

科技专题研究

2023年4月18日



中航证券有限公司

AVIC SECURITIES CO., LTD.

光器件行业深度报告：激光上游赋能千行百业，算力时代网络底座基石

行业评级：增持

分析师：刘牧野

证券执业证书号：S0640522040001

股市有风险 入市需谨慎

- **作为我国制造业转型升级的关键技术之一，激光产业在政策的支持下蓬勃发展。**激光技术是我国制造业转型升级的关键支撑技术之一，《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》、《“十三五”国家科技创新规划》等国家政策、发展规划和项目指南均强调重点支持激光产业的发展。同时，得益于激光技术比许多传统制造技术更具成本优势，激光设备在我国迅速普及，我国激光设备、激光器市场增速远高于全球平均水平。
- **上游逐渐打破依赖进口，高端光芯片、光器件国产替代空间广阔。**在我国政策指引与基础共性研究取得长足进步的背景下，我国激光产业的质量、技术与服务在竞争中慢慢提高，逐步实现由依赖进口向自主研发、替代进口到出口的转变。目前，我国光器件市场各类器件种类繁多，生产厂商百舸争流，整体呈现充分竞争格局。而在技术壁垒更高的光芯片领域，中低端产品国产化率已大幅提升，但高端光芯片仍依赖进口，例如25G以上光芯片国产化率仅5%，国产替代空间广阔。
- **科研与军事在激光下游应用中增长潜力最高，“快准狠”使“激光武器化”成为必然。**在激光产业众多下游应用中，2020年预计2021年科研与军事市场同比增长32%，具有最高的增长潜力。其中高能激光武器利用高功率激光的热效应、光电效应和热力耦合等效应直接使目标失效甚至毁伤，具有快速响应、打击精准、效费比高、作战隐蔽不易追溯等优点，逐渐成为可适应未来信息化高技术战争的主战武器之一。预计到2024年，全球定向能激光源和军事激光市场将从2019年的89亿美元增长到146亿美元，2019-2024的年复合增长率为10.41%。
- **在“双千兆”国家政策和人工智能浪潮催生对网络传输升级迭代迫切需求下，光通信驶入发展快车道。**我国“双千兆”网络基础设施建设在政策的指引下一直走在全球前列。而近期在ChatGPT引领的AI时代下，指数级增长的复杂应用场景驱动网络传输迭代升级，数据中心光模块的速率向400G、800G演进。同时，解决高速高密度互连传输场景下功耗制约痛点的新型光电子集成技术CPO也将成为业界重点研发路径。
- **建议关注：**（1）质地稀缺的光芯片相关标的：长光华芯、源杰科技、仕佳光子；（2）光器件相关标的：CPO和光引擎前瞻性布局天孚通信、铌酸锂调制器国内龙头光库科技；（3）在CPO技术、800G光模块进展领先相关标的：中际旭创、光迅科技、华工科技、德科立等。
- **风险提示：**“双千兆”建设不及预期风险；下游需求不及预期风险；产品研发不及预期风险；国际贸易摩擦风险等。

一、我国激光产业蓬勃发展，逐渐实现上游光器件国产替代

二、激光上游赋能千行百业，算力时代网络底座基石

2.1 工业：工业激光器市场保持稳定，光纤激光器性能优越占比过半

2.2 激光武器：“快准狠”使“激光武器化”成为必然

2.3 光通信：“双千兆”+人工智能网络传输升级迭代迫切需求，驶入发展快车道

2.4 消费电子：苹果引领3D视觉感知规模化普及，AR/VR成为新增长点

2.5 车载激光雷达：随着ADAS大规模“上车”，迎重要发展机遇

三、风险提示

1.1 欧美在激光产业具有先发优势，我国逐渐实现国产替代



■ 激光的发明可以追溯到20世纪早期，很快便被广泛应用于各个领域，并深刻地影响了科学、技术、经济和社会的发展及变革，是20世纪与原子能、半导体、计算机齐名的四项重大发明之一，**推动现代光子物理学科的两大分支能量光子学和信息光子学的蓬勃发展**。欧美地区作为激光技术、激光设备的起源与发展重要区域，具有先发优势和领先地位。其激光产品应用的技术先进程度、渗透优势更为明显，在机械、汽车、航空、钢铁、造船、电子等大型制造产业中，基本完成了激光加工工艺对传统加工工艺的替代更新，进入“光加工”时代，同时涌现出一批知名的激光领域企业。在我国政策指引与基础共性研究取得长足进步的背景下，我国激光产业的质量、技术与服务在竞争中慢慢提高，逐步实现由依赖进口向自主研发、替代进口到出口的转变。

- 1917年爱因斯坦提出受激辐射概念，并于1947年被验证。
- 1950年Kastler提出光学泵浦的方法。
- 1954年第一台氨分子Master建成，首次实现粒子数反转。
- **1958年《红外和光学激射器》发表，标志激光时代正式开启。**
- 1960年红宝石激光器研制成功。

理论发展阶段
(1917-1960年)

- 1960-1966年，第一台氟氖激光器、光纤激光器、半导体激光器、液体激光器、CO₂激光器、离子激光器、YAG固体激光器、HCL化学激光器、生物染料激光器等相继推出。
- **激光应用场景逐渐落地**，开始被应用于医疗、军事、遥感探测、汽车制造、集成电路制造、消费电子等领域。
- 如超市条形扫码器、商用激光打印机、碟片播放机等**商业化产品应运而生**。
- 里根“星球大战”演讲中描绘基于太空的激光武器。
- 我国大族激光、华工科技等激光厂商开始崛起。

应用拓展阶段
(1960年-2000年)

- SPI公司成立，光纤激光器产品迅速发展。
- 法国神经外科学家使用广导纤维激光和微创手术治疗脑瘤。
- 美国国家核安全管理局通过使用192束激光来束缚核聚变的反应原料、氢的同位素氘和氚解决核聚变的一个关键困难。
- **我国在激光器件上逐渐打破国外技术封锁和价格垄断，填补国内空白。**

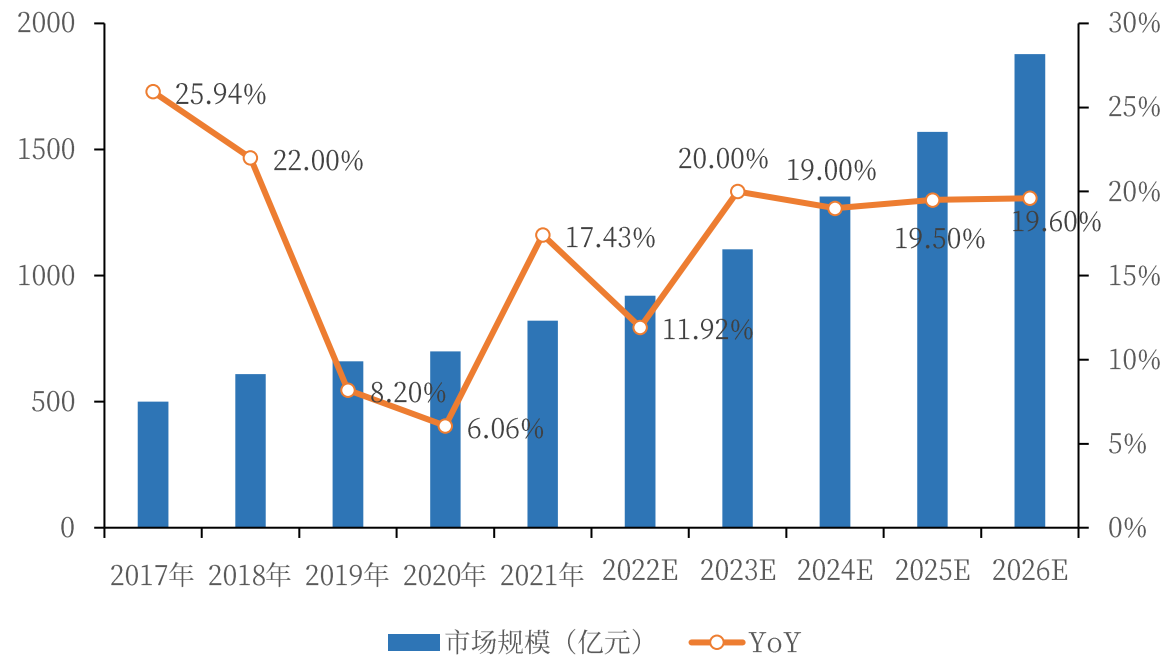
快速发展阶段
(2000年~)

1.2 长期政策支持+普及率提升，我国激光产业市场规模攀升



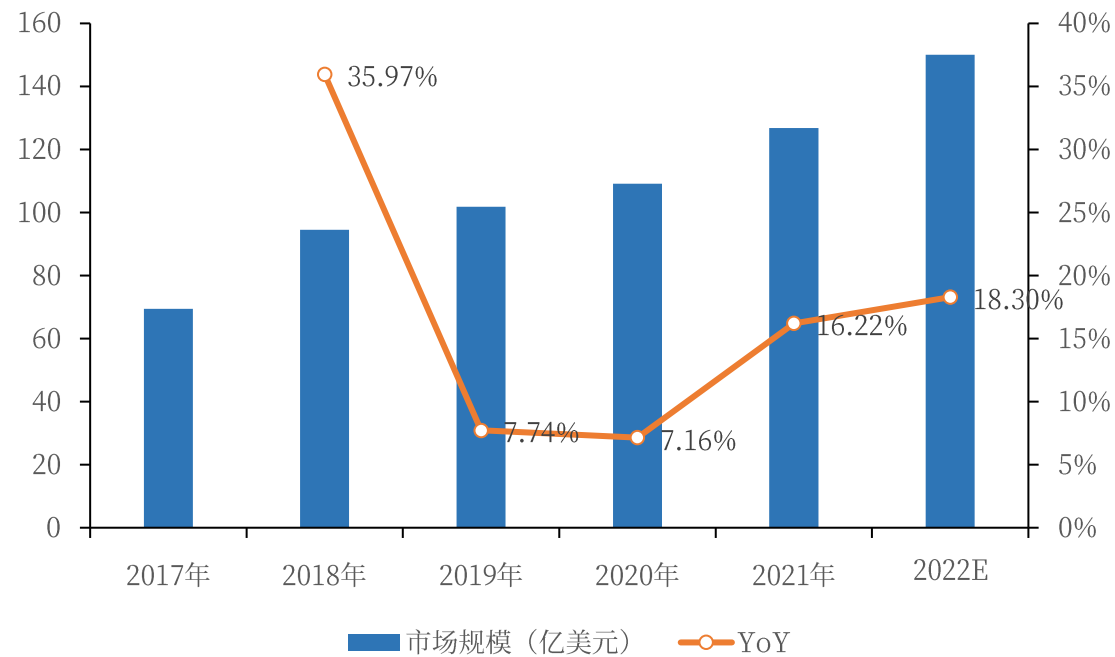
- **激光技术是我国制造业转型升级的关键支撑技术之一，长期以来受到国家产业政策的重点鼓励 and 大力支持。**《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》、《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南》、《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》、《“十三五”国家科技创新规划》、《2017 年度增材制造重点专项项目申报指南》等国家政策、发展规划和项目指南均强调重点支持激光产业的发展，为产业持续快速发展提供了广阔的产业政策空间和良好机遇。
- **激光技术普及率提升，我国激光设备、激光器市场增速远高于全球平均水平。**激光技术的应用比许多传统制造技术更具成本优势，使激光设备在我国得以迅速普及，叠加国产激光产品的崛起正在逐步取代进口的激光产品，我国激光设备和激光器蓬勃发展。我国激光设备2022年市场规模预计将达920亿元，2023年后至2026年将维持20%左右的同比增速。根据Laser Focus World数据，2017-2021年，全球激光器市场规模从138亿美元增长至 185 亿美元，复合年均增速约为7.6%；同期我国激光器市场规模从70亿美元增长至127亿美元，复合年均增速约为16.2%，远高于全球增速。

图：2017年至2026年中国激光设备市场规模及预测（亿元）



资料来源：华工科技公告、亿渡数据、中航证券研究所整理

图：2017年至2022年中国激光器市场规模及预测（亿美元）



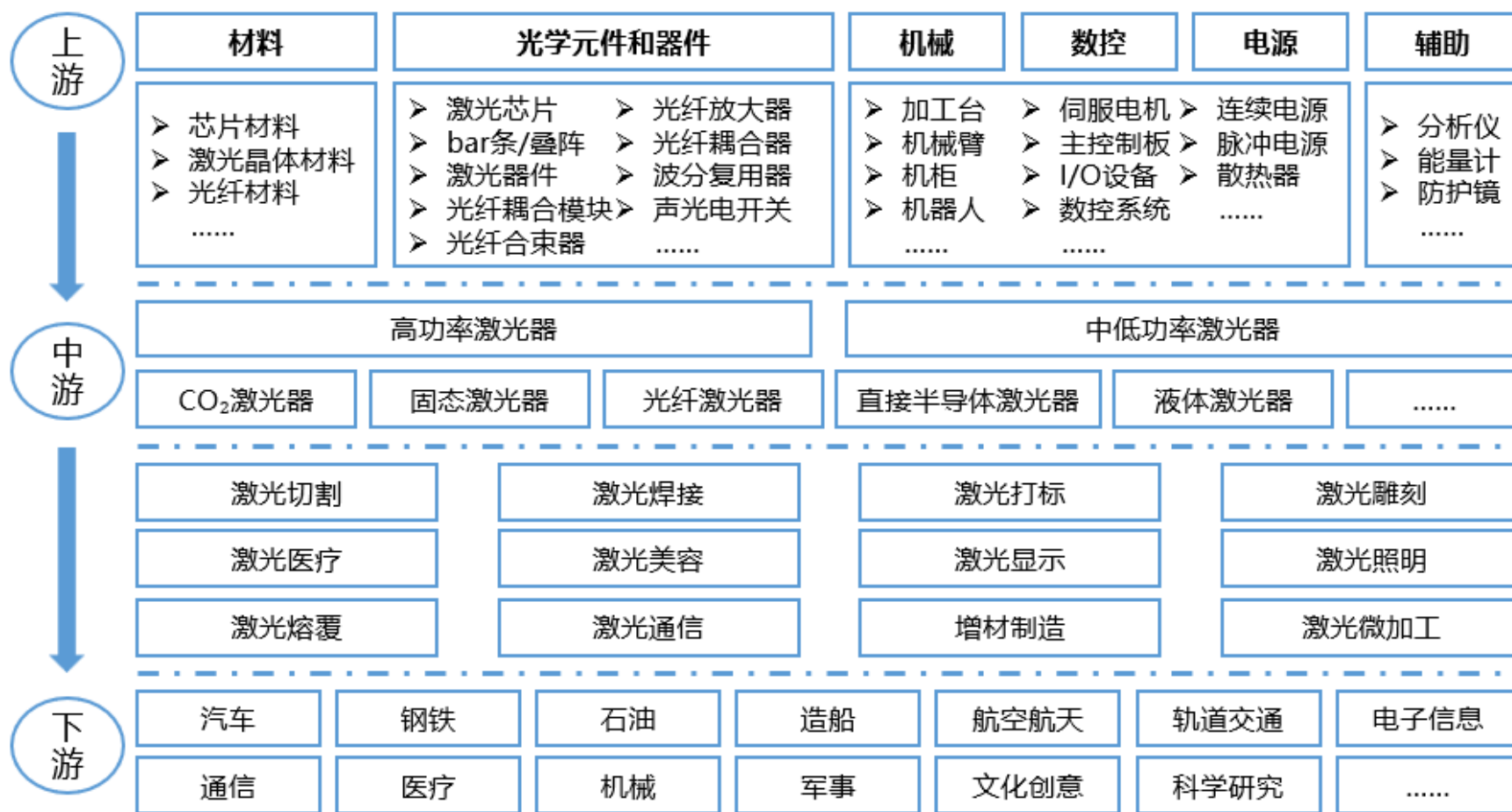
资料来源：Laser Focus World、亿渡数据、中航证券研究所整理

1.3 上游光芯片、光器件准入门槛高，是激光产业的基石



- 激光产业链上游是利用半导体原材料、高端装备以及相关的生产辅料制造激光芯片、光电器件等，是激光产业的基石，准入门槛较高。产业链中游是利用上游激光芯片及光电器件、模组、光学元件等作为泵浦源进行各类激光器的制造与销售，包括直接半导体激光器、二氧化碳激光器、固体激光器、光纤激光器等；下游行业主要指各类激光器的应用领域，包括工业加工装备、激光雷达、光通信、医疗美容等应用行业。

图：激光产业链



资料来源：长光华芯招股书、中航证券研究所整理

1.4 行业巨头通过不断收购提高集中度和规模竞争力



- 多数光器件巨头均是由不断兼并收购而来，主要通过横向整合、纵向整合及技术整合来提升集中度和规模竞争力。光器件行业国际领军企业包括II-VI、思科、朗美通、博通、住友电工等，在收购中日益壮大，我国光器件领域厂商兼并收购等交易相对较少。
- 横向整合：合并无源器件和有源器件厂商，达到不同产品线之间的补充协同，形成更全的产品矩阵。
- 纵向整合：下游设备厂商、集成商收购光器件厂商，形成完整的解决方案，减少核心光器件外购。
- 技术整合：对硅光子等代表未来的先进技术整合，形成更强的竞争力。

图：近年光器件行业合并、收购事件

时间	收购方	被收购方	被收购方核心技术	交易意义	时间	收购方	被收购方	被收购方核心技术	交易意义
2012.3	思科	Lightwire	硅光子技术	通过硅光技术降本增效	2019.11	Inphi	eSillicon	高速SerDes、ASIC IP	增强2.5D封装、SerDes、ASIC实力
2012.7	Oclaro	Opnext	Oclaro和Opnext各自为电信光器件和数据通信用光器件的龙头	完善的产品线和开发实力	2019.11	博通	FIT光模块	2019年全球销量前十光模块厂商之一	增强从芯片到模块的布局
2013.5	Mellanox	Kotura	硅光子芯片	增强服务器和存储系统高速、可扩展和高效端到端互联解决方案	2020.02	Nokia	Elenion	硅光芯片技术	整合硅光技术降低成本
2014.6	Avago	CyOptics	领先的磷化铟（InP）光学芯片及组件技术	加强Avago光纤产品在新兴40G和100G企业和数据中心应用的产品组合	2020.10	Marvell	Inphi	光模块模拟和混合信号处理芯片/oDSP	完善交换机到光模块的芯片技术
2014.11	Molex	Oplink	全球最大光无源器件厂商之一	拓展Molex的光纤业务	2020.11	Hitachi	VLC	硅光、InP等芯片技术	增强光通信产品组合
2018.3	朗美通	Oclaro	光模块、半导体激光器芯片	光通信领域强强联合	2021.1	思科	Acacia	相干光模块、高速DSP、硅光芯片	增强光互联技术解决方案
2018.3	II-VI	CoAdna	全球WSS 领军者	强化ROADM产品垂直整合能力	2021.1	朗美通	Coherent	全球最大光器件厂商之一	扩大在激光器和光通信市场渗透率
2018.9	Molex	Nistica	波长选择开关（WSS）	扩大产品组合	2021.11	朗美通	NeoPhotonics	全球最大光器件厂商之一	400G+产品领域更具竞争力
2018.11	II-VI	Finisar	全球最大的光器件、光模块厂商之一	IDC和5G网络提供全系列光通信解决方案	2022.1	新易盛	AlpineOptoelectronics, Inc	硅光模块、相干光模块以及硅光子芯片技术	参与相关市场竞争
2019.12	思科	Luxtera	硅光芯片全球最大供应商之一	布局硅光技术					

