图 62：联讯仪器 PBT3058 误码分析仪



资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

图 63：误码分析仪实时监控示意图

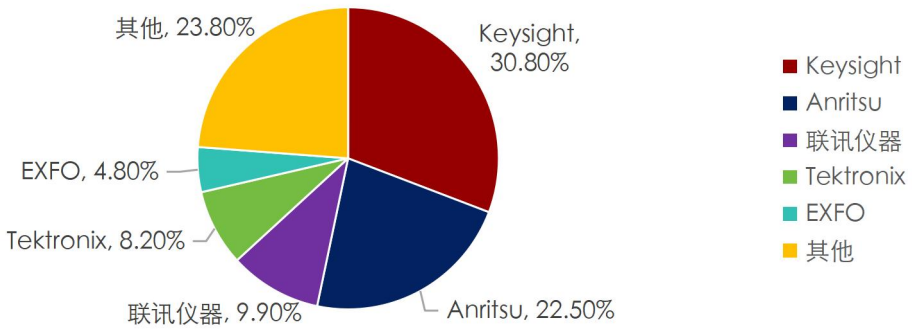


资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

美国、欧洲等发达国家和地区在通用电子测量仪器领域起步时间早，Keysight 等国际龙头在高速采样示波器、信号链路架构与自研芯片方面保持领先，构成较高的技术壁垒，在全球电子测量仪器市场长期占据垄断地位。根据 Frost & Sullivan 数据，2024 年上述海外厂商合计占据中国通信测试仪器市场约 84%的份额，本土企业份额约 16%。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 64：中国通信测试仪器市场份额



资料来源：Frost&Sullivan，财达研究

从技术差距看，国内厂商与国际龙头的差距已明显收窄，但分产品差异化显著。采样示波器涉及超高带宽模拟前端、核心芯片设计，技术壁垒最高，国内先进水平可达 65GHz，与 Keysight 的 120GHz 仍存在代差，但已可满足 1.6T 光模块测试；时钟恢复单元与误码分析仪领域，国内头部企业产品性能已达 120GBaud 量级，基本追平国际领先水平。

表 12：国内外通信测试仪器技术指标对比

产品	核心指标	指标含义	国内最高水平		行业最高水平	
			型号	指标	型号	指标
采样示波器	通道带宽	测试的光信号频率范围，数值越高，性能越高	联讯仪器，DCA1065	65GHz	Keysight，N1032	120GHz
时钟恢复单元	最高恢复速率	可恢复的输入信号最高波特率，数值越高，性能越高	联讯仪器，CR3302	120GBaud	Keysight，N1093B	120GBaud
误码分析仪	单通道最高传输速率	单通道能够支持的最高波特率，数值越高，性能越高	联讯仪器，PBT3058	113.44GBaud	Keysight，M8050A	120GBaud

资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

光电子器件测试仪器：技术壁垒高筑，国产化进程加速

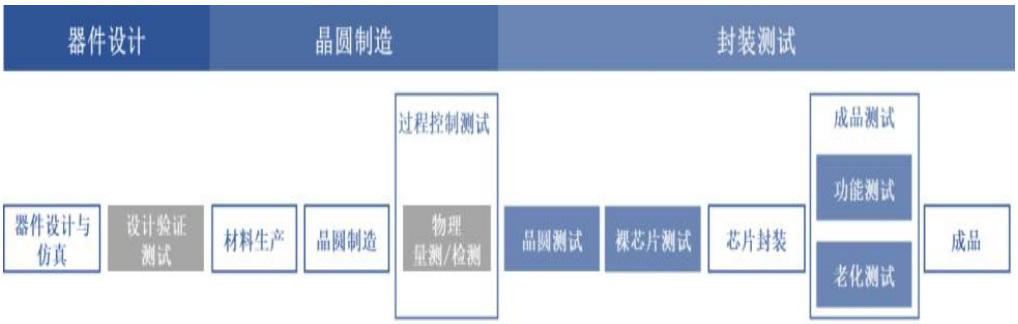
2.5.2.1 光电复合检测壁垒较高，测试节点前移

光电子器件测试设备是保障光模块性能与可靠性的关键环节，其测试对象覆盖了从晶圆、裸芯片到封装后组件的完整产业链。由于光电子器件横跨电学与光学两大物理域，测试设备不仅需要完成对电压、电流等电性参数的测量，还需同步实现对光谱、光功率等光学参数的高精度表征。这一特性决定了设备厂商不仅需具备半导体物理与电路设计的知

下载日志已记录，仅供内部参考

识，还必须深入掌握光电相互作用机理、波导理论等光学原理，并实现多学科知识在工程实践中的深度融合，构筑了较高的技术壁垒。

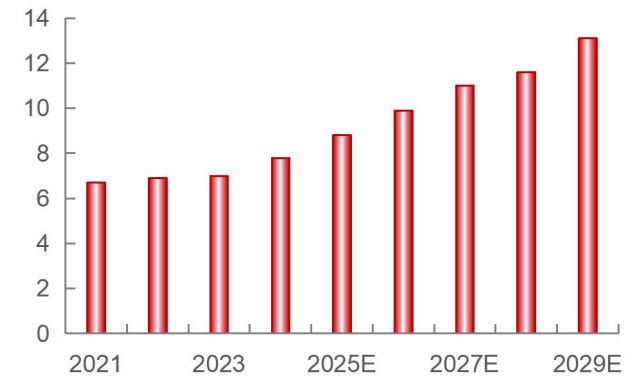
图 65：光电子器件测试环节



资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

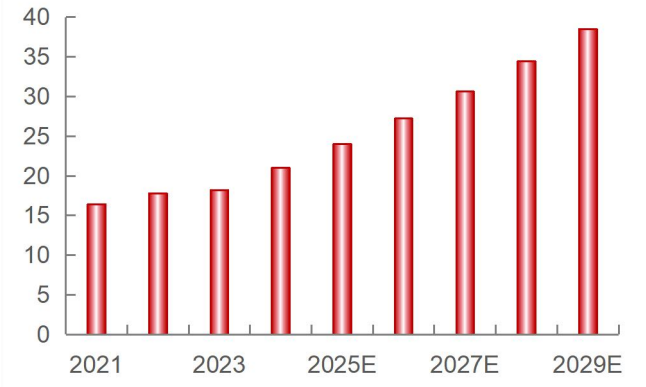
上游光模块向高速率持续演进，驱动光电子器件测试设备量价齐升。一方面，电信、数据中心向更高速率演进，推动光芯片速率提升，生产工艺随之复杂化，驱动测试效率与精度要求同步提高。另一方面，硅光芯片等新技术向 FMCW 激光雷达、光子计算等领域延伸，对测试设备的精度、测试范围提出新增要求。在上述双重因素驱动下，光电子器件测试设备市场呈现持续增长态势。根据 Frost & Sullivan 数据，全球光电器件测试设备市场规模从 2020 年的 5.7 亿美元增至 2024 年的 7.8 亿美元，年复合增长率 8.0%，预计 2029 年达 13.1 亿美元；中国市场规模从 2020 年的 14.8 亿元增至 2024 年的 21.0 亿元，预计 2029 年达 38.5 亿元。

图 66：全球光电器件测试设备规模（亿美元）



资料来源：Frost&Sullivan，财达研究

图 67：中国光电器件测试设备市场规模（亿元）



资料来源：Frost&Sullivan，财达研究

光电子器件测试贯穿晶圆、裸芯片、封装后器件等多个阶段。CPO 架构推动测试环节由模块级向晶圆级、芯粒级前移，光电子器件测试设备与 CPO 四个测试插入点形成对应关系。按照测试流程，四个阶段依次为 PIC 晶圆分选、晶圆级双面测试、切割贴装与 OE 裸片级测试、CPO 模块级系统测试。

下载日志已记录，仅供内部参考

1）硅光晶圆测试系统。该阶段在晶圆未切割状态下对光子芯片进行单面测试，测试重点包括插入损耗、偏振相关损耗、光学对准精度和工艺偏差，需在晶圆阶段完成电光转换效率、调制质量等参数测量。硅光芯片采用硅基材料，通过单片集成激光器、调制器、探测器及光波导等器件，实现光信号高速处理。相较传统分立器件封装方案，能在同等带宽下大幅降低光模块成本与功耗。晶圆级测试需精确测量电光转换效率、调制质量、接收灵敏度等关键参数，对精密运动控制与自动耦合技术要求极高。

