

光模块设备行业深度：
AI发展带动光模块需求爆发，
看好封装测试设备商充分受益

首席证券分析师：周尔双
执业证书编号：S0600515110002
zhouersh@dwzq.com.cn

证券分析师：李文意
执业证书编号：S0600524080005
liwenyi@dwzq.com.cn

2026年3月16日

- **AI算力驱动光模块代际升级，设备需求进入高景气周期。** 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，出货结构向高端规格快速倾斜。高速率产品对贴片精度、耦合稳定性、测试带宽与一致性要求显著提升，推动设备向高精度、高自动化、高一致性方向升级。同时，架构由传统可插拔向CPO/OIO演进，新增先进封装与一体化测试需求，带动单位产线设备投资额抬升。需求扩张叠加技术升级，设备端迎来量增+价升的双重驱动。
- **贴片、耦合与测试为高价值核心环节，行业空间快速扩容。** 光模块封装流程涵盖贴片、键合、耦合与测试，其中耦合与测试为价值量最高环节，合计占比超过60%。800G及以上产品对耦合精度提升至0.05 μ m级，对自动化平台稳定性与重复定位能力提出更高要求；测试环节由分立仪器向一体化ATE平台升级，老化测试、功能测试及AOI在线检测成为规模化量产标配。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有望实现翻倍扩容，设备行业景气度具备较强延续性。
- **国产替代+自动化升级+先进封装导入，设备厂商迎结构性机会。** 中低端环节国产化率已较高，但高精度贴片、金丝键合、高端测试仪器等领域仍由海外主导，进口替代空间广阔。光模块行业过往为劳动密集型，随着海外建厂与人工成本上升，自动化、整线化解决方案成为扩产核心路径。进一步看，CPO/OIO将光模块封装推向半导体级先进封装阶段，引入2.5D/3D封装、TSV、混合键合等工艺。
- **投资建议：** 重点推荐罗博特科（耦合设备）、科瑞技术（贴片、耦合机）、凯格精机（封装、贴片机）、博众精工（贴片、耦合机）、普源精电（测试仪器仪表）、奥特维（AOI设备）、快克智能（封装、AOI设备、贴片机等）、天准科技（AOI设备），建议关注猎奇智能（拟上市）（耦合、贴片机）、联讯仪器（拟上市）（测试仪器&测试ATE）。
- **风险提示：** AI算力投资节奏不及预期导致光模块需求放缓、800G/1.6T及CPO渗透进度低于预期、国产替代推进节奏存在不确定性、行业竞争加剧及价格下行风险。



一、AI发展带动光模块需求爆发，CPO等为未来发展趋势

二、光模块三大核心封装测试设备为贴片、耦合、测试仪器仪表&测试机

三、充分受益行业自动化&定制化&国产化需求，未来CPO时代技术持续迭代

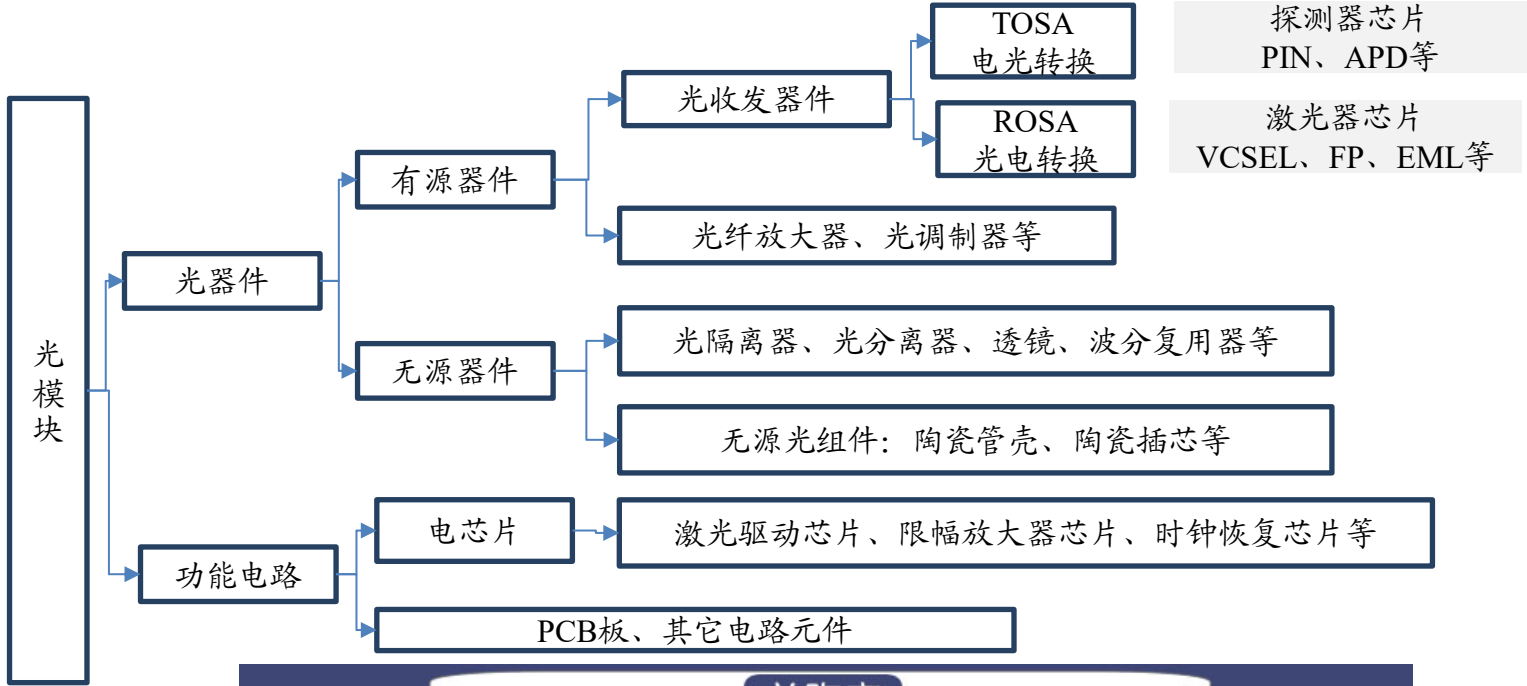
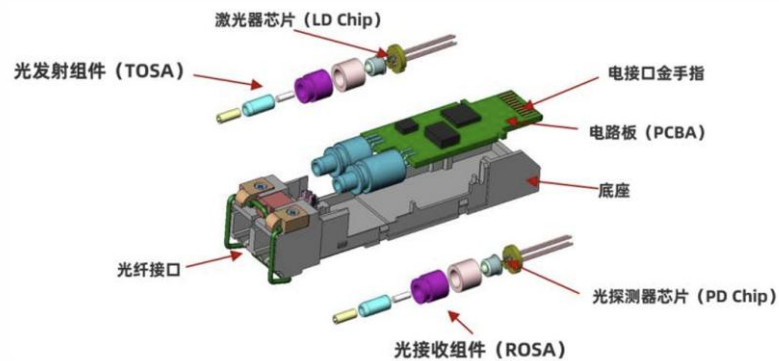
四、重点公司

五、投资建议&风险提示

1.1 光模块为光通信系统中实现信号电-光-电转换的核心器件

- 光通信是以激光作为信息载体，以光纤作为传输媒介的通信方式，实现信号电光/光电转换，将数字信号转化为光通过光纤传输。
- 光模块主要由光发射器件（TOSA）、光接收器件（ROSA）、电芯片、PCB、结构件等组成，其中光发射器件及光接收器件等光器件为光模块核心部件，光器件的核心元件为光芯片。

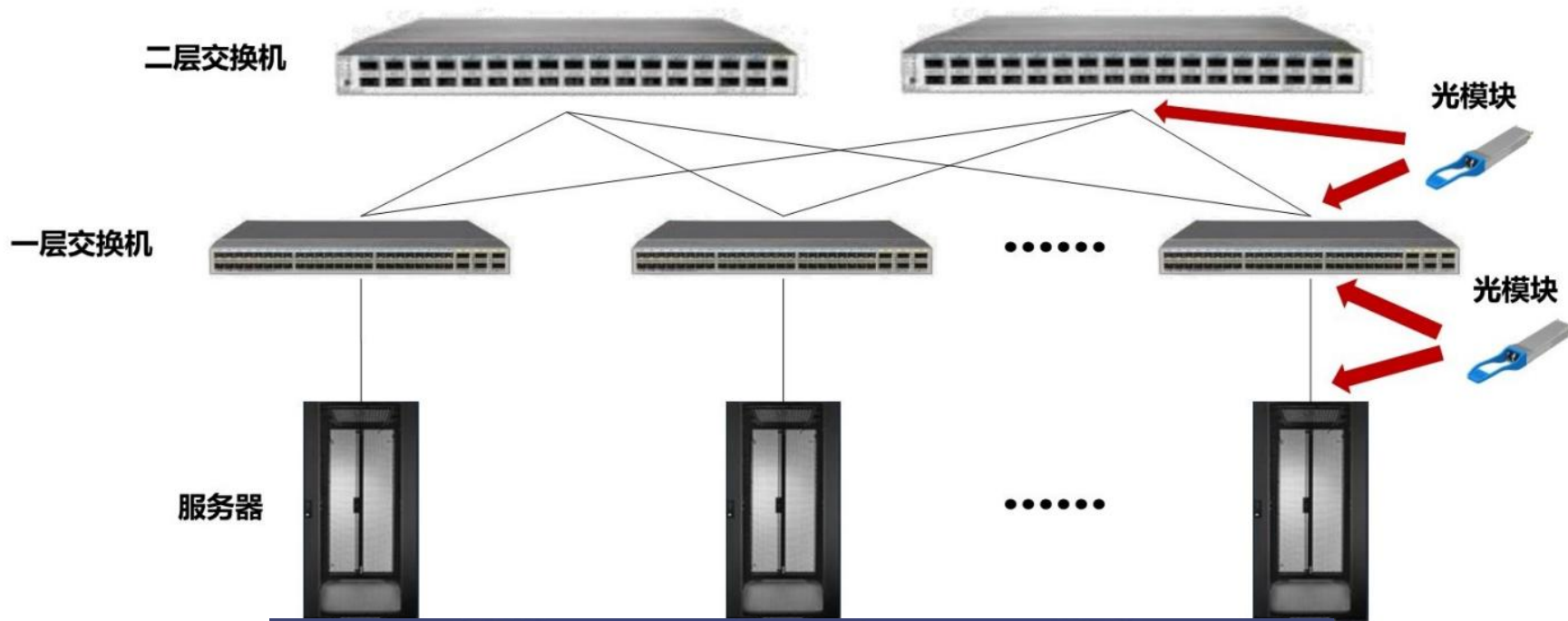
◆ 图：光模块主要由光发射器件（TOSA）、光接收器件（ROSA）、电芯片、PCB、结构件等组成



1.1 光模块为光通信系统中实现信号电-光-电转换的核心器件

- 光模块的主要应用场景是数据中心横向扩展网络（Scale-Out，通常是指通过增加计算节点数量来提升整体计算性能的跨机互联网络）部分。通常用于服务器连接到交换机以及交换机之间的互联。与之对应的，纵向扩展网络（Scale-Up，通常指节点内互联）主要采用PCB和铜连接来实现互联。
- 光模块的连接距离主要涵盖10m（有源光缆AOC），100m（SR型号），500m（DR型号），2km（FR型号），10km（LR型号）等场景，此外还有用于数据中心直连（DCI）的80km的ZR型号。

◆ 图：光模块主要用于数据中心Scale-out部分



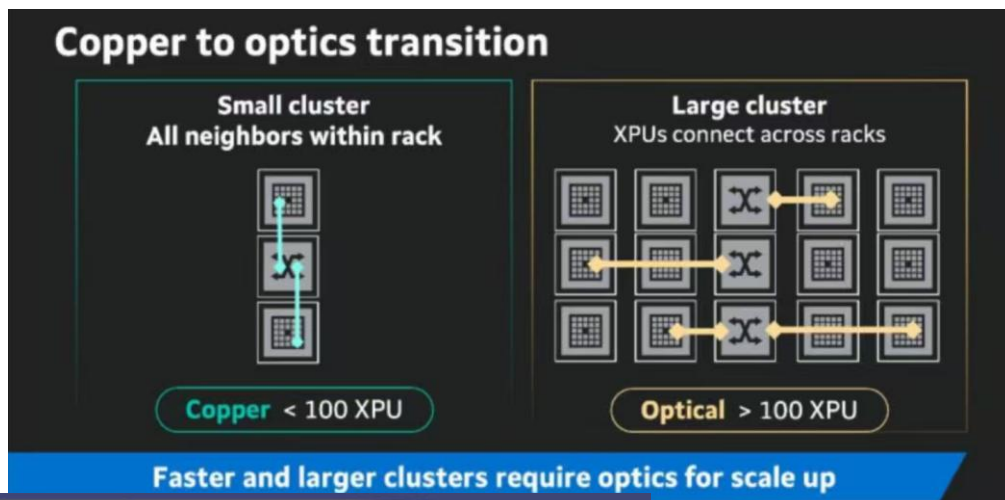
1.1 光模块为光通信系统中实现信号电-光-电转换的核心器件

- 未来Scale-up新增高速率光模块需求，当前Scale-up主要采用PCB和铜连接来实现互联，未来无法满足大规模集群需求。当前单个服务器内GPU、CPU、内存等组件连接在一起构成内部网络，Scale-up网络中不同芯片的连接采用PCIe、NVLink、UALink、CXL等协议；通过PCB上的铜线及PCB间的铜缆进行数据传输。但随着单服务器芯片数量增加，铜缆方案无法满足未来大规模集群的需求。
- 无源铜缆无法解决上述难题，终局将转向Scale-up光互联。在数十颗GPU芯片进行Scale-up组网时，仅依靠封装基板和PCB无法实现芯片互连，需要使用DAC无源铜缆进行连接。然而，当服务器到达百颗XPU时，其功耗上升、信号衰减的现象愈加严重，传输距离显著缩短——例如在112G/lane速率下，传输距离仅在2米以内。当NVLink等协议达到SerDes及接口数量上限，或需要实现更大规模组网时，光互联将成为未来的解决方案。

◆ 图：NVLink服务器内铜线



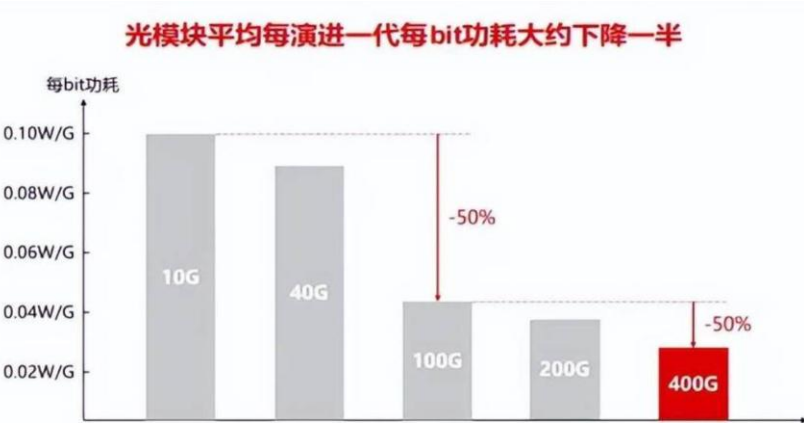
◆ 图：当XPU数量超过百个，Scaleup架构将转向光互联



1.1 光模块为光通信系统中实现信号电-光-电转换的核心器件

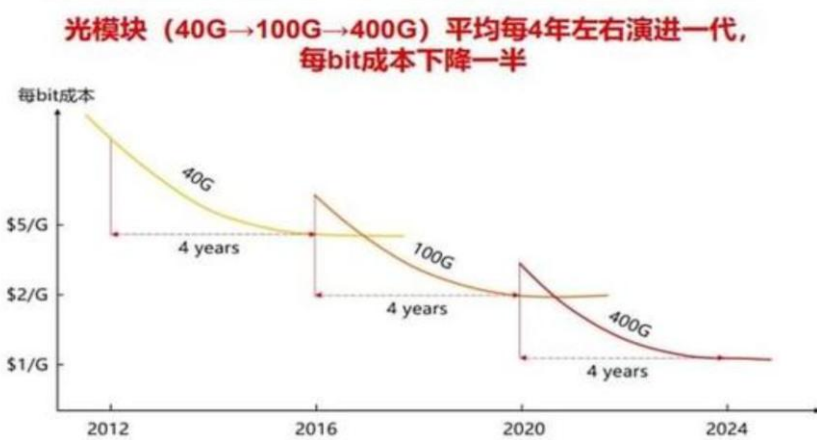
- 光模块根据传输速率可以分为低速模块、中高速模块和超高速模块三类。
①**低速模块**：传输速率 1G/2.5G/10G，广泛用于传统以太网、接入网等领域；
②**中高速模块**：传输速率为 25G/40G/100G，主要应用于 5G 前传、数据中心内部互联等；
③**超高速模块**：传输速率可达 400G/800G/1.6T，可支撑 AI 算力中心、骨干网扩容等应用。
- 对低成本和高效率的追求是驱动模块迭代的核心因素，光电 I/O 带宽每 3-4 年就会翻倍，成本和功耗效率遵循“摩尔定律”
光模块平均每四年左右演进一代，每 bit 成本下降一半，每 bit 功耗下降一半，称为光电领域的“光摩尔定律”。

◆ 光模块演进带来的功耗和成本变化



◆ 图：光模块按传输速率进行分类及其具体应用场景

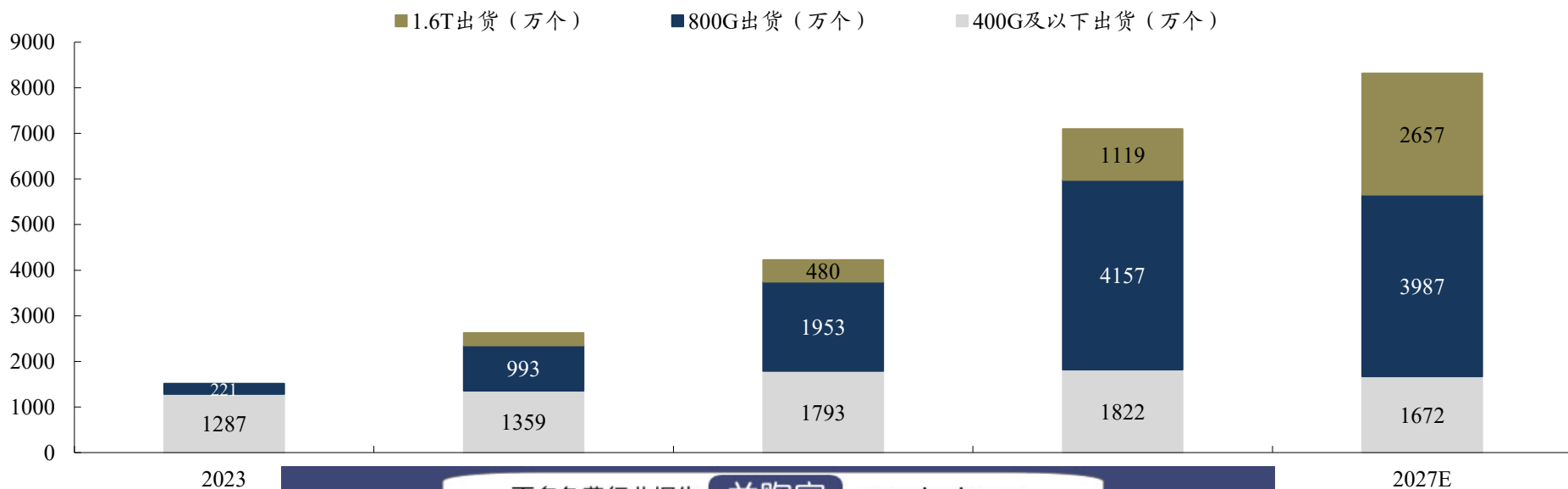
类别	典型传输速率	应用场景
低速模块	1G/2.5G/10G	传统以太网、接入网
中高速模块	25G/40G/100G	5G前传、数据中心内部互联
超高速模块	400G/800G/1.6T	AI算力中心、骨干网扩容



