



电子

优于大市（维持）

证券分析师

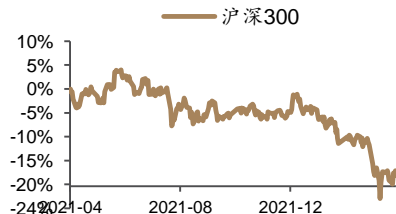
陈海进

资格编号：S0120521120001

邮箱：chenhj3@tebon.com.cn

研究助理

市场表现



相关研究

- 《汽车智能化不断提升，国产激光雷达厂商再下一城》，2022.4.4
- 《意法半导体再发涨价函，MCU、功率景气度延续，持续看好半导体板块景气行情》，2022.3.25
- 《持续看好电子板块中长期景气周期》，2022.3.16
- 《海外半导体设备交期延长，国产替代进入黄金时代》，2022.3.13
- 《行业持续景气、国产替代加速，持续看好半导体设备板块》，2022.3.10

激光雷达千亿蓝海，商用元年投资价值凸显

投资要点：

- **激光雷达作为核心传感器具备高发展潜力：**自动驾驶高速发展，尽管业内主要分为以特斯拉为代表的纯视觉，以及以激光雷达等多传感器融合为代表的两大阵营，然而通往L3级及以上级别的自动驾驶大概率对纯视觉方案下的算力能力提出极高且难满足的要求，与此同时随着激光雷达等多传感器融合为代表的方案技术不断革新，低成本方案逐渐成为可能，我们看好其作为L3级及以上智能驾驶的核心配置的高发展潜力。
- **降本促进大规模商业化，千亿蓝海市场可期：**随着L3级自动驾驶的不断落地，激光雷达也将在乘用车市场持续渗透。从单价趋势看，激光雷达技术不断迭代进步、未来商用大规模量产可期，预计激光雷达价格将由2021年的1500美元/颗下探至2025年的400美元/颗。从乘用车市场激光雷达的需求看，预计全球的需求量将由2021年的19万颗提升至2025年的2704万颗；国内的需求量预计由2021年的10万颗提升至2025年的1399万颗。根据我们测算，2025年全球及中国车载市场激光雷达市场规模分别为127亿美元、66亿美元左右，两大市场2021-2025年CAGR均接近150%。
- **技术路径处于百家争鸣的状态，目前仍以905nm波长、ToF测距方式的半固态激光雷达为主，建议关注未来1550nm波长、FMCW测距方式的固态激光雷达的发展动态：**车载激光雷达技术路径众多，核心关注能否过车规以及成本问题。按扫描方式分：主要有机械式、半固态式、固态式三类激光雷达，目前半固态方式以其相比于机械式方案更低的成本及满足车规要求而占据主流地位，从长期看，固态式方案采用半导体工艺将激光雷达一些核心部件集成于芯片进一步缩小体积，随着未来纯固态方案的进一步成熟，有望得到商业化大规模采用。按测距方法分：ToF性能优越，能克服三角测距法的距离限制问题，精度也更高，是目前车企的主流运用方案，FMCW理论优势更为显著，由于技术门槛导致价格较高，目前仍未量产，建议未来关注其较高发展潜力。按激光发射端分：EEL发光功率密度高但人工装调技术要求高导致成本高企，而采用半导体加工设备的VCSEL能够保障精度和质量一致性，国内外已有多家VCSEL激光器公司开发的多层结VCSEL激光器可以解决其发光密度功率较低的问题，我们看好EEL向VCSEL发展，此外PCSEL作为两者集成方案性能集成的良好发展前景，建议关注其未来商用化进程。按激光探测分：目前APD技术成熟，是应用最广泛的探测器，而SPAD/SiPM可以解决光子探测效率、工作电压要求低、采用成熟CMOS半导体工艺制造使其具备成本优势，看好从PD/APD向SPAD/SiPM进发的趋势。按信息处理方式分：主流方案为FPGA，在未来线列、面阵规模发展之下，以及逐步升级的CMOS工艺节点，单光子接收端SoC的运算能力将更强、功耗更低、集成度更高，看好SoC的长期发展。
- **产业链上游国产品牌迎发展机遇：**激光雷达上游主要为光学、电子元器件制造厂商，目前领先的元器件供应商欧美厂商入局较早且水平领先，海外龙头垄断上游芯片市场，收发及光学元件领域国产品牌崛起，未来前景乐观，上游产业链中激光发射器、探测器、扫描部件等领域投资机会丰富。激光雷达中游主要为激光雷达集成产品制造商，因激光雷达壁垒相对较高、技术路线尚未收敛，目前全球激光雷达竞争格局仍较分散，海外厂商具备先发优势，如法国Tier 1公司Valeo（法雷奥）作为全球首个发布车规级激光雷达Valeo SCALA并实现量产的厂商，以28%的市场份额居于全球首位，此外，中国速腾聚创、大疆、图达通、华为、禾赛等国内头部玩家也均有所突破。激光雷达下游主要应用领域为无人驾驶、高级辅助驾驶、机器

人、车联网、测绘、高精度地图、消费服务业等，目前产能稀缺导致供不应求，激光雷达整机制造商对下游定价权较强，行业整体盈利空间较大。

- **投资建议：**我们认为随着激光雷达商用元年到来，整体放量节奏加快，产业链上游相关供应商及中游激光雷达整机制造商将显著受益于激光雷达行业的高景气度。尤其是产业链上游激光发射器领域与光学部件领域，前者有国内厂商在日欧美等海外厂商积淀已久情形下已经逐渐取得一些突破，后者有国内成熟的产业链造就的领先成本优势。中游整机厂商也凭借后发优势推出具有竞争力的产品，已经获得众多车企定点。
 - 1) **产业链上游元器件领域受益确定性较强，建议关注：**

激光发射器端：激光发射器端在激光雷达整体 BOM 成本占比较高。国内激光器供应商入局虽晚但发展势头迅猛，建议关注国内领先的 EEL、VCSEL 发射模组供应商如**炬光科技**、高功率半导体激光芯片国内龙头**长光华芯**、光纤激光器领先企业**光库科技**等。

光学扫描部件：光学扫描部件在激光雷达整体 BOM 成本占比仅次于主板及激光发射器。相关光学元器件对不同激光雷达技术路径的通用性较强，且激光雷达视窗、透镜、转镜、滤光片、准直镜等光学元器件国内产业链成熟，国内厂商相较国外具有明显的成本优势，与中游整机厂商合作并获得车企定点的光学元件供应商将受益明显。建议关注如**舜宇光学**、**永新光学**、**腾景科技**、**联创电子**等。
 - 2) **产业链中游整机厂商国内品牌凭借逐渐崛起，建议关注：**

激光雷达整机厂商主要以国外公司如 Velodyne、Luminar、Innovusion、Innoviz、Valeo、大陆集团为主，国内中游整机厂商的产品竞争力渐显。建议关注性价比较高、从机械式向半固态式激光雷达产品拓展的**禾赛科技**、**速腾聚创**、以及发展进程较快的**华为**、已获得主流商用车应用的**万集科技**等。
- **风险提示：**自动驾驶推进节奏不及预期、激光雷达技术路径收敛情况不及预期、激光雷达市场需求不及预期。

内容目录

1. 自动驾驶推高激光雷达关注度，量产元年迎拐点	6
1.1. 多传感器融合为 L3 级及以上自动驾驶感知层方案的未来发展趋势	6
1.2. 激光雷达应用领域不断迭代拓宽，自动驾驶市场关注度走高	8
1.3. 众多车企已实现 L3 级自动驾驶车辆的量产，全球自动驾驶加速渗透	9
2. 激光雷达市场规模空间广阔，格局分散下海外厂商暂占先发优势	10
3. 主流传感器产品众多，激光雷达综合性能优越	13
3.1. 激光雷达作为 L3 级自动驾驶的核心配件综合性能优越	13
3.2. 激光雷达技术路径众多，厂商竞争百花齐放	14
3.2.1. 扫描方式：半固态占主流地位，长期看好固态的商用落地	14
3.2.2. 测距方法：ToF 大规模商用，关注 FMCW 高潜测距技术	18
3.2.3. 激光发射：看好 EEL 向 VCSEL 发展，建议关注 PCSEL 发展态势	21
3.2.4. 激光探测：从 PD/APD 向 SPAD /SiPM 进发	23
3.2.5. 信息处理方式：主流方案为 FPGA，看好 SoC 的长期发展	25
4. 单价下探利好需求释放，上游国产品牌迎接发展机遇	26
4.1. 技术革新+行业需求增多，激光雷达单价不断下探有望迎来行业拐点	26
4.2. 海外龙头垄断上游芯片市场，收发及光学元件领域国产品牌崛起	28
5. 产业链上中游百家争鸣，小荷才露尖尖角	31
5.1. 炬光科技：领航国内高功率半导体激光器，激光雷达打开下游成长空间	31
5.2. 禾赛科技：主营机械式激光雷达，向车规级半固态激光雷达迈进	32
5.3. 速腾聚创：智能激光雷达系统科技龙头，量产车规级 MEMS 激光雷达迎接业绩释放	33
5.4. 长光华芯：半导体激光芯片龙头，纵横发展加速版图扩张	34
6. 投资建议	36
7. 风险提示	37

图表目录

图 1: SAE 自动驾驶分级	6
图 2: 智能驾驶的感知-决策-执行层架构	7
图 3: 特斯拉 Model 3 部署的汽车传感器位置图	8
图 4: 特斯拉 Model 3 自动驾驶传感器配置	8
图 6: 激光雷达发展历程	8
图 7: 国内自主车企 L3/L4 自动驾驶量产时间表	9
图 8: 分等级自动驾驶汽车渗透率情况	9
图 9: 全球激光雷达市场规模 (亿美元)	10
图 10: 2025 年激光雷达不同下游应用领域市场占比	10
图 11: 中国激光雷达市场规模 (亿美元)	11
图 12: 激光雷达市场规模测算	11
图 13: 全球激光雷达市场竞争格局 (按专利数量)	12
图 14: 2020 年中国激光雷达市场份额	12
图 15: 各车企搭载激光雷达的车型及详情	14
图 16: 机械式激光雷达结构图	15
图 17: 机械式激光雷达搭载效果图	15
图 18: MEMS 半固态激光雷达工作原理	16
图 19: Innoluce 采用 MEMS 微振镜式激光雷达设计方案	16
图 20: 转镜式激光雷达	16
图 21: 二维转镜激光雷达示意图	16
图 22: OPA 固态激光雷达	17
图 23: 光学相控阵原理	17
图 24: Flash 固态激光雷达	17
图 25: Flash 固态激光雷达工作原理	17
图 26: 三角测距法原理	19
图 27: 三角测距激光雷达	19
图 28: TOF 测距法直观图	19
图 29: 同距离不同物体回波信号不同	19
图 30: FMCW 激光雷达结构及实物图	20
图 31: FMCW 激光雷达原理图	20
图 32: 主要激光雷达厂商技术路径	21
图 33: 激光器对比图	22

图 34: 汽车激光雷达光电探测器发展趋势.....	24
图 35: SiPM/MPPC 结构原理图.....	24
图 36: 自动驾驶算法、芯片的发展路径.....	25
图 37: 激光雷达技术趋势: 从模拟、机械式到数字、固态化.....	26
图 38: 激光雷达技术趋势: 从硬件到软硬件融合.....	26
图 39: Velodyne VLP-16 激光雷达成本构成.....	28
图 40: 法雷奥 SCALA 1 转镜式激光雷达成本构成.....	28
图 41: 激光雷达产业链图谱.....	28
图 42: 炬光科技营收、净利润情况.....	31
图 43: 炬光科技毛利率、净利率情况.....	31
图 44: 公司产品与业务.....	31
图 45: 公司业务处于上游“卡脖子”位置, 并逐步向中游拓展.....	31
图 46: 禾赛科技营收、净利润情况.....	32
图 47: 禾赛科技毛利率、净利率情况.....	32
图 48: 长光华芯营收、净利润情况.....	35
图 49: 长光华芯毛利率、净利率情况.....	35
表 1: 主流传感器基本参数及优劣势对比.....	13
表 2: 各路径激光雷达特点总结.....	18
表 3: TOF 与 FMCW 测距法对比.....	20
表 4: 主要测距方法的特点.....	21
表 5: 半导体激光器优缺点对比.....	22
表 6: 905nm 和 1550nm 激光器主要性能比较.....	23
表 7: 针对 905nm 和 1550nm 探测器主要性能比较.....	23
表 8: SiPM/MPPC、SPAD、APD、PIN-PD 探测器参数对比.....	24
表 9: 激光雷达市场主要厂商核心产品情况.....	27
表 10: 禾赛科技产品信息.....	33
表 11: 速腾聚创产品信息.....	33

1. 自动驾驶推高激光雷达关注度，量产元年迎拐点

1.1. 多传感器融合为 L3 级及以上自动驾驶感知层方案的未来发展趋势

1) 自动驾驶主要分为 L0-L5 五个级别，L3 级以上提升对系统感知的要求。国际自动机械工程师学会（SAE）将自动驾驶分为 L0-L5 五个级别，其中系统在 L1-L3 级阶段主要起辅助作用。从 L2 级升至 L3 级，车辆的操作控制对象发生了主要变化，L2 级及以下仍旧由驾驶员负责环境的感知；L3 级及以上则由系统负责环境的感知和系统全部动态驾驶任务，驾驶员不需要一直对方向盘进行掌控，仅需在特殊情况发生时对系统提出的干预请求进行回应。当自动驾驶级别上升至 L4 级车辆驾驶便全由系统负责，L5 与 L4 的区别在于是在特定场景还是全场景的应用。

L0：完全人类驾驶。L1：辅助驾驶，增加了预警提示类的 ADAS 功能，包括车道偏离预警（LDW），前撞预警（FCW），盲点检测（BSD）等。L2：部分自动驾驶，具备了干预辅助类的 ADAS 功能，包括自适应巡航（ACC），紧急自动刹车（AEB），车道保持辅助（LKA）等。L3：有条件自动驾驶，具备了综合干预辅助类功能，包括自动加速、自动刹车、自动转向等。L4：高度自动驾驶，没有任何人类驾驶员，可以无方向盘、油门、刹车踏板，但限定区域（如园区、景区内），或限定环境条件（如雨雪天、夜晚不能开）。L5：完全自动驾驶，是真正的无人驾驶阶段，司机位置无人，也没有人的车内或车外的认知判别干预；无方向盘和油门、刹车踏板；全区域、全功能。

图 1：SAE 自动驾驶分级

SAE 分级	名称	定义	驾驶操控主体	感知接管	监控干预（行为责任主体）	道路、环境条件（气候、时间）
主要由驾驶员监测行车环境	L0	非自动化	需要驾驶者全权操作	驾驶员	驾驶员	任何
	L1	辅助驾驶	针对方向盘和加减速其中一项提供驾驶支持，其他由驾驶者操作	驾驶员和系统	驾驶员	限定场景
	L2	部分自动化	针对方向盘和加减速中多项提供驾驶支持，其他由驾驶者操作	系统	驾驶员	限定场景
主要由自动驾驶系统检测行车环境	L3	有条件自动化	由系统完成所有驾驶操作，根据系统请求，驾驶者提供适当操作	系统	系统	限定场景
	L4	高度自动化	在限定道路和环境中由系统完成所有驾驶操作	系统	系统	限定场景
	L5	完全自动化	在所有道路和环境中由系统完成所有驾驶操作	系统	系统	任何

资料来源：SAE 协会，艾瑞咨询，德邦研究所

2) 智能驾驶的上游主要分为感知-决策-执行层三个层级

自动驾驶可以分为感知层、决策层、执行层，其中感知器主要包括车辆运动、环境感知两大类。车辆运动传感器为车辆运行过程中相关速度、角度提供全姿态的信息参数和高精度的定位信息，环境感知传感器主要由激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达、摄像头等组成，将感知的数据融合提供给决策处理层，决策层通过中央处理系统、芯片、算法等将接收到的数据进行处理，最终输出相应的操作与指令任务给执行层，执行层则负责对此完成相应的动力供给、方向控制、车灯控制等动作。