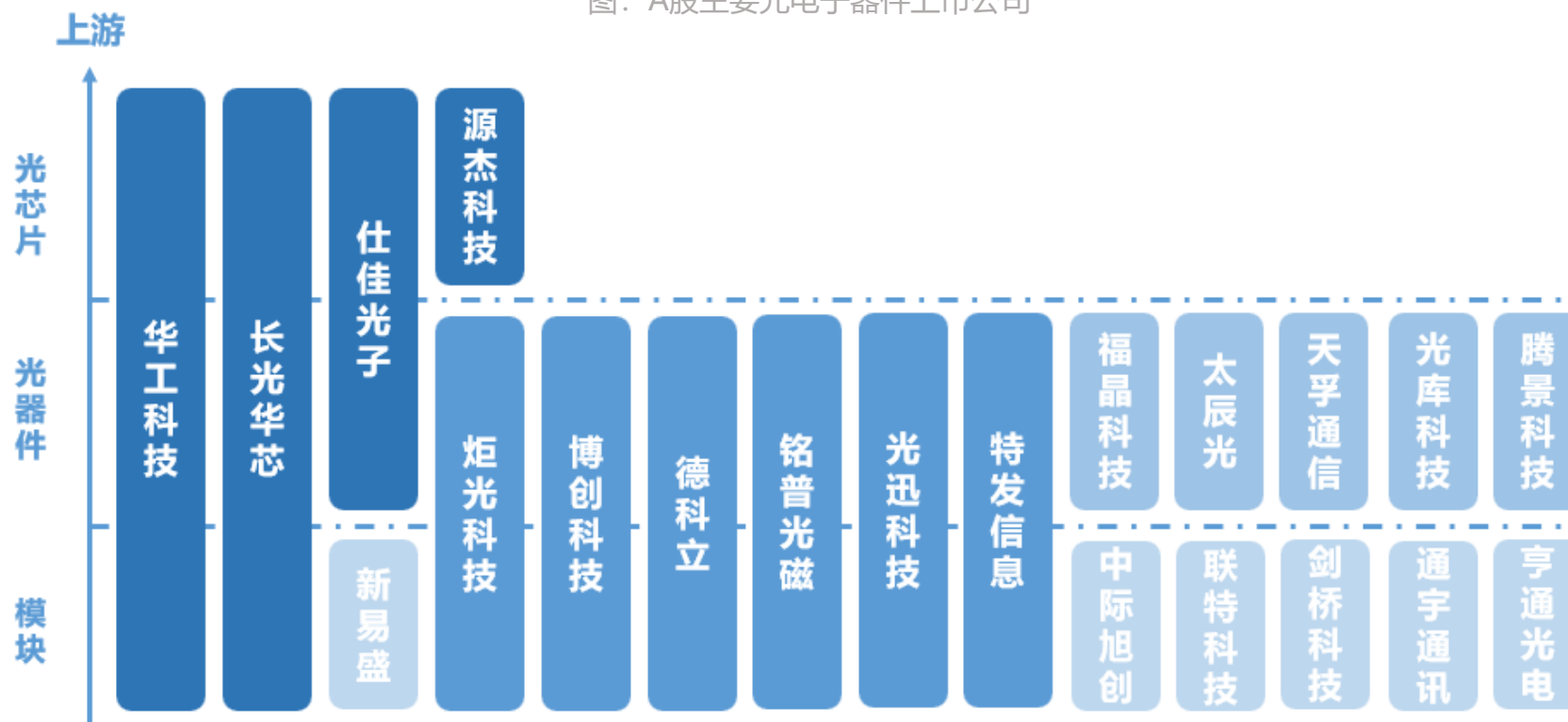
资料来源：光通信之家、C114通信网、ofweek、icspec、中航证券研究所整理

1.5 A股光电子器件上市公司一览



- **光芯片：**国内光芯片标的稀缺，现阶段以高端芯片国产替代为目标。海外光芯片公司拥有先发优势，普遍具有从光芯片、光收发组件、光模块全产业链覆盖能力，建立起较高的行业壁垒。而我国与国外产业领先水平存在一定差距，尤其是高速率光芯片严重依赖进口。以激光器芯片为例，我国能够规模量产 10G 及以下中低速率激光器芯片，但 25G 激光器芯片仅少部分厂商实现批量发货，25G 以上速率激光器芯片大部分厂商仍在研发或小规模试产阶段。
- **光器件：**市场整体呈现充分竞争格局，各类器件种类繁多，生产厂商众多，行业的市场化程度高。

图：A股主要光电子器件上市公司



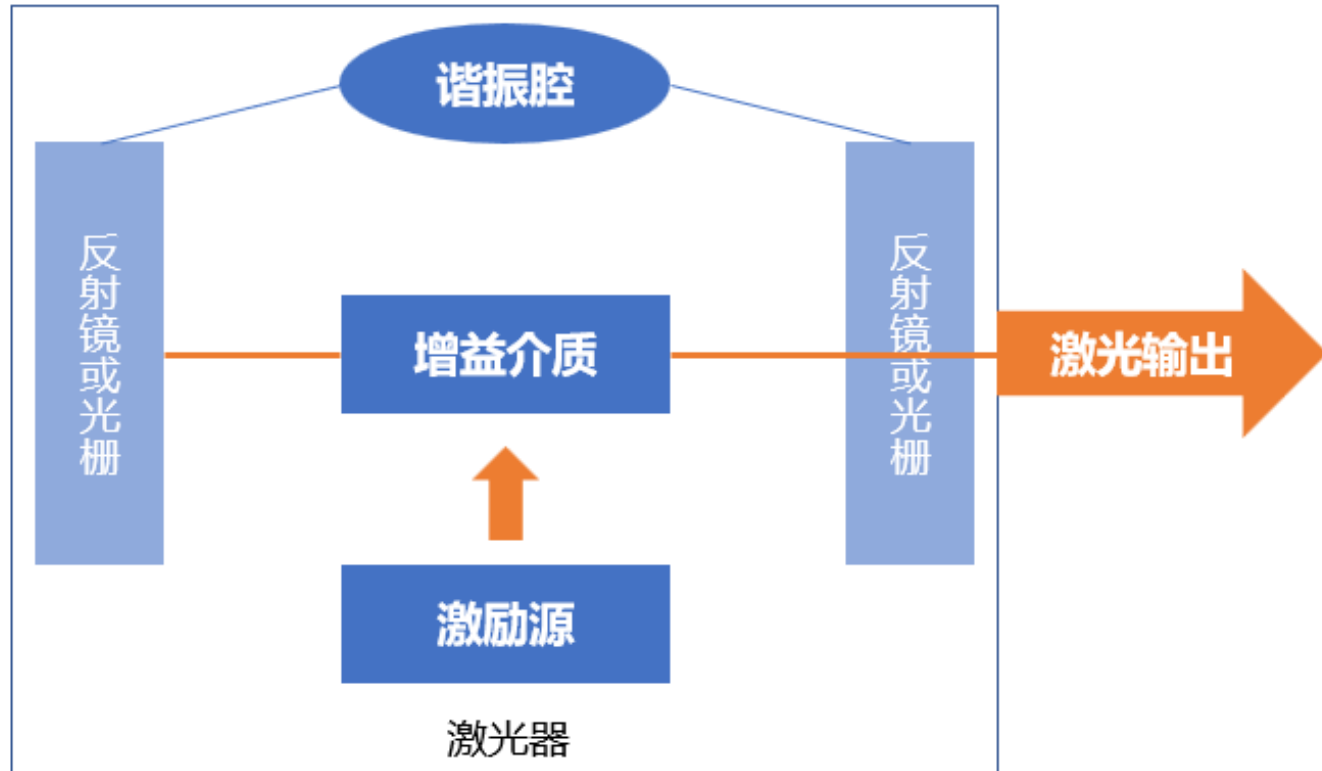
1.6 激光器决定光束质量和功率，是激光产业核心部件



- **激光器的性能往往直接决定激光设备输出光束的质量和功率，是下游激光设备最核心的部件。** 激光器是利用受激辐射方法产生可见光或不可见光的一种器件，构造复杂，技术壁垒较高，主要由光学系统、电源系统、控制系统和机械机构四个部分组成，其中光学系统主要包括泵浦源（激励源）、增益介质（工作物质）和谐振腔等光学器件材料。

图：激光器原理

- **泵浦源（激励源）：**为增益介质提供能量激励。
- **增益介质：**通过吸收泵浦源产生的能量，受激后产生光子从而生成并放大激光。
- **谐振腔：**是光子特性（频率、相位和运行方向）的调节场所，通过控制腔内光子振荡来获得高质量的输出光源。
- **反射镜或光栅：**射出激光，形成激光束。

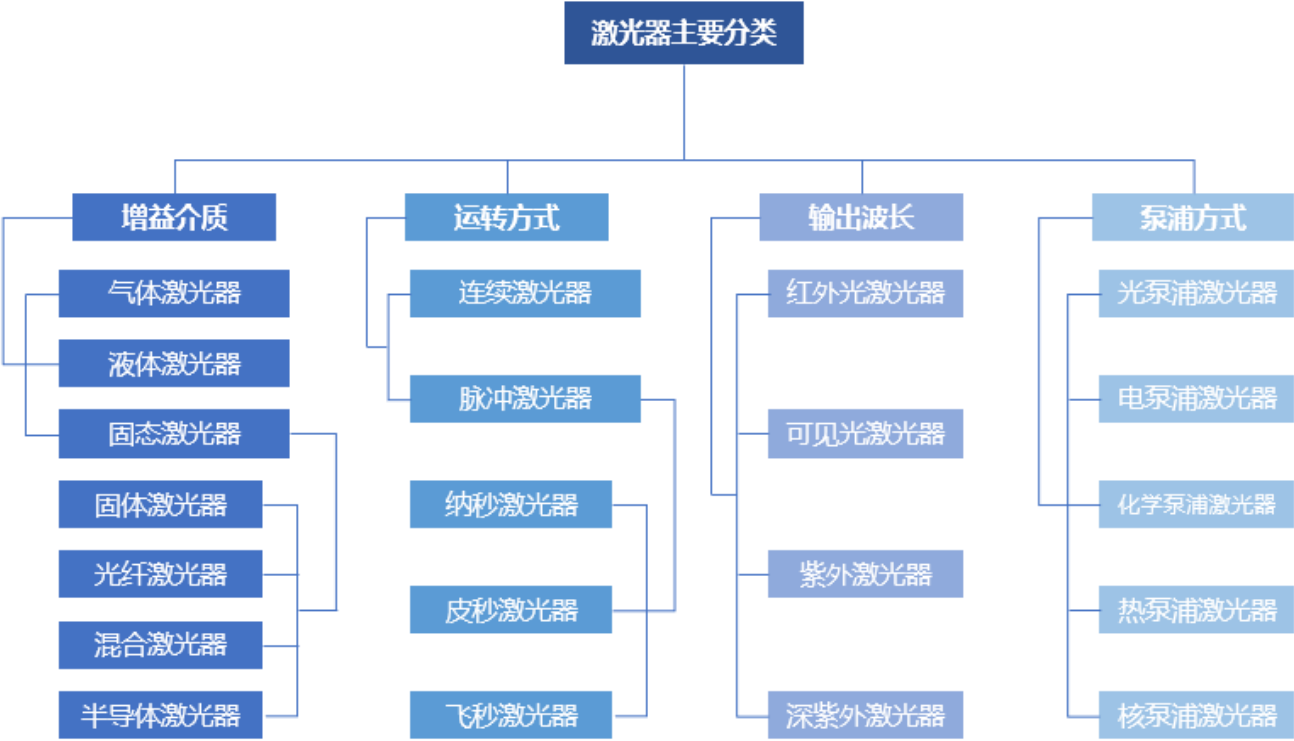


1.7 激光器可按照增益介质、泵浦方式等多种标准进行分类



- 激光器存在多种分类方式，较为常见的分类依据有增益介质、运转方式、输出波长、泵浦方式等。按增益介质划分，气体激光器中具有代表性的是CO₂气体激光器，固体激光器中具有代表性的是宝石激光器、YAG激光器、光纤激光器及半导体激光器等。

图：激光器主要分类方式



资料来源：长光华芯招股书、中航证券研究所整理

图：激光器主要分类及特点

激光器类型	常见类别	激光波长	输出功率	能量转换效率	特点	应用
固体激光器	YAG/红宝石激光器	可见光到近红外波段	约为20KW	0.5%-1%	输出功率高，能量转换率低，单色性差	测距、材料加工、军事等
半导体激光器	GaAs二级管激光器	920nm-1.65 μm（近红外）	可到250KW	20%-40%	能量转换功率高，结构简单，寿命长，色性差	光纤通信、光信息储存、光信息处理、军事等
光纤激光器	脉冲/连续光纤激光器	1.46 μm-1.65 μm	达到上万瓦	8%-10%	小型集约化，高转换效率，高能量输出，高光束质量，无需光学准直，维护少	切割/焊接/雕刻等机械加工，远距离光纤通信、军事等
气体激光器	CO ₂ 激光器	红外线	达到上万瓦	8%-10%	单色性好，转换效率高	医美、工业制造和军事
液体激光器	工作物质：若丹明6G染料	紫外到红外	-	5%-20%	输出波长连续可调，能量转换率较高，易制备，成本低	科学研究、医学等

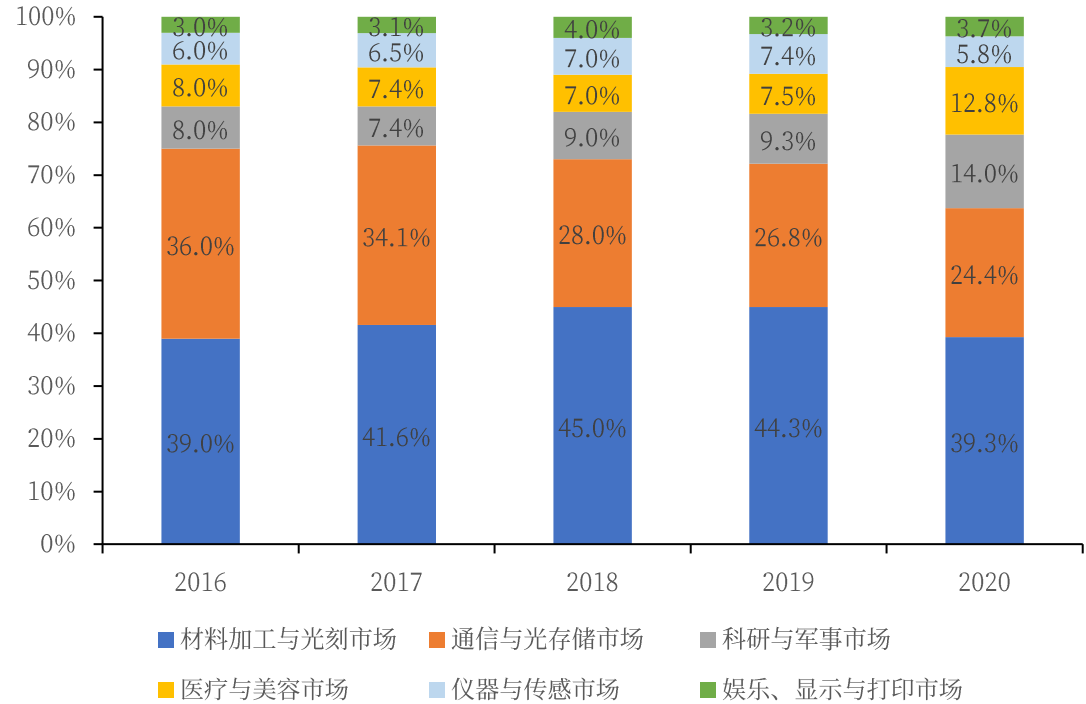
资料来源：亿渡数据、公开资料整理、中航证券研究所整理

1.8 材料加工与光刻是激光最大应用市场，科研与军事市场增长潜力最大



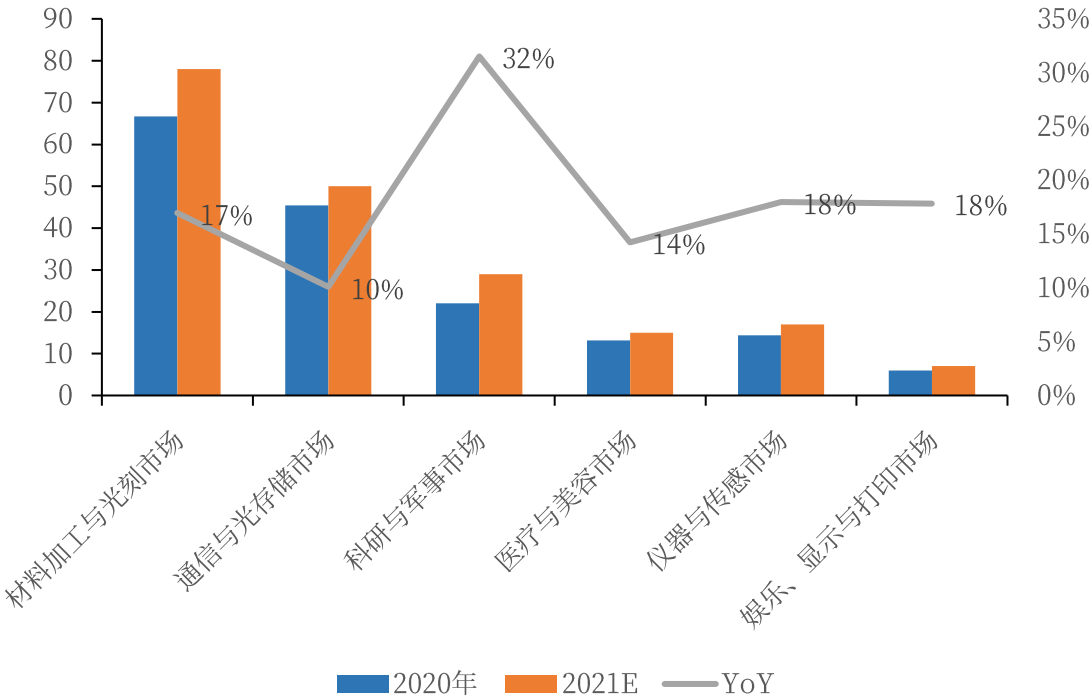
■ **材料加工与光刻一直是激光最大应用市场，科研与军事市场增长潜力最大。**根据Strategies Unlimited，2020年全球激光产业市场规模约为167.6亿美元，2021年市场规模有望继续取得17%左右的增长达到196亿美元。2020年材料加工与光刻市场、通信与光存储市场、科研与军事市场、医疗与美容市场、仪器与传感器市场及娱乐、显示与打印市场占比分别为39.8%、25.5%、14.8%、7.7%、8.7%、3.6%，2021年预计分别增长17%、10%、32%、14%、18%及18%。

图：2016-2020年全球激光产业应用领域占比



资料来源：Laser Focus World、腾景科技公告、中航证券研究所整理

图：2021年全球激光产业应用领域规模（亿美元）与增速预测



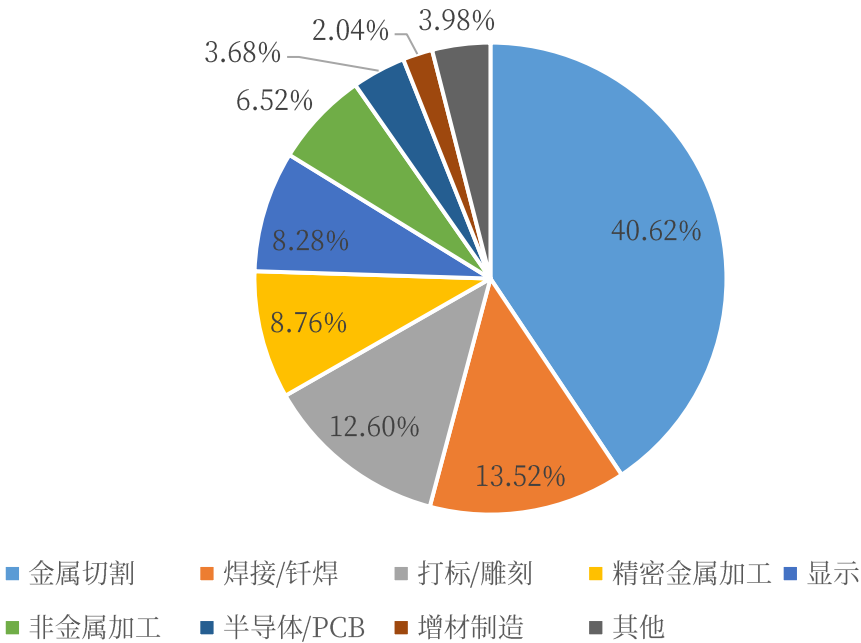
资料来源：Strategies Unlimited、OFweek行业研究中心、中航证券研究所整理