1.2 AI算力快速发展，带来光模块需求爆发

- 高带宽、低延时和高密度是数通市场对光模块的核心需求，需求持续加速放量。光模块速率以 400G/800G 为主，并向 1.6T 演进，并且受到 AI 算力与云计算的需求驱动，技术迭代较快，需求快速增长。微软、谷歌、Meta、阿里巴巴、腾讯、字节跳动等国内外云厂商数据中心采购量逐年增长。
- 全球光模块2026年有望出货7000万支，800G以上有望超过5200万支。2026年全球800G以上光模块加速放量，2025年以来占比超过400G以下，2026年800G预计出货4100万支，1.6T出货1100万支。

◆ 800G/1.6T光模块2026年出货量有望超5200万支

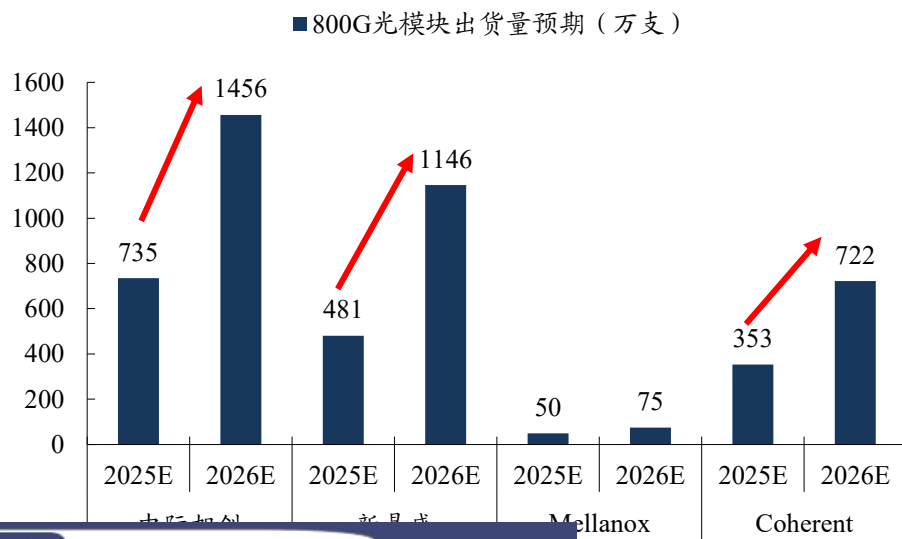
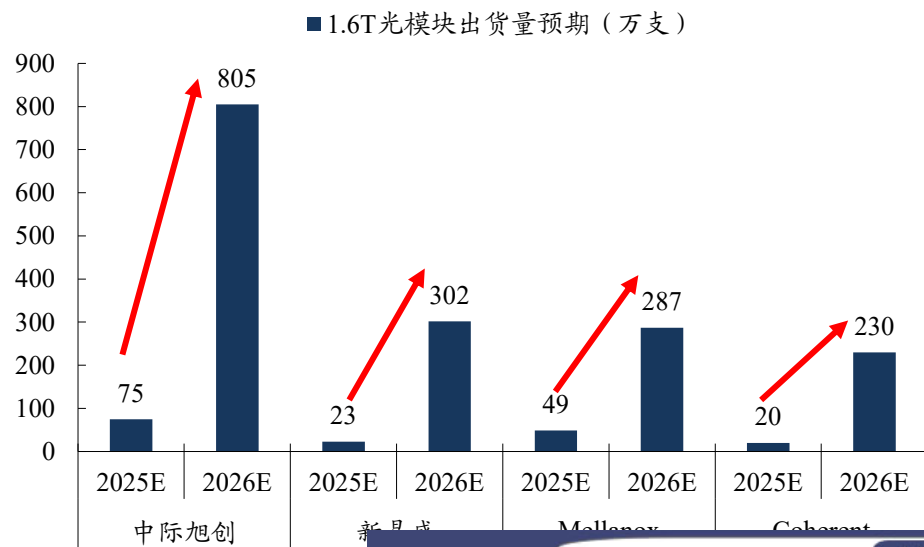


1.2 AI算力快速发展，带来光模块需求爆发

- 头部厂商2026年光模块出货迎来爆发式增长。1.6T光模块方面，预计2026年中际旭创/新易盛/Mellanox/Coherent出货量达805/302/287/230万支，相比2025年实现10倍增长；800G光模块方面，预计2026年中际旭创/新易盛/Mellanox/Coherent出货量达1456/1146/75/722万支，实现翻倍以上增长。2026年光模块的爆发式增长，对光模块企业的扩产能力提出了较大挑战。

◆ 图：1.6T光模块2025-2026年出货量预期（万支）

◆ 800G光模块2025-2026年出货量预期（万支）



1.2 AI算力快速发展，带来光模块需求爆发

- 头部厂商光模块出货迎来爆发式增长，产能加速落地。随着需求爆发，各大厂商加速落地产能布局，中际旭创泰国基地已投产，新易盛、光迅科技等头部厂商加速落地有望带动设备需求落地。同时，为配合海外客户供应链，各大玩家均新建东南亚产能。

◆ 图：各大厂商加速落地产能，并配合海外客户建设海外产能

公司	基地	总产能规划	扩产进度
中际旭创	苏州总部	月产能200万只	已建成
	泰国工厂	月产能50万只	已建成
新易盛	成都总部	-	已建成
	泰国工厂一期	-	已建成
	泰国工厂二期	-	在建
光迅科技	武汉总部	-	已建成
	武汉东湖基地	年产499.2万只光模块	在建
汇绿生态（武汉钧恒）	武汉总部	-	已建成
	鄂州基地	-	已建成
	鄂州二期	-	在建
	合肥基地	-	规划中
	马来西亚基地	-	规划中
Coherent（高意）	美国谢尔曼、瑞典亚尔法拉	2026年底磷化铟产能翻番	产线升级进行中，全球独家6英寸磷化铟生产线
	马来西亚、越南	-	模块组装产能同步扩张，订单已排满2026全年
Lumentum	全球多基地	-	已建成

1.3 当前800G、1.6T仍是可插拔光模块，后续向CPO、OIO迭代

- 光通信器件可大致分为可插拔、近封装和芯片封装级，技术升级主要跟随带宽密度&功耗需求迭代。DPO和LPO为可插拔类型，NPO和CPO为近封装和封装级，而IPO为芯片级。由前到后为技术的迭代，带宽密度从0.1Tbps/mm增至4Tbps/mm，功耗由18pJ/bit降至2-3pJ/bit，集成度不断提高。目前前三者主要用于数据中心scale-out和电信传输，CPO主要用于AI集群scale-up和核心交换机，IPO则用于chiplet化计算芯片互联。
- 目前受限于技术，成熟的方案仍是DPO可插拔式，NPO、CPO和IPO仍处于研发与成长期。随着各大厂商完成CPO、NPO研发，新一代高带宽、低功率光通信技术有望放量。

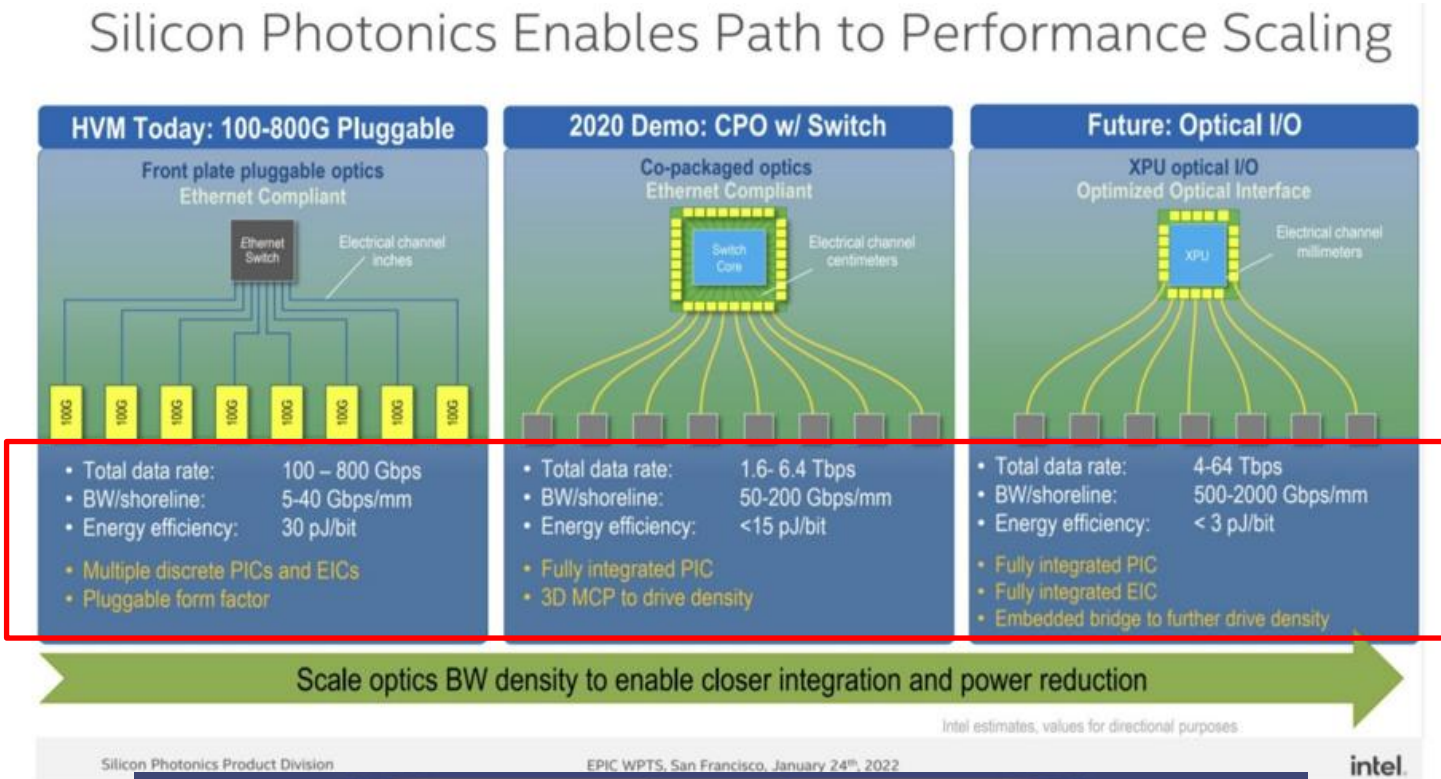
◆ 图：光通信器件可大致分为可插拔、近封装和芯片封装级，技术升级主要跟随带宽密度&功耗需求迭代

类型	光电互联技术	带宽密度	功耗	简介	技术特点	技术成熟度	核心应用场景
可插拔	DPO (Digital Pluggable Optics / DSP-based Pluggable Optics)	~0.1-0.2Tbps/mm	~18pJ/bit	传统DSP热插拔模块	保留完整DSP芯片，具备强大信号补偿和均衡能力，支持长距离传输和复杂链路，功耗较高但兼容性好	成熟（规模化应用）	数据中心Scale-out，电信传输
	LPO (Linear Pluggable Optics)		~8pJ/bit	无DSP，线性直驱热插拔模块	移除DSP芯片，降低功耗和延迟，保留线性驱动器和TIA，适用于短距离连接	成熟	
近封装（芯片临近）	NPO (Near-Package Optics)	~0.5-1Tbps/m	~5-6pJ/bit	Near-Package，近封装	将光模块放置在靠近ASIC芯片的位置（约2-7cm），减少功耗30-50%	相对成熟	
封装级（芯片临近）	CPO (Co-Packaged Optics)	~1-2Tbps/m	~3-4pJ/bit	Co-Packaged，共封装	将光学引擎直接集成到ASIC封装内部，功耗降低50%以上，延迟最低	成长期	AI集群Scale-up，核心交换机
芯片级（Chiplet集成）	IPO (Integrated Photonics Optics / In-Package Optics)	~2-4Tbps/m	~2-3pJ/bit	In-Package，内封装	更进一步的集成方案，将光子器件与电子芯片完全集成	研发/早期探索	Chiplet化计算芯片互联

1.3 当前800G、1.6T仍是可插拔光模块，后续向CPO、OIO迭代

- 可插拔光模块是目前光通信的主流，随着带宽&功耗要求提高，先向CPO/OIO迭代。CPO与Optical I/O都是将光芯片和电芯片在基板上封装在一起的共封装技术，CPO将光电芯片和交换机芯片封装在同一个基板上，不再需要射频走线和Redriver/Retimer等器件；终局OIO直接在基板上连接CPU，GPU，XPU，进一步缩短光通信与算力芯片的间距，达到更低功耗、更高带宽、更低延迟。
- CPO和OIO核心区别在OIO直连电芯片，CPO则还需通过光芯片。CPO速率能够做到1.6-6.4Tbps，功率效率做到<15pJ/bit；OIO进一步将速率提升至4-64Tbps，功率效率<3pJ/bit。

◆ 高速光通信从当前的可插拔陆续将迭代至CPO、OIO



1.4 CPO能耗显著低于可插拔DPO光模块，器件成本整体可控

- CPO可以显著降低光通信能耗，以基于三层网络的 GB300 NVL72 集群为例：①LPO：后端网络从 DSP 收发器切换到 LPO 收发器，可以将总收发器功耗降低 36%，总网络功耗降低 16%。②CPO：完全过渡到 CPO 相比 DSP 光模块，节能效果更为显著——收发器功耗降低 84%——尽管部分节能效果会被交换机中新增的光引擎 (OE) 和外部光源 (ELS) 所抵消，这些组件的总功耗增加了 23%。
- CPO综合成本可控，综合优势优于传统可插拔。在三层网络中从DPO切换到CPO时，CPO组件的额外成本会使交换机成本增加81%，抵消了不购买收发器所节省的86%的成本。尽管CPO的总网络成本仍然比使用DSP收发器低31%，但与电源成本的情况类似，服务器机架在集群总拥有成本（TCO）中占比过高，这意味着集群总成本仅下降了3%。将网络从三层简化为两层可以节省更多成本——集群总成本最多可降低 7%，收发器成本降低 86%，网络总成本降低 46%。

◆ 表：GB300 NVL72集群的四种网络架构功耗和成本对比数据

GB300 NVL72集群的四种网络架构功耗对比								
项目	DSP收发器（3层网络）		LPO收发器（3层网络）		CPO（3层网络）		CPO（2层网络）	
	功率（W）	功率变化（%）	功率（W）	功率变化（%）	功率（W）	功率变化（%）	功率（W）	功率变化（%）
服务器	142,000	0%	142,000	0%	142,000	0%	142,000	0%
光收发器	6,184	0%	3,935	-36%	1,000	-84%	1,000	-84%
交换机	8,014	0%	8,014	0%	9,884	23%	6,336	-21%
光纤、线缆、软件及其他	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
网络部分合计	14,198	0%	11,949	-16%	10,884	-23%	7,336	-48%
其他所有部分	281	0%	281	0%	281	0%	281	0%
总功率	156,479	0%	154,230	-1%	153,165	-2%	149,617	-4%
GB300 NVL72集群的四种网络架构成本对比								
项目	DSP收发器（3层网络）		LPO收发器（3层网络）		CPO（3层网络）		CPO（2层网络）	
	成本	成本变化（%）	成本	成本变化（%）	成本	成本变化（%）	成本	成本变化（%）
服务器	\$4,357,943	0%	\$4,357,943	0%	\$4,357,943	0%	\$4,357,943	0%
光收发器	\$499,925	0%	\$434,146	-13%	\$71,525	-86%	\$71,525	-86%
交换机	\$312,681	0%	\$312,681	0%	\$564,821	81%	\$359,965	15%
光纤、线缆、软件及其他	\$24,338	0%	\$24,338	0%	\$24,338	0%	\$17,723	-27%
网络部分合计	\$836,944	0%	\$771,164	-8%	\$660,684	-21%	\$449,213	-46%
其他所有部分	\$269,152	0%	\$269,152	0%	\$269,152	0%	\$269,152	0%
总成本							\$5,076,308	-7%

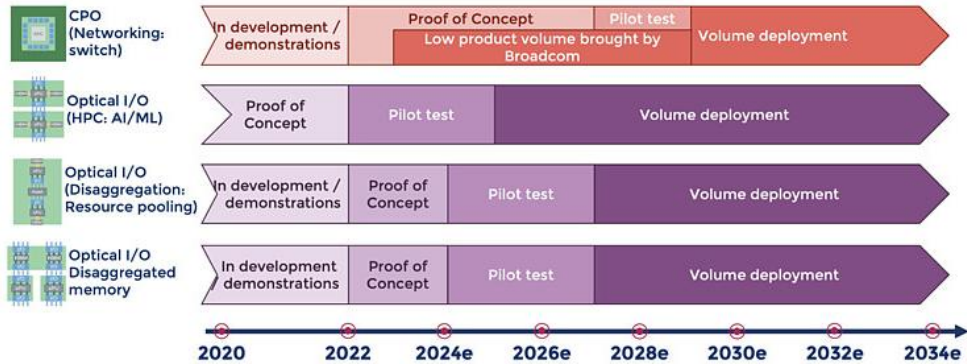
1.5 CPO产业化在即，2030年市场规模有望达到54亿美元

- CPO预计2025年开始小规模量产，OIO2026年有望2026年批量部署。①CPO：2022年完成了概念验证，2023年以来仅博通完成了小批量部署，根据Yole Development预测，预计2028年后有望进行大规模部署。②算力OIO：2022年开始试验，根据Yole Development预测，2026年有望成为OIO元年。
- CPO2030年市场规模有望达54亿美元。CPO2024年市场规模为4600万美元，根据Yole Development预测，预计2030年达到54亿美元，CAGR达121%。

◆ CPO预计2025年开始小规模量产，OIO2026年有望2026年批量部署

2020-2034 CPO TECHNOLOGIES – TIME TO MARKET

Source: Co-packaged Optics for Datacenter 2023 report, Yole Intelligence, 2023

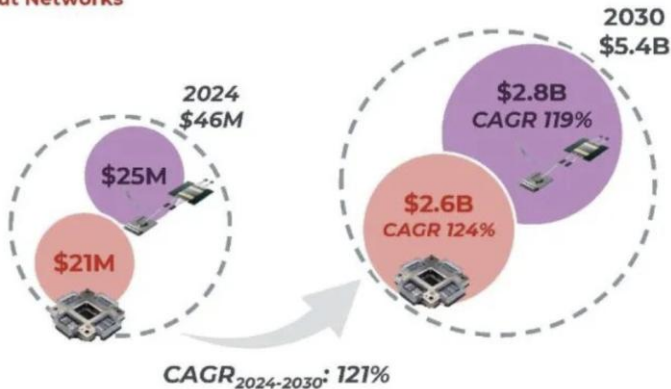


◆ CPO2024年市场规模为4600万美元，预计2030年达到54亿美元

CPO MARKET

Datacom CPO revenue growth forecast: by application (2024 vs. 2030)

