

海外观察系列九：景气向上，从 II-VI 和 Lumentum 看光芯片国产化

增持（维持）

关键词：#第二曲线 #进口替代

投资要点

- **光芯片为激光器、探测器等应用的核心元器件，衬底价值量大、外延壁垒高。**光芯片主要包括激光器芯片与探测器芯片，实现光信号和电信号相互转化。衬底作为影响性能的关键，价值量占比高；外延技术门槛高，具备工艺及时间壁垒。海外产业发展相对成熟，IDM 模式为主导。
- **产业趋势：光子替代电子大势所趋，远期前景向好。**产业应用方向关注光通信、光传感和光计算。光通信领域，光纤较铜缆具备信息容量大、传输距离远、损耗低等优势，“光进铜退”已成趋势；光传感领域，硅光芯片赋能智能驾驶是产业发展方向；光计算领域，硅光芯片部分取代电芯片在计算场景中的应用是产业探索的方向。
- **市场空间：数通领域复苏，激光雷达打开成长空间。**光芯片下游应用广泛（电信/数据中心/消费电子/汽车），2022E 全球市场规模分别为 10.5/11.7/9.2/0.7 亿美元；我们预测 2025 年达 14.0/18.4/13.7/12.4 亿美元。1) 电信：光纤入户+5G 基建+现有升级驱动缓慢增长。2) 数据中心：云计算厂商持续投资资本开支，需求回暖。3) 消费电子：苹果仍为主导者。4) 汽车：激光雷达为光芯片开拓应用场景，远期空间较大。
- **海外龙头对标：II-VI 和 Lumentum 纵向并购+横向拓展。**海外龙头产品矩阵丰富，涵盖光芯片、光器件、光模块、激光器等，并绑定苹果、亚马逊等优质客户。2016-2022 财年，Lumentum 营收 CAGR 11.3%；2009-2022 财年，II-VI 营收 CAGR 为 20.6%。两家公司均进行多次外延并购，丰富布局。
- **国产化展望：替换动力强，国产化持续推进。**光通信领域，低速率光芯片已实现较高程度国产化，高速率芯片、车载雷达芯片均在验证导入过程中，产业进展积极。考虑到国内以激光雷达整机厂为代表的终端客户快速发展，光芯片作为核心环节有望随之国产化，深度受益。
- **投资建议：把握上行周期，关注增量市场。**复盘历史，光芯片下游具备较强周期性，需关注光通信行业景气度及车规进展。看好主业稳健，开拓汽车等新应用的标的，建议关注长光华芯/源杰科技/光迅科技/仕佳光子等；海外建议关注 II-VI(Coherent) /Lumentum。
- **风险提示：**车规进度不及预期风险，国产化进展不及预期风险，疫情扰动风险

表 1：公司估值（以 2022 年 12 月 16 日收盘价计算）

代码	公司	总市值 (亿元)	收盘价 (元)	EPS (元人民币)			2021A	2022E	2023E	PE	投资评级
				2021A	2022E	2023E					
688048	长光华芯	142	104.43	1.13	1.11	1.87	92	94	56	—	
002291	光迅科技	114	16.37	0.81	0.92	1.05	29	18	16	—	
688498	源杰科技	—	—	2.12	1.74	2.40	—	—	—	—	
688313	仕佳光子	44	9.64	0.11	0.23	0.30	118	42	32	—	

数据来源：Wind，东吴证券研究所（盈利预测为 Wind 一致预期）

注：源杰科技截至报告发出日还未上市，因此没有行情数据

2022 年 12 月 17 日

证券分析师 张良卫

执业证书：S0600516070001

021-60199793

zhanglw@dwzq.com.cn

研究助理 卞学清

执业证书：S0600121070043

bianxq@dwzq.com.cn

行业走势



相关研究

《海外观察系列八：从安森美战略转型看碳化硅供需平衡表》

2022-11-03

《海外观察系列六：从 TI 和 ADI 复盘，看模拟芯片赛道的进攻性和防守性》

2022-09-19

《舜宇、韦尔对比研究：复苏将至，或跃在渊》

2022-05-18

《海外观察系列三：美股激光雷达隐喻》

2022-05-02

《海外观察系列一：从 Wolfspeed 发展看碳化硅国产化》

2022-02-26

内容目录

1. 光芯片：光进铜退，光子领域核心元器件	5
1.1. 原理：三五族化合物主导，实现光电信号转换	5
1.1.1. 光芯片为激光器、探测器核心组成	5
1.1.2. 激光器芯片	5
1.1.3. 探测器芯片	9
1.2. 产业链：衬底价值量大，外延为核心	11
1.2.1. 光芯片制造：工艺复杂，外延为核心，IDM 模式为主流	11
1.2.2. 光芯片上游：衬底为核心原材料，海外厂商仍为主导	12
1.2.3. 光芯片下游：光模块应用广泛	13
1.3. 产业趋势：光子替代电子大势所趋	14
2. 市场空间：数通领域复苏，激光雷达支撑远期成长	15
2.1. 概览：激光雷达市场接力数据中心需求	15
2.2. 电信领域：光纤入户、5G 基站建设、现有基站升级三大驱动力	16
2.2.1. 下游趋势：国内光纤入户、5G 基站高渗透，全球仍具发展潜力	17
2.2.2. 应用种类：光纤入户 2.5G 占主流，移动通信 10G/25G 占主流	18
2.2.3. 电信领域光芯片市场规模	19
2.3. 数据中心：光模块速率持续提升，资本开支驱动增长	19
2.3.1. 下游趋势：云计算厂商营收与 CAPEX 高速增长	20
2.3.2. 应用种类：VCSEL 与 EEL 互补，速率需达到 50G 及以上	21
2.3.3. 数通领域光芯片市场规模	21
2.4. 消费电子：苹果主导，940 nm VCSEL 为主流	22
2.4.1. 下游趋势：苹果主导，安卓阵营中渗透率有望提升	23
2.4.2. 应用种类：940nm VCSEL 芯片在消费电子领域占主流	24
2.4.3. 消费电子光芯片市场规模	24
2.5. 车载激光雷达：光芯片的新蓝海	24
2.5.1. 下游趋势：车载雷达为光芯片最快增速支点	25
2.5.2. 应用种类：EEL/VCSEL 应用广泛，905/1550 或将共存	25
2.5.3. 激光雷达光芯片市场规模	26
3. II-VI、lumentum 复盘：光芯片和器件龙头的成长之路	27
3.1. Lumentum：消费电子 VCSEL 龙头，车规彰显实力	27
3.2. II-VI：光芯片+碳化硅，持续收购注入增长动能	30
3.3. 商业模式探讨：需求变化快、盈利不稳定，把握上行周期	33
4. 国产化展望：远期趋势确定，立足光通信，切入车规	35
4.1. 政策扶持，光芯片国产化稳步推进	35
4.2. 相关公司梳理	38
4.2.1. 长光华芯：平台型激光芯片龙头，VCSEL 布局领先	38
4.2.2. 光迅科技：光电器件及模块巨头，产业链布局构建核心竞争力	39
4.2.3. 源杰科技：聚焦光芯片开发，把握数通市场上行期实现快速增长	39
4.2.4. 仕佳光子：从“无源+有源”走向光电集成	41
5. 风险提示	41

图表目录

图 1: 激光器芯片、探测器芯片在半导体中所处范畴.....	5
图 2: 激光器芯片工作原理.....	6
图 3: 激光器芯片分类.....	6
图 4: FP、DFB、EML 激光器芯片结构示意图.....	7
图 5: 直接带隙、间接带隙的能量-波矢图	8
图 6: 材料的带隙-波长-晶格常数图及典型应用场景所需激光波长.....	9
图 7: 光电二极管结构及工作原理.....	9
图 8: PN 与 PIN 光电二级管结构	10
图 9: PIN 光电二极管工作原理	10
图 10: APD 与 SPAD 光电探测器结构图.....	11
图 11: SPAD 工作电压高于击穿电压, 可对单光子计数.....	11
图 12: 主流探测器芯片衬底的光谱响应曲线.....	11
图 13: 光芯片晶圆制造、芯片加工与测试工艺流程.....	12
图 14: 光芯片各原材料成本占比.....	13
图 15: 光芯片产业链梳理.....	13
图 16: FTTH/O 渗透率不断提升.....	14
图 17: 我国宽带接入发展历史复盘.....	14
图 18: 硅光计算愿景图	15
图 19: 光芯片各下游领域市场规模及增速 (亿美元)	16
图 20: 各层通信网络结构图.....	16
图 21: 光芯片-移动接入网: PON 与前传网络	16
图 22: 我国 FTTH/O 端口数量及占比.....	17
图 23: 我国千兆光网宽带用户数及占比.....	17
图 24: 我国 5G 基站建设数目及占比.....	17
图 25: 2016-2021 全球云计算巨头营收规模 (百万美元)	20
图 26: 2015-2021 全球云计算巨头 CAPEX 变化 (百万美元)	20
图 27: 2021-2027 年全球云计算公司光模块总销售额 (亿美元)	21
图 28: 数据中心领域光芯片市场规模测算 (亿美元)	22
图 29: 结构光方案工作原理.....	22
图 30: TOF 方案工作原理	22
图 31: 光芯片在结构光方案中的应用	22
图 32: 光芯片在 TOF 方案中的应用	22
图 33: 安卓与苹果产品应用 3D 传感摄像头的历程	23
图 34: 2021-2027 消费电子 3D 传感市场规模预测	23
图 35: 2017、2021 年消费电子领域光芯片厂商竞争格局	23
图 36: 光芯片应用领域发展与各领域所需光芯片波长.....	24
图 37: 光芯片参与机械式机关雷达的构成.....	25
图 38: 光芯片参与 MEMS 式激光雷达的构成	25
图 39: 2022-2025 年乘用车激光雷达市场规模测算	25
图 40: 2022-2025 年车载激光雷达领域光芯片市场规模测算	26
图 41: Lumentum 主要产品及客户情况	27
图 42: Lumentum 营业收入逐年增长	27

图 43: Lumentum 归母净利润稳中向好	27
图 44: Lumentum 毛利率连续 4 年增长	28
图 45: Lumentum 研发费用率较高	28
图 46: Lumentum 长期占据 VCSEL 市场 40%+份额	28
图 47: Lumentum VCSEL 产品收入持续增长	28
图 48: 自 2018 年起, 苹果就成为 Lumentum 第一大客户	29
图 49: Lumentum 股价复盘 (美元)	30
图 50: II-VI 产品体系健全, 下游市场广阔	30
图 51: II-VI 成长的关键阶段始终伴随收购	31
图 52: II-VI 股价复盘 (美元)	32
图 53: II-VI 公司毛利率、净利率长期稳定	33
图 54: II-VI 对研发的重视程度在不断提高	33
图 55: II-VI、Lumentum 股价随市场需求变化呈现“脉冲式”特征	33
图 56: 200G/400G 光模块迎来上行期, 带动 25G 以上光芯片需求增长 (百万美元)	34
图 57: 光通信厂商利润水平波动周期	34
图 58: 光芯片厂商良性成长循环路径	34
图 59: II-VI 收购 Coherent 丰富产品结构	35
图 60: Lumentum 收购 NeoPhotonics 丰富产品结构	35
图 61: 2010-2021 全球光模块厂商份额变化	36
图 62: 全球 2.5G 及以下 DFB/FP 激光器芯片市场份额	36
图 63: 全球 10G DFB 激光器芯片市场份额	36
图 64: 长光华芯营业收入长期维持高速增长	38
图 65: 公司 VCSEL 芯片收入比重相对较低 (2021H1)	38
图 66: 长光华芯综合毛利率稳定在 50% 左右	39
图 67: 长光华芯高效率 VCSEL 系列毛利率较高	39
图 68: 光迅科技收入持续稳定增长	39
图 69: 光迅科技毛利率/净利率长期保持稳定	39
图 70: 源杰科技产品矩阵丰富, 覆盖数通等下游	40
图 71: 源杰科技收入情况 (亿元)	40
图 72: 源杰科技毛利率情况	40

表 1: VCSEL/FP/DFB/EML 激光器芯片特性及主要应用场景	7
表 2: 我国三大运营商 5G 小基站建设布局情况	18
表 3: 2020-2021 运营商关于 5G 建设的集采情况	18
表 4: 2021-2025 年电信领域光芯片市场规模测算	19
表 5: 2021-2025 年移动消费领域光芯片市场规模测算	24
表 6: Lumentum 通过合作、并购和产品开发提升核心竞争力	29
表 7: 不同速率光芯片主要竞争格局	37
表 8: 近年国家扶持光芯片的部分重要政策汇总	37

1. 光芯片：光进铜退，光子领域核心元器件

1.1. 原理：三五族化合物主导，实现光电信号转换

1.1.1. 光芯片为激光器、探测器核心组成

激光应用广泛，其工作有赖于激光器与探测器。得益于方向性好、单色性好、能量密度高，激光不仅在光纤通信、工业制造等传统领域应用广泛，更在3D传感、车载激光雷达等新型领域日益普及。激光的输出有赖于激光器，根据增益介质的不同，激光器可分为气体激光器、液体激光器与固态激光器，而半导体激光器是固态激光器的典型形态；激光的接收则有赖于探测器，其又被称为光敏二极管。

激光器、探测器的核心构成部分为光芯片，光芯片核心功能为光电信号转换。光芯片主要包括激光器芯片与探测器芯片：激光器芯片应用于半导体激光器中，实现电信号向光信号的转换，将电信号蕴含的信息通过激光输出；探测器芯片则在探测器中不可或缺，实现光信号向电信号的转换。

图1：激光器芯片、探测器芯片在半导体中所处范畴

半导体					
分立器件 (D-S)			集成电路 (IC)		
分立器件 (DS)	光电子器件 (OT)	传感器 (Sensors)	数字集成电路 (Digital)	模拟集成电路 (Analog)	数模混合 (A/D; D/A)
二级管	发光二极管		微元件	电源管理芯片	
三级管	激光器芯片		存储器	运算放大器	
	探测器芯片		逻辑IC	稳压器	
	光电耦合器			其他通用模拟芯片	

数据来源：长光华芯招股说明书、源杰科技招股说明书、东吴证券研究所

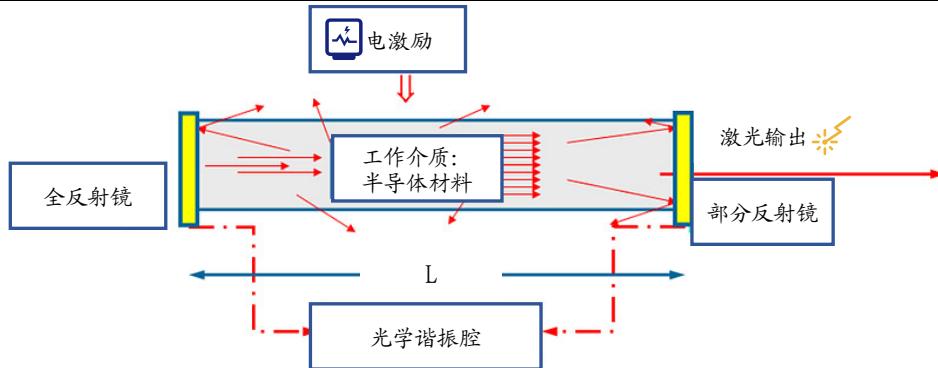
1.1.2. 激光器芯片

1) 工作原理：电激励为泵浦源，半导体为增益介质，输出激光

激光的发出有赖于泵浦源、增益介质、谐振腔三大部件。激光的输出需要外界提供能量，泵浦源（又称激励源）即负责向增益介质中的粒子提供能量，常见的泵浦方式有电泵浦、光学泵浦、核能泵浦等；增益介质用来提供向高能级跃迁的粒子，常用材料有氖气、有机染料、红宝石、半导体、光纤等；谐振腔指使光波在其中来回反射从而提供光能反馈的空腔，其作用是使腔内的光子具有一致的频率、相位和运行方向，使激光具有良好的方向和相干性，同时还能放大受激辐射的强度。

激光器芯片将电激励作为泵浦源，以半导体材料为增益介质，通过谐振腔选模放大，进而输出激光，完成光电转换。

图2：激光器芯片工作原理

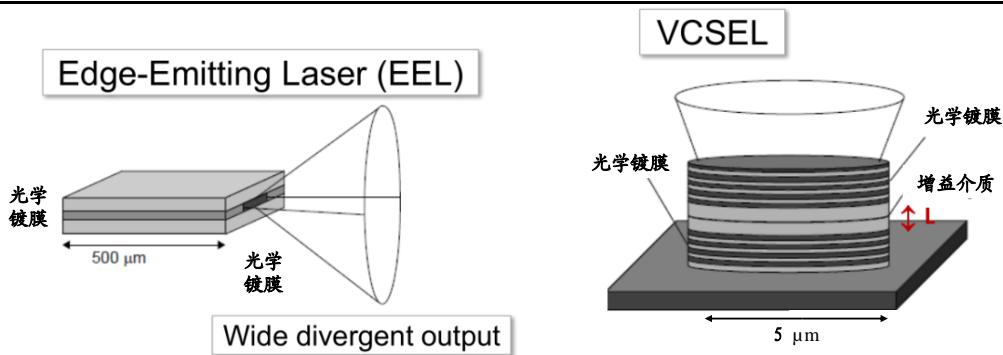


数据来源：长光华芯招股说明书、东吴证券研究所整理

2) 激光器芯片分类：谐振腔制造工艺差异，适用不同场景

按照谐振腔制造工艺差异，激光器光芯片可分为边发射激光器芯片（EEL）与面发射激光器芯片（VCSEL）两类。EEL 在芯片两侧镀光学膜形成谐振腔，光子经谐振腔选模放大后，将沿平行于衬底表面的方向形成激光；VCSEL 在芯片上下两面镀光学膜形成谐振腔，由于谐振腔与衬底垂直，光子经选模放大后将垂直于芯片表面形成激光。EEL 与 VCSEL 各具优势，EEL 的输出功率、电光转化效率更高，而 VCSEL 具有阈值电流低、单波长工作稳定、可高效调制、易二维集成、无腔面阈值损伤、制造成本低等优点。