2.1 工业：工业激光器2026E达88亿美元， 光纤激光器占比过半



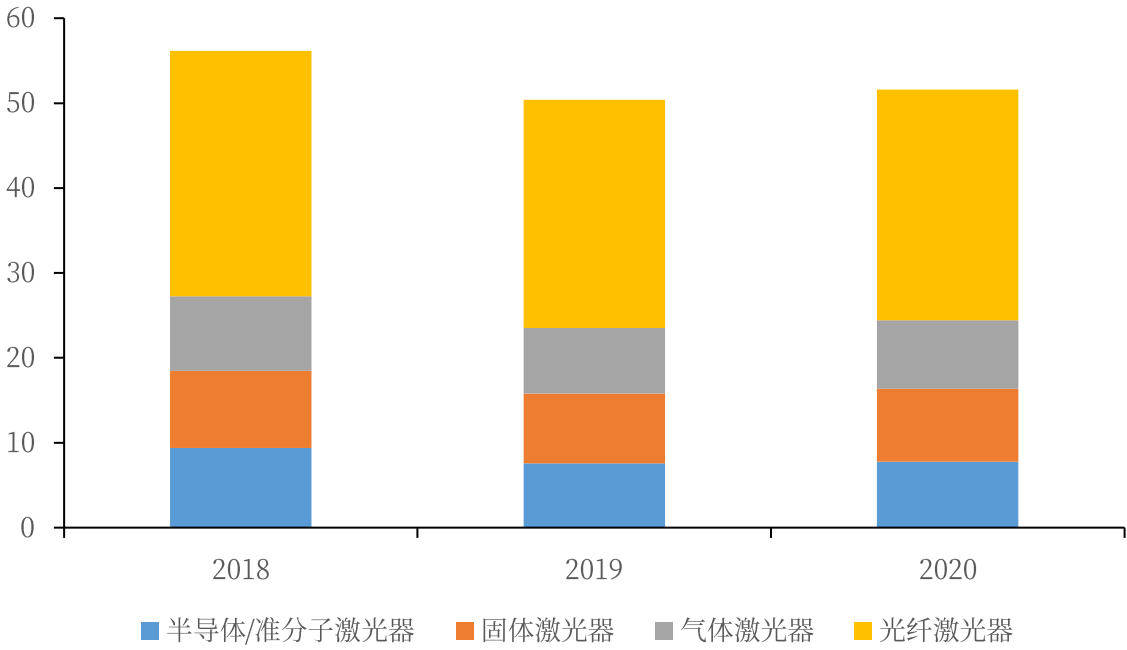
- **工业激光器作为材料加工领域应用的主要激光器，预计2026年市场规模将稳步提升至88亿美元。**在以亚太地区为代表的全球先进制造业快速发展背景下，激光应用领域不断拓展，应用程度持续加深，高端工业领域对激光设备的需求激增。亿渡数据预计2021年工业占我国激光设备下游应用63%，未来仍将是助推激光产业发展的重要驱动力。作为激光加工设备的核心部件，工业激光器元器件行业将面临良好的发展机遇。Laser Focus World预测2020年全球工业激光器市场规模为51.6亿美元，而Industry Perspective预计2021年至2026年年均复合增长率为11.3%，2026年整体市场规模可达88.08亿美元。
- **从应用领域来看，工业激光器主要用于金属切割、焊接和打标，合计占比超过65%；**此外，精密金属加工、显示、半导体也是工业激光器的重点应用行业。**从激光器分类上看，市场份额最大的是光纤激光器，2018年至2020年的销售占比均超过50%。**其中2020年全球光纤激光器销售额占比为52.7%；固体激光器销售额占比16.7%；气体激光器销售占比15.6%；直接半导体/准分子激光器的销售占比15.04%。

图：2020年全球工业激光器应用领域结构



资料来源：Laser Focus World、前瞻产业研究院、中航证券研究所整理

图：2017-2020年全球工业激光器市场规模（亿美元）



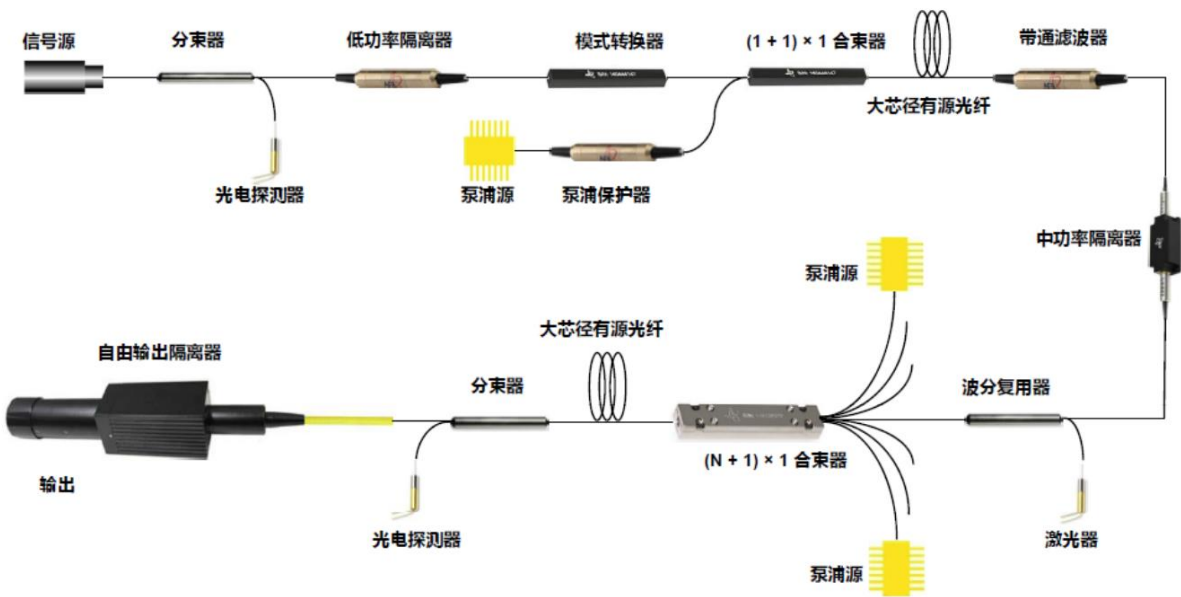
资料来源：Laser Focus World、HTI、中航证券研究所整理

2.1 工业：光纤激光器性能优越，随我国制造业高速发展

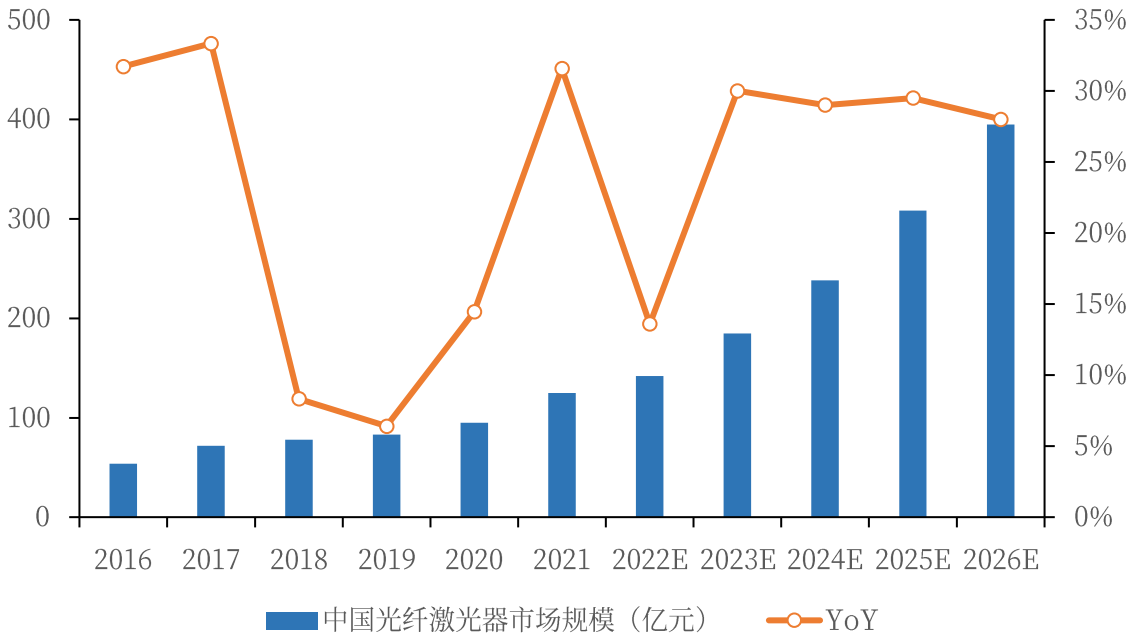


- **我国中低端光纤激光器国产化率较高，高功率国产替代正当时。** 光纤激光器是指用掺稀土元素玻璃光纤作为增益介质的激光器，典型的光纤激光器由泵浦源等光纤器件及有源光纤（增益介质）构成，泵浦源提供能量，信号源提供信号，通过隔离器、合束器等光纤器件准直传输、能量耦合，有源光纤受激辐射、放大，最终输出激光光源。100W及以下的低功率光纤激光器基本已完全实现国产替代，预计2020年中功率（ $\leq 1.5\text{kW}$ ）光纤激光器国产化率达60%，高功率中3-6kW产品端国内外产品旗鼓相当，但万瓦级国产化率亟待提高。
- **“第三代激光器”光纤激光器性能优越，随我国制造业发展市场规模保持高增长。** 光纤激光器具有输出激光光束质量好、能量密度高、电光效率高、使用方便、可加工材料范围广、综合运行成本低等诸多优势，广泛应用于雕刻、打标、切割、钻孔、熔覆、焊接、表面处理、快速成形等材料加工领域，被誉为“第三代激光器”。近十年来，中国光纤激光器市场规模持续增长，2021年中国已突破百亿，达到125亿元，较2020年增长31.58%，随着我国制造业的迅猛发展，预计2023-2026年整个市场将会保持近30%的高速增长，2026年我国光纤激光器市场有望达到394.73亿元。**光纤激光器件占光纤激光器成本的20%-30%，对应2026年我国光纤激光器件百亿左右市场规模。**

图：光纤激光器结构



图：中国光纤激光器市场规模（亿元）



资料来源：光库科技招股书、中航证券研究所整理

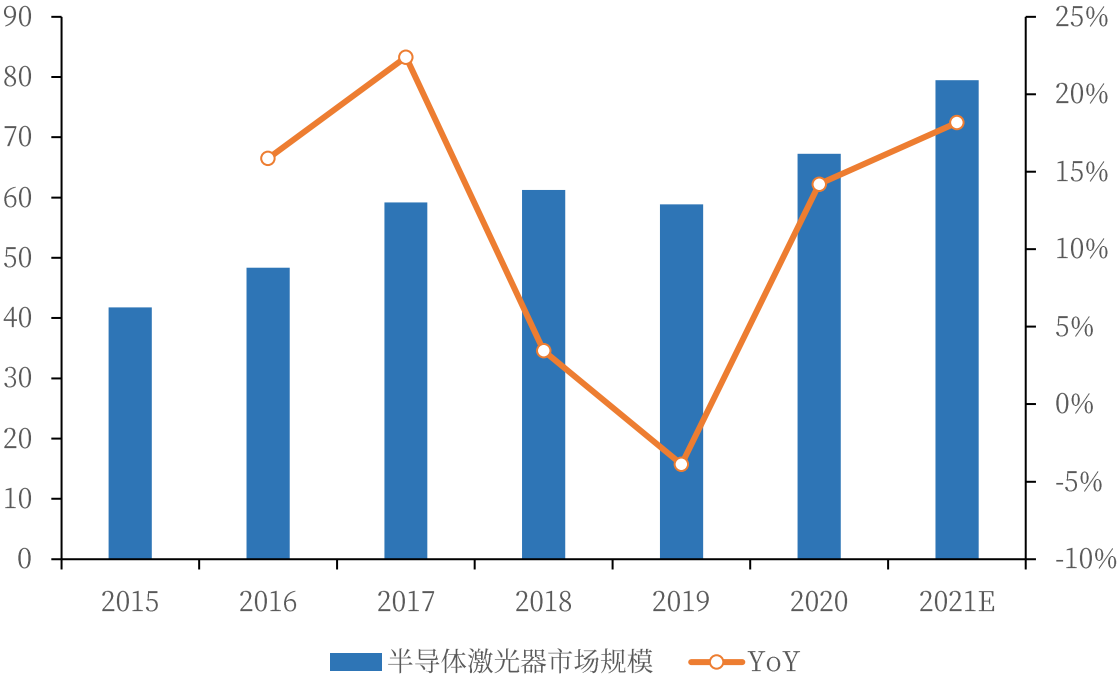
资料来源：亿渡数据、中航证券研究所整理

2.1 工业：半导体激光器应用广泛，其元器件市场2024年有望突破25亿美元



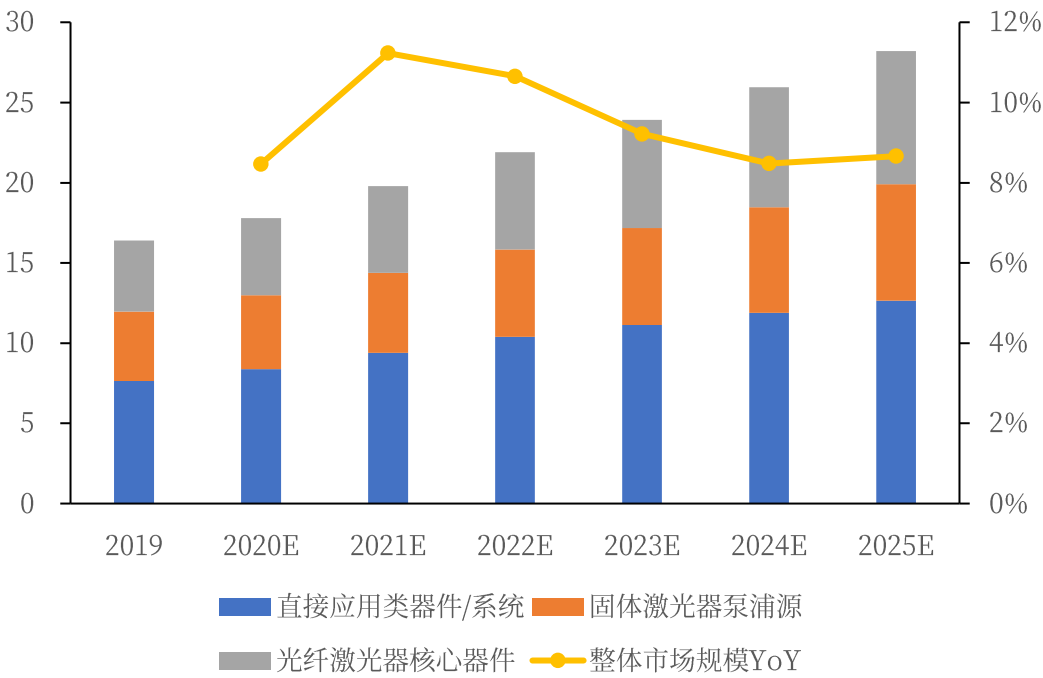
■ 半导体激光器既能直接应用，又能作为多种光泵浦激光器的核心泵浦源，引领半导体激光元器件市场稳步增长。半导体激光器在各类激光器中拥有最佳的能量转化效率，一方面可以作为光纤激光器、固体激光器等多种光泵浦激光器的核心泵浦源使用，另一方面，半导体激光器具有效率高、体积小、寿命长、低能耗等优点，半导体激光器被广泛直接应用于材料加工、医疗、光通信、传感、国防等领域。根据 Laser Focus World 预计，2021 年全球二极管激光器即半导体激光器与非二极管激光器的收入总额为 184.80 亿美元，其中半导体激光器占总收入的43%，市场规模预测为 79.46 亿美金，同比增长18.18%。半导体激光器应用和市场规模的拓展，带动其元器件市场规模稳步增长。根据Strategies Unlimited 的预测和炬光科技的市场调研，2019-2025年全球高功率半导体激光元器件市场规模将从16.40亿美元快速增长到 28.21 亿美元。

图：2015-2021年全球半导体激光器总收入（亿美元）



资料来源：Laser Focus World、长光华芯招股书、中航证券研究所整理

图：全球高功率半导体激光元器件市场规模（亿美元）



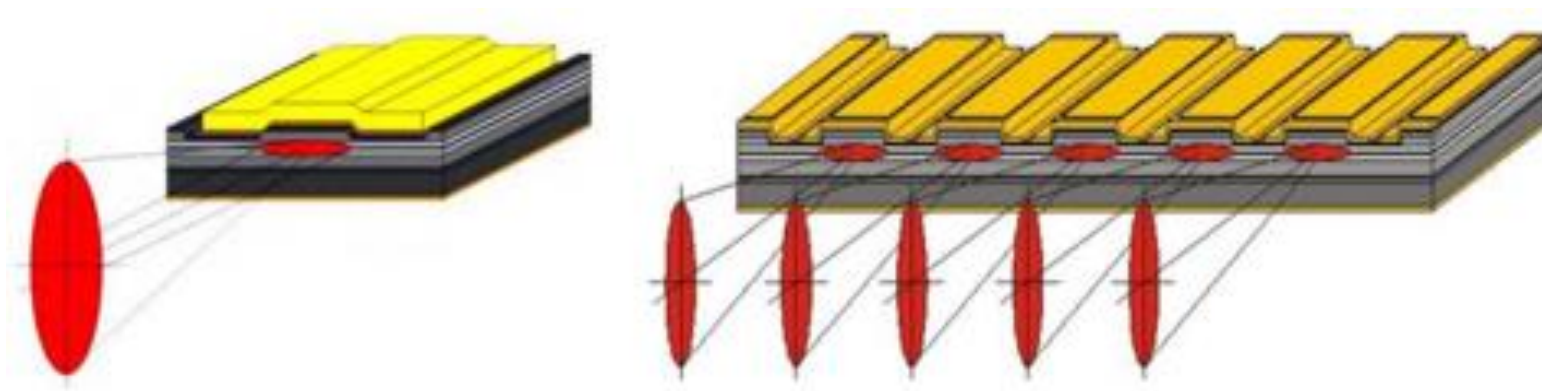
资料来源：Strategies Unlimited、炬光科技招股书、中航证券研究所整理

2.1 工业：高功率半导体芯片打破“有器无芯”，国产替代正当时



- **高功率半导体激光芯片是工业激光器生产制造的核心元器件，全球仅少数企业具备高功率激光芯片量产能力。**高功率半导体激光芯片分为单管芯片及巴条芯片，单管芯片只有一个发光单元，巴条芯片是由多个发光单元并成直线排列的激光二极管芯片，巴条芯片经过钝化、镀膜后，可解理为单个发光单元的单管芯片，广泛应用于激光加工、激光切割、科研与军事、生物医疗等领域。
- 根据亿渡数据，2026 年我国光纤激光器市场规模约为 395 亿元，根据 Strategies Unlimited，2019 年光纤激光器在工业激光器中的市场份额由已迅速增加至53.00%，因此2026年工业激光器的整体市场规模约为 745 亿元。按照行业平均 30.00%的毛利率以及泵浦源（光纤耦合模块）占激光器 BOM 成本的 50.00%测算，2026年光纤耦合模块的市场规模约为： $745 * (1 - 30.00%) * 50.00% = 260.75$ 亿元，按照长光华芯泵浦源（光纤耦合模块）平均 15%的毛利率以及激光芯片占光纤耦合模块BOM成本的10%测算，**2026年我国国内市场激光芯片的市场规模约为： $260.75 * (1 - 15%) * 10% = 22.16$ 亿元。**目前，长光华芯、武汉锐晶、华光光电、瑞波光电等少数厂商逐渐打破“有器无芯”的局面，国产替代正当时。

图：高功率半导体激光器单管（左）和巴条（右）芯片示意图



2.2 激光武器：“快准狠”使“激光武器化”成为必然



- 高能激光武器利用高功率激光的热效应、光电效应和热力耦合等效应直接使目标失效甚至毁伤，具有快速响应、打击精准、效费比高、作战隐蔽不易追溯等优点，可以在诸如要地防御、导弹拦截、卫星对抗和蜂群对抗等现代局部作战场景中发挥独特作用，逐渐成为可适应未来信息化高技术战争的主战武器之一。根据《Lasers: Global Markets to 2024》，**预计到 2024 年，全球定向能激光源和军事激光市场将从 2019 年的 89 亿美元增长到 146 亿美元，2019-2024 的年复合增长率为 10.41%。**

激光武器的优势：

- **快：**激光束能以每秒30万千米的速度射向目标，比一般的拦截导弹速度快8万多倍；并且光束方向可灵活调节，战术灵活性强。
- **准：**发射装置不受后坐力影响，系统稳定。激光束沿直线攻击目标，发散角小，几乎不受电磁干扰影响。
- **狠：**激光束能量集中，若聚焦在目标关键部位上，能造成毁灭性破坏。
- **效费比高：**与其他武器系统消耗导弹、炮弹不同，激光武器消耗电能以持续作战。

图：激光武器



资料来源：凤凰军事网、中航证券研究所整理

激光武器的破坏机理：

- **光电效应：**干扰激光进入探测系统的光信号采集系统，激光经过光学系统的聚焦，干扰或致盲光电探测系统。
- **热效应：**当激光照射到目标上，能量被目标材料吸收，导致温度不断上升，目标将被熔化或烧蚀。
- **热力耦合效应：**激光照射引起材料温度不断上升，导致材料的力学性质发生改变，激光辐照区域内外存在较大压差产生压力释放区。内部物质从该部位涌出，造成目标解体。

2.2 激光武器：潜在应用广泛，十万瓦为高能激光武器门槛值

- 不同的作战需求对应不同的激光器功率，通常把功率十万瓦作为高能激光武器的门槛值。根据破坏的程度，激光武器的杀伤力可分为软杀伤和硬杀伤。软杀伤的激光武器功率一般在一万瓦以下，比如炫目系统致盲。硬杀伤则分为两类，一类功率约在十万瓦至十几万瓦之间，通过力学的作用或热烈破坏以及辐射的作用实现杀伤效果，比如烧毁电子元器件等；另一类功率较大在几十万瓦至一百多万瓦，力学破坏作用更大，能满足反舰导弹、弹道导弹相关作战需求。因此通常把功率十万瓦作为高能激光武器的门槛值。
- 根据激光破坏机理，激光武器可对多种目标作战，从驱散人群的激光枪，到拦截导弹、攻击卫星的激光炮，都有用武之地。