- CPO for Scale-Up Networks
- CPO for Scale-Out Networks



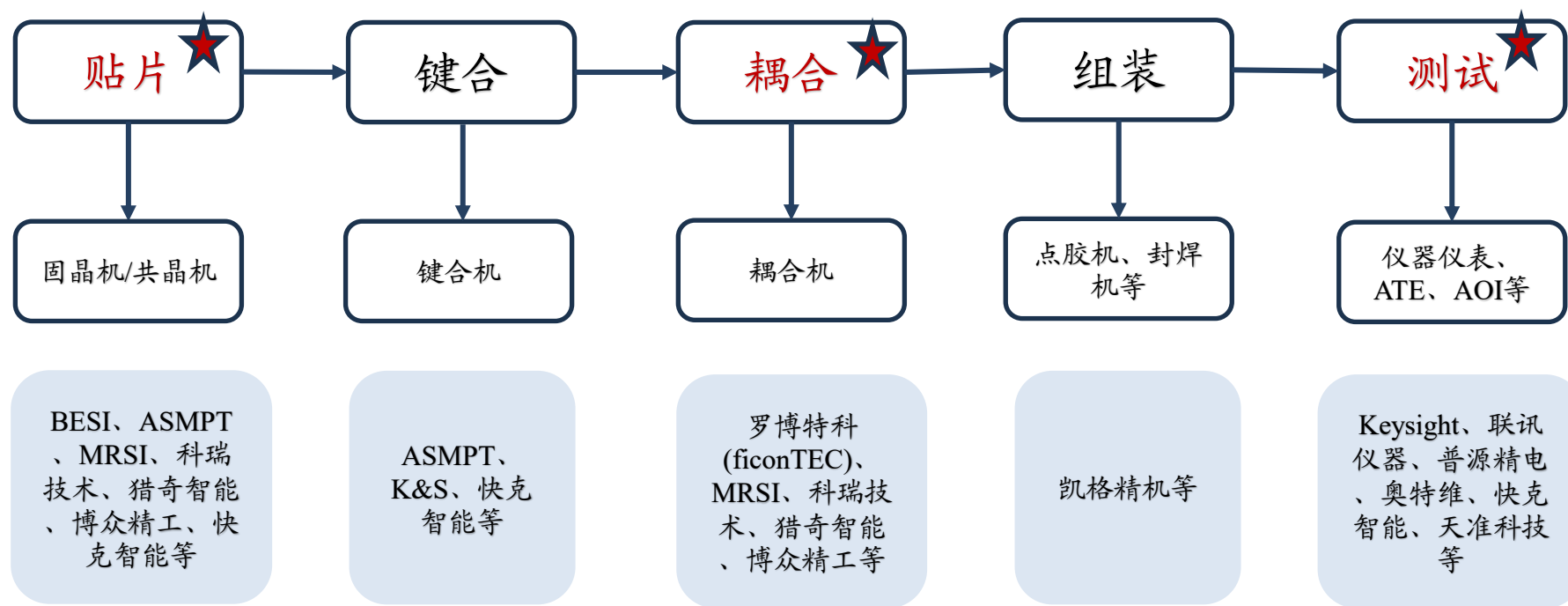


- 一、AI发展带动光模块需求爆发，CPO等为未来发展趋势
- 二、光模块三大核心封装测试设备为贴片、耦合、测试仪器仪表&测试机
- 三、充分受益行业自动化&定制化&国产化需求，未来CPO时代技术持续迭代
- 四、重点公司
- 五、投资建议&风险提示

2.1 光模块封装测试的核心工艺为贴片、耦合、测试

- 传统的光模块封装测试的流程可以概括为贴片、键合、光学耦合、组装、测试等。生产流程的核心是光电器件精密封装 + 光电信号集成 + 全流程可靠性验证。传统分立器件方案以 EML 激光器 + 分立光学件为核心，主打 10G~800G 电数通模块，核心是 TOSA/ROSA 光组件封装，有源耦合是核心瓶颈

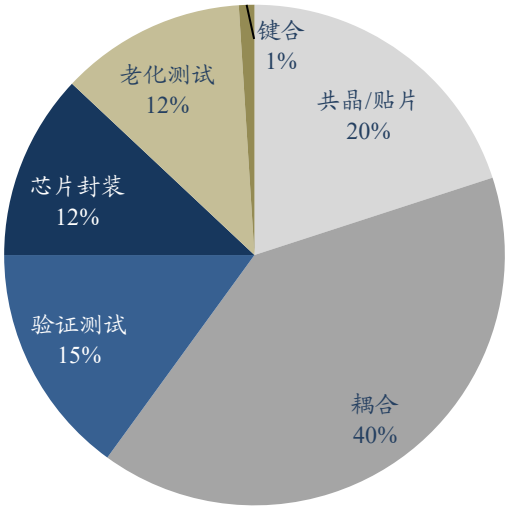
◆ 光模块核心工艺为贴片、耦合、测试



2.1 光模块封装测试的核心工艺为贴片、耦合、测试

- 核心设备包括贴片、键合、光学耦合、组装、测试等。一般来说，每100万支800G光模块设备投入约5亿元，1.6T高10-20%约6亿元，其中耦合设备价值量占比约40%、贴片占比约20%、仪器仪表（验证）测试占比约15%、可靠性和老化测试占比12%、封装占比约12%、键合占比约1%。
- 我们预计到2028年800G及以上光模块设备新增需求超400亿元。其中耦合设备194亿元、贴片设备97亿元、仪器仪表测试73亿元、可靠性和老化测试58亿元、封装58亿元、键合5亿元。

◆ 贴片、耦合和测试设备价值量占比最高



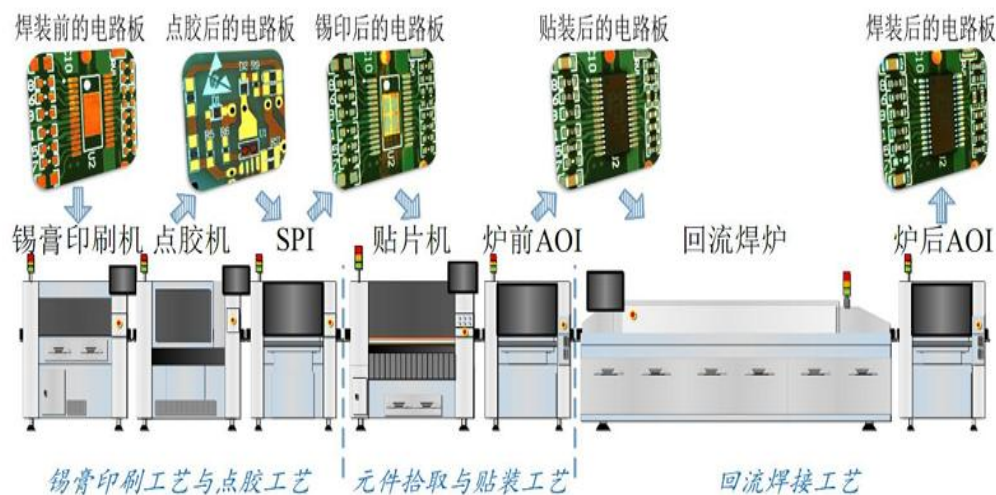
◆ 我们预计到2028年800G及以上光模块设备新增需求超400亿元

	2024A	2025E	2026E	2027E	2028E
800G及以上光模块出货量（万只）	1000	2000	6000	10000	15000
每100万只所需的设备投资额（亿元）	5	5.0	5.3	5.6	6.0
产能利用率	70%	70%	70%	70%	70%
设备总需求（亿元）	71	143	454	800	1286
新增设备需求（亿元）		71	311	346	486
YOY			336%	11%	40%
耦合设备（占比40%）		29	125	138	194
贴片设备（占比20%）		14	62	69	97
仪器仪表测试（占比15%）		11	47	52	73
可靠性和老化测试（占比12%）		9	37	41	58
封装（占比12%）		9	37	41	58
键合（1%）		1	3	3	5

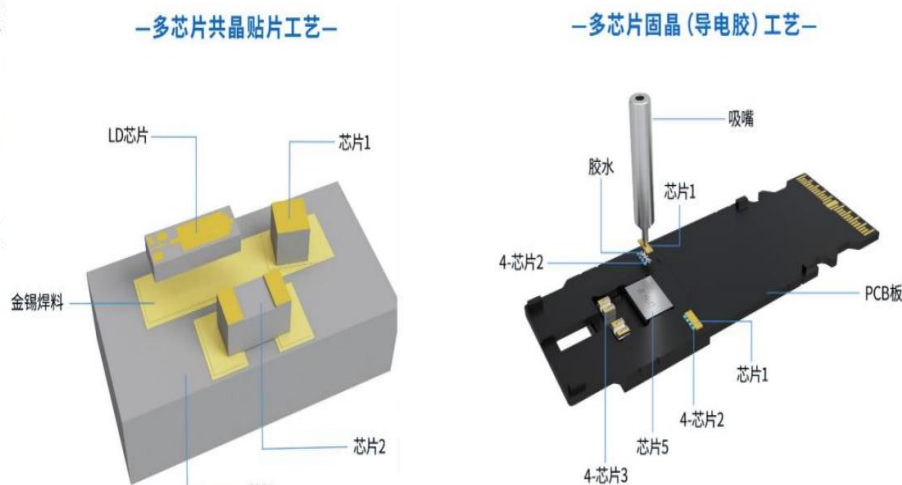
2.2 贴片：主要用于光芯片等器件贴装，效率&良率为核心

- 贴片机是在光模块封装过程中，将光芯片、驱动IC、TIA（跨阻放大器）等光电元器件以高精度和高速度贴装到电路板上的自动化设备。主要流程为，在PCB贴装区域的焊盘上涂覆一层锡膏，将表面贴装元件放置在对应的位置，再通过回流焊使锡膏熔化将表面贴装元件焊接在PCB单侧的焊盘上完成电气连接，能够实现功能复杂的多层电路板封装，更加便于进行自动化生产，提高生产效率。
- 根据工艺不同，贴片工艺可分为共晶和固晶。①共晶贴片：利用低熔点合金材料（如AuSn焊料），在高温高压下使芯片与基板形成共晶结合，适用于激光器、功率器件等高散热、高可靠场景需求的封装，工艺复杂，需精准温控和压力控制。②固晶贴片：利用导电银胶在芯片底部和基板上进行粘接，使用范围广、效率高，适用于电芯片、PD等大批量、常规场景的装贴。

◆ 图：贴片流程包括印锡、点胶、贴片、回流焊及检测



◆ 图：贴片分为固晶&共晶



2.2 贴片：主要用于光芯片等器件贴装，效率&良率为核心

- 贴片设备核心指标在精度、工艺兼容性&升降温速率。①精度：是保证光模块尺寸和良率的关键，当前主流设备加工精度在 $\pm 3\mu\text{m}$ ，偏差角度控制在 $\pm 1^\circ$ 。②工艺兼容性：贴片工艺多样，包括固晶、共晶、多芯片贴片、Flip Chip 等不同工艺，当前设备通常同时支持固晶、共晶、Flip Chip。③升降温速率：焊接升降温速率越高，焊接效率和质量控制越好。
- 光芯片作为光信号收发的核心器件，其贴装精度直接决定后续光耦合效率及信号传输稳定性，是全流程精度要求最高的环节。由于光模块 PCB 尺寸本身较小，大部分高端光模块内部核心光芯片的贴片精度控制仅允许 $\pm 3\mu\text{m}$ 之间，为后续的器件耦合工艺提供足够、稳定的对准误差空间；随着光模块进入800G时代光芯片贴片加工精度提升至 $\pm 3\mu\text{m}$ 。

◆ 图：贴片设备核心指标在于精度、工艺覆盖度&焊台升降温速率

指标类别	指标名称	指标含义	评价方法	主流设备指标
精度	设备&加工精度 XY (@3σ)	设备在 X 轴（水平方向）和 Y 轴（垂直方向）上的定位精度，误差范围通过3σ限定。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	设备精度 $\pm 1.5\mu\text{m}$ 、加工精度 $\pm 3\mu\text{m}$
	芯片旋转	贴片时芯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	偏差角度越小精度越高	$\pm 0.1^\circ$
工艺及兼容性	贴片工艺	贴片工艺可分为固晶、共晶、多芯片贴片、Flip Chip 等不同工艺；通常设备可完成多种工艺。	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	支持固晶、共晶、倒装
	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	100°/S（升温）、60°/S（降温）

◆ 图：贴片精度跟随速率提升

光模块速率	光芯片	电芯片	其他元件
400G	$\pm 5\mu\text{m}$	$\pm 10\mu\text{m}$	$\pm 15\mu\text{m}\sim\pm 35\mu\text{m}$
800G	$\pm 3\mu\text{m}$	$\pm 10\mu\text{m}$	$\pm 15\mu\text{m}\sim\pm 35\mu\text{m}$
1.6T	$\pm 3\mu\text{m}$	$\pm 10\mu\text{m}$	$\pm 15\mu\text{m}\sim\pm 35\mu\text{m}$

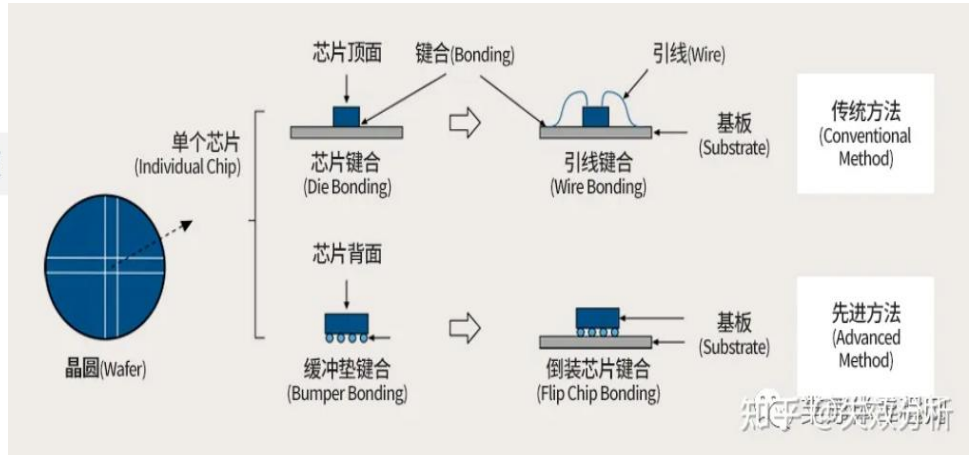
2.3 引线键合：采用金丝键合，形成光模块与基板的高密度互联

- 键合设备是光模块封装过程中的核心设备，主要用于实现光芯片、驱动IC等元器件与基板之间的高精度键合。光模块引线键合需采用金丝引线，通过金属引线将芯片的压焊位连接至印制电路板的焊盘，形成可靠的电气键合。金线直径在所有材料中细化程度最优，能够实现更高引脚密度，提升芯片集成度。
- 相较于硅&碳化硅器件，光模块引线键合通常采用成本更高的金线键合。主要系黄金导电型更好，更适合光通信的高速信号，且光电芯片表面通常镀金，金-金键合界面更加可靠。光模块金线键合占比超95%，硅基芯片键合则主要采用铜线（占比60%），功率器件则主要采用铝线键合。

◆ 图：引线键合设备属于封装环节



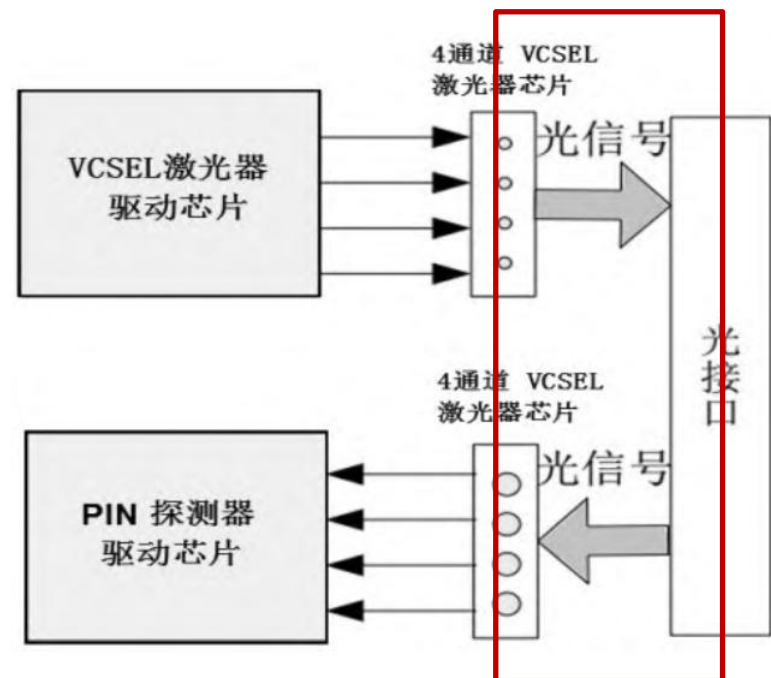
◆ 图：引线键合设备通过引线让芯片&基板互联



2.4 耦合：封装的核心工艺，难点在于低损耗、高效率地对准

- 耦合是将光进行低损耗对准匹配，是光模块封装的关键。光模块里的耦合本质是光的发射端和光的接收端精准对准，让光从一个器件的光出口以最低的损耗、最高的效率完整射入另一个器件的光入口。
- 光的传输特性决定了它对位置偏差极度敏感，对准要求极高。和电子贴片的焊盘对准不同，电子贴片只要金属焊盘接触导通即可， $\pm 20\mu\text{m}$ 都能正常工作，而单模光纤的芯径仅 $9\mu\text{m}$ ，硅光波导的芯径只有几百nm，位置偏差超过 $0.5\mu\text{m}$ ，光功率损耗就会飙升 3dB（一半的光直接漏掉），只有精准对准让两个器件的光模式完美匹配，才能保证光模块的发射 / 接收性能达标。

◆ 图：耦合是将光从发射端精准摄入到接收端



◆ 表：耦合的关键量产指标

指标	定义	量产要求
插入损耗 (IL)	光传输的功率损耗，单位 dB，越低越好	单段耦合 $\leq 0.5\sim 1\text{dB}$
对准公差	损耗增加 0.5dB 时，允许的最大位置偏差	公差越大，工艺容错率越高
回波损耗 (RL)	反射光的比例，越高越好，避免干扰激光器	$\geq 40\text{dB}$
可靠性	高低温 / 振动后，损耗变化量	$\leq 0.3\text{dB}$ ，满足 10 年使用寿命

2.4 耦合：封装的核心工艺，难点在于低损耗、高效率地对准

- 耦合可以分为有源耦合和无源耦合。（1）有源耦合：又称为主动对准（Active Alignment），需要边发光边调整，效率很低，设备、人工成本很高，适用于传统可插拔光模块；（2）无源耦合：被动对准（Passive Alignment），不靠实时寻光，全靠事前精度控制一次性对准，效率高且省设备省人工，适用800G等高速光模块、CPO等。

◆ 图：耦合可以分为有源耦合和无源耦合

	有源耦合	无源耦合
定义	边发光、边监测、边动态调整：给发射端器件通电发光，接收端实时监测光功率，通过六轴精密运动平台，纳米级微调器件的位置，找到光功率最大、损耗最低的最佳对准点，再完成永久固化。	不依靠实时寻光，事前精度控制一次性对准：完全不做通电发光、动态微调，只靠器件上的高精度定位标记、超高精度贴片工艺，一次性把两个光学器件贴到设计的理论对准位置，贴装同时完成对准与固定
耦合效率	效率低：单通道耦合耗时10-60秒，800G甚至要4分钟，多通道需逐路操作，是量产瓶颈	效率高：单通道耦合耗时可降至1秒内，多通道可一次性并行对准
生产成本	设备成本极高，单台六轴对准台几十万到上百万元；人力、时间成本高，占光模块封装工时的40%以上	省去昂贵的有源对准台，设备、人力成本大幅降低
适配场景	传统 10G/25G/100G/400G 分立光模块的 TOSA/ROSA 封装、电信级高可靠光模块、对损耗要求极致的单通道高速器件	800G/1.6T 硅光可插拔光模块、CPO/NPO 高密度光引擎、多通道并行光学组件
精度要求	对前期贴片精度、器件公差容忍度高，贴片偏差可通过对准弥补	对器件光刻精度、贴片精度要求极高，公差要求达亚微米级，前期投入大