图3：激光器芯片分类



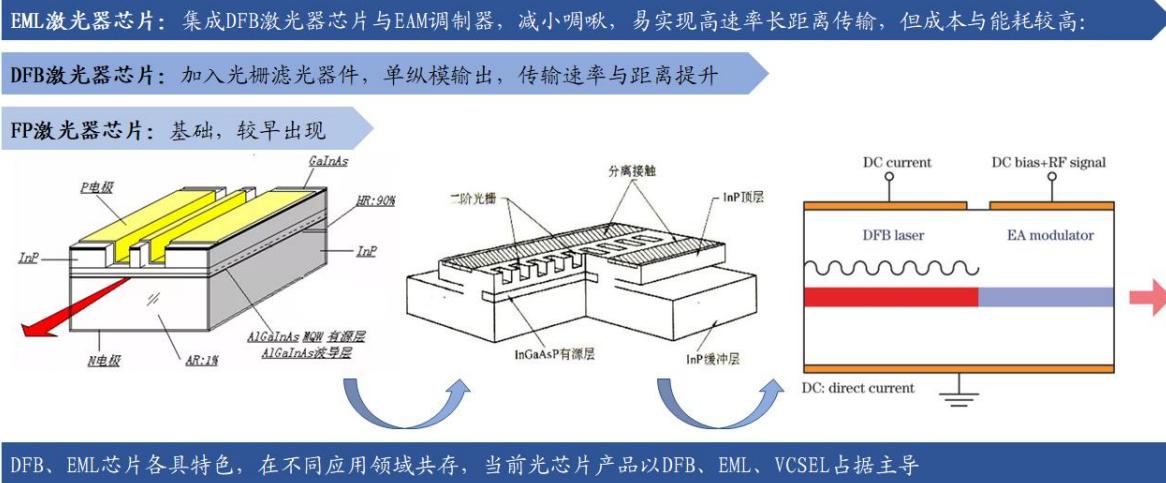
数据来源：面包板社区、光芯片工艺技术、东吴证券研究所整理

EEL 进一步分为 FP/DFB/EML 三类，应用场景相异。FP、DFB 为独立器件，通过控制电流的有无来调制信息输出激光，故被称为直接调制激光器芯片（DML）。在 DML 中，FP 激光器诞生较早，主要用于低速率短距离传输；DFB 在 FP 激光器的基础上发展而来，采用光栅滤光器件实现单纵模输出，主要用于高速中长距离传输。DML 通过调制注入电流来实现信号调制，然而注入电流的大小会改变激光器有源区的折射率，造成波长漂移（啁啾）从而产生色散，限制了传输距离；同时，DML 带宽有限，调制电流大时激光器容易饱和，难以实现较高的消光比。

电吸收调制激光器芯片（EML）较好地缓解了啁啾色散问题，它由 EAM 电吸收调

制器与 DFB 激光器集成而来，信号传输质量高，易实现高速率长距离的传输，不过价格与能耗相对较高。

图4：FP、DFB、EML 激光器芯片结构示意图



数据来源：易飞扬通信、讯石光通讯网、《高速电吸收调制激光器研究进展》、东吴证券研究所整理

VCSEL、FP、DFB、EML 光芯片的特性与主要应用场景如下表：

表1：VCSEL/FP/DFB/EML 激光器芯片特性及主要应用场景

激光器芯片类别	工作波长	激光器芯片特性	主要应用场景
VCSEL	800-900nm	线宽窄，功耗低，调制速率高，耦合效率高，传输距离短	500m 以内短距离传输，如数据中心内部传输、消费电子领域（如 3D 传感面部识别）
FP	1310-1550nm	成本低，耦合效率低	中低速无线接入短距离市场。由于存在损耗大、传输距离短的问题，部分应用场景逐步被 DFB 激光器芯片取代
DFB	1270-1610nm	调制速率高，波长稳定，耦合效率低	中长距离的传输，如 FTTx 接入网、传输网、无线基站、数据中心内部互联等
EML	1270-1610nm	调制效率高，波长稳定性好，传输距离长，成本较高	长距离传输，如高速率、远距离的电信骨干网、城域网和数据中心互联

数据来源：源杰科技招股说明书、东吴证券研究所

3) 激光器芯片材料：三五族化合物为主流，光学特性较硅更优

三五族化合物泛指由元素周期表的三族与五族元素构成的合金化合物，种类丰富，如砷化镓 (GaAs)、磷化铟 (InP)、砷化铟镓 (InGaAs)，根据所含元素种类数又可分为二元化合物如 InP，三元化合物如 $Al_xGa_{1-x}As$ ，四元及更高化合物等。硅是目前工业中最主要的半导体材料，广泛用于集成电路，但在光电器件领域，三五族化合物却因具有更好的光学特性而更为重要。

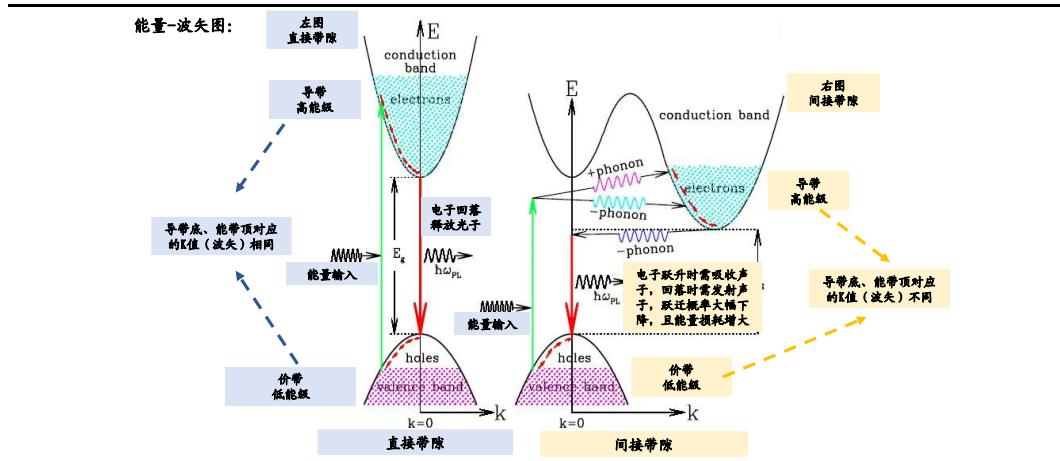
三五族化合物具有直接带隙，进而电子在高低能级间跃迁时效率更高，进而使芯片输出激光的效率更高。带隙是电子从低能级（价带）跃迁高能级（导带）所需吸收的最小能量，对应的是价带顶部与能带底部的能量差距。直接带隙是指在能量-波矢图中，元

素电子的价带底与导带顶对应的波矢相同，反之，若二者波矢有异，则称为间接带隙。

对于直接带隙结构，电子在价带与导带间的跃迁只需满足能量守恒；对于间接带隙结构，由于价带顶与导带底的波矢不同，需在水平方向施加动量方可使电子完成跃迁，也即：电子跃迁过程涉及声子的吸收与发射——一方面，由低向高能级的跃迁必须要有声子参与，这导致跃迁发生的概率降低，间接带隙结构发生电子跃迁的概率约为直接带隙结构的 1/1000；另一方面，跃迁释放的大部分能量会转换为声子而非光子。此二因素决定了直接带隙结构中电子在高低能级间的跃迁效率更高。

如前所述，对于激光器芯片而言，输出激光的关键在于“半导体中的电子吸收能量，由低能级向高能级跃迁——电子由不稳定的高能级回落至低能级，在这一过程中以光子形式释放能量”，可见，电子跃迁的效率是激光输出效率的本源，故直接带隙结构的半导体更适用于制作激光器芯片。三五族化合物大都为直接带隙半导体材料，如 GaAs、GaN、InP 等，少部分三五族化合物如 GaP 及 Ge、Si 则属于间接带隙结构，这是 GaAs、InP 等三五族化合物在激光器芯片制备中应用普遍的基础。

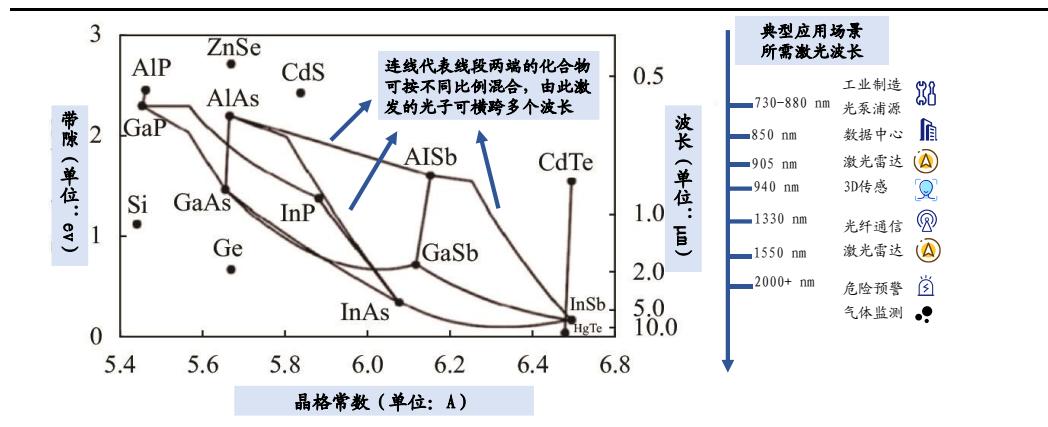
图5：直接带隙、间接带隙的能量-波矢图



数据来源：维基百科、ipac、东吴证券研究所整理

三五族化合物可形成三元及以上化合物作为外延材料，通过调整各组分元素的比例，可获得期望的激光输出波长，满足多样化的场景需求。激光器芯片输出的激光源于从导带层回落至价带层时释放的光子，故激光的波长主要由释放光子的波长决定，而光子的波长与光子的频率进而光子的能量成反比，故输出激光的波长将主要由“电子由导带底回落至价带顶释放的能量大小”决定，即半导体材料的带隙。对于 Si、Ge 而言，除电子跃迁效率较低外，它们为单一材料，带隙固定，故只能发出单一波长的光；对三五族化合物而言，单个化合物的带隙同样固定，但它们可按照不同比例进行混合，形成不同的三元及以上化合物，由此可得多种带隙。需指出，光芯片的衬底通常还是二元化合物，三元及以上化合物一般作为从衬底上生长出的外延材料。

图6：材料的带隙-波长-晶格常数图及典型应用场景所需激光波长



数据来源：《基于 InSb 的新型红外探测器材料（特邀）》，《半导体激光器研究进展》，东吴证券研究所整理

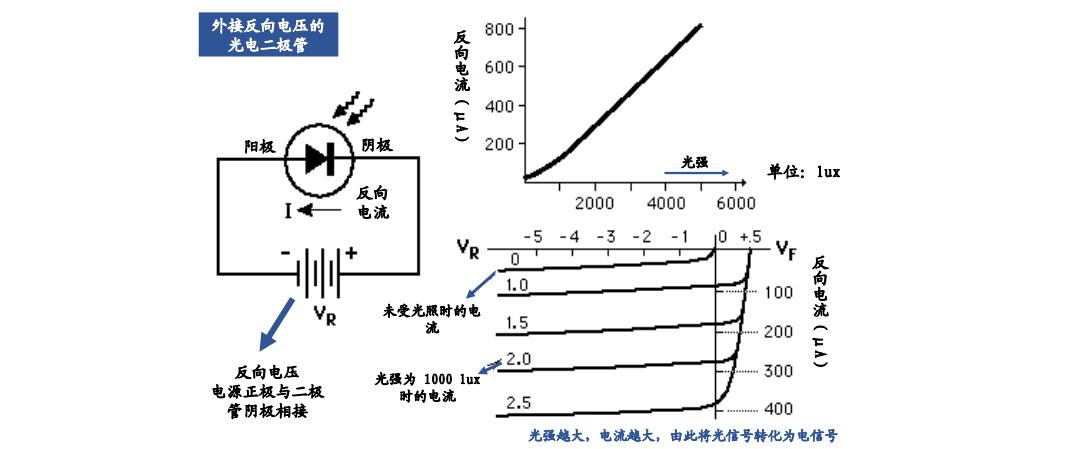
三五族化合物中，InP 与 GaAs 两类材料在激光器光芯片衬底中居于主流。GaAs 是目前研究得最成熟、生产量最大的化合物半导体材料，具有电子迁移率高、禁带宽度大等优点，适合于制造高频、高速的器件与电路；InP 则具有高电光转换效率与高电子迁移率、抗辐射等品质，二者各具优势。前述 VCSEL 面发射激光器芯片主要以 GaAs 材料为衬底，而 FP、DFB、EML 三类边发射激光器芯片主要以 InP 材料为衬底。

1.1.3. 探测器芯片

1) 工作原理：依托光电效应将光信号转为电信号

探测器芯片又称光电二极管(PD)，通过光电效应识别光信号，转化为电信号。光电效应是指在光照下，材料中的电子吸收光子的能量，若吸收的能量超过材料的逸出功，电子将逸出材料形成光电子，同时产生一个带正电的空穴。光电二极管工作时，在其双极加上反向电压——无光照射时，由于二极管反向高电阻的特性，电路中只存在很小的反向电流；有光照射时，由光电效应产生的空穴将前往外接电压的负极，光电子前往外接电压的正极，从而增大二极管中的反向电流，由此实现对光信号的探测。

图7：光电二极管结构及工作原理

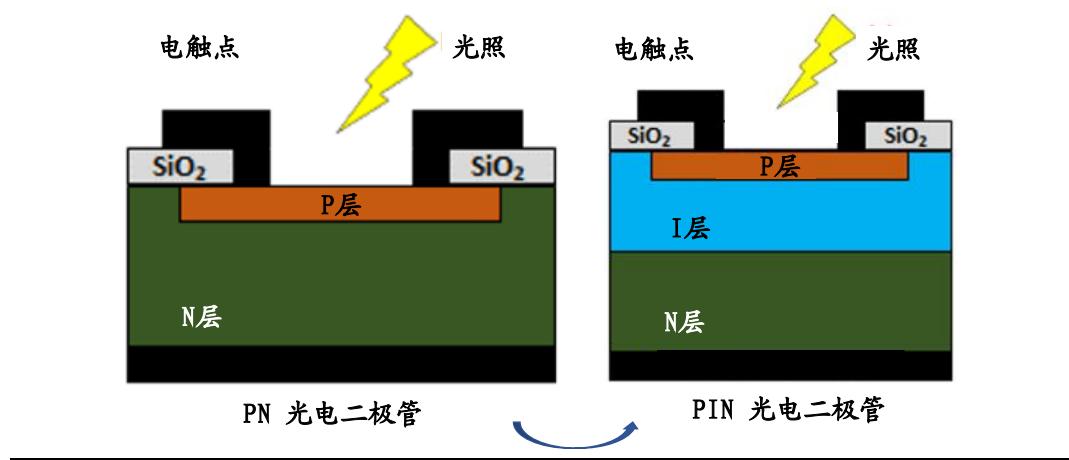


数据来源：维基百科、立创商城、东吴证券研究所整理

2) 典型探测器芯片: PIN、APD、SPAD 应用最广泛, 灵敏度渐增

PIN 光电二极管 (PIN-PD)、APD (雪崩光电二极管)、SPAD (单光子雪崩二极管) 的使用最为广泛, 三者灵敏度逐次提升。传统的 PN-PD 二极管的基础部件是 PN 结, P 层由 P 型材料构成, 空穴居多 (带正电), N 层由 N 型材料构成, 电子居多 (带负电), 当 PN 结受到光照时即可产生光电效应。PIN-PD 则是在 P 层与 N 层间引入了 I 层——I 层为掺杂有极少量 P 型材料或 N 型材料的纯净本征半导体构成。相较传统的 PN-PD, 当施加反向电压时, I 层将为 PIN-PD 提供更宽的耗尽区, 从而提高光电转化的效率。

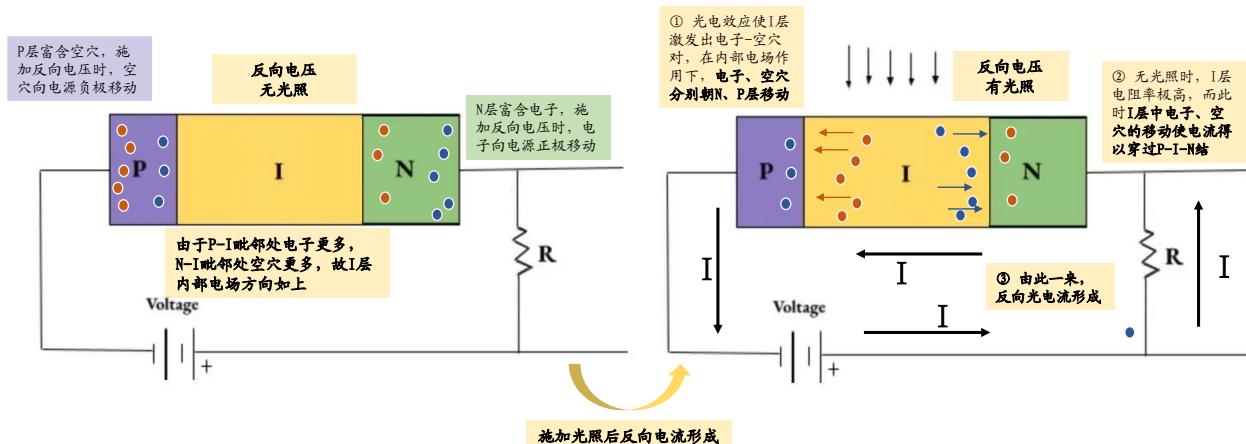
图8: PN 与 PIN 光电二级管结构



数据来源: 维基百科、Enlitech、东吴证券研究所整理

PIN 光电二极管的工作原理如下所示:

图9: PIN 光电二极管工作原理



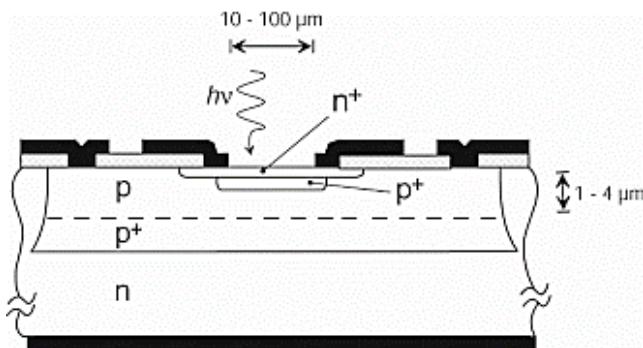
数据来源: 维基百科、华强电子网、东吴证券研究所整理

APD 在 PIN 基础上增添了高掺杂的 P+ 与 N+ 层, 该结构容易发生雪崩倍增效应。

APD 在较高的反向电压下工作, 吸收了光子形成的自由电子与空穴能被加速, 进而能获得更多能量, 与晶格碰撞产生一对新的电子-空穴对, 连锁反应, 使光电流陡增——此即雪崩倍增效应, 从而带来电流增益, 提高了光电二极管的响应度与信噪比, 主要运用在长距离或光功率受其他限制而较小的光纤通信系统。