图：各类作战需求对应的激光器功率

万瓦	数万瓦	十万瓦	数十万瓦	数百万瓦
反无人机				
	小艇			
		火箭炮、迫击炮、榴弹炮、巡航导弹		
			反舰导弹	
				弹道导弹

资料来源：刘泽金院士科普讲座、雪球、中航证券研究所整理

图：激光武器在各种作战域的潜在应用

陆基	海基	空基	天基
拦截火箭弹、炮弹	拦截反舰导弹	拦截弹道导弹、巡航导弹	弹道导弹防御
拦截无人机、巡航导弹	毁伤无人机、小型船只	飞机自防御	反卫星
反卫星	反卫星	反卫星	

资料来源：刘泽金院士激光武器科普讲座、中国光学学会、中航证券研究所整理

2.2 激光武器：世界各国装备研发进程加速向实战化迈进



- **美国、欧洲、日本等世界主要国家对激光武器等定向能武器加强顶层战略规划。**2021年美国发布《定向能未来2060年—美国国防部未来 40年定向能技术发展》、《防御入门：定向能武器》报告，前者主张从长期视角制定一个综合的定向能国家战略，**后者则直接提出美国国防部定向能发展路线图，2022财年前定向能武器的功率级别由150kW增至300kW，2024财年增至500kW，2030财年增为1MW。**层见叠出，同年，欧洲议会发布《塑造2040战场的创新技术》报告，将定向能武器、声波与声学武器等作为“提供新型作战效果”的7项新兴技术；英国国防部发布《竞争中的防御》提出重点投资定向能武器；日本国防部下属的防卫研究所发布《东亚战略评估 2021》报告，呼吁政府重点开发高能微波及激光武器系统等先进军事技术进行反导防御。
- **美军加快激光武器部署进程，多国积极加入军备竞赛。**美军各军持续开展反无人机、全域融合作战等激光武器测试实验，以验证装备能力，并加快空基、陆基、海基激光武器的部署、交付，2022年洛马公司宣布已向美国国防部交付300千瓦激光器。英国、德国、以色列、印度、澳大利亚等国家亦大力发展激光武器。

表：2021年各国激光武器进展

国家	时间	事件
以色列	2021.2	以色列拉法尔先进防御系统公司发布视频,展示安装在“陆虎”车上的“无人机穹顶”系统使用激光武器摧毁商用四旋翼无人机。
法国	2021.5	CILAS公司成功测试其激光系统,击落多架飞行高度约为1000m、飞行速度超过48km/h的无人机。
以色列	2021.6	成功开展“塞斯纳”机载高能激光武器击落无人机试验,试验的激光器功率为100kW,射程为20km。
美国	2021.7	美陆军“定向能机动近程防空”(DE-MSHORAD)系统成功地进行了一系列作战试验,验证了反无人机能力。
美国	2021.8	洛马公司向美国海军交付了60+千瓦级的高能激光武器“集成光学炫目与监视高能激光器”(HELIOS)，安装到阿利·伯克级驱逐舰“普雷布尔”号(USS Preble)上。
美国	2021.8	美国陆军研制出一款安装在斯瑞克战车、具有战斗力的50 kW 高能激光武器样机，预计2022财年将交付四辆装备有50 kW 激光武器的斯瑞克战车。
印度	2021.8	印度海军授予BEL公司一份合同,开发“海军反无人机系统(NADS)”激光武器,具有软/硬杀伤效应器,软杀伤有效射程为3km。
美国	2021.9	安装ODIN的美国海军“伯克级”导弹驱逐舰USS Stockdale (DDG 106)抵达日本横须贺港。
英国	2021.9	授予泰雷兹和雷神英国公司为期四年约7250万英镑合同，生产先进激光和微波演示器。
澳大利亚	2021.9	澳大利亚光电系统公司研制出反无人机系统Titanis,功率可由35kW扩展到55kW左右,可对抗无人机及蜂群威胁,射程可达4000m。
美国	2021.10	新型机动近程防空(M-SHORAD)系统于10月在欧洲进行了首次实弹射击。
美国	2021.11	洛马公司向空军交付第一套AHEL系统,并将其安装到AC-130J上进行测试,预计2022财年将在AC-130J上开展飞行演示。
德国	2021.11	德国莱茵金属公司展示车载激光武器Oerlikon Skynex防空系统，系统配备有两种防空激光炮,具有独特开放式架构,采用光谱合束技术,输出功率可达30 kW以上。
美国	2021.12	“波特兰”号(LPD 27)在亚丁湾航行时测试了高能激光武器,其搭载的“激光武器演示器”(LWSD) Mark 2 MOD 0成功击中一个海面训练目标。

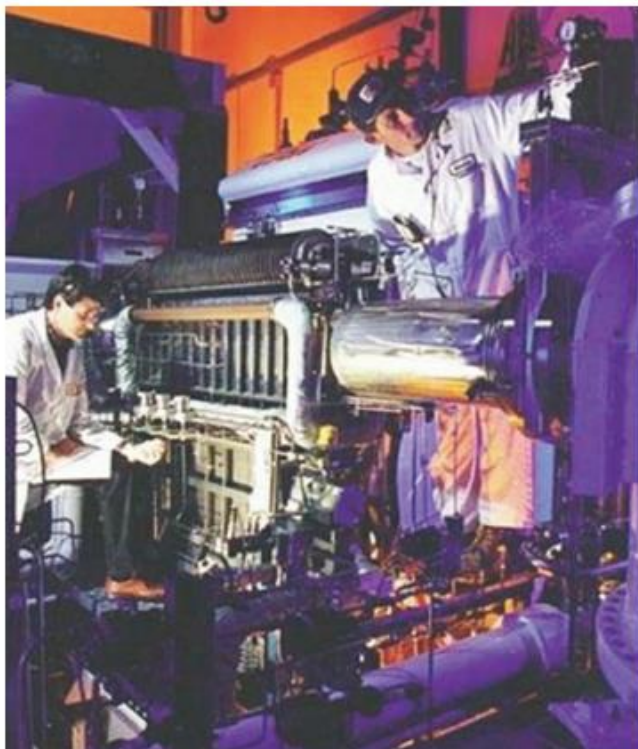
资料来源：《2021 年新概念武器装备技术发展综述》、云脑智库、中航证券研究所整理

2.2 激光武器：激光器是激光武器核心部件，也是分类依据



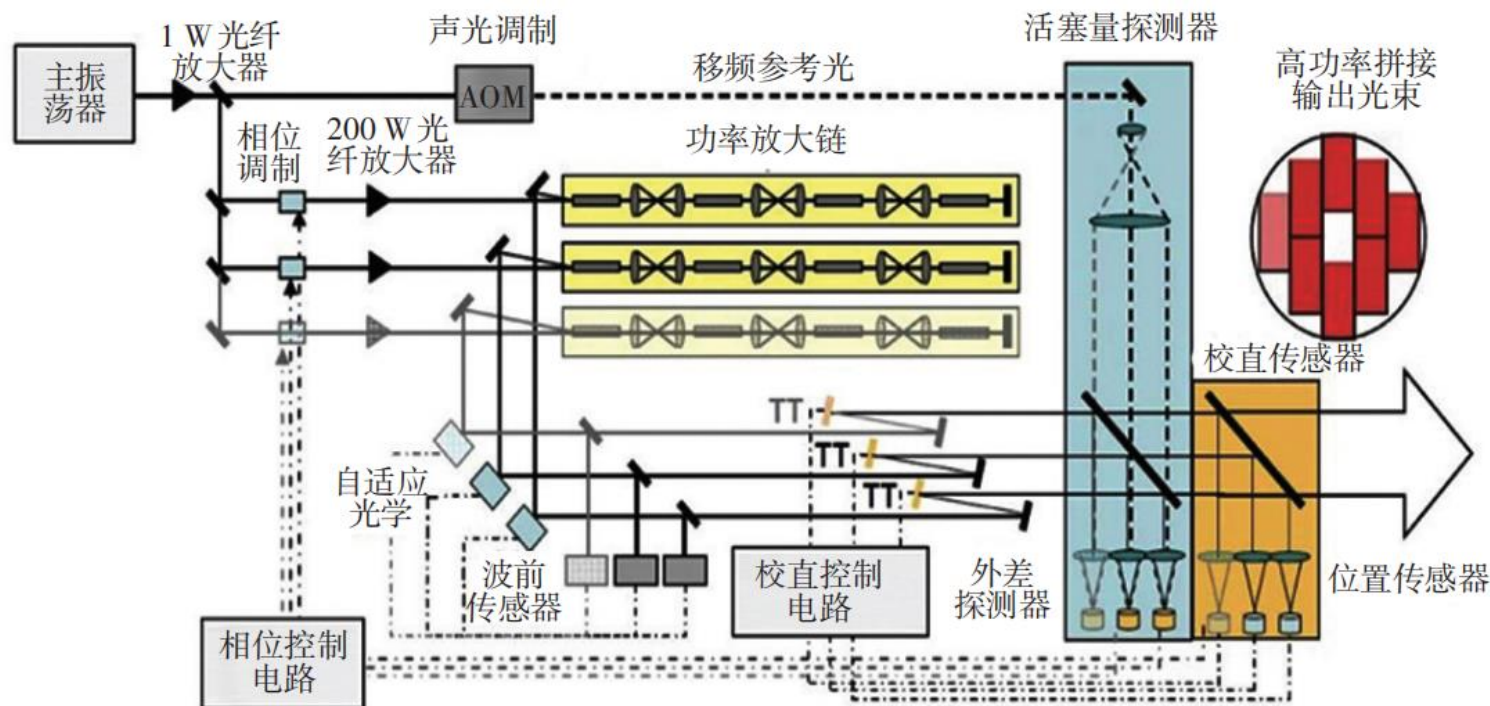
- **激光武器系统=激光器+光束定向器+作战决策系统**，**激光器是激光武器首要部件也是分类依据**。一个实战化的激光武器系统主要由激光器，具有捕获、跟踪、瞄准（Acquisition, Tracking, Pointing, ATP）功能的光束定向器，基于大气传输效果的决策系统 3 个部分组成。激光器能够产生毁伤目标所需的高能激光，是高能激光武器系统的首要部件，因此通常以激光器的类型划分激光武器的种类，如化学激光武器、固体激光武器、光纤激光武器等。

图：美国化学氧碘激光器增益模块



资料来源：《美国高能激光武器发展概况》、中航证券研究所整理

图：美国诺斯罗普·格鲁曼公司板条激光器结构



资料来源：《美国高能激光武器发展概况》、中航证券研究所整理

2.2 激光武器：多技术路线并行成为常态，目前固态激光器受青睐



■ **激光器多种技术体制并行发展是常态，固体激光器是各国重点发展倾斜对象。**激光器技术是高能激光武器关键技术之一，对激光武器的水平起到决定性作用。根据增益介质的不同，存在化学激光器、高能固体激光器、高能光纤激光器、高光束质量半导体激光器、碱金属蒸气激光器、自由电子激光器等技术路线。虽然化学激光器输出功率早已达到了战术兆瓦级的输出目标，但受到体积、污染问题、机动性及相关技术难题制约，逐渐让步于固体激光器。固体激光器因此得到了高速发展，**目前光纤激光技术因其高效率、高可靠性及高光束质量特点，在200kW以下功率输出等级内占据优势，而以板条为代表的块状固体激光器的兆瓦级输出功率关键技术已获得突破，是目前实现兆瓦级功率输出的最佳选择。**

表：激光武器用激光器优缺点

激光器类型	增益介质	常见激光器	优点	缺点
化学激光器	气体或气流	氟化氢/氟化氙化学激光器	兆瓦级功率输出，输出光束质量好，技术成熟度高。	体积和重量较大，需进行废气处理。
高能固体激光器	块状晶体或陶瓷材料	棒状激光器、板条激光器、热容激光器、液冷激光器和薄片激光器等	全电工作，战场保障简单，作战效费比高。	大功率输出时热管理较难，难以维持高光束质量。
高能光纤激光器	掺稀土元素的光纤材料	/	热管理相对简单、电光效率高、单纤光束质量好、战场环境适应性强，适合装载于各种战术移动平台。	由于非线性效应、模式不稳定性等效应的限制，单纤近衍射极限输出功率存在物理极限，光束合成是高功率光纤激光系统的必由之路。
高光束质量半导体激光器	半导体	/	电光转换效率高、体积重量小。	单管功率提升困难，合成路数受限，激光波长并不都处于大气的高透窗口。
碱金属蒸气激光器	铷（795nm）或铯（894nm）	/	是全电模式工作，具备单口径功率定标放大能力，兼具固体和气体激光器的优势。	碱金属元素化学性质极其活泼，易对腔体腐蚀，高腔压运转模式破坏光束质量。
自由电子激光器	/	/	全电工作、可改变自身波长以减少大气传输的影响。	电光转化效率低、体积大、兆瓦级自由电子激光器连续运转需核动力系统的电力支持。

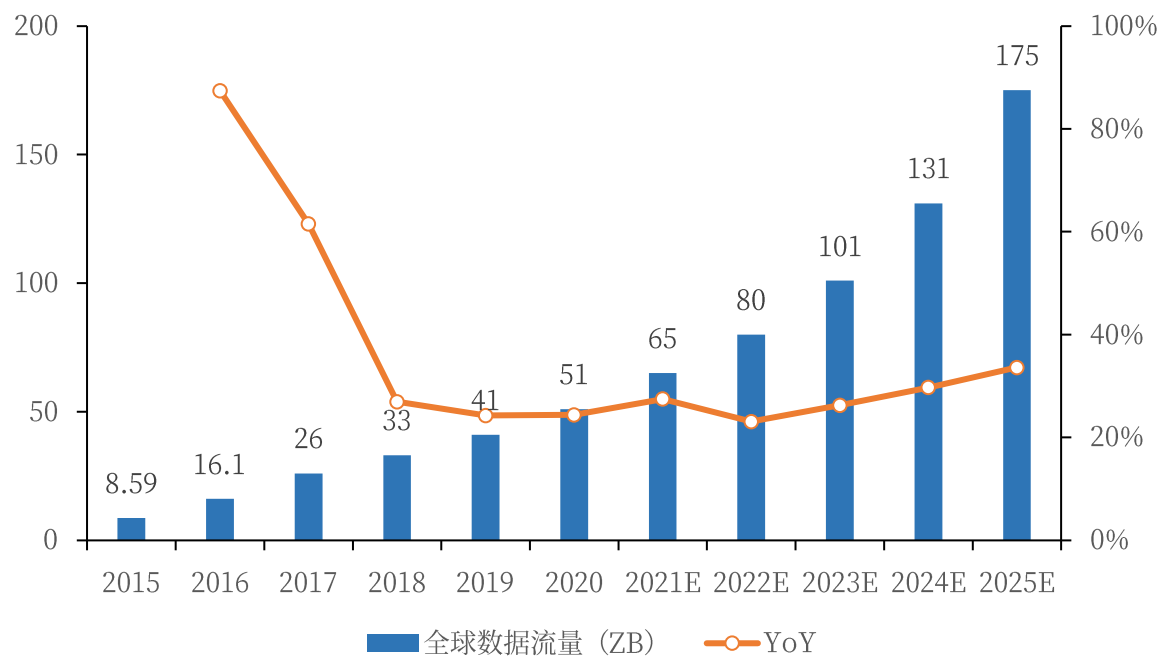
资料来源：《美国高能激光武器发展概况》、中国光学学会、中航证券研究所整理

2.3 光通信：数据量爆发、“光进铜退”趋势下，光通信蓬勃发展



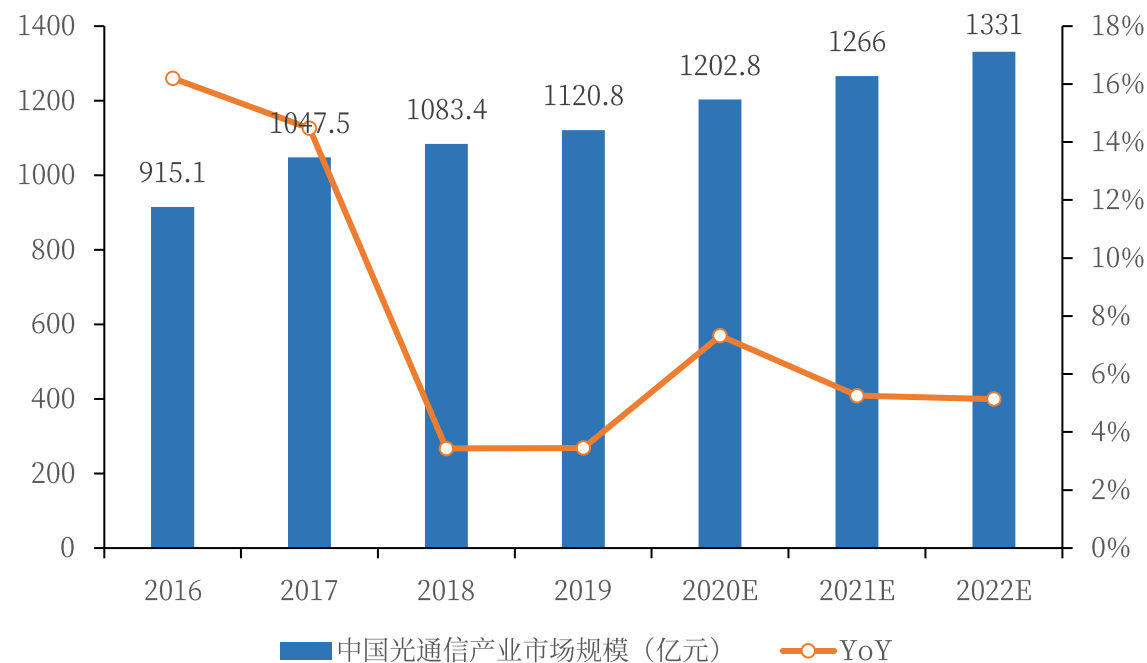
- 随着云计算、大数据、物联网、人工智能等信息技术的快速发展及加速应用，全球数据流量激增。传统产业及大众生活形式的数字化转变加速，移动支付、移动出行、远程控制、高清视频直播、移动餐饮外卖、虚拟现实等的普及，驱动数据流量和数据交汇量迎来爆发式增长。根据IDC的数据，全球数据流量由2015年的8.59ZB增长至2019年的41ZB，预测2025年会增长至175ZB，2015-2025年均复合增长率达到35.18%。
- “光进铜退”已成为全球信息技术产业的发展趋势。与传统的使用铜线为介质的电通信相比，使用光纤为介质的光通信在传输速率、网络带宽、信号衰减、传播距离、数据容量、功耗、抗干扰、抗腐蚀、体积重量及通信成本方面优势显著，数据传播更具可靠性、高速性、经济性，迎合了数据流量爆发式增长对信息传播的高容量、高速率、高可靠性、广距离、低成本的通信需求，因此光通信成为目前全球主流的通信方式。大规模的数据处理需求为我国光通信行业带来了新一轮发展机遇，根据工信部赛迪研究院和中商产业研究院数据，我国光通信产业市场规模将稳步增长至2022年的1331亿元。