图 68：硅光晶圆测试系统

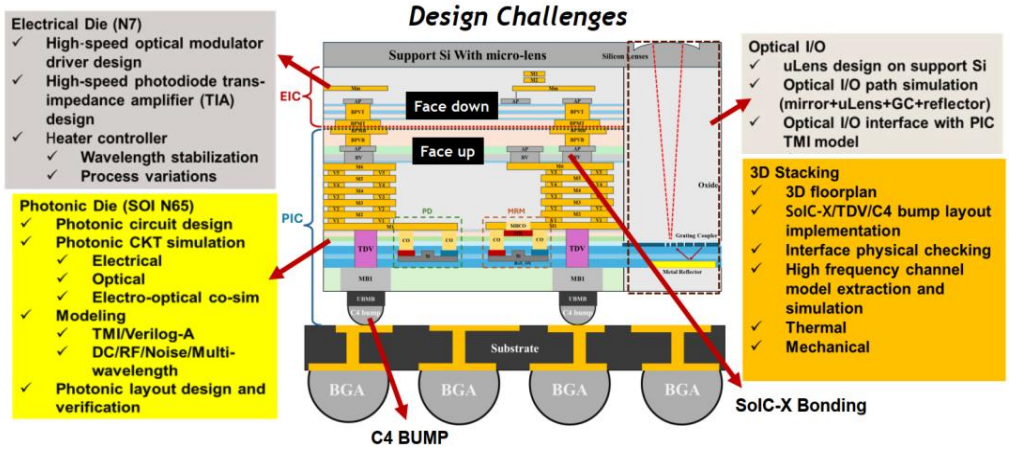


资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

2）PIC/EIC 晶圆级双面测试设备。测试对象为 PIC、EIC 与硅衬底三片晶圆键合后形成的三明治结构，台积电 COUPE 平台将 EIC 与 PIC 垂直堆叠，形成上电下光格局，光电信号分别从晶圆两侧引出，因此需采用双面晶圆测试设备，同时完成直流及互连性测试：电学探针从顶部接触 EIC，光学测试需从硅衬底一侧进入。双面测试是同时验证光电信号的首个节点，也是 CPO 量产的关键瓶颈之一。该环节设备壁垒主要体现在键合晶圆翘曲下的光路对准、背面光路耦合以及光电测试节拍匹配。设备方面，ficonTEC 双面晶圆测试设备于 2025 年 3 月推出，集成泰瑞达 UltraFLEXplus 自动测试设备与 IG-XL 编程环境，顶侧实现直流及高速信号测试，下方提供高精度光学 I/O 六轴有源对准探测，支持自动晶圆处理与专利真空温控卡盘。

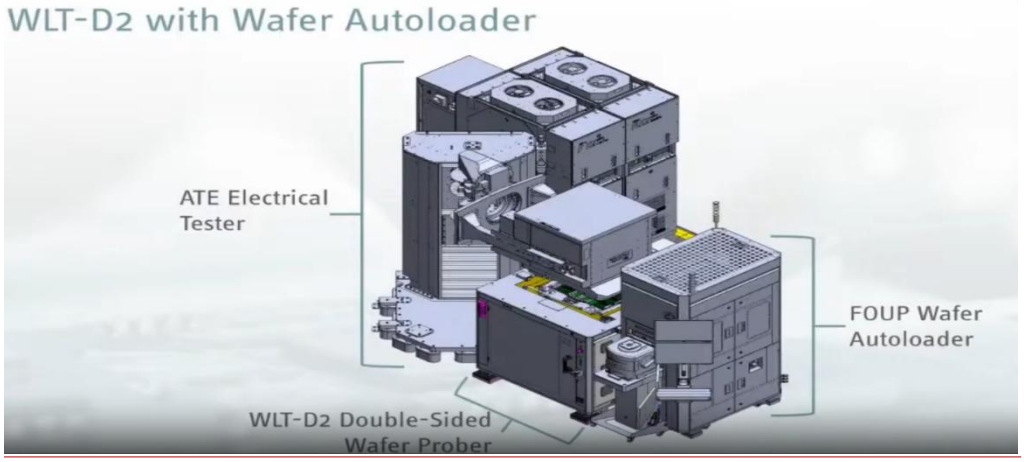
下载日志已记录，仅供内部参考

图 69：台积电 COUPE 平台呈现“上电下光”结构



资料来源：台积电，财达研究

图 70：ficonTEC 晶圆级 3D CPO 测试设备



资料来源：ficonTEC，财达研究

3）切割贴装与 OE 裸片级测试。该阶段在晶圆切割并贴装接收端后执行全速功能测试，产出 OE KGD，测试重点为时域/频域插入损耗、偏振相关损耗、TDECQ、光调制幅度、消光比等指标。以分布式反馈激光器和电吸收调制激光器为代表的激光器芯片，受限于侧发光的结构特征，加之裸芯片体积小、在晶圆上排列密度高，难以在晶圆层面直接进行晶圆探针测试，因此业界普遍在晶圆裂片后对未封装的裸芯片进行 KGD 分选测试。在封装前完成芯片筛选，可有效降低因封装不良品所带来的成本损失。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 71：光芯片 KGD 分选测试系统



资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

4）CPO 模块级系统测试。对应光器件/模块成品测试设备，该阶段在模块组装后执行系统级功能与综合性能测试，测试重点为时域/频域 TDECQ、光调制幅度、消光比、边模抑制比等指标。与传统光模块成品测试相比，CPO 模块集成交换 ASIC 与多个光引擎，系统级测试需在统一平台上完成电信号与光信号的协同验证，测试复杂度和热负载显著高于传统可插拔模块。

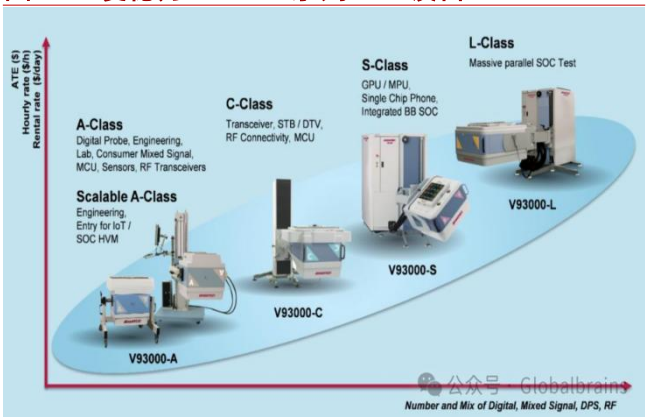
从产业链环节看，测试对象越趋近上游，设备面临的技术挑战越大。具体而言，PIC 晶圆分选需在未切割晶圆上完成高精度光耦合与多参数并行测试；晶圆级双面测试需同时应对键合晶圆翘曲、背面光耦合与光电节拍匹配；裸片级测试需在切割后快速完成全速功能筛选；模块级系统测试则需在统一平台协同验证电信号与光信号。整体来看，晶圆级双面测试是当前 CPO 量产的关键瓶颈之一。

2.5.2.2 ATE 设备：电学测试核心，与光学检测协同

自动测试设备（ATE）是芯片量产阶段用于对芯片施加电信号、采集响应并判定其电气性能是否合格的自动化硬件系统。ATE 通过测试头连接探针卡或测试插座，与芯片各 I/O 引脚接触，施加直流电压、电流及高速数字信号，采集输出端响应，并与预设电参数规范值比对，筛选出功能正常的合格芯片。一套完整的 ATE 系统主要由测试机和测试头组成，测试机包含精密测量单元、高速数字引脚、器件电源等板卡，测试头提供与被测器件的机械与电气接口，整体测试流程由测试程序控制。ATE 设备的特点是高通量、并行化和程序化，可同时测试数十至上百个工位，测试时间以毫秒计，是晶圆级和成品级量产测试的主要自动化装备。