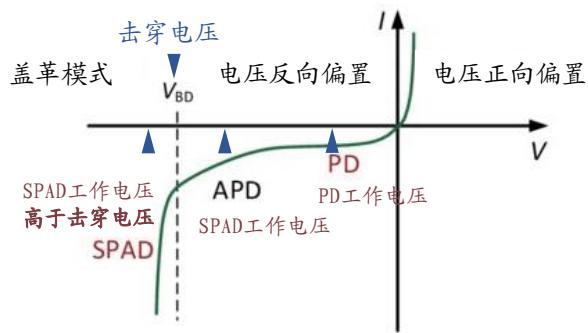
SPAD 在高于击穿电压的反向电压下工作，这一状态高度不稳定，单个光子即可引发大量的电子-空穴对雪崩进而产生电流，理论上可实现单光子探测。由于结构上的特点，当给 SPAD 施加高于击穿态的偏置电压时，二极管将处于亚稳态，信号放大作用很大，甚至只探测到单光子也会引起雪崩效应进而出现电流脉冲。

图10: APD 与 SPAD 光电探测器结构图



数据来源：维基百科、东吴证券研究所

图11: SPAD 工作电压高于击穿电压，可对单光子计数

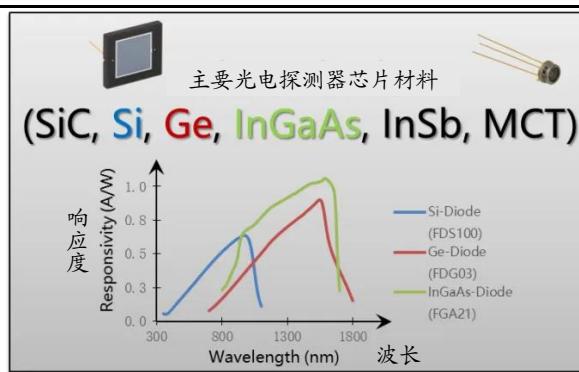


数据来源：维基百科、Researchgate、东吴证券研究所

3) 探测器芯片衬底: Si/Ge/InGaAs 占主流

探测器光芯片材料的选择以材料光谱响应特性为基础，Si/Ge/InGaAs 占据主流。光谱响应特性是指保持入射光强度不变的情况下，不同波长的光照射材料产生的光电流与入射光波长之间的关系，可以用响应度刻画一种光芯片材料面对各种波长入射光时的工作效率——响应度越高，材料对该种波长的检测就越灵敏。当前激光器芯片工作波长以 800nm-1600nm 居多，Si、Ge、InGaAs 材料在探测器中占据主流，且由三种材料的光谱响应曲线来看，Si 材料适用于 800-1000nm 波长的光探测，Ge、InGaAs 适用于对 1000-1600nm 波长的光探测中。

图12: 主流探测器芯片衬底的光谱响应曲线



数据来源：Thorlabs、东吴证券研究所

1.2. 产业链：衬底价值量大，外延为核心

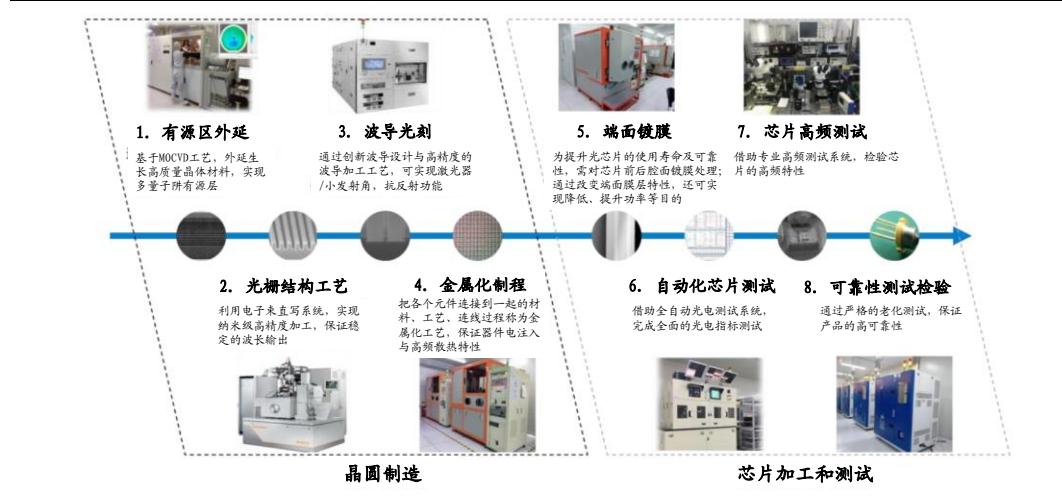
1.2.1. 光芯片制造：工艺复杂，外延为核心，IDM 模式为主流

相较逻辑芯片，光芯片生产各工艺综合性更强，龙头厂商多采用 IDM 经营模式。

对于逻辑芯片厂商，新进入的企业多采用 Fabless 模式，以此减少大规模资本投入，从而将更多资源集中投入电路优化、版图设计等研发环节。对于光芯片行业，厂商多采用 IDM 模式，主要因为光电子器件遵循特色工艺，器件价值提升不完全依靠尺寸的缩小，而有赖于功能的增加。而特色工艺所需能力更加综合，包括工艺、产品、服务、平台等多个维度。IDM 模式使各环节相互配合，综合提升芯片性能，更灵敏回应客户需求。

光芯片制造工艺流程繁多，晶体外延环节最关键。光芯片的工艺流程可分为外延结构设计、晶圆制造（晶圆外延结构生长、光栅制作、波导光刻与金属化制程）、芯片加工和测试（解理镀膜、自动化芯片测试、芯片高频测试、可靠性测试验证）三大部分。

图13：光芯片晶圆制造、芯片加工与测试工艺流程



数据来源：源杰科技招股书、东吴证券研究所整理

外延为光芯片生产最主要和技术门槛最高环节，难点源自工艺壁垒及时间投入壁垒。就外延工艺上而言，通过 MOCVD 进行精准的半导体材料精准堆叠控制时，尤其是在有源区中，常要求多层堆叠的结构每层厚度在 10 纳米以下级别，做到对这一厚度水平的均匀精准控制是一大壁垒。从基础性时间投入而言，外延开发需厂商投入大量时间调试机台条件参数，国内企业在这一领域大都仍处于基本工积累阶段。

外延工艺海外公司较为成熟，国内外差距较大，国产加速追赶。海外领先光芯片公司可自行完成芯片设计、晶圆外延等关键工序，能量产 25G 及以上速率光芯片。国内厂商普遍具有除晶圆外延环节外的后端加工能力，而在外延这一核心技术领域并不成熟，需向国际厂商采购高端外延片。我国 25G 激光器芯片仅少部分厂商实现批量供货，25G 以上速率激光器芯片大部分厂商尚处研发或小规模试产阶段。

1.2.2. 光芯片上游：衬底为关键原材料，海外厂商仍为主导

衬底为光芯片核心原材料，成本占比最高、对芯片品质影响力最大。光芯片所需原材料包括衬底、金靶与特殊气体等。从成本看，根据源杰科技招股书，衬底在光芯片原材料成本中的占比往往高于 30%，其供需将在较大程度影响光芯片制造厂商的生产成本。从对芯片品质影响力来看，衬底材料一方面决定了激光器芯片发射光的波长，另一方面

决定探测器芯片对入射光的响应度，且核心工艺——外延生长将在衬底材料上完成，故衬底材料的品质将在很大程度上影响光芯片的参数与可靠性。

图14：光芯片各原材料成本占比

	2021年	2020年	2019年
衬底	33.39%	40.82%	48.88%
金靶	5.58%	6.36%	4.62%
高纯氢	6.10%	7.05%	7.22%
磷化氢	5.83%	4.74%	7.46%
液氮	4.72%	4.33%	3.97%
三甲基铟	3.27%	2.79%	4.17%
光刻胶	4.47%	4.81%	2.01%
管帽	5.07%	1.16%	0.19%
其他	31.25%	27.95%	21.48%

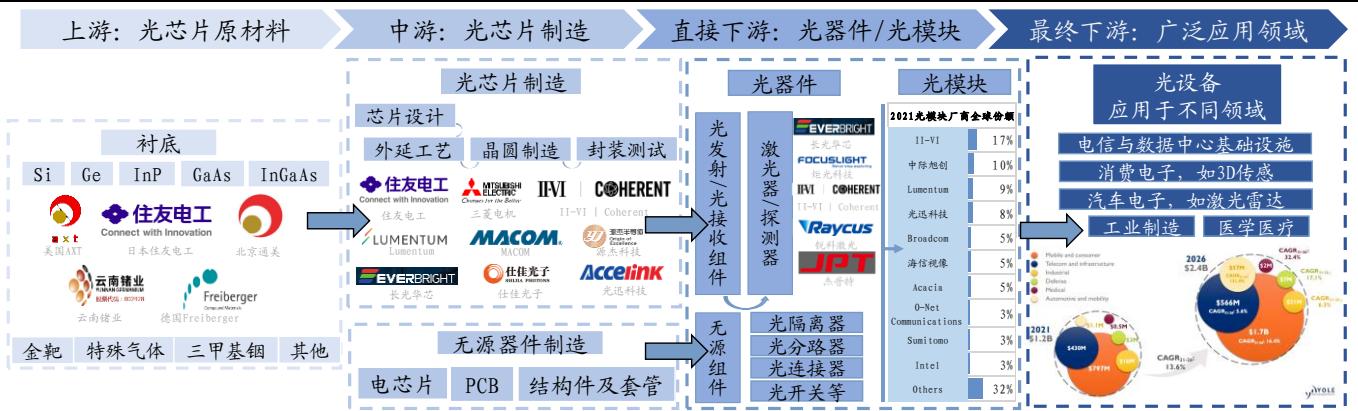
数据来源：源杰科技招股书、东吴证券研究所整理

衬底供应以海外厂商为主，国内厂商替代率逐步提升。由于衬底对光芯片品质影响较大，光芯片厂商倾向于向海外厂商采购衬底，如住友电工。与此同时，海外领先的衬底公司也提供外延生长等业务，故而受到国内厂商青睐。但近年国内衬底厂商逐步提升衬底品质，优化衬底制造技术，凭借其性价比优势受到越来越多国内光芯片制造企业的青睐。根据源杰科技招股书，2018-2020年其采购衬底的单价从785.69元/片持续下降至2020年的754.57元/片，一大重要原因即是增大了国内厂商在衬底采购中的占比。

1.2.3. 光芯片下游：光模块应用广泛

光芯片经加工封装后得到光器件/光模块，集成程度提升，单位价值量升高。光芯片经加工后形成激光器、探测器产品，同时可与其余电子器件、无源器件结合，封装形成光发射组件（TOSA）与光接收组件（ROSA），进一步加工形成光模块。封装为光模块后，一个光模块具备多个通道，进而可搭载多个光芯片，由此使一个光模块的信息传递速率将为光芯片信息传输速率的若干倍，更贴合下游客户的需求。

图15：光芯片产业链梳理



数据来源：Omida、Yole、源杰科技招股书、长光华芯招股书、中际旭创2021年年报、东吴证券研究所整理

得益于优良特性，光芯片下游应用广泛。由于信号传输速率快、损耗小且稳定性高，光纤通信在电信与数据中心基础设施的建设中已不可或缺，而其基础正是光芯片。与此同时，得益于激光波长集中、能量高的特点，光芯片被广泛地应用于工业制造、医疗、

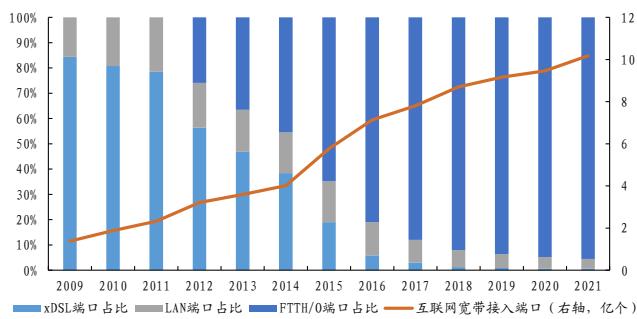
消费、汽车电子等领域。当前，光通信与消费电子是光芯片主要的应用下游，而随着智能驾驶的普及，以激光雷达为主要产品的汽车电子将迎来需求的迅猛增长。

1.3. 产业趋势：光子替代电子大势所趋

1) 光通信领域：“光进铜退”趋势延续

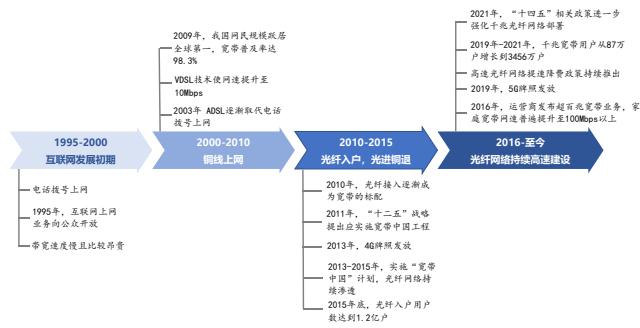
“光进铜退”主要是指实现以“窄带+铜缆”为主网络向以“宽带+光纤”的网络转变的模式，本质是光纤宽带设备端口不断下移、不断靠近用户的建设思想。对比铜缆，光纤具有明显的优势：频带宽，信息容载量更大；最大传输距离更远；原材料(石英, SiO_2)资源丰富；光缆纤芯直径比铜缆更小；损耗低，中继距离远；光纤为非金属材料，不受电磁及频道干扰；传输保密性能更好。“光进铜退”成为网络升级下的大势所趋。

图16：FTTH/O 渗透率不断提升



数据来源：工信部，东吴证券研究所

图17：我国宽带接入发展历史复盘



数据来源：工信部，中国政府网，中兴通讯，赛立信通信研究，东吴证券研究所

随着国内网络基础设施的不断升级，“光进铜退”成为重要的战略发展方向：

(1) 2000-2010年以来，国内上网以铜线为主，ADSL是当时主流的上网方式，在该时期还短暂出现过VDSL技术，网速已经达到10Mbps。提高基础网络覆盖率是这一时期的重点，到2009年，我国网民人数已有3.84亿，宽带普及率达98.3%。

(2) 2011-2015年，FTTH开始渗透，2013年8月，国务院发布《“宽带中国”战略及实施方案》，首次在国家层面明确宽带网络的战略性公共基础设施地位。受益于“宽带中国”战略，该时期是“光进铜退”发展最快的阶段，光纤光缆渗透率在这一时期得到明显提升。2015年底，国内FTTH用户数达1.2亿户，FTTH/O渗透率达59.3%。

(3) 2016年以来，“光进铜退”趋势依然在不断演进，光纤接入已步入成熟阶段，FTTH/O对xDSL的替代已基本完成。2021年底，我国互联网宽带接入端口达10.2亿个，FTTH/O用户达5.06亿户，渗透率为94.3%。

2) 光传感领域：硅光芯片+FMCW技术路线赋能车规市场

硅光的高度集成性和超高兼容性非常契合激光雷达的制造需求，硅材料的价格优势和集成工艺有助于降低激光雷达成本。全球范围内，Aeva、Mobileye以及Aurora（收购

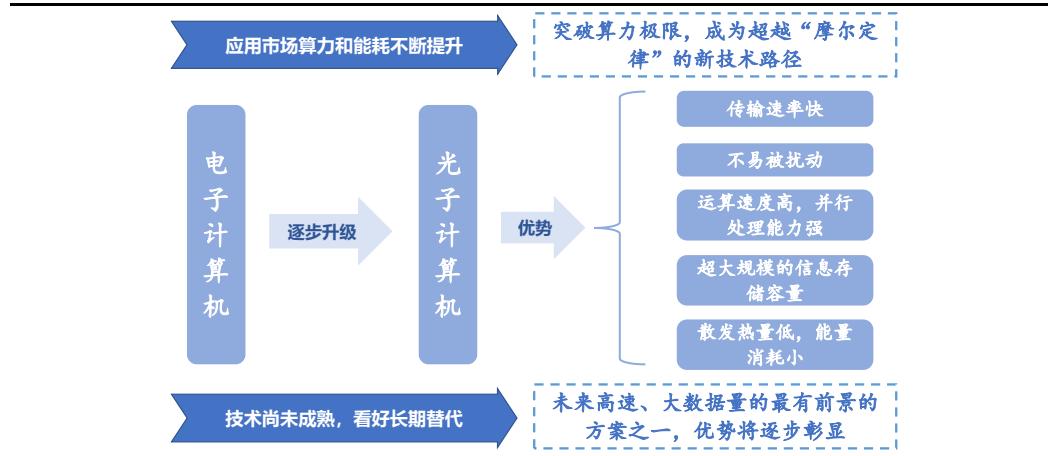
Blackmore) 是三家硅光芯片+FMCW 技术路线的激光雷达代表企业, Mobileye 在 2021 年宣布将自主研发硅光 FMCW 技术路线, Aeva 已于今年年初发布首款汽车级 4D 激光雷达传感器。而在中国市场, 洛微科技已经进入产品化和验证阶段, 2021 年初, 洛微科技发布了第二代 FMCW SoC 芯片, 为实现硅光 FMCW 4D 激光雷达产品提供了核心技术。随着相关技术的不断成熟, 硅光芯片有望持续赋能汽车自动驾驶, 带动激光雷达产品的性能提升和成本优化。

此外, 光能够照射到组织和血管上以监测、检测和量化生物标记, 因此光子学还能够赋能无创医疗监测解决方案, 用于小尺寸医疗设备和消费电子市场的可穿戴设备。

3) 光计算领域: 看好硅光计算长期替代

在计算领域, 据 OpenAI 统计, 自 2012 年起, 每 3-4 个月人工智能算力需求就会翻倍, 电子芯片的发展已日趋逼近摩尔定律极限, 难以满足高性能计算不断增长的数据吞吐需求。而硅光芯片用光子替代电子进行传输, 可以承载更多信息、传输更远距离, 同时光子彼此间干扰少, 能够提供相较于电子芯片高两个数量级的计算密度和低两个数量级的能耗, 能够作为突破传统微电子计算极限的解决方案。因而, 从趋势上看, 以硅光芯片为基础的光计算有望持续取代电子芯片在部分计算场景中的应用。

图18: 硅光计算愿景图



数据来源: 光电读书, 达摩院, 东吴证券研究所

目前, 光计算的相关研究仍然处于初期阶段, 解决方案和系统架构仍然在探索中。如何将光计算融合到现有的通用计算中, 并且更好地将光计算芯片化、集成化, 是未来的研究方向, 实现成熟的光计算技术和产业链仍需时日。当前, Intel、IBM 等巨头以及 MIT、UCSB 等机构都在积极开发大规模光子集成芯片, 国内也涌现出曦智科技、光子算数等行业领先企业。随着硅基光子学技术的不断成熟, 光计算的优势将逐步彰显。