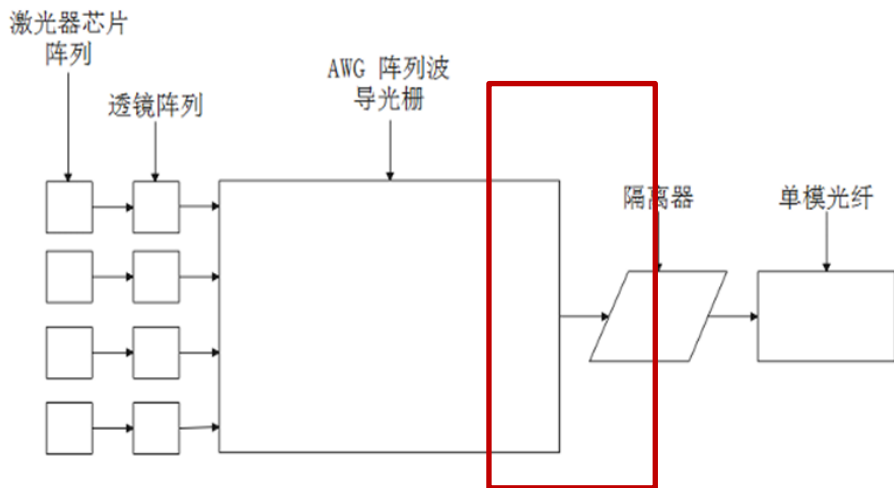
2.4 耦合：封装的核心工艺，难点在于低损耗、高效率地对准

- 以有源耦合为例，工序可以分为6步——预固定、装夹定位、通电发光、扫描对准、固化锁定、后检复测。
- 发射端和接收端均需要耦合。以接收端为例，AWG（阵列波导光栅）将多波长光信号分离后，通过自由空间或波导将光信号传输至PD（光电二极管）的光敏区域。PD将接收到的光信号转换为电信号，完成光信号到电信号的转换。

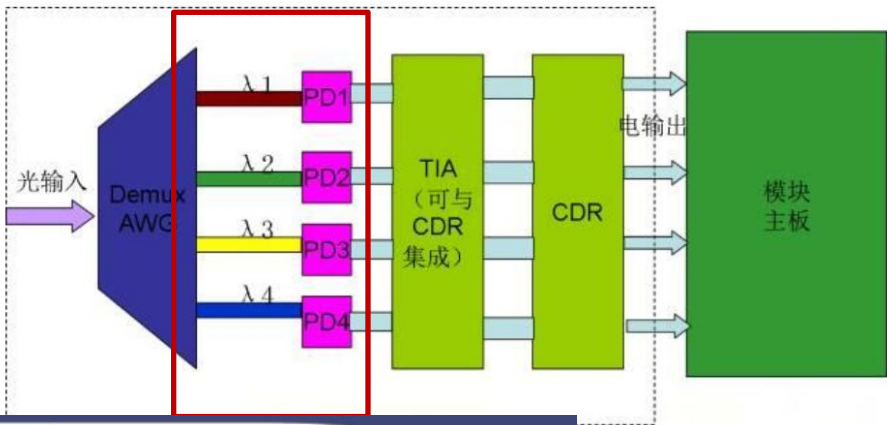
◆ 图：以有源耦合为例，工序可以分为6步

- 1、预固定：把激光器芯片（EML/DFB）、准直透镜预贴在管壳/基板上；
- 2、装夹定位：将光纤或接收端器件固定在六轴精密运动平台（定位精度达纳米级）；
- 3、通电发光：给激光器加驱动电流，使其正常工作发光；
- 4、扫描对准：先大范围扫描捕捉光信号，再小范围纳米级微调 X/Y/Z/ 俯仰6个维度，实时读取光功率，锁定最优耦合点；
- 5、固化锁定：在最佳位置通过UV胶、激光焊接完成永久固定；
- 6、后验复测：固化后再次测试光功率，确认损耗在合格范围内

◆ 发射端原理图：光束通过AWG合波后，由耦合设备将光束对准并耦合至光纤



◆ 接收端原理图：光束通过AWG合波后，由耦合设备将光束对准并耦合至光纤



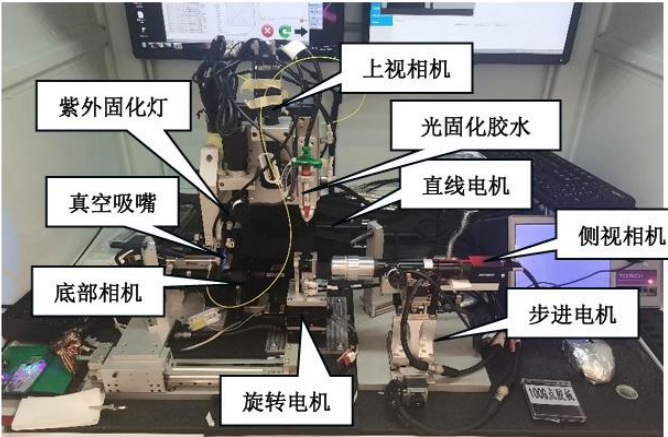
2.4 耦合：封装的核心工艺，难点在于低损耗、高效率地对准

- 耦合设备主要完成实时寻光→纳米级微调→锁定固化的目的。实现光芯片与光纤之间高精度光学互连的精密对准与固定，核心功能是通过对准与模场匹配，将光芯片发出的光束高效耦合进光纤（或反向接收）。
- 随着光模块/硅光器件复杂化，当前手动耦合平台正逐步被自动化耦合平台替代。手动平台虽具备灵活性高、调试直观、初期投入低的优势，但存在效率低下、一致性差、对操作人员技能依赖度高、难以满足多通道并行耦合需求等局限，因此高速光模块产线正加速向自动化耦合转型。当前可插拔光模块良率的要求普遍在90%以上，而手动耦合平台的良率往往只能70-80%，自动化需求紧迫。

◆ 表：耦合设备的主要结构件

部件	功能
六轴精密运动平台	相当于设备的“手”，是实现纳米级对准的核心。一般为双工位设计，一边固定发射端（激光器、TOSA底座、透镜），一边夹持接收端（光纤、PD 组件）；可实现 X/Y/Z 三个直线轴的纳米级移动，搭配 Rx/Ry/Rz 三个旋转轴的秒级角度微调，分辨率最高可达10nm 级，能全方位调整器件的位置和光轴角度。
光电实时监测系统	相当于设备的“眼睛”，核心是高速光功率计、采样模块，能毫秒级读取当前耦合的光功率数值，实时反馈给运动控制系统，形成闭环微调，直到找到光功率最大、损耗最低的最佳耦合点。
原位固化系统	对准完成后，瞬间完成位置锁定，避免位移。主流集成两类固化单元：一是 UV 紫外灯（适配 UV 胶固化，几秒内完成固化），二是激光焊接头（适配金属件激光熔接，无收缩、高可靠，用于电信级器件）。
定制化夹具与上料	用来固定管壳、器件、光纤尾纤，适配 TO 封装、蝶形封装、BOX 封装等不同形态的光器件

◆ 耦合设备的示意图



数据来源：基于AWG光接收组件

2.4 耦合：封装的核心工艺，难点在于低损耗、高效率地对准

- 耦合设备核心性能围绕精度、效率与工艺兼容性。
- ①精度：硅光子芯片、超高速率光模块（如800G/1.6T）的耦合环节要求0.05μm级重复定位精度，需采用主动耦合技术实现动态优化；中高速率光模块（如100G/200G）的耦合精度要求为0.1μm重复定位精度，可通过被动对准技术实现成本与性能的平衡。
- ②兼容性：硅光子兼容封装需支持硅基光波导与光纤的三维耦合，设备需集成高精度视觉识别与纳米级位移控制模块；而TO、BOX等传统封装形式，设备需具备多夹具快速切换与多光源适配能力。
- ③效率：设备生产效率决定成本&产能。

◆ 图：耦合设备关键是对准精度

指标名称	指标含义	评价方法
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（X/Y）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
X/Y/Z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 or 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

◆ 图：耦合设备国内玩家主要参数情况

关键指标参数	猎奇智能	镭神技术	FiconTEC
X/Y/Z轴重复精度	±0.05μm	±0.05μm（单模） ±0.3μm（多模）	±0.02μm
XYZ轴分辨率	10nm	-	5nm
设备性能及特有技术	支持全自动，配备直线电机	-	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	-	fast alignment技术，能做到一维和二维快速扫描

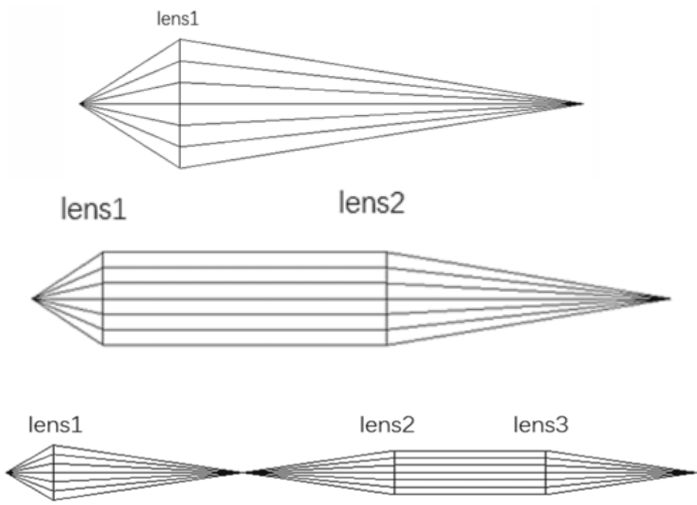
2.4 耦合：封装的核心工艺，难点在于低损耗、高效率地对准

- 除了设备外，元器件的选择也至关重要，如光模块中用到的透镜。不同的材料选择根据其折射率，热光系数，稳定性和透光率等物理特性的不同，具有不同的适用场景。
- 同时存在多种透镜设计方案，诸如单透镜、双透镜、三透镜方案，如右下图所示。经过实验可以得出，透镜数量越多造成的容差就会越大。需要综合协议标准、客户要求以及生产的难易程度来综合考虑。

◆表：透镜方案、材料多样，复杂度提升

透镜材料	颜色	优点	缺点	适用场景
玻璃	透明	热膨胀系数和热光系数较小，稳定性好，而且紫外光透过率高。	非球透镜成本很高	单模产品
硅	黑色	通信波段透明，半导体加工性能好，折射率高达3.5，有效焦距很短，因而光路尺寸非常紧凑,同时它的成本比较低。	热光系数比较大，且对紫外光不透明，不利于耦合胶的固化，	单模产品
塑料 (PC,PMM A,PEI)	浅黄色	良好的温度稳定性、抗环境老化能力、成本低	膨胀系数和结构稳定性比玻璃还差，透光率不如光学玻璃	多模产品

◆图：单/双/三透镜方案是当前主流



2.5 测试：仪器仪表&测试机为关键，负责光学、电学、可靠性测试等

- 光模块测试与半导体测试不同，最大差异在于半导体是纯电学的测试，而光模块是光+电的测试。传统半导体测试（IC 芯片 / 功率器件）的核心是纯电域内的电信号输入 - 输出特性验证，围绕电信号展开；光模块测试的核心是电 - 光 - 电跨物理域的全链路闭环验证，同时覆盖高速电学、精密光学、光电转换效率、光信号完整性等，所有性能指标环环相扣，无法像半导体测试那样拆分独立验证。

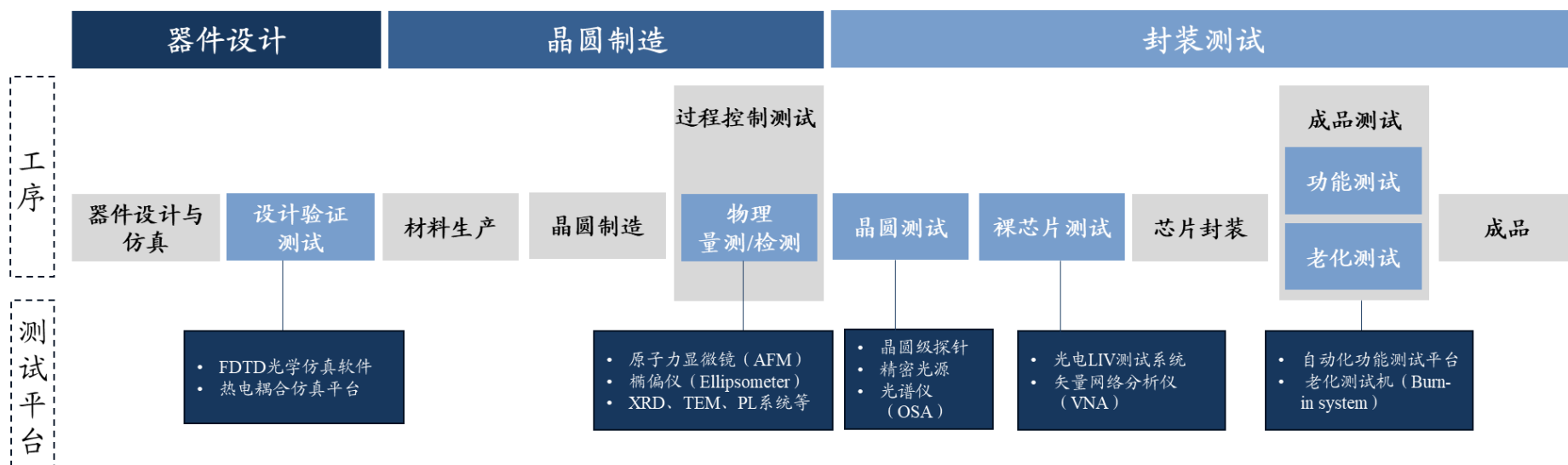
◆表：光模块测试与半导体测试的差异

维度	传统半导体测试	光模块测试
设备种类	核心是半导体原生 ATE（自动测试设备），分为数字、模拟 / 混合信号、功率器，配套探针台、分选机等	1、核心计量单元：光电测试仪器仪表（高速误码仪、高带宽示波器、光谱分析仪、光功率计等）；2、量产执行载体：光电集成 ATE 系统，将仪表模块集成，搭配自动化机构、温控单元
设备核心难点	多通道并行测试能力（单台设备上千个数字通道）、同测效率、测试向量深度、数模混合信号同步精度	高频带宽（112G/224G PAM4）、光电同步测试精度、光学测量稳定性、多通道光电协同能力、高速率迭代适配能
设备本质差异	半导体 ATE 的测量能力是原生集成的，本身就是核心计量单元	光模块 ATE 本身无原生测量能力，所有测试数据全部来自内置的仪器仪表模块，本质是自动化集成平台
设备生命周期	迭代慢，一台 ATE 可适配多代芯片，生命周期 5-10 年	迭代极快，光模块速率每 2-3 年翻倍，测试仪表必须同步换代，老设备完全无法适配新一代高速率产品
核心测试参数	工作电流、阈值电压、导通电阻等	发射光功率、中心波长、消光比、边模抑制比、光电转换效率、光眼图、全链路误码率（电入光出 / 光入电出），纯电学测试没有意义

2.5 测试：仪器仪表&测试机为关键，负责光学、电学、可靠性测试等

- 光模块测试可以分为通用仪器仪表与专用自动化测试设备两大类。
- （1）光测试仪器仪表：是具备独立精准测量能力的核心计量单元，是光模块性能测试的标尺，直接决定了测试的精度上限、带宽上限、可测参数边界，是研发验证的核心，也是所有量产测试设备的内核。
- （2）光模块测试设备/系统：是围绕量产/特定场景，将多台测试仪表、自动化执行机构、工装夹具、环境控制单元、数据管理系统集成的成套量产执行系统，核心解决大规模测试的效率、自动化、一致性、全流程管控问题，是光模块产线的核心量产工具。

◆ 图：光模块的测试类似半导体测试，也可以分为设计端、晶圆端、封测端



2.5.1 仪器仪表：主要分为发射端/接收端两大类，核心为示波器和误码仪

- 在光模块测试过程中，通常按照信号传输方向，将测试划分为发射端（Tx）与接收端（Rx）两大类。（1）发射端测试：主要关注光信号调制质量与光学性能，涉及眼图、抖动及TDECQ等关键指标；（2）接收端测试：则侧重误码率、接收灵敏度及系统级通信能力验证。相关测试通常通过采样示波器、误码分析仪及网络测试仪等测试仪器完成。
- 难度最高、技术壁垒最厚、海外垄断最牢固、国产替代最难的是高速误码仪（BERT）和高带宽实时示波器。需要用到超高速DAC/ADC、线性驱动芯片、限幅放大器、时钟芯片，这类芯片的设计、制造、封测门槛极高，且优先供给是德、安立等海外龙头，国内厂商的芯片供应链受限，是最底层的卡脖子环节。

◆ 图：光模块测试仪器主要分为发射端/接收端两大类

测试对象	测试内容	主要测试仪器	覆盖核心指标 / 典型用途
光模块发射端 / 光发射器件 (TOSA)	光信号质量与调制性能测试	采样示波器、时钟恢复单元 (CRU/CDR)、波长计	眼图、抖动、TDECQ、消光比 (ER)、光信号波长与功率
	光谱与功率特性测试	光功率计、光谱分析仪 (OSA)	输出光功率 (AOP/OMA)、中心波长、光谱宽度
光模块接收端 / 光接收器件 (ROSA)	接收灵敏度与误码性能测试	误码分析仪 (BERT)、突发误码分析仪	误码率 (BER)、接收灵敏度、抖动容限
	系统级通信与协议验证	网络测试仪	连续信号误码测试、PON 突发信号测试、以太网跑流测试

2.5.1 仪器仪表：主要分为发射端/接收端两大类，核心为示波器和误码仪

- 光模块所用的仪器仪表核心为示波器和误码仪，其核心指标主要为通道带宽、单通道最高传输速率等。采样示波器一般衡量指标为通道带宽，意味着测试的光信号频率范围，数值越高，性能越高；误码仪一般核心指标为单通道最高传输速率，意味着单通道能够支持的最高波特率,数值越高，性能越高。
- 国内布局光模块仪器仪表的主要为联讯仪器、普源精电等，布局示波器等产品，且均有芯片自研能力，能够提供高端光模块测试仪器。

◆ 图：光模块测试仪器主要技术参数（以联讯仪器和海外龙头对比为例）

产品	核心指标	指标含义	联讯最高水平		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	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	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	PBT3058	113.44GBaud	Keysight,8050A	120GBaud
快速波长计	波长测量精度	光波长测量结果与实际波长值之间的最大偏差，数值越低，性能越高	FWM8612	0.5pm	HighFinesseWS8-10	0.064pm
低漏电开关矩阵	失调电流	两个差分输入端偏置电流的误差，数值越低，性能越高	RM1010-LLC	100fA	Keysight,B2200A	10fa

2.5.2 测试机：老化测试&ATE为核心设备，负责可靠性&电学功能测试

- 测试整机主要包括老化测试设备与自动化测试设备（ATE）两大类。
- 老化测试设备用于在高温通电条件下验证芯片、组件及整模块的可靠性，常见分为三类：① 芯片级老化测试：面向激光器、Driver、TIA、DSP 等关键芯片，用于早期失效筛选。该类设备为价值量最高子项，2024 年市场规模达 16.3 亿元，占比超 30%。② CoC / 子组件级老化测试：用于 CoC、TOSA、ROSA 等封装后组件的光电功能与焊接可靠性验证，定制化程度高，应用于中间工序。③ 模块级老化测试：整模块装配完成后的客户验收关键环节，覆盖高温通电、通信监控、老化前后测试，部署最广、需求最刚性。
- 自动化测试设备用于量产过程中的功能性测试，是保障节拍效率与一致性的核心设备。模块级 ATE 平台主要在老化前后执行上电、功耗、电压、电流、I²C/EEPROM 通信与 TX/RX 通路等测试，替代传统仪器 + 人工流程，支持高并发与标准化判定，已成为高速模块量产的标配配置。

◆ 图：光模块测试设备主要包括老化测试设备与自动化测试设备（ATE）两大类

测试设备大类	细分类型	被测对象	主要测试内容	典型应用位置	设备属性 / 价值点
老化测试设备	芯片级老化测试	激光器芯片、Driver/TIA/DSP 芯片	高温通电、电学参数稳定性、早期失效筛选	器件厂 / 模块厂来料或封装前	价值量最高子项，占光模块高端封测设备市场30%以上
	CoC / 子组件级老化测试	CoC、TOSA、ROSA 等	高温通电、基础光电功能、封装与焊接可靠性	子组件封装后、模块集成前	筛除封装缺陷，设备定制化程度高
	模块级老化测试	100G / 400G / 800G 光模块	高温通电、通信状态监控、功耗/告警监测、老化前后功能测试	模块装配完成后、出货前	客户强制配置环节，覆盖最终装配后的整机可靠性验证与出货筛选。
自动化测试设备（ATE）	模块级自动化测试平台	完整光模块	上电、功耗、电压电流、I ² C/EEPROM、TX/RX 基本功能、状态位判定	老化前 / 老化后	量产节拍核心设备，决定 UPH、人效与一致性