下载日志已记录，仅供内部参考

图 72：爱德万 V93000 系列 ATE 设备



资料来源：爱德万官网，财达研究

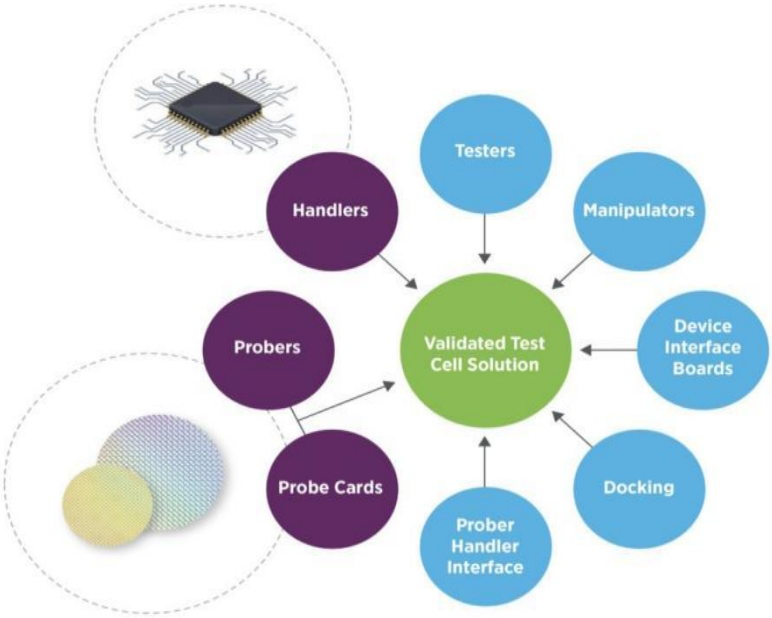
图 73：泰瑞达 UltraFLEX 自动检测设备



资料来源：泰瑞达官网，财达研究

在光模块测试体系中，ATE 的核心工作是提供电学激励并读取电学响应。具体而言，ATE 通过探针卡接触晶圆顶部，为管芯提供电源和数字激励，并读取光电探测器的响应电流、暗电流等电学参数；与此同时，独立的光学测试单元从晶圆另一侧或同侧完成光信号的激发、耦合与采集。两者并行执行各自测试任务后统一汇总数据，共同判定每个管芯的发光效率、响应度等参数是否达标。

图 74：泰瑞达 ATE 自动测试架构



资料来源：泰瑞达官网，财达研究

全球 ATE 市场呈寡头垄断格局，但在硅光和 CPO 测试领域，竞争格局与技术路线仍在演进。传统 ATE 市场长期由泰瑞达与爱德万测试主导，据 SEMI 统计，两者合计占据超 90%的全球 ATE 市场。在光模块测试的新增需求下，部分供应商和光学设备商合作来延伸光电并行测试能力。例如 2025 年 3 月，泰瑞达与 ficonTEC 联合推出首款面向硅光子的大批量双面晶圆探针测试单元，实现了混合键合 PIC/EIC 晶

下载日志已记录，仅供内部参考

圆的量产环境测试。CPO 量产的测试路径仍处于多方案并行阶段，不同晶圆设计形态和器件类型对 ATE 平台的光学扩展能力提出差异化需求。

2.5.2.3 国内厂商通过海外并购与自主研发实现国产突破

市场格局方面，光电子测试设备市场长期由海外厂商主导。在 CPO 带来的测试体系重构中，传统以独立仪器、复杂光学对准、分钟级节拍运行的模式已无法支撑大通道数、高并行的产业化需求，测试环节从模块级大幅前移至晶圆级（含双面晶圆测试）、光引擎级和系统级，为国产设备商提供了结构性机遇。

国内厂商通过海外并购与自主研发“双轮驱动”，在细分测试环节实现突破。在晶圆级测试领域，罗博特科 2025 年完成对德国 ficonTEC 的全资收购。ficonTEC 是覆盖晶圆级、晶粒级、芯片级及模组级测试全流程的设备供应商，其双面晶圆测试设备已集成泰瑞达 UltraFLEXplus ATE 平台，并向英伟达、台积电等头部客户批量出货。在 CPO 光引擎测试领域，联讯仪器已形成 CW 激光器、硅光晶圆、光引擎三段测试布局，整套 CPO 光引擎测试方案已获国际头部 CPO 客户订单。在 CoC 老化测试领域（属于晶圆测试之后、封装测试之前的中间环节），以猎奇智能、联讯仪器为代表的国内厂商在设备容量、温控稳定性及均匀性等指标上已基本达到国际同行水平。

表 13：国内领先企业 CoC 老化测试设备性能对比

指标类别	指标名称	指标含义	评价方法	猎奇智能（BI74P）	致茂电子（Chroma-58604）	联讯仪器（BI6202）
设备容量	层数	设备能承载的抽屉数量，层数越多，单次测试芯片数量越多，效率越高	层数越多越好	7 层 / 11 层（可选配）	7 层	11 层
	载具数/层	每层可放置的载具数量	数量越多效率越高	4 个	4 个	4 个
	芯片数/载具	每个载具（鱼骨夹具）上能夹持的物料数量	数量越多效率越高	32 / 48（可选）	32	48
温度测试性能	温度范围	设备能达到的最低至最高温度	范围越广适用场景越多	40℃-125℃	45℃-125℃	40℃-120℃
	温度稳定性	设备温度稳定后 2 小时内测温点（Max-Min）的波动差值	偏差越小温控性能越好	0.5℃	1℃	0.5℃
	温度均匀性	同一抽屉内三点测温（Max-Min）的最大差值	差异越小说明腔内温度分布越均匀	±1℃ @40-100℃；±1.5℃ @100-125℃	±（1℃+1.2%△T）	±1℃ @40-100℃；±1.5℃ @100-120℃
ACC 测试能力	电流精度	设定电流输出值与实际输出值的误差	误差越小精度越高	<0.2%F.S.	<0.2%F.S.	0.5%F.S.

下载日志已记录，仅供内部参考

指标类别	指标名称	指标含义	评价方法	猎奇智能（BI74P）	致茂电子（Chroma-58604）	联讯仪器（BI6202）
	电流分辨率	能实现的最小电流主动调节能力	数值越小性能越优	0.1mA	未披露	0.15mA
功能支持	LIV 测试	是否支持老化过程中的 LIV（光-电流-电压）测试	支持与否	支持	支持	支持

资料来源：猎奇智能招股说明书，联讯仪器招股说明书，财达研究

高速率时代封测设备的增量需求与自动化方向

增量需求：上游技术迭代驱动封测设备量价齐升

光模块向高速率、多通道、高集成、低功耗演进，硅光、CPO 等光电异构集成与先进封装方案加速导入，共同驱动封测设备在贴片、耦合和测试环节迎来增量需求。

（1）贴片环节的精度要求从微米级向亚微米级提升

随着光模块进入 800G 时代，光芯片贴片加工精度已从 400G 时代的±5μm 提升至±3μm。更高速率模块和 CPO 中更高密度的芯片堆叠，对共晶焊、倒装焊等工艺的温度曲线控制和贴装压力提出更严格标准，贴片设备在精度和过程控制能力上面临升级需求。

表 14：贴片精度随光模块速率提升而提升

光模块速率	光芯片	电芯片	其他元件
400G	±5μm	±10μm	±15μm - ±35μm
800G	±3μm	±10μm	±15μm - ±35μm
1.6T	±3μm	±10μm	±15μm - ±35μm

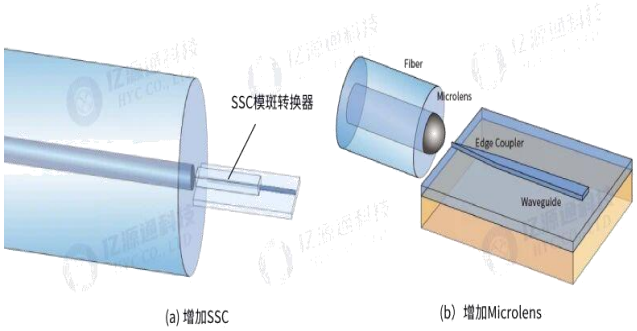
资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