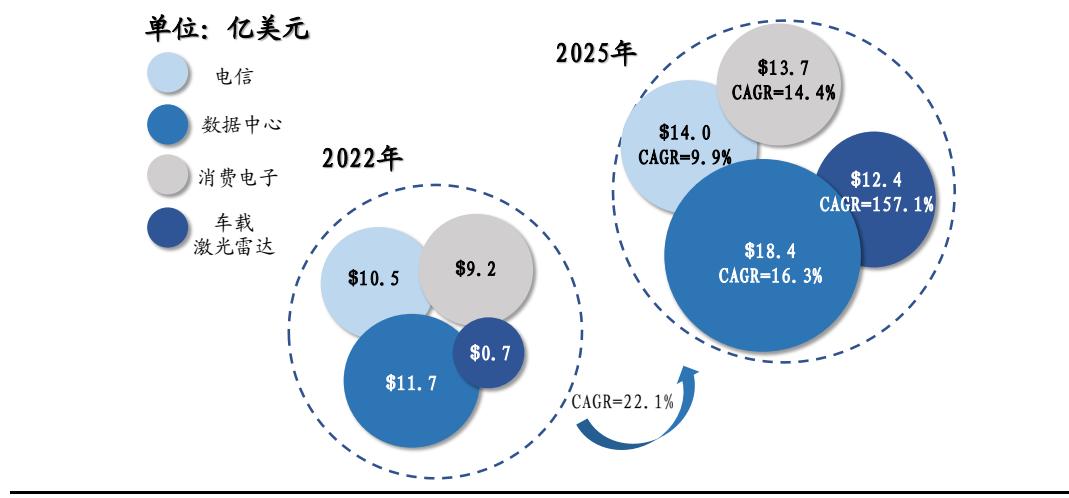
2. 市场空间: 数通领域复苏, 激光雷达支撑远期成长

2.1. 概览: 激光雷达市场接力数据中心需求

电信、数据中心、消费电子、车载激光雷达是光芯片最主要的应用领域。电信领域

技术已较为成熟，国内市场相关产品覆盖率较高，未来增量空间主要来自速率升级需求；数据中心市场方兴未艾，云计算厂商加大投资的步伐未减，市场中短期将维持较快增速；消费电子领域当前市场参与者主要为苹果，安卓厂商应用3D传感仍有空间；车载激光雷达领域潜力较大，随着智能驾驶技术成熟、激光雷达成本下降，激光雷达装车量有望大幅提升，远期需求星辰大海。

图19：光芯片各下游领域市场规模及增速（亿美元）



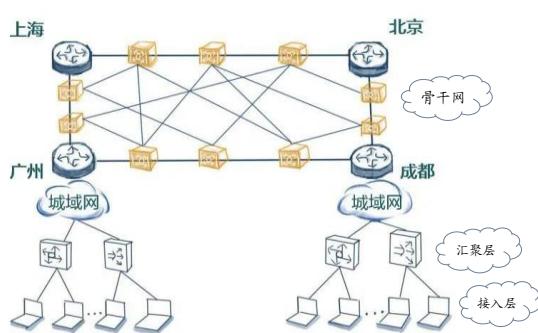
数据来源：Yole, Lightcountung, 源杰科技, IDC, 汽车之心, 东吴证券研究所整理测算

2.2. 电信领域：光纤入户、5G 基站建设、现有基站升级三大驱动力

电信领域光芯片发挥的主要作用为光电信号转换。激光器芯片将电信号调制为光信号，探测器芯片的功能则相反，通过光电转换，信息可经由光纤实现高速稳定的传递。

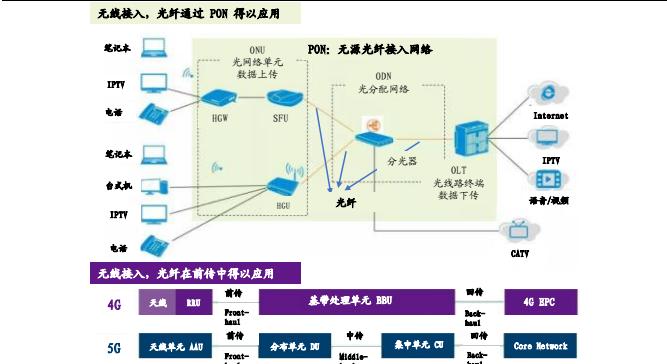
光纤通信在不同层级通信网络中均不可或缺，为光芯片创造广阔应用需求。由于传输距离较长，骨干网、城域网中的汇聚层一般采用光纤通信。对于有线接入网，其可分为铜缆接入、光纤同轴混合接入、光纤接入，由于光纤具有信息损耗小、带宽高的特性，“光进铜退”亦已成为有线接入网的发展趋势。对于无线接入网，基站内部有源天线单元（AAU）与分布单元（DU）的连接同样需要使用光纤，这一连接被称为前传网络。

图20：各层通信网络结构图



数据来源：华为培训、东吴证券研究所

图21：光芯片-移动接入网：PON 与前传网络

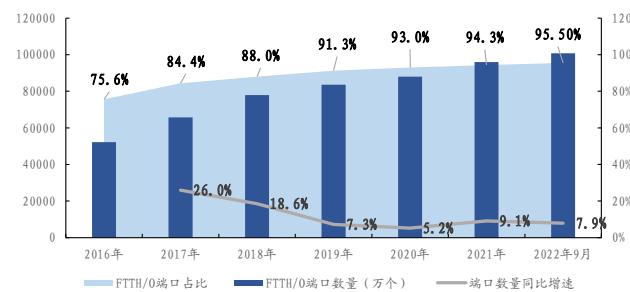


数据来源：无线深海、东吴证券研究所整理

2.2.1. 下游趋势：国内光纤入户、5G 基站高渗透，全球仍具发展潜力

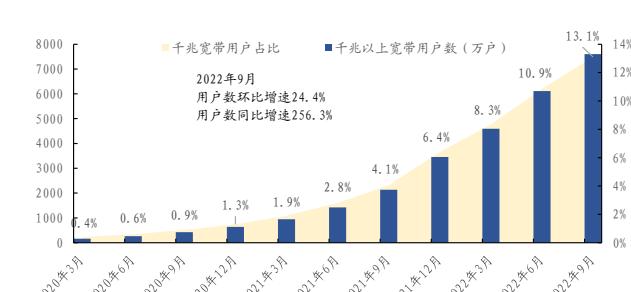
光纤入户国内普及率已处高位，存量市场速率升级。光纤接入可分为 FTTB（光纤到楼）、FTTC（光纤到路边）、FTTH（光纤入户）等，统称为 FTTx，其中光纤入户 FTTH 是用户接入光纤的最直接方式，被用以衡量光纤接入的成熟程度。我国光纤入户普及率已处高位——截至 2022 年 9 月底，我国光纤接入（FTTH/O）端口在所有宽带接入端口中的占比已达 95.5%，且根据 Omida 发布的光纤发展指数报告，中国已连续两年排行全球第四。光纤入户安装保持着 10% 的同比增速，但随着普及率逐步攀高，需求的增量空间较小。从存量升级看，我国正实施“双千兆”发展战略，截至 2022 年 9 月底，千兆光纤宽带用户数为 7603 万，在所有固定宽带用户中占比 13.1%，仍存较大发展空间。光纤入户速率升级将是短期内的需求推动力。

图22：我国 FTTH/O 端口数量及占比



数据来源：工业和信息化部、东吴证券研究所整理

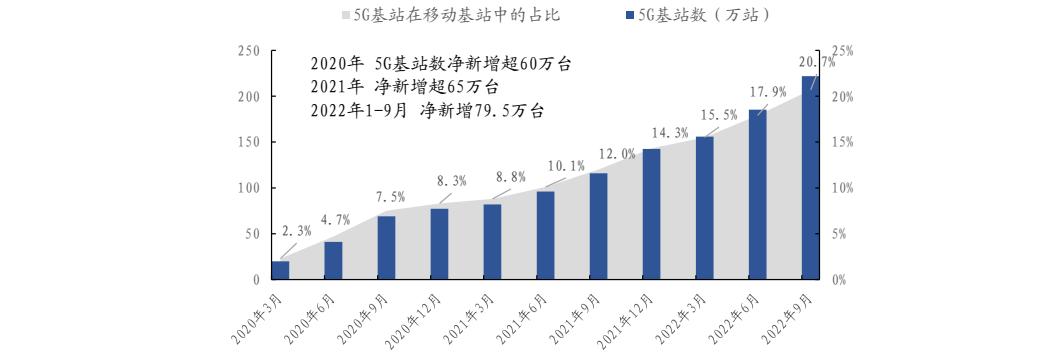
图23：我国千兆光网宽带用户数及占比



数据来源：工业和信息化部、东吴证券研究所整理

全球市场光纤入户占比相对不高，光纤网络发展空间较大。截至 2021 年 9 月底，德国有 95% 的固定宽带用户仍采用电缆接入，法国、英国的光纤接入用户占有线接入的比例分别为 34%、56%，美国光纤接入用户占比则为 14%。光纤入户能大幅提升通信速率与安全性、稳定性，是有线接入的必然发展趋势，各国政府、企业也均拟定时间表完善光纤入户布局，譬如欧盟计划在 2030 年使千兆光纤网络覆盖所有家庭，美国预计在 2027 年使光纤入户覆盖家庭数由当下的 4400 万户增长至 8200 万户。由此来看，欧洲及美国两大主要市场的光纤网络还具有较大扩张空间。

图24：我国5G基站建设数目及占比



数据来源：工业和信息化部、东吴证券研究所整理

5G 基站建设领域，国内整体渗透率已处较高水平，但各个城市内的覆盖率尚存提升空间，小基站建设推动城市内覆盖率提升，也使 5G 基站新增数目维持高速增长。2020 年我国新增 5G 基站超 60 万站，21 年净新增超 65 万站、2022 年前三季度已净新增 79.5 万站，基站数目的高速增长为光芯片创造了广阔需求。

2020 年我国已宣布所有地级以上城市实现 5G 全覆盖，2021 年时实现 5G 覆盖超过 98% 的县城城区与 80% 的乡镇街区，基站建设正由宏基站向小基站过渡，实现区域内部更深度的 5G 覆盖。

表2：我国三大运营商 5G 小基站建设布局情况

运营商	5G 小基站建设布局情况
中国电信	21 年 4 月，采购 5G 扩展型小基站运营级试点设备，主要用于广东、浙江、江苏、天津、四川
	22 年 1 月，发布《2022 年 5G 扩展型小基站设备技术测试公告》
	22 年 4 月，启动自研 5G 扩展型小基站集采，用于全国 31 省市
中国联通	暂未公布
中国移动	22 年 8 月，公布 22-23 年扩展型皮基站设备集采的中标候选人，此次预估采购规模约为 2 万站

数据来源：人民日报海外版、C114 通信网、各公司官网、东吴证券研究所

2.2.2. 应用种类：光纤入户 2.5G 占主流，移动通信 10G/25G 占主流

以工艺划分，电信领域激光器主要采用 VCSEL、DFB、EML 三种光芯片，VCSEL 主要用于 500 米以内的短距离传输，DFB 主要用于中长距离传输，如 FTTx 接入网、无线基站等，EML 主要用于长距离传输，如高速率远距离的骨干网与城域网等。目前 EML 激光器芯片大规模商用的最高速率已达到 100G，DFB、VCSEL 激光器芯片大规模商用的最高速率为 50G。以速率划分，光纤接入主要应用 2.5G 光芯片，移动通信领域主要应用 10G、25G 光芯片。从市场规模看，2021 年全球移动通信领域光模块的应用情况为：10G 及以下速率光模块占比 33.3%，25G 及以上速率光模块占比 66.7%，这一占比与移动通信领域 10G/25G 光芯片的分布大体一致。

2021 年国内 5G 建设为 10G 光芯片创造的需求最多，但展望未来，25G 光芯片创造的需求或将回暖。2020 年 5G 基站建设伊始，对 25G 光芯片的需求提升；但由于电信运营商基站建设目标的调整，2021 年 5G 基站建设所需的光芯片逐渐从以 25G 高速率为主变成以 10G 为主，对 25G 光芯片的采购减少。

表3：2020-2021 运营商关于 5G 建设的集采情况

开标时间	运营商	建设方案	集采基站数 (万个)
2020.03	中国移动	频段 2.6GHz，带宽 160MHz，使用 25G 光芯片	23.21
2020.04	中国电信、中国联通	频段 3.5GHz，带宽 200MHz，使用 25G 光芯片	25.29
2021.07	中国移动、中国广电	频段 700MHz，带宽 30MHz，使用 10G 光芯片	48.04
2021.08	中国电信、中国联通	频段 2.1GHz，带宽 45MHz，使用 10G 光芯片	24.2

数据来源：《源杰科技：8-1 发行人及保荐机构第二轮回复意见》、东吴证券研究所

各运营商逐步在小基站领域展开建设布局。小基站旨在中短距离下提供较高带宽，从而为医院、酒店、大型商场等场所提供信号辅助。其对覆盖范围要求较低，对所需带宽则提出更高标准，25G光芯片或与小基站建设的需求更为契合。

2.2.3. 电信领域光芯片市场规模

基于 Lightcounting 对 FTTx (光纤接入)、移动通信光模块市场规模的计算，以及源杰科技、中际旭创等公司披露的成本资料，电信领域光芯片市场规模测算如下，我们预计 2025 年电信领域光芯片市场规模将达 13.96 亿美元，2021-2025CAGR 达 8.1%。

表4：2021-2025 年电信领域光芯片市场规模测算

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
光模块全球市场规模 (亿美元)					
光纤接入领域光模块市场规模 (亿美元)	5.23	5.24	5.40	5.92	6.31
光纤接入领域光模块市场规模-yoy	10.6%	0.2%	3.1%	9.6%	6.6%
移动通信领域光模块市场规模 (亿美元)	24.73	25.58	28.59	31.22	33.55
移动通信领域光模块市场规模-yoy	14.2%	3.4%	11.8%	9.2%	7.5%
电信领域光模块全球市场规模 (亿美元)	29.96	30.82	33.99	37.14	39.86
其中：					
10G 及以下速率光模块市场规模	10.26	10.36	10.95	11.76	12.32
25G 及以上速率光模块市场规模	19.70	20.46	23.04	25.38	27.55
对应光芯片及组件					
中低速率光模块毛利率	25%	25%	25%	23%	23%
高速率光模块毛利率	30%	30%	30%	28%	28%
直接材料占光模块成本比例	80%	80%	80%	80%	80%
光芯片及组件占光模块直接材料比例	85%	85%	85%	85%	85%
对应光芯片					
光芯片占光芯片及组件比例	70%	70%	70%	70%	70%
光芯片全球市场规模 (亿美元)	10.23	10.52	11.59	13.01	13.96
光芯片全球市场规模-yoy	2.9%	10%	12%	7%	

数据来源：Lightcounting，源杰科技：发行人及保荐机构回复意见，东吴证券研究所测算

2.3. 数据中心：光模块速率持续提升，资本开支驱动增长

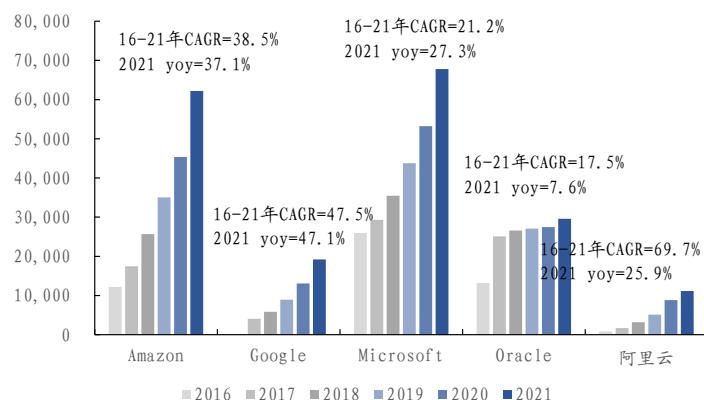
数据中心是一种拥有许多存储并处理大量信息的计算机的设施，基于数据中心云计算商可为客户提供云服务，例如使用户无需购买、拥有和维护数据中心及服务器即可获得计算能力、存储、数据库等技术服务。云计算厂商会努力在全球各地布置基础设施，例如在全球各地设立可用区，于其中布置边缘站点与区域性缓存站点，而客户可以在位于当地的数据中心上运营服务，从而取得更快的响应速度，同时确保运营数据能保留在国内。在这一领域，光芯片主要用于实现数据在大型数据中心内部、数据中心间的传输，这与光芯片在电信领域实现的功能十分相近。

2.3.1. 下游趋势：云计算厂商营收与 CAPEX 高速增长

受益于经济回暖、数字化趋势、更多产业逐渐上云，云计算巨头营收规模增长迅猛。

2016-2021 年，Amazon/Google/Microsoft/ 阿里云 的营收规模 CAGR 分别为 38.5%/47.5%/21.2%/69.7%。一方面，数字化正成为越来越多的产业的发展趋势，云可以使各种公司轻松调用已有技术，更快地进行创新，还能根据实际需求预置资源，将公司原本用于数据中心和物理服务器等设备的固定支出转变为按实际用量付费的可变支出，优化公司的成本；另一方面，各公司力求在后疫情时代扩大规模并提高灵活度，故加紧行动，比原来更积极地使用云基础设施与云服务产品。

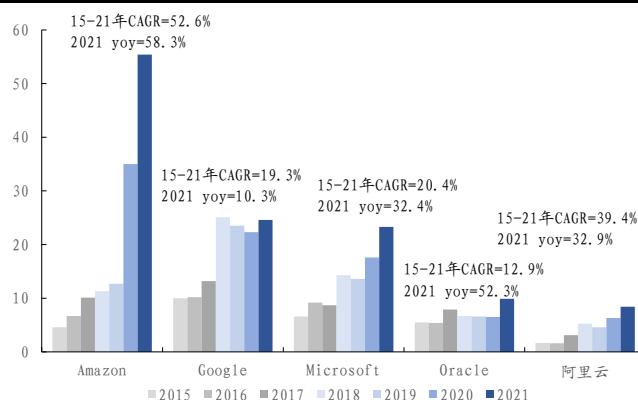
图25：2016-2021 全球云计算巨头营收规模（百万美元）



数据来源：各公司官网、东吴证券研究所整理

云计算巨头 CAPEX 维持较高增速，且各厂商大量投资数据中心的态度坚定，这将为光芯片创造出大量需求。2015-2021 年，Amazon/Google/Microsoft/阿里云 CAPEX 的 CAGR 分别为 52.6%/19.3%/20.4%/39.4%，数据中心领域，光芯片增长的驱动力主要有：第一，新建可用区、增添基站带来的数据中心数目增量；第二，数据中心升级改造，服务器与交换机速率提升创造的增量。而各巨头大多认为当前云计算尚处产业早期，表示会继续加大投资，进而将为光芯片带来稳定的需求增量。

图26：2015-2021 全球云计算巨头 CAPEX 变化（百万美元）



数据来源：各公司官网、东吴证券研究所整理

2.3.2. 应用种类：VCSEL 与 EEL 互补，速率需达到 50G 及以上

从衬底与工艺看，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，它们适用于中长距离的数据中心间传输。GaAs 用于制作 VCSEL 芯片，主要用于数据中心之内的传输。