2.5.2 测试机：老化测试&ATE为核心设备，负责可靠性&电学功能测试

- 国内头部企业猎奇智能、联讯仪器技术水平可对标国际一流水平。衡量光模块老化测试设备性能的核心指标主要包括容量类（如层数、芯片数）、温控性能（温度范围、稳定性、均匀性）以及ACC 测试能力（电流精度、电流分辨率）等。从参数对比来看，国内头部企业如猎奇智能与联讯仪器在关键性能指标上已基本达到国际一流水平，在芯片数/载具、温度范围、温度均匀性等方面具备较强竞争力，逐步实现进口替代。

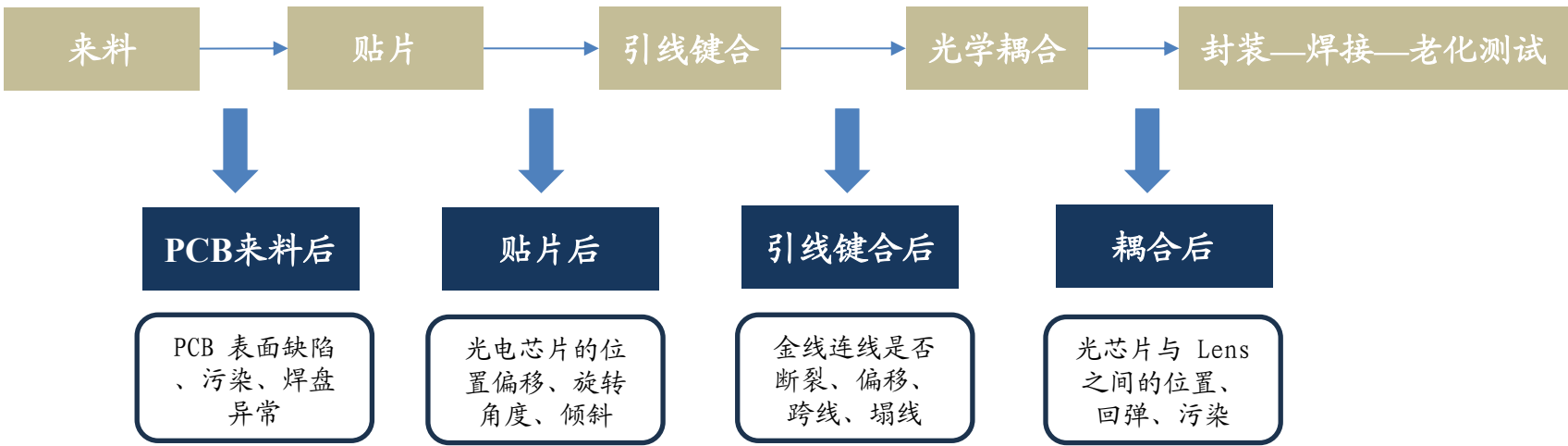
◆ 图：国内头部企业猎奇智能/联讯仪器光模块老化设备技术水平可基本对标国际一流水平

指标类别	参数项	猎奇智能-BI74P	联讯仪器-BI6202	致茂电子 Chroma-58604
设备容量	层数	7层 / 11层（可选配）	11层	7层
	载具数/层	4	4	4
	芯片数/载具	32 / 48	48	32
温度控制	温度范围	40-125℃	40-120℃	45-125℃
	稳定性	0.5℃	0.5° C	1° C
	均匀性	± 1℃@40-100℃; ± 1.5℃@100-125℃	± 1℃@40-100℃; ± 1.5℃@100-120℃	± (1℃ + 1.2%ΔT)
ACC 测试性能	电流精度	<0.2% F.S.	0.5% F.S.	<0.2% F.S.
	电流分辨率	0.1 mA	0.15 mA	未披露
LIV 测试	是否支持	是	是	是

2.6 AOI设备：新增设备替代人，全流程均需使用

- 光模块行业升级精度要求提升与规模化扩产拉高成本，驱动AOI检测设备的刚需。随着800G、1.6T等高价值光模块量产，其微米级精度要求已超出人工目检能力上限，传统方式无法稳定识别微小缺陷；同时，客户大规模扩产与海外建厂带来人工成本高企、良率波动等问题，AOI检测具备纳米级识别精度、稳定一致性及人力替代能力等优势，适配于匹配技术升级与全球化产能布局。
- **AOI检测深度嵌入光模块制造四大核心环节。**在光模块生产流程中，AOI检测主要部署于PCB来料后、贴片后、引线键合后、耦合后四大节点，对应四台设备，分别对应检测基板缺陷、芯片贴装精度、金线连接可靠性及光耦合效率等检测内容，为高端光模块的良率与性能提供关键保障。

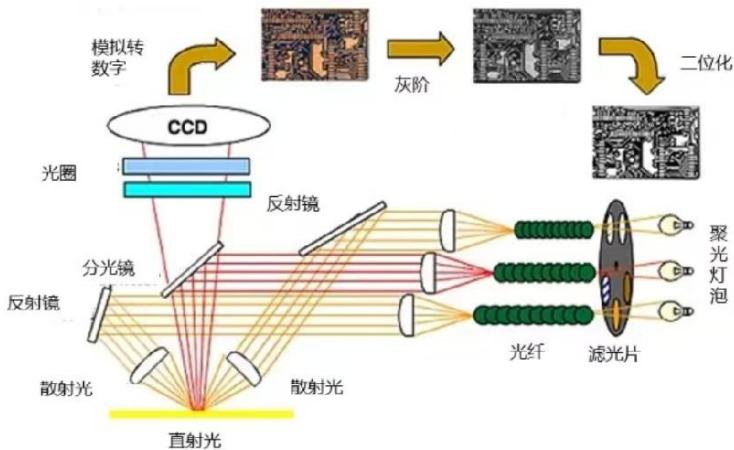
◆ 图：AOI检测主要应用于光模块制造四大环节，提升检测效率与良率



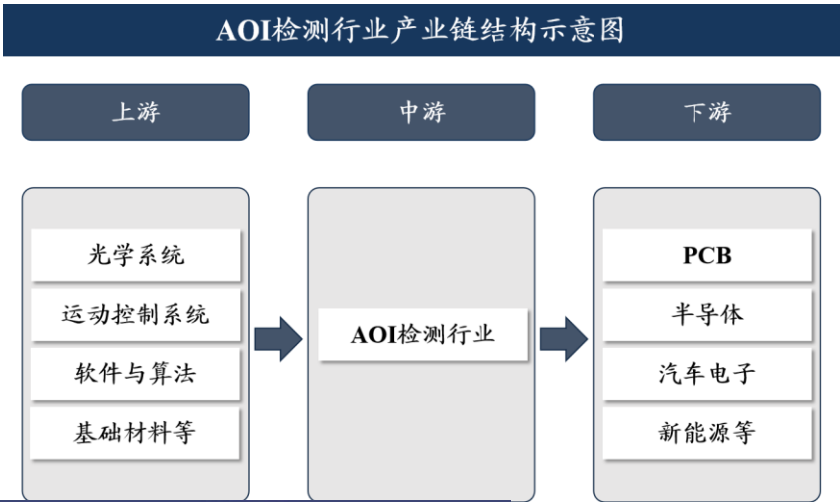
2.6 AOI设备：新增设备替代人，全流程均需使用

- **AOI（自动光学检测）设备通过“光学成像-算法分析-决策执行”的流程实现自动化检测：**由LED灯等光源系统发射直射/散射光，经光学元件调整光路后照射被测目标，反射光经镜头采集，由CCD/CMOS图像传感器转换为数字图像。数字图像依次经过灰度化、二值化处理，视觉分析软件将其与标准图像比对，通过灰度分析识别缺陷特征。分析结果反馈至决策模块，自动判定检测结果，并驱动控制执行模块完成标记、分拣等后续操作。融合AI的AOI设备可降低误报率超80%，缺陷识别准确率达99.5%；3D AOI技术则可实现立体检测，满足高精度场景需求。
- **AOI设备作为智能制造质量控制的核心环节，应用领域广泛。**AOI设备作为智能制造中的核心质控环节，已广泛应用于PCB、半导体、汽车电子、新能源等领域，在电路板短路、晶圆封装、芯片焊点、模组焊缝、光伏隐裂等多类缺陷检测中发挥关键作用。随着光模块集成度提升及良率要求提高，部分关键环节（如PCB、贴片、引线键合等）对检测精度和自动化程度提出更高要求，亦开始引入AOI设备以实现缺陷识别与质量管控。

◆ 图：AOI检测设备通过光学成像、图像处理实现自动化缺陷识别



◆ 图：AOI检测设备广泛应用于PCB、半导体等制造业领域



2.6 AOI设备：新增设备替代人，全流程均需使用

- 光学识别层面，光模块 AOI 在成像精度、检测维度与系统复杂度上显著高于传统 AOI。① 器件更小、结构更复杂，需 2-20 倍多倍率镜头并解决倍率切换下的高精度定位问题；② 新增侧面相机实现正+侧面双检测，针对 Lens 玻璃等材料需专用打光与成像方案；③ 贴片精度要求至 3 微米，需单像素相机，在高精度下仍需兼顾 UPH 与多品类检测。
- 算法层面，高精度、多场景与多工序并存，算法定制化与系统协同难度显著提升。① 需适配单像素相机与 3 微米精度要求，并开发侧面相机对应的检测算法；② 多倍率镜头切换、不同工序站点差异大，各站需专属 AOI 算法功能；③ 全流程检测复杂度上升，对算法稳定性、误判控制与节拍优化要求更高。

◆ 图：光模块AOI四个维度上均超越传统SMT AOI，技术门槛更高

分类维度	传统 SMT AOI	光模块 AOI
光学结构	顶视相机+灯光拍摄	顶视+侧视+多倍率镜头
检测对象	平面焊点检测为主	焊点+光芯片位置+材料混合界面
精度要求	± 10 μm 左右	± 1~3 μm 精度
算法能力	模板比对算法	需 AI 识别 / 多视角融合算法

2.6 AOI设备：新增设备替代人，全流程均需使用

- AOI检测设备市场规模持续扩张，在传统领域基础需求与新兴场景增量的双重驱动下，未来市场空间广阔。2018年到2024年，AOI检测设备市场规模由121.49亿元增长至227.81亿元，CAGR达11.05%；在PCB、半导体、汽车电子等传统领域产能扩张与质量升级的基础需求之上，叠加800G/1.6T光模块量产、半导体先进制程渗透、新能源汽车三电系统需求增长等新兴场景的爆发，AOI检测设备的整体市场空间将持续扩张。
- 800G及以上光模块放量将直接拉动AOI检测设备需求，2026年对应市场空间约 35–40亿元。假设2026年全球800G及以上光模块出货6000万只；在单台AOI年产能约3.2万只、每条产线配置4台、单价约50万元的情况下，测算AOI需求约7500台，对应市场规模约37–40亿元。长期来看，光模块AOI检测设备市场空间随高端规格与COB/CPO工艺渗透仍具上行弹性。

◆表：中性假设下，2026年全球光模块AOI检测设备市场空间为37.5亿元

变量	保守	中性	乐观
800G及以上出货量（万只）①	5200	6000	9000
AOI检测设备速度（线芯/H）②	600	500	400
光模块平均线芯③（线芯/只）	100	100	100
对应UPH（只/h）④=②÷③	6	5	4
单台AOI年产能（万只/台·年）⑤=④*24h*22天*12个月	3.8	3.2	2.5
每条产线AOI台数（台）⑥	4	4	4
AOI设备需求量（台）⑦=①÷⑤×⑥	5474	7500	14400
AOI单价（万元/台）⑧	45	50	55
AOI设备市场空间（亿元）⑨=⑦×⑧	24.6	37.5	79.2

2.6 AOI设备：新增设备替代人，全流程均需使用

- 从竞争格局看，光模块 AOI 尚未形成标准化大市场，呈现“少数设备商 + 非标定制”为主的分散竞争结构。下游光模块客户集中度高、工艺差异大，AOI 设备多以按站位、按工序定制为主，通用型产品较少；具备光学、算法与自动化系统协同能力的厂商才能进入核心客户供应链，当前国内参与者数量有限，整体仍处于早期渗透阶段。从具体参与者看，奥特维已在公开披露中明确切入光模块 AOI 检测设备，并取得批量订单，具备一定产品化与放量基础；快克智能更多以整线自动化与产线解决方案切入，AOI 通常作为关键检测工位嵌入整体方案，偏非标配套属性；科瑞技术则围绕光模块产线关键工序提供检测与自动化解决方案，AOI 多以定制化检测工位形式嵌入产线，更接近非标自动化背景下的方案型参与者。整体来看，国内参与者数量有限，行业仍处于由非标向半标准化演进的早期渗透阶段。

◆表：光模块AOI设备行业为高壁垒非标赛道，少数厂商参与的早期竞争

公司	光模块 AOI 布局情况	产品/技术特征	定位判断
奥特维 (688516.SH)	明确披露涉足光模块 AOI 检测设备，并已获取批量订单	依托半导体与高端检测设备积累，切入光模块封装/检测环节	少数明确产品化布局的上市设备商，具备规模化放量潜力
快克智能 (603203.SH)	光模块 AOI 多以产线配套形式出现，偏非标定制	擅长自动化产线与精密贴装，AOI 作为关键检测工位嵌入	自动化平台型厂商，AOI 为整体方案一部分
科瑞技术 (002957.SZ)	参与光模块封装及检测产线建设，AOI 以工序检测工位形式按客户需求定制	强项在非标自动化与高精度工作站开发，视觉检测作为产线能力模块嵌入	产线方案型参与者，AOI 偏配套属性

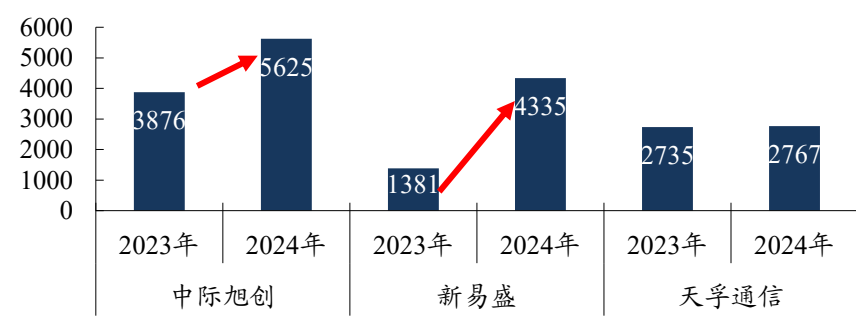


- 一、AI发展带动光模块需求爆发，CPO等为未来发展趋势
- 二、光模块三大核心封装测试设备为贴片、耦合、测试仪器仪表&测试机
- 三、充分受益行业自动化&定制化&国产化需求，未来CPO时代技术持续迭代
- 四、重点公司
- 五、投资建议&风险提示

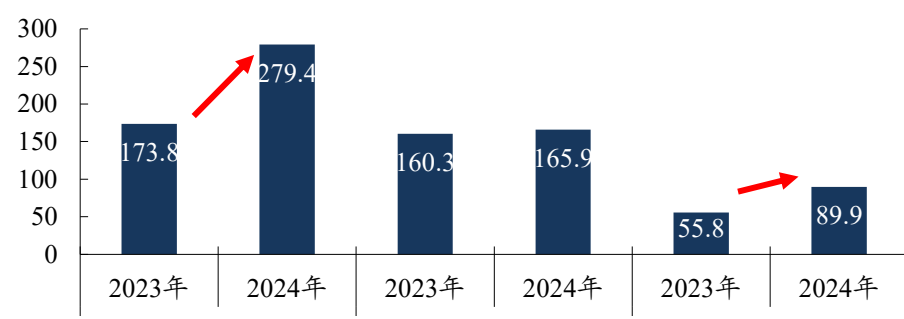
3.1 未来趋势一：光模块过去极度依赖人工，未来海外扩产带来新增自动化设备需求

- 光模块过往为劳动密集型产业。过往光模块生产工序中的贴片、涂胶、外壳组装、检测等工序主要依靠人工完成。以中际旭创和新易盛为例，截至2024年底，二者员工总数分别为8542人和5212人，其中生产人员分别为5625人和4335人，分别占比66%和83%。
- 我们判断光模块领域引入自动化设备为必然趋势。1) 技术升级：800G光模块向1.6T升级后，线路更密、集成度更高，人工耦合精度与检测准确率难达标，自动化组装及AOI检测成必然趋势；2) 需求放量：算力需求攀升，2026年光模块需求上修至千万级，人工扩产速度不足，稳定高效的自动化设备成行业扩产首选；3) 海外扩产：光模块企业向东南亚布局产能以配套北美客户，当地劳动力素质与稳定性不足，进一步催生自动化设备需求。

◆ 图：光模块企业生产人员数量（人）



◆ 图：光模块企业人均创收（万元）



◆ 表：代表企业海外产能规划

公司	核心海外扩产基地	扩产产品聚焦	规划产能（按模块/光学引擎月产量估算）
中际旭创	泰国（主），北美协同	800G / 1.6T 光模块 + CPO预留	2025年：~50万只/月；2026年：目标达产~100万只/月；未来：超百万只，支持CPO+3.2T模块试产
新易盛	泰国	800G / 1.6T 光模块，LPO产品	2025年：~20万只/月；2026年：扩产至~40-50万只/月；未来：继续扩建，适配高速硅光与AI客户需求
天孚通信	泰国、新加坡	高速光学引擎 / 1.6T光器件	2025年：小批量出货，估计<10万颗/月；2026年：产能爬坡至~20-30万颗/月；未来：规划支持高速光引擎（如CPO、硅光集成）

3.2 未来趋势二：非标定制化属性高&前期需绑定头部客户，看好具备3C&半导体能力的设备公司

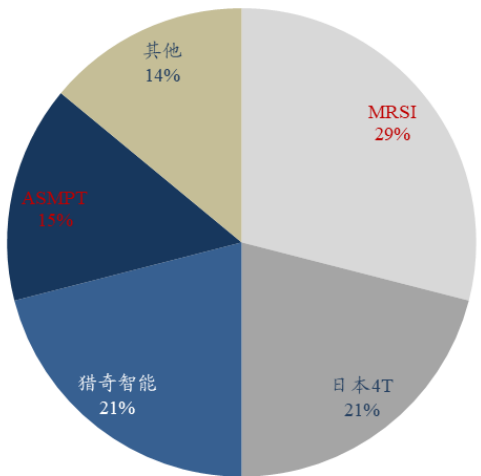
- 光模块应用差异催生定制化设备需求，需厂商紧密合作。光模块下游应用场景丰富，不同场景对光模块速率的要求存在差异，这就需要光模块厂商针对性选择适配的封装工艺，进而导致光模块封装工艺呈现出复杂性与多样性特征。这一特性使得光模块封装设备具有个性化、定制化属性，因此设备厂商需与光模块厂商建立紧密的合作关系，才能从源头有效把控光模块的质量与稳定性。行业代表性企业普遍存在与客户深入绑定的特点，猎奇智能的前五大客户占比高达82.83%，公司深度绑定中际旭创，半数以上的收入都依赖于该客户。
- 光模块设备与3C设备很类似，具备定制化属性，下游客户产品迭代速度很快+自动化需求提升，现阶段很多设备也是原来做3C设备的公司切入，未来CPO时代会对半导体封装设备有要求。