（2）耦合环节的增量需求来自 CPO 封装与硅光集成等技术迭代

CPO 将光引擎与交换芯片共同封装，内部空间急剧压缩，传统逐通道加电的有源耦合难以实施，倒逼无源耦合成为主流。无源耦合要求设备仅凭视觉系统一次性完成高精度对准与贴装，对视觉识别和运动控制提出更高要求。硅光集成方案中，光子集成芯片波导尺寸仅 0.3-0.5 μm，与单模光纤约 9μm 的模场直径严重失配，催生边缘耦合和光栅耦合两种主流耦合方案。

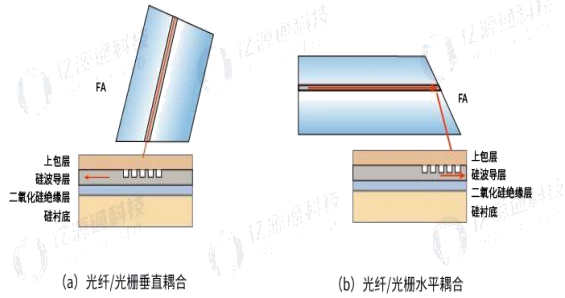
下载日志已记录，仅供内部参考

图 75：边缘耦合流程示意图



资料来源：亿源通科技，财达研究

图 76：两种光栅耦合原理示意图



资料来源：亿源通科技，财达研究

（3）测试环节的增量需求体现在速率驱动的指标升级与先进封装带来的边界拓展两个方面

一方面，采样示波器通道带宽需求已从 400G/800G 时代的 50GHz 攀升至 800G/1.6T 所需的 65GHz 以上，高速误码仪需支持 224 Gbps PAM4 信号。CPO 架构进一步将光引擎与交换芯片共封装，封装密度提升使贴装、耦合与测试设备的工作对象从分立器件升级为晶圆级、芯粒级组件，单机价值量与产线设备需求同步增加。

表 15：CPO 测试相较于传统光模块测试各环节挑战

环节	CPO 测试面临的挑战
光电子集成芯片的晶圆级测试	需实现亚微米精度的光纤对准，而目前大多数电气探针台只能实现数十微米内的对准精度
裸芯片形式的测试/部分封装后的测试	连接器缺乏标准化，增加了自动化的复杂性，也要求测试系统支持各种连接器类型
高速测试/实速测试	部分器件具有内置自测功能，需要从发送端到接收端口的光回环；其他器件需要外部高速示波器和误码率测试仪进行测试
整个封装的测试	自动化测试系统必须在所有侧面建立光连接，提供大功率激光器，启用用于任务模式测试的光回环，并管理数千瓦的热负载

资料来源：逍遥设计自动化，财达研究

测试边界前移：新材料、新技术导入，封测设备谱系重塑

CPO 系统属于高度集成且难以返修的光电封装，测试环节由模块级向晶圆级、芯粒级前移。CPO 将交换 ASIC、硅光 PIC、EIC 电芯片进行多芯片异构集成，任一芯粒或光电器件失效即可能导致与之共封装的昂贵计算芯片整体报废，因此必须在合封前完成晶圆级、裸片级测试与老化筛选。

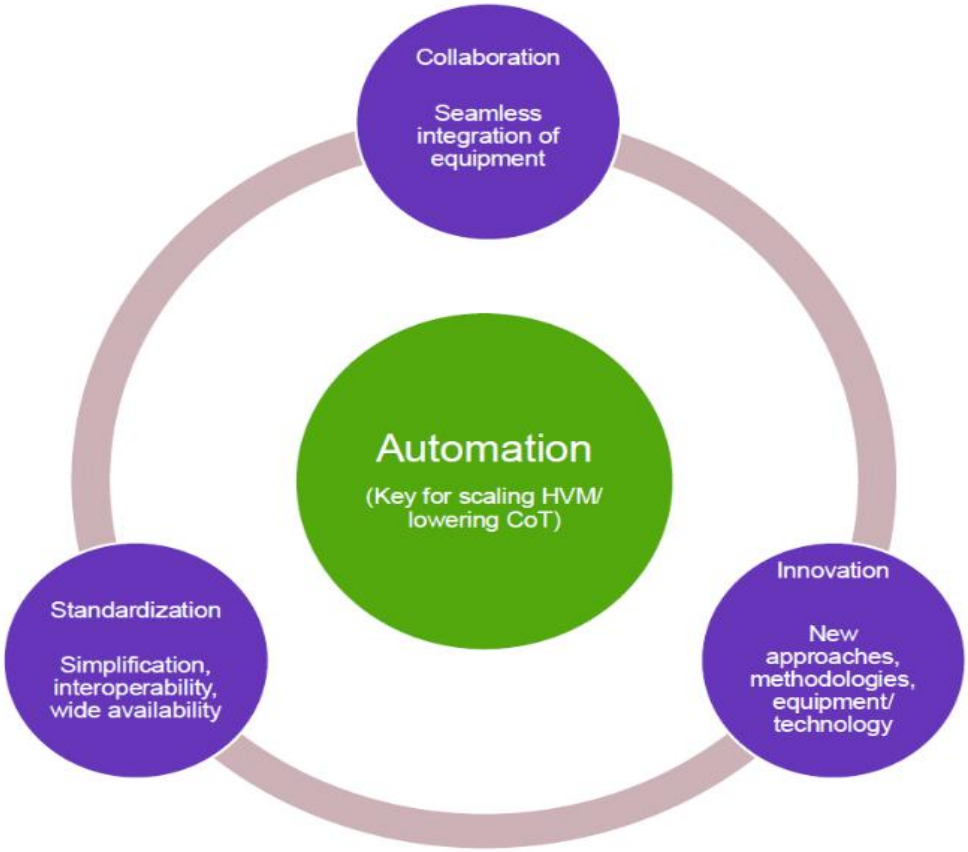
测试边界前移推动光电一体化测试设备与 ATE 发生交叉融合。晶圆级双面测试要求设备在同一测试单元内完成顶侧电学测试与背面光学耦合，泰瑞达 Photon 100 平台将光学与电气设备集成至

下载日志已记录，仅供内部参考

UltraFLEXplus 平台，支持晶圆单/双面、光学引擎与 CPO 测试插入，反映 ATE 厂商正在向光电一体自动化测试延伸。系统级测试需同时处理多个光引擎与交换芯片的电光协同验证，测试项目数量与复杂度较传统模块级测试显著提升，带动光谱分析仪、矢量网络分析仪、误码分析仪及配套测试单元的需求增长。

测试边界前移虽然带来了明确的设备增量空间，但当前硅光/CPO 大规模测试仍面临结构性挑战。爱德万测试指出，上述挑战可归纳为三个缺口：

图 77：硅光/CPO 测试三大缺口与行业努力方向



资料来源：爱德万 SEMICON 展示文稿，财达研究

一是光学探测标准化缺失。传统电气测试中探针与焊盘之间的接触已高度标准化，而光学探测涉及光纤与光栅耦合器或边缘耦合器的对准，需同时控制三维位置、角度、距离、偏振和温度，变量维度显著高于电气接触。现有方案主要依赖主动式多轴对准，通过反馈回路反复调整位置以优化耦合效率，每次测试接入均需消耗对准时间，直接限制大批量制造的吞吐量。被动对准虽在探索中，但要求光学结构、夹具公差和插入损耗均控制在量产可接受范围内，工艺门槛较高。

二是光纤连接器处理未标准化。当测试进入光引擎裸片级或封装级后，光纤阵列单元（FAU）的连接器处理成为瓶颈。传统测试设备擅长

下载日志已记录，仅供内部参考

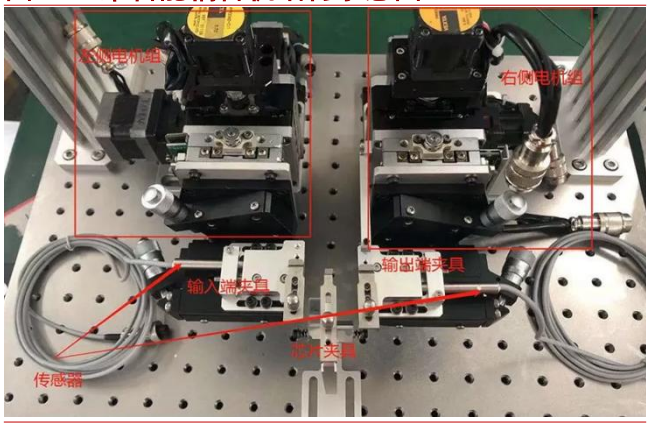
处理晶圆、裸片、基板和标准封装器件，但面对光纤阵列、精密光学连接器和光路校准时，现有自动化程度不足，部分流程仍需人工干预，自动化机械手、测试插座、夹具和连接器的生态系统有待升级。