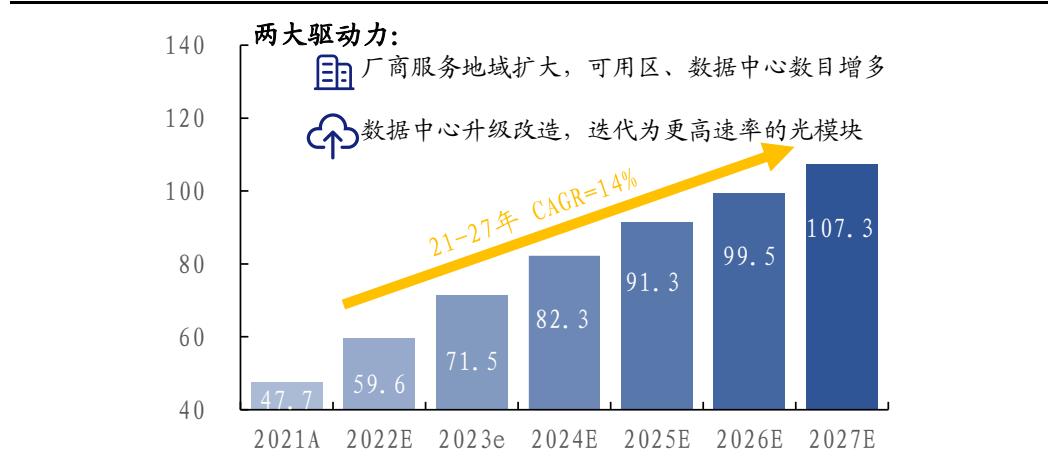
从速率看，数据中心对光芯片的要求在通信领域排名最高。当前数据中心所需光芯片以 25G、50G、100G 的速率为多。随着数据中心流量快速增长，更高速率光模块的市场需求将不断凸显，而传统技术主要通过多通道方案实现 100G 以上光模块速度的提升，而若数据中心进入 400G 及更高速率的平台，每一通道所需的激光器芯片速率也将随之提升至 100G。传统的 DFB 激光器芯片短期内无法同时满足高带宽、高良率的要求，故需考虑采用 EML 激光器芯片，从而实现单波长 100G 的高速传播。

当前国内云计算公司与国外公司使用的光模块速率尚存差距，进而影响该领域国内外下游市场对光芯片的需求。海外互联网公司前期主要使用 100G 及光模块，2020 年起开始大规模向 200G/400G 光模块过渡。国内互联网公司目前主要使用 40G/100G 光模块，并从 2022 年开始推进 200G/400G 光模块批量部署。

2.3.3. 数通领域光芯片市场规模

受益于数据中心增量需求与存量升级改造的需求，我们预测光模块总销售额在 2021-2027 间或实现 $CAGR=14\%$ 。光模块需求维持较快增长的驱动力，一是厂商服务地域扩大，可用区、数据中心数目增多；二是数据中心升级改造，迭代为更高速率光模块。

图27：2021-2027 年全球云计算公司光模块总销售额（亿美元）



数据来源：Lightcounting，东吴证券研究所整理

我们预测 2021-2027 年云计算公司为光芯片创造的需求将稳步增长， $CAGR=16\%$ ，2027 年市场规模达 22.2 亿美元。这一计算包含两类假设：①随着 25G 及以上高速率光模块国产化率提升，其价格下降，毛利率有所下降；②直接材料占光模块成本比例、光芯片及组件占光模块材料成本比例、光芯片占光芯片及组件的成本比例变化较小。

图28：数据中心领域光芯片市场规模测算（亿美元）

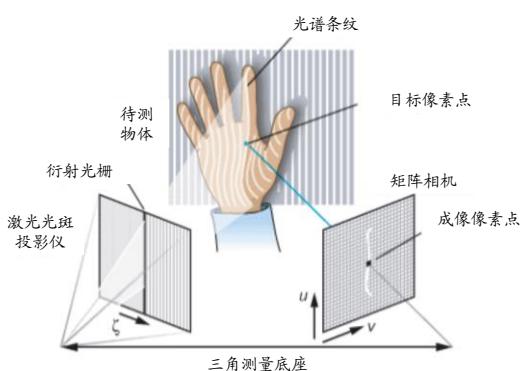
	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
光模块总销售额	47.7	59.6	71.5	82.3	91.3	99.5	107.3
高速率光模块毛利率	30%	30%	30%	28%	28%	28%	26%
直接材料	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
占光模块成本比例							
光芯片及组件	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
占光模块材料成本比例							
光芯片	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
占光芯片及组件材料比例							
光芯片市场规模（亿美元）	9.3	11.7	14.0	16.6	18.4	20.1	22.2

数据来源：Lightcounting, 各公司官网, 东吴证券研究所整理

2.4. 消费电子：苹果主导，940 nm VCSEL 为主流

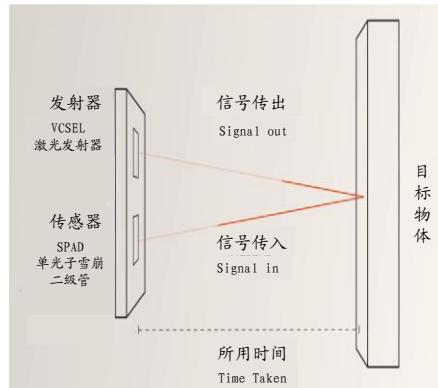
相较普通摄像头，3D 传感（包含双目立体测距、结构光、TOF）可探测环境的深度特征，广泛应用于消费电子领域。3D 传感通常由多个摄像头与深度传感器组成，通过投射特殊波段的主动式光源、计算光线发射和反射时间差等方式，获取物体的深度信息。3D 传感摄像头可实现人脸识别、手势识别、三维建模等多项功能，可适用于移动设备、机器人、安防监控等多种终端，人脸识别为当前 3D 传感摄像头最主流的功能。

图29：结构光方案工作原理



数据来源：laser focus world, 东吴证券研究所

图30：TOF 方案工作原理



数据来源：欧司朗，东吴证券研究所

图31：光芯片在结构光方案中的应用



数据来源：奥比中光招股书，东吴证券研究所

图32：光芯片在 TOF 方案中的应用



数据来源：欧司朗，东吴证券研究所整理

光芯片用于发射激光作为测距基础，在结构光方案、TOF 方案中均不可或缺。对于

结构光传感器，其主要由激光投影模组、光学成像模组、图像处理芯片组成，其中激光投影模组用于向待测物体投射光斑，包含激光发射器、透镜、衍射光学元件等部件，光芯片即用于构成激光发射器。对于 TOF 方案，激光器芯片主要用于发射激光脉冲，同时 SPAD 等探测器光芯片也有应用。

2.4.1. 下游趋势：苹果主导，安卓阵营中渗透率有望提升

苹果产品为 3D 传感消费电子市场增长主要驱动力。2016、2017 年前后，苹果与安卓阵营的华为、联想引入 3D 传感摄像头，后不同的安卓厂商也作此尝试，但只有苹果坚持迭代发展至今。苹果在手机前后均采用 3D 摄像头，并使旗下产品具有超高精度 3D 面部识别的功能。2021 年，苹果销量大涨，推动 3D 传感消费电子领域的销售达 36 亿元/3.26 亿台，安卓则未有明显推进。

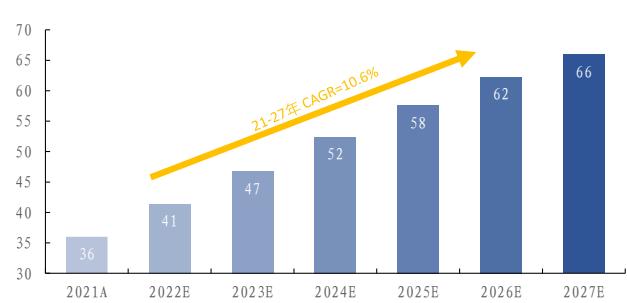
图33：安卓与苹果产品应用 3D 传感摄像头的历程



数据来源：Yole，东吴证券研究所

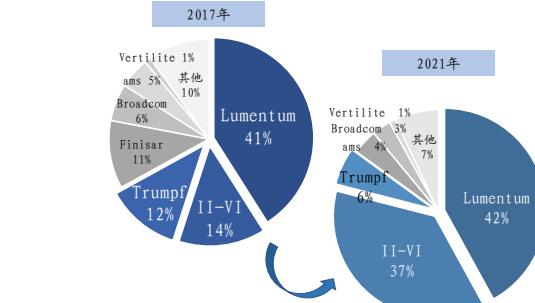
当前 3D 传感器在安卓产品中渗透率不高，但消费者习惯将逐渐养成，渗透率将逐渐提升。根据 Yole 分析，安卓当前未广泛采用 3D 传感的原因主要是 1) 对特定的功能，如生物识别，屏下指纹比 3D 传感对应的人脸识别性价比更高；2) 后置摄像头上的 3D 传感器暂无足够优秀的应用与之匹配，当前只有少量 AR 游戏和功能不常用的 APP。未来随着消费者认同感增强，安卓阵营 3D 传感有提升空间。我们预计受苹果销量增加及 3D 传感渗透率上升驱动，消费电子 3D 传感市场规模将稳步增长。

图34：2021-2027 消费电子 3D 传感市场规模预测



数据来源：Yole，东吴证券研究所整理

图35：2017、2021 年消费电子领域光芯片厂商竞争格局

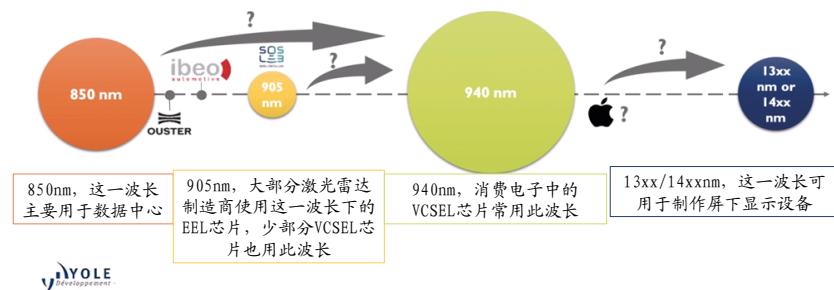


数据来源：Yole，东吴证券研究所整理

2.4.2. 应用种类：940nm VCSEL 芯片在消费电子领域占主流

从工艺看，结构光方案中多用 EEL、VCSEL 光芯片。EEL 产品一般体积较大，用于较大测量范围的应用场景；VCSEL 体积小，用于较小测量范围应用场景。TOF 方案也多以 VCSEL 芯片充当激光器，SPAD 芯片作探测器。从波长看，应用于消费电子领域光芯片以 940 nm 的 VCSEL 光芯片为主流；但未来若更多移动设备厂商发展屏下摄像头，13xx/14xx nm 波长将成为主流，这一波长的 VCSEL 芯片将以 InP 作为衬底。

图36：光芯片应用领域发展与各领域所需光芯片波长



数据来源：Yole, OFweek, 东吴证券研究所

2.4.3. 消费电子光芯片市场规模

基于对安卓、苹果产品未来 3D 传感渗透率的分析及 2020-2022 苹果的销量数据，对消费电子领域光芯片的市场规模可做出测算。我们预计 2025 年消费电子领域光芯片将有 13.70 亿美元的市场规模，2021-2025 年 CAGR=14.6%。

表5：2021-2025 年移动消费领域光芯片市场规模测算

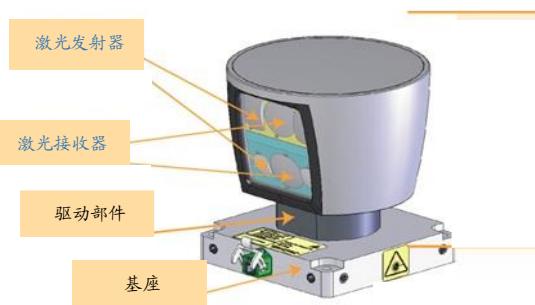
	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
移动消费 3D 摄像头出货量（百万颗）	326.00	368.38	416.27	468.30	526.84
移动消费 3D 摄像头单价（美元）	11.04	11.04	11.04	11.04	10.93
移动消费 3D 摄像头市场规模（亿美元）	36.00	40.68	45.97	51.71	57.60
VCSEL 光芯片占 3D 摄像头成本比例	22.1%	22.5%	22.9%	23.4%	23.8%
VCSEL 光芯片市场规模（亿美元）	7.96	9.16	10.54	12.08	13.70

数据来源：Lightcounting，源杰科技：发行人及保荐机构回复意见，东吴证券研究所测算

2.5. 车载激光雷达：光芯片的新蓝海

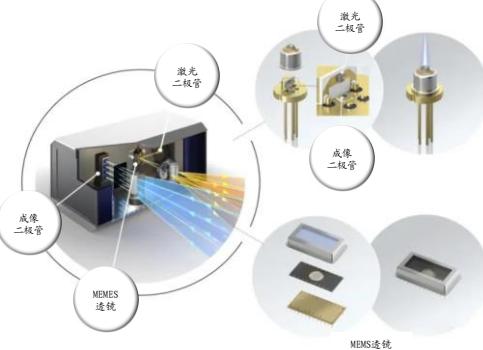
光芯片为激光雷达提供激光脉冲发射与接收。激光雷达是一种综合的光探测与测量系统——激光器激励源驱动激光器向目标发射激光脉冲，扫描系统以稳定的转速旋转，实现对平面的扫描，而光电探测器接收目标反射回的激光，接收信号经处理系统放大处理、转换、计算后得到目标物体表面形态、物理属性等特征。激光雷达主要包括激光发射、扫描系统、激光接收和信息处理四大系统，相辅相成，其中激光发射系统主要包括半导体激光器、激光器激励源、激光调制器，是激光雷达的核心系统。而半导体激光器作为激光发射系统的核心器件，为整个激光雷达提供激光脉冲。

图37: 光芯片参与机械式机关雷达的构成



数据来源: Yvon Shong, 东吴证券研究所

图38: 光芯片参与 MEMS 式激光雷达的构成



数据来源: Yvon Shong, 东吴证券研究所

2.5.1. 下游趋势: 车载雷达为光芯片最快增速支点

受益于高级辅助驾驶/自动驾驶技术逐渐成熟, 激光雷达前景广阔, 大势所趋。高级辅助驾驶/自动驾驶的实现方案中, 当前存在“纯视觉”与“多传感器融合”两种方案, 其中特斯拉采用前者, 其余车企大都采用后者。首先, 随着高级辅助驾驶/自动驾驶技术逐渐成熟, 搭载自动驾驶功能的汽车将不断放量, 从总量上为激光雷达创造大量需求。其次, 纯视觉方案需要极强的数据与算法积累, 故除特斯拉外, 其余车企较难选择这一方案, 再加上多传感器融合方式将为汽车增添安全冗余——少许传感器的故障能由互补传感器弥补, 故“多传感器方案”或将成为未来车企主流。当前囿于成本, 搭载高精度激光雷达的产品不多, 但随着激光雷达成本下降, 高品质激光雷达渗透率将进一步提升。

图39: 2022-2025 年乘用车激光雷达市场规模测算

	2022E	2023E	2024E	2025E
全球乘用车市场				
全球乘用车销量 (万辆)	5700	5871	6047	6229
全球乘用车销量yoy		3%	3%	3%
全球新能源乘用车渗透率	18.4%	24.7%	31.4%	40.1%
全球新能源乘用车销量 (万辆)	1049	1450	1899	2498
中国乘用车市场				
中国乘用车销量 (万辆)	2150	2215	2281	2349
中国乘用车销量yoy		3%	3%	3%
中国新能源车渗透率	25.6%	31.6%	43.8%	55.3%
中国新能源乘用车销量 (万辆)	550	700	999	1299
车载激光雷达市场规模				
全球乘用车激光雷达渗透率	2%	7%	13%	18%
中国乘用车激光雷达渗透率	3%	10%	16%	20%
全球-搭载激光乘用车数量 (万辆)	21	102	247	450
中国-搭载激光乘用车数量 (万辆)	17	70	160	260
全球-平均每车激光雷达搭载量 (颗)	1.6	1.7	2	2.3
中国-平均每车激光雷达搭载量 (颗)	1.6	2	2.3	2.5
全球-乘用车激光雷达出货量 (万颗)	34	173	494	1034
中国-乘用车激光雷达出货量 (万颗)	26	140	368	649
全球-激光雷达平均价格 (美元)	1000	700	600	550
中国-激光雷达平均价格 (美元)	900	600	550	450
全球乘用车激光雷达市场规模 (亿美元)	3.4	12.1	29.6	56.9
全球乘用车激光雷达市场规模-yoy		259.9%	145.2%	92.0%
中国乘用车激光雷达市场规模 (亿美元)	2.4	8.4	20.2	29.2
中国乘用车激光雷达市场规模-yoy		253.2%	140.8%	44.5%

数据来源: 中汽协, 沙利文, 东吴证券研究所测算

2.5.2. 应用种类: EEL/VCSEL 应用广泛, 905/1550 或将共存

按工艺划分, EEL、VCSEL 激光雷达光芯片中应用最为广泛。EEL 采用纳米堆叠

技术 (P-N 结相互堆叠)，主要优点是在小区域/小尺寸内提供高功率激光输出，这使其成为远程激光雷达的首选技术。从供应厂商来看，欧司朗的 EEL 光芯片在汽车电子中获主流应用，Lumentum 的 EEL 芯片则主要用于消费级别。VCSEL 芯片也具备激光雷达所需的优良性质，同时制造工艺与 EEL 相兼容，大规模制造的成本较低。由于欧司朗掌握着 EEL 光芯片的重要专利技术，其余光芯片厂商主要从 VCSEL 芯片寻求突破，Lumentum、Finisar、II-VI、长光华芯等国内外巨头在这一领域均有布局。

按波长划分，905nm 为激光雷达光芯片首选波长。905nm 激光器可搭配硅基光电探测器来接收激光，因为根据前述光谱响应曲线，硅能在 905nm 波长处吸收光子；而 1550nm 激光器则需 InGaAs 探测器，后者的成熟度较低且成本更高。此外，由于当前 VCSEL 光芯片下游领域中消费电子占主体，故其制造厂商的产能以 940nm 居多。在车载激光雷达尚未放量之际，为节约成本，部分厂商也将 940nm 的 VCSEL 激光器用于激光雷达，其可在短距雷达中发挥效力。