图：2015-2025年全球数据流量发展情况



资料来源：IDC、中航证券研究所整理

图：2016-2022E我国光通信产业市场规模（亿元）



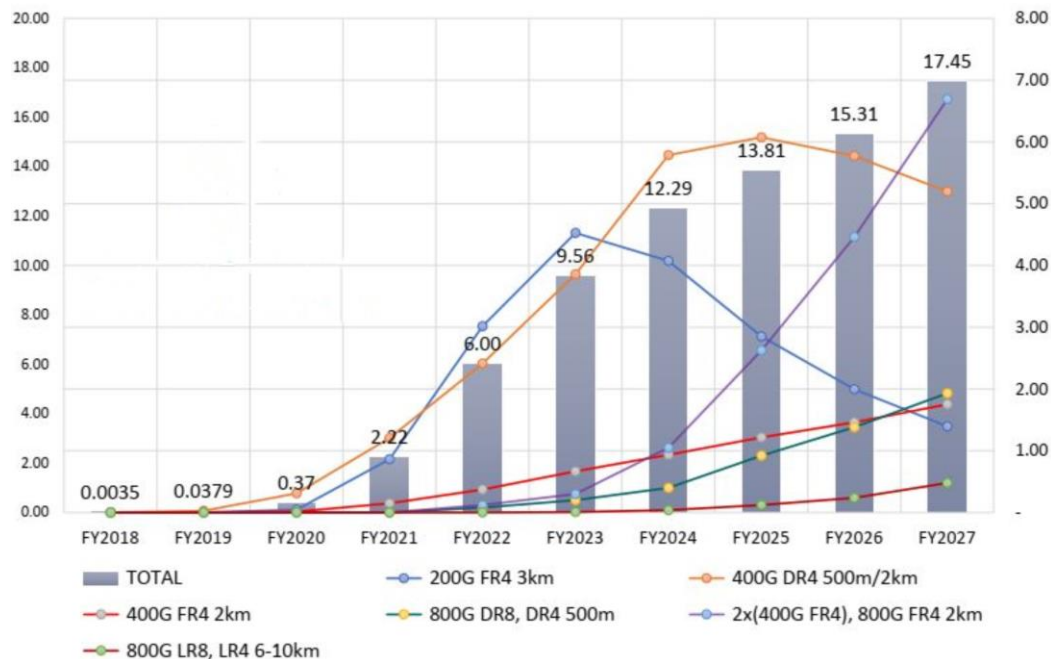
资料来源：工信部赛迪研究院、中商产业研究院、中航证券研究所整理

2.3 光通信：人工智能浪潮催生网络传输升级迫切需求



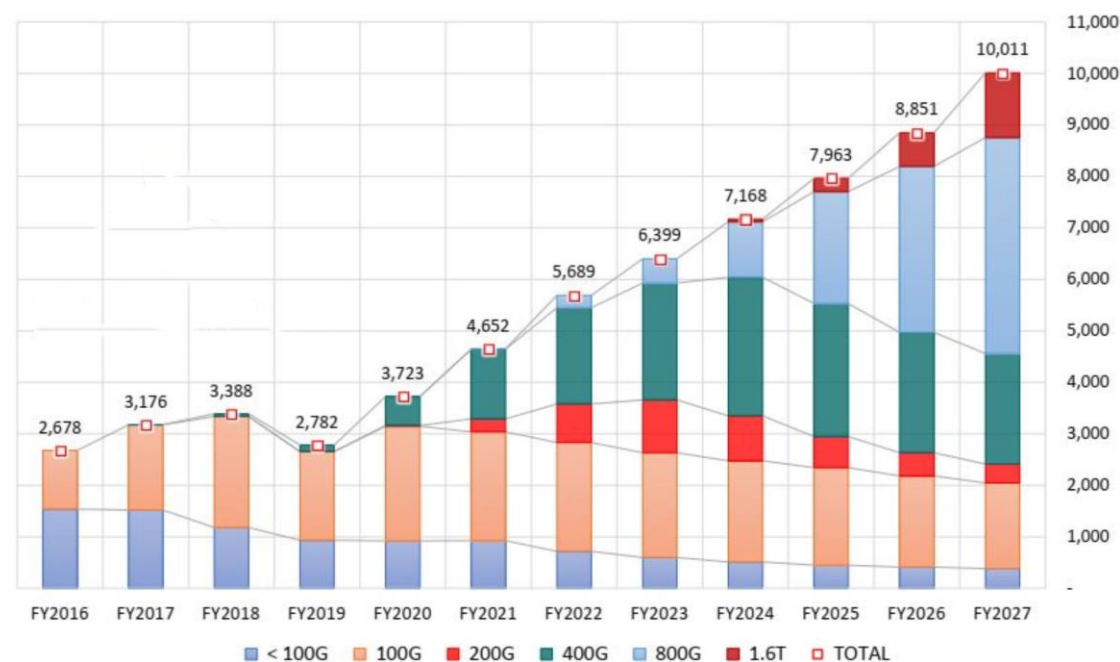
- **AI催生传输速度迭代不止，高速光模块出货预计大幅增长。**在ChatGPT掀起的人工智能浪潮下，指数级增长的复杂应用场景应运而生，正不断提高对数据center中数据传输速率的要求。诸如谷歌、Meta、亚马逊、微软或阿里巴巴等计算巨头数万台交换机的部署，正在推动数据速率从100GbE向400GbE和800GbE更高速的数据链路的方向发展。据LightCounting统计，2021年，200G、400G和800G的高速以太网光模块发货量达222万只，2022年预计将达600万只，同比170%以上，800G的产品有望在2022年开始逐步放量。据LightCounting 2022年3月预测，未来随着AI、元宇宙等新技术不断发展，以及网络流量长期保持持续增长，以太网光模块销售额也将保持较快增长并不断迭代升级。预计到2027年，以太网光模块市场将达到100.11亿美元。

图：高速光模块发货量预测（百万只）



资料来源：光通信之家，lightcounting，中航证券研究所

图：以太网光模块营收预测（百万美元）



资料来源：光通信之家，lightcounting，中航证券研究所

2.3 光通信：数字经济重要底座，规划落地拉动光电子器件需求增长

AVIC

■ 以“双千兆”网络为代表的新型基础设施是数字经济发展的基石。近年来新基建加速向高速率、全覆盖、智能化方向发展，光纤宽带、5G等网络基础设施建设进程加速，覆盖面持续扩大。同时，以数据中心、云计算设施、智能计算中心等为代表的算力基础设施成为数字时代推动经济创新发展的重要驱动力。在《“十四五”信息通信行业发展规划》等规划目标落地的过程中，对上游光电子器件需求量也将不断增长。

表：光通信相关政策及法律法规

法律法规/产业政策	颁布机构	颁布时间
《“十四五”信息通信行业发展规划》（工信部规〔2021〕164号）	工信部	2021年11月
《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》（工信部通信〔2021〕76号）	工信部	2021年7月
《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023年）》（工信部通信〔2021〕34号）	工信部	2021年3月
《基础电子元器件产业发展行动计划（2021-2023年）》（工信部电子〔2021〕5号）	工信部	2021年1月
《工业互联网专项工作组2020年工作计划》（工信厅信管函〔2020〕153号）	工信部	2020年6月
《工业和信息化部办公厅关于推动工业互联网加快发展的通知》（工信厅信管〔2020〕8号）	工信部	2020年3月
《“5G+工业互联网”512工程推进方案》（工信厅信管〔2019〕78号）	工信部	2019年11月
《中国光电子器件产业技术发展路线图（2018-2022年）》	中国电子元件行业协会	2017年12月
《产业关键共性技术发展指南（2017年）》（工信部科〔2017〕251号）	工信部	2017年10月
《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》	国家发改委	2017年1月
《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》（国发〔2016〕67号）	国务院	2016年11月
《“十三五”国家科技创新规划》（国发〔2016〕43号）	国务院	2016年7月
《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	国务院	2016年3月
《云计算综合标准化体系建设指南》（工信厅信软〔2015〕132号）	工信部	2015年10月
《关于印发促进大数据发展行动纲要的通知》（国发〔2015〕50号）	国务院	2015年8月
《关于实施“宽带中国”2015专项行动的意见》	工信部	2015年5月

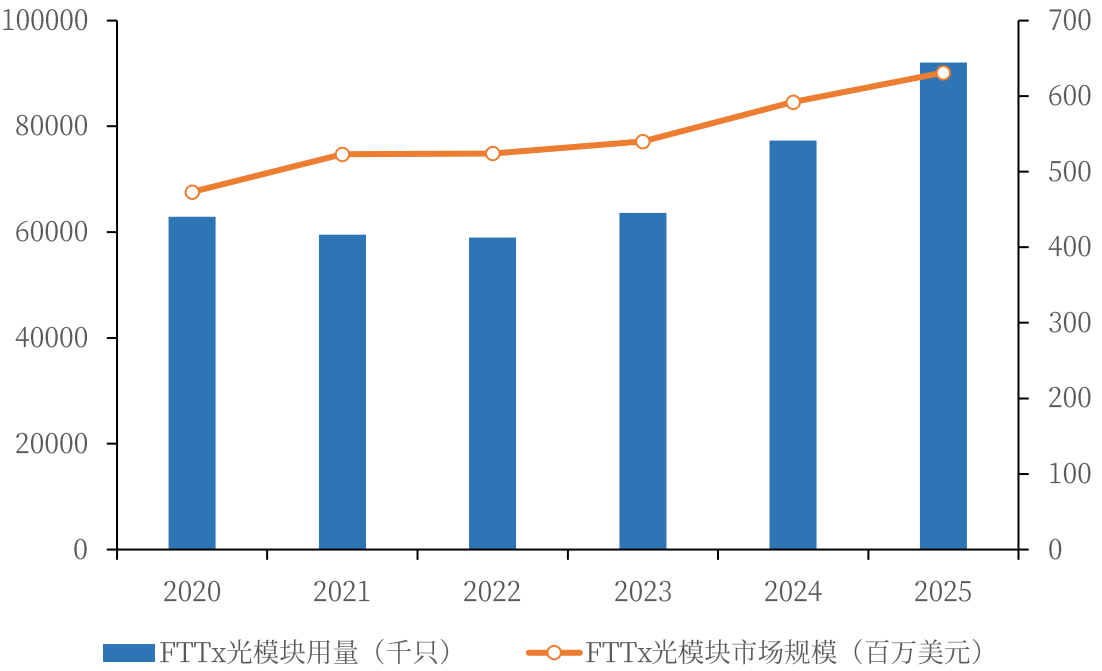
资料来源：源杰科技招股书、中航证券研究所整理

2.3 光通信：我国是FTTx光纤接入推动者，千兆光网加速建设



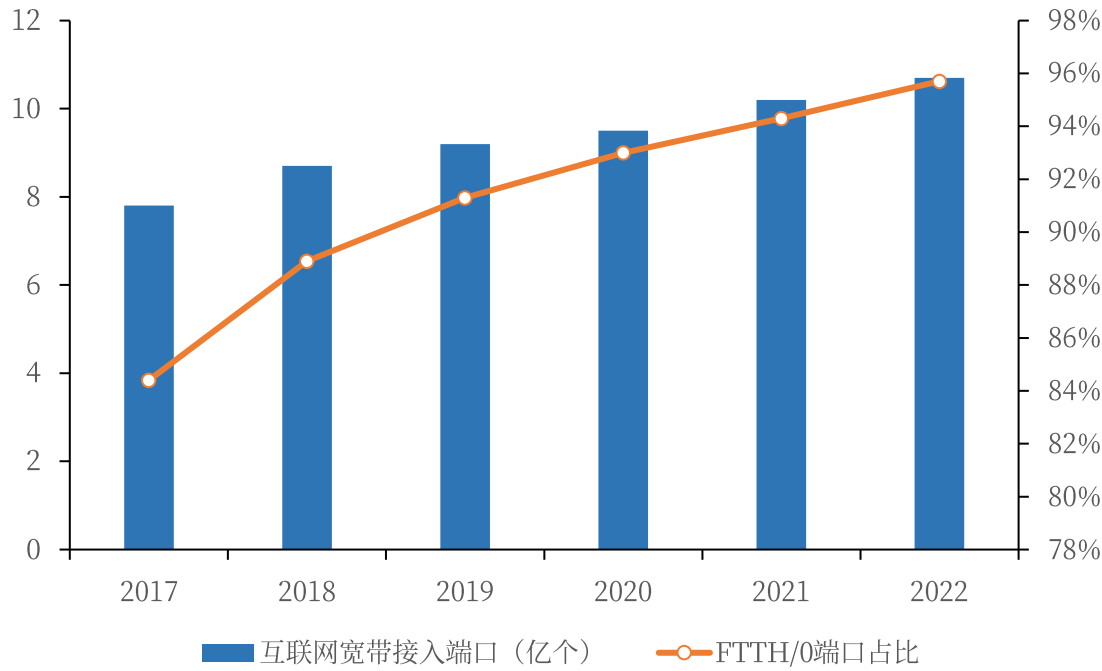
■ **我国是FTTx光纤接入主要推动者，政策引导千兆光网加速建设。** FTTx光纤接入光模块数量取决于终端设备数，是全球光模块用量最多的场景之一。将铜线网络替换为光纤网络可有效克服电通信电子器件的带宽限制、损耗较大、功耗较高等短板，因此全球运营商骨干网和城域网已实现光纤化，部分地区接入网已逐渐向全网光纤化演进。根据LightCounting的数据，预计至2025年全球FTTx光模块市场出货量将达到9,208万只，市场规模达到6.31亿美元。我国是光纤接入全面覆盖的大国，为国内光芯片产业发展带来良好机遇。根据《“十四五”信息通信行业发展规划》，我国要求全面部署千兆光纤网络。截至2022年底，光纤接入（FTTH/O）端口达到10.25亿个，比上年末净增6534万个，占互联网宽带接入端口数比例由上年末的94.3%提升至95.7%。截至2022年底，具备千兆网络服务能力的10G PON端口数达1523万个，比上年末净增737.1万个。

图：全球FTTx光模块用量及市场规模预测



资料来源：LightCounting、中航证券研究所整理

图：2017—2022年互联网宽带接入端口发展情况



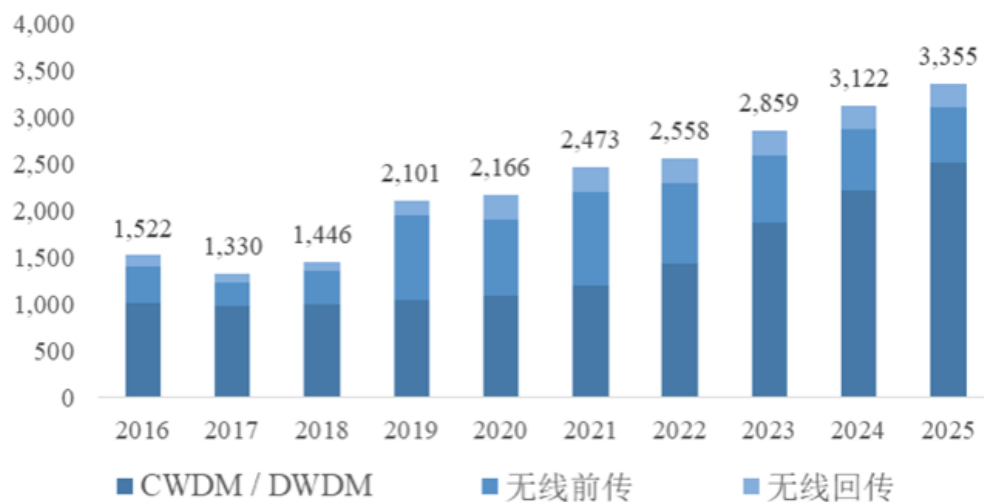
资料来源：工信部、中航证券研究所整理

2.3 光通信：5G驱动电信侧光模块持续发展，我国走5G建设在前列



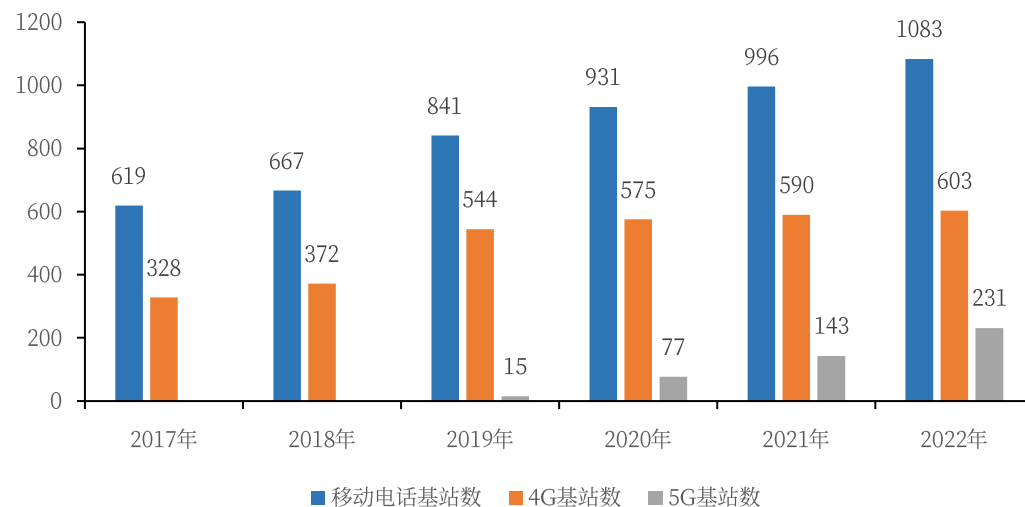
- **5G驱动电信侧光模块速率、市场规模持续发展，利好上游光芯片、光器件。**相比于4G，5G移动通信网络在提供更高传输速率和更低时延的同时，各级光传输节点间光端口速率明显提升，要求光模块能够承载更高的速率。5G移动通信网络可大致分为前传、中传、回传，光模块也可按应用场景分为前传、中回传光模块，前传光模块速率需达到25G，中回传光模块速率则需达到50G/100G/200G/400G。根据LightCounting的数据，全球电信侧光模块市场前传、（中）回传和核心波分市场需求将持续上升，2020年分别达到8.21亿美元、2.61亿美元和10.84亿美元，预计到2025年，将分别达到5.88亿美元、2.48亿美元和25.18亿美元。电信市场的持续发展，将带动电信侧光芯片、光器件应用需求的增加。
- **政策推动下，我国5G建设走在全球前列。**根据《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023年）》，到2021年底，5G网络基本实现县级以上区域、部分重点乡镇覆盖，新增5G基站超过60万个；到2023年底，5G网络基本实现乡镇级以上区域和重点行政村覆盖，推进5G的规模化应用。根据工信部的数据，截至2022年底，我国5G基站数量为231.2万个，全年新建5G基站88.7万个，占移动基站总数的21.3%，占比较上年末提升7个百分点。

图：全球电信侧光模块市场规模及预测（百万美元）（不包含FTTx市场）



资料来源：LightCounting、源杰科技招股书、中航证券研究所整理

图：2017—2022年移动电话基站发展情况（万个）



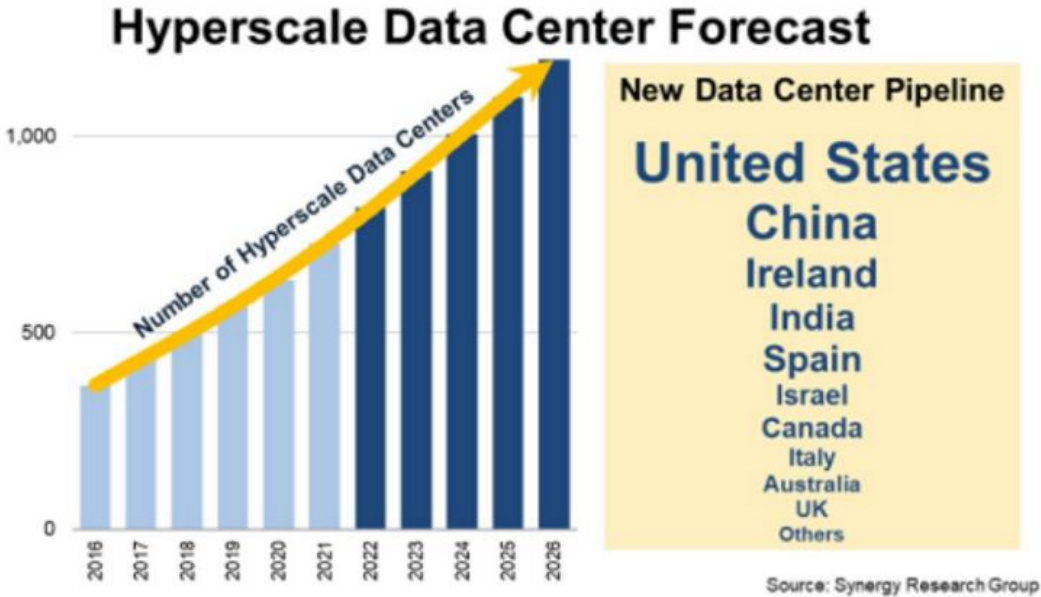
资料来源：工信部、中航证券研究所整理

2.3 光通信：数据中心增量扩容，光模块作为核心部件需求拉升



■ **数据中心数量、容量迅速发展，光模块作为核心部件需求拉升。**海量设备连接以及新一代信息技术与电信、商务、金融、信息化平台、社交等社会各行各业加速融合创造的复杂应用场景，对数据的计算、存储及处理能力提出了更高的要求，因此数据流量向集中化发展趋势明朗，推动数据中心市场规模的持续增长。出于降本增效、集中化、集成化的考虑，传统的中小型、分散型格局逐渐被超大规模数据中心取代。根据Synergy Research Group的数据显示，截至2021年第三季度超大规模运营商的大型数据中心数量已超700座，2024年有望突破1000座，我国是仅次于美国的超大规模数据中心容量地；按数据中心容量计算，我国超大规模企业增长最快，其中字节跳动、阿里巴巴和腾讯引人注目。光模块是数据中心内部互连和数据中心相互连接的核心部件，根据LightCounting的数据，2019年全球数据中心光模块市场规模为35.04亿美元，预测至2025年，将增长至73.33亿美元，年均复合增长率为13.09%。