图 2：智能驾驶的感知-决策-执行层架构



资料来源：艾瑞咨询，亿欧汽车，德邦研究所

3) 自动驾驶的传感器配置，业内主要有纯视觉路线和多传感器融合两大阵营

目前自动驾驶主要分为两派，一派走的是以特斯拉为代表的纯视觉路线，另一派走的是以激光雷达等多传感器融合为代表的路线。

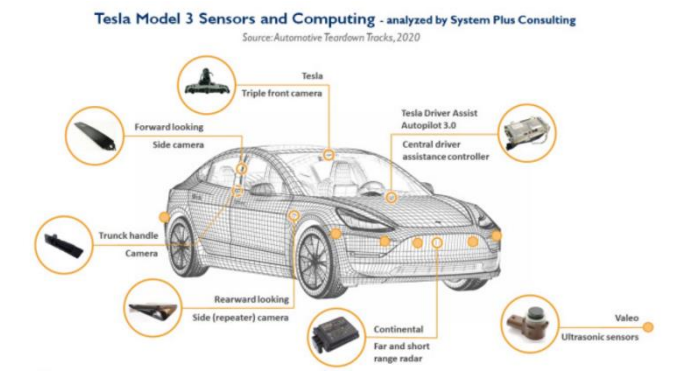
纯视觉路线以摄像头为主导，由于摄像头精确度较低，所以一般对于算法和计算能力的要求更高。特斯拉通过“D1 人工智能芯片+Dojo 超级计算机群+无监督学习算法”打造纯视觉路线的底层支撑，D1 芯片作为 Dojo 超级计算机系统的一部分，可以将摄像头内收集到的视频数据进行无监督学习算法的模型训练，减少人工标注的工作量。摄像头成本较低，但劣势在于摄像头在黑暗环境中精度有所下降，因此对数据样本库的容量和模型的精度要求较高。超声波雷达、毫米波雷达、激光雷达等雷达类测距传感器融合方案精确度更高，但是由于技术尚未完全成熟，量产的成本高昂。

激光雷达性能表现优越，在目标轮廓测量、角度测量、光照稳定性和通用障碍物检出等方面突出。激光雷达由激光发射机、光学接收机、转台和信息处理系统等组成，激光雷达是以激光为工作光束，并工作在红外和可见光波段的雷达。激光雷达通过激光器将电脉冲变成光脉冲发射出去，在探测目标的表面引起散射并由接收器将反射回来的光脉冲还原成电脉冲并送到显示器。根据激光测距原理（包括脉冲激光和相位激光）便可以瞬间测算出从激光雷达到目标点的距离，利用三维激光扫描技术不断扫描目标物获得空间点云数据，根据目标物体表面反射的能量大小、波谱幅度、频率和相位等信息可以最终建立结构精确复杂的三维立体图像。

我们认为以激光雷达等多传感器融合为代表的方案将随着技术的进步、成本

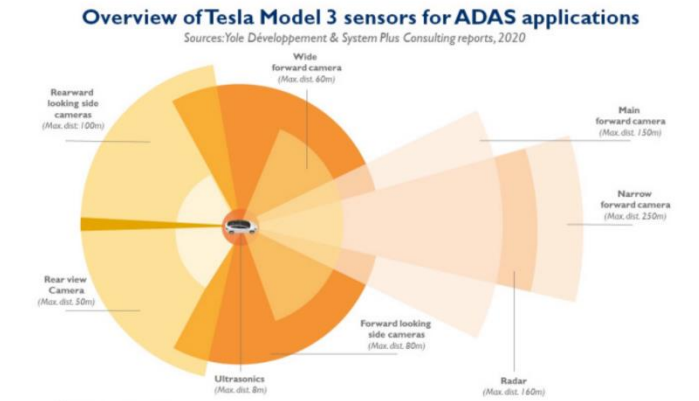
的不断下探，未来预计成为 L3/4 级及以上智能驾驶的核心配置。目前 L2 级及以下级别的自动驾驶使用的方案以视觉派为主，未来随着自动驾驶向 L3 级及以上迈进，自动驾驶系统将负责环境感知、系统决策等功能，若沿用纯视觉方案，摄像头摄取的图形数据量将过大，基于视觉的神经网络算法将对运算能力提出极高的要求。特斯拉 Model 3 采用的传感器为 "8 个摄像头 (3 个摄像头组成的前视摄像模组+1 个后视摄像头+2 个侧前视摄像头+2 个侧后视摄像头)+1 个毫米波雷达+12 个超声波传感器"，汽车大脑 FSD 计算机满足运算需求；采用多传感器融合的主流车企在激光雷达的配载上基本采用短程+中程+远程三种激光雷达，以及摄像头+毫米波+互补传感器来形成互补。

图 3：特斯拉 Model 3 部署的汽车传感器位置图



资料来源：Systemplus，德邦研究所

图 4：特斯拉 Model 3 自动驾驶传感器配置

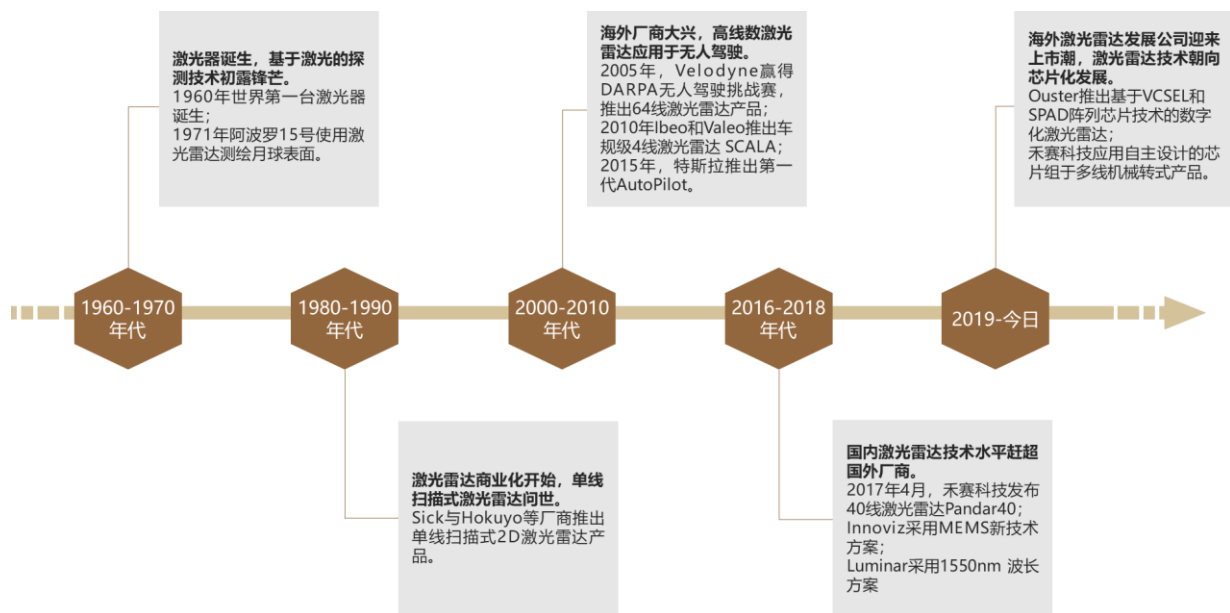


资料来源：Yole，Systemplus，德邦研究所

1.2. 激光雷达应用领域不断迭代拓宽，自动驾驶市场关注度走高

激光雷达发展历史悠久，从测绘领域不断拓展，下游应用场景丰富。1960 年代-1990 年代初期，激光器问世，早期广泛应用于探测领域的激光雷达价格高昂。2000 年代初期-2010 年代早期，海外激光雷达厂商崛起，高线数激光雷达应用于无人驾驶领域。2016 年-2018 年，海内外初创公司入局研究高线数激光雷达并取得突破者众多，此外激光雷达技术也从机械式逐渐创新扩展至半固态式或固态式，如半固态 MEMS 激光雷达、固态 OPA 激光雷达等，下游应用领域不断拓展至高级辅助驾驶和服务机器人领域，且已在下游应用中进行小范围商业试点。2019 年至今，激光雷达发展迅速，激光雷达技术朝向芯片化、阵列化发展，Ouster 推出基于 VCSEL 和 SPAD 阵列芯片技术的数字化激光雷达；调频连续波 (FMCW) 激光雷达技术方案开始受到市场关注，2020 年海外激光雷达市场迎来上市潮。

图 5：激光雷达发展历程



资料来源：禾赛招股书，德邦研究所

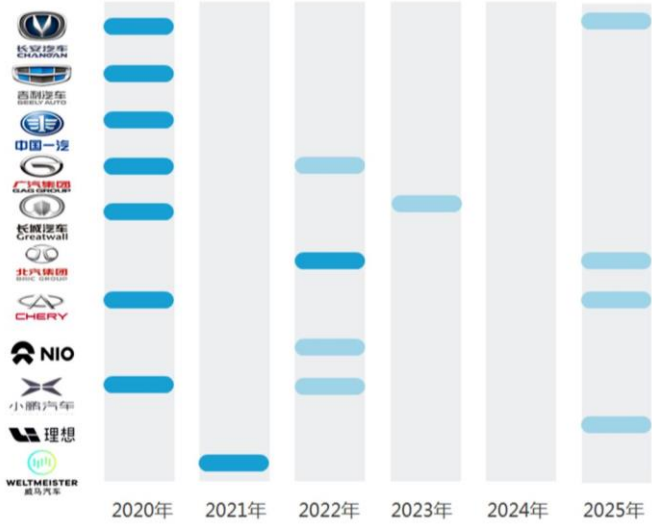
1.3. 众多车企已实现 L3 级自动驾驶车辆的量产，全球自动驾驶加速渗透

目前车企要实现 L4 级自动驾驶技术的量产主仍存在一些难点，L3 级自动驾驶量产成为近三年大部分国内自主车企的选择。目前要实现 L4 级自动驾驶技术的量产，主要有 **1) 安全**：传统车企经过漫长的时间发展已经在客户心中建立了较为成熟的品牌效应，历史基因决定其将安全放在首位，任何的安全事故都会对长久以来车企塑造的可靠品牌产生不可磨灭的影响。**2) 成本**：L4 级自动驾驶的产业链尚不成熟，且零部件成本高昂，短期内难以达到车企的量产条件。**3) 技术**：L4 级自动驾驶对于传感器要求更高，短期大多数车企无法一下子从 L2 级跨度到 L4 级。**4) 路权**：政府路权对于自动驾驶的发展的进程影响较大，L4 级自动驾驶短期较难投入使用。由于 L4 级自动驾驶技术对于科技互联网公司和自动驾驶全栈解决方案提供商而言，实现起来都有一定的难度，从国内自主车企 L3/L4 自动驾驶量产时间表规划来看，近三年是大多数国内自主车企的“L3 级自动驾驶量产年”。

全球自动驾驶渗透率将快速提升。根据前瞻产业研究院的预测，2020 年，L1、L2 级自动驾驶渗透率将达 40%；2025 年，20% 以上量产汽车有望实现不同级别的智能驾驶；至 2040 年，所有新车都将配备自动驾驶功能，其中 L4、L5 级自动驾驶渗透率将达 50%。

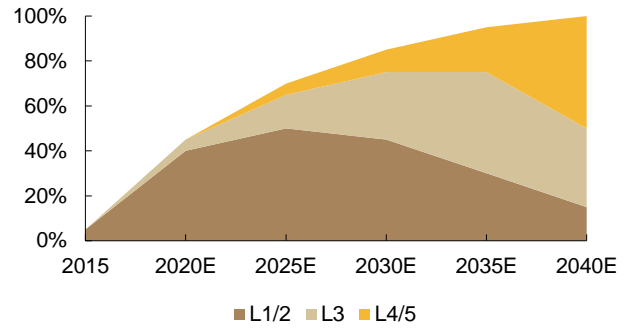
图 6：国内自主车企 L3/L4 自动驾驶量产时间表

图 7：分等级自动驾驶汽车渗透率情况



资料来源：亿欧，德邦研究所

注：L3级自动驾驶为深蓝色，L4级自动驾驶为浅蓝色



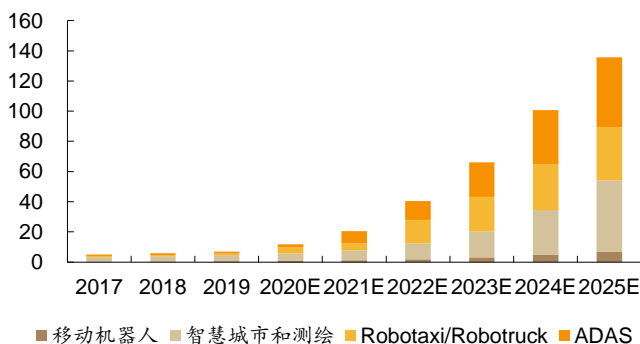
资料来源：前瞻产业研究院，德邦研究所

2. 激光雷达市场规模空间广阔，格局分散下海外厂商暂占先发优势

激光雷达高速发展，全球市场规模预计 2025 年达到 135 亿美元，其中智能驾驶市场规模约 46 亿美元。根据 Allied Market Research 预计，2026 年全球无人驾驶技术市场规模将达到 5567 亿美元，2019-2026 年期间 CAGR 达到 39.47%。据 Frost&Sullivan 预计，自动驾驶车辆增长、激光雷达在高级辅助驾驶中渗透率增加、服务型机器人及智能交通建设等领域需求增长，激光雷达市场预计将高速发展，预计 2025 年全球市场规模将达到 135.4 亿美元，2019-2025 年期间 CAGR 达到 64.5%。

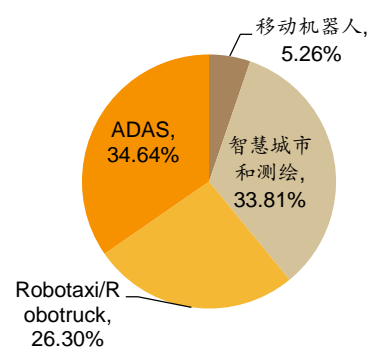
高级辅助驾驶、无人驾驶将成为激光雷达主要应用领域。按激光雷达下游应用市场分，主要有无人驾驶、高级辅助驾驶市场 (ADAS)、服务型机器人市场、智慧城市和测绘市场。据 Frost & Sullivan 预计，2019 年智慧城市及测绘作为激光雷达的主要应用市场占比约 60%，预计高级辅助驾驶、无人驾驶将高速发展，2025 年分别占激光雷达市场总规模的 34.64%、26.30%。

图 8：全球激光雷达市场规模 (亿美元)



资料来源：Frost & Sullivan，德邦研究所

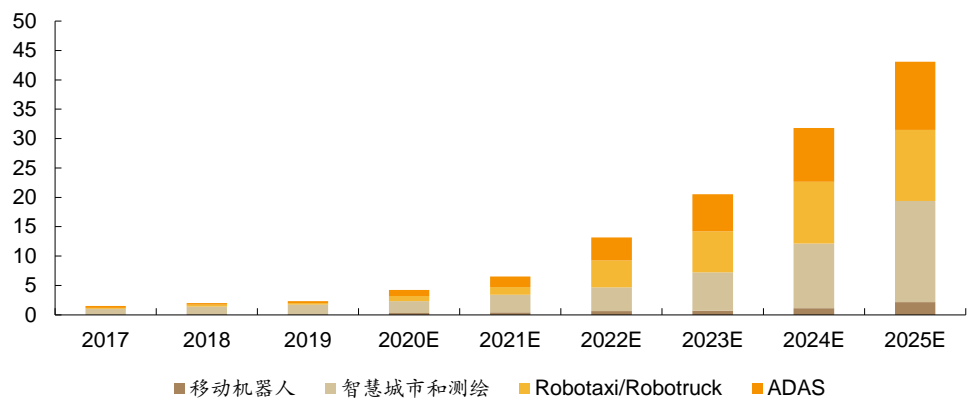
图 9：2025 年激光雷达不同下游应用领域市场占比



资料来源：Frost & Sullivan，德邦研究所

2025 年中国激光雷达市场规模将达到 43.1 亿美元，其中智能驾驶市场规模约 12 亿美元，下游应用领域多点开花。据 Frost & Sullivan 预计，中国激光雷达市场规模将于 2025 年达到 43.1 亿美元，2019-2025 年期间 CAGR 达到 63.1%，无人驾驶及高级辅助驾驶为主要组成部分。国内百度、滴滴、小马智行、文远知行等企业的无人驾驶出租车业务已经开始试运营，商业化推进后将进一步拉动激光雷达需求增长，据麦肯锡预计，2030 年中国自动驾驶乘用车数量将达到 800 万辆。中国作为全球最大的新车销售市场，根据 2020 年 11 月发布的《智能网联汽车技术路线图（2.0 版）》中规划，2030 年中国 L2、L3 级渗透率要超过 70%。“新基建”受到国家政策大力支持，计划总投资额高达 34 万亿元，其中多地出台重点项目投资“5G+车联网”的协同发展，且截至 2020 年，中国以约 800 个规划或流程中的智慧城市试点项目占全球智慧城市总数将近一半，这部分应用也将对激光雷达市场的增长产生较为稳定贡献。

图 10：中国激光雷达市场规模（亿美元）



资料来源：Frost & Sullivan，德邦研究所

随着 L3 级自动驾驶的不断落地，激光雷达也将在乘用车市场持续渗透。从单价趋势看，激光雷达技术不断迭代进步、未来商用大规模量产可期，我们预计激光雷达价格将由 2021 年的 1500 美元/颗下探至 2025 年的 400 美元/颗。从乘用车市场激光雷达的需求看，我们预计全球的需求量将由 2021 年的 19 万颗提升至 2025 年的 2704 万颗；国内的需求量预计由 2021 年的 10 万颗提升至 2025 年的 1399 万颗。根据我们测算，2025 年全球及中国车载市场激光雷达市场规模分别为 127 亿美元、65.8 亿美元左右，2021-2025 年 CAGR 分别为 147%、149%。

图 11：激光雷达市场规模测算

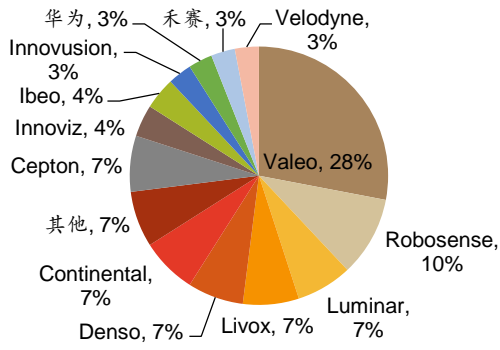
	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
相关假设						
新能源乘用车L3渗透率		3%	5%	7%	9%	10%
新能源乘用车L4&L5渗透率				1%	2%	3%
燃油乘用车L3渗透率			4%	6%	8%	9%
燃油乘用车L4&L5渗透率				0.5%	1.0%	2.5%
L3单车激光雷达搭载数量(个)		1	1	2	2.5	3
L4&L5单车激光雷达搭载数量(个)				4	4	4
激光雷达ASP(美元)	2000	1500	1200	900	600	400
激光雷达市场规模						
全球市场						
全球乘用车销量(万辆)	5360	6368	6623	6821	6958	7097
全球乘用车销量YoY		19%	4%	3%	2%	2%
全球新能源乘用车销量(万辆)	286	650	795	1023	1252	1561
全球新能源乘用车销量YoY		127%	22%	29%	22%	25%
全球新能源乘用车渗透率	5%	10%	12%	15%	18%	22%
全球燃油乘用车销量(万辆)	5074	5718	5828	5798	5705	5536
全球新能源乘用车市场激光雷达需求量(万颗)		19	40	184	357	656
全球燃油乘用车市场激光雷达需求量(万颗)			233	812	1369	2048
全球乘用车整体激光雷达需求量(万颗)		19	273	996	1726	2704
全球乘用车激光雷达市场规模(亿美元)		2.9	32.7	89.6	103.6	108.2
全球车载激光雷达市场规模(亿美元)		3.4	38.5	105.5	121.9	127.2
全球车载激光雷达市场规模YoY			1020%	174%	16%	4%
2021-2025年全球车载激光雷达市场规模CAGR						147%
中国市场						
中国乘用车销量(万辆)	2018	2148	2470	2816	3182	3564
中国乘用车销量YoY		6%	15%	14%	13%	12%
中国新能源乘用车销量(万辆)	125	322	494	789	1146	1604
中国新能源乘用车销量YoY		159%	53%	60%	45%	40%
中国新能源乘用车渗透率	6%	15%	20%	28%	36%	45%
中国燃油乘用车销量(万辆)	1893	1826	1976	2028	2037	1960
中国新能源乘用车市场激光雷达需求量(万颗)		10	25	142	327	674
中国燃油乘用车市场激光雷达需求量(万颗)		0	79	284	489	725
中国乘用车整体激光雷达需求量(万颗)		10	104	426	815	1399
中国乘用车激光雷达市场规模(亿美元)		1.5	12.5	38.3	48.9	56.0
中国车载激光雷达市场规模(亿美元)		1.7	14.6	45.1	57.6	65.8
中国车载激光雷达市场规模YoY			759%	208%	28%	14%
2021-2025年中国车载激光雷达市场规模CAGR						149%

资料来源：中汽协，乘联会，EVTank，智研咨询，汽车之家，Roland Berger，前瞻产业研究院，德邦研究所测算

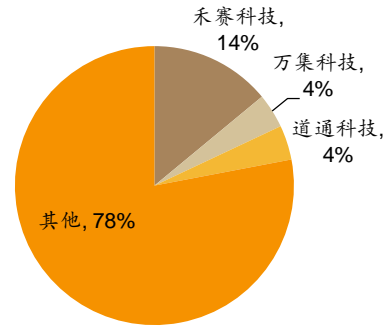
全球激光雷达竞争格局分散，海外厂商具有明显领先优势。法国 Tier 1 公司 Valeo（法雷奥）作为全球首个发布车规级激光雷达 Valeo SCALA 并实现量产的厂商，目前全球 ADAS 领域激光雷达的销售主要仍由 SCALA 贡献。根据 Yole 的数据，Valeo 以 8 项专利数量取得市占率 28% 居于全球首位，此外，中国速腾聚创、大疆、图达通、华为、禾赛等国内头部玩家也均有所突破。从目前中国激光雷达行业市场竞争情况看，禾赛科技占有 14% 的市场份额，万集科技与道通科技各 4%。

图 12：全球激光雷达市场竞争格局（按专利数量）

图 13：2020 年中国激光雷达市场份额



资料来源: Yole, 德邦研究所



资料来源: Frost&Sullivan, 德邦研究所

3. 主流传感器产品众多, 激光雷达综合性能优越

3.1. 激光雷达作为 L3 级自动驾驶的核心配件综合性能优越

各个传感器都有其优劣势, 适用于不同的应用场景, 激光雷达作为 L3 级自动驾驶的核心配件综合性能优越。主流的自动驾驶环境监测传感器主要包括摄像头、毫米波雷达、超声波雷达与激光雷达。激光雷达的通过建立三维点云图, 可以实时进行环境感知, 探测精度也更优越。同属于光学传感器的摄像头和激光雷达在大雨雪雾等极端天气受影响大, 但在清晰的环境下, 激光雷达在白天和黑夜中等距离 (150 米左右) 的探测精度要超过毫米波雷达。

表 1: 主流传感器基本参数及优劣势对比

参数	摄像头	超声波雷达	毫米波雷达	激光雷达
原理	1) 图像处理, 将图片转换为二维数据; 2) 模式识别, 通过图像匹配进行识别, 如车辆、行人、车道线、交通标志等; 3) 利用物体的运动模式, 或双目定位, 估算目标物体与本车的相对距离和相对速度	释放超声波, 当遇到障碍物时, 超声波反射, 从而获取障碍物的具体距离	把无线电波 (雷达波) 发出去, 然后接收回波, 利用障碍物反射波的时间差确定障碍物距离, 利用反射波的频率偏移确定相对速度	通过发射信号和反射信号的对比, 构建出点云图, 从而实现诸如目标距离、方位、速度、姿态、形状等信息的探测和识别
波长	可见光: 390-770nm 红外光: 1mm-760nm	40KHz: 8.5mm 58KHz: 5.9mm	频率范围 10GHz—200GHz (24GHz (125mm)、77GHz (39mm) 为民用主流), 波长 1-10mm;	905nm、1550nm
探测距离	跟像素有关, 0-150m	跟功率/频率有关, 0-3m	跟频率有关系, 0-250m	跟波长/功率有关, 0-300m
探测精度	是唯一能够清楚分辨和识别道路目标的传感器, 在复杂的运动路况环境下都能保证采集到稳定的数据	在 0.1-3 米之间时精度较高	79GHz-81GHz 频段毫米波雷达的精度可以达到 5cm	精度高, 能做车道线检测。激光直线传播、方向性好、光束非常窄, 弥散性非常低, 因此激光雷达的精度很高
数据类型	图像	位置、速度	位置、速度	位置、速度、形状
成本 (美元/件)	高清摄像头 60-150	10-20	24GHz: 50-100 77GHz: 120-150	1000-20000
应用场景	车道偏离预警、前向碰撞预警、交通标志识别、车道保持辅助、行人碰撞预警、全景泊车、驾驶员疲劳预警	自动泊车或者倒车辅助	盲点监测, 车道偏离预警, 车道保持, 自适应巡航, 自动紧急刹车, 前向碰撞预警	自动驾驶 ≥ L3
优势	(1) 性能强大, 能准确识别各类目标信息 (2) 配合高性能信号处理硬件, 能实现对目标的实时监测	(1) 雷达结构简单模块小巧且易于实现 (2) 超声波雷达数据处理算法清晰易于系统开发	(1) 抗干扰能力强, 毫米波穿透雾、烟、灰尘的能力强, 受雨、雪天气影响小 (2) 毫米波雷达不仅可以测距, 还能测速、测角, 甚至能根据目标信	(1) 波长短, 测量精度高 (2) 多线束的探测, 可以实现对场景的三维成像

劣势	(1) 受视角影响较大, 无法做到全方位检测	(1) 超声波雷达的作用距离近, 其作用范围几厘米到几米之间	(1) 精确度是硬伤, 多重波段并存的行车环境中探测能力大大减弱, 且无法感知行人、道路指示等	(1) 抗干扰能力低, 易受自然光或热辐射影响, 在雨雪雾等天气的作用下, 激光雷达使用受限
	(2) 受天气影响较大, 极端环境下无法工作	(2) 超声波雷达测量精度低, 无法探测细小目标	(2) 信号处理算法也较为复杂	(2) 激光发射、被测目标表面粗糙等因素都对测量精度有影响
	(3) 对硬件性能要求过高, 由于要实时处理海量图片信息, 因此需要配合高性能计算硬件, 整体车载系统成本上升			(3) 结构复杂, 成本高昂。除激光器本身, 还必须添加精密伺服机构, 实现对探测空域机械扫描

资料来源: 电子工程, 与非网, 车云、高工智能汽车, OFweek, 德邦研究所

从目前多融合传感器派系厂商的车企技术规划来看, 激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达等多传感器、多路线融合使用的方案占据主流。衡量自动驾驶传感器性能的十个特征: 近地探测、探测距离、分辨率、夜间工作能力、日间工作能力, 雪/雾/雨工作能力、色彩对比度、探测速度、传感器大小、传感器成本。特斯拉的传感器采用视觉为主, 超声波雷达为辅的解决方案: 一辆 Model 3 上, 共有 8 个摄像头, 1 个毫米波雷达, 12 个超声波雷达, 多种传感器组合特征值变现较高。从近两年主流新势力车企、自主品牌、外资/合资车企规划交付车型的传感器搭载方案看, 激光雷达作为实现 L3 级及以上自动驾驶的核心配置必不可少, 多传感器、多路线融合的方案可以助力自动驾驶实现性能的多维提升。

图 14: 各车企搭载激光雷达的车型及详情

激光雷达供应商	车企	车型	激光雷达产品	激光雷达光束操纵方式	传感器配置数量 (个)			
					激光雷达	摄像头	超声波雷达	毫米波雷达
Innovusion	蔚来	ET7	Falcon	半固态-振镜+转镜	1	11	12	5
Innovusion	蔚来	ET5	Falcon	半固态-振镜+转镜	1	11	12	5
Innoviz	宝马	宝马 iX	InnovizOne	半固态-MEMS	1	10	12	5
大疆Livox	小鹏	P5 (550P、600P 车型)	浩界HAP	半固态-棱镜	2	13	12	5
速腾聚创	小鹏	G9	RS-LiDAR-M1	半固态-MEMS	2	/	/	/
速腾聚创	威马	M7	RS-LiDAR-M1	半固态-MEMS	3	7	/	/
速腾聚创	广汽埃安	Aion LX Plus	RS-LiDAR-M1	半固态-MEMS	3	12	12	6
速腾聚创	上汽	智己L7	RS-LiDAR-M1	半固态-MEMS	1~3	12	5	12
速腾聚创	Lucid	Air	RS-LiDAR-M1	半固态-MEMS	1	14	12	5
禾赛科技	理想	理想L9	AT128	半固态-转镜	1	12	12	5
禾赛科技	高合	HiPhi Z	AT128	半固态-转镜	1	7	/	5
禾赛科技	集度	/	AT128	半固态-转镜	/	/	/	/
华为	哪吒	哪吒S	96线	半固态-转镜	3	18	12	5
华为	长城	机甲龙	96线	半固态-转镜	4	11	12	5
华为	长安	阿维塔E11	96线	半固态-转镜	3	13	12	6
华为	北汽	极狐阿尔法S 全新HI版	96线	半固态-转镜	3	13	12	6
IBEO	长城	WEY摩卡	ibeoNEXT	固态-Flash	3	7	12	5
IBEO	长城	WEY摩卡	ibeoNEXT	固态-Flash	3	7	12	5
Luminar	上汽	飞凡R7	Iris	半固态-振镜+转镜	1	/	/	2 (4D)
法雷奥	奔驰(进口)	新款S级	Scala 2	半固态-转镜	1	/	/	/
法雷奥	本田	Legend Hybrid EX	Scala 2	半固态-转镜	5	2	12	5
大陆	丰田	雷克萨斯新款LS	HFL110	固态-Flash	3	/	/	/
大陆	丰田	新款Mirai	HFL110	固态-Flash	3	/	/	/
大陆	丰田	“赛那 SIENNA” Autono-MaaS	/	固态	4	11	/	5
Velodyne	福特	Otosan	Velarray H800	共振镜	/	/	/	/
Aeva	大众	奥迪e-tron	Aeries	FMCW测距	1	6	/	5
Aeva	大众	大众ID BUZZ	Aeries	FMCW测距	6	14	/	/

资料来源: 盖世汽车, 汽车之家, 太平洋汽车, 前瞻产业研究院, 传感器专家网, 高工智能汽车, 集微咨询, 各车企官网, 德邦研究所

3.2. 激光雷达技术路径众多, 厂商竞争百花齐放

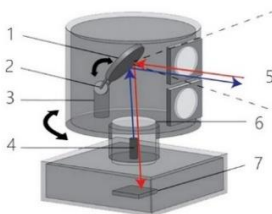
3.2.1. 扫描方式: 半固态占主流地位, 长期看好固态的商用落地

按扫描方式分, 主要有机械式、半固态式 (包括 MEMS、棱镜、转镜等)、固

态式（主要是 OPA、Flash 两种方案）三种路径。

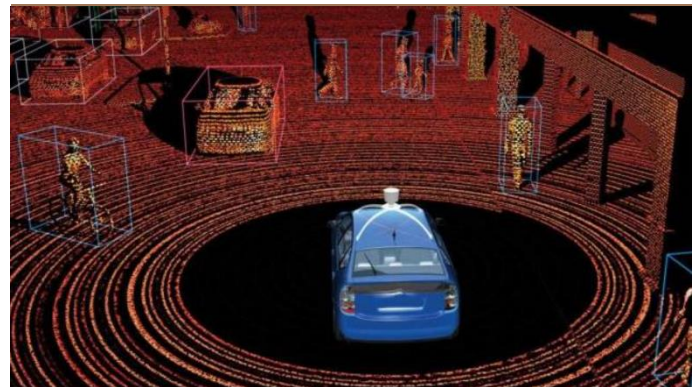
机械式激光雷达体积大、成本高，主要用于 Robotaxi 等领域。机械式激光雷达在垂直方向上布局了多组的激光线束，发射和接收模块需要 360 度旋转进行激光线的发射和扫描，因此体积更大，价格也更加昂贵。机械式激光雷达价格普遍较高。目前 Velodyne 的 64 线式产品价格约 8 万美元，16 线式产品价格为 4000 美元；禾赛科技的机械式激光雷达均价约 10 万元人民币。由于机械式激光雷达排列了多组激光发射模组，可以做到 128 线/64 线/32 线/16 线/8 线 4 线多种线别的激光雷达，线别越高通常性能高、价格更高；但机械式激光雷达的主要缺点是多组激光发射模组导致的体积庞大难以满足车规级的严苛要求，且通过增加收发模块的数量实现高线束，相应的元器件成本也更高，此外分立的收发组件设计导致生产过程中需要进行人工光路对准，装配复杂、可量产性差。目前机械式激光雷达主要应用于无人驾驶车辆上。目前机械式激光雷达海外市场的主要玩家有 Velydone、Ouster，国内玩家主要有禾赛科技、速腾聚创。

图 15：机械式激光雷达结构图



资料来源：汽车之家，德邦研究所

图 16：机械式激光雷达搭载效果图



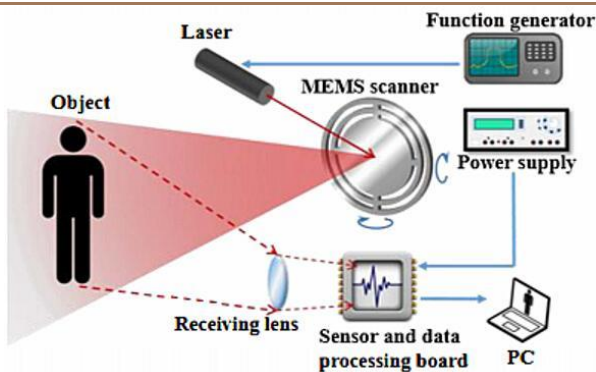
资料来源：Cruise 官网，德邦研究所

半固态激光雷达相比机械式激光雷达成本更低，且易过车规。半固态激光雷达的激光器、探测器保持静止，不再进行机械旋转，并采用“微动”器件来替代机械式的扫描器，旋转幅度只能做到 120° 的水平扫描视野。从 2022 年即将量产的配载激光雷达的车中，绝大多数搭载的激光雷达均为半固态式，单颗价格大部分也下探到 1000 美元以内。目前，半固态式激光雷达主要技术路线分为转镜式和 MEMS 微振镜式两种，其中转镜式半固态方案更加成熟。

MEMS 式激光雷达作为机械式激光雷达的革新形态出现，引领激光雷达体积缩小、成本减少。MEMS 激光雷达通过 MEMS 微振镜来操纵激光束的偏转，可以替代原来宏观的机械式旋转的部分，具有一定的半导体集成性，通过激光发射、接收器的大幅度减少可以降低 MEMS 激光雷达的成本。并且，通过微振镜反射激光形成较广的扫描角度和较大的扫描范围，可以形成更多点云，能够克服机械式激光雷达在寿命和良品率的不足。根据麦姆斯咨询估算，机械式激光雷达的每组芯片成本约 200 美元，仅 16 组的芯片成本就高达 3200 美元。采用 MEMS 微振镜设计方案的激光雷达将各种分立芯片集成设计到激光雷达控制芯片组，从而大幅降低激光雷达的成本，如 Innoluce 曾发布一款 MEMS 激光雷达设计方案可以将激光雷达的成本控制在 200 美元以内。**MEMS 方案目前在激光雷达市场应用较为广泛**。全球范围内，MEMS 路径代表公司为 Luminar、Innoviz、速腾聚创。其

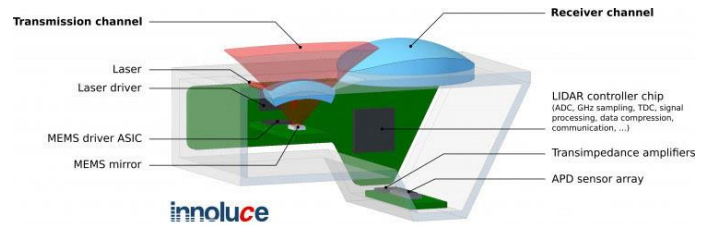
中 Luminar 主要有 Iria 和 Hydra 两款产品，Ira 预计 2022 年量产；Innoviz 已经与宝马达成合作；速腾聚创作为全球销量最大的机械式激光雷达企业之一，在 MEMS 激光雷达上也是最早布局研发并且领先的企业之一。

图 17: MEMS 半固态激光雷达工作原理



资料来源: EDN China, 德邦研究所

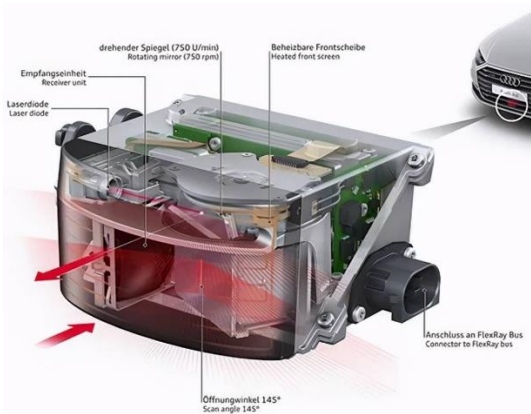
图 18: Innoluce 采用 MEMS 微振镜式激光雷达设计方案



资料来源: Innoluce 官网, EDN China, 德邦研究所

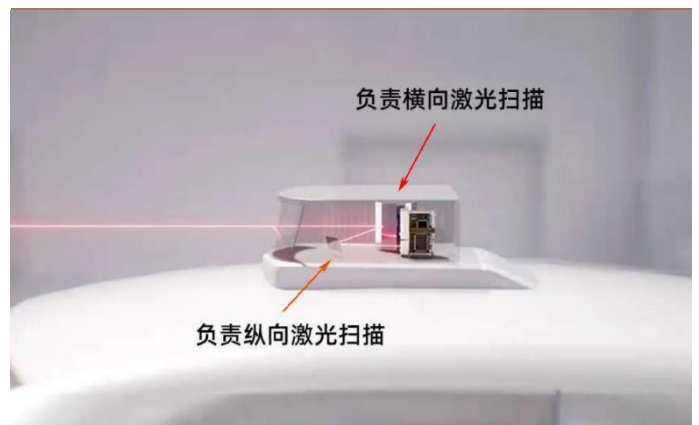
转镜式激光雷达最早通过车规，目前应用广泛。转镜式激光雷达保持收发模块静止，通过电机带动转镜运动将光束反射至一定范围并实现扫描探测，技术层面与机械式激光雷达类似。且与 MEMS 微振镜平动和扭转方式不同，转镜通过反射镜面围绕圆心不断旋转，因此在功耗、散热等方面优势更为明显。法雷奥推出的全球首款车规级激光雷达就采用了转镜形式。虽然转镜式激光雷达的可靠性比机械式激光雷达高，但由于机械部件仍较多、体积上相对较大，在实际应用中由于旋转产生的机械摩擦在长期之下还是会影 响使用的精度，因此转镜式激光雷达也将主要作为一种过渡方案。2017 年投产的转镜式的 Valeo SCALA 最早通过车规级验证并实现大规模量产。

图 19: 转镜式激光雷达



资料来源: 汽车之心, 德邦研究所

图 20: 二维转镜激光雷达示意图



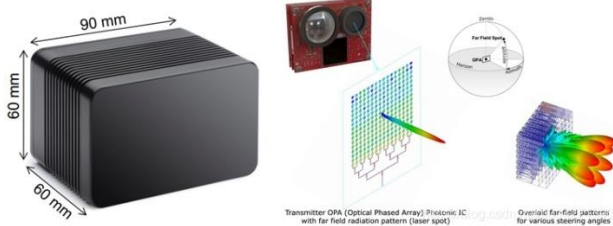
资料来源: 电动生活, 德邦研究所

固态激光雷达通过半导体工艺把激光雷达一些核心部件集成在芯片上，体积相对机械式更小。目前固态激光雷达主要有光学相控阵 OPA 和 Flash 两种。固态激光雷达在结构上取消了机械旋转部件，因此相较于机械式激光雷达而言体积更小。

OPA 激光雷达技术尚未成熟，商业化进程仍需一定时间。OPA (Optical

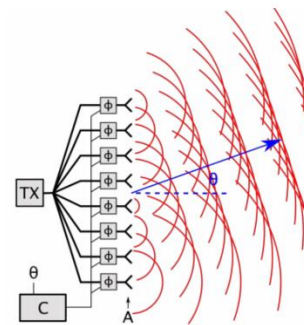
Phased Array, 光学相控阵技术) 取消了机械结构, 将激光控制集成在一块 OPA 芯片, 具有结构简单、体积小、扫描速度快的优点, 耐久度上表现更加出色, 光束控制简单, 可以动态控制扫描频率、分辨率和焦距调整, 通过多线多维扫描可以获得更高的数据采集率。但另一方面, 采用 OPA 技术路线的企业需要自主研发芯片, 目前硅光方案耦合损耗较大, 相位调制设计方案尚不成熟, 仍处于早期研发阶段。目前相对成熟的 OPA 方案为液晶相控阵方案, 但也有响应速度过慢等缺点, 不适合车载使用。且由于 OPA 激光雷达要求阵列单元的尺寸不能大于半个波长, 所以每个器件尺寸只有约 500nm, 材料、工艺要求极高之下成本也一直处于高位, 目前较少专注于 OPA 激光雷达开发的厂商。Quanergy 为纯固态 OPA 方案的代表厂商, 其 S3 系列是业内首款基于 OPA 技术的激光雷达。

图 21: OPA 固态激光雷达



资料来源: Quanergy 官网, 汽车之家, 德邦研究所

图 22: 光学相控阵原理



资料来源: 汽车之家, 德邦研究所

Flash 激光雷达是目前纯固态激光雷达的主流技术方案, 数据获取快, 但探测精度、距离有所打折扣。Flash 激光雷达工作原理类似数字照相机, 主要是利用单个激光器通过光扩散器在短时间直接发射出一大片覆盖探测区域的激光, 照射到探测物体的反射光通过光学透镜反馈于高度灵敏的面阵光电传感器, 通过记录激光返回时间等信息可以计算被探测物体的深度、位置等信息, 减少了扫描过程中探测目标移动而带来的问题。Flash 激光雷达对抗震要求极高, 同时由于探测距离较短, 需要采用大功率激光 (有人眼安全隐患) 或者高灵敏度探测器 (成本较高), 需要对光源能量、发射方式进行创新。受限于探测精度和探测距离, 目前 Flash 激光雷达主要应用于较低速的无人驾驶场景, 如无人外卖车、无人物流车等。Flash 激光代表厂商有 LeddarTech、Sense Photonics、德国大陆、IBEO、北醒光子、Xenomatix、Ouster 等。

图 23: Flash 固态激光雷达

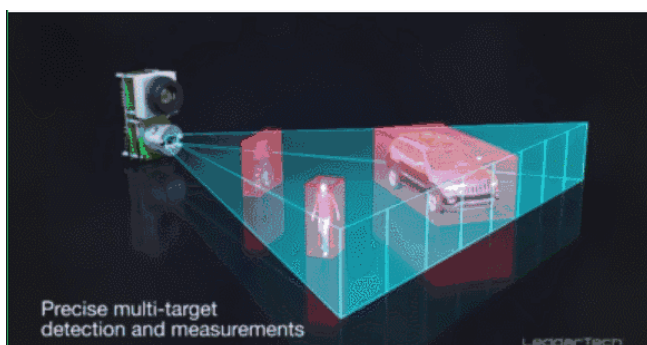
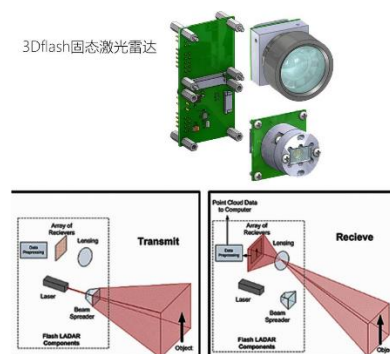


图 24: Flash 固态激光雷达工作原理



资料来源：Leddar Tech, 德邦研究所

资料来源：汽车之家, 德邦研究所

技术路径众多，海内外厂商百家争鸣。从不同的技术路径布局看，目前机械式激光雷达的玩家主要有 Velodyne、Ouster、禾赛、速腾等。混合固态激光雷达的玩家主要有基于 MEMS 的速腾、Innoviz，基于转镜式的大疆 Livox、法雷奥、Luminar 等。纯固态激光雷达玩家有 Quanergy、Ibeo 等。

趋势判断：MEMS 方案是目前中期的主流选择，纯固态式激光雷达随着商业化落地有望成为未来的发展趋势。机械式激光雷达具有扫描速度快，接受视场小，抗光干扰能力强，信噪比高等优势，缺点在于价格昂贵，光路调试、装配复杂、生产周期漫长、行车环境下可靠性不高。机械式激光雷达价格高昂，MEMS 方案可以大幅降低成本和体积。目前 MEMS 类半固态激光雷达是市场的最主流方案，相对于纯固态方案更容易实现，搭载车型众多，仍将成为中期的主流选择。纯固态式激光雷达具有扫描速度快、精度高、可控性好、体积小等特点，但纯固态激光雷达技术并没有完全成熟，未来有望迎来商业落地并成为激光雷达的发展趋势。

表 2：各路径激光雷达特点总结

扫描方式	细分	原理	优点	缺点	代表厂商	是否过车规
机械式	/	垂直方向上布局了多组激光束，发射和接收模块需 360° 旋转进行发射和扫描	线别丰富，目前已有 4-64 线多种价格层次；技术成熟性能高，可实现 360° 扫描	体积大、成本高、稳定性差、可量产性差且难以满足车规级的严苛要求	海外：Velydone、Ouster；国内：禾赛科技、速腾聚创、大疆 Livox	否，仅限于自动驾驶研发测试
半固态式	MEMS	通过 MEMS 微振镜来操纵激光束的偏转，替代原来机械式旋转的部分；激光发射、接收器的大幅度减少；通过微振镜反射激光形成较广的扫描角度和较大的扫描范围，可以形成更多点云	具有半导体集成性，元器件大幅减少使体积缩小、成本降低；寿命和良品率较机械式有所提升；易过车规	只能做到 120° 的水平扫描视野	海外：Luminar、Innoviz；国内：速腾聚创、镭神智能	是
	棱镜	PLD 发射激光，变成平行光后经旋转的棱镜改变光路，使激光从某角度发射出去，打到物体上反射后从原光路返回，被 APD 接收	降低了对焦与标定复杂度，生产效率得以大幅提升、成本较机械式大幅下降且符合车规；可靠性更高、探测距离远；	结构复杂、体积难控制，轴承与衬套磨损风险较大；存在雷达启动短时间内分辨率过低的问题	国内：大疆 Livox	是
	转镜	保持收发模块静止，通过电机带动转镜运动将光束反射至一定范围并实现扫描探测，技术层面与机械式类似	最早通过车规，目前应用广泛；可靠性比机械式高	机械部件较多、体积上相对较大，机械摩擦长期仍会影响使用精度，更多视作为一种过渡方案	海外：Innovusion、法雷奥；国内：禾赛科技、华为	是
固态式	OPA	取消了机械结构，将激光控制集成在一块 OPA（光学相控阵技术）芯片	结构简单、体积小、扫描速度快；光束控制简单，可以动态控制扫描频率、分辨率和焦距调整，通过多线多维扫描可以获得更高的数据采集率	企业需要自主研发芯片，技术尚未成熟，仍处于早期研发阶段；目前相对成熟液晶相控阵方案也有响应速度过慢等缺点，不适合车载使用	海外：Innovusion、法雷奥；国内：禾赛科技、华为	否，尚未成熟
	Flash	目前纯固态激光雷达的主流技术方案；原理类似数字照相机，主要是利用单个激光器在短时间发射出覆盖探测区域的激光，照射到探测物的反射光通过光学透镜反馈于光电传感器，通过记录激光返回时间计算被探测物体的深度、位置等信息	核心部件集成在芯片上，体积小；减少扫描过程中探测目标移动带来的问题	对抗震要求极高；同时由于探测距离较短，需要采用有人眼安全隐患的大功率激光或成本较高的高灵敏度探测器，需对光源能量、发射方式进行创新	海外：德国大陆、IBEO；国内：北醒光子、北科天绘	否，尚未成熟

资料来源：电子工程，电动生活，德邦研究所

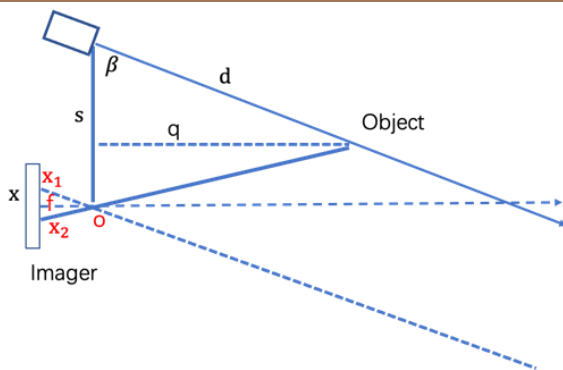
3.2.2. 测距方法：ToF 大规模商用，关注 FMCW 高潜测距技术

按测距方法的主要分类有：飞行时间（Time of Flight, ToF）测距法、基于相干探测 FMCW 测距法、三角测距法。

三角测距法的原理是通过激光雷达发射器发射激光，经过物体 Object 反射回来后被图像传感器 CMOS（图中 Imager）捕捉。通过焦点 O 作一条辅助线平行于入射光线，交 Imager 于 X_1 。通过相似三角形相关原理，有 $q/f=s/x$ ，且入射角 β 已知，有 $\sin \beta =q/d$ ，两方程联立可计算得探测距离 $d=sf/x\sin \beta$ 。

三角测距雷达在成本上低于 TOF 雷达，但使用过程中远距离的测量精度受限。因三角测距法方案成熟，可以通过批量生产将成本降到很低的水平，近距离的三角测距雷达成本已经在百元级别，相比之下进口 TOF 雷达的售价动辄在万元以上。三角测距雷达在实际使用时并不稳定，在工业领域的应用中会受到很大限制。根据三角测距公式，随着距离 d 的增加， β 角度下的三角函数精度减弱，因此三角测距法对于远距离测量精度较差。

图 25：三角测距法原理



资料来源：EEPW，德邦研究所

图 26：三角测距激光雷达



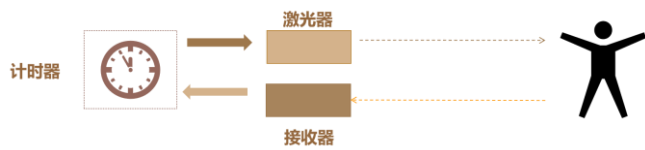
资料来源：EAI 科技官网，德邦研究所

TOF（Time of flight）原理能够克服三角测距法的测量距离限制，并且提高了精度。 TOF 测距原理的核心是利用光速测距，首先激光发射器对探测物体发射激光脉冲，计时器记录发射时间；脉冲经物体反射后由接收器接受，计时器记录接受时间，通过时间差乘以光速即得到距离的两倍。

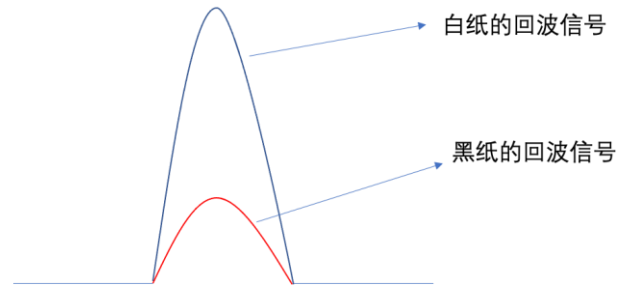
TOF 测距法原理简单，但是实际应用中需要克服一些难点。 1) **计时问题：**由于 ToF 利用光速测距，光速非常快所以测量时间非常短，对计时器的精确度要求非常高。2) **脉冲问题：**a) **发射器端，**需要发射高质量的脉冲激光，对于出射光脉宽要求在几纳秒左右，对上升沿的要求越快越好；b) **接收器端，**需要尽可能保持信号不失真。在进行回波信号处理时，要尽量保证信号不失真；即使信号没有失真，对于同一距离的不同物体测距时前沿也会有所变动，从而得到不同的回波信号，如下图的黑白纸，时间测量系统必须测出下图同一距离下的黑白纸的前沿是同一时刻的，因此需要特殊的处理。

图 27：TOF 测距法直观图

图 28：同距离不同物体回波信号不同



资料来源：EEPW，德邦研究所

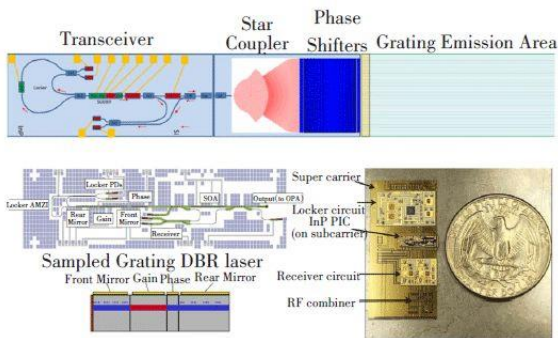


资料来源：EEPW，德邦研究所

FMCW 测距法比 TOF 抗干扰能力更强，但技术门槛、价格高，目前尚未量产。 FMCW 属于相干测量方式，主要通过发送和接收连续激光束，把回光和本地光做干涉，并利用混频探测技术来测量发送和接收的频率差异，再通过频率差换算出目标物的距离。

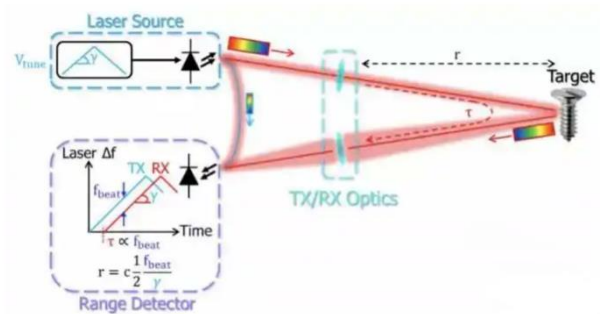
FMCW 测速能力及灵敏度较强，且抗干扰能力强。 ToF 使用时间来测量距离，容易受环境光干扰；而 FMCW 使用频率来测量距离，具有探测距离远，抗干扰能力强，功耗低等特点。据高工智能产业研究院，FMCW 的灵敏度超 ToF 十倍，功耗比 TOF 低 1000 倍。FMCW 技术门槛高，探测距离远带来的高损耗，对系统集成、信号处理要求很高，因此价格也比 TOF 雷达更高，目前尚未量产。

图 29：FMCW 激光雷达结构及实物图



资料来源：期刊《光电技术应用》2019 年第 1 期，德邦研究所

图 30：FMCW 激光雷达原理图



资料来源：汽车之心，德邦研究所

表 3：TOF 与 FMCW 测距法对比

技术性能	FMCW	TOF
探测体制	相干探测	直接探测
抗干扰能力	极强	差
有效探测所需光子数	~10	~1000
工作距离（人眼安全受限）	超过车载指标需求	不满足车载指标需求
人眼安全等级	高	低
精确速度信息	有	无
固态扫描兼容性	完全兼容	不适用
毫米波雷达兼容性	兼容	不兼容
技术成熟度	发展中	成熟

技术复杂度	复杂	简单
硅光集成制造工艺	适用	适用

资料来源：Ofweek，德邦研究所

TOF 的应用则更为广泛，目前是激光雷达厂商的主流测距方案。三角测距雷达远距离测量精度受影响，使用场景受限，目前主要应用于室内短距离测距，最典型的场景为扫地机器人。而在探测范围较大场景（比如商场、机场或者车站），以及室外场景，由于易受环境光干扰，且裸露在外转动的方案使其在防尘防水方面非常脆弱，在一些特殊场景的应用如 AVG 小车工作的车间经常会有很多灰尘，三角雷达的电机非常容易损坏。相比之下，TOF 雷达采用半固态设计，防护效果更优秀，工作寿命也更长。ToF 是目前市场车载中长距激光雷达的主流方案，FMCW 理论优势明显，预计未来随着 FMCW 激光雷达整机和上游产业链不断成熟，FMCW 激光雷达将和 ToF 激光雷达在市场上并存。

表 4：主要测距方法的特点

测距方法	主要特点
ToF 法	传感器发出经调制的近红外光，遇物体后反射，传感器通过计算光线发射和反射时间差或相位差，来换算被拍摄景物的距离。ToF 技术发展成熟，响应速度快、探测精度高。
FMCW 法	发射波为高频连续波，其频率随时间按照三角波规律变化。可通过发出恒定的激光光流，并定期改变光的调频，达到对物体位置与速度的精准测量。FMCW 激光雷达具备 10~100 倍的高灵敏度，长距离探测、低功耗、抗干扰、同时获取即时速度。
三角测距法	发射器发射激光，经物体反射回来后被图像传感器 CMOS 捕捉，并通过相似三角形相关原理计算得探测距离。三角测距激光雷达具备设计方案成熟、批量生产成本低的优势，但因实际使用过程中并不稳定，在工业领域的应用受到很大限制，更适合在消费级产品上使用。

资料来源：维科网，传感器专家网，德邦研究所

图 31：主要激光雷达厂商技术路径

企业	技术路径			扫描方式			探测方式		应用场景				
	机械式	混合固态	固态	MEMS	Flash	OPA	ToF	FMCW	无人驾驶	消费机器人	AGV	移动终端	无人机
速腾聚创	√	√	√	√		√	√		√		√		√
禾赛科技	√		√	√			√		√	√			
镭神智能	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√		√
北科天绘	√		√		√		√		√				√
北醒光子			√		√		√		√	√	√		√
力策科技			√			√	√		√	√			√
光勺科技								√	√				
国科光芯			√			√		√	√	√		√	
洛微科技			√			√		√	√	√		√	
探维科技		√		√			√		√		√		
大疆		√					√		√	√			
华为		√		√			√		√			√	

资料来源：前瞻产业，德邦研究所

3.2.3. 激光发射：看好 EEL 向 VCSEL 发展，建议关注 PCSEL 发展态势

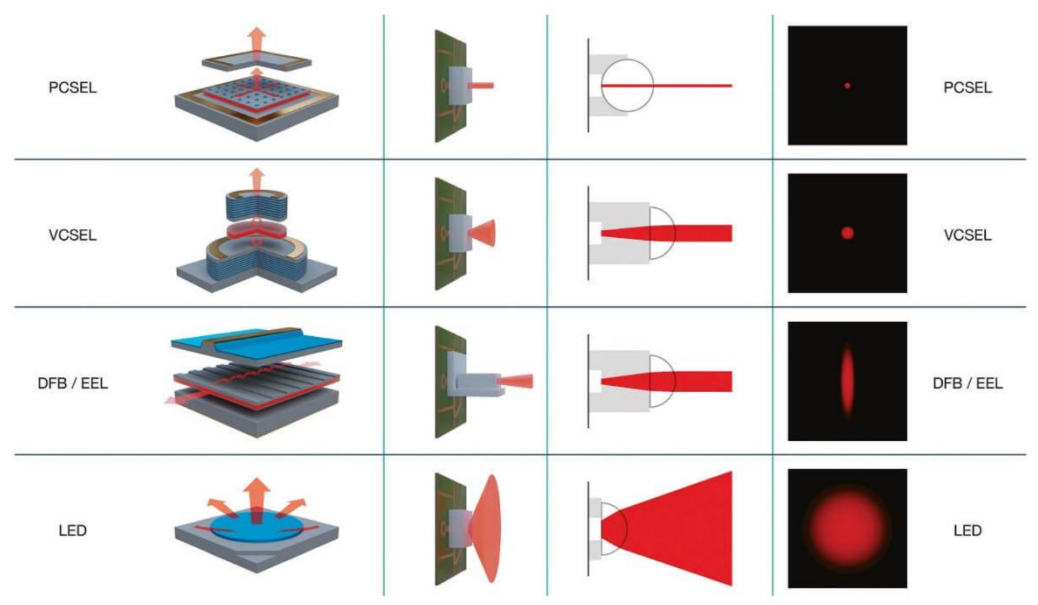
激光器是发射激光的装置，主要有边缘发射激光器 EEL、垂直腔面发射激光器 VCSEL、光子晶体结构表面发射激光器 PCSEL 三种主流方向。

技术不断迭代下 VCSEL 发光功率有望升高，看好多结 VCSEL 的发展潜力。EEL 的光斑为椭圆形，特点是发光功率密度高，但因为发光面在半导体晶圆的侧面，使用过程中需要经过切割、翻转、镀膜、再切割的工艺步骤，并且对人工装调技术要求高，每一颗激光器都需要使用分立的光学器件进行光束发散角的压缩和调装，导致成本高企且难以保证一致性。垂直腔面发射激光器 VCSEL 的光斑近

似于圆形，VCSEL 从垂直衬底的面发射激光，激光器阵列容易与平面化的电路芯片键合，并且由半导体加工设备保障精度，不需要像 EEL 一样对每个激光器进行单独装调，并且容易和面上工艺的硅材料微型透镜进行整合从而提升光束质量。由于 VCSEL 激光器的发光功率密度较低，导致探测距离受限（通常小于 50m），此前只能应用于对测距要求不高的领域。近年来由于技术迭代，国内外多家 VCSEL 激光器公司开发了多层结 VCSEL 激光器，提升其发光功率密度将近 5-10 倍，为长距离探测激光雷达提升了可能性。技术进步叠加平面化下的生产成本和产品可靠性的优越，VCSEL 的使用渗透率未来有望逐步提升并超越 EEL。

PCSEL 性能优越，建议关注 PCSEL 未来发展动向。光子晶体表面发射半导体激光器（PCSEL）是垂直腔面发射激光器（VCSEL）和边缘发射激光器（EEL）的集成。VCSEL 坚固耐用，但波长范围和功率有所折扣；EEL 波长范围宽广，然而制造成本高、容易损坏；相较之下，PCSEL 优势明显，兼具成本低、坚固耐用、宽波长范围和高功率的优点。目前 Vector Photonics 已经在研发、实验室环境和商业工厂中证明了其革命性的、专有的 PCSEL 技术，正在将关键的设计和工艺知识转移到工业环境中，进行大批量生产。随着未来 PCSEL 技术商业化，或将成为新的发展方向。

图 32：激光器对比图



资料来源：Vector Photonics 官网，德邦研究所

表 5：半导体激光器优缺点对比

类型	优点	缺点	激光雷达
EEL	发光功率密度高	工艺步骤复杂导致成本高企、易碎、标准化程度不足	所有厂商
VCSEL	信噪比、生产成本、产品可靠性适合量产	发光功率密度不足，创新后提升 5-10 倍	Ibeo、Ouster、禾赛科技等
PCSEL	宽波长范围、高发光功率密度、坚固耐用	-	-

资料来源：华经产业，德邦研究所

根据激光发射器使用的光源波长可以主要分为 905nm 和 1550nm 两类激光

发射器。

采用波长为 1550nm 激光的激光雷达的功率十分高，探测的距离也 longer。但由于波长为 1550nm 的光线远离人眼吸收的可见光光谱，因此相对于 905nm 波长的激光器，同等功率的 1550nm 激光雷达对人眼视网膜的安全性更高。1550nm 的光纤激光器一般需配合 FMCW 的技术，在检测距离的同时还可以利用多普勒频检测物体的速度。

与 905nm 激光雷达相比，1550nm 激光雷达的光源及探测器成本、供应链成熟度上仍有一定的差距。从成本和供应链成熟度上看，905nm 边缘射半导体激光器基于 InGaAs/GaAs 材料，成本低、技术成熟，是大批量应用的必然选择，性价比更高。1550nm 光纤激光器功率大，光束质量也更好，但需要使用的材料是 InP 而不是硅 CMOS，并且需要外部电源和复杂的电子控制装置。在探测器端，905nm 的激光器可以使用成本更低的硅探测器，而使用 1550nm 光纤激光器的激光雷达系统无法搭配常规的硅探测器，需要与昂贵的 InGaAs 探测器配对使用，而 InGaAs 材料的成本比硅基材料贵将近 10 倍，因此 1550nm 激光器的价格更加昂贵，成本在短期内难以降低。

表 6：905nm 和 1550nm 激光器主要性能比较

主要参数	905nm 边发射激光器	1550nm 边发射激光器	1550nm 光纤激光器
激光技术	InGaAs/GaAs	InP/InGaAsP	940nm 或 1480nm 泵浦/掺铒光纤
峰值功率	+	0	++
光束质量	+	+	++
紧凑性	++	+	0
工作温度范围	++	+	0
低成本	++	+	0
不易被水汽吸收	+	0	0
人眼安全	+	++	++

资料来源：LEDinside，德邦研究所

表 7：针对 905nm 和 1550nm 探测器主要性能比较

主要参数	针对 905nm 探测器	针对 1550nm 探测器
探测技术	Si	InGaAs
工作温度范围	++	+
低探测噪声	++	0
低成本	++	0
电子整合容易性	++	0

资料来源：LEDinside，德邦研究所

3.2.4. 激光探测：从 PD/APD 向 SPAD/SiPM 进发

SPAD 和 SiPM/MPPC 在增益能力、大尺寸阵列的实现和易用性上较 APD 更

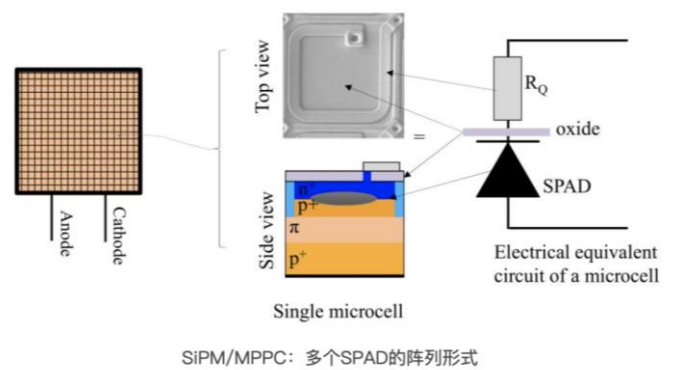
加优越。PIN PD 光电二极管目前仅适用于 FMCW 测距激光雷达。APD 雪崩光电二极管技术较为成熟，是使用最为广泛的光电探测器件。目前 APD 的典型增益是 10-100 倍，在进行远距离测试时需大幅提高光源光强才能确保 APD 有信号。SPAD 单光子雪崩二极管和 SiPM/MPPC 硅光电信增管主要是为了解决增益能力和大尺寸阵列的实现而存在：1) SPAD 或者 SiPM/MPPC 是工作在盖革模式下的 APD，理论上增益可达到 APD 的 100 万倍以上，但系统成本与电路成本均较高；2) SiPM/MPPC 是多个 SPAD 的阵列形式，可通过多个 SPAD 获得更高的可探测范围以及配合阵列光源使用，更容易集成 CMOS 技术，具备规模量产的成本优势。此外，由于 SiPM 工作电压大多低于 30V，不需要高压系统，易于与主流电子系统集成，内部的百万级增益也使 SiPM 对后端读出电路的要求更简单。市场对于 SiPM/MPPC 主要的诉求是 PDE（光子探测效率）的提升。目前，SiPM 广泛应用于医疗仪器、激光探测与测量（LiDAR）、精密分析、辐射监测、安全检测等领域，随着 SiPM 的不断发展将拓展至更多的领域。禾赛科技、Innovusion、Ouster 等主流厂商均已布局 SiPM 相关技术，未来有望代替 APD。

图 33：汽车激光雷达光电探测器发展趋势



资料来源：麦姆斯咨询，德邦研究所

图 34：SiPM/MPPC 结构原理图



资料来源：滨松官网，德邦研究所

表 8：SiPM/MPPC、SPAD、APD、PIN-PD 探测器参数对比

	MPPC/SiPM	SPAD	APD	PIN-PD
增益	10 ⁶	10 ⁶	<100	无
探测范围	中长距	中长距	中长距	短距
电路结构	简单	复杂	复杂	复杂
成本	低系统成本 (中等探测器成本)	高系统成本 (高探测器成本)	高系统成本 (高探测器成本)	高系统成本 (低探测器成本)
设计冗余	温度补偿	信号完整性、淬灭电路	信号完整性&温度补偿	信号完整性
光谱范围	最高 950nm	最高 1150nm (硅) / 最高 1700nm (铟镓砷)	最高 1150nm (硅) / 最高 1700nm (铟镓砷)	最高 1200nm (硅) / 最高 2.6um (铟镓砷)
探测速度	中等，受限于恢复时间	快	快	快
工作电压	<80V	>150V	<200V	<10V
噪声	探测器高噪声 (系统低噪声)	探测器高噪声	探测器低噪声 (系统低噪声—受限于放大器)	探测器低噪声 (系统高噪声—受限于放大器)

资料来源：滨松官网，德邦研究所

3.2.5. 信息处理方式：主流方案为 FPGA，看好 SoC 的长期发展

SoC 高度集成不同模块，未来或将替代 FPGA 成为主流选择方案。激光雷达目前通用的主控芯片为 FPGA 芯片，国内主要供应商有紫光同创、安路科技、高云半导体、复旦微电等，国外主要供应商有赛灵思、英特尔等。国外供应商的产品性能优越，大幅领先国内供应商，但目前国内产品的逻辑资源规模和高速接口性能也可满足激光雷达的需求。除了 FPGA 外，激光雷达主控芯片还可以选用高性能单片机 (MCU)、数字信号处理单元 (DSP) 来代替。MCU 的国际主流供应商有瑞萨、英飞凌等，DSP 的主流供应商有德州仪器、亚德诺半导体等。由于单光子接收端片上集成芯片 (System on Chip, SoC) 可以通过片内集成探测器、前端电路、算法处理电路、激光脉冲控制等模块直接输出距离和反射率信息，未来或将逐步替代主控芯片 FPGA 的功能。未来随着线列、面阵规模的不断增大，逐步升级 CMOS 工艺节点，单光子接收端 SoC 将实现更强的运算能力、更低的功耗和更高的集成度。

图 35：自动驾驶算法、芯片的发展路径



资料来源：盖世汽车，德邦研究所

4. 单价下探利好需求释放，上游国产品牌迎接发展机遇

4.1. 技术革新+行业需求增多，激光雷达单价不断下探有望迎来行业拐点

技术迭代革新，政策扶持，叠加激光雷达规模效应分摊成本，激光雷达单价不断下探。当前激光雷达行业发展仍处于成长早期。作为 L3+ 级别自动驾驶传感器的关键，激光雷达有望伴随车载前装量产上车的进程，迎来行业向上拐点，奏响以成本降低为特征的技术革新主旋律。

机械式激光雷达单价仍然高企，半固态、固态方案单价下探趋势明显。早期的机械式激光雷达体积大、价格昂贵。随着技术的不断推陈出新，半固态激光雷达通过微动元件的使用减少机械运动的部件减小激光雷达体积，固态激光雷达的关键元件通过采用半导体工艺不断优化性能，在激光雷达整体体积更小的同时成本也逐渐降低。目前激光雷达发展历程逐渐从价格高昂、模拟信号输出、机械旋转式的初始阶段，向价格更低、数字信号输出、关键元件固态化的激光雷达发展。

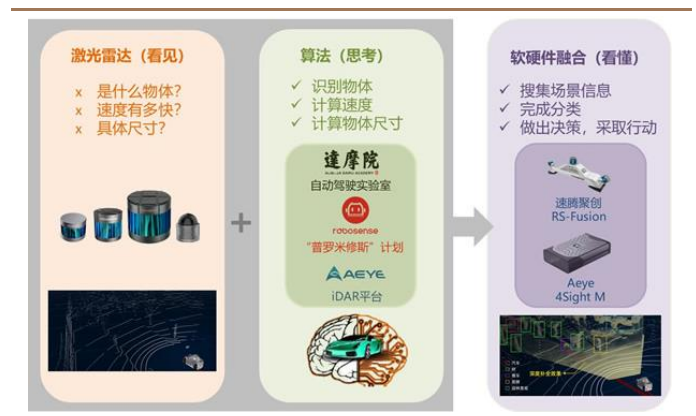
从硬件到算法，软硬件融合或将成为激光雷达厂商的重要竞争力。对于激光雷达供应厂而言，在为车型制造开发出相应的激光雷达硬件后，还需要较强的软件实力来提供配套的感知算法。与自动驾驶系统算法一样，激光雷达感知算法也需要大量的数据对算法进行训练和迭代，以提高算法的准确性，对于整体激光雷达的系统安全性、检测率和准确度的重要性不言而喻。在算法的加持下，激光雷达对于场景的感知理解将有望实现从“看见”到真正的“看懂”的转变，同时还能进一步降低激光雷达成本。目前，业内逐渐显现出激光雷达供应商从单一的硬件供应商向集成方案系统供应商转型的趋势，未来激光雷达赛道或将成为软硬件融合的一体化解决方案的比拼。中国的速腾聚创、阿里巴巴达摩院均在此领域有所布局。

图 36：激光雷达技术趋势：从模拟、机械式到数字、固态化



资料来源：麦姆斯咨询，德邦研究所

图 37：激光雷达技术趋势：从硬件到软硬件融合



资料来源：麦姆斯咨询，德邦研究所

政策扶持，叠加激光雷达放量分摊成本，市场整体预期良好。2017 年，工信部发布《智能传感器产业三年行动指南(2017-2019)》，明确指出面向消费电子、汽车电子、工业控制、健康医疗等重点行业领域，开展智能传感器应用示范。同年发布的《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2020)》，设定了激光雷达设计、生产工艺达到国际领先水平的目标。激光雷达是 L3 及以上自动驾驶汽车的关键传感器，伴随 L3 汽车逐步量产，激光雷达将迎来市场放量。更多车辆开

始倾向于使用激光雷达，推动技术成熟、成本下降，更加体现激光雷达竞争优势，然后产量进一步增加，规模效应后分摊了成本，进入良性循环。根据沙利文研究报告的数据预测，2025 年我国车载激光雷达市场规模将接近 43 亿美元。

表 9：激光雷达市场主要厂商核心产品情况

国外激光雷达公司	核心产品	雷达类型	应用领域	价格区间
Velodyne	Velarray、VLS 系列、VLP 系列、HDL 系列	机械、混合固态	自动驾驶、障碍物探测	4000 美元-75000 美元
Quanergy	S3、M8	固态、机械	无人机、巡检机器人等	250 美元以上
Innoviz	Innoviz One、Pro	混合固态	自动驾驶、机器人	900 美元以上
Cepton	Vista-X、Vista-P、Sora-P、Helius、Nova	混合固态	汽车和智能基础设施	将近 1000 美元
Ibeo	Ibeo NEXT	固态	自动驾驶	1500 美元以下
Luminar	Hydra、Iris	混合固态	自动驾驶	预计 1000 美元以下
Ouster	ES2、OSO、OS1、OS2	固态	自动驾驶、机器人、测绘	3500 美元
Baraja	Spectrum- Scan LiDAR	固态	自动驾驶	数百美元
Sick	TIM 系列、LMS 系列	机械	无人车、AGV	2000-7000 美元
Hokuyo	URG-04LX、UTM-30LX	固态	机器人、AGV	1000-7500 美元
Leddar Tech	Vu8	固态	自动驾驶	/
国内激光雷达公司	核心产品	雷达	应用领域	价格区间
北醒光子	TF 系列单点测距激光雷达	固态、混合固态	自动驾驶、车路协同、轨道交通、机器人、无人机	/
速腾聚创	RS-LiDAR-M1、RS-Ruby、RS-Bpearl、RS-LiDAR-16/32	机械、混合固态	自动驾驶、无人车、无人机、机器人	2.8-12.8 万元
禾赛科技	车规级激光雷达 PandarGT、MEMS 激光雷达 Pandar128/64/40、工业级激光雷达 PandarXT、Pandar40M	机械、混合固态	自动驾驶、无人物流、无人配送、机器人	8.94-11.38 万元
览沃科技（大疆 Livox）	车规级激光雷达 HAP、TELE-15、Honzon	混合固态	自动驾驶、机器人、智慧城市	3999-9999 元
一径科技	ML-30s、ML-Xs	混合固态	自动驾驶、车路协同、无人配送、机器人	/
镭神智能	CH128/32/16 系列固态激光雷达、MS-C32/16 系列机械式激光雷达、N301 系列激光雷达、	机械、混合固态	自动驾驶、服务机器人、AGV、无人机	8000-28999 元
华为	96 线中长距激光雷达	机械、混合固态	自动驾驶	预计 200 美元以下
思岚科技	RPLIDAR 系列 360 度激光扫描测距雷达	固态	机器人、AGV	528-4059 元
北科天绘	R-Fans、A-Pilot、R-Angel	机械、混合固态	无人车、无人机	2.9-15 万元

资料来源：前瞻产业研究院，传感器资讯，Livox 官网，德邦研究所

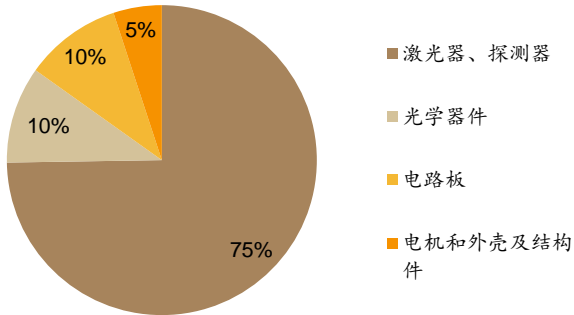
激光雷达的总成本=BOM 成本+生产成本+研发成本，基于构造不同，不同激光雷达 BOM 成本拆分略有不同，收发器件为主要的成本端。参考汽车之心、Systemplus Consulting 对不同激光雷达种类的 BOM 拆解：

机械式激光雷达激光发射器、接收器 BOM 成本达 75%。Velodyne VLP-16 的 BOM（大约 1000 美元）拆分为：激光器探测器（75%）、光学部件（10%）、电路板（10%）、电机外壳及结构件（5%）。

半固态激光雷达 BOM 成本中收发器件及主板占比较大。法雷奥 SCALA 1 转镜式激光雷达的 BOM 大约 300 美元，其中主板占比 45%，收发器件占比近 50%：主板（45%）、激光单元板（23%）、机械镜单元（13%）、机械激光单元（10%）、封装壳（8%）、电机单元板（1%）。法雷奥 Scala 1 为 4 线激光雷达，年产量达十

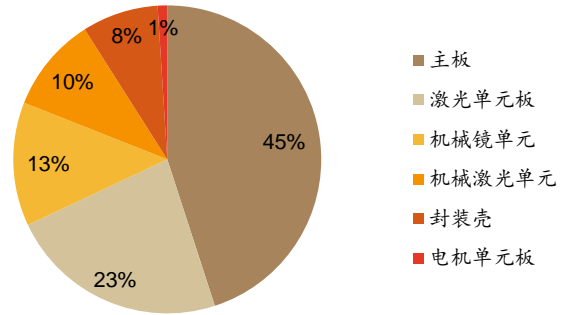
万级。若产品迭代至 Scala 2，激光扫描线束则由 4 线升级为 16 线，需要增加 12 套发射与接收器件，成本上增加约 400 美元。

图 38: Velodyne VLP-16 激光雷达成本构成



资料来源：汽车之心，德邦研究所测算

图 39: 法雷奥 SCALA 1 转镜式激光雷达成本构成

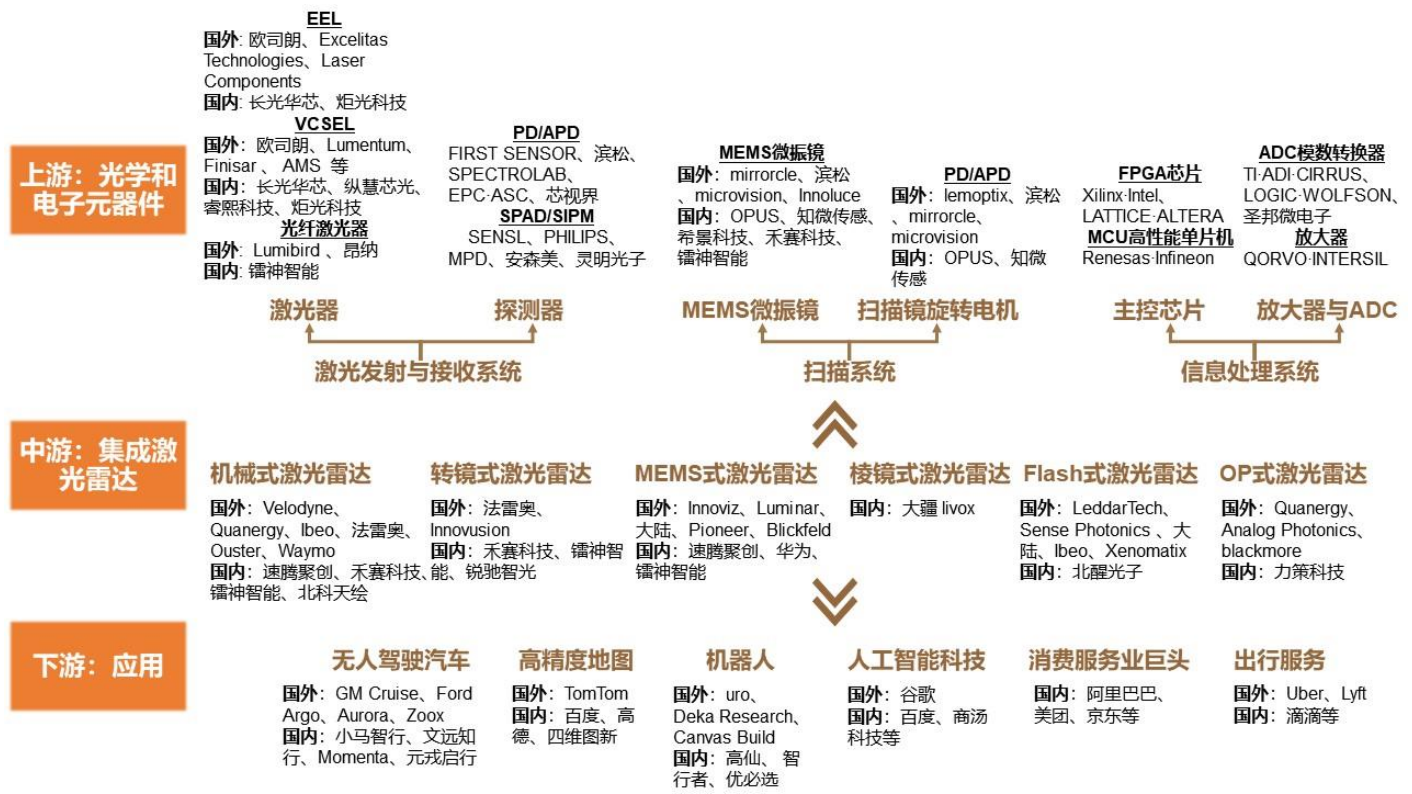


资料来源：Systemplus Consulting，德邦研究所

4.2. 海外龙头垄断上游芯片市场，收发及光学元件领域国产品牌崛起

激光雷达上中下游产业链逐渐完备，行业呈现“百花齐放”态势。激光雷达产业链由上游（电子和光学元器件）——中游（激光雷达整机）——下游（多样化应用场景）组成。在行业上游，激光雷达组成复杂，涉及零部件繁多，直接和间接供应商数量庞大；行业中游竞争激烈，国内外品牌争相发力，且由于激光雷达技术路径较多、未来适用领域广泛，差异化产品也纷纷涌现，市场价格方面竞争激烈；行业下游，多样化的应用场景、多种类型的科技公司也不约而同地受到了激光雷达红利的辐射。

图 40: 激光雷达产业链图谱



资料来源：德邦研究所绘制

上游：欧美品牌率先发力水平领先，国产品牌奋力追赶前景乐观。激光雷达上游主要为光学、电子元器件制造厂商，元器件按功能共分为四大类，包括激光发射（如固体激光器、半导体激光器 EEL/VCSEL、光纤激光器等）、激光接收-探测器（如雪崩光电二极管 APD、单光子雪崩二极管 SPAD、硅光电倍增管 SiPM 等）、扫描系统（如旋转电机、滤光片与透镜等）、信息处理系统（如 FPGA 芯片、放大器、数模转换器等）；此外还涉及位置和导航系统（GPS、IMU）和有色金属材料等相关产业。

发射端激光器与接收端探测器：常年海外领先，近年国产品牌多领域发力寻求超车。由于海外供应商在激光发射器和接收端探测器领域耕耘已久，目前此领域主要由日欧美等海外厂商主导。1) **发射端激光器**代表企业包括国外的 **OSRAM（欧司朗）、AMS（艾迈斯半导体）、Lumentum（鲁门特姆）、纵慧芯光**等，以及国内的**炬光科技、长光华芯、光库科技**等。国内激光器厂商起步较晚但奋力追赶，相关产品性能已逐步接近海外水平，有望加速国产替代。2) **接收端探测器**全球寡头垄断格局明显，主要由**滨松、安森美、索尼**等厂商布局全面并主导市场。国内供应商起步稍晚但发展势头迅猛，凭借较高性能及成本优势可与海外厂商较量，APD 领域主要有**中电科 44 所**布局；**灵明光子、南京芯视界、宇称电子**等国内厂商则前瞻性地推动 SPAD、SiPM 等新技术发展。

扫描-光学元件：国内成本优势明显，老光学厂商借此切入新赛道。光学元件及组件一般由激光雷达公司自主研发设计，然后选择光学元件厂商进行生产加工。技术成熟且量产的 MEMS 微振镜企业仍大多集中在国外，如**滨松、Mirrorcle、MicroVision**；但中国企业近年紧跟步伐，**知微传感、Opus**等企业不断追赶并实现突破。而镜头、滤光片等光学部件可充分利用国内供应链完善和低成本的优势，

舜宇光学、腾景科技等精密光学元器件厂商已经可以替代国外供应链和满足产品加工的需求；永新光学与禾赛、Innoviz 等多家海内外激光雷达厂商合作，光学镜头及光学元器件产品广泛应用于机械旋转式、半固态式、固态式车载激光雷达，且已进入麦格纳的指定产品供应商名单；舜宇光学也与华为、大疆等知名品牌合作，且已加入 Leddar 生态系统。同时，天孚通信、昂纳科技等光通信厂商凭借原有的光通信技术积累切入激光雷达赛道，实现创新与突破。

信息处理-FPGA 芯片：海外龙头垄断市场份额，性能领先全球。当前芯片主要分为 FPGA 芯片和模拟芯片两种，FPGA 为当前激光雷达最主流的主控芯片，市占率极高。由于国外厂商起步较早，全球 FPGA 芯片市场基本被海外龙头垄断，赛思灵和英特尔合计占市场近 90%的份额；我国 FPGA 的研发基础相对薄弱，产品性能尚不及国外领先产品，但近几年紫光同创、安路科技、高云半导体、复旦微电等厂商发展迅速，在争夺市场方面拥有一战之力。

中游：产品形态多样，行业格局未定。激光雷达中游主要为激光雷达集成产品制造商，因激光雷达壁垒相对较高，各激光雷达厂商技术路线存在差异化，故整个行业仍处于各家积蓄实力加速推出车规级产品的阶段，行业竞争尚处早期。海外厂商包括法雷奥、Velodyne、Ibeo、Innovusion、Innoviz等先驱企业，国内厂商包括发展迅猛的速腾聚创、禾赛科技、镭神智能、华为等企业。从产品类型来看，目前的激光雷达主要有机械式（Velodyne、Quanergy等）、半固态-转镜式（法雷奥、Innovusion等）、半固态-棱镜式（大疆等）、半固态-MEMS 式（Innoviz、Luminar等）、固态-Flash 式（大陆、Ibeo等）、固态-OPA 式（Quanergy等）、固态-FMCW（Aeva、Blackmore等）七大细分类型。目前半固态激光雷达仍为车载激光雷达主流，而固态激光雷达被视作最终进化方向，前景广阔。

竞争格局上，巨头虽已经出现，但国内厂商占领份额能力不可小觑。根据 Yole 统计数据，截至 21 年 Q3，全球车载激光雷达领域法雷奥市场占有率名列第一（28%），而中国企业速腾聚创（10%）仅次于法雷奥，成为全球第二大供应商。本土厂商速腾、大疆、图达通、华为、禾赛科技 5 家合计市场份额约 26%，在全球范围内占据较大市场份额，前景无限。从业务竞争力来看，目前禾赛、速腾的行业的竞争力较大；华为、大疆等老牌科技企业也开展相关业务，竞争力紧随其后；北科天绘、北醒光子、万集科技也有涉足，但激光雷达主营业务占比较小。

价格持续降低，产业应用更加广阔。激光雷达目前单价在 500-2000 美元之间，随着技术路线的进化（向固体化发展），将带动价格持续下探，例如华为宣称未来目标是使一颗激光雷达价格在 200 美元以下。大量量产装车可期、单车装备数量可能增加，产业空间可以预期将会更加开阔，前景值得期待。

下游：分布行业广泛且富有科技前景，中下游市场地位将会逐步对等。激光雷达下游应用分布广泛，主要有无人驾驶、高级辅助驾驶、机器人、车联网、测绘、高精度地图、消费服务业等领域，目前整体激光雷达下游市场供不应求，呈现卖方市场的景象，对下游有较强定价权和议价能力。激光雷达整体盈利空间较大，随着厂商竞争的激烈加剧、技术的升级迭代，市场或将更加趋于平衡。当前合作商覆盖多科技领域，其中行业巨头、产业先驱者众多（如 GM Cruise、Uber、TomTom、小马智行、百度、阿里巴巴等），未来随着技术进一步取得突破、成本进一步下降，将会有更多国内外高新技术产业与公司直接或间接地受益。

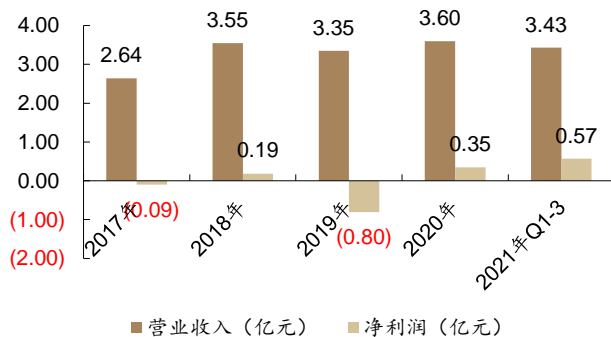
5. 产业链上中游百家争鸣，小荷才露尖尖角

5.1. 炬光科技：领航国内高功率半导体激光器，激光雷达打开下游成长空间

“产生光子”组合“调控光子”，由上游向中游应用领域逐步扩展。炬光科技成立于2007年9月，起步于上游的“产生光子”的高功率半导体激光器，2017年通过并购LIMO拥有“调控光子”的技术能力，并通过研发、市场、销售的战略整合和相互结合拓展光子技术应用解决方案。公司全球首创线光斑激光雷达技术，高筑核心技术壁垒，其高功率半导体激光器业务已位列国内龙头，并逐渐拓展至中游进行大规模商用化布局。公司是激光赛道上游的首家上市公司，占据激光产业核心位置，主营业务包含半导体激光、激光光学产品、汽车应用（激光雷达）和光学系统四大业务。

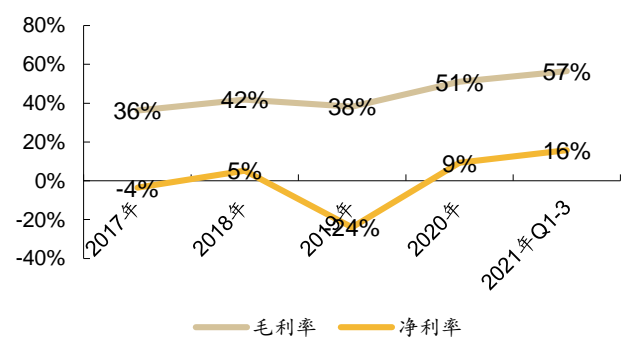
公司核心技术众多，研发实力领先。公司现已自主研发形成共晶键合技术、热管理技术、热应力控制技术、界面材料与表面工程、测试分析诊断技术、线光斑整形技术、光束转换技术、光场匀化技术（光刻机用）和晶圆级同步结构化激光光学制造技术九大类核心技术。2018-2020年期间累计研发投入占累计营业收入的比例达到18.99%；累计研发投入金额约1.99亿元。截至2021年6月30日，公司共拥有已授权专利达到405项，包括美国、欧洲、日本、韩国等境外专利110项，境内发明专利117项、实用新型专利150项和外观设计专利28项；公司研发人员为154人，占员工总人数比重达23.05%。

图 41：炬光科技营收、净利润情况



资料来源：Wind，德邦研究所

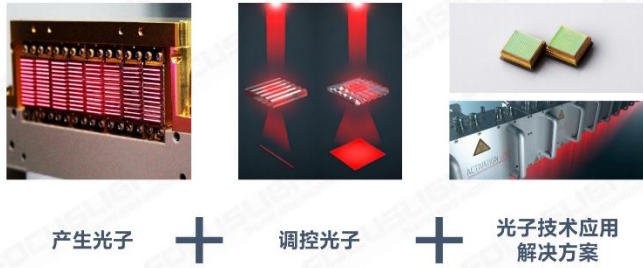
图 42：炬光科技毛利率、净利率情况



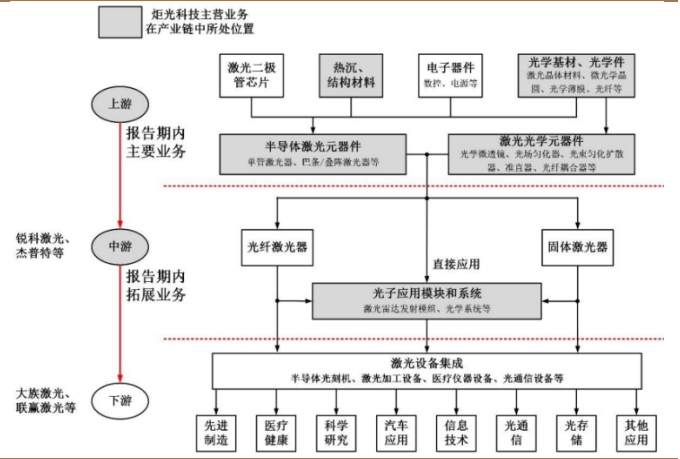
资料来源：Wind，德邦研究所

图 43：公司产品与业务

图 44：公司业务处于上游“卡脖子”位置，并逐步向中游拓展



资料来源：公司官网，德邦研究所

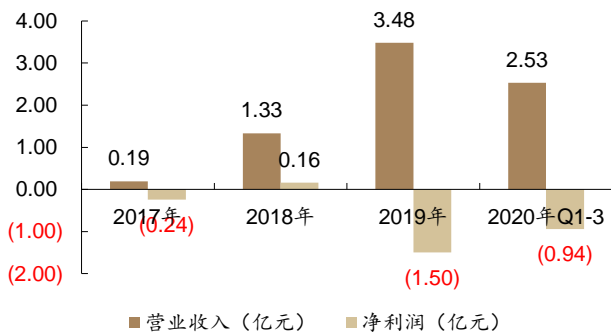


资料来源：炬光科技招股书，德邦研究所

5.2. 禾赛科技：主营机械式激光雷达，向车规级半固态激光雷达迈进

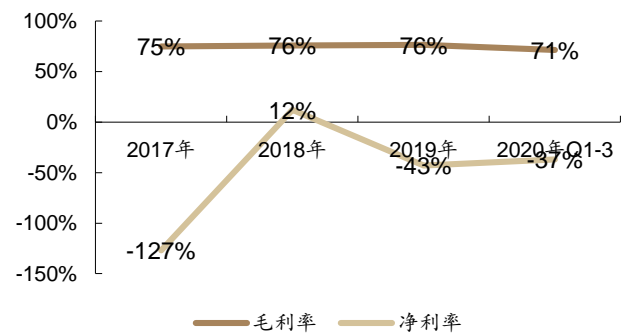
机械式激光雷达方案领军企业，开发车规级半固态激光雷达完善产品矩阵。禾赛科技于2014年创立，是全球领先的自动驾驶激光雷达制造商，也是全球为数不多交付上万台激光雷达的厂商之一，2019年生产5408台激光雷达，2020年前三季度共生产4270台。公司拥有极强的车规级规模化生产能力，产能处于领先地位，投资近2亿元打造的年产能百万台的工厂“麦克斯韦”智造中心将于2022年投产。公司主营业务为研发、制造、销售高分辨率3D激光雷达（核心产品）以及激光气体传感器产品，激光雷达业务占比达70%以上，产品系列多样，涵盖长中短距各种不同类型的激光雷达产品，性能领先，主要产品包括Pandar系列、QT系列和XT系列，并开拓车规级半固态式产品AT128完善产品矩阵，从机械式激光雷达拓展至半固态激光雷达。

图 45：禾赛科技营收、净利润情况



资料来源：Wind，德邦研究所









图 46：禾赛科技毛利率、净利率情况



资料来源：Wind，德邦研究所

公司产品广受主流汽车厂商和机器人公司认可。公司产品为无人驾驶出租车、无人驾驶卡车、高级驾驶辅助系统（ADAS）、无人配送机器人和其它工业应用提供了丰富的解决方案，其中新款半固态激光雷达产品AT128已获得包括理想、集度、高合、路特斯在内的多家汽车厂商总计超过数百万台的定点，预计2022年将实现大规模量产交付。公司产品性能优越、可靠性和可量产的设计，已受到全球主流自动驾驶公司和汽车厂商、一级供应商及机器人公司的认可，包括百度、滴滴、美团、Nuro、Zoox、英伟达、图森未来、文远知行、小马智行、AutoX、Kodiak等，客户遍及全球40个国家、90多个城市。

表 10：禾赛科技产品信息

产品	Pandar40	Pandora	Pandar40P	Pandar64	Pandar40M	PandarQT	Pandar128	AT128
外观								
发布时间	2017.4	2017.12	2018.4	2019.1	2020.1	2020.1	2020.9	2021.8
波长	905nm	-	905nm	905nm	905nm	885nm	905nm	905nm
线数	40	40	40	64	40	64	128	128
测距原理	ToF	ToF	ToF	ToF	ToF	ToF	ToF	ToF
探测距离	200m	-	200m	200m	120m	20m	200m	200m
光束操纵	机械式	机械式	机械式	机械式	机械式	机械式	机械式	半固态-转镜
视场角度	360°x23°	360°x-	360°x40°	360°x40°	360°x40°	360°x104.2°	360°x40°	120° x 15.4°
角分辨率	0.2° (H) x 0.33° (V)	-	0.2° (H) x 0.33° (V)	0.2° (H) x 0.167° (V)	0.2° (H) x 0.33° (V)	0.6° (H) x 1.45° (V)	0.1° (H) x 0.125° (V)	0.1° (H) x 0.2° (V)
主要特点	采用创新的非均匀线数分布：核心区域分辨率能力增强，同等通道数量下更优探测效果。	核多传感器融合套件，集激光雷达、环视摄像头模组为一体。	抗多激光雷达干扰：更优的测远能力：对于 10% 低反射率的目标物，最远探测距离可达 200m。	更密的垂直线束分布：最小垂直角分辨率达 0.167°，远距离物体检测性能更优、分辨能力更强。	专为中低速应用场景设计优化，对测距能力及价格进行了平衡。	对近距离物体进行精准感知：能对近距离角度盲区进行大范围的覆盖。功耗低：体积小、安装便捷。	具有更好的目标物细节分辨能力：系统紧凑，重量与体积不足市场上同类产品的一半。	探测距离长，精度高：探测距离最远可达 200 米；点密度分辨率超过每秒 150 万个点。

资料来源：禾赛科技官网，德邦研究所

5.3. 速腾聚创：智能激光雷达系统科技龙头，量产车规级 MEMS 激光雷达迎接业绩释放

智能激光雷达系统科技领先企业，汽车和工业市场应用市场份额领先。速腾聚创成立于 2014 年，总部位于深圳，是全球领先的智能激光雷达系统科技企业，通过激光雷达硬件、AI 算法与芯片三大核心技术闭环，通过精准的趋势预判和领先的技术水平，提供多种智能激光雷达系统解决方案。据全球知名市场研究与战略咨询公司 Yole Développement，速腾聚创在汽车和工业市场应用的份额占全球市场 10%，排名中国第一、世界第二。

从机械式激光雷达向车规级 MEMS 激光雷达量产能力升级。公司主营业务从机械式激光雷达拓展至 MEMS 激光雷达及感知软件和系统解决方案，已实现领先全行业交付全球首款车规级智能 MEMS 激光雷达 RS-LiDAR-M1 的量产，未来 MEMS 激光雷达份额有望迎来高速增长。自 2020 年 7 月份以来，公司第二代智能固态激光雷达 RS-LiDAR-M1 获得大量车企定点车型订单，包括 L3 重卡方案科技企业、北美新能源车企、中国造车新实力与新势力车企、传统主机厂、顶级超跑品牌等，覆盖了从超跑到家用车、从乘用车到商用车的多种车型。其中，广汽埃安已于今年 7 月份官宣多款车规级定点搭载公司激光雷达。

表 11：速腾聚创产品信息

产品	RS-LiDAR-M1	RS-Ruby	RS-Ruby Lite	RS-Helios	RS-BPearl	RS-LiDAR-16	RS-LiDAR-32
----	-------------	---------	--------------	-----------	-----------	-------------	-------------

外观



测距原理	TOF	TOF	TOF	TOF	TOF	TOF	TOF
波长	905nm	905nm	905nm	905nm	905nm	905nm	905nm
光束操纵	MEMS	机械式	机械式	机械式	机械式	机械式	机械式
线数	-	128	80	32	32	16	32
探测距离	200m	200m@10%反射率, 最远探测距离超过250m	160m@10%反射率, 最远探测距离超过230m	150m(90m@10% NIST)	100m(30m@10% NIST)	150m(80m@10% NIST)	200m(150m@10% NIST)
视场角度	120×25°	360° ×40°	360° ×40°	360° ×70°	360° ×90°	360° ×30°	360° ×40°
角分辨率	0.2° ×0.2°	水平:0.2° /0.4° ; 垂直: 0.1°	水平:0.2° /0.4° ; 垂直: 0.1°	水平:0.2° /0.4° ; 垂直: Up to 1.33°	水平: 0.2° /0.4° ; 垂直: 2.81°	水平: 0.1° /0.2° /0.4° ; 垂直: 2.0°	水平: 0.1° /0.2° /0.4° ; 垂直: Up to 0.33°
功耗	15W	45W	38W	12W	13W	12W	13.5W
电压	9-36V	19-32V	19-32V	9-32V	9-32V	9-32V	9-32V
尺寸	108mm x 110mm x 45mm	φ 166mm * H148.5 mm	φ 166mm * H148.5 mm	φ 97.5mm * H100 mm	φ 100mm * H111 mm	φ 109mm * H80.7 mm	φ 114mm * H108.73 mm
重量	0.73KG	3.75KG	3.75KG	1KG	0.92KG	0.87KG	1.13KG
点频	750,000pts/B37:B40/s	~2,304,000pts/s(单回波模式)	~1,440,000pts/s(单回波模式)	~576,000pts/s(单回波模式)	~576,000pts/s(单回波模式)	~300,000pts/s(单回波模式)	~600,000pts/s(单回波模式)
帧率	10HZ	10Hz/20 Hz	10Hz/20 Hz	10Hz/20 Hz	10Hz/20 Hz	5Hz/10Hz/20 Hz	5Hz/10Hz/20 Hz

产品特点

唯一实现车规量产交付的第二代智能固体激光雷达；采用二维 MEMS 智能芯片扫描架构，产品元器件少，结构机制精简，体积小、稳定可靠、高性能、可动态调控扫描；“凝视”功能，可基于不同驾驶场景动态调节分辨率和刷新率，大幅提升智能驾驶系统感知能力

面向 L4+ 自动驾驶的 128 线激光雷达，垂直分辨率是 RS-LiDAR-32 的 3 倍以上，充分探测距离提高 2-3 倍；前所未有的安全性，不但满足 -30° 抗低温，而且突破性地实现了全天候屏蔽雷达对射干扰和各类环境光干扰，是高级自动驾驶的极佳选择

面向中高速驾驶的 80 线激光雷达，产品性能接近 RS-Ruby，同样拥有强大稳定性

针对机器人、智能驾驶车辆、V2X 构建场景化应用量身定制；采用全新技术架构，体积比 RS-LiDAR-32 减少 29%，满足 -30° 抗低温+抗多雷达对射干扰

专门为扫除盲区设计的新型近距离激光雷达产品，扫描数厘米之内的物体+360° *90° 超广角；模块化设计，成本极大降低，灵活度变高，造型紧凑，定制化能力更强

速腾聚创规模量产的 16 线激光雷达，是国内首款、世界领先的小型激光雷达，面向汽车环境感知、机器人环境感知、无人机测绘等领域

世界领先的小型激光雷达，通过 32 个激光发射组件快速旋转的同时发射高频率激光束对外界环境进行持续性的扫描，经过测距算法提供三维空间点云数据及物体反射率，可让机器看到周围的世界，为定位、导航、避障等提供有力的保障

资料来源：速腾聚创官网，德邦研究所

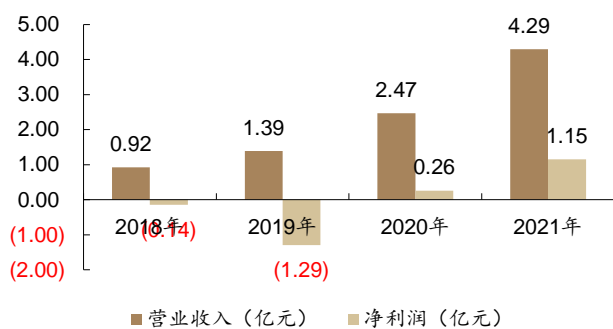
5.4. 长光华芯：半导体激光芯片龙头，纵横发展加速版图扩张

公司率先开发高功率系列，培育 VCSEL 和光通信领域已久。公司专注于半导体激光产业，聚焦半导体激光芯片、器件和模块等激光产业核心部件的研发、制造和销售，紧跟下游市场的发展趋势，不断创新生产工艺，布局产品线。公司已经形成了由半导体激光器芯片、器件、模块和直接半导体激光器组成的四大类、多系列的产品矩阵，是半导体激光行业的垂直产业链公司。公司也已建成 IDM 工艺平台和 3 英寸、6 英寸量产线，涵盖芯片设计、外延生长、晶圆加工（光刻）、脱膜/镀膜、封装测试、光纤耦合等环节。依托边缘发射芯片的技术水平，向面发射芯片拓展，从 GaAs（砷化镓）材料体系到 InP（磷化铟）材料体系，构建了边发射和面发射结构的技术平台，从而横向拓展了高效 VCSEL 芯片产品和光通信芯片产品。公司自主研发的高功率半导体激光器芯片、器件和模块在先进制造业等领域得到广泛应用，填补了国内高端半导体激光器芯片和器件的空白，解决了我国大功率激光器领域的“卡脖子”问题，促进了半导体激光器芯片和器件关键

技术指标的全面提升，提升了半导体激光芯片及器件各项关键技术指标升。同时促进高功率固体激光器、光纤激光器、超快激光器等激光器核心芯片的国产化和自主化。

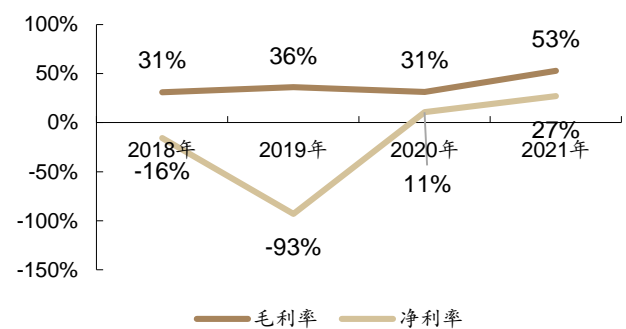
A 股首支激光芯片股即将登陆科创板，募资助力巩固公司的核心技术能力。长光华芯的 IPO 募集资金将重点投向科技创新领域，用于 "高功率激光芯片、器件、模块产能扩建项目"、"垂直腔面发射半导体激光器 (VCSEL) 及光通讯激光芯片产业化项目" 和 "研发中心建设项目"。借助登陆资本市场，公司将进一步加大研发投入，开展半导体激光器芯片及高效泵浦技术、光纤耦合半导体激光器泵浦源模块技术、大功率高可靠性半导体激光器封装技术等激光领域的前沿技术研究，打造可以持续领先的研发能力和新方向拓展能力，助力创新高功率激光技术的发展。

图 47：长光华芯营收、净利润情况



资料来源：Wind，德邦研究所

图 48：长光华芯毛利率、净利率情况



资料来源：Wind，德邦研究所

6. 投资建议

我们认为随着激光雷达商用元年到来，整体放量节奏加快，产业链上游相关供应商及中游激光雷达整机制造商将显著受益于激光雷达行业的高景气度。产业链上游建议关注激光发射器领域与光学部件领域，前者有国内厂商在日欧美等海外厂商积淀已久情形下已经逐渐取得一些突破，后者有国内成熟的产业链造就的领先成本优势。中游整机厂商也凭借后发优势推出具有竞争力的产品，已经获得众多车企定点。

1) 产业链上游元器件领域受益确定性较强，建议关注：

激光发射器端：激光发射器端在激光雷达整体 BOM 成本占比较高。国内激光器供应商入局虽晚但发展势头迅猛，建议关注国内领先的 EEL、VCSEL 激光器供应商如炬光科技、高功率半导体激光芯片国内龙头长光华芯、光纤激光器领先企业光库科技等。

光学扫描部件：光学扫描部件在激光雷达整体 BOM 成本占比仅次于主板及激光发射器。相关光学元器件对不同激光雷达技术路径的通用性较强，且激光雷达视窗、透镜、转镜、滤光片、准直镜等光学元器件国内产业链成熟，国内厂商相较国外具有明显的成本优势，与中游整机厂商合作并获得车企定点的光学元件供应商将受益明显。建议关注如舜宇光学、永新光学、腾景科技、联创电子等。

2) 产业链中游整机厂商国内品牌凭借逐渐崛起，建议关注：

激光雷达整机厂商主要以国外公司如 Velodyne、Luminar、Innovusion、Innoviz、Valeo、大陆集团为主，国内中游整机厂商的产品竞争力渐显。建议关注性价比较高、从机械式向半固态式激光雷达产品拓展的禾赛科技、速腾聚创、以及发展进程较快的华为、已获得主流商用车应用的万集科技等。

7. 风险提示

1) 自动驾驶推进节奏不及预期: 若未来政策对自动驾驶的管控程度趋严导致整体自动驾驶推进节奏不及预期, 激光雷达的渗透率或将因此受到影响。

2) 激光雷达技术路径收敛情况不及预期: 目前激光雷达技术路径尚未最终收敛, 处于百家争鸣的状态, 目前市场大部分车企搭载的应用方案以 905nm 波长、ToF 测距方式的半固态激光雷达为主, 未来随着技术的迭代升级, 1550nm 波长、FMCW 测距方式的固态激光雷达的发展值得关注, 若相关厂商仅布局单一技术路径, 容易在技术迭代过程中有被替代风险。

3) 激光雷达市场需求不及预期: 做激光雷达市场空间测算时, 相关假设涉及激光雷达单价变化、不同级别自动驾驶渗透率及相应的激光雷达搭载数量的变化, 具有一定的主观性, 若客观事实演变与假设数据相差过大, 或导致市场空间不及预期。

信息披露

分析师与研究助理简介

陈海进，电子行业首席分析师，6年以上电子行业研究经验，曾任职于民生证券、方正证券、中欧基金等，南开大学国际经济研究所硕士。电子行业全领域覆盖。

分析师声明

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人不保证该等信息的准确性或完整性。分析逻辑基于作者的职业理解，清晰准确地反映了作者的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

投资评级说明

类别	评级	说明
1. 投资评级的比较和评级标准： 以报告发布后的6个月内的市场表现为比较标准，报告发布日后6个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期市场基准指数的涨跌幅； 2. 市场基准指数的比较标准： A股市场以上证综指或深证成指为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普500或纳斯达克综合指数为基准。	买入	相对强于市场表现 20%以上；
	增持	相对强于市场表现 5%~20%；
	中性	相对市场表现在-5%~+5%之间波动；
	减持	相对弱于市场表现 5%以下。
行业投资评级	优于大市	预期行业整体回报高于基准指数整体水平 10%以上；
	中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%与 10%之间；
	弱于大市	预期行业整体回报低于基准指数整体水平 10%以下。

法律声明

本报告仅供德邦证券股份有限公司（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。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。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。

市场有风险，投资需谨慎。本报告所载的信息、材料及结论只提供特定客户作参考，不构成投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况。在法律许可的情况下，德邦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。

本报告仅向特定客户传送，未经德邦证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。如欲引用或转载本文内容，务必联络德邦证券研究所并获得许可，并需注明出处为德邦证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。

根据中国证监会核发的经营证券业务许可，德邦证券股份有限公司的经营经营范围包括证券投资咨询业务。