在半导体激光器之外，1550nm 光纤激光器亦得到关注。上述 EEL、VCSEL 光芯片均属于半导体激光器，以半导体材料为泵浦源；光纤激光器则是另一种固体激光器，以光作为泵浦源，换言之，半导体激光器除了直接发光外，还可作为其泵浦源。由于 1550nm 远离人眼吸收的可将光波长，相较于 905nm，同等功率的 1550nm 能使对人眼的安全性提升 40 倍，故可用更大的功率来提升穿透能力。此外，1550nm 配合调频连续波(FMCW) 技术不仅可检测距离，还可利用多普勒频移来测量物体速度。但相较于主流的 905nm 激光雷达，1550nm 的激光器与探测器的成本更高、体积更大、供应链成熟度较低，这些为其广泛应用增添了成本。我们预计 1550nm 未来将与 905nm 激光器共存，其主要用于以安全性为核心卖点、价位和品牌定位较为高档的车辆，或是用于重卡等有特殊定位的车辆。根据 Yole 统计，2021 年 905nm/1550nm 所占市场份额分别为 69%/14%。

2.5.3. 激光雷达光芯片市场规模

图40：2022-2025 年车载激光雷达领域光芯片市场规模测算

	2022E	2023E	2024E	2025E
全球乘用车激光雷达市场规模 (亿美元)	3.4	12.1	29.6	56.9
中国乘用车激光雷达市场规模 (亿美元)	2.4	8.4	20.2	29.2
机械式激光雷达所占比例	66%	57%	50%	42%
MEMS激光雷达所占比例	17%	21%	23%	25%
Flash激光雷达所占比例	10%	13%	16%	20%
转镜式、棱镜式激光雷达所占比例	7%	9%	11%	13%
机械式激光雷达中激光器、探测器光芯片所占比例	21%	21%	21%	21%
MEMS激光雷达中激光器、探测器光芯片所占比例	21%	21%	21%	21%
Flash激光雷达中激光器、探测器光芯片所占比例	25%	25%	25%	25%
转镜式、棱镜式激光雷达中激光、探测器光芯片所占比例	21%	21%	21%	21%
全球乘用车激光雷达光芯片市场规模 (亿美元)	0.73	2.60	6.41	12.40
全球乘用车激光雷达光芯片市场规模- <i>yoY</i>		257.9%	146.0%	93.7%
中国乘用车激光雷达光芯片市场规模 (亿美元)	0.51	1.81	4.37	6.37
中国乘用车激光雷达光芯片市场规模- <i>yoY</i>		252.0%	141.8%	45.6%

数据来源：Yole，汽车之心，Velodyne 官网，法雷奥官网，Livox 官网，东吴证券研究所整理测算

基于对乘用车激光雷达市场规模的测算、不同扫描方式激光雷达市场占比、不同激光雷达中光芯片+探测器光芯片成本占比数据的搜集，2022-2025 年车载激光雷达领域光

芯片的市场规模得以测算，我们预计 2025 年全球激光雷达市场创造的光芯片市场规模为 12.31 亿美元（包含激光器与探测器）。这一测算包含两个假设：①扫描方式的演进：机械式激光雷达的份额将逐渐减小，半固态式、固态式份额上升；②激光反射、探测单元在激光雷达中的成本占比变化幅度较小。

3. II-VI、lumentum 复盘：光芯片和器件龙头的成长之路

3.1. Lumentum：消费电子 VCSEL 龙头，车规彰显实力

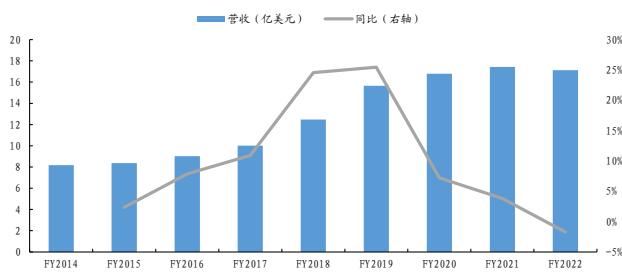
Lumentum 是一家专业的激光器厂商，拥有全球领先的 VCSEL 技术、EEL 技术和光通信激光器技术。其发展历史可追溯至 1979 年成立的光传输产品供应商 Uniphase。1999 年，Uniphase 与另一家成立于 1981 年的光纤网络产品供应商 JDS Fitel Inc. 合并为 JDSU，成为全球光网络领域的领导者。2015 年，Lumentum 从 JDSU 中分离出来，成为一家独立的上市公司，并继承商业光学业务。Lumentum 主要分为光通信和激光器两大业务部门，主要产品类型包括光芯片、光器件、光模块、商用激光器等，产品应用领域涵盖电信、数通、消费和工业等板块，客户包括苹果、Cisco、Amazon 等国际龙头企业。

图41：Lumentum 主要产品及客户情况



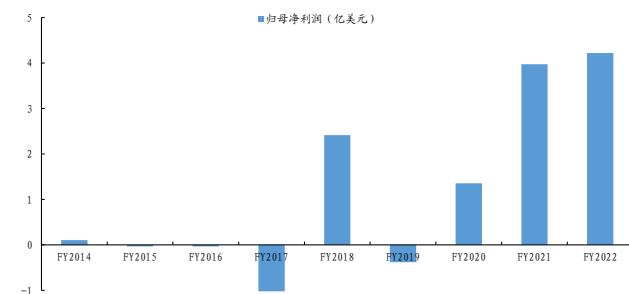
数据来源：Lumentum FY2022 年报，Lumentum 官网，东吴证券研究所

图42：Lumentum 营业收入逐年增长



数据来源：Bloomberg，东吴证券研究所

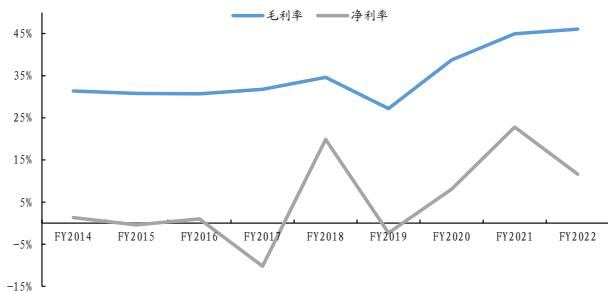
图43：Lumentum 归母净利润稳中向好



数据来源：Bloomberg，东吴证券研究所

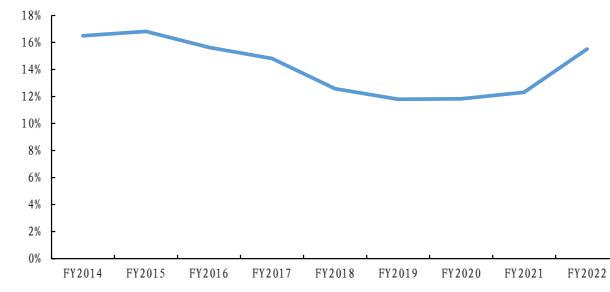
Lumentum 营业收入近年来整体呈现增长趋势, FY16-FY22 营收 CAGR 为 11.3%。FY2022 公司营收同比-0.02%为 17.1 亿美元, 其中营收比重较高的光通信业务同比-6.3%至 15.2 亿美元, 主要系电信产品材料和部件短缺所致, 光通信业务的收入下降也导致公司 FY22 营收的下降, 激光器业务同比+59.0%至 1.9 亿美元, 主要系复工复产后客户对千瓦级光纤激光器的需求恢复。

图44: Lumentum 毛利率连续 4 年增长



数据来源: Bloomberg, 东吴证券研究所

图45: Lumentum 研发费用率较高

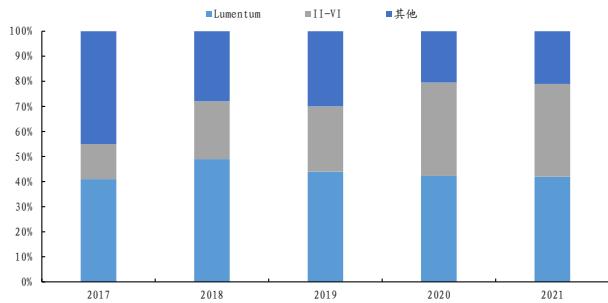


数据来源: Bloomberg, 东吴证券研究所

除 FY2019 收购 Oclaro 带来净利润的短期承压外, 公司利润水平近年来呈现出稳中向好的发展趋势。FY2022, 公司实现归母净利润 4.2 亿美元。毛利率处于较高水平, 并已实现连续 4 年增长, FY2022 达到 46.05%, 净利率则由于研发费用的增长而在 FY2022 出现一定下滑。公司注重技术创新, 研发费用率长期维持在较高水平。FY2022, 公司研发费用率为 15.5%, 同比+3.2pct。

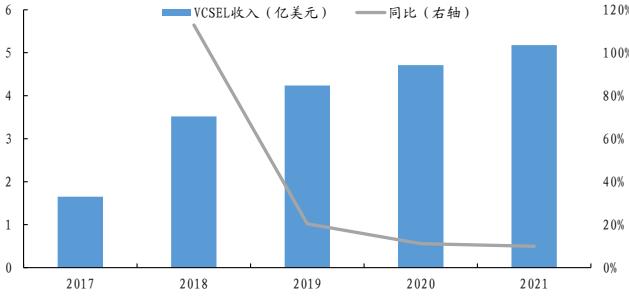
公司前瞻布局 VCSEL 产品及 3D 传感, 在 VCSEL 产品市场形成领先优势。2005 年和 2007 年, JDSU 分别收购了 Agility Communication, Inc 和 Picolight, Inc, 为公司带来了面向企业、数据中心和 3D 传感等领域 VCSEL 产品的重要技术, 也拓展了 Lumentum 光通信和激光器业务的深度和广度。早在 2010 年, Lumentum 就开始布局 3D 传感市场, 截至 2020 年, 已累计发货超过 8.5 亿颗 3D 激光器芯片, 其中 EEL 5000 万颗, VCSEL 超 8 亿颗。2017-2021 年, Lumentum 在 VCSEL 市场的份额均在 40% 以上, VCSEL 产品也为公司带来大量营收。根据 Yole 提供的数据计算, 2018 年 VCSEL 产品的收入增速超过 100%, 主要系 Lumentum 开始向苹果提供 VCSEL 芯片所致; 2021 年, 公司的 VCSEL 产品市场规模达到 5.2 亿美元。

图46: Lumentum 长期占据 VCSEL 市场 40%+份额



数据来源: Yole, 东吴证券研究所

图47: Lumentum VCSEL 产品收入持续增长



数据来源: Yole, 东吴证券研究所

智能手机人脸识别功能改写 3D 传感行业格局，为 Lumentum 的 VCSEL 产品带来广阔市场。2017 年之前，3D 传感主要应用于工业传感、激光打印、光学鼠标等。2017 年 11 月，苹果公司发布的 iPhone X 产品放弃了触摸式指纹解锁 (Touch ID)，开创性地采用 3D 人脸识别 (Face ID)，并通过搭载 VCSEL 实现人脸识别功能，iPhone X 因此成为全球首款大规模使用 3D 传感功能的消费电子终端。在此之后，整个产业生态快速成熟，3D 传感在人脸支付、虚拟现实 (VR)、安防监控和机器人等市场领域陆续得到应用，VCSEL 户外使用波长稳定的特性也为使其成为移动 3D 传感的热门选择。

图48：自 2018 年起，苹果就成为 Lumentum 第一大客户

	Ciena	Cisco	Huawei	Alphabet	Apple
FY2014	0.16	*	*	0.10	*
FY2015	0.14	0.12	*	*	*
FY2016	0.17	0.13	0.17	*	*
FY2017	0.19	0.12	0.17	*	*
FY2018	0.11	*	0.11	*	0.30
FY2019	0.14	*	0.15	*	0.21
FY2020	*	*	0.13	*	0.26
FY2021	0.10	*	0.11	*	0.30
FY2022	0.13	*	*	*	0.29

数据来源：Lumentum FY2015-FY2022 年报，东吴证券研究所（注：*表示占总收入百分比小于 10%）

自 2018 年向 iPhone 提供 VCSEL 芯片以来，苹果就成为 Lumentum 的第一大客户，来自于苹果的收入份额稳定在 20% 以上。2020 年，苹果发布的新款 iPad 和 iPhone 首次搭载了基于 dToF 的激光雷达，其中可寻址 VCSEL 阵列由 Lumentum 提供。根据计算，FY18-FY22，Lumentum 来自苹果的收入分别为 3.7/3.3/4.4/5.3/4.9 亿美元。

Lumentum 常采用合作的方式拓展 VCSEL 市场，与其他领域的头部企业共同开发具有市场前景的产品。从应用场景看，侧重于 3D 传感和汽车激光雷达。此外，Lumentum 也长期采用并购和产品开发提高在光芯片市场的核心竞争力。

表6：Lumentum 通过合作、并购和产品开发提升核心竞争力

时间	事件类型	事件简介
2018 年 12 月	并购	完成对 Oclaro 的收购，为公司带来业界领先的磷化铟(InP)激光器、光子集成电路(PIC)和相干器件模块研发制造实力
2020 年 2 月	合作	与 Infinera 宣布合作，将基于 XR 光学的网络解决方案推向市场，以应对运营商在提供新的 5G、增强型宽带和基于云网络的商业服务方面所面临的传输网络挑战
2020 年 11 月	并购	宣布收购 TriLumina 部分专利和其他知识产权在内的部分技术资产
2021 年 3 月	产品开发	首发五结和六结 VCSEL 阵列，实现单个发射器的光功率超过 2W，从而使一平方毫米 VCSEL 阵列的峰值功率超过 800W
2021 年 5 月	合作	与 AI 视觉芯片公司 Ambarella、CMOS 图像传感器解决方案供应商 ON Semiconductor 合作，以 Ambarella 的 AI 视觉 SoC 为基础，通过结合 Lumentum 高性能 VCSEL 阵列和 ON Semiconductor 的图像传感器，提供用于生物识别、3D 电子锁和其他智能传感应用的系统解决方案
2021 年 12 月	合作	与 Stanley 合作，开发应用于汽车应用的高功率红外 VCSEL 产品，成为世界首款使用红外 VCSEL 的车载传感设备
2022 年 1 月	合作	与激光雷达传感器制造商 Hesai 合作，提供领先的多结 VCSEL 阵列制造规模，开发了业界首个用于高级辅助驾驶系统 (ADAS) 的 200 米长距离基于 VCSEL 的混合固态定向激光雷达解决方案
2022 年 4 月	产品开发	陆续推出高性能 M 系列多结 VCSEL 阵列产品 M51-100、M52-100、M53-100，峰值功率分别为 70W、

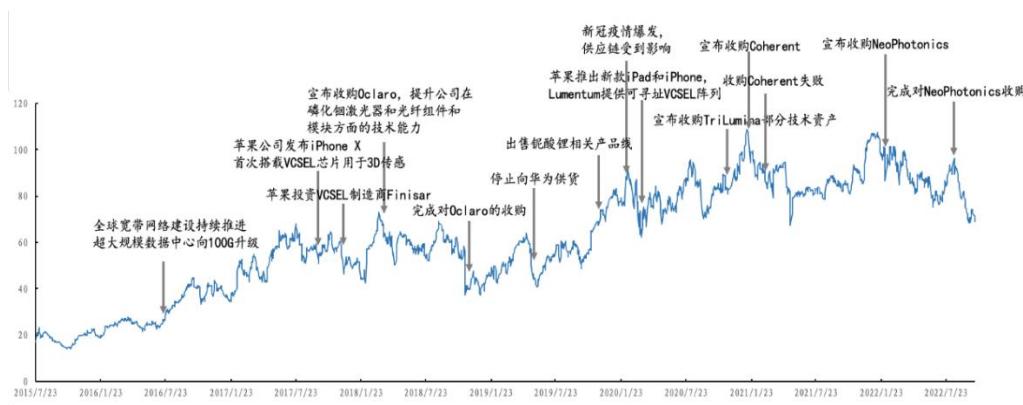
100W、400W，在3D传感、机器人技术、汽车和工业激光雷达等领域得到应用

2022年6月	合作	与化合物半导体晶圆产品供应商IQE签署战略协议，IQE为Lumentum的VCSEL等激光产品提供支持 3D传感、汽车激光雷达及光网络应用的外延片，以此拓展在汽车和生物识别领域的应用
2022年7月	合作	与高精度贴片机供应商MRSI在激光雷达领域展开合作，提供汽车激光雷达的创新性解决方案
2022年8月	并购	完成与NeoPhotonics的合并，提高公司在光器件领域的市场竞争力，抓住在云计算、电信基础设施网络等领域的发展机会，为高速光网络客户提供差异化的光子学技术产品组合

数据来源：Lumentum官网，GlobeNewswire，Ambarella官网，Stanley官网，GoPhotonics，Biometric Update，ElectroOptics，东吴证券研究所

Lumentum股价整体呈上升趋势，下游市场景气度、收购信号的发布以及产品供应形势的变化是Lumentum股票价格影响的主要因素。

图49：Lumentum股价复盘（美元）

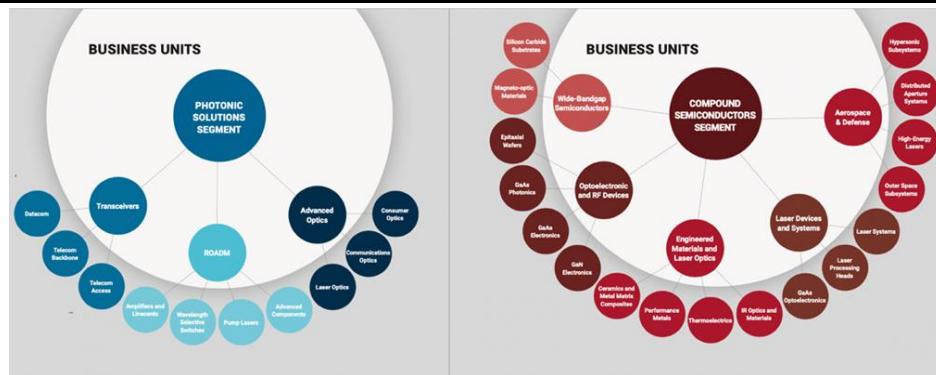


数据来源：Lumentum官网，Lumentum FY2016年报，Optica，CNBC，Benzinga，MEMS，Photonics Media，MarketWatch，东吴证券研究所

3.2. II-VI：光芯片+碳化硅，持续收购注入增长动能

II-VI公司成立于1971年，并于1987年在纳斯达克上市，是工程材料和光电元件的全球领导者。2022年7月，II-VI完成对Coherent的收购，合并后的公司更名为Coherent，并重新划分了材料部门、网络部门和激光部门，我们将重点分析收购Coherent前的业务情况。II-VI产品体系健全，下游市场广阔。2019年II-VI收购Finisar后，公司将激光解决方案、光子学和性能产品重新整合，形成光子学解决方案和化合物半导体两大部门。