三是光学仪器依赖定制化堆叠。当前光学仪器仍以机架堆叠式架构为主，配置高度定制化，光路校准复杂，与大规模芯片制造所要求的标准化、高吞吐量模式存在差距。同时，测量系统本身容易成为误差来源：测量结果除反映被测器件性能外，还受到对准精度、连接器状态、光纤路径损耗、温度漂移和校准误差等因素影响。传统电气测试中此类系统误差已得到较好控制，但在光学测试中仍是日常挑战，导致难以区分被测器件性能与测量系统自身噪声。

自动化升级：精度与效率双重约束推动全流程闭环智能制造

上游光模块厂商对生产效率和精度提出同步要求，自动化成为封测产线由单机半自动向全流程闭环演进的核心路径。传统手工耦合单通道耗时普遍超过 30 分钟，生产良率通常为 70%-80%，而高速率模块对良率的要求已在 90%以上；单模光纤对准精度进入 0.05μm 级后，多通道耦合要求所有通道性能同时收敛至窄目标窗口，手工操作的定位精度与全局寻优能力难以稳定达到要求。全自动耦合系统通过视觉识别与亚微米级运动控制，可将耦合时间压缩至数分钟、良率提升至 90%以上，为高精度、多通道的大规模生产提供工艺基础。

图 78：某智能耦合机结构示意图



资料来源：FUTANSI，财达研究

图 79：某智能耦合机关键技术指标

指标	国内自动化设备厂商	微见智能耦合机
耦合重复性	>0.5dB（波动大）	≤0.20dB
定位精度	±0.3μm ~ ±0.5μm	±0.1μm/0.05um
物料兼容性	单一类型	一机多用
操作依赖	熟练工程师	新手可上手
数据追溯	手动或无实时存储	实时存储+自动上传MES

资料来源：微见智能，财达研究

从行业头部厂商产品看，光电封装自动化设备正从单机走向“组装—测试—检测”一体化产线。在硬件层面，晶圆级测试、晶粒级测试、芯片级测试、模组级测试与光纤耦合、激光焊接、AOI 检测等工序已实现模块化组合，部分系统支持 5-34 轴高精度运动配置与闭环主动耦合，光纤阵列组装设备可实现最高 60 个 FAU/小时的生产率。晶圆级光电测试已从单面测试向双面测试演进，双面测试设备在同一测试单元内集

下载日志已记录，仅供内部参考

成 ATE 电学测试与背面光学测试，为 CPO 量产提供标准化测试单元。在软件层面，统一工艺控制软件将工艺配方、测试程序与生产数据贯通，支持工艺参数在研发与量产设备间直接迁移，并通过数据库记录与 AI 工具优化良率、节拍和设备利用率。

自动化测试单元是产线自动化的关键组成，测试机与探针台、分选器、探针头的集成度持续提升。传统测试单元需要客户自行集成多供应商设备，操作与维护复杂度较高；新一代光电自动测试平台将测试机、光学对准、探针与晶圆处理集成于同一系统，并通过统一软件环境实现多工位并行测试与快速程序开发，降低量产导入成本。随着光模块产线向全流程自动化演进，测试单元正从单机采购转向与前后道设备协同部署的整体解决方案，设备供应商的软件能力、数据接口能力与整线交付能力成为竞争关键。

供给格局：海外龙头产能刚性，国产设备厂商迎来导入窗口

高速光模块扩产放量与海外龙头产能刚性之间的供需缺口，为国产封测设备厂商提供导入窗口。海外龙头订单饱满但扩产存在刚性，订单增速高于收入增速，交付能力难以完全满足 AI 数据中心带动的测试需求增量。

以海外键合设备龙头 ASMPT 为例，据其 2026 年 8 月业绩电话会披露，受外部材料短缺影响，公司设备交付周期已由 3-6 个月延长至 6-9 个月，其中主流业务交期约 6 个月、先进封装业务交期约 9 个月。

国内厂商在采样示波器、误码分析仪、时钟恢复单元及光电子器件测试设备等环节已完成产品布局，部分指标接近或持平国际先进水平，在光模块产业链国产化与供应安全诉求下有望加速导入。

表 16：国内厂商在关键通信测试仪器环节已完成产品布局

厂商	采样示波器	时钟恢复单元	误码分析仪
联讯仪器	65GHz 已量产出货	120GBaud 已量产出货	1.6T 误码分析仪已量产出货
华兴源创（普赛斯）	50GBaud（光 30GHz/电 50GHz）已成熟；100GBaud（光 60GHz）验证中	最高可达 56GBaud	最高单通道信号速率达到 106.25Gbd，可用于 1.6T/800G 模块
华盛昌（伽蓝特）	1.6T 已送样验证	未公开披露最新产品参数	未公开披露最新产品参数
普源精电	自研芯片，但尚未产品化	配套研发	配套研发
鼎阳科技	自研芯片，但尚未产品化	配套研发	配套研发

资料来源：基于联讯仪器、华兴源创、普源精电等公司公开资料整理，财达研究

下载日志已记录，仅供内部参考

重点公司分析

罗博特科：收购 ficonTEC，打造量产级设备制造商

罗博特科于 2025 年 5 月完成对德国 ficonTEC 的全资收购，后者财务业绩自 2025 年 5 月起并表。ficonTEC 是全球光子及半导体自动化封装和测试领域的领先设备制造商之一，构建了覆盖硅光器件从晶圆测试到封装耦合、模块测试的全流程端到端解决方案。主要产品包括两大系列：全自动测试设备系列和全自动组装设备系列。公司是全球少数可以为 800G 及以上硅光或 CPO 光模块提供全自动超高精度组装与测试设备的供应商之一。

表 17：ficonTEC 全自动组装设备系列具体产品

产品系列	功能定位	关键特性
ASSEMBLYLINE（AL）	晶粒级光子器件组装	支持 CPO 芯粒、800G/1.6T 模组；半自动/全自动；至少六轴高精度运动系统；支持环氧树脂贴装、共晶晶粒键合、激光辅助键合；可选配自动工具更换、OCR、晶圆处理能力及扩展测试功能
CUSTOMLINE（CL）	灵活多用途“对准及贴装”平台	至少四轴高精度运动系统；可配置纳米级增强运动及对准精度；可选模块包括加热板、键合力控制及倒装芯片模块
FIBERLINE（FL）	光纤组装	自动化全流程：光纤剥除、切割、机械传输插芯插入、FAU 光学对准；支持最高 60 FAU/小时生产率；3 至 12 自由度运动系统；亚微米级同轴定位与对准
STACKLINE（SL）	激光巴条堆叠/拆解	集成机器视觉系统参考、元件识别及处理、无源对准程序，以及基于 AI 的缺陷识别腔面检测程序
LASER WELDLINE（WL）	光子学微焊接工作站	支持光纤到芯片/封装组装、同轴组件、光隔离器、波分复用元件；集成焊后表徵与测试；提供焊后位移校正能力