图：全球超大规模数据中心数量预测



资料来源：Synergy Research Group、中航证券研究所整理

图：全球数据中心光模块市场规模及预测（百万美元）



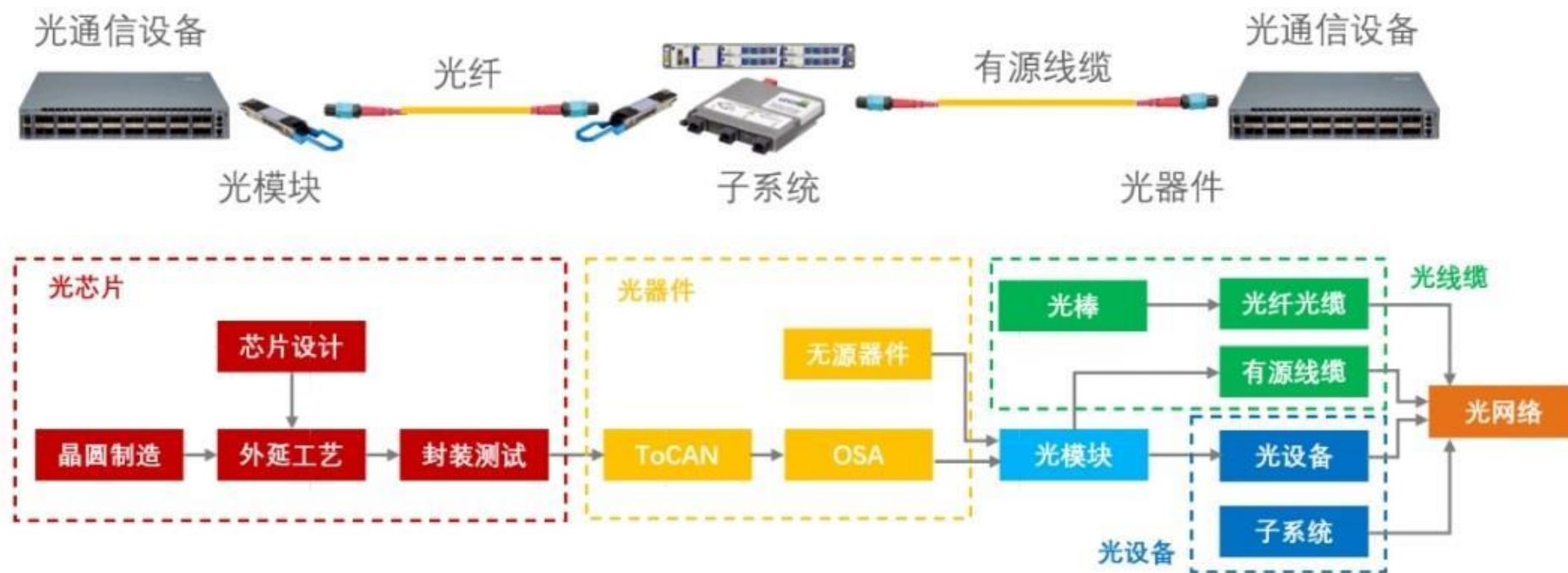
资料来源：LightCounting、源杰科技招股书、中航证券研究所整理

2.3 光通信：光电子器件按上下游划分为光电芯片、光器件和光模块



- 光通信产业链主要包括光电子器件、光纤线缆和光设备。**光电子器件种类繁多，按照通信上下游划分，可分为光电芯片、光器件和光模块。**光芯片是实现光信号和电信号之间相互转换的半导体芯片，包括激光器芯片和探测器芯片；光器件是由光芯片、透镜等光学元件、金属件、器件外壳等集成的组件，按照是否需要外加能源驱动工作和是否进行光电转换，分为光无源器件和光有源器件；光模块是以光器件为核心，并结合信号驱动及放大电路等组成的实现光电信号转换的功能模块。

图：光通信产业链

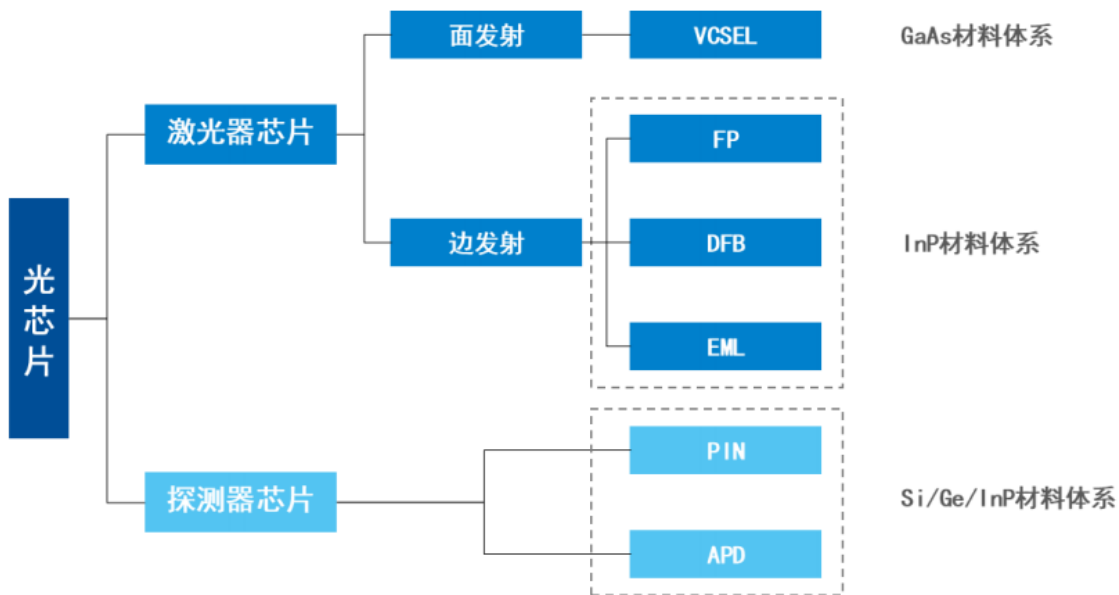


2.3 光通信：光芯片的分类



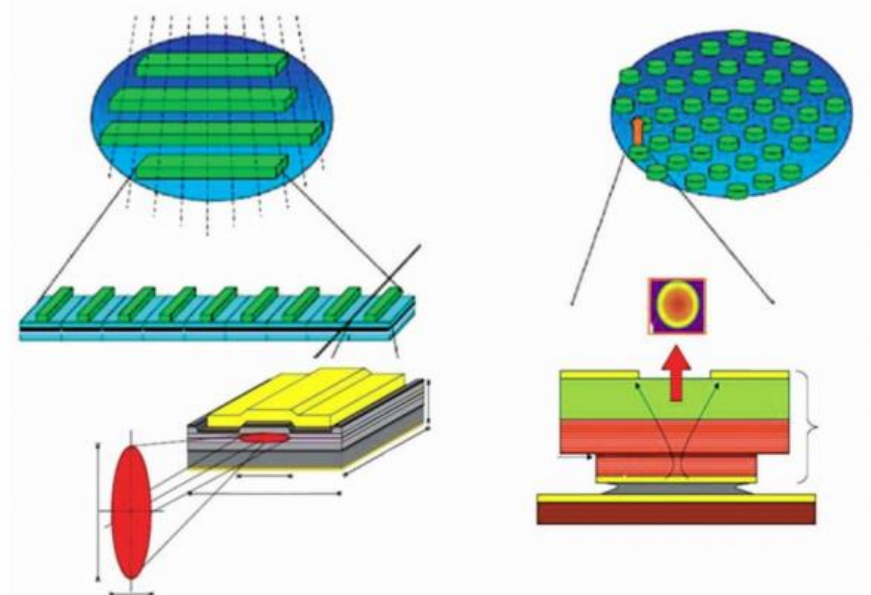
- **按功能分类：**可以分为激光器芯片和探测器芯片，其中激光器芯片主要用于发射信号，将电信号转化为光信号，探测器芯片主要用于接收信号，将光信号转化为电信号。
- **按谐振腔制造工艺分类：**激光器芯片可分为边发射激光芯片（EEL）和面发射激光芯片（VCSEL）两种，EEL包括 FP、DFB 和 EML 芯片，VCSEL主要应用于500米以内的短距离传输；探测器芯片主要有 PIN 和 APD 两类。
- **按衬底材料分类：**光芯片厂商通常采用三五族化合物磷化铟（InP）和砷化镓（GaAs）作为芯片的衬底材料。其中，磷化铟（InP）衬底用于制作 FP、DFB、EML 边发射激光器芯片和 PIN、APD探测器芯片，主要应用于电信、数据中心等中长距离传输；砷化镓（GaAs）衬底用于制作 VCSEL 面发射激光器芯片，主要应用于数据中心短距离传输、3D感测等领域。

图：光芯片的分类



资料来源：源杰科技招股书、中航证券研究所整理

图：边发射激光芯片（左）和面发射激光芯片（右）示意图



资料来源：长光华芯招股书、中航证券研究所整理

2.3 光通信：光器件主要按驱动可分为有源器件和无源器件



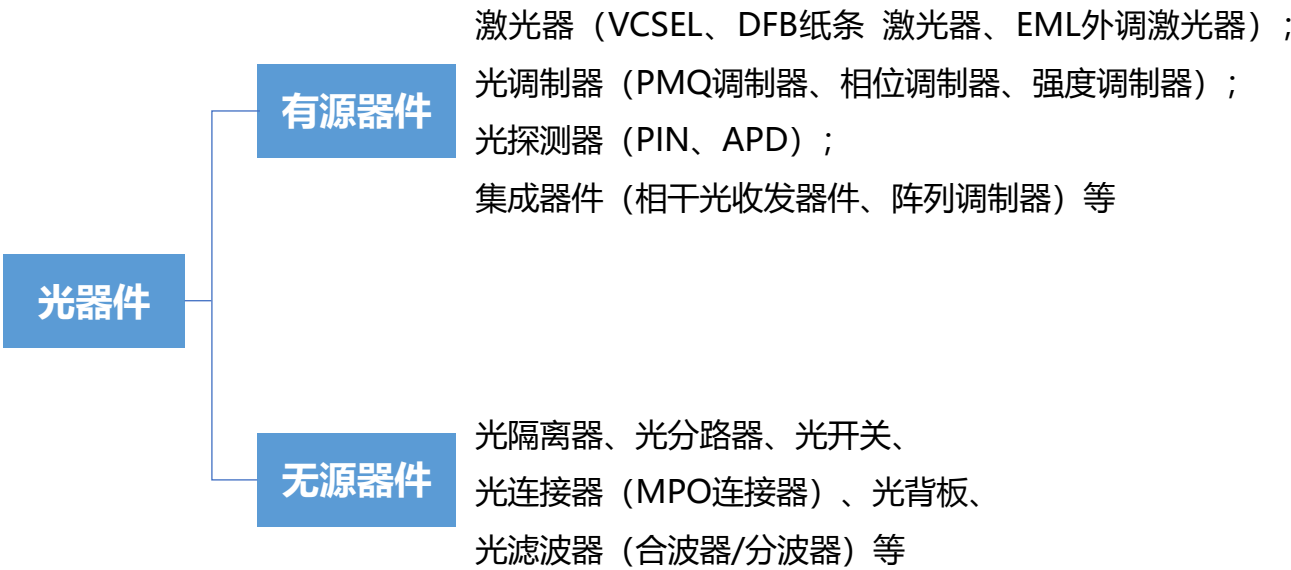
■ 光器件是将光芯片、电芯片、衬底、光纤、密封外壳、管脚、金属连线等基础元件有序组合、封装制成的，可实现光信号收发、光性能调制、光电信号转换、电光信号转换等功能的混合集成电子器件。光器件主要可按运行是否需要外部能源驱动，分为有源光器件和无源光器件，有源器件主要用于光电信号转换，包括激光器、调制器、探测器和集成器件等。无源器件用于满足光信号的传导、分流、阻挡、过滤等“交通”功能，包括光连接器、光隔离器、光分路器、光滤波器、光开关等。

图：光器件的分类



资料来源：头豹研究院、中航证券研究所整理

图：有源光器件、无源光器件典型产品



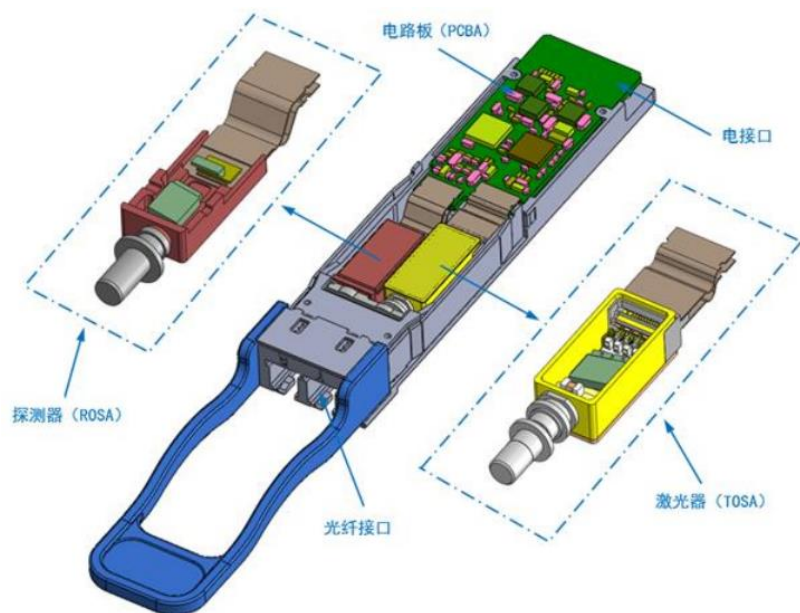
资料来源：《中国光电子器件产业技术发展路线图》、中航证券研究所整理

2.3 光通信：光模块系光通信中完成光电转换的核心部件

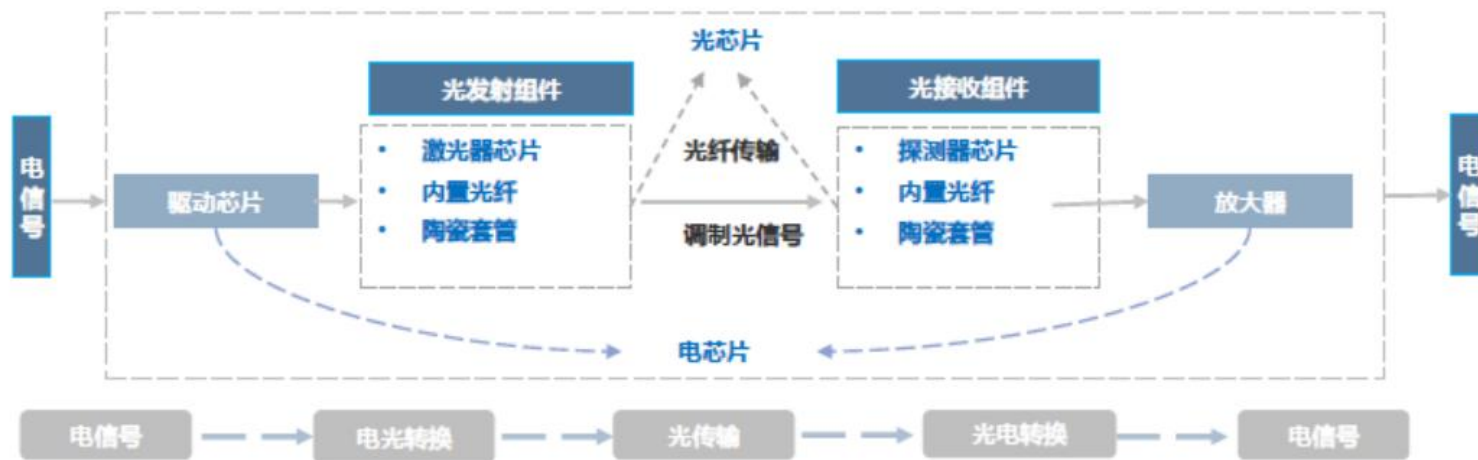


- **光模块是光通信系统中完成光电转换的核心部件。**光模块由光器件、功能电路和光接口等构成，其中光器件是光模块的关键元件，包括激光器（TOSA）和探测器（ROSA），分别实现光模块在发射端将电信号转换成光信号，以及在接收端将光信号转换成电信号的功能。
- **光模块是用于通信设备之间数据传输的载体，主要作用是实现传输媒体的光电相互转化。**在发射端，带有信息的电信号从发射通道的电接口输入，经过信号的整形和放大，驱动光发射组件内部芯片转换为光信号，耦合进光纤后进行光信号传输；在接收端，采集来的光信号输入模块后由光接收组件内部光探测二极管转换为电流信号，通过跨阻放大器后将此电流信号转换成电压信号，经限幅放大器放大后输出相应信息的电信号。

图：光模块产品结构



图：光模块具体工作原理

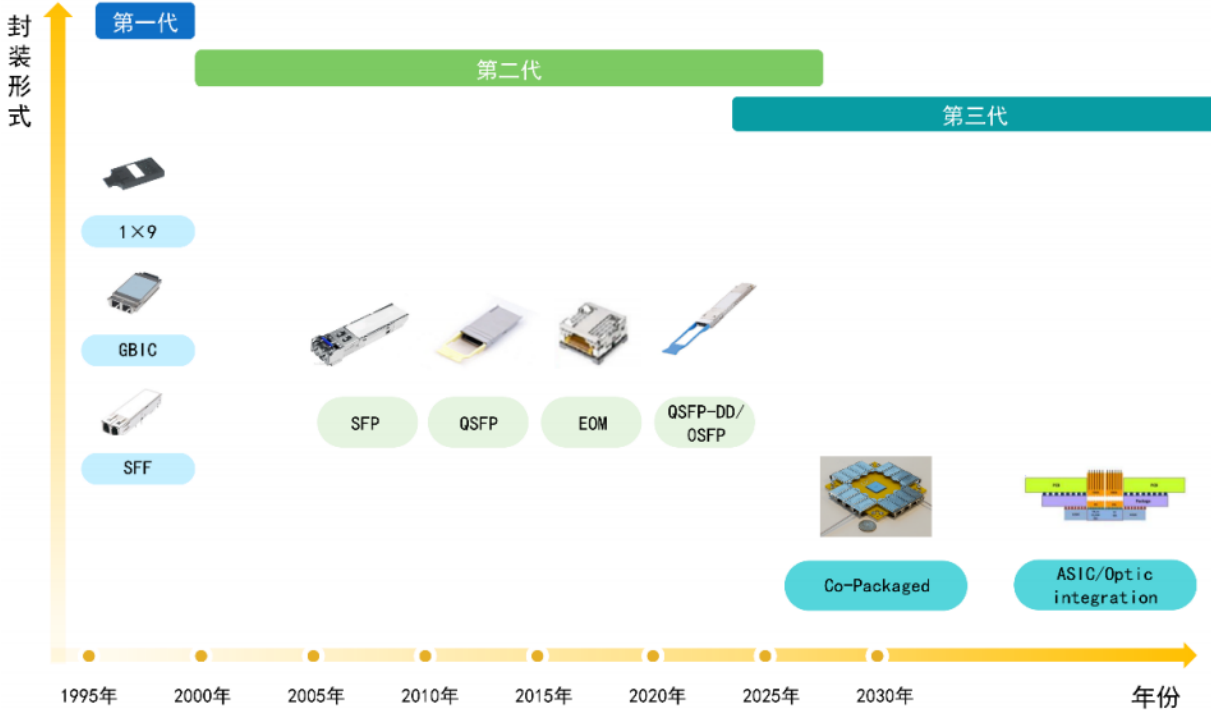


2.3 光通信：光模块向超高速率800G和高集成度CPO技术探索



■ 光模块产品品类繁多，可以按照传输速率、复用技术、适用光纤类型和封装形式进行分类。**目前光模块正向超高速率800G和高集成度CPO技术探索。**根据其封装形式，第一代（1995年-2000年）以1X9、GBIC、SFF 形式为主流代表；第二代（2000年-2028年）以SFP、QSFP、QSFP-DD/OSFP 等形式为代表；未来第三代（2024年后）将以CPO（光电共封装）形式为代表。在超高速率、超高集成度的趋势下，硅光集成技术会在速率、能耗、成本方面逐渐超越传统光模块。目前的光模块主流应用速率逐渐从10G-40G跨步到100G-400G，行业内已纷纷开展800G技术研发尽快实现800G商业化应用。

图：光模块技术升级路线图



资料来源：联特科技招股书、中航证券研究所整理

图：光模块的分类标准

分类标准	光模块类别		特征
传输速率	155Mb/s、622Mb/s、1.25Gb/s、2.5Gb/s、2.97Gb/s、4.25Gb/s、6.1Gb/s、8.5Gb/s、10Gb/s、25Gb/s、40Gb/s、100Gb/s、200Gb/s、400Gb/s、800Gb/s等		指每秒传输比特数，通常传输速率越高，代表的技术难度越高；光模块的发展方向之一是高传输速率
复用技术	时分复用系统	850nm、1310nm、1550nm等波段	850nm 波段用于多模光纤传输，传输距离短，多用于 2km 以内短距离传输
			1310nm 波段用于单模光纤传输，传输损耗大色散小，一般用于 40km 以内的传输
			1550nm 波段用于单模光纤传输，传输损耗小色散大，一般用于 40km 以上的长距离传输，最远可以无中继直接传输 120km
	WDM（波分复用）系统	CWDM 系列（粗波分复用） DWDM 系列（密集波分复用）	使用 20nm 间隔的波长，将多个波长的光信号复用进一根光纤内传送数据。 使用 0.4nm 或者 0.8nm 间隔的波长，将多个波长的光信号复用进一根光纤内传送数据
适用光纤类型	单模光纤		纤芯较细，只能传输一种模式的光，适用于远程通讯
	多模光纤		纤芯较粗，可传输多种模式的光。多模光纤模间色散较大，适用于短距离通讯
封装形式	SFP、SFP+、XFP、SFP28、QSFP+、QSFP28、QSFP-DD、OSFP 等		光模块的封装形式呈多样化，满足行业标准组织的多源协议（MSA）