图50：II-VI产品体系健全，下游市场广阔

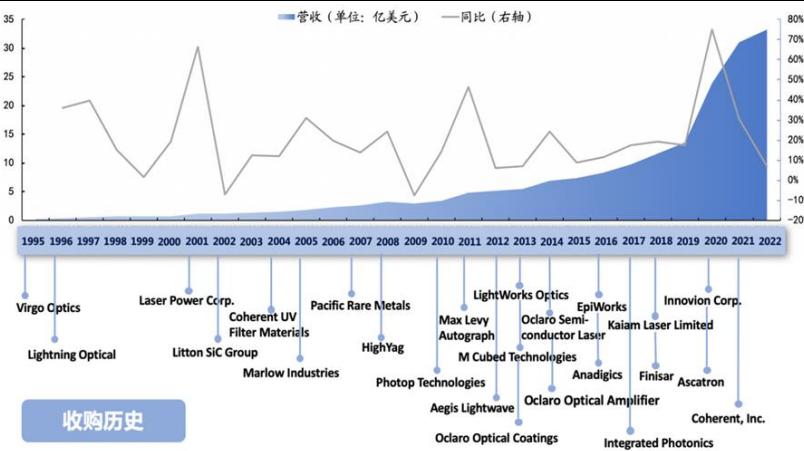


数据来源：II-VI FY2020年报，东吴证券研究所

主要产品包括收发器、ROADM、工程材料、先进光学设备、激光设备和系统，等等。公司生产的工程材料、光电元件和器件在通信、工业、汽车、半导体资本设备、生命科学、航空航天及国防、消费电子等领域得到广泛应用，各事业部均积累了大量的优质客户资源。截至 2022 年，II-VI 已在全球 24 个国家的 130 个地区建址，全球员工数量超过 28000 名。

持续增长的营收规模是 II-VI 的一大亮点。从 II-VI 长期营收数据看，从 1995 年至今的 28 年以来，除 FY2002 和 FY2009 外，公司营收规模持续增加，FY2001 突破 1 亿美元，FY2018 突破 10 亿美元，FY2022 实现 33.2 亿美元营收。FY1995-2008 营收 CAGR 为 20.5%，FY2009-2022 CAGR 为 20.6%。II-VI 能在近 30 年时间持续稳定增长，重要原因在于长期外延并购，并以此获取关键产品和技术，抓住市场机遇，实现竞争优势。

图51：II-VI 成长的关键阶段始终伴随收购



数据来源：II-VI 官网，II-VI FY2017、FY2021 年报，《II-VI Investor Presentation Nov,2017》，《II-VI Investor Presentation Sept,2022》，东吴证券研究所

II-VI 公司成长的重要阶段始终伴随关键并购的发生。自 1995 年起，公司就开始了“外延并购”的历程，并将并购视作实现公司长期发展的重要战略：

- (1) **II-VI 在 20 世纪末完成两项收购 (Virgo Optics、Lightning Optical)**，帮助公司拓展了微型光学器件市场，两项收购也帮助 II-VI 在 1997 年实现 5270 万美元的收入，几乎是 3 年前收入总额的三倍；
- (2) **2001 年，II-VI 收购了一家生产用于工业和军事二氧化碳激光器的公司 Laser Power**，该公司近一半的销售额都来自与军方的合同。通过对 Laser Power 收购，II-VI 顺利开拓了国防军事领域市场，使公司在 2001 财年的收入增加了 66%；
- (3) **2004 年 12 月，II-VI 签署了对 Marlow 公司的收购协议**，巩固了公司在光学和光电元件方面的领先地位，并带来未来数年营收的持续增长；
- (4) **2009 年 12 月，II-VI 收购了中国激光机光学产品生产商 Photop (高意)**，该公司在光电产品与系统模块、消费电子等业务上具有全球领先地位。此次收购开启了 II-VI 进军光通信市场的帷幕，帮助公司走出全球性的金融危机并在 FY2010 迅速扭转营收

颓势，并带动 FY2011 收入增加 46%，此举也开拓了公司在中国的市场；

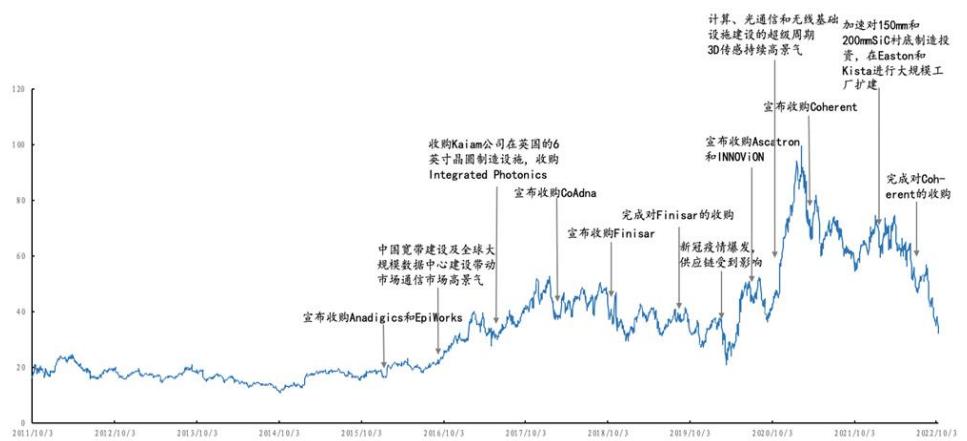
(5) 2014 年，II-VI 收购了 Laser Enterprise 和 Network Solutions 公司，加之受益于全球光通信市场的需求扩张，FY2014 公司营收实现快速增长；

(6) 2019 年 9 月，II-VI 收购了全球光通信领域巨头 Finisar，有效拓展了化合物半导体和光子学解决方案平台。Finisar 拥有适用于 3D 传感和激光雷达的领先 GaAs 平台，在收购时已具备 25G、100G、400G 数据中心收发模块、940nm DFB 激光器、VCSEL 阵列等产品的生产能力。在完成对 Finisar 收购后，II-VI 营收曲线陡升，收入体量得到显著扩大，FY2020 营收规模达 23.8 亿美元，增速为 75%，开创历史新高；

(7) 2022 年 7 月，II-VI 完成对 Coherent 的收购，II-VI 在材料方面的技术知识与 Coherent 在激光系统方面的规模形成互补，增添了公司业务类型的多样性，并很大程度拓展了公司的经营规模，进而实现公司在材料、网络和激光领域的全球领导地位。

收购信号的释放是 II-VI 公司的股价变动的一个重要因素。从 II-VI 长期的股价表现来看，当宣布进行收购时，通常能够带来公司股价短期的回升。此外，下游行业（如数通市场、3D 传感等）的市场景气度也会对公司股价产生较为显著的影响。近年来公司完成了多项大型收购，股价波动较为明显。

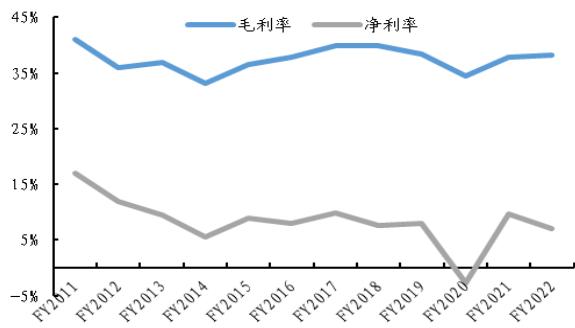
图52：II-VI 股价复盘（美元）



数据来源：II-VI 官网，GlobeNewswire，Optics，II-VI FY2017、FY2021 年报，东吴证券研究所

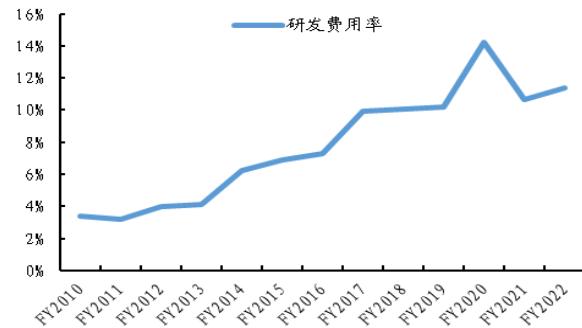
II-VI 公司的毛利率、净利率长期保持稳定。公司毛利率长期保持在 35% 以上的较高水平，除 FY2020 由于收购 Finisar 产生收购费用造成净利润为负外，公司净利率长期保持在 7% 左右。FY2022，公司毛/净利率分别为 38.1%、7.1%。**从研发费用率曲线的走势来看，公司对产品和技术开发的重视程度在不断提高。**FY2020，公司加大了对 5G 技术、3D 传感、磷化铟、激光雷达等新兴市场产品的开发力度，研发费用率达 14.3%，为历史最高水平，FY2022 研发费用率为 11.4%。根据公司公告，截至 2022 年 7 月，II-VI 工程和技术员工超过 4400 名，专利数量超过 3000 份。

图53: II-VI公司毛利率、净利率长期稳定



数据来源: Bloomberg, 东吴证券研究所

图54: II-VI对研发的重视程度在不断提高



数据来源: Bloomberg, 东吴证券研究所

3.3. 商业模式探讨: 需求变化快、盈利不稳定, 把握上行周期

光通信行业的需求端存在明显的“脉冲式”特征,各阶段光芯片的需求重心不一致,相关企业的盈利情况受市场刚性需求的影响较大。以源杰科技为例,2020年我国5G基站大幅建设并积极采用25G光芯片,公司抓住了发展机遇,2020营收同比增长高达187%,而当2021年5G基站调整为10G光芯片方案后,同年公司收入出现下滑。2017年底苹果采用VCSEL芯片实现人脸识别功能后,苹果占Lumentum营收份额迅速飙升至30%,也能在一定程度上体现光芯片行业的需求脉冲性。

在4G基站大规模建设、5G基站大规模建设、数据中心大规模建设三个明显的阶段中,II-VI、Lumentum股价也随市场需求重心变化呈现出“脉冲式”特征,在三个阶段的初期,股票价格都会迎来上升期,随着市场成熟,竞争加剧,股票价格会出现一定程度的波动和下降。

图55: II-VI、Lumentum股价随市场需求变化呈现“脉冲式”特征

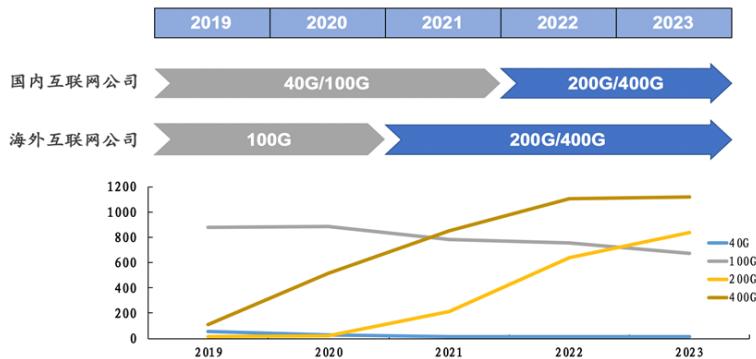


数据来源: Bloomberg, 东吴证券研究所绘制; 注: 股价单位为美元

另一方面,当前下游光模块的市场驱动力已从骨干网络建设、光纤入户转变为数据中心的建设需求。具体来看,数据中心市场也存在需求迭代,目前正处于需求升级的关键时期。国内外互联网公司对光模块的速率要求从100G升级至200G/400G,相应地,数通领域的光芯片速率正从25G向50G迭代,50G及以上高速率光芯片正处于上行期,

相关产品需求预计将呈现迅猛增长。

图56: 200G/400G 光模块迎来上行期, 带动 25G 以上光芯片需求增长 (百万美元)

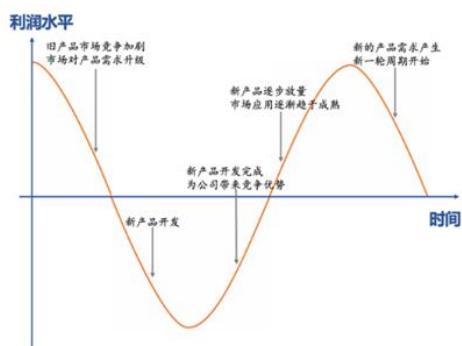


数据来源: 源杰科技-发行人及保荐机构第二轮回复意见, LightCounting, 东吴证券研究所整理

光芯片和光通信器件毛利率通常呈现出先升高后降低的趋势。在新产品刚研制完成时, 由于工艺水平尚不成熟, 加之产品良率较低, 毛利率也相对不高; 随着技术水平的提升和产能的提升, 毛利率迎来增长期; 此后相关产品的市场竞争日趋饱和, 毛利率将出现回落。因此, 为实现长期良好的利润水平, 光芯片公司需要持续开发契合市场需求的产品, 把握利润水平的上行期。

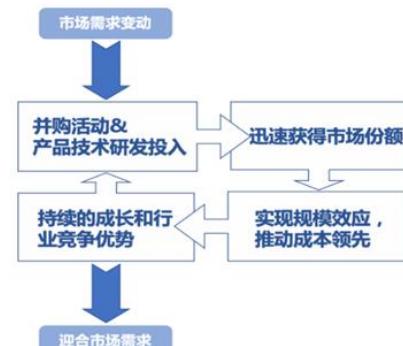
产品开发需要投入一定成本, 市场开拓和客户关系的确立也需要花费一定时间, 若在市场释放新的需求信号后再开发新产品, 可能会错过上行期, 即当产品最终投入市场时, 产品的利润水平可能已处于回落阶段。因此, 具备一定资金实力的企业会选择通过并购的方式快速获得技术、产品和客户资源, 以此赶上上行期。由此, 光芯片厂商欲实现长期成长, 可通过持续的并购和技术研发开启良性的成长循环, 注重“战略适配性”以更好地迎合市场需求。II-VI 和 Lumentum 均采用了该发展逻辑, 通过持续的战略收购和产品开发应对光通信行业的“脉冲性”特征, 实现了行业内领先的成长能力。

图57: 光通信厂商利润水平波动周期



数据来源: 东吴证券研究所绘制

图58: 光芯片厂商良性成长循环路径



数据来源: 东吴证券研究所绘制

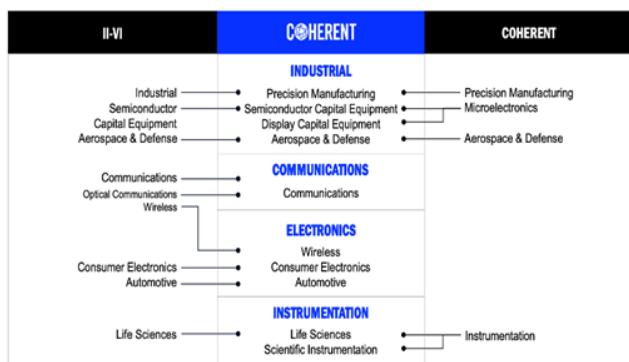
产品体系健全度和产业链整合能力也是影响光通信企业增长稳定性的重要因素。

II-VI、Lumentum 以及国内领先光芯片厂商源杰科技纷纷采用 IDM 设计生产模式, 在该模式下, 芯片设计、制造、封装到测试都由制造商负责, 进而可实现对整个产业链

的覆盖。我们认为，光芯片厂商采用 IDM 模式，能够（1）有效发挥核心材料供应链运营联动，弱化供应商原材料供应对生产经营的约束，同时占据供应链多生态位也削弱了“牛鞭效应”对公司产能规划和库存管理的影响，保障公司增长的稳健性；（2）设计、制造、封装全环节协同优化，保证产品从设计到制造环节的一体性，降低产品良率下滑对公司业绩的影响；（3）IDM 厂商产品速率更快，增强了企业抵御市场波动和需求变化的能力，保障企业增长的稳定性。

II-VI 和 **Lumentum** 都拥有丰富的产品体系和广阔的下游市场。从方式上看，两家公司都采用了收购来拓宽产品体系。**II-VI** 近期收购了 **Coherent**，**Lumentum** 则收购了 **NeoPhotonics**，尽管在收购完成后 **II-VI** 的业务结构更加分散，而 **Lumentum** 则更加集中，但收购行为无疑都拓宽了公司的产品和市场。我们认为，提升产品体系丰富度，能够：（1）通过多样化的品种类布局满足客户差异化需求，拓展了公司的下游市场，多元化的收入来源平衡了光通信行业需求“脉冲性”造成的收入及利润变动，提升公司的运营稳健型；（2）丰富的产品结构也提高了公司为客户提供系统解决方案的能力和对客户需求变化的响应能力，为公司带来潜在的发展和增长机遇。

图59：II-VI 收购 Coherent 丰富产品结构



数据来源：《II-VI Investment Presentation September 2022》，东吴证券研究所

图60：Lumentum 收购 NeoPhotonics 丰富产品结构



数据来源：《Lumentum to Acquire NeoPhotonics》，东吴证券研究所

4. 国产化展望：远期趋势确定，立足光通信，切入车规

4.1. 政策扶持，光芯片国产化稳步推进

国内光芯片企业正加速研发进度，光芯片国产化趋势保持乐观。光芯片的国产替代呈现出“从下游向上游传导，从低端向高端过渡，政策手段有效扶持”的特征。

（1）从下游向上游传导：

在光通信产业链中，下游国内头部光模块厂商已具备较强实力和较大规模。据 Lightcounting 统计，2010 年全球十大光模块厂商中国内厂商仅有 1 家，2021 年有 5 家国内光模块厂商跻身 TOP10，其中旭创科技与 **II-VI** 并列第一位。我国光模块龙头企业在全球市场竞争力突飞猛进，海外厂商逐渐趋于劣势地位，光模块国产替代已基本完成。

2021 年跻身全球十大光模块厂商的 5 家国内企业都着力布局光芯片，产业链纵向布局。①中际旭创全资子公司苏州旭创 2021 年开始“激光器芯片技术”研发，包括 DFB、EML、VCSEL 芯片技术、50G PAM5 技术等；②华为早在 2013 年便通过收购比利时硅光子公司 Caliopa 进入光芯片市场；③海信宽带旗下芯片事业部具备业内领先的从外延生长到激光器芯片整个链条的制造工艺能力，2021 年芯片的展品包括 10G/25G DFB、25G LAN-WDM/ MWDM/ CWDM DFB Chips、56Gbaud PAM4 EML、10G/25G Tunable、High Power 等激光器芯片；④新易盛完成了对 Alpine Optoelectronics 的收购，并借此深入硅光子芯片技术的市场竞争。⑤光迅科技已实现 10G 及以下光芯片批量供货，25G 光芯片规模出货，目前正加大研发力度，稳步提升 25G 光芯片产品工艺。