资料来源：ficonTEC 官网，财达研究

表 18：ficonTEC 全自动测试设备系列具体产品

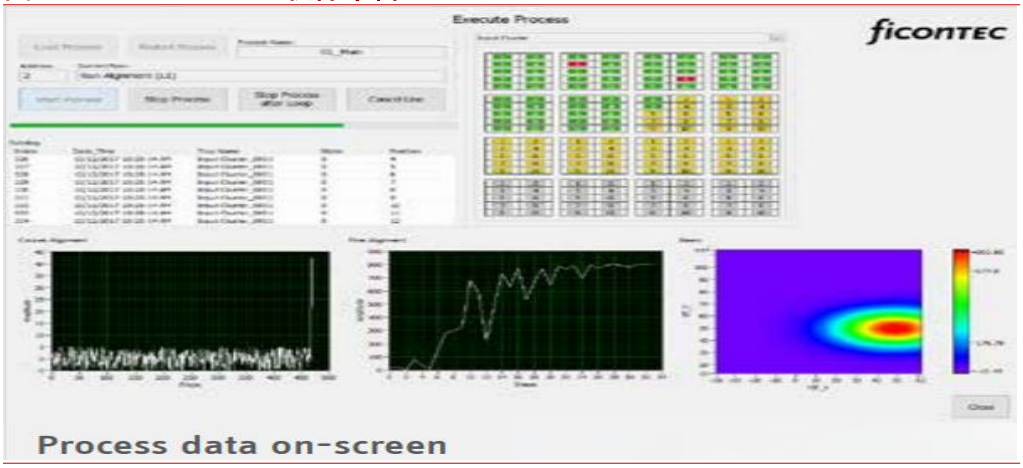
产品系列	功能定位	关键特性
WAFER TESTLINE（WTL）	晶圆级光电测试仪	包含双面晶圆测试机和单面晶圆测试机
DIE TESTLINE（DTL）	晶粒级光电测试仪	支持从毫瓦到数百瓦功率等级；可选配深度学习缺陷识别模块；近场/远场光束表徵
CHIP TESTLINE（CTL）	芯片级光电测试仪	采用专有 PWB 技术，实现共面及非共面光电测试（有别于仅限于共面测试的竞争解决方案）
MODULE TESTLINE（MTL）	模组级光电测试仪	测试集成交换芯片与 CPO 光学引擎的完整模组
AOILINE（AOI）	自动化光学检测	检测精度小至 0.5 微米；集成 AI 人工智能镜检功能；采用高强度闪光技术使检测在运动中完成

下载日志已记录，仅供内部参考

资料来源：ficonTEC 官网，财达研究

公司核心壁垒体现在精密运动控制与光电一体化测试能力。ficonTEC 组装系统直线运动精度达 5 纳米，测试系统直线运动精度达 50 纳米，AOI 检测缺陷尺寸小至 0.5 微米；拥有 PWB 光子引线键合、PCM 软件平台与 20 余年工艺算法库，并采用自研磁浮直线电机轴技术，晶圆测试设备平均无故障时间达 3 万小时。双面晶圆测试设备集成泰瑞达 UltraFLEXplus ATE 与 IG-XL 编程环境，支持上电下光测试；2025 年 6 月推出的单面测试机可兼容不同 ATE 系统。

图 80：ficonTEC PCM 软件平台



资料来源：ficonTEC 官网，财达研究

竞争地位方面，ficonTEC 按 2024 年收入计在全球硅光器件组装与测试设备市场排名第一，份额 25.5%。公司已进入全球顶尖科技企业供应链体系，客户群体涵盖 Intel、Cisco、Broadcom、NVIDIA、台积电、Ciena、Lumentum、法雷奥、华为等。ficonTEC 是全球硅光模块领导企业 Intel 以及 CPO 领导企业 Broadcom 的主要耦合设备供应商之一。在 OCS（光电路开关）方面，公司已取得两条整线设备订单；在 OIO（光输入输出）前沿技术方向，公司持续为头部核心客户提供设备及工艺验证支持。

财务经营方面，2026 年上半年，公司实现营业收入 6.08 亿元，同比增长 144.82%；归属于上市公司股东的净利润 655.68 万元，同比扭亏为盈。得益于 2026 年第二季度光电子及半导体业务的大规模批量化订单开始逐步交付验收，二季度营收较一季度环比显著增长。截至半年报披露日，公司光电子及半导体业务板块在手订单金额约 24.52 亿元尚未确认收入的在手订单金额约 33.86 亿元，在手订单充足，产品覆盖单面/双面晶圆测试设备、可插拔硅光耦合设备、OCS 封装整线等。已披露订单情况如下：

下载日志已记录，仅供内部参考

表 19：2026 年罗博特科已公布订单情况

公告时间	产品类型	客户	订单金额	备注
2025 年 9 月-2026 年 1 月	单面晶圆测试设备及服务	客户 E（纳斯达克上市公司）	累计约 921.60 万美元，其中 2026 年 1 月 26 日签订约 547.20 万美元	量产化订单
2026 年 3 月 13 日	双面晶圆测试设备及服务	未披露	约 608.09 万欧元（不含税，折合约 4,800.66 万元人民币）	ficonTEC 签订的第二批双面晶圆测试设备量产化订单
2026 年 3 月 19 日-3 月 25 日	可插拔硅光技术路线量产化耦合设备及服务	客户 F（纳斯达克上市公司）	累计折合约 6 亿元人民币	适用于高速光模块封装制程核心环节，具备全球领先技术优势
2026 年 4 月 1 日	可插拔硅光技术路线量产化耦合设备及服务	客户 F（纳斯达克上市公司）	约 3,570 万美元（折合约 2.46 亿元人民币）	系前序 6 亿订单后的新一批订单
2026 年 8 月 19 日	适用于光通讯激光泵源模块技术路线核心环节的量产化耦合设备及服务	客户 I（纳斯达克上市公司的子公司）	约 1,620.65 万美元（不含税，折合人民币 1.09 亿元）	
2026 年 4 月 8 日-5 月 1 日	量产化测试、耦合设备及相关服务	公司 B 的子公司	约 2,680 万美元（折合约 1.83 亿元人民币）	—
2026 年 1 月 6 日	全自动 OCS（光交换机）封装整线	未披露（同一交易对手方）	约 770.00 万欧元（折合约人民币，占公司 2024 年度经审计营业收入 5.70%）	ficonTEC 与该客户签订的第二条全自动 OCS 封装整线订单
2026 年 4 月 8 日-5 月 1 日	量产化高精度视觉检测设备、高精度激光 bar 条封装设备及服务	客户 F（纳斯达克上市公司）	约 3,226 万美元（折合约 2.20 亿元人民币）	—
2026 年 7 月 23 日	光纤阵列（FAU）等光学元器件量产自动化制造设备及服务	客户 H（纽交所上市公司子公司）	约 1,674 万欧元（不含税，折合约 1.29 亿元人民币）	占公司 2025 年度经审计营业收入 13.59%；2025 年 5 月并表以来同类交易合计 388 万欧元
2026 年 7 月 10 日-7 月 17 日	车载摄像头装配测试整线设备及服务	客户 G（客户子公司）	约 1,588 万欧元（含 19%增值税，折合约 1.23 亿元人民币）	该客户前四条产线设备均已交付验收完成，系再次签订的新订单

资料来源：罗博特科公告，财达研究

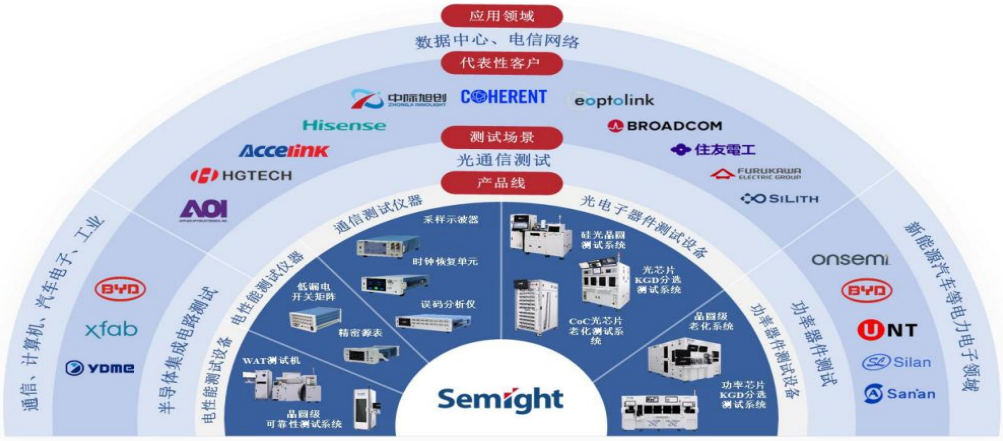
联讯仪器：光通信测试仪器国产替代领军者，卡位 CPO 全栈测试

联讯仪器成立于 2017 年，主营电子测量仪器与半导体测试设备的研发、制造、销售及服务。电子测量仪器包括通信测试仪器和电性能测试仪器；半导体测试设备包括光电子器件测试设备、功率器件测试设备