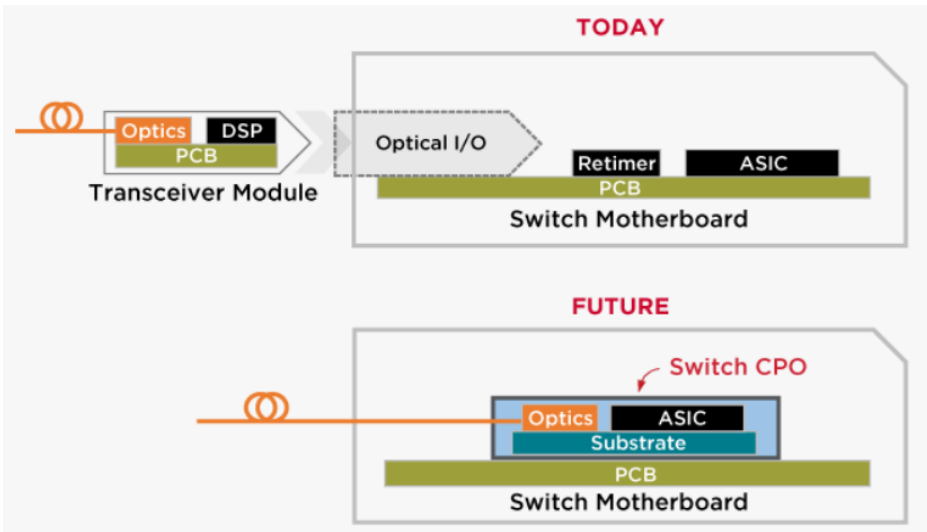
资料来源：联特科技招股书、中航证券研究所整理

2.3 光通信：算力时代CPO降本增效迎发展良机



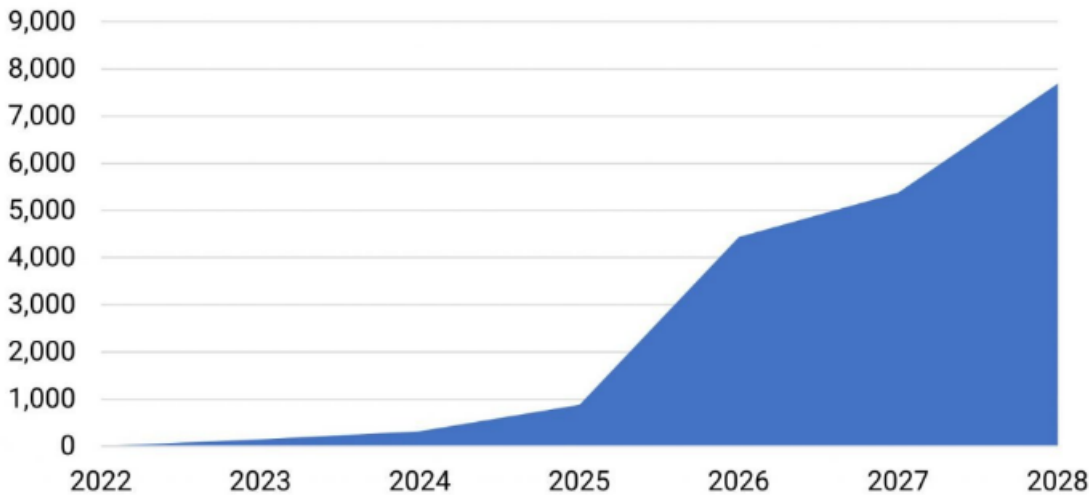
- **CPO降本增效，解决算力时代高速传输痛点。**CPO是一种新型的光电子集成技术，它将激光器、调制器、光接收器等光学器件封装在芯片级别上，直接与芯片内的电路相集成，借助光互连以提高通信系统的性能和功率效率。与传统的光模块相比，CPO在相同数据传输速率下可以减少约50%的功耗，将有效解决高速高密度互连传输场景下，电互连受能耗限制难以大幅提升数据传输能力的问题。与此同时，相较传统以III-V材料为基础的光技术，CPO主要采用的硅光技术具备成本、尺寸等优势。
- 在人工智能、机器学习等大算力应用场景快速发展的背景下，CIR认为交换速率将在2025年达到102.4Tbps时代，届时可插拔收发器将被逐渐淘汰。预计2027年CPO整体市场收入将达到54亿美元，而其上游CPO光学组件销售收入有望在2025年超过13亿美元，到2028年进一步增长至27亿美元。

图：光电共封装（CPO）原理图



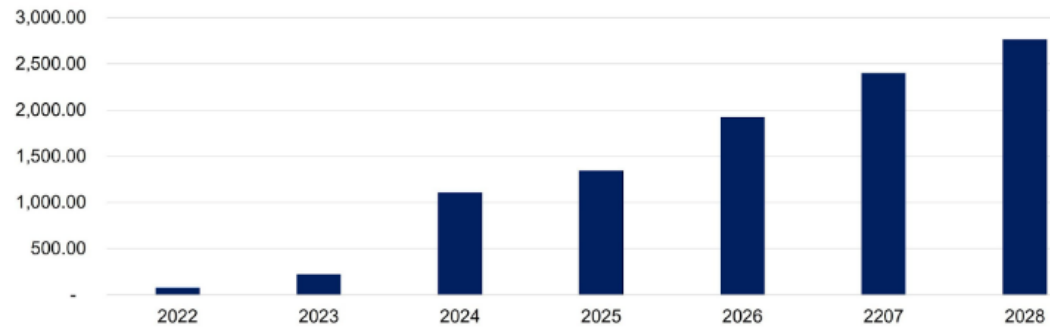
资料来源：博通官网、中航证券研究所整理

图：2022-2028年数据中心CPO市场规模(百万美元)



资料来源：CIR、中航证券研究所整理

图：2022-2028年CPO元件市场规模（百万美元）



资料来源：CIR、中航证券研究所整理

2.3 光通信：国内光模块厂商市场份额提升，产业链向国内转移



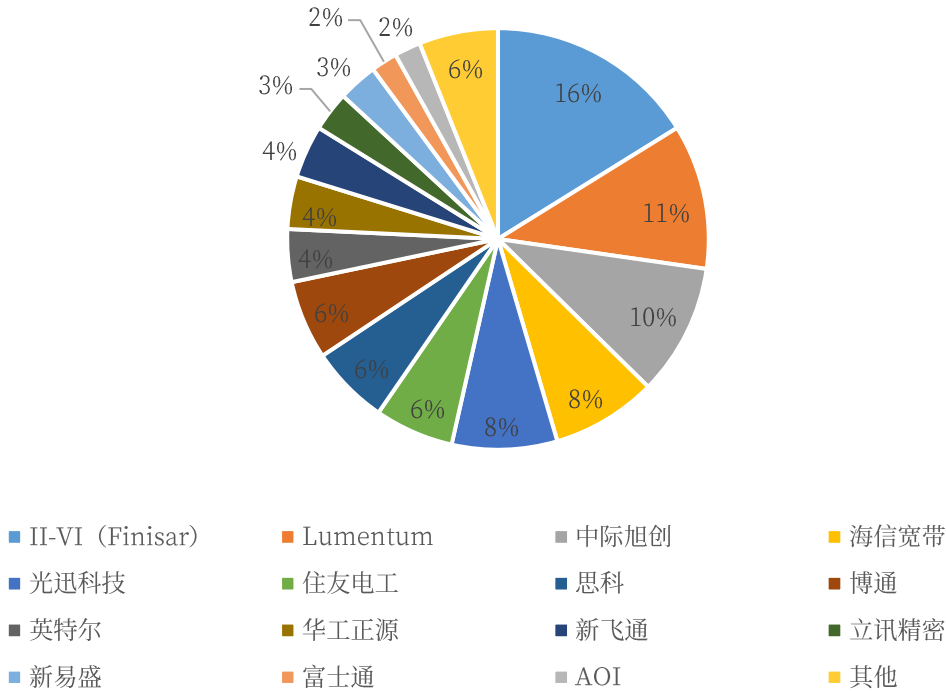
■ **国内光模块厂商市场份额提升，光通信产业链逐步向国内转移。**光芯片、光器件下游直接客户为光模块厂商，全球竞争格局较为分散，近年来，我国光模块厂商在技术、成本、市场、运营等方面的优势逐渐凸显，占全球光模块市场的份额逐步提升。根据LightCounting的统计，2020年我国有中际旭创、华为、海信宽带、光迅科技、新易盛、华工正源6家厂商进入全球前十大光模块厂商，2021年中际旭创、华为、海信宽带、新易盛、光迅科技再次进入前十榜单，中际旭创更是与II-VI并列第一，作为首次登上该榜首的国产厂商。光通信产业链逐步向国内转移，同时中美贸易摩擦及芯片国产化趋势，将促进产业链上游国产光芯片的市场需求。

图：2020-2021年全球光模块前十名供应商

排名	2020年	排名	2021年
1	II-VI	1	II-VI
2	Innolight（中际旭创）		Innolight（中际旭创）
3	Huawei（华为）	3	Huawei（华为）
4	Hisense（海信宽带）	4	Cisco
5	Cisco	5	Hisense（海信宽带）
6	Broadcom	6	Broadcom
7	Intel	7	Eoptolink（新易盛）
8	Accelink（光迅科技）	8	Accelink（光迅科技）
9	Eoptolink（新易盛）	9	Molex
10	HGG（华工正源）	10	Intel

资料来源：LightCounting、中航证券研究所整理

图：2020年全球光模块厂商市场份额



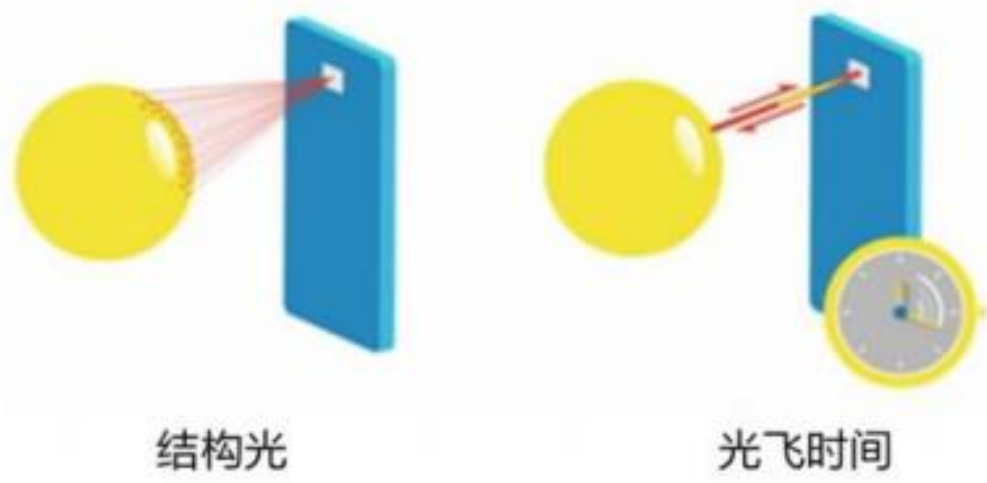
资料来源：Yole、中航证券研究所整理

2.4 消费电子：结构光和ToF是主流的主动测量3D传感方式

AVIC

- 3D 视觉的主要实现方式包括3D 结构光、 ToF（光飞行时间法）和双目视觉三种方法，使智能设备能够根据 3D 传感复原现实三维世界，并实现后续的智能交互，广泛应用于人机交互、机器视觉、人脸识别、三维建模、AR/VR、安防和辅助驾驶等多个领域。**其中3D结构光和ToF均主动发射光源测量**，而双目相机并不主动对外发射光源，仅靠两个摄像头获取图像信息计算视差，因此不需要发射器和接收器。
- **3D结构光**：通过投射仪主动发射红外光到被测物体表面，然后一个或多个相机拍摄被测物体采集结构光图像，再将数据发送到计算单元，根据三角测量原理计算获取位置和深度信息，从而实现3D重建，具有近距离精度高、功耗小、成本低的优势。
- **ToF (Time of Flight)** ：通过向目标发射连续的光脉冲经过目标反射，传感器接受返回的光，并记录飞行的时间以计算出到目标的距离，具有测量距离较远、适应动态场景的优势。
- **双目视觉**：通过双摄像机从不同角度同时获得被测物的两幅数字图像，并基于视差原理恢复出物体的三维几何信息，从而得出图像上每个点的深度信息、最终得到三维数据。由于不需要发射器和接收器，硬件成本方面存在优势。

图：消费电子主要的两种主动测量3D传感方式：结构光和TOF



资料来源：长光华芯招股说明书、中航证券研究所整理

图：3D视觉感知主要技术性能对比

3D视觉感知主要技术	最佳测量距离	分辨率	测量精度	主要适用场景
结构光	<5m	高	近距：高 中远距：低	手机前置、刷脸支付、刷脸门锁、服务机器人、安防监控、屏下3D结构光等
iToF	<3.5m	中	近距：中 中距：高	手机前置、后置、扫地机器人、AR/VR、门禁等
dToF	<5m	低	近距：低 远距：高	手机后置、平板后置、扫地机器人等
双目	<15m	高	低	汽车侧面、室外机器人、智能安防等
Lidar	<200m	低	近距：低 远距：高	汽车自动驾驶、汽车ADAS、低速物流车自动驾驶等
工业三维测量	20mm-30m	极高	极高	高精度工业测量、材料、结构检测

注：表中结构光、iToF、dToF、双目 3D 视觉感知技术对应的产品均指消费级产品

资料来源：奥比中光招股说明书、中航证券研究所整理

2.4 消费电子：苹果引领3D视觉感知规模化普及



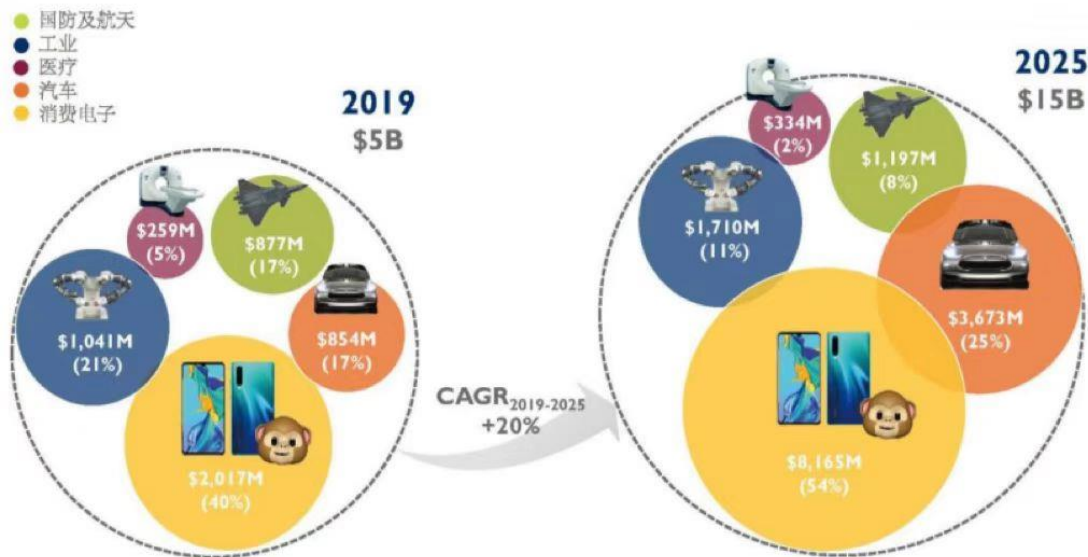
- **3D结构光消费电子领域规模化普及：**2017年苹果发布iPhone X，搭载了前置3D结构光视觉传感器，用于人脸解锁、人脸支付等功能。苹果手机的引领使得3D视觉传感器在手机领域得以规模化应用。随着苹果的示范效应，华为、三星、Oppo 等手机厂商相继在人脸识别、旗舰机摄像头模块中采用基于iToF（间接飞行时间）技术路径的3D传感方案。
- **基于dToF技术的激光雷达首现消费电子：**2020 年新款iPad Pro和 iPhone12 Pro手机产品搭载后置3D dToF（直接飞行时间）Lidar，是苹果手机继2017 年之后的又一次创新升级。2021年后，苹果在前后两侧嵌入ToF用VCSEL模块。
- **随着3D视觉感知拓展至AR/VR等应用，市场规模进一步提升。**2019年3D视觉感知在消费电子市场的市场规模约为20.2亿美元，占总市场规模的比例约40%，Yole 预测2025年增长至81.7亿美元，占总市场规模的比例约54%，市场占比进一步提升。目前3D视觉感知在消费电子领域相对成熟的应用主要为影像的处理，如人脸解锁、支付，拍照背景虚化、人像美拍等；随着技术的完善，预计未来 3-5 年基于 3D 视觉感知的交互功能和增强现实的功能应用会渐渐成熟。

图：3D成像和传感在全球手机厂商中的应用



资料来源：Yole、中航证券研究所整理

图：2019-2025年全球3D成像和传感市场规模预测



资料来源：Yole、奥比中光招股说明书、中航证券研究所整理

2.4 消费电子：主流3D传感方案均采用VCSEL芯片



- **目前消费电子主流的3D传感方案均采用VCSEL芯片。** VCSEL即垂直腔面发射激光器，与边缘射出激光的边射型不同，其激光垂直于顶面射出，集高输出功率、高转换效率和高质量光束等优点于一身，相比LED、EEL和旋转式扫描的FPLD，在精确度、小型化、低功耗、可靠性等方面具有优势。2017年以来，VCSEL被用于近距离传感器后，VCSEL在结构光、iToF、dToF 3D传感方案中均有所应用，嵌入3D传感模块的智能手机数量一直在增加。

图：3D成像和传感模组及元器件示例



资料来源：麦姆斯咨询、中航证券研究所整理

图：苹果iPad Pro 2020用索尼dToF图像传感器



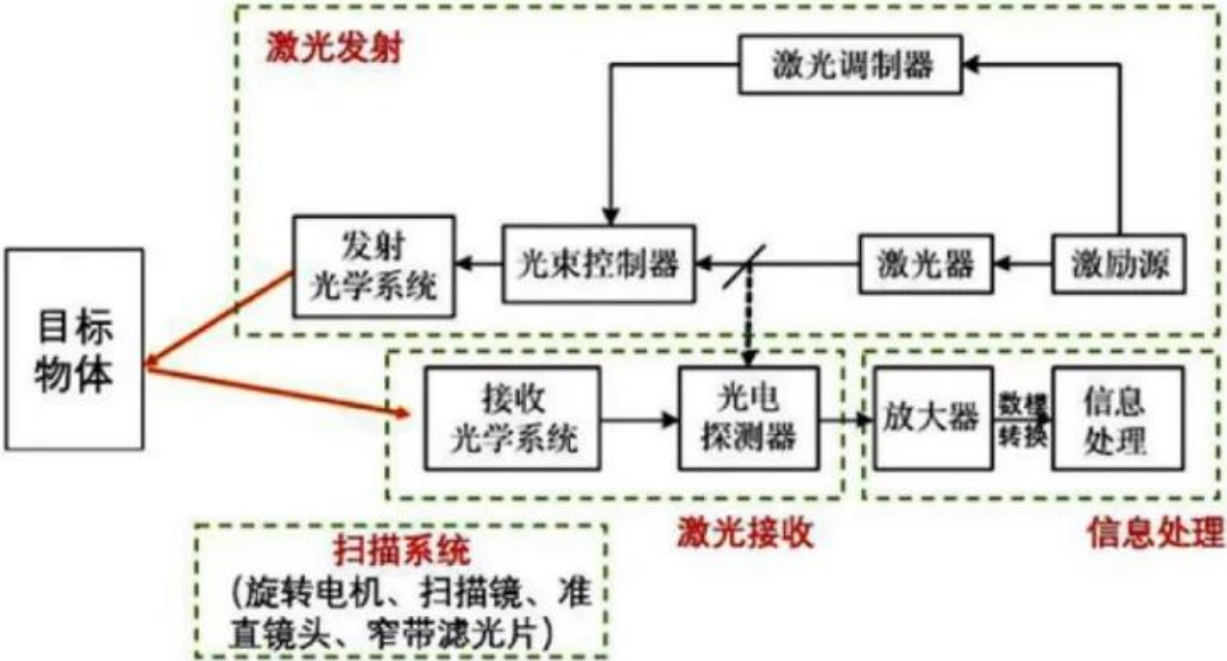
资料来源：麦姆斯咨询、中航证券研究所整理

2.5 车载激光雷达：目前ADAS仅占下游应用2%

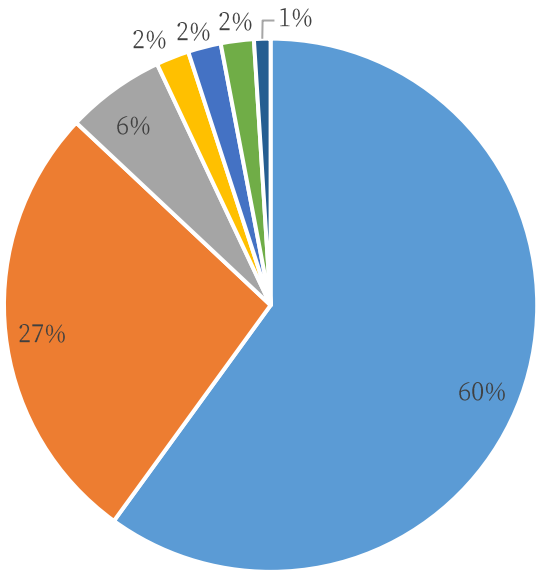


■ **激光雷达主要包括激光发射、扫描系统、激光接收和信息处理四大系统。**激光雷达的工作原理是向目标探测物发送激光光束探测信号，然后将目标反射回来的回波信号与发射信号进行比较，进行适当处理后，便可获取目标的距离、方位、角度、速度、姿态、形状等多种参数信息，从而对目标进行探测、跟踪和识别。激光发射系统主要包括半导体激光器、激光器激励源、激光调制器，是激光雷达的核心系统，而半导体激光器作为激光发射系统的核心器件，为整个激光雷达提供激光脉冲。**2021年无人驾驶出租车、ADAS激光雷达分别占汽车与工业领域激光雷达市场份额的6%/2%。**根据Yole，2021年，全球用于汽车与工业领域的激光雷达出货量预计达30万台，市场规模高达21亿美元，相较2020年增长了18%。其中，地形测绘仍是激光雷达最大的应用领域，占据60%的市场份额；紧随其后的是工业领域，占据27%的份额；无人驾驶出租车、ADAS、风能和国防等领域占据剩下的13%。