我们认为，随着国内光模块厂商全球份额持续提升、光芯片技术不断成熟及光模块应用领域拓宽，国内光芯片产业链有望进一步优化整合，随之迎来国产替代机遇。

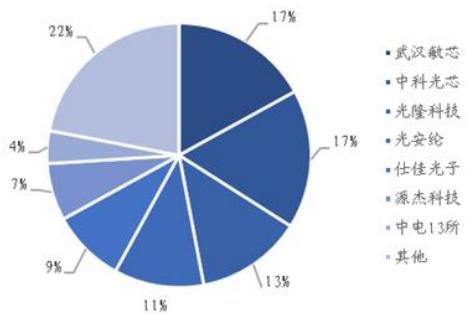
图61：2010-2021 全球光模块厂商份额变化



数据来源：LightCounting，东吴证券研究所

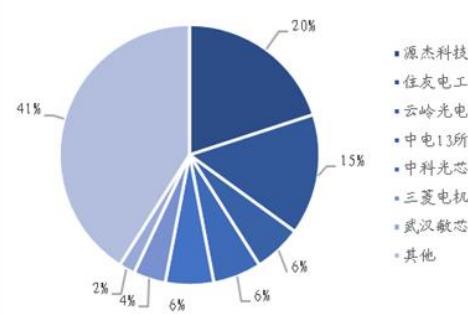
(2) 从低端向高端过渡：

图62：全球 2.5G 及以下 DFB/FP 激光器芯片市场份额



数据来源：ICC，东吴证券研究所

图63：全球 10G DFB 激光器芯片市场份额



数据来源：ICC，东吴证券研究所

中低速率光芯片（10G 及以下）：国内厂商占有较高市场份额，由于成本竞争等因素，相关市场已基本被我国光芯片产品厂商替代，国内光芯片厂商具备较强竞争力。根据《光通信用光芯片市场调查报告 2020》，10G 及以下速率光芯片已基本实现替代，用于接入网 PON 模块的 10G 及以下速率的光芯片已实现几乎 100%的自主供应，10G DFB

激光器芯片、PIN PD 探测器芯片、VCSEL 芯片均已实现完全国产化替代。源杰科技公司公告中也指出，我国光芯片企业已基本掌握 2.5G、10G 光芯片核心技术，除少数技术门槛较高的产品型号对进口存在一定依赖外，已基本实现国产化。国内已涌现出源杰科技、中科光芯、仕佳光子、武汉敏芯、云岭光电等企业，在部分中低速率光芯片产品的市场中占据了较高份额。

高速率光芯片（25G 及以上）：国产化率仍处于较低水平，国内头部厂商已先后开展研发生产，市场参与度有待进一步提高。根据 ICC 统计，2020 年 25G 光芯片国产化率约为 20%，25G 以上光芯片国产化率则低至 5%。随着数通市场的持续繁荣，目前国内厂商正加速 25G 及以上光芯片的开发节奏。近年来，国内头部厂商的高速率芯片进展态势乐观，源杰科技、光迅科技、仕佳光子、云岭光电、武汉敏芯等企业已具备 25G 及以上部分光芯片产品生产能力。

表7：不同速率光芯片主要竞争格局

产品速率	主要应用领域	海外头部光芯片厂商	国内光芯片厂商	
			专业光芯片厂商	综合光芯片模块厂商
2.5G	光纤接入	☆	★★☆	★★
	光纤接入	★	★★☆	★☆
	移动通信网络	★☆	★☆	★★
	数据中心	★★	★★	★
10G	移动通信网络	★★	★☆	★☆
	数据中心	★★★☆	★	☆
25G 及以上	移动通信网络	★★	★☆	★☆
	数据中心	★★★☆	★	☆

数据来源：源杰科技-发行人及保荐机构第二轮回复意见，东吴证券研究所（注：★代表市场参与度）

（3）政策手段有效扶持：

国家对光电子技术产业给予了高度重视，政策措施持续聚焦光芯片及其下游应用领域的发展。“东数西算”战略的逐步落地，“5G 建设”的持续投入，有效推动了国内数通和电信市场的发展，从产业链下游为国内光芯片市场注入了强大动能，对光芯片开发的直接推动政策和相关要求也持续发布，我国光芯片厂商正逐步缩小与海外厂商的差距。与此同时，工信部于 2022 年 6 月启动了《中国光电子器件产业技术发展路线图（2023-2027 年）》的编制，预计未来国家政策将持续高度重视光电子技术产业，光芯片产业生态圈有望进一步拓宽。

表8：近年国家扶持光芯片的部分重要政策汇总

相关政策	颁布机构	颁布时间	相关内容和规定
《“十四五”数字经济发展规划》	国务院	2022 年 1 月	加快构建算力、算法、数据、应用资源协同的全国一体化大数据中心体系，加快实施“东数西算”工程，推进云网协同发展，提升数据中心跨网络、跨地域数据交互能力。加快企业数字化转型升级，全面深化重点产业数字化转型。
《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023 年）》	工信部	2021 年 3 月	加快产业短板突破，鼓励光纤光缆、芯片器件、网络设备等企业针对 5G 芯片、高速 PON 芯片、高速无线局域网芯片、高速光模块、高性能器件等薄弱环节，加强技术攻关，提升制造能力和工艺水平。

《基础电子元器件产业发展行动计划（2021-2023年）》	工信部	2021年1月	重点发展高速光通信芯片、高速高精度光探测器、高速直调和外调制激光器、高速调制器芯片、高功率激光器、光传输用数字信号处理器芯片、高速驱动器和跨阻抗放大器芯片。
《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	25Gb/s及以上DFB激光器芯片规模生产，200G、400G产品规模化生产，提高核心光电子芯片国产化。推动上下游产业链互联互通，发挥产业链下游优势，确保在2022年中低端光电子芯片国产化率超过60%，高端光电子芯片国产化率突破20%。
《产业关键共性技术发展指南（2017年）》	工信部	2017年10月	将“高速光通信关键器件和芯片技术”列入优先发展范畴。
《“十三五”国家科技创新规划》	国务院	2016年7月	发展微电子和光电子技术，重点加强极低功耗芯片、新型传感器、第三代半导体芯片和硅基光电子、混合光电子、微波光电子等技术与器件研发。

数据来源：国务院，工信部，中国电子元件行业协会，东吴证券研究所

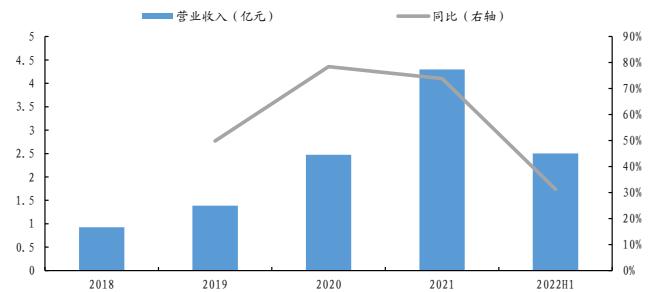
4.2. 相关公司梳理

4.2.1. 长光华芯：平台型激光芯片龙头，VCSEL 布局领先

长光华芯专注半导体激光芯片、器件及模块等激光行业核心元器件的研发、生产与销售，是半导体激光行业全球少数具备高功率激光芯片量产能力的企业之一。公司于2018年成立VCSEL事业部，依托IDM模式在国内率先建立VCSEL芯片6吋线，并于2020年推出VCSEL光芯片，建立了针对VCSEL及光通信芯片的完整工艺线，为客户提供VCSEL芯片的技术开发服务。当前，公司的VCSEL芯片产品包含PS、TOF、SL系列、波长涵盖808nm、850nm、940nm，电光转换效率最高可达60%以上。

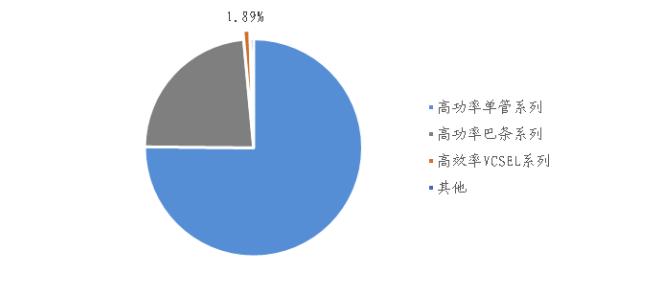
公司营收长期维持高速增长，18-21年CAGR达到66.9%，主要受益于半导体激光芯片赛道需求快速增长。VCSEL产品营收体量尚小，2021上半年为189万元，占比1.89%。

图64：长光华芯营业收入长期维持高速增长



数据来源：Wind，东吴证券研究所

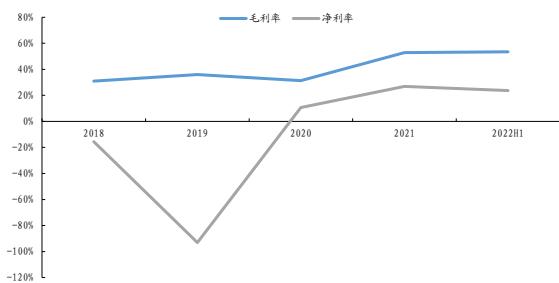
图65：公司VCSEL芯片收入比重相对较低（2021H1）



数据来源：长光华芯招股书，东吴证券研究所

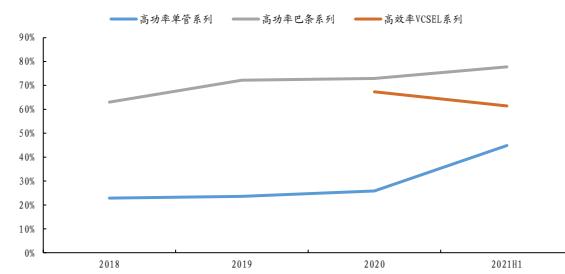
公司综合毛利率稳定在50%左右，其中VCSEL芯片毛利率维持在60%以上。随着公司在VCSEL芯片市场的进一步拓展及份额的提高，公司综合毛利率有望进一步提升。

图66: 长光华芯综合毛利率稳定在 50%左右



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

图67: 长光华芯高效率 VCSEL 系列毛利率较高



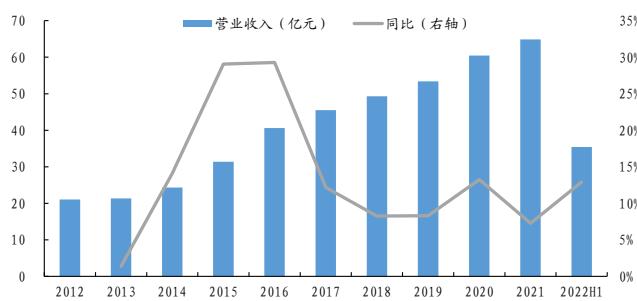
数据来源: 长光华芯招股书, 东吴证券研究所

4.2.2. 光迅科技: 光电器件及模块巨头, 产业链布局构建核心竞争力

光迅科技成立于 2001 年, 2009 年在深交所上市, 成为国内首家上市的光电子器件公司。公司于 2013 年收购丹麦光芯片公司 IPX, 于 2016 年收购法国 Almae, 通过持续的并购整合和技术积累, 形成了面向电信市场和数通市场的从芯片、器件、模块到子系统等垂直集成能力。根据《证券日报》援引公司领导的说法, 光迅科技目前实现了 10G 及以下速率光芯片批量供货、25G 光芯片规模出货, 其中 25G VCSEL 基本可以自供, 25G DFB 约 60%可以自供。

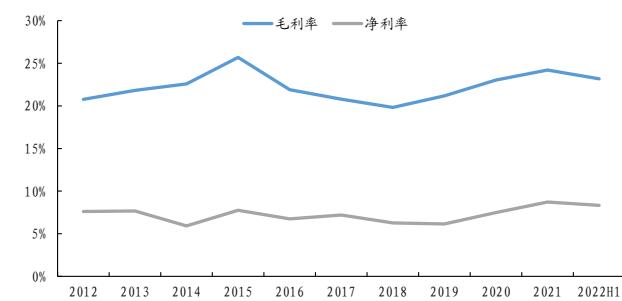
打通“芯片-器件-模块”产业链, 光迅科技营收和利润保持了长达 10 余年的稳定成长。公司在光芯片产业链各个环节都有投入和参与, 营收体量一直保持增长态势, 近年来增速维持在 10%左右, 2021 年营收规模达 64.9 亿元; 另一方面, 公司的毛利率 10 余年来一直保持在 20%-25%范围内, 净利率则稳定在 7%左右。公司已成为光通信行业的全球龙头, 根据 Omida 统计, 截至 2021 年三季度, 公司的全球市场占有率为 7.8%, 排名位居全球第四。

图68: 光迅科技收入持续稳定增长



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

图69: 光迅科技毛利率/净利率长期保持稳定



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

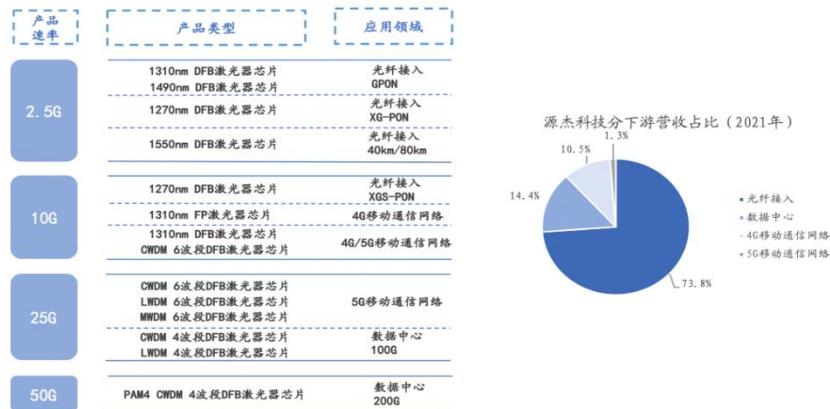
4.2.3. 源杰科技: 聚焦光芯片开发, 把握数通市场上行期实现快速增长

源杰科技成立于 2013 年, 主营业务为光芯片的研发、设计、生产与销售, 已建立了包含芯片设计、晶圆制造、芯片加工和测试的 IDM 全流程业务体系。

公司持续推出激光器芯片产品: ①2013 年, 推出 2.5G 1310nm DFB 作为第一款产品; ②2016 年, 首次推出 10G DFB 激光器; ③2019 年, 推出无线和数据中心 25G DFB

CWDM/LWDM 产品；④2020 年，推出硅光大功率 CW 激光器产品；⑤2021 年，完成开发 50G DFB 产品。当前，公司的主要产品包括 2.5G、10G 和 25G 及更高速率激光器芯片系列产品等，产品体系涵盖 2.5G 到 50G 磷化铟激光器芯片，主要应用于光通信行业，主要包括光纤接入、4G/5G 移动通信、数据中心三大下游领域，其中，25G 及以上光芯片主要应用于数据中心。

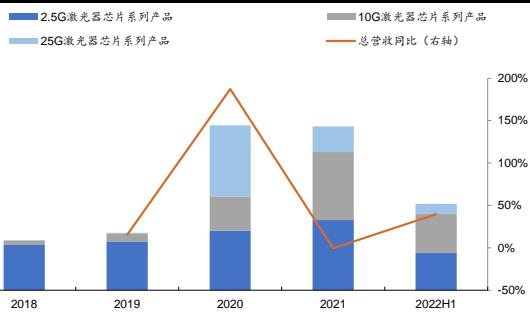
图70：源杰科技产品矩阵丰富，覆盖数通等下游



数据来源：源杰科技招股书，源杰科技-发行人及保荐机构第二轮回复意见，东吴证券研究所整理

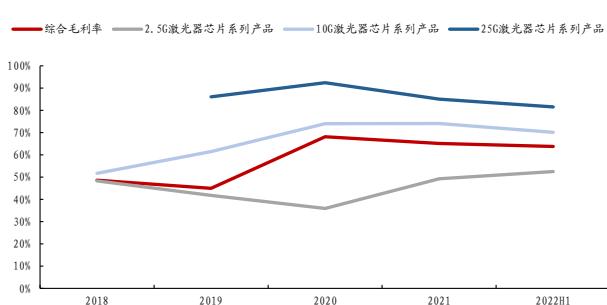
在中低速率及 25G 光芯片市场中，公司已形成一定的规模，在国产光芯片厂商中具备领先优势：(1)根据 ICC 统计，2021 年公司 2.5G 及以下 DFB/FP 激光器芯片、10G DFB 激光器芯片发货量在全球市场份额的占比分别为 7%、20% (全球第一)；(2)根据 C&C 统计，2020 年在磷化铟半导体激光器芯片产品对外销售的国产厂商中，公司收入排名第一，其中 10G、25G 激光器芯片系列产品出货量在国内同行业公司中均排名第一。

图71：源杰科技收入情况（亿元）



数据来源：源杰科技招股书，东吴证券研究所

图72：源杰科技毛利率情况



数据来源：源杰科技招股书，东吴证券研究所

除 2020 年外，源杰科技数据中心收入与 25G 光芯片收入高度接近，结合数据中心对光芯片的速率要求，可知当前公司 25G 光芯片最终应用场景为 100G 数通光模块。

数通市场上行期，公司业绩有望增厚。200G/400G 光模块前景广阔，公司 50G PAM 4 波段 DFB 激光器芯片已进入设计验证测试阶段，该产品可应用于 200G/400G 数据中心，预计该产品的成功研发和商用推进将为公司带来新一轮的高增长。100G 光模块市场较为成熟，短期无法完全被更高速率光模块替代，未来短期内公司仍有望通过 100G

数通光模块市场获得可观收入。

4.2.4. 仕佳光子：从“无源+有源”走向光电集成

仕佳光子聚焦光通信领域，采用 IDM 模式布局芯片开发，具备有源和无源两大工艺平台，主要光芯片产品包括 PLC 分路器芯片系列、AWG 芯片系列、DFB 激光器芯片系列产品。2022 年前三季度，公司实现营收 6.85 亿元，同比增长 21.2%；归母净利润 0.67 亿元，同比增长 148.1%。

5. 风险提示

1) 车规进度不及预期风险：

车载激光雷达为光芯片重要增量，短期放量需要车规级验证通过，以及产品力的背书。目前业内还没有大批量上车的先例，车规认证的延迟可能会导致行业渗透率提升不及预期。

2) 国产化进展不及预期风险：

光芯片国产化被投资者所看好，如果国产厂商产品力低于预期，会导致更替速度较慢。

3) 疫情扰动风险：

疫情反复，会对多个下游需求产生影响，从而导致业绩下修。

注：本文港币人民币汇率取 0.90，美元人民币汇率取 6.97，非 A 股上市公司财务数据以其财年为准。

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，本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。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。如引用、刊发、转载，需征得东吴证券研究所同意，并注明出自为东吴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

东吴证券投资评级标准：

公司投资评级：

买入：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘在 15%以上；

增持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于 5%与 15%之间；

中性：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于-5%与 5%之间；

减持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来 6 个月内，行业指数相对强于大盘 5%以上；

中性：预期未来 6 个月内，行业指数相对大盘-5%与 5%；

减持：预期未来 6 个月内，行业指数相对弱于大盘 5%以上。

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>