下载日志已记录，仅供内部参考

和电性能测试设备。公司是业内少数覆盖光通信产业链中模块、芯片、晶圆等核心环节测试需求的厂商。

图 81：联讯仪器产品可覆盖模块、芯片、晶圆等核心环节测试需求



资料来源：联讯仪器招股说明书，财达研究

公司是全球第二家推出 1.6T 光模块全部核心测试仪器的厂商。测试仪器方面，面向 1.6T 高速光模块测试需求的 65GHz 采样示波器、120GBaud 时钟恢复单元、1.6Tbps 误码分析仪、1.6Tbps 光模块测试仪等核心产品已向多家国内外知名用户量产供货；新一代采样示波器可满足 2.4T/3.2T 光模块眼图测试需求，自研采样保持芯片已成功流片，预计 2026 年下半年送样验证。测试设备方面，覆盖 CPO 全环节测试需求，已深度布局裸 Die 级 OE 芯片 KGD 分选测试、光芯片（裸 Die/CoC）测试、硅光 PIC 芯片测试等环节，并持续迭代产品性能。此外，存储芯片测试方面，高速存储芯片测试系统已通过国内头部 DRAM 厂商工程验证，HBM 芯片 KGD 分选测试系统送样验证有序推进。

根据 Frost & Sullivan 数据，2024 年联讯仪器在中国光通信测试仪器市场占据 9.9%的市场份额，位列市场第三，也是前五名中唯一的本土企业。在光电子器件测试设备领域，2024 年公司以 5.2%的市场份额位列国内第一。在中国碳化硅功率器件测试设备市场，公司 2024 年市场份额 21.7%，位列国内第一。2026 年上半年境外收入占比稳步提升至 53.86%，客户覆盖中际旭创、新易盛、Lumentum、Coherent、Broadcom 等国内外主流光通信产业链客户。

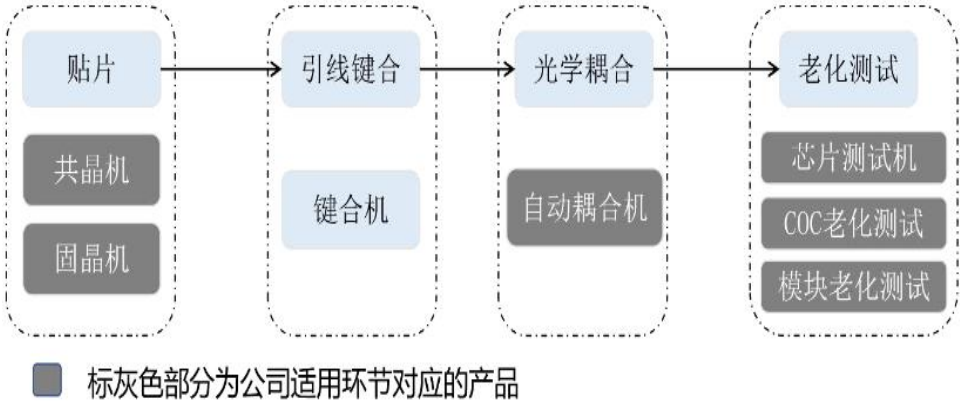
2026 年上半年，受益于 AI 算力需求提升带动高速光通信产品需求高速增长，公司实现营业收入 15.31 亿元，同比增长 208.71%；扣非归母净利润 5.62 亿元，同比增长 944.35%，主要系公司营业收入与毛利率水平的增加。订单与存货方面，截至 2026 年 6 月末，合同负债达 6.49 亿元，较上年期末增长 303.65%；存货为 11.51 亿元，较上年期末增长 129.85%，主要系依托充足在手订单有序备货。

下载日志已记录，仅供内部参考

猎奇智能：光模块封装测试设备细分冠军

猎奇智能成立于 2015 年，专注光通信、半导体及汽车自动化领域智能生产装备的研发与销售。公司产品覆盖光模块封装测试的贴片、耦合、老化测试三大核心环节。公司是国家级专精特新重点“小巨人”企业。2026 年 7 月 31 日，公司创业板 IPO 申请通过深交所上市审核委员会审议。

图 82：猎奇智能产品覆盖贴片、耦合、老化测试三大核心环节



资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

公司已实现高精度共晶贴片设备、高速固晶贴片设备、高精度耦合封装设备、芯片老化测试设备规模化量产，同时攻克了微米级高精度运动控制、动态压力调控、视觉定位耦合、脉冲加热等核心技术。具体产品精度方面：最新一代 EB3300 共晶贴片机设备精度达±1 微米，性能对标 MRSI 等国际龙头；固晶贴片设备精度达±3 微米，与国际龙头 ASMPT 持平；第三代耦合设备实现±0.05 微米级精度，已应用于 800G、1.6T 单模光模块量产。公司产品能够满足 800G 及 1.6T 光模块的大规模量产需求。

根据 Frost&Sullivan 数据，2025 年公司光模块贴片设备全球市场份额达 20%，排名全球第一；光模块耦合设备以 23%的市场份额排名全球第二。公司已成为国内少数能与 BESI、ASMPT、MRSI 等国际巨头正面竞争的供应商，打破了欧美企业在高端设备领域的长期垄断。公司与 2025 年全球前十光模块厂商中的九家保持合作，设备已广泛应用于中际旭创、索尔思、光迅科技、源杰科技等光通信龙头。

2023 年至 2025 年，公司营业收入分别为 2.89 亿元、5.43 亿元和 6.98 亿元；归属于母公司所有者的净利润分别为 0.82 亿元、1.81 亿元和 1.82 亿元。报告期内（2023-2025 年），公司在光通信领域的收入分别为 2.22 亿元、4.19 亿元和 4.98 亿元，占比始终保持在 70%以上。

下载日志已记录，仅供内部参考

表 20：猎奇智能 2023-2025 年营业收入拆分

项目	2025 年度金额	2025 年度占比	2024 年度金额	2024 年度占比	2023 年度金额	2023 年度占比
贴片设备	24,370.66	34.93%	23,718.09	43.71%	9,008.98	31.22%
耦合设备	16,250.69	23.29%	15,102.99	27.84%	9,076.06	31.45%
老化测试设备	7,514.76	10.77%	3,999.73	7.37%	4,865.21	16.86%
自动化设备及整线解决方案	13,564.67	19.44%	6,746.98	12.43%	3,352.59	11.62%
配件及其他	8,061.57	11.56%	4,690.93	8.65%	2,557.12	8.86%
合计	69,762.36	100.00%	54,258.73	100.00%	28,859.97	100.00%

资料来源：猎奇智能招股说明书，财达研究

2026 年上半年，公司实现营业收入 5.81 亿元，较上年同期增长 136.03%；扣非归母净利润 1.43 亿元，较上年同期增长 117.66%。截至 2026 年 6 月末，公司在手订单金额合计约 52.26 亿元。

风险提示

（1）技术迭代不及预期风险。光模块行业正处于从 800G 向 1.6T 乃至更高速率演进的关键窗口期，CPO、硅光集成等新型封装方案亦处于产业化突破阶段。若部分设备企业的技术研发进度无法同步匹配下游客户对更高精度贴片、更高效耦合、更高带宽测试的需求节奏，可能导致产品认证延迟或市场份额流失，进而影响企业的收入增长与行业地位。

（2）AI 算力建设需求不及预期风险。当前光模块及封测设备市场的增长预期高度依赖于全球 AI 算力基础设施的持续扩张。若宏观经济环境恶化、头部云厂商资本开支收缩，或 AI 大模型商业化落地进度低于预期，均可能导致光模块需求放量节奏放缓，下游厂商扩产计划推迟，进而对封测设备订单形成直接冲击。

（3）国际贸易摩擦及供应链风险。光模块产业链高度全球化，上游高端电芯片、光学器件等关键物料主要依赖海外供应商，且部分设备核心零部件的进口渠道亦存在集中度较高的特征。若国际贸易摩擦进一步升级，相关技术或产品出口管制趋严，可能对国内设备企业的原材料供应、产品交付及海外市场拓展造成不利影响。

（4）行业竞争加剧风险。光模块封测设备市场的高景气正吸引更多参与者进入，尤其在技术壁垒相对较低的中低端测试设备和检测设备领域，价格竞争日趋激烈。若企业无法持续通过技术创新构建差异化竞