◆表：猎奇智能、联讯仪器大客户占比

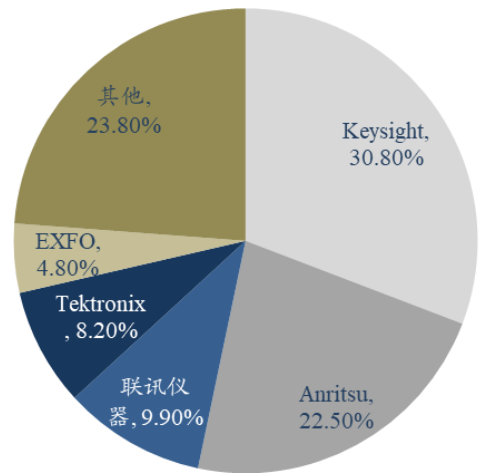
企业	光模块业务环节	第一大客户 占比	前五大客户 占比
猎奇智能	提供高精度固晶贴片设备、耦合设备、老化测试设备等自动化生产设备，覆盖光模块组装产线核心环节，可适配1.6T光模块封装需求	58.85%	82.83%
联讯仪器	专注于光通信测试设备研发，提供采样示波器、时钟恢复单元、误码分析仪等核心设备，能实现1.6T光模块全链路高精度测试，同时布局光芯片测试相关设备	16.92%	44.21%

3.3 未来趋势三：光模块关键设备由海外龙头主导，未来国产替代势在必行

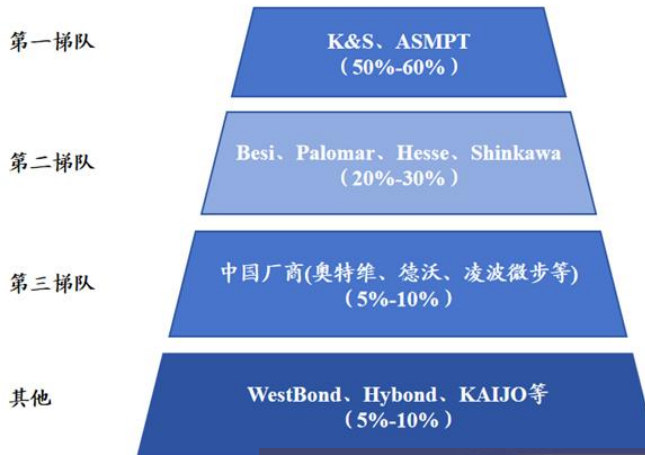
◆ 图：2024年全球光模块贴片机海外市占率超65%，国内龙头为猎奇智能



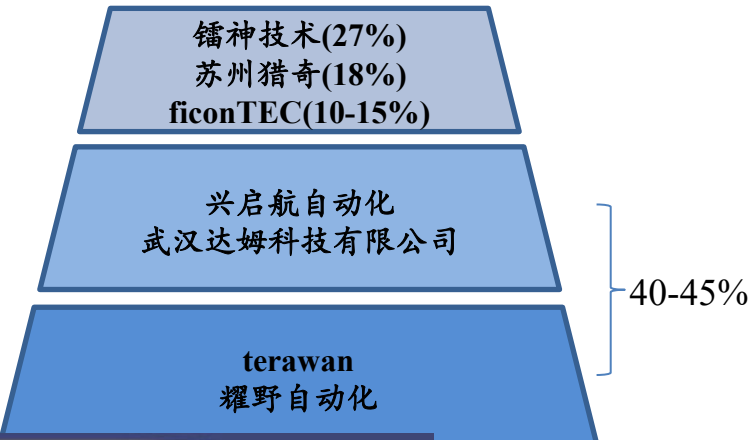
◆ 图：2024年光通信测试仪器海外设备市占率超80%，国内龙头为联讯仪器



◆ 图：2024年引线键合设备K&S和ASMPT市占率超50-60%，国产化率较低



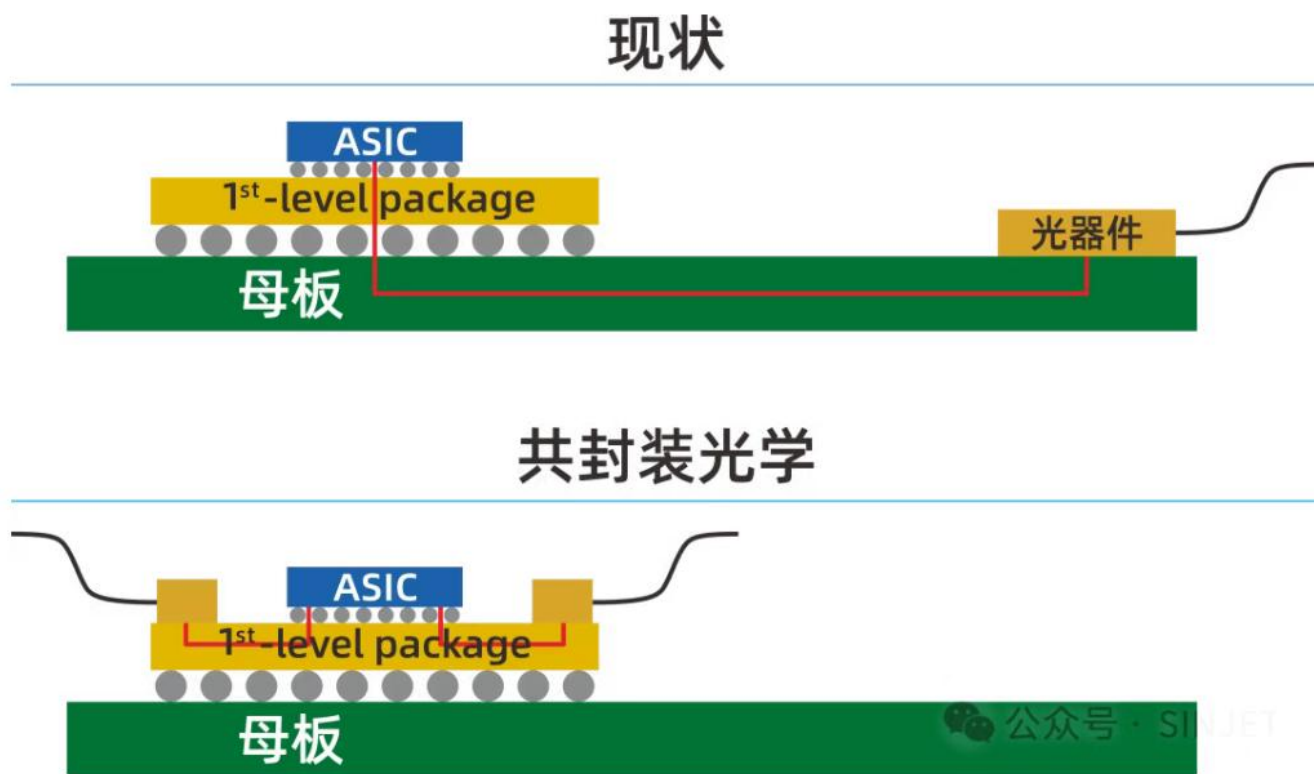
◆ 图：2024年光模块耦合设备龙头为镭神技术、苏州猎奇、ficonTEC



3.4 未来趋势四：未来进入CPO时代，原有的贴片-耦合设备变化最大&新增半导体先进封装设备需求

- 光电共封装技术（CPO）是一种将光芯片（PIC）和电芯片（EIC）共封在单一封装体内的异质集成技术，能够实现更高的带宽和更低的功耗。CPO的出现有效解决了光模块传统封装方案的弊端，涉及光、电芯片的混合集成，是当前光器件领域竞争的热点，未来高性能计算和AI集群将成为CPO最大细分市场。

◆ 图：光模块封装迈向“光引擎” CPO（共封装光学）



3.4 未来趋势四：未来进入CPO时代，原有的贴片-耦合设备变化最大&新增半导体先进封装设备需求

- CPO 时代设备变化的核心，是封装环节从“机械固晶 + 光学耦合分立”彻底转向“光学精度驱动的贴片 - 耦合一体化”，这是整个产业链设备体系重构最彻底的环节，也是国产设备厂商实现弯道超车的核心赛道。
- 测试环节的变化，本质是 CPO 的高成本倒逼良率管控前置，设备体系从“事后抽检”转向“全流程全量管控”，核心设备也需要全面重构。
- 上游光芯片制造、常规 SMT 等环节，设备体系几乎无变化，可完全复用。

◆ 表：CPO阶段相比EML阶段各工艺环节设备变化

工序环节	传统分立光模块（EML 方案）	硅光集成光模块 / CPO 光引擎
贴片	独立工序，仅负责物理固定，精度要求 $\pm 3\sim 5\mu\text{m}$	核心工序，贴片 + 耦合 + 键合一体化，精度要求 $\pm 0.3\sim 1\mu\text{m}$
键合	独立工序，以金丝引线键合为主	与贴片同步完成，以倒装焊为主，无单独键合工序
光学耦合	独立后置工序，以有源主动对准为主，是产能瓶颈	嵌入贴片环节，以无源被动对准为主，无单独耦合工序
封装	以 BOX 气密性封装为主，工序复杂	以 COB 非气密性封装为主，流程大幅简化
测试	以成品终测为主，前置测试少	测试大幅前置，晶圆级测试、工序中测为核心质控手段
核心设备	固晶机、金丝键合机、有源耦合台	超高精度倒装共晶贴片机、晶圆级光电测试系统

3.4 未来趋势四：未来进入CPO时代，原有的贴片-耦合设备变化最大&新增半导体先进封装设备需求

- 贴片-耦合设备差异主要在单个光模块耗时和所需工序道数上，我们尝试进行了不同出货量场景下的测算：

◆ 表：有源耦合下所需设备数量

核心假设				
普通可插拔光模块出货量（万只）①	2000	4000	6000	8000
有源耦合单台设备耗时（分钟/只）②	4	4	4	4
有源耦合设备单台年工作天数③	250	250	250	250
每天工作时长（分钟）④	1440	1440	1440	1440
有源耦合设备单台理论年产能（万只）⑤=②*③*④/10000	9	9	9	9
单模块所需耦合工序（道）⑥	2	2	2	2
产能利用率⑦	70%	70%	70%	70%
所需设备数量（台）⑧=⑥*①/⑤/⑦	635	1270	1905	2540

◆ 表：无源耦合+贴片下所需设备数量

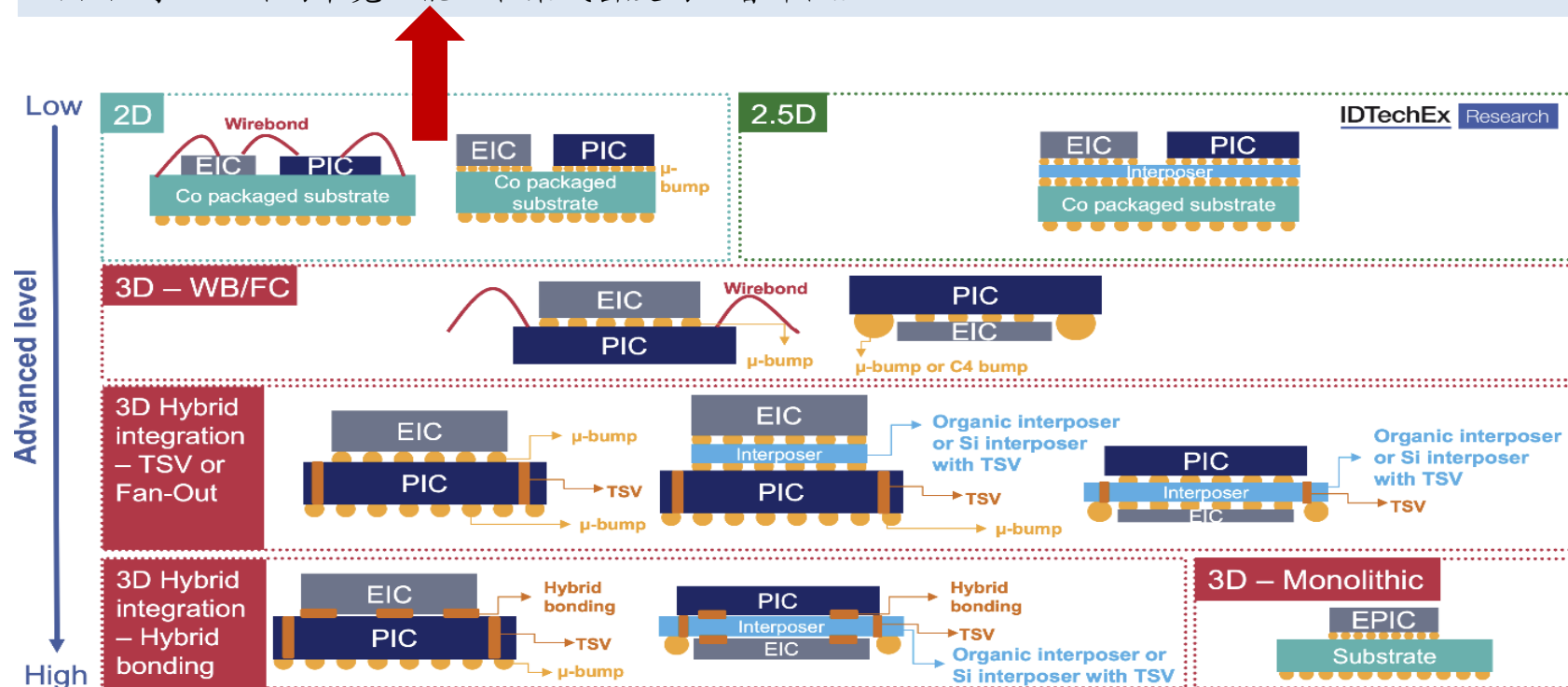
核心假设				
CPO光模块出货量（万只）①	2000	4000	6000	8000
无源耦合+贴片单台设备耗时（分钟/只）②	0.5	0.5	0.5	0.5
无源耦合+贴片设备单台年工作天数③	250	250	250	250
每天工作时长（分钟）④	1440	1440	1440	1440
无源耦合+贴片设备单台理论年产能（万只）⑤=②*③*④/10000	72	72	72	72
单模块所需工序（道）⑥	6	6	6	6
产能利用率⑦	70%	70%	70%	70%
所需设备数量（台）⑧=⑥*①/⑤/⑦	238	476	714	952

3.4 未来趋势四：未来进入CPO时代，原有的贴片-耦合设备变化最大&新增半导体先进封装设备需求

- 除了原有贴片、测试、耦合设备的新变化外，CPO封装还新增了2.5D、3D封装如TSV等的需求。传统的可插拔多采用2D封装形式，EIC和PIC通过引线或者键合的方式和基板连接，未来CPO通过2.5D、3D封装能够实现EIC与PIC的无缝集成，大幅降低信号传输速度，提升集成密度、缩小芯片尺寸。

◆ 图：EIC与PIC从2D到3D的CPO封装形式逐步升级

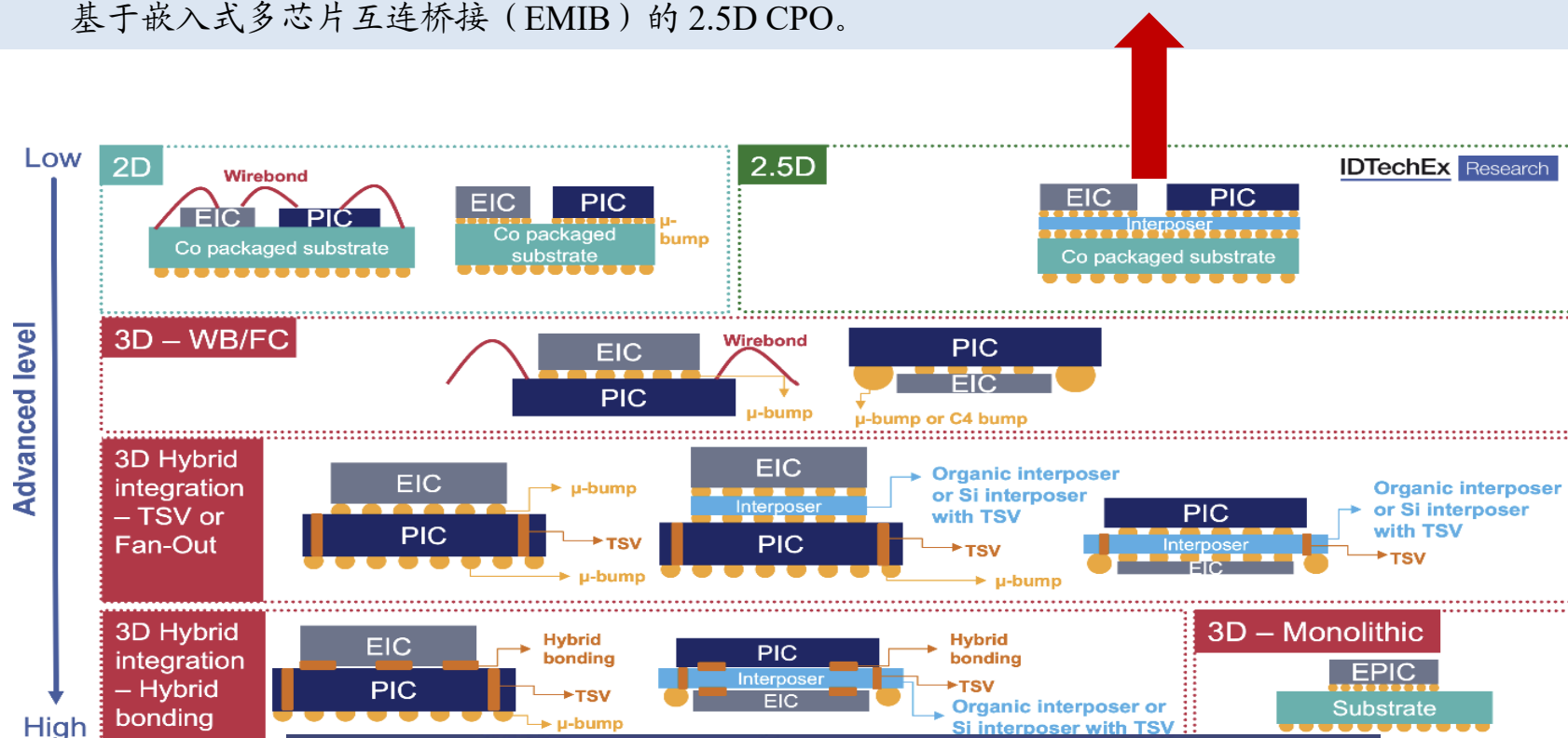
2D平面（引线或者凸块）是传统封装形式：通过引线键合或者凸块的方式实现光-电信号的联通和控制，但引线或者凸块终究是有距离的，当电信号频率越高时，寄生效应越明显，同时会占用比较大的面积，导致芯片的带宽、能效和集成密度的显著降低。