图：激光雷达结构示意图



图：2021年激光雷达下游应用结构



■ 地形测绘 ■ 工业 ■ 无人驾驶出租车 ■ ADAS ■ 风能 ■ 科研 ■ 国防航空

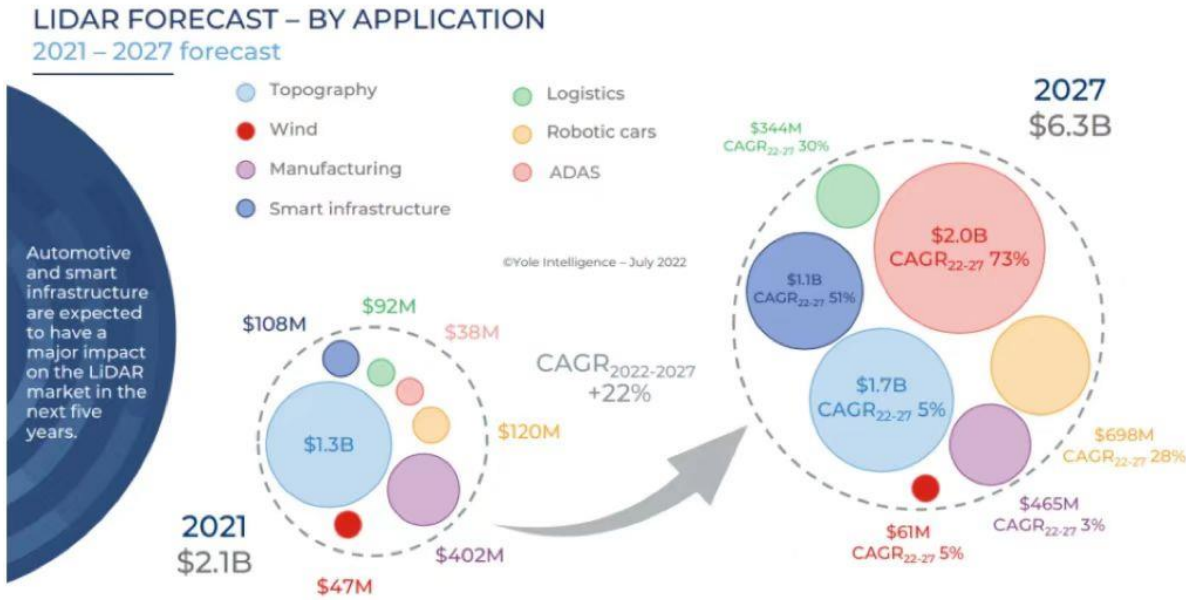
资料来源：《智能网联汽车技术原理与应用》、中航证券研究所整理

资料来源：Yole、中航证券研究所整理

2.5 车载激光雷达：随着ADAS大规模“上车”，迎重要增长机遇

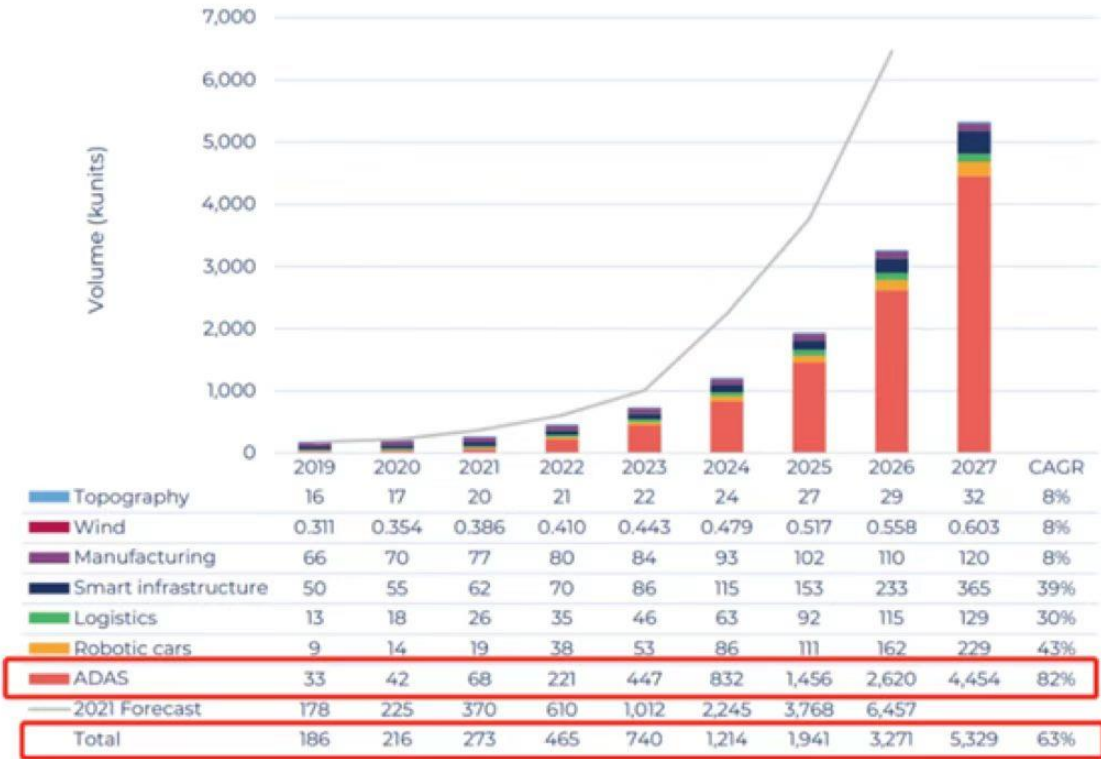
■ 随着ADAS激光雷达大规模“上车”，迎重要增长机遇。随着汽车向自动驾驶过渡，激光雷达有望弥补摄像头在精度、稳定性、抗环境干扰和视野上的局限性，成为 L3、L4 和 L5 级标准的自动驾驶不可或缺的元件。Yole预测，汽车ADAS激光雷达市场规模将在未来5年迎来飞速增长，年均复合增长率高达73%，到2027年，ADAS激光雷达市场规模将从2021年的3800万美元增至2027年的20亿美元，成为激光雷达行业最大的应用领域。与此同时，无人驾驶出租车市场也将以28%的年均复合增长率增长，到2027年市场规模将从2021年的1.2亿美元增长至6.98亿美元。随着2021年雷克萨斯、奔驰、中国的造车新势力等品牌激光雷达加速大规模“上车”，ADAS激光雷达2021-2027年出货量CAGR高达82%，有望在2027年达到445.4万台。

图：2021-2027年激光雷达市场规模预测



资料来源：Yole、中航证券研究所整理

图：激光雷达分应用领域出货量预测（千台）



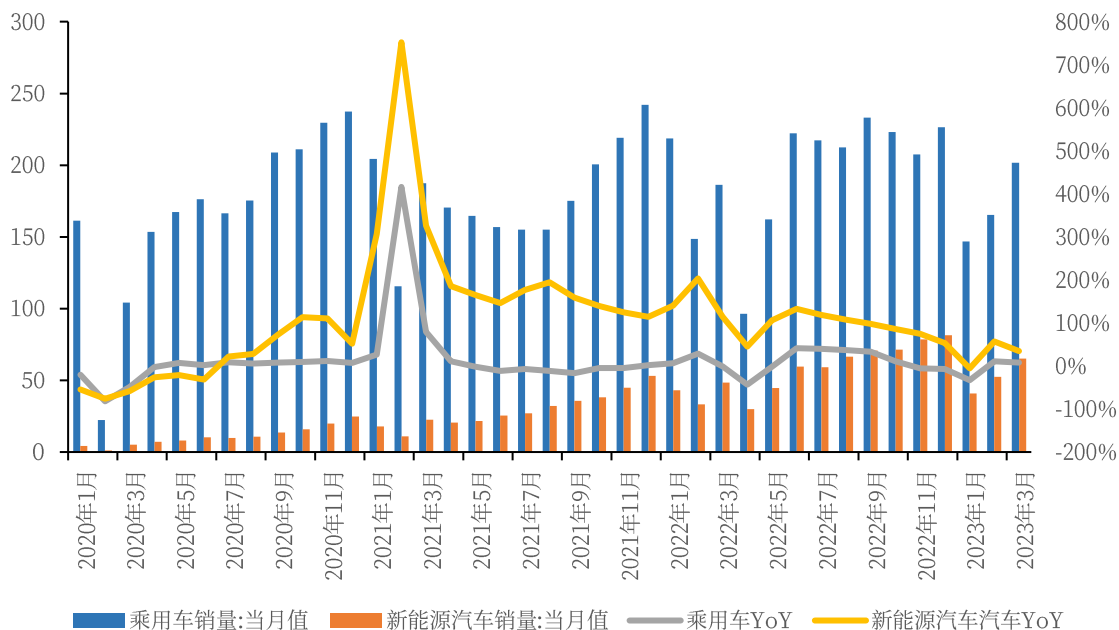
资料来源：Yole、中航证券研究所整理

2.5 车载激光雷达：价格战观望情绪加重，新能源车销量增速放缓



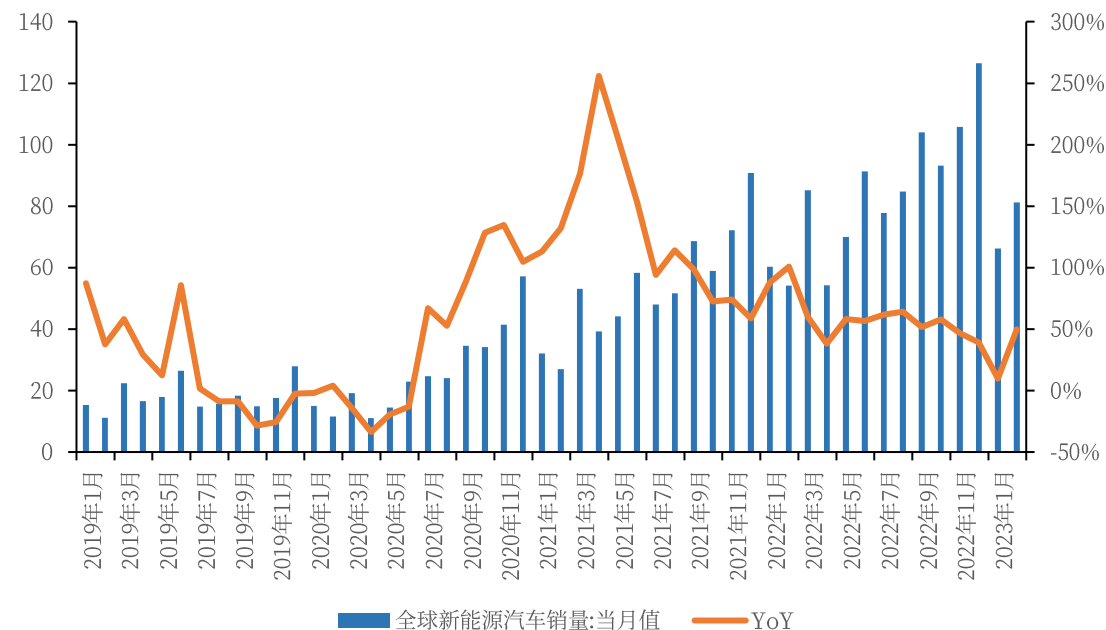
- **汽车价格战打响，消费者持币观望情绪加重。**今年1月，特斯拉全球范围的大幅度降价打响了汽车价格战，随后比亚迪将主销车型秦新款入门价格拉低至10万元以内，新能源车市场的主流品牌纷纷跟进。而今年3月东风汽车集团旗下所有品牌推出限时补贴政策，价格战不再局限于新能源车市场，逐渐演变为所有车企通过“以价换量”保住市场份额。但根据中国汽车流通协会调查，全国各地4S店到店客流普遍大幅增长，但实际成交量却显著下降，部分消费者持币待购，观望进一步的降价补贴政策落地。
- **新能源汽车销量增速明显放缓。**近期全球及我国新能源汽车月度销量同比增速已明显放缓，2023年3月我国乘用车销量同比增长8%，新能源汽车销量同比增长35%，对比2022年3月与2021年3月新能源车销量同比增速分别为114%和326%。因此，我们认为随着新能源车销量增速放缓、行业景气度下滑，车载激光雷达增速亦有下修空间。

图：中国乘用车、新能源汽车销量（万辆）



资料来源：中国汽车工业协会、iFinD、中航证券研究所整理

图：全球新能源汽车销量（万辆）



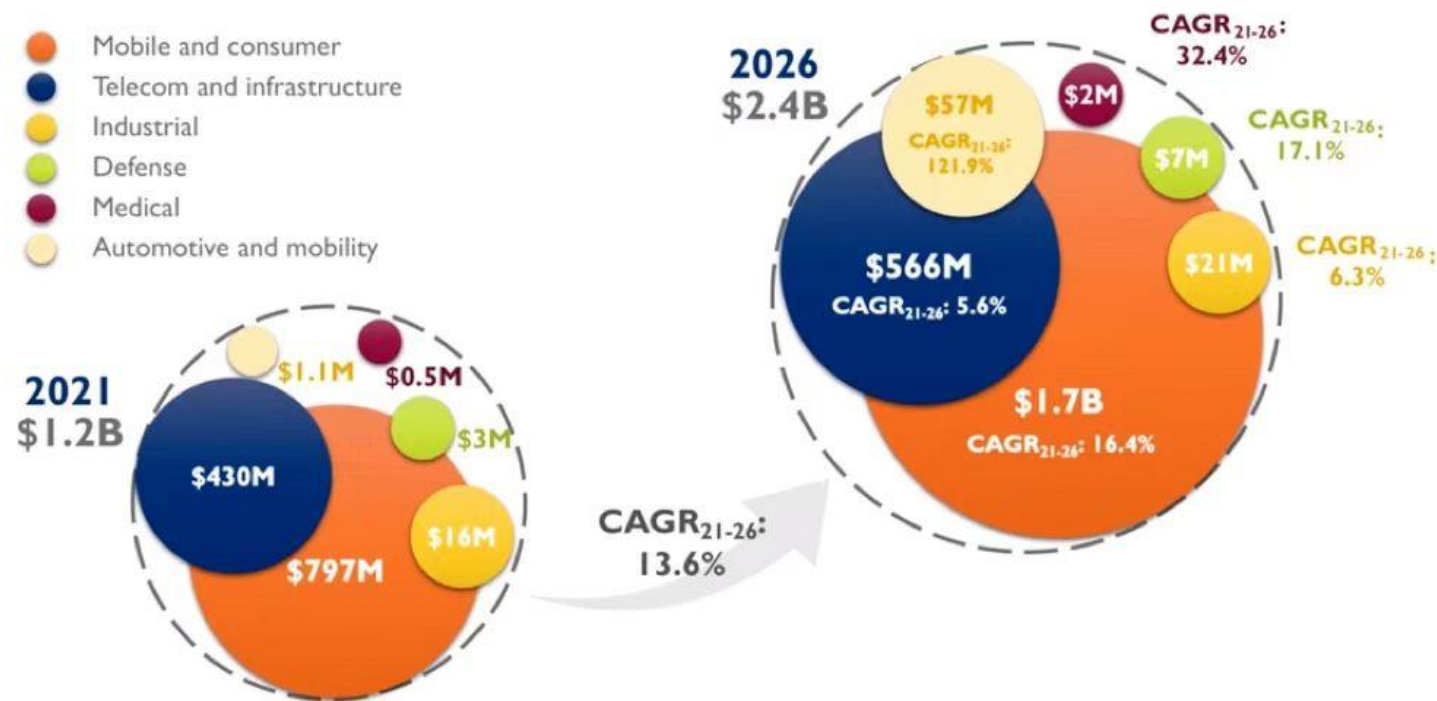
资料来源：EV Sales、iFinD、中航证券研究所整理

2.5 VCSEL：消费电子是最大下游应用，汽车增长未来可期



- **手机和消费电子是VCSEL芯片最大下游应用，汽车用量增长未来可期。** 得益于消费电子中3D传感方案的普及和激光雷达“上车潮”，根据Yole的预测，全球VCSEL市场预计将从2021年的12亿美元增长到2026年的24亿美元，期间复合年增长率为13.6%。其中最大的下游应用手机和消费电子用VCSEL市场规模将从2021年的7.97亿美元增长到2026年的17亿美元，复合年增长率为16.4%。近年来，随着激光雷达（LiDAR）技术的发展，VCSEL阵列光源，由于其低制造成本、小温漂系数、易于二维集成的优势，越来越受到激光雷达应用市场的关注。汽车用VCSEL芯片市场规模将从约110万美元增长至约5700万美元，2021-2026年CAGR高达121.9%。

图：VCSEL芯片按应用领域市场规模预测



资料来源：Yole、中航证券研究所整理

- **“双千兆”建设不及预期风险：**“双千兆”建设主要由运营商进行主导，若未来运营商推进速度放缓或不达规划预期，则对上游光器件业务驱动或有所减弱。
- **下游需求不及预期风险：**光器件行业作为光通信产业链的上游，易受下游电信市场及数通市场需求变化影响。如果未来下游市场需求不及预期，出现需求大幅减弱甚至持续低迷的不利情形，将导致公司未来经营业绩存在波动的风险。
- **产品研发不及预期风险：**未来公司研发的新产品若因成本高、可靠性弱、性能达不到下游客户需求等因素，进而导致公司新产品无法顺利通过下游客户的认证，则将会对公司的经营业绩造成不利影响。
- **国际贸易摩擦风险：**若因国际贸易摩擦进一步加剧，导致部分供应商未能及时甚至无法供货或提供设备，部分公司的正常生产经营将受到重大不利影响。



我们设定的上市公司投资评级如下：

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

我们设定的行业投资评级如下：

增持：未来六个月行业增长水平高于同期沪深300指数。
中性：未来六个月行业增长水平与同期沪深300指数相若。
减持：未来六个月行业增长水平低于同期沪深300指数。

中航科技电子团队介绍：

首席：赵晓琨 SAC执业证书：S0640122030028
十六年消费电子及通讯行业工作经验，曾在华为、阿里巴巴、摩托罗拉、富士康等多家国际级头部品牌终端企业，负责过研发、工程、供应链采购等多岗位工作。曾任职华为终端半导体芯片采购总监，阿里巴巴人工智能实验室供应链采购总监。

分析师：刘牧野 SAC执业证书：S0640522040001
约翰霍普金斯大学机械系硕士，2022年1月加入中航证券。拥有高端制造、硬科技领域的投研经验，从事科技、电子行业研究。

研究助理 刘一楠 SAC执业证书：S0640122080006
西南财经大学金融硕士，2022年7月加入中航证券，覆盖半导体设备、半导体材料板块。

研究助理 苏弘宇 SAC执业证书：S0640122040021
俄亥俄州立大学金融数学学士，约翰霍普金斯大学金融学硕士。2022年加入中航证券。

分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，再次申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

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

免责声明

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

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

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

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