下载日志已记录，仅供内部参考

争优势，可能面临产品单价下滑、毛利率收窄及客户订单分流等经营压力。

（5）海外并购整合风险。光模块封测设备企业通过跨国并购获取核心技术，但整合效果存在不确定性。若后续年度业绩承诺未能兑现或整合不及预期，可能触发商誉减值及业绩补偿，对公司经营业绩造成不利影响。

（6）客户集中度风险。 光模块封测设备行业下游客户高度集中，设备厂商普遍存在大客户依赖。若主要客户因自身经营波动、资本开支收缩或供应商策略调整而减少采购，将对设备厂商订单和业绩造成较大冲击。

下载日志已记录，仅供内部参考

信息披露

证券分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

股票投资评级说明

【市场指数评级】	看多——未来 6 个月内上证综指上升幅度达到或超过 20% 看平——未来 6 个月内上证综指波动幅度在-20%—20%之间 看空——未来 6 个月内上证综指下跌幅度达到或超过 20%
【行业指数评级】	超配——未来 6 个月内行业指数相对强于上证指数达到或超过 10% 标配——未来 6 个月内行业指数相对上证指数在-10%—10%之间 低配——未来 6 个月内行业指数相对弱于上证指数达到或超过 10%
【公司股票评级】	买入——未来 6 个月内股价相对强于上证指数达到或超过 15% 增持——未来 6 个月内股价相对强于上证指数在 5%—15%之间 中性——未来 6 个月内股价相对上证指数在-5%—5%之间 减持——未来 6 个月内股价相对弱于上证指数 5%—15%之间 卖出——未来 6 个月内股价相对弱于上证指数达到或超过 15%

法律声明和免责条款

1. 财达证券股份有限公司是经中国证监会核准的合法证券经营机构，具备证券投资咨询业务资格，本报告由财达证券股份有限公司研究所编制发布。

2. 本报告仅供本公司客户及特定专业投资者参考使用，不构成任何投资建议、投资邀约或交易推荐，亦不构成任何合同或承诺的依据。

3. 本报告基于公开合法渠道获取的信息、行业公开数据、上市公司公告及合规调研信息进行分析、整理与研判，本公司力求报告内容客观、准确、完整，但不对本报告所载信息的真实性、准确性、完整性、及时性及适用性作出任何明示或默示的保证。报告中的观点、结论、预测及判断均为截至报告发布时点的研究分析，受宏观经济、行业政策、市场环境、企业经营及其他外部不确定因素影响，相关内容存在变更与失效风险，使用者不应将其作为唯一决策依据。

4. 本报告所载全部内容仅为研究人员独立观点，不代表任何政府部门、行业机构及相关主体立场。报告中的前瞻性陈述、估值判断、趋势推演均存在不确定性，所有依据本报告内容作出的投资决策、经营判断及相关行为，均由使用者自行独立判断、自行承担全部风险与后果，本公司及报告撰写人员不对任何直接损失、间接损失、衍生损失承担任何法律责任。本报告版权归财达证券股份有限公司所有。

5. 未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式转载、复制、摘抄、传播、篡改、引用或用于商业用途。对于未经授权的传播及侵权行为，本公司将依法追究其全部法律责任。

6. 本报告面向本公司合规客户及符合监管要求的专业投资者，非公司合规客户、非专业投资者，请谨慎参阅。任何通过非官方渠道获取、转发本报告的行为，均与本公司无关，本公司不承担由此产生的任何责任。

7. 本研究报告严格依照《证券法》《发布证券研究报告执业规范》《证券期货经营机构合规管理办法》等监管规定编制。研究人员秉持独立、客观、公正的执业原则开展研究工作，本公司及研究人员不存在可能影响报告独立性、客观性的利益冲突，不存在利用研究报告从事利益输送、违规推介、误导投资者等违规情形。凡查阅、接收、使用本报告者，即视为已充分知悉、理解并自愿接受本全部法律声明与免责条款约束。

下载日志已记录，仅供内部参考

Information Disclosure

Securities Analyst Certification

The analysts signing this report hold securities investment advisory qualifications granted by the Securities Association of China and are registered as securities analysts. They have prepared this report independently and objectively, with due professional diligence and using lawful and compliant information, and are responsible for its content and views. They have not received, do not receive, and will not receive any form of compensation, directly or indirectly, for the specific recommendations or views in this report.

Equity Investment Rating Definitions

[Market Ratings]	Index	Bullish — the SSE Composite is expected to rise by 20% or more over the next 6 months. Neutral — the SSE Composite is expected to fluctuate between −20% and +20% over the next 6 months. Bearish — the SSE Composite is expected to fall by 20% or more over the next 6 months.
[Industry Ratings]	Index	Overweight — the industry index is expected to outperform the SSE Composite by 10% or more over the next 6 months. Market Weight — the industry index is expected to perform within −10% to +10% relative to the SSE Composite over the next 6 months. Underweight — the industry index is expected to underperform the SSE Composite by 10% or more over the next 6 months.
[Company Ratings]	Stock	Buy — the stock is expected to outperform the SSE Composite by 15% or more over the next 6 months. Accumulate — the stock is expected to outperform the SSE Composite by 5% – 15% over the next 6 months. Neutral — the stock is expected to perform within −5% to +5% relative to the SSE Composite over the next 6 months. Reduce — the stock is expected to underperform the SSE Composite by 5% – 15% over the next 6 months. Sell — the stock is expected to underperform the SSE Composite by 15% or more over the next 6 months.

Legal Notice and Disclaimer

1. Caida Securities Co., Ltd. (hereinafter the "Company") is a lawful securities institution approved by the China Securities Regulatory Commission (CSRC) and is qualified to conduct securities investment consulting business. This report is prepared and issued by the Research Institute of Caida Securities Co., Ltd.

2. This report is intended solely for the reference of the Company's clients and specific professional investors. It does not constitute any investment advice, investment solicitation or trading recommendation, nor does it constitute the basis for any contract or commitment.

3. This report is prepared on the basis of analysis, compilation and evaluation of information obtained through public and lawful channels, publicly available industry data, listed company announcements and compliant due diligence research. The Company endeavours to make the contents of this report objective, accurate and complete, but makes no representation or warranty, express or implied, as to the truthfulness, accuracy, completeness, timeliness or applicability of the information contained

下载日志已记录，仅供内部参考

herein. The views, conclusions, forecasts and judgments set out in this report represent research analysis as at the date of issuance only and are subject to the impact of macroeconomic conditions, industry policies, the market environment, corporate operations and other external uncertainties; such content carries the risk of being changed or becoming invalid. Users should not rely on it as the sole basis for decision-making.

4. All contents of this report represent the independent views of the research personnel only and do not represent the position of any government department, industry body or other relevant party. The forward-looking statements, valuation judgments and trend projections in this report are subject to uncertainty. Any investment decision, business judgment or related action taken on the basis of the contents of this report shall be made independently by the user, who shall bear all risks and consequences thereof. Neither the Company nor the authors of this report shall be liable for any direct loss, indirect loss or consequential loss. The copyright in this report belongs to Caida Securities Co., Ltd.

5. Without the prior written authorisation of the Company, no institution or individual may, in any form, reprint, reproduce, excerpt, disseminate, tamper with or quote this report, or use it for commercial purposes. The Company will pursue full legal liability for any unauthorised dissemination or infringement.

6. This report is directed to the Company’ s compliant clients and to professional investors who meet regulatory requirements. Persons who are neither compliant clients of the Company nor professional investors are advised to review it with caution. Any acquisition or forwarding of this report through unofficial channels is unrelated to the Company, and the Company assumes no liability arising therefrom.

7. This research report has been prepared in strict accordance with the Securities Law of the People’ s Republic of China, the Standards for the Practice of Issuing Securities Research Reports, the Measures for the Compliance Management of Securities and Futures Operating Institutions and other applicable regulatory provisions. The research personnel conduct research work in adherence to the professional principles of independence, objectivity and impartiality. Neither the Company nor the research personnel has any conflict of interest that could affect the independence or objectivity of the report, and there is no instance of using research reports to engage in benefit transfer, non-compliant promotion, misleading of investors or other violations. Any person who consults, receives or uses this report shall be deemed to have fully known and understood, and to have voluntarily accepted to be bound by, all the legal statements and disclaimers set out herein.