3.4 未来趋势四：未来进入CPO时代，原有的贴片-耦合设备变化最大&新增半导体先进封装设备需求

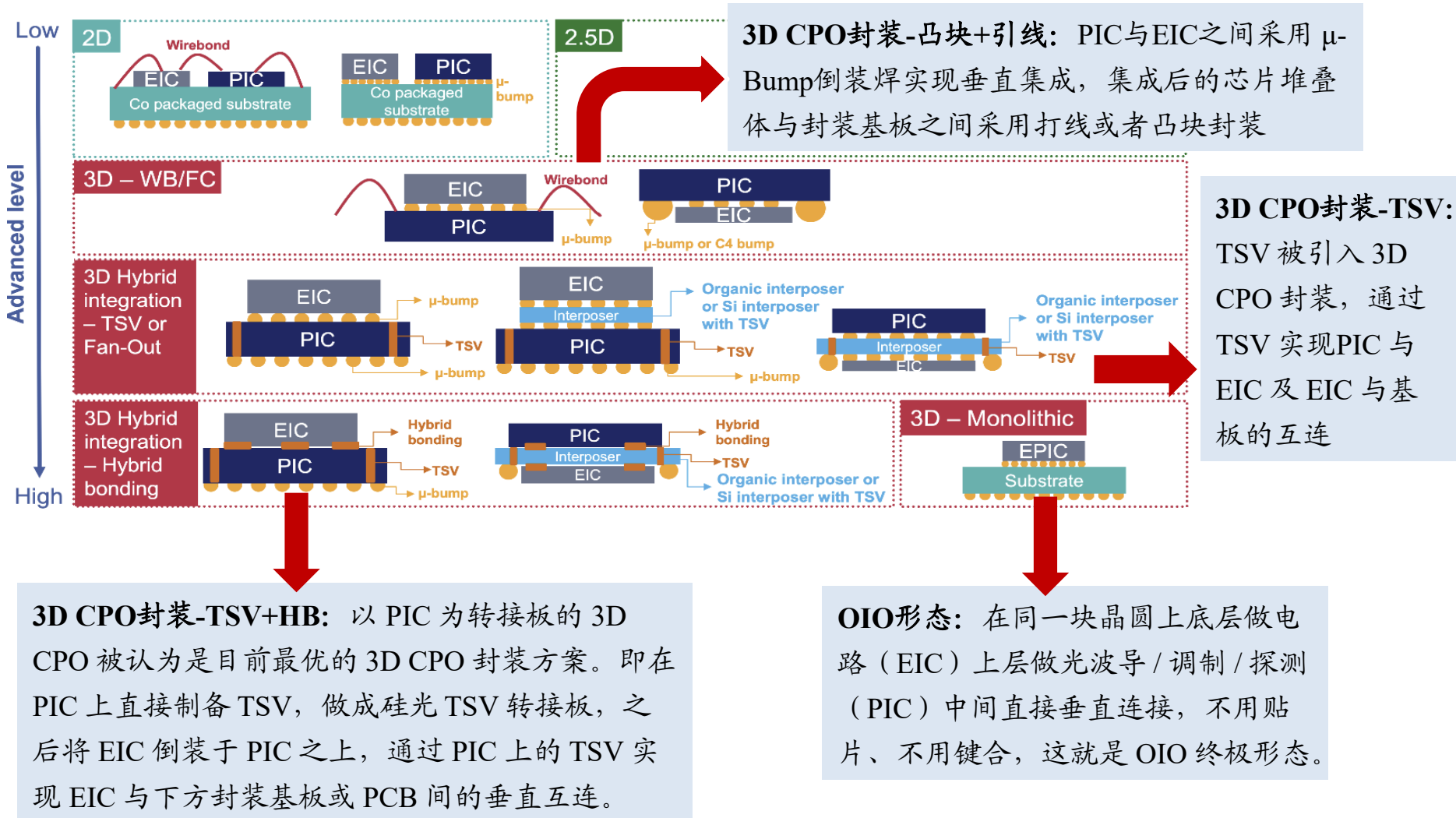
◆ 图：EIC与PIC从2D到3D的CPO封装形式逐步升级

- **2.5D CPO封装**：是一种折中的封装方案，通过将EIC和PIC同步倒装在无源中介层上，由中介层上的再布线层（RDL）及TSV实现PIC和EIC之间以及EIC与封装基板或印制电路板（PCB）的导通。通过引入中介层，极大降低了PIC和EIC之间的信号路径长度和复杂性，有效降低了封装寄生效应，实现了更高效的互连。
- 目前**2.5D CPO**包含三种主流技术方案：基于硅中介层的2.5D CPO、基于玻璃转中介层的2.5D CPO、基于嵌入式多芯片互连桥接（EMIB）的2.5D CPO。



3.4 未来趋势四：未来进入CPO时代，原有的贴片-耦合设备变化最大&新增半导体先进封装设备需求

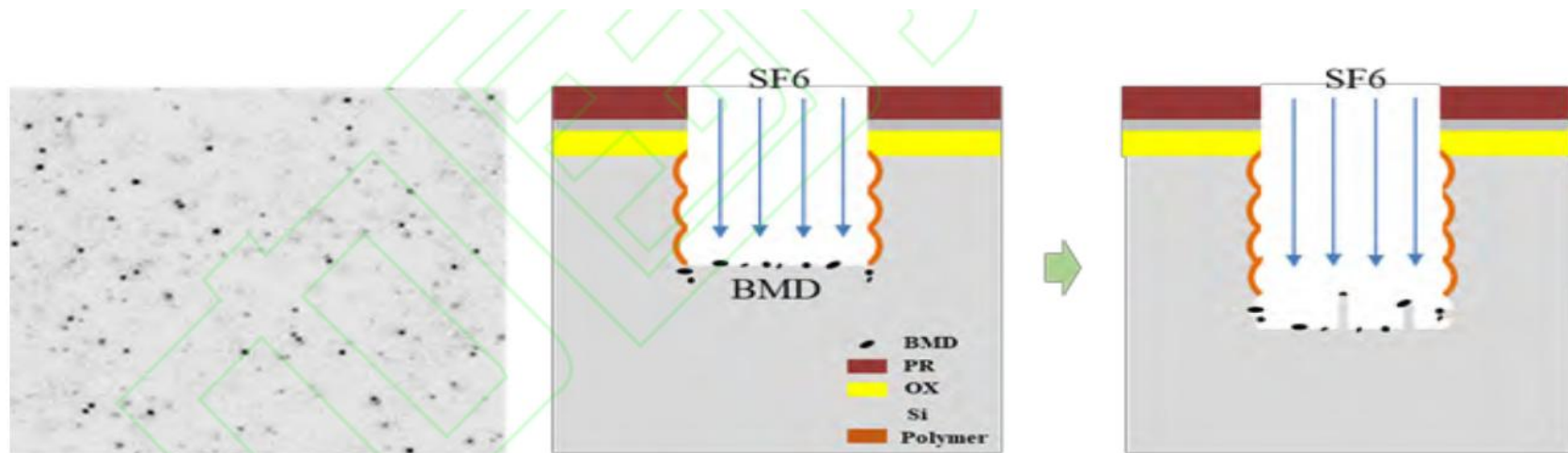
◆ 图：EIC与PIC从2D到3D的CPO封装形式逐步升级



3.4 未来趋势四：未来进入CPO时代，原有的贴片-耦合设备变化最大&新增半导体先进封装设备需求

- 与半导体先进封装类似的，CPO封装的难点也集中在TSV的刻蚀上，难点在于如何在SOI晶圆中刻蚀出侧壁和底部光滑的TSV。区别于传统电芯片，硅光芯片的衬底类型为SOI（Silicon on Insulator）晶圆，SOI晶圆结构分为三层——顶层硅、埋氧层（SiO₂）和底座，在SOI的制备过程中，硅衬底内部容易产生由氧沉淀形成的微小缺陷团（BMD），能够增强晶圆的机械强度、改善杂质分布、提高晶圆阻值。
- BMD对于TSV刻蚀却是不利的，容易形成“Si草”。目前TSV刻蚀普遍采用Bosch工艺，主要刻蚀气体为SF₆，SF₆对于Si的刻蚀速率远大于BMD，由此导致BMD在TSV刻蚀过程中形成微掩膜，BMD微掩膜的形成会导致TSV底部产生“Si草”及侧壁形成竖条纹。

◆ 图：难点在于如何在SOI晶圆中刻蚀出侧壁和底部光滑的TSV



(a) SOI 晶圆中的 BMD^[43] (b) 刻蚀过程中 BMD 形成微掩膜，导致 Si 槽及侧壁 Striation 形成机理图



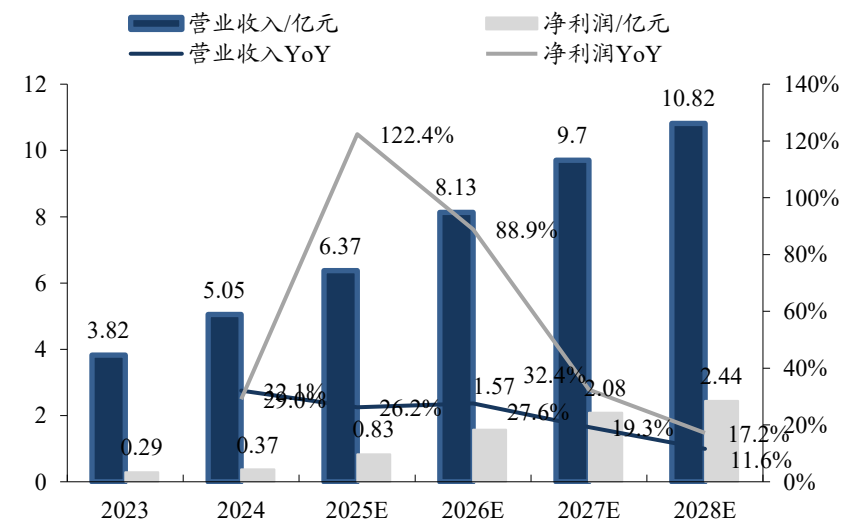
- 一、AI发展带动光模块需求爆发，CPO等为未来发展趋势
- 二、光模块三大核心封装测试设备为贴片、耦合、测试仪器仪表&测试机
- 三、充分受益行业自动化&定制化&国产化需求，未来CPO时代技术持续迭代
- 四、重点公司
- 五、投资建议&风险提示

4.1 罗博特科：并购ficonTEC切入光模块设备赛道，绑定全球头部客户巩固龙头地位

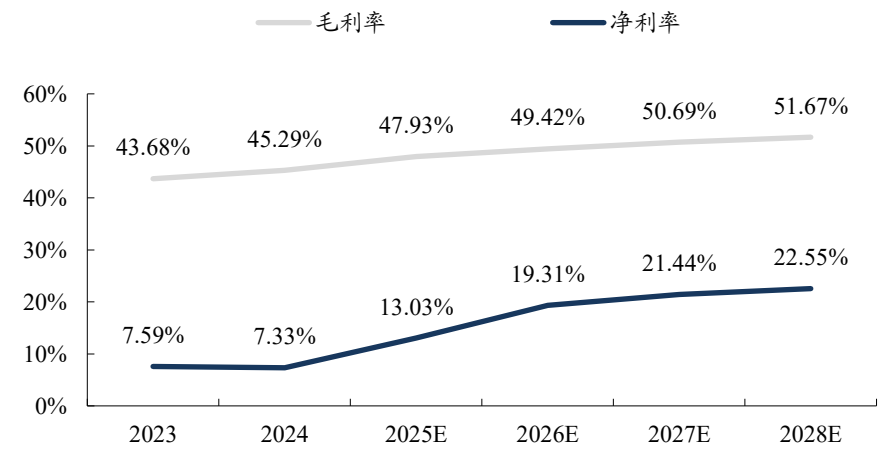


● 罗博特科2025年5月成功并购全球高精耦合设备龙头ficonTEC，切入光模块设备领域。2023、2024年ficonTEC分别实现营收约0.50、0.65亿欧元，合人民币约3.82、5.05亿元，实现净利润约0.04、0.05亿欧元，合人民币约0.29、0.37亿元。按公司募资报告书(2025年4月18日版)，预计ficonTEC在2025年或实现营收、净利润6.37、0.83亿元，2028年有望分别增至10.82、2.44亿元。盈利能力方面，2023、2024年，ficonTEC毛利率均在40%以上，净利率超7%；随着收购完成后罗博特科通过业务、资产、人员、财务及机构等方面的整合管控措施优化成本费用结构，预计ficonTEC盈利能力有望从2025起逐年提升，2025年毛利率、净利率有望分别达47.9%、13.0%。

◆ 图：预计2025年ficonTEC可实现应收6.37亿元，净利润0.83亿元



◆ 图：预计ficonTEC 2025年毛利率、净利率分别为47.9%、13.0%



4.1 罗博特科：并购ficonTEC切入光模块设备赛道，绑定全球头部客户巩固龙头地位

- ficonTEC作为全球领先的耦合封装设备厂商，凭借技术壁垒确立了在高端光电子设备领域的核心地位，并深度绑定全球头部客户。CPO与光模块领域，是博通CPO产品耦合设备的唯一供应商，已向其交付至少14台设备用于全球首批交换机侧CPO产品的生产；英伟达耦合设备核心供应商，截至2024年7月对其在手订单金额达2433.83万欧元，此外在硅光、激光雷达、大功率激光器等领域，ficonTEC也已打入英特尔、华为、法雷奥、Jenoptik等全球知名企业，其技术领先性使竞争对手难以形成实质性挑战，进一步巩固了行业龙头地位。

◆ 图： ficonTEC 的耦合封装类产品



◆ 图： 光模块领域客户在ficonTEC营收结构中占重要地位

期间	前五大客户	前五大客户收入占比
2022年	Intel、nLight、Ciena、SQS Vláknová optika、Broadcom	41.2%
2023年	Ciena、Broadcom、Jenoptik、Aeva 、Cisco	37.6%
2024年1-7月	Cisco、罗博特科、Nvidia（ Mellanox）、Innoviz、Tesat- Spacecom	44.4%

- 奥特维AOI设备以技术源性为支撑实现跨领域拓展，落地节奏清晰，市场成果逐步兑现。奥特维AOI设备布局依托技术源性跨领域延伸，早期深耕功率半导体封装领域AOI设备研发，2024年该类产品形成规模化市场影响力；同年完成光模块专用AOI设备客户端验证，2025年一季度拿下光模块领域批量订单，后续实现海外订单落地及国内头部客户海外基地批量交付。
- 奥特维成功切入国内头部光通信客户供应链，成为其核心供应商，其光模块AOI设备技术领先适配高端生产需求。奥特维已斩获国内头部光通信客户光模块AOI设备批量订单并成为其核心供应商，相关产品技术行业领先、适配高端生产需求：设备核心检测精度达1μm级，支持100G-800G主流光模块检测且单机产出超行业平均，采用直线电机驱动兼顾高精高速，搭载3D智能线光谱共焦传感器并融合深度学习算法，可实现3D扫描检测、缺陷精准识别与高度测量，能满足800G-1.6T高端光模块高效高质量检测需求。

◆ 图：奥特维光模块 AOI 设备已具备 800G-1.6T 高端检测能力



核心配置	3D智能线光谱共焦传感、AI深度学习算法、高精度视觉系统
检测精度	2D检测精度≤1μm、3D检测精度≤1μm
智能化水平	基于AI学习与差分算法，误检率≤2%；缺陷识别准确率 > 99%
适配产品范围	400G、800G、1.6T等全系列高速光模块，同时支持射频模块、雷达模块检测
检测能力	覆盖从芯片到元器件的全流程检测，支持3D多层扫描、3D形貌数据采集、缺陷检测与高度测量

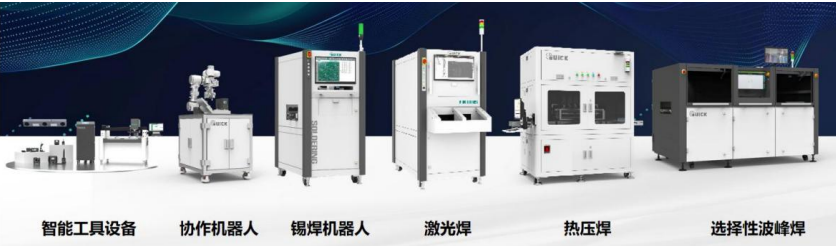
4.3 快克智能：精密电子组装主业稳固，光模块设备布局逐步落地

东吴证券
SOOCHOW SECURITIES

- 公司主业聚焦精密电子组装与半导体封装设备。产品覆盖焊接装联、螺丝机、点胶、固晶机及AOI等环节，其中焊接装联设备为核心收入来源，2024 年收入占比超过 70%。在光模块领域，公司可供应焊接、螺丝机、点胶、固晶机及 AOI 等五类设备，覆盖组装与检测关键工序。
- 预计公司以 AOI 设备切入光模块客户供应链。通过检测设备完成客户验证后，逐步导入焊接、螺丝机等工具类设备，提升在单一客户中的设备渗透率；订单节奏上，预计 AOI 设备业务将于 2026 年实现订单规模突破，固晶机等设备有望随后导入并放量。

◆ 图：光模块领域，公司可供应焊接、螺丝机、点胶、固晶机、AOI五款设备

精密焊接装联设备



智能工具设备 协作机器人 锡焊机器人 激光焊 热压焊 选择性波峰焊

自动化制造成套装备



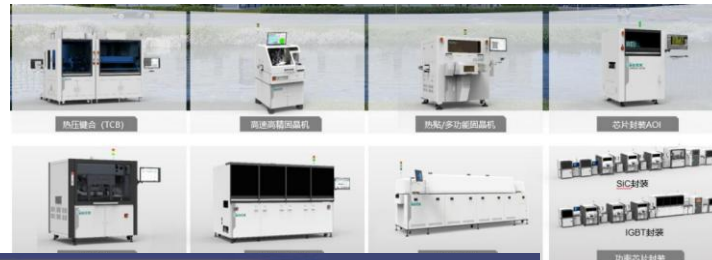
• ADAS • ECU • 线控底盘
• 激光雷达自动化线 • 智能穿戴精密电装自动化 • 多功能工艺岛

机器视觉制程设备



• 定制专机 AOI/AVI
FPC HB AOI
全检测设备
SIP板6面检测设备
• 标准设备AOI
SMT 3D AOI/SPI
涂覆检测AOI
半导体封装AOI

固晶键合封装装备



热压键合 (TCB) 半导体精密晶机 热贴/多功能固晶机 芯片封装AOI
SMT封装 IGBT封装 功率芯片封装

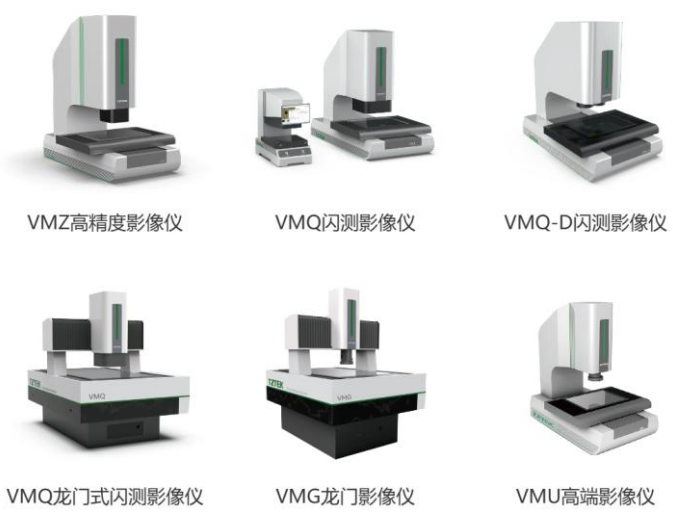
4.4 天准科技：通用性影像仪持续获光通信核心客户订单

- 天准科技主营工业视觉高端设备，AOI设备布局多领域。天准科技主业聚焦电子、半导体、新汽车、机器人等核心工业领域，提供视觉测量、检测、制程装备及智能驾驶方案等高端视觉装备产品。公司的AOI自动光学检测设备已深度落地PCB、消费电子、汽车电子、光伏硅片、半导体等多个领域，可实现各类产品的高精度缺陷检测与分类分级。
- 天准科技虽无定制化的光模块专用设备，但凭借产品本身的通用性与适配能力，在光通信相关细分领域占据一席之地。其中通用型影像仪在光通信领域已形成成熟的应用场景，光通信行业核心厂商持续采购使用该设备；该类影像仪通用性极强，应用场景可广泛覆盖模具、航空航天、军工、PCB等多个领域。

◆图：公司已有AOI设备布局，可用于PCB、FPC、IC载板的线路检测



◆图：公司布局多款影像测试仪，持续获得光通信领域客户订单



4.5 凯格精机：自动化组装0-1需求爆发，平台技术助推公司开拓更多设备

- 800G/1.6T 光模块整线自动化组装设备交付落地，海内外订单放量可期：公司提供光模块后端模组组装的柔性自动化整线方案，单线约 16 台设备，是业内率先实现 400G/800G 组装段全自动化的厂商，在核心客户中基本处于独供状态。标杆客户 Fabrinet（英伟达光模块主要代工厂）方面，2024 年已交付 3 条 800G 产线，2025 年上半年交付 3 条 1.6T 产线，下半年计划交付 400G 与 100G 各 1 条，2026 年初预计继续交付 800G 与 1.6T 各 1 条，订单具备持续放量基础。
- 贴片与先进封装技术延伸，布局光模块与CPO 打开成长空间：依托公司在贴片设备及先进封装设备方面的技术积累，未来有望在光模块贴片环节及CPO封装环节进一步拓展相关设备产品，打开新的成长空间。

