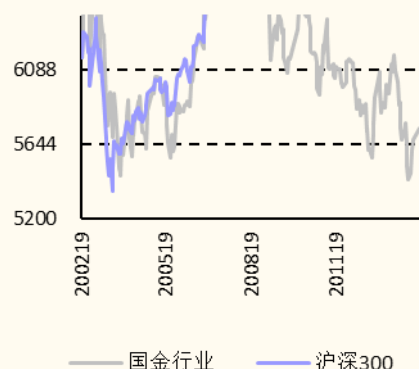


## 市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金通信指数	5737
沪深300指数	5768
上证指数	3675
深证成指	15767
中小板综指	13570



## 相关报告

1. 《分化与融合持续，优选低估值和高成长龙头-国金通信-2021年...》，2021.1.11
2. 《从华为入局看汽车智能化大时代投资机会-国金通信-华为智能汽车...》，2020.12.7
3. 《结构分化，超配龙头-国金通信行业三季报总结和行情展望》，2020.11.10
4. 《中美对标：中国云计算赶超时-中美对标：中国云计算赶超时》，2020.11.9
5. 《AI 赋能行业应用，打造生态智能体-AI 赋能行业应用，打造生态...》，2020.9.30

罗露

分析师 SAC 执业编号：S1130520020003  
luolu@gjzq.com.cn

## 放量在即，激光雷达开启前装元年

## 投资建议

- **行业策略：**随着全球自动驾驶升级，激光雷达前装市场有望提前全面铺开，2021 年将成为规模量产元年。根据产业链演进规律，我们建议短中期分别把握激光雷达厂商、下游车企的投资机会，长期来看创新技术有待产业整合、上游供应链机会尚不明确，需要在价值重新分配中持续跟踪。
- **重点标的：**Velodyne(激光雷达)、Luminar (激光雷达)、禾赛科技 (激光雷达)、小鹏汽车 (造车新势力)、蔚来 (造车新势力)

## 行业观点

- **预计 2023 年搭载车型产量突破 30 万，2030 年全球前装量产市场规模将超 230 亿美元。**激光雷达乃高阶自动驾驶标配，存在显性参数、隐性指标及实测表现多个性能评价维度。整车厂从多方面提出上车要求，通过投资或合作方式积极参与，倾向于定制化或自研软件算法。经测算，我们认为已确认搭载的前装量产车型产量将于 2023 年突破 30 万台，价位集中在 40 万 - 80 万元，2024 年全球激光雷达前装量产市场出货量将超百万个；2028 年全球前装量产市场规模将超百亿美元，2021-2030 年复合增速近 90%，总体前装渗透率达 45%。
- **众多技术路线驱动降本增效，迈过成本及车规大山，发展呈现固态化、芯片化、智能化。**激光雷达在测距原理、激光发射、激光接收、光束操纵及信息处理等五个方面均存在不同路线，创新技术可组合改善性能及成本等问题。**测距原理：**FMCW 方案创新，长期将与飞行时间法共存。**激光发射：**VCSEL 发射器推动量产降本，905nm、1550nm 光源或将共存。**激光接收：**主流使用 APD，SPAD 或 SiPM 替代成共识。**光束操纵：**机械式成熟度最高，近年来 ASP 显著降低；混合固态最快上车成共识，MEMS、转镜方案放量在即；固态成熟度低，长期有望成主流。**信息处理：**主控芯片标配为 FPGA，长期或与 SoC 共存。
- **产业链上游由海外光电子巨头垄断，激光雷达厂商自研铸壁垒，2030 年上游市场规模可达 112 亿美元。**激光雷达三大核心元器件为激光发射器、光电探测器及光束操纵元件，主要由海外光电子巨头如 Lumentum、滨松、AMS 等垄断，国产替代正起步。创新技术路线的核心控制点不一，激光雷达厂商多通过内研外扩布局以铸壁垒；长期来看，创新技术有待产业整合，厂商可通过多种方式授权上游供应商代工核心器件以标准化产品、扩大规模、降低成本。
- **近期领先玩家纷纷上市，2021 年规模生产即将铺开。**2020 年开启激光雷达上市潮，厂商多通过 SPAC 方式上市；融资投向多在于自建工厂，以规模化生产降本增效。关注焦点从自动驾驶市场转向前装市场，不同厂商定位与策略各异。在对激光雷达厂商估值过程中，净利润率、增长率、投资效率、风险为我们关注的四大要素；性能、成本、体积、产能、车规认证、车企订单等指标助于我们跟踪厂商发展情况，对要素取值作出判断。

## 风险提示

- 智能驾驶产业发展不及预期；商业化进程不及预期；配套政策不及预期；技术成熟不及预期；成本下降不及预期。

## 内容目录

一、激光雷达为高阶自动驾驶必备，前装量产元年正开启.....	5
1.1 分析激光信号描绘环境点云图，激光雷达乃高阶自动驾驶标配.....	5
1.2 激光雷达存在显性参数、隐性指标及实测表现多个性能评价维度.....	7
1.3 整车厂多方面提出上车要求，通过投资或合作提高参与度.....	9
1.4 2023 年搭载量产车型将突破 30 万台，2030 年全球市场超 230 亿美元	10
二、众多技术路线驱动降本增效，未来呈现固态化、芯片化、智能化.....	11
2.1 测距原理：FMCW 方案创新，长期将与飞行时间法共存.....	12
2.2 激光发射：VCSEL 发射器推动量产降本，905nm、1550nm 光源或将共存.....	13
2.3 激光接收：主流使用 APD，SPAD 或 SiPM 替代成共识.....	14
2.4 光束操纵：混合固态迎来前装量产前夜，长期 FMCW 或固态为主导....	15
2.5 信息处理：主控芯片标配为 FPGA，长期或与 SoC 共存.....	18
2.6 总体而言：迈过成本及车规大山，发展呈现固态化、芯片化、智能化..	19
三、产业链上游由海外光电子巨头垄断，激光雷达厂商自研铸壁垒.....	20
四、近期领先玩家纷纷上市，2021 年规模生产即将铺开.....	22
4.1 Velodyne:机械式激光雷达先驱，多元业务、工厂建设促进商业化.....	22
4.2 Luminar: 主推 1550nmMEMS 软硬件全栈方案，PEG 估值 103 亿美元.....	23
4.3 禾赛科技：机械式自动驾驶领域已成规模，统一芯片架构启动放量.....	25
五、投资建议.....	28
六、风险提示.....	29

## 图表目录

图表 1：SAE 对自动驾驶级别的定义.....	5
图表 2：激光雷达结构.....	6
图表 3：激光雷达点云图.....	6
图表 4：不同传感器对比.....	6
图表 5：随着自动驾驶级别提高，激光雷达配备数量需求增加.....	7
图表 6：激光雷达主要显性参数.....	7
图表 7：日本 JST 下属 CREST 联合 OPERA 测试对象的参数.....	8
图表 8：日本 JST 下属 CREST 联合 OPERA 激光雷达感知性能测评结果.....	8
图表 9：日本 JST 下属 CREST 联合 OPERA 激光雷达实测点频数量.....	9
图表 10：整车厂多通过投资积极参与到激光雷达领域中.....	9
图表 11：整车厂已宣布搭载激光雷达量产车型价格区间、产量预测（台）...10	10
图表 12：确定搭载激光雷达的量产车型价格预测（元）.....	10
图表 13：全球激光雷达前装量产出出货量预测.....	11

图表 14: 全球激光雷达前装量产市场规模预测 .....	11
图表 15: 激光雷达多种技术路线分类一览 .....	11
图表 16: 飞行时间法测距示意图 .....	13
图表 17: FMCW 测距示意图 .....	13
图表 18: 飞行时间法与 FMCW 法对比 .....	13
图表 19: 半导体激光器发光面示意图 .....	13
图表 20: 不同半导体激光器对比 .....	13
图表 21: 1550 nm 与 905 nm 激光的人眼安全对比 .....	14
图表 22: 1550nm 与 905nm 激光的性能对比 .....	14
图表 23: 不同激光探测器原理示意 .....	15
图表 24: 激光探测器种类对比 .....	15
图表 25: 激光雷达光束操纵分类对比 .....	15
图表 26: 机械式激光雷达机械结构复杂 .....	16
图表 27: 机械式激光雷达定价 .....	16
图表 28: MEMS 激光雷达原理 .....	17
图表 29: MEMS 激光雷达结构 .....	17
图表 30: 多边形棱镜转镜激光雷达结构 .....	17
图表 31: 双楔形棱镜转镜激光雷达结构 .....	17
图表 32: OPA 激光雷达原理 .....	18
图表 33: OPA 激光雷达芯片 .....	18
图表 34: Flash 激光雷达原理 .....	18
图表 35: Flash 激光雷达 .....	18
图表 36: 激光雷达专用芯片及功能模块示意图 .....	19
图表 37: FPGA 与 SoC 对比 .....	19
图表 38: 禾赛科技芯片化发展路径 .....	19
图表 39: 各部件创新方案相结合 .....	19
图表 40: 激光雷达产业链上下游 .....	20
图表 41: 激光雷达产业链上游代表厂商 .....	20
图表 42: 2019 年全球十大模拟芯片供应商营收 (百万美元) .....	21
图表 43: 国内厂商激光雷达上游布局 .....	21
图表 44: 激光雷达厂商上市情况 .....	22
图表 45: Velodyne 总营收及 ASP 预测 .....	23
图表 46: Velodyne 自动驾驶营收占比下降至四分之一 .....	23
图表 47: Velodyne 收入多样化 .....	23
图表 48: Velodyne 长期订单收入预测 (百万美元) .....	23
图表 49: Luminar 1550nm 光源创新方案 .....	24
图表 50: Luminar 软件占收入比例预测 .....	24
图表 51: Iris 计划于 2022 年 Q3 开始量产 .....	24
图表 52: Luminar 提供软硬件全栈解决方案 .....	24

图表 53: Luminar50 余个多领域合作伙伴 .....	25
图表 54: Luminar 总营收及增速预测.....	25
图表 55: Luminar 估值敏感性分析 (美元) .....	25
图表 56: 禾赛科技财务情况.....	25
图表 57: 禾赛科技 2017-2020 年产能及产量 .....	26
图表 58: 禾赛科技 IPO 募资投向 (亿元) .....	26
图表 59: 激光雷达厂商对比一览表.....	26
图表 60: 激光雷达厂商主力产品对比一览表 .....	28

## 一、激光雷达为高阶自动驾驶必备，前装量产元年正开启

“智能化”是我们投资智能汽车大时代的核心关键词和主线，而智能驾驶系统是智能汽车区别于传统汽车最核心的增量部分，按功能可划分为感知-决策-执行三层。

目前，感知层主要分为两派：1) 以摄像头+毫米波雷达为主、注重人工智能视觉算法的视觉主导派，以特斯拉为代表(视觉先驱 Mobileye 已投入激光雷达研发)；2) 以激光雷达为主、毫米波雷达、摄像头等为辅的激光雷达派，以 Waymo、百度为代表。

**L3 为自动驾驶的分水岭，代表着主动权从人到车的转变**，目前还存在监管和消费者教育等问题；在整车厂推出具有 L3 级功能的车型时，仍倾向于在宣传中定位为 L2.5 - L3 级别。作为“所见即所得”的传感器，激光雷达可增强感知系统的冗余性，补充毫米波雷达、摄像头缺失的场景，与高精地图配合发挥定位作用。在 L3 及以上级别的自动驾驶系统中，激光雷达的作用从辅助走向主导，配备个数也将增加。

图表 1: SAE 对自动驾驶级别的定义

	SAE LEVEL 0	SAE LEVEL 1	SAE LEVEL 2	SAE LEVEL 3	SAE LEVEL 4	SAE LEVEL 5
驾驶员坐在驾驶座上需要做什么?	无论何时使用驾驶辅助功能,您必须处于驾驶状态 即使双脚离开踏板,也没有控制方向盘			当使用自动驾驶功能,您无需驾驶汽车 您仅仅是坐在“驾驶座”上		
	您必须时刻观察各种情况 您需要主动制动、加速或者转向,确保安全			当功能请求时, 您必须驾驶汽车	这些自动驾驶功能 不需要您接管驾驶	
具有哪些功能特征?	以下是辅助驾驶功能			以下是自动驾驶功能		
	仅提供警告 以及瞬时辅助	能够制动、 加速或转向, 辅助驾驶	能够制动、 加速和转向, 辅助驾驶	可以在有限的条件下 驾驶车辆, 除非满足所有条件, 否则不会运行		可以在 任何条件下 驾驶车辆
功能示例	自动紧急制动 视觉盲点提醒 车身稳定系统	车道偏离修正 或 自适应巡航	同时进行 • 车道偏离修正 • 自适应巡航	• 在交通拥堵的 情况下自动驾驶	• 城市中“机器人 出租车” • 踏板、转向装置 可能无需安装	• 与L4相似, 但可以在 任何条件下 进行驾驶

来源: SAE, 国金证券研究所

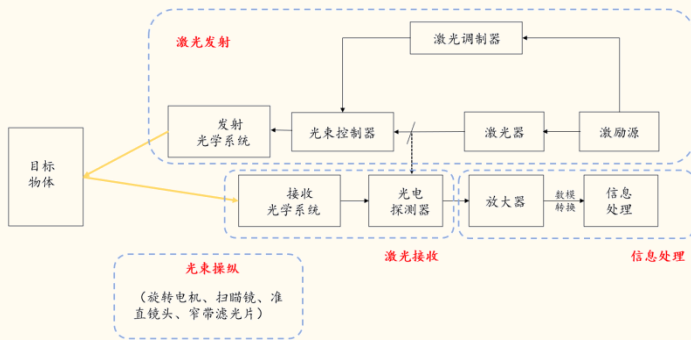
我们认为，随着自动驾驶级别的提高和激光雷达技术的进步，激光雷达将成为不可或缺的部件；未来两派将走向融合，自动驾驶感知层将深化体积缩小、控制集成、成本降低、感知多元等趋势。

### 1.1 分析激光信号描绘环境点云图，激光雷达乃高阶自动驾驶标配

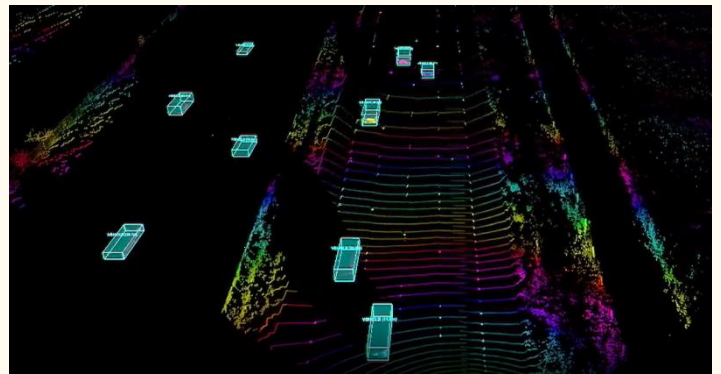
激光雷达可分为激光发射、激光接收、光束操纵和信息处理四大系统，通过分析激光信号描绘三维点云图，实现环境实时感知及避障功能。激光雷达 (LiDAR, Light Detection And Ranging)，采用激光发射器及光束扫描技术发射介于红外线与可见光之间的激光，通过测量激光信号的时间差及相位差描绘周围物体的三维点云图，从而获取精确距离、轮廓信息。

激光雷达最早发明于1960s，早期主要用于太空探测、气象监测、地形勘测、军事测距、武器制导等，自2005年美国 DARPA 挑战赛起首次搭载于自动驾驶车辆，目前广泛应用于自动驾驶、物流运输、高精地图、智慧交通、机器人、工业自动化、无人机、测绘等领域。

图表 2：激光雷达结构



图表 3：激光雷达点云图



来源：汽车人参考，国金证券研究所

来源：Luminar 上市路演报告，国金证券研究所

作为“所见即所得”的传感器，激光雷达可增强感知系统的冗余性，补充毫米波雷达、摄像头缺失的场景，是高阶自动驾驶标配。较短波长及主动激光技术赋能激光雷达测量分辨率高、探测距离远、探测角度大、夜间工作能力强、抗干扰能力强等优势，可直接获取距离、角度、反射强度、速度等信息。在高阶自动驾驶方案中，激光雷达的点位还可通过和高精地图数据匹配来实时定位车辆信息。但是，同时存在成本较高、受恶劣天气影响较大、工作寿命较短等问题，有望通过技术进步、规模量产解决。

而毫米波雷达存在无法探测行人、静止物体等弱点，车载摄像头存在过度依赖光线环境、训练样本等弱点，安全性、可靠性、精度、稳定性均不能得到高度保障。

目前，激光雷达已成为主流高阶自动驾驶玩家必备传感器。96%获加州 DMV 路测牌照的自动驾驶公司认为激光雷达是必需的零部件，Waymo、Cruise、百度、小马智行等在美国加州 DMV 公布的获得无人驾驶公开道路测试牌照的 65 家公司多搭载自研或外采的激光雷达，主要供应商为 Velodyne、禾赛科技等。

图表 4：不同传感器对比

类型	摄像头	毫米波雷达	激光雷达
波长	可见光：390nm - 770nm 红外光：1mm - 760nm	24GHz：~125mm 77GHz：~39mm	905nm、1550nm
探测距离	0 - 150m	0 - 250m	0 - 300m
测量精度	测距能力弱	±0.5m	±0.05m
探测角度	水平：0 - 150° 垂直：0 - 60°	水平：-60° - 60° 垂直：-7.5° - 7.5°	水平：360°（机械式） 垂直：-20° - 20°
夜间环境	弱	强	强
全天候	弱	强	弱
分辨率	强	弱	强
数据类型	图像	位置、速度	位置、速度、形状
单价	20 美元 - 200 美元	50 美元 - 125 美元	500 美元 - 30000 美元

来源：汽车人参考，中汽中心，国金证券研究所

以 L3 为分界点，较低等级的自动驾驶主要配备的传感器为车载摄像头、毫米波雷达等，L3 及以上自动驾驶需要配备的激光雷达数量随级别提升增加，L3 级为 1 个，L4 级为 2-3 个，L5 级高达 4-6 个。

图表 5：随着自动驾驶级别提高，激光雷达配备数量需求增加



来源：麦姆斯咨询，国金证券研究所

### 1.2 激光雷达存在显性参数、隐性指标及实测表现多个性能评价维度

激光雷达最常见的显性参数包括线数、探测距离、测量精度、测量准度、扫描频率、垂直视场角、角分辨率、点云密度、功耗、集成度等。隐性指标主要指激光雷达产品的可靠性、安全性、可量产性及使用寿命等，缺乏公开信息及可量化系统，只能通过产品是否得到车规级行业认证、应用于整车厂或自动驾驶出租方案提供商的测试车队或量产项目来侧面了解。

图表 6：激光雷达主要显性参数

参数	描述	说明
线数	表示激光雷达系统包含的独立发射机/接收机数目。	激光雷达线数与测量精度成正比：线数越多，安全性越高。
探测距离	一般指激光雷达对于 10% 低反射率目标物（标准朗伯体反射能量的比例）的最远探测距离。	激光雷达测远能力越强，距离覆盖范围越广，目标物探测能力越强，留给系统进行感知和决策的时间越长。目标物反射率影响探测距离，相同距离下，反射率越低越难进行探测。
测量精度	激光雷达对同一距离下的物体多次测量所得数据之间的一致程度。	精度越高表示测量的随机误差越小，对物体形状和位置的描述越准确，对目标物探测越有利。
测量准度	测距值和真实值之间的一致程度。	准度越高表示测量的系统误差越小，对物体形状和位置的描述越准确，对目标物探测越有利。
扫描频率	表示激光雷达点云数据更新的频率，即每秒钟旋转速度。	机械式激光雷达需要收发部件的转动以扫描周围环境，频率越高更新越快。
垂直视场角	激光雷达探测覆盖的角度范围，分为水平视场角范围与垂直视场角范围。	视场角越大说明激光雷达对空间的角度覆盖范围越广。
角分辨率	激光雷达相邻两个探测点之间的角度间隔，分为水平角分辨率与垂直角分辨率。	相邻探测点之间角度间隔越小，对目标物的细节分辨能力越强，越有利于进行目标识别。
点云密度	激光雷达每秒完成探测获得的探测点的数目。	点频越高说明相同时间内的探测点数越多，对目标物探测和识别越有利。
功耗	激光雷达系统工作状态下所消耗的电功率。	在探测性能类似的情况下，功耗越低说明系统的能量利用率越高，同时散热负担也更小。
集成度	直观体现为产品的体积和重量。	在探测性能类似的情况下，集成度越高搭载于车辆或服务机器人时灵活性更高。

来源：禾赛科技招股书，国金证券研究所

实测表现主要指激光雷达实际使用过程中影响自动驾驶体验的关键性能，如点云数量、实际探测距离、信噪比、测距精度等，可参考的公开测试数据有限。2020年7月，日本科学技术振兴机构JST下属战略创造研究推进事业小组CREST联合日本Open Innovation Platform with Enterprises, Research Institute and Academia（简称OPERA）从公开渠道直接采购了10款4个品牌的激光雷达，包括Velodyne的VLS-128、HDL-64S2、HDL-32E、VLP-32c、VLP-16，禾赛科技的Pandar64、Pandar40P，Ouster的OS1-64、OS1-16及速腾聚创的RS-LiDAR-32。

**图表7：日本JST下属CREST联合OPERA测试对象的参数**

品牌	Velodyne					禾赛科技		Ouster		速腾聚创
型号	VLS-128	HDL-64S2	HDL-32E	VLP-32C	VLP-16	Pandar64	Pandar40P	OS1-64	OS1-16	RS-LiDAR-32
线数(线)	128	64	32	32	16	64	40	64	16	32
扫描频率(Hz)	5-20	5-20	5-20	5-20	5-20	10, 20	10, 20	10, 20	10, 20	5, 10, 20
测量精度(cm)	±3	±2	±2	±3	±3	±2	±2	±3	±3	±3
探测距离(m)	? -300	3-120	2-100	1-200	1-100	0.3-200	0.3-200	0.8-120	0.8-120	0.4-200
垂直视场角	40°	26.9°	41.33°	40°	30°	40°	40°	33.2°	33.2°	40°
激光波长(nm)	903	903	903	903	903	905	905	850	850	905
重量(kg)	3.5	13.5	1.0	0.925	0.83	1.52	1.52	0.425	0.425	1.17
价格	高	较高	中等	中等	低	较高	较高	低	低	中等

来源：日本CREST及OPERA小组激光雷达评测报告，国金证券研究所

该测评包括感知性能、测量距离精度、点云数量三个方面。激光雷达感知性能可分为二次反射、强度偏差、光晕、丢失点和交通标识视觉化等选项。其中，二次反射容易形成虚像，最好不要出现；强度偏差可能导致噪音，功率密度较大时容易出现；光晕指阳光强烈时的色变；丢失点指弱反射目标或小反射面积被忽略；交通标识视觉化识别主要是识别车道线、路沿和标识。而测量距离精度主要指观测有效范围内的误差水平。点云数量为实际使用中最重要的指标之一，一般来说，线数越高点云数量越密集。

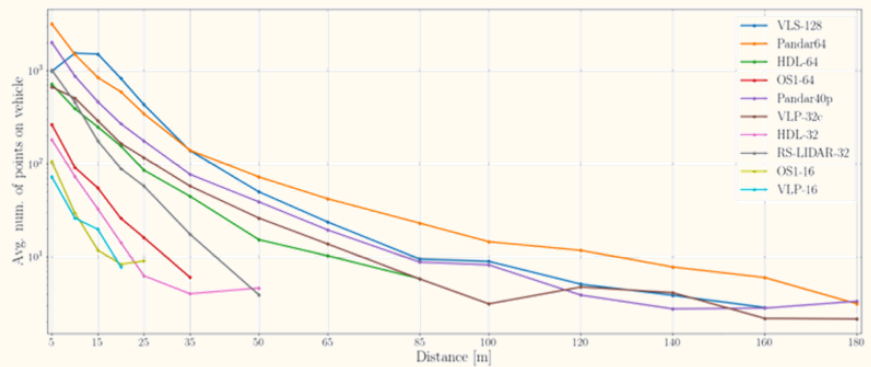
**图表8：日本JST下属CREST联合OPERA激光雷达感知性能测评结果**

型号	VLS-128	HDL-64S2	HDL-32E	VLP-32C	VLP-16	Pandar64	Pandar40P	OS1-64	OS1-16	RS-LiDAR-32
二次反射	无	无	无	有, <25m	无	无	无	无	有, <15m	无
强度偏差	有, <25m	有	无	无	无	无	无	有	有	无
光晕	无	无	有, 小	无	有, 小	有, 小	无	有, 大	有, 大	无
丢失点	无	有	有, 一些	有, 一些	有	无	有, 一些	有, 很多	有, 很多	有
交通标识视觉化	非常好	弱	弱	可接受	可接受	可接受, 扭曲	可接受, 扭曲	弱	非常弱	非常弱

来源：日本CREST及OPERA小组激光雷达评测报告，国金证券研究所



图表 9：日本 JST 下属 CREST 联合 OPERA 激光雷达实测点频数量



来源：日本 CREST 及 OPERA 小组激光雷达评测报告，国金证券研究所

### 1.3 整车厂多方面提出上车要求，通过投资或合作提高参与度

整车厂提出的前装量产要求主要体现在探测距离（反射率）、探测角度、使用年限、成本、交付产品时间点等方面。根据产业调研，车企要求 2022 年前后前装量产的主雷达在 10% 反射率下达到 150 米 - 200 米探测距离，水平 FOV 达 120°、垂直 FOV 达 20°，精度要求精度 ±3 厘米 - ±5 厘米，分辨率要求 0.2\*0.2；保修 3-5 年，20 万公里。L4-L5 级别高阶自动驾驶要求达到 250 米探测距离，分辨率要求 0.1\*0.1。

2025 年，定位于较高端车型的 ADAS 前装量产产品价格将降至约 500 美元，自动驾驶产品价格将降至约 1000 美元。长期来看，未来高阶自动驾驶的激光雷达将逐步将整车成本控制在 1000 美元以内。除此之外，车企还会关注产线的标准化程度，是否得到行业车规认证、配备清洗/加热/诊断等功能，交付产品的时间点是否合适等。

避免排他性，整车厂多通过投资或合作的方式参与激光雷达领域中，倾向于定制化或自研软件算法。随着自动驾驶级别的提高，激光雷达已成为业界默认的主传感器，又因为技术路线众多、不确定性较大，若为并购或自行成立事业部会存在内部排他性约束，福特、沃尔沃、戴姆勒、奔驰等传统整车厂多通过投资或合作的方式积极参与到激光雷达领域中；Velodyne、Luminar、Ouster、速腾聚创等均获 OEM 投资。

激光雷达厂商通常自研软硬件全栈套件，但整车厂多要求参与软件定制化研发或自行研发决策算法，如小鹏、蔚来等将自研核心感知算法，寻找厂商的配套硬件支持。

图表 10：整车厂多通过投资积极参与到激光雷达领域中

激光雷达厂商	车企	参与方式
Velodyne	现代、福特	投资
Luminar	沃尔沃、戴姆勒	投资
Quanergy	奔驰	投资、合作
Quanergy	马斯克（特斯拉）	投资
Ouster	福特	投资
Aeva	保时捷 SE	投资
速腾聚创	上汽、北汽	投资
华为	长安汽车	合作
大疆	小鹏	合作
Innoviz	陕西重汽	合作

来源：国金证券研究所

### 1.4 2023 年搭载量产车型将突破 30 万台，2030 年全球市场超 230 亿美元

2021 年起有望迎来前装放量，2023 年确定搭载激光雷达的量产车型将突破 30 万台。近日，Velodyne、Luminar、Aeva、Ibeo、华为、大疆 Livox、Innovusion 等激光雷达厂商纷纷宣布已与福特、沃尔沃、奥迪、北汽新能源、小鹏、宝马等整车厂达成合作，推出多款车规级产品，最早于 2021 年推出前装量产车型。

我们通过对类似定位的品牌、功能车型得到预测价格。对于传统整车厂，我们参考类似车型得到预测产销量；对于造车新势力，我们根据其现有产能及产能扩张计划得到预测产销量。

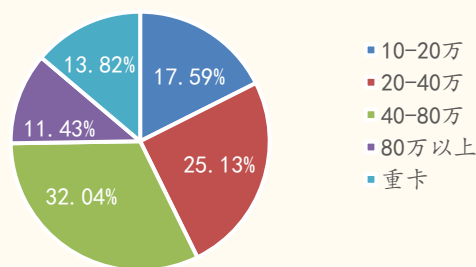
图表 11：整车厂已宣布搭载激光雷达量产车型价格区间、产量预测（台）

车型	预测价格 (元)	激光雷达厂 商	最早时间	2020E	2021E	2022E	2023E
福特 Otosan	40 万 - 50 万	Velodyne	2022 量产	-	-	-	20000
沃尔沃 SPA2 平台	50 万 - 90 万	Luminar	2022 量产	-	-	-	30000
奥迪 e-tron	50 万 - 80 万	Aeva	2022-2023 上市	-	-	-	45000
大众 ID BUZZ	20 万 - 40 万	Aeva	2023 上市	-	-	-	50000
奥迪 A8	80 万 -110 万	Ibeo	2017 上市	20000	20000	-	-
蔚来 ET7	30 万 - 50 万	Innovusion	2021 量产 2022 上市	-	-	40000	40000
北汽新能源 ARCFOX	20 万 - 30 万	华为	2021 量产	-	-	30000	30000
小鹏 P5	10 万 - 20 万	大疆 Livox	2021 量产	-	-	50000	50000
一汽解放	30 万 - 40 万	大疆 Livox	2021 量产	-	-	35000	35000
长城 WEY	10 万 - 20 万	Ibeo	2021 上市	-	20000	20000	20000
宝马 BMW iX	40 万 - 50 万	Innoviz	2020 量产	-	40000	40000	40000
总计	-	-	-	20000	80000	215000	360000

来源：国金证券研究所

由表可知，预计 2023 年左右搭载激光雷达的前装车型将首次突破 30 万台，目前确定搭载激光雷达的车型主要售价区间为 40 万 - 80 万。

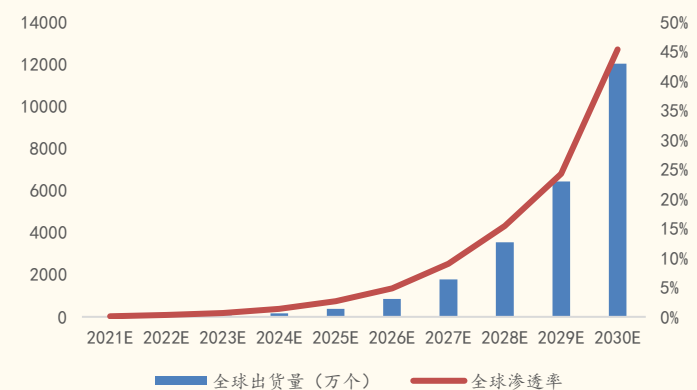
图表 12：确定搭载激光雷达的量产车型价格预测（元）



来源：国金证券研究所

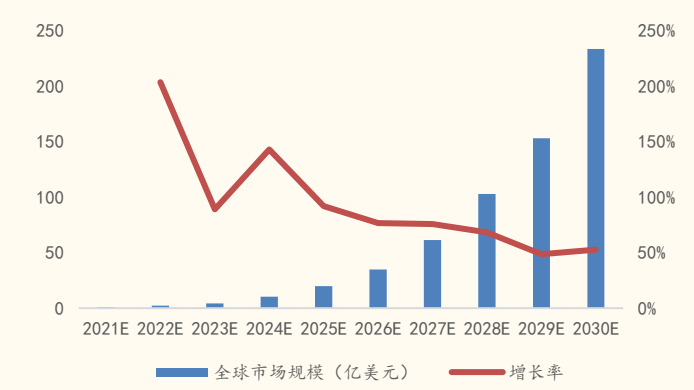
激光雷达有望通过规模量产+技术进步快速降价，2030年超230亿美元，2021-2030年复合增速近90%，总体前装渗透率达45%。根据车型价位分类测算激光雷达渗透率、配备数量及量产价格，结合全球不同价位车型销量变化趋势进行测算，我们认为，2024年全球激光雷达前装量产市场出货量将超百万个，2030年将超1.2亿个，2021-2030年复合增速将超120%；2030年全球激光雷达前装量产市场规模将达233亿美元，2021-2030年复合增速近90%，总体前装渗透率超45%。同时，2030年国内激光雷达前装量产市场出货量将超4200万个，2021-2030年复合增速达124%；2030年国内激光雷达前装量产市场规模将达80亿美元，2021-2030年复合增速达90%，总体前装渗透率近45%。除前装市场外，主要应用领域包括自动驾驶项目、前装量产、测绘、机器人、最后一公里配送等。

图表 13：全球激光雷达前装量产出货量预测



来源：国金证券研究所

图表 14：全球激光雷达前装量产市场规模预测



来源：国金证券研究所

## 二、众多技术路线驱动降本增效，未来呈现固态化、芯片化、智能化

激光雷达在测距原理、激光发射、激光接收、光束操纵及信息处理等五个方面均存在不同技术路线，创新技术可组合改善性能及成本等问题。新趋势从多层次降本增效，推动自动驾驶出租、ADAS前装量产等商业化落地进程。

图表 15：激光雷达多种技术路线分类一览

分类系统	类型	简介
测距原理	飞行时间法 (Time of Flight, ToF)	通过记录发射一束激光脉冲与探测器接收到回波信号的时间差，直接计算目标物与传感器之间距离的探测方法。
	三角测距法	系统以一定角度发射的激光照射在目标物后，在另一角度对反射光进行成像，根据物体在摄像头感光面上的位置通过三角几何原理推导出目标物距离的探测方法。
	调频连续波 (Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW)	指发射调频连续激光，通过回波信号与参考光进行相干拍频得到频率差，从而间接获得飞行时间反推目标物距离，同时也能够根据多普勒频移信息直接测量目标物的速度。
激光发射	边发射激光器 (Edge Emitting Laser, EEL)	指一种激光发射方向平行于晶圆表面的半导体激光器。
	垂直腔面发射激光器 (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)	指一种激光发射方向垂直于晶圆表面的半导体激光器。
	光子晶体结构表面发射激光器 (Photonic Crystal Surface Emitting Lasers, PCSEL)	指一种采用 2D 光栅结构(光子晶体)、可对光线进行线性正交散射的半导体激光器，激光发射在平面外且方向垂直。
	光纤激光器	指用掺稀土元素玻璃光纤作为增益介质的激光器。
光源	905nm	最常用的激光光源波长，但处于人眼可吸收光谱中，需要控制功率。
	1550nm	新型激光光源波长，不处于人眼可吸收光谱中，可以加大

			功率。
		PIN PD	工作无增益的光电二极管。
	光电探测器	雪崩式光电二极管 (Avalanche Photo Diode, APD)	工作在线性增益范围的光电二极管。
激光接收		单光子雪崩二极管 (Single Photon Avalanche Diode, SPAD)	工作在盖革模式、具有单光子探测能力的光电二极管。
		硅光电倍增管 (Silicon Photo-Multiplier, SiPM)	集成了成百上千个单光子雪崩二极管的光电探测器件。
	衬底材料	硅	制作半导体最常用的材料, 规模化生产、工艺改进使得成本极低; 吸收光的波长范围为 300-1200nm。
		砷镓	可吸收 900-1700nm 波长范围的光, 未规模化生产。
		机械式	通过电机带动收发阵列进行整体旋转, 实现对空间水平 360° 视场范围的扫描, 测距能力在水平 360° 视场范围内保持一致。
	扫描系统	混合固态	采用高速振动的 MEMS 振镜实现对空间一定范围的扫描测量, 其中 MEMS 微振镜为采用 MEMS 技术制造的谐振式扫描镜。
光束操纵		转镜	转镜方案中收发模块保持不动, 电机在带动转镜运动的过程中将光束反射至空间的一定范围, 从而实现扫描探测。
		固态	通过对阵列移相器中每个移相器相位的调节, 利用干涉原理实现激光按照特定方向发射的技术。
		电子扫描	按照时间顺序通过依次驱动不同视场的收发单元实现扫描, 系统内没有机械运动部件, 是纯固态激光雷达的一种发展方向。
	无扫描部件	Flash	采用短时间发射大覆盖面阵激光、再以高度灵敏探测器完成图像绘制的技术。
		现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array, FPGA)	指专用集成电路 (ASIC) 领域中的一种半定制电路。
	信息处理	高性能单片机 (Microcontroller Unit, MCU)	把 CPU 的频率与规格做适当缩减, 形成芯片级的计算机, 为不同的应用场合做不同组合控制。
	主控芯片	数字信号处理单元 (Digital Signal Processor, DSP)	内部采用程序和数据分开的哈佛结构, 具有专门的硬件乘法器, 广泛采用流水线操作, 提供特殊的 DSP 指令, 可以用来快速的实现各种数字信号处理算法。
		片上系统芯片 (System on Chip, SoC)	单个芯片集成光电探测器、前端电路、波形数字化、算法处理、激光脉冲控制等功能模块, 能够显著降低系统复杂度和成本, 适合大规模量产, 有条件取代主控单元 FPGA。

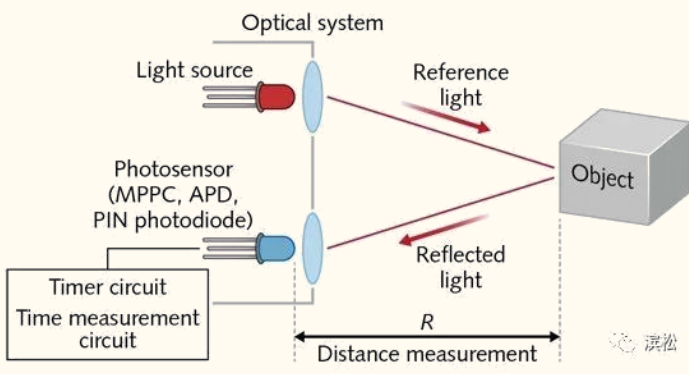
来源: 国金证券研究所

## 2.1 测距原理: FMCW 方案创新, 长期将与飞行时间法共存

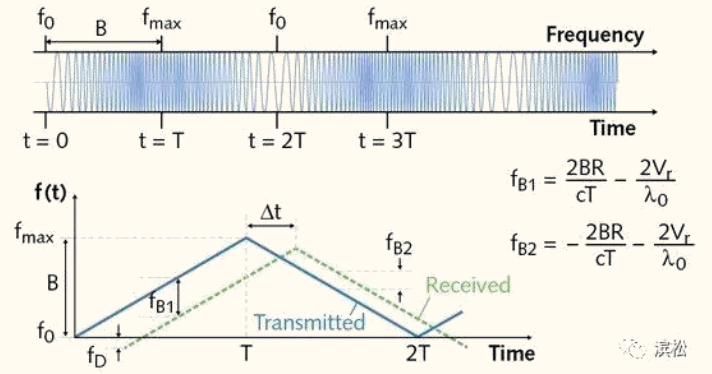
**测距原理部分:** 目前中长距主流方案为飞行时间法, 而 FMCW 法因可直接测量速度信息、抗干扰能力强成为新方案, 长期来看两种方法将并存。激光雷达的测距方法主要有飞行时间法、三角测距法及基于相干探测的 FMCW 法, 其中飞行时间法和 FMCW 法可实现室外阳光下较远的测距。飞行时间法通过直接测量发射激光与回波信号的时间差来获取距离信息, 具有响应速度快、探测精度高的特点; 常见的光束操纵分类如机械式、混合固态、固态式均采用了飞行时间的原理进行测距。

FMCW 法通过线性调制激光光频得到频率差, 间接获得飞行时间来反推距离, 可根据多普勒频移信息直接测量速度信息, 抗环境光和其他激光雷达干扰能力强, 可大大改善信噪比, 未来利用硅基光电子技术实现激光雷达芯片化方向发展。Aeva 已与采埃孚合作布局 FMCW 技术, Aurora 也推出首个 FMCW 激光雷达 Firstlight, 国内的禾赛科技、速腾聚创均有一定技术储备。

图表 16：飞行时间法测距示意图



图表 17：FMCW 测距示意图



来源：滨松《面向自动驾驶 Lidar 的核心半导体器件介绍》，国金证券研究所

来源：滨松《面向自动驾驶 Lidar 的核心半导体器件介绍》，国金证券研究所

对比来说，飞行时间系统已有较为完整成熟的产业链，供应商可提供包括发射器、探测器、专用集成电路等在内的标准组件，而 FMCW 的产业链上游处于早期培育阶段，尚停留在测试阶段、未推出规模面世产品，许多优势仍未得到证实；飞行时间法多采用 APD 或 SPAD 作为光电探测器，而 FMCW 可采用成本更低的 PIN 光电二极管。我们认为，综合成本、性能、点云质量等因素，飞行时间法仍是目前最有效的落地方法；随着 FMCW 激光雷达及上游产业链的成熟，两种方法将长期共存。

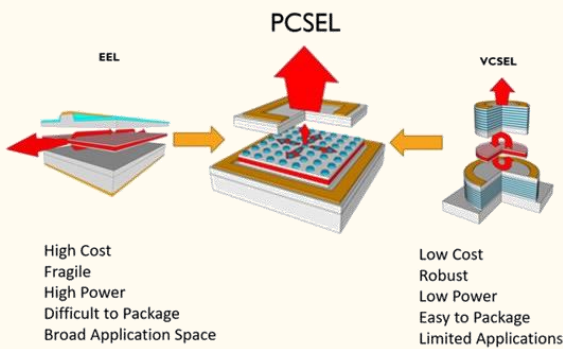
图表 18：飞行时间法与 FMCW 法对比

类型	飞行时间法	FMCW 法
原理	直接测量发射激光与回波信号的时间差来获取距离信息	线性调制激光光频得到频率差，间接获得飞行时间来反推距离
速度信息	计算	直接获取
特点	响应速度快、探测精度高	抗干扰能力强，可大大改善信噪比
布局厂商	所有厂商	Aeva、Aurora、禾赛科技、速腾聚创等
产业链情况	已有较为完整成熟的产业链	处于早期培育阶段
光电探测器	APD、SPAD 等	PIN PD

来源：国金证券研究所

2.2 激光发射：VCSEL 发射器推动量产降本，905nm、1550nm 光源或将共存  
激光发射部分：半导体激光器从 EEL 向 VCSEL 发展，长期 PCSEL 或成为新方向。

图表 19：半导体激光器发光面示意图



来源：麦姆斯咨询，国金证券研究所

图表 20：不同半导体激光器对比

类型	优点	缺点	激光雷达厂商
EEL	高发光功率密度	复杂工艺步骤带来成本高企、易碎、标准化程度不足	所有厂商
VCSEL	信噪比、生产成本低、产品可靠性高、合量大	发光功率密度不足，但创新后提升 5-10 倍、够用	lbeo、Ouster、禾赛科技等
PCSEL	宽波长范围、高发光功率密度、坚固耐用	-	暂无

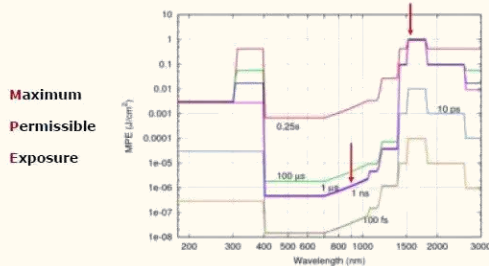
来源：国金证券研究所

作为探测光源，EEL 具有高发光功率密度，但复杂工艺步骤带来成本高企、易碎、标准化程度不足等问题。传统的 VCSEL 发光功率密度不足，探测距离不足 50m；创新的多层结 VCSEL 功率密度提升了 5-10 倍，可达百瓦级，在封装方式和光束整形等方面具有独特优势，信噪比、生产成本与产品可靠性问题大大改善，Ibeo、Ouster、禾赛科技均已布局相关技术。而 PCSEL 为格拉斯哥大学拆分出的最新激光器技术，具有宽波长范围、高发光功率密度、坚固耐用等优势，或成为业界新的技术方向。

随着自动驾驶级别的提高，整车厂要求探测距离提高，905nm、1550nm 两种激光雷达光源波长或将共存。主流发射器的激光波长分为 905nm 和 1550nm 两种。其中，905nm 可在人眼液体中传输，需要严格限制发射器功率，对探测距离有所限制，通常采用较为平价的硅基光电探测器。1550nm 远离人眼可吸收可见光谱波长，可以极大程度上提高功率及测距，具有点云成像效果好、聚光能力强、集成程度高等特点；但是，需要使用高价的铟镓砷作为探测器的衬底材料、光纤激光器作为发射器，后者成本高达几千美金；功耗增至 50W - 60W，高温下也会出现不可逆的性能衰减问题，车规检测可能存在障碍。我们认为，未来 905nm 光源产品可通过工艺改良等方法增进性能，1550nm 也可通过扩大使用场景以增进量产、快速降本，或将长期共存。

目前，激光雷达厂商中全球市值第一的 Luminar 已率先布局 1550nm 技术，通过收购铟镓砷探测器公司及工程优化等使成本由几万美元/个降至 3 美元/个；国内的华为、镭神智能、禾赛科技、速腾聚创也纷纷入场。

图表 21：1550 nm 与 905 nm 激光的人眼安全对比



激光波长	905 nm	1550 nm
脉冲宽度	5 ns	5 ns
最大允许曝光量	10 <sup>-6</sup> J/cm <sup>2</sup>	1.0 J/cm <sup>2</sup>
光斑大小(近车辆)	2 mm	2 mm
最大允许峰值功率	6W	6 MW

来源：QPC Lasers，国金证券研究所

图表 22：1550nm 与 905nm 激光的性能对比

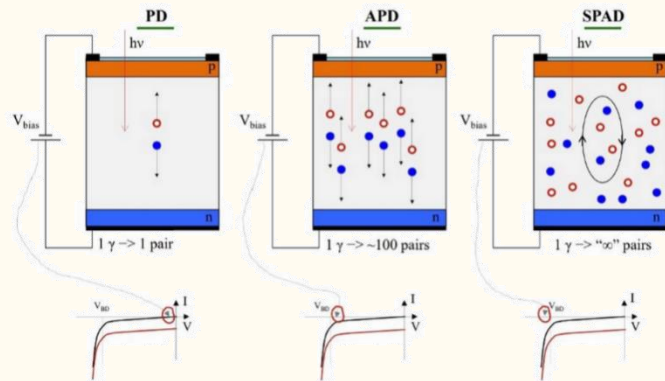
	类型	905nm	1550nm
安规	波长越短，光子能量越高，对人眼伤害越大，安规限制越严	限制大	限制小
传感器	传感器衬底材料决定了光谱响应灵敏度，铟镓砷价格高企	硅	铟镓砷
激光器	主要考虑成本、体积、光束质量和功率，光纤激光器成本高	半导体激光器	光纤激光器
日光干扰	地面日光光谱受多个因素影响，影响背景光水平	干扰大	干扰小
大气散射	波长越长，穿透能力越强	穿透力弱	穿透力强

来源：泡泡传感器评测，国金证券研究所

### 2.3 激光接收：主流使用 APD, SPAD 或 SiPM 替代成共识

激光接收部分：飞行时间类激光雷达主流探测器为 APD，部分厂商已采用使用增益能力更强的 SPAD 或 SiPM；FMCW 类激光雷达可使用毫无增益的 PIN PD。依据可增益能力，光电探测器主要可分为 PIN PD、APD、SPAD、SiPM 四类。其中，PIN PD 无增益，仅适用于 FMCW 测距激光雷达，成本最低；飞行时间类激光雷达目前主要使用的是技术较为成熟的 APD，工作在线性增益范围。

图表 23：不同激光探测器原理示意



来源：大话成像，国金证券研究所

SPAD 工作在盖革模式，具有单光子探测能力，比传统 APD 增益能力提高约 10 万倍，可实现低激光功率下的远距离探测能力，功耗、体积较小，已成为一大创新方向；同时，过于灵敏的接收也会导致通道串扰大、寄生脉冲等问题，电路设计等工艺难题带来较高的制造成本。

SiPM 增益能力与 SPAD 相似，由多个独立且带有淬灭电阻的 SPAD 组成，可克服单个 SPAD 不能同时测量多个光子的不足。SPAD 及 SiPM 可探测 200m、5% 反射率目标，不受明亮阳光影响，分辨率极佳；Innovusion、Ouster、禾赛科技等多数厂商均已布局相关技术。

图表 24：激光探测器种类对比

类型	PIN PD	APD	SPAD	SiPM
增益能力	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	<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 2600nm（铟镓砷）
探测速度	中等，取决于恢复时间	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，系统高噪声	探测器低噪声，系统高噪声（功耗限制）

来源：滨松《面向自动驾驶 Lidar 的核心半导体器件介绍》，国金证券研究所

#### 2.4 光束操纵：混合固态迎来前装量产前夜，长期 FMCW 或固态为主导

光束操纵部分：机械式较为成熟，为现阶段高阶自动驾驶主要选择；短期内往混合固态发展，未来 2-3 年将出现前装量产爆发；长期来看，FMCW、OPA、Flash 均有可能成为主导路线。根据光束操纵的方式，可分为扫描系统和 Flash 两种，其中扫描系统包括机械式、混合固态、固态；也可根据是否发生机械运动将 Flash 归为固态方案。

图表 25：激光雷达光束操纵分类对比

类型	是否有转动元件	是否有扫描系统	技术路线	测距	体积	量产成本	技术成熟度	代表厂商	是否有产品过车规
机械式	否	否	机械式	中远距离	大	难以下降	高	Velodyne、禾赛科技	计划有
混合固态	是	是	MEMS	中远距离	小	较低	中	Luminar、速腾聚创、一径科技	是

固态	否	转镜	中远距离	较小	较低	高	法雷奥、Innovusion、华为、大疆	是
		OPA	中远距离	最小	目前较高，未来低	低	Quanergy、力策科技	否
		Flash	近距离	较小	低	中	Ouster、Ibeo	计划有
		FMCW	中远距离	较小	目前较高，未来低	低	Aeva	否

来源：国金证券研究所

### 2.4.1 机械式：成熟度最高，近年来 ASP 显著降低

机械式方案成熟度最高，目前产量最高；人工成本、使用寿命乃两大上车难关，近年来 ASP 显著降低。机械式指在垂直方向上排布多束激光器、通过电机带动光电结构 360° 旋转，从而化点为线形成三维点云的方案，其线数与分辨率成正比，具有高分辨率、高测距的特点，是目前最成熟的方案。同时，为实现高频准确转动，其机械结构复杂，平均失效时间仅 1000-3000 小时，与车规要求的最低 13000 小时差距明显，难以实现前装量产；激光器堆叠需要人工操作，早期高线数机械式激光雷达成本高企成为最大痛点。

后期随着系统通道数目、集成度提高及规模化生产，行业 ASP 显著降低，但均价仍为万元美金，高线数代表公司为 Velodyne、禾赛科技等。高阶自动驾驶出行商对分辨率及测距距离要求高，但对成本、体积、失效时间敏感度相对较低，为机械式的主要客户，如 Cruise、小马智行等。

图表 26：机械式激光雷达机械结构复杂



来源：Velodyne，国金证券研究所

图表 27：机械式激光雷达定价

厂商	产品	售价
Velodyne	HDL-64 (2014 年)	75000 美元
	HDL-32 (2019 年)	29000 美元
	VLP-16 (2018 年)	4000 美元
	平均成本	14000 美元
禾赛科技	PandarQT (2020 年)	4999 美元
	平均价格 (2017 年)	11.38 万元
	平均价格 (2018 年)	10.42 万元
	平均价格 (2019 年)	11.36 万元
速腾聚创	平均价格 (2020 年)	8.94 万元
	32 线 (2020 年)	10 万元+
镭神智能	16 线 (2020 年)	1 万元+
	C32 (2020 年)	3 万元
	C16 (2020 年)	1.2 万元

来源：产业调研，国金证券研究所

### 2.4.2 混合固态：最快上车成共识，MEMS、转镜方案放量在即

混合固态指收发组件静止、仅扫描器发生机械运动的激光雷达类型，可细分为 MEMS、转镜等形式，技术相对成熟，主要面向前装量产 OEM。

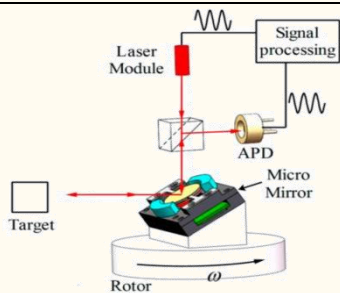
**MEMS 有望第一批上车，多厂商布局 MEMS 微振镜。** MEMS 即微机电系统，指采用 MEMS 技术将微型反射镜、MEMS 驱动器及传感器集成为微振镜，后者通过一定谐波频率振荡反射激光、达到高速扫描形成点云图的效果。MEMS 大大减少了激光器及探测器数量，具有高集成、高分辨、采集快、小尺寸、低成本的优势；但是由于收光孔径、摆动幅度较小导致探测距离、视场角度有限，技术成熟度有待进一步提高。

Luminar、禾赛科技、速腾聚创、镭神智能、一径科技、Innoviz 均有布局 MEMS，多配合 1550nm 光源提升探测距离。该类型核心控制点在于 MEMS 微振镜，禾赛科技、速腾聚创、镭神智能及 Innoviz 均有自研。根据产业调研，



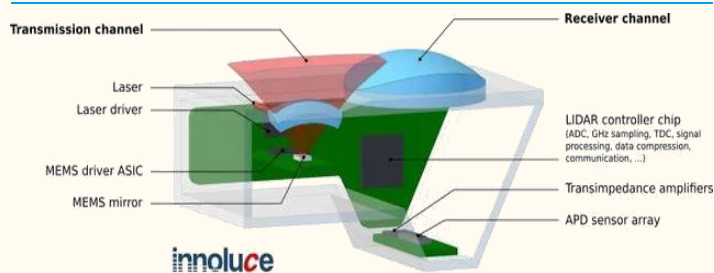
905nm MEMS 发光-振镜-接收这一整套成本占比约为 40%，而 1550nm 产品中激光发射器成本占大半。

图表 28: MEMS 激光雷达原理



来源: 麦姆斯咨询, 国金证券研究所

图表 29: MEMS 激光雷达结构

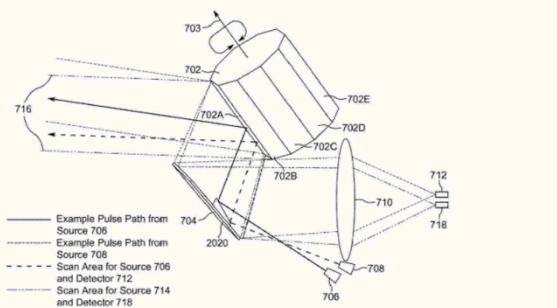


来源: Innoluce 官网, 国金证券研究所

转镜最早通过车规, 或为目前最佳上车方案。转镜方案指通过电流扫描振镜带动多边形棱镜运动反射激光达到扫描效果的技术, 无需多次校准。该方案可通过提高转速来提高扫描精度, 控制扫描区域从而提高关键区域的扫描密度; 成熟的多边形激光扫描技术成本较低, 为十美元量级, 还可灵活调整垂直分辨率, 具有探测距离远、探测角度大的优势。同时, 电机驱动也带来了功耗高、稳定性不足和光源能量分散等问题。

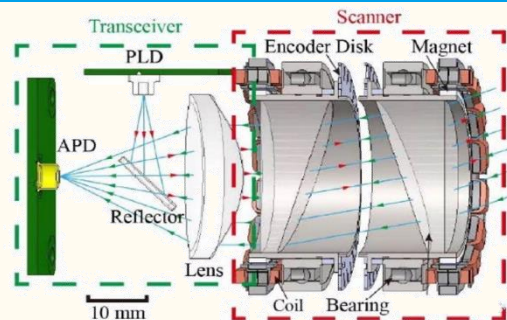
2010 年 Ibeo 与法雷奥合作进行 4 线 Scala 的研发, 成为最早通过车规的产品, 已于 2017 年实现量产; 2020 年底, 华为也推出了基于转镜方案的车规级激光雷达, 但并未透露具体技术细节; Innovusion 等厂商采用结合 1550nm 光源及 SPAD 的方式进行改进, 大疆 Livox 则推出双楔形棱镜方案。

图表 30: 多边形棱镜转镜激光雷达结构



来源: 汽车之心, 国金证券研究所

图表 31: 双楔形棱镜转镜激光雷达结构



来源: 汽车之心, 国金证券研究所

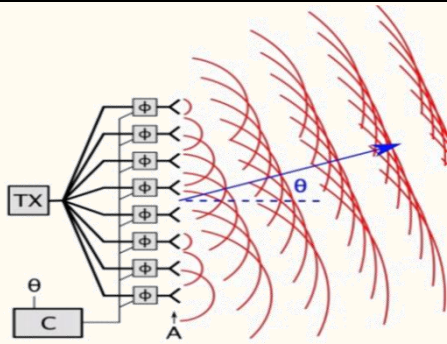
### 2.4.3 固态: 成熟度低, 长期有望