◆ 图：凯格精机产品矩阵图



数据来源：，凯格精

4.6 博众精工：精密装备平台化能力外溢，光模块设备迎来加速兑现

- 平台化精密制造能力成熟，跨行业复制已充分验证。公司起家于3C自动化，深度参与苹果产业链核心环节，是业内少数具备FATP整线交付能力的设备商。长期高标准交付过程中，公司沉淀精密运动控制、机器视觉、系统集成等底层能力，形成可跨行业复用的技术平台。该能力已成功外溢至新能源与锂电领域，成为宁德时代等头部客户供应商，换电及锂电整线订单快速放量，验证其在高复杂度装备场景下的规模化交付能力。
- 光模块设备卡位核心工序，“贴片+耦合”布局初步成型。公司高精度共晶贴片设备已实现400G/800G光模块批量应用，并可覆盖1.6T光模块贴合场景。截至2025H1，公司已为国内头部光模块厂商泰国工厂送样。2026年3月，公司收购中南鸿思60%股权，补齐光耦合设备能力，打通“共晶+耦合”核心流程，强化在高速光模块设备国产替代中的竞争位置。同时，随着800G/1.6T升级推动光模块封装环节向高精度、全自动化演进，公司在自动化组装设备及AOI检测设备方面的既有技术储备亦有望同步受益。

◆ 图：博众精工精密装备能力横跨消费电子、新能源与半导体领域



4.7 科瑞技术：跨行业自动化平台延伸，光模块设备打开新增量

- 自动化深耕多年，跨行业客户结构稳定。科瑞技术专注于精密自动化装配与检测设备，是国内较早布局先进制造自动化解解决方案的企业之一。公司以消费电子自动化起家，持续拓展至新能源、汽车、医疗、半导体等领域，形成跨行业应用能力与品牌客户结构。依托多年的技术积累，公司在精密装配、在线检测、系统集成及整线解决方案方面具备成熟经验，并坚持“大客户战略”，客户多为行业龙头或全球知名品牌，业务稳定性与持续性较强。
- 光模块封装自动化逐步突破，检测与装配设备受益行业升级。公司较早年在光通信领域开展技术储备与项目开发，围绕封装与测试环节布局共晶、固晶、耦合、组装及检测类设备，并与核心客户进行定制化合作。随着800G向1.6T升级推动光模块向更高精度与更高自动化水平演进，公司光耦合、封装装配及AOI检测等设备逐步实现订单突破，在手订单充足，前期项目陆续交付并确认收入。

◆ 图：科瑞技术主营业务以移动终端与新能源为主，多元装备协同发展



4.8 普源精电：国产测试测量龙头，受益光模块测试需求升级

- 数字示波器为核心产品，代表国内最高水平。公司产品包括数字示波器、射频类仪器、波形发生器、万用表及数据采集器和电源及电子负载，覆盖电子测量仪器核心品类。其中数字示波器为公司第一大收入来源，2024年收入占比约50%。截至2024年底，公司的数字示波器在自研芯片支持下，最高带宽已达到13GHz，实时采样率达到20 GSa/s，代表国内最高水平。
- 光模块测试需求增长，公司从精密电源切入并布局高速示波器。光模块测试产线中，每个测试工位通常需配置多台精密电源以实现稳定供电与精确电压电流调节。公司精密电源产品已进入头部光模块厂商供应链，成为光模块产线测试环节的重要设备之一。在更高端测试环节，公司正布局高速采样示波器，目标对标下一代3.2T光模块测试需求，通过自研光电转换芯片及高带宽模拟前端提升产品性能。

◆ 图：普源精电电子测试测量产品体系及收入结构（2024年）



4.9 猎奇智能（拟上市）：覆盖耦合、贴片等主要环节，绑定中 际旭创市占率领先

● 公司主要产品为光模块封装测试设备，涉及贴片、耦合、老化测试三大核心环节。（1）贴片设备：2024年公司光模块贴片设备全球市场份额为21%（按设备数量口径），排名全球第一。其中共晶贴片设备的设备精度达到 $\pm 1\mu\text{m}$ ，产品精度达到 $\pm 3\mu\text{m}$ ，技术指标与国际龙头齐平，固晶贴片设备精度及效率指标亦处于国内领先水平。（2）耦合设备：2024年公司在光模块耦合设备中市场份额占18%，排名全球第二。2023年交付的第三代耦合设备主要应用于800G、1.6T单光模块产品，实现 ± 0.05 微米级的设备精度，技术水平为国内一流。（3）老化测试设备：公司在光模块老化测试设备方面布局全面，股改COC/芯片/模块等主要环节，主要核心技术指标方面已经达到市场主流机型水平。

◆ 图：猎奇智能光模块封测设备布局全面，涉及贴片、耦合、老化测试三大核心环节



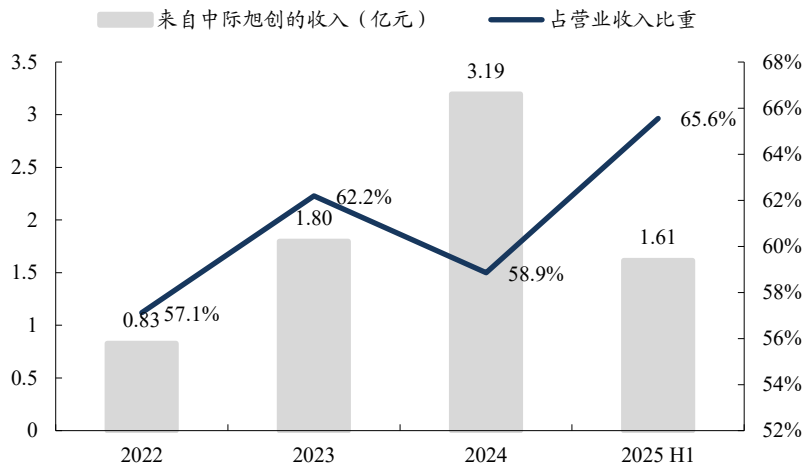
4.9 猎奇智能（拟上市）：覆盖耦合、贴片等主要环节，绑定中际旭创市占率领先

- 公司自成立以来深度服务光通信行业，与中际旭创已建立超过 10 年的长期稳定合作关系。公司自 2016 年起陆续向中际旭创交付耦合设备、老化测试设备，并于 2019–2020 年切入共晶贴片、固晶贴片等更高精度封装核心环节，合作设备品类持续拓展、技术壁垒不断抬升，逐步融入中际旭创核心产线体系，形成稳定、黏性较强的产业协同关系。
- 中际旭创长期稳居公司第一大客户，近年来收入贡献占比持续维持在 55%–65% 的较高水平，是公司业绩增长的核心支撑。2022–2024 年公司来自中际旭创的收入分别为 0.83、1.80、3.19 亿元，占当期营业收入比重分别为 57.1%、62.2%、58.9%；2025 年上半年相关收入达 1.61 亿元，占比进一步提升至 65.6%。在 AI 算力与数据中心需求快速增长背景下，中际旭创持续加大资本开支，公司作为其封装设备主要供应商，订单需求具备较强持续性与可预期性。

◆ 图：公司深度绑定中际旭创，从单机切入到核心封装环节全覆盖

时间	关键节点	合作内容/意义
2016 年	合作起点之一	公司向中际旭创 交付首台耦合设备 ，切入其光模块封装设备体系
2017 年	产品线拓展	公司向中际旭创 交付首台老化测试设备 ，合作设备品类扩展
2019 年	工艺升级	公司向中际旭创 交付首台共晶贴片设备 ，进入更高精度封装环节
2020 年	规模化应用	公司向中际旭创 交付首台固晶贴片设备 ，成为其封装产线的重要组成部分

◆ 图：中际旭创收入贡献持续提升，占公司收入比重长期维持高位



4.10 联讯仪器（拟上市）：光模块测试领域龙头，产品布局全面

东吴证券
SOOCHOW SECURITIES

- 联讯仪器是国内领先的高端测试仪器设备厂商。主营业务涵盖通信测试仪器、光电子器件测试设备、电性能测试仪器及半导体测试设备的研发、制造与销售，下游广泛应用于光通信、半导体、功率器件、集成电路、人工智能及新能源等领域，是少数能够覆盖从模块、芯片到晶圆多层级测试需求的本土厂商。
- 在光通信领域，公司围绕高速光模块测试需求，构建了完整的产品矩阵。核心产品包括高速采样示波器、时钟恢复单元、误码分析仪、突发误码分析仪、快速波长计等通信测试仪器，以及CoC光芯片老化测试系统、光芯片KGD分选测试系统、硅光晶圆测试系统等光电子器件测试设备，全面覆盖封装级光芯片、裸Die级光芯片及晶圆级硅光芯片等产业链关键测试环节。随着400G、800G向1.6T迭代，公司50GHz采样示波器、56GBaud时钟恢复单元、800Gbps误码分析仪已实现规模化量产供货，并进一步推出满足当前行业最高水平的65GHz采样示波器、120GBaud时钟恢复单元及1.6Tbps误码分析仪。

◆ 图：联讯仪器为国内领先的高端测试仪器设备厂商，围绕高速光模块测试需求构建了完整的产品矩阵

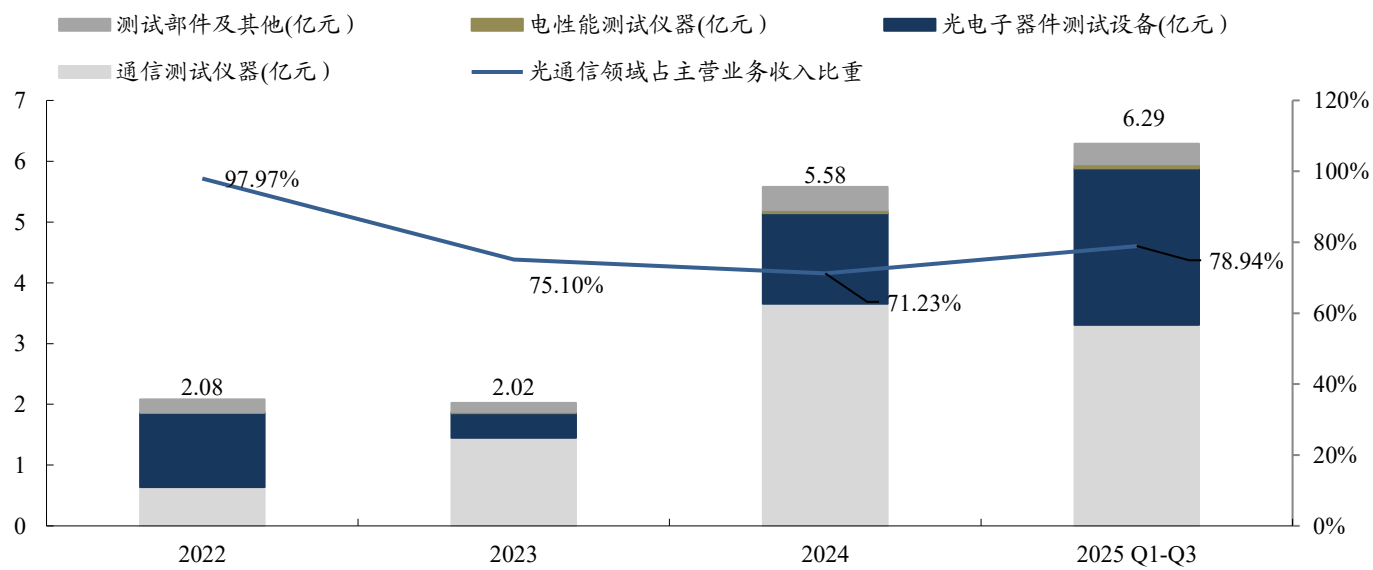


4.10 联讯仪器（拟上市）：光模块测试领域龙头，产品布局全面

东吴证券
SOOCHOW SECURITIES

- 公司在中国通信测试仪器市场份额排名第三，在中国光电子器件测试设备市场份额排名第一。公司是全球第二家推出 1.6T 光模块“全部核心测试仪器”解决方案并实现量产供货的厂商，在高速光模块测试领域具备显著先发优势。根据 Frost & Sullivan 数据，2024 年公司在中国通信测试仪器市场份额排名第三，是前五中唯一的本土企业；在中国光电子器件测试设备市场份额排名第一，技术水平与产品性能已达到国际一线水准。公司已进入国内外主流光通信产业链客户体系，主要客户包括中际旭创、新易盛、光迅科技、海信集团、华工正源、赛丽科技，以及 Lumentum、Coherent、Broadcom、环球广电、日本住友、日本古河等国际头部厂商，客户结构优质，验证了公司在高速光通信测试领域的核心竞争力。
- 光通信始终为公司最核心下游应用领域。2022-2025Q1-Q3，光通信领域收入占比长期维持在 70% 以上，2025 年前三季度占比接近 80%，显示公司业务结构高度聚焦高速光通信测试需求。光通信领域分产品种类来看，通信测试仪器和光电子器件测试设备贡献主要收入，2025 年 Q1-Q3 占总营业收入比例分别为 41.3%、32.3%

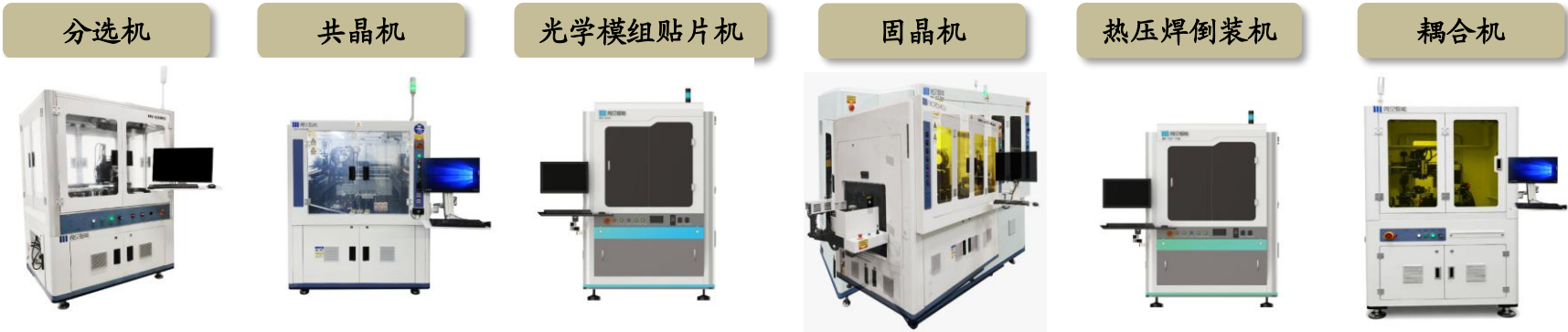
◆ 图：光通信领域营收占比长期超70%



4.11 微见智能（未上市）：绑定光通信头部客户，高精度产品打破海外垄断

- 微见智能为高精度芯片封装设备领域的关键参与者，深度绑定全球光通信产业链的核心玩家。目前已服务全球十大光器件厂商中的7家，同时覆盖全球头部光模块客户中的7家。随着三期交付中心扩产完成，微见智能已具备年产600台固晶机的产能，在光通信核心领域建立了难以撼动的市场地位。
- 微见智能在技术实力上实现了对国际顶尖水平的对标与突破。核心产品1.5μm级高精度固晶机，合计误差控制在1.5μm以内，实际芯片量产贴装精度达到±3μm，贴装力优于10g±1g。这一技术突破打破了美国、日本厂商对5μm以内高端固晶机市场的长期垄断，满足光通信模块中激光芯片与光纤的微米级对准需求，保障光信号传输效率与稳定性。2023年，其1.5μm级高精度固晶机成功出口欧美市场，目前出口订单占总体订单比例已超20%。公司在东亚、东南亚、美国等芯片重点市场建立了本地化交付与技术支持团队，形成了“3天投产，0原厂交付”的高效服务能力。

◆ 图：微见智能高精度设备，面向光通信头部客户



4.12 镭神技术（未上市）：聚焦光模块领域核心客户，耦合设备技术领先

- 镭神技术已实现头部光模块客户的基本覆盖，其设备凭借高精度与高性价比，成为头部厂商的核心选择。2024年下半年起，受AI算力爆发推动光模块需求增长的影响，公司多模/单模光器件耦合机销量快速攀升，追平主力产品测试、老化机，成为新的业绩增长点，支撑公司未来几年销售额持续高速增长。
- 镭神技术在设备技术实力上核心优势突出。其装备拥有自研纳米级直线滑台、角滑台和可自由编辑控制软件的特定耦合算法等核心技术，能兼容多类型、不同技术层次要求的产品方案，满足客户定制化设计需求，且售价相对国外同类产品具备极高的性价比。在耦合设备领域，公司产品目前以单模为主，可满足400G、800G甚至1.6T光模块的耦合要求，具备极强的技术兼容性。无论是传统的EML方案，还是硅光、薄膜铌酸锂等新兴技术方案，设备均能稳定支持，尤其适用于硅光模块以及CPO的耦合、封装及测试环节。

◆ 图：镭神技术核心设备布局，覆盖耦合、封装、测试等环节





- 一、AI发展带动光模块需求爆发，CPO等为未来发展趋势
- 二、光模块三大核心封装测试设备为贴片、耦合、测试仪器仪表&测试机
- 三、国产替代仍有空间，自动化&定制化&技术迭代持续
- 四、重点公司
- 五、投资建议&风险提示

- 重点推荐罗博特科（耦合设备）、科瑞技术（贴片、耦合机）、凯格精机（封装、贴片机）、博众精工（贴片、耦合机）、普源精电（测试仪器仪表）、奥特维（AOI设备）、快克智能（封装、AOI设备、贴片机等）、天准科技（AOI设备），建议关注猎奇智能（拟上市）（耦合、贴片机）、联讯仪器（拟上市）（测试仪器&测试ATE）。

◆图：公司估值表（截至2026/3/13）

2026/3/13		收盘价 (元)	市值	归母净利润（亿元）				PE			
代码	公司		(亿元)	2024	2025E	2026E	2027E	2024	2025E	2026E	2027E
300757.SZ	罗博特科	387.85	650	0.6	1.3	1.9	2.4	1,018	500	337	273
688516.SH	奥特维	75.98	240	12.7	6.8	6.1	6.4	19	35	39	37
603203.SH	快克智能	39.25	100	2.1	2.7	3.2	3.8	47	37	31	26
688003.SH	天准科技	58.59	114	1.2	1.0	2.7	3.8	91	113	42	30
301338.SZ	凯格精机	188.06	200	0.7	1.9	4.0	6.0	284	104	50	33
688097.SH	博众精工	66.00	295	4.0	5.6	7.3	9.3	74	53	40	32
002957.SZ	科瑞技术	26.25	110	1.4	3.0	3.6	4.9	79	37	31	23
688337.SH	普源精电	43.98	85	0.9	1.0	1.5	2.1	92	84	57	41

注：以上快克智能、科瑞技术盈利预测来自截至2026/3/13 一致预期，其余盈利预测均来自东吴证券研究所内部预测

- **AI算力投资节奏不及预期导致光模块需求放缓。**若全球云厂商资本开支放缓或大模型训练需求边际降温，高速率光模块出货节奏可能低于预期。设备订单通常滞后于模块扩产，一旦需求放缓将对设备端形成放大影响。
- **800G/1.6T及CPO渗透进度低于预期。**若高端规格技术成熟度、良率爬坡或客户验证节奏不及预期，可能导致产品放量推迟。高速率产品占比提升放缓将削弱设备单线投资强度提升逻辑。
- **国产替代推进节奏存在不确定性。**高精度贴片、金丝键合及高端测试仪器等领域仍以海外厂商为主，若核心零部件突破或客户验证进展低于预期，国产化率提升节奏可能放缓。
- **行业竞争加剧及价格下行风险。**随着行业景气度提升，新进入者增加或现有厂商扩产加速，可能导致部分细分环节竞争加剧。若价格竞争加大，将对设备厂商毛利率及盈利能力形成压力。

免责声明

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

投资评级基于分析师对报告发布日后6至12个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A股市场基准为沪深300指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普500指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的），北交所基准指数为北证50指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所

苏州工业园区星阳街5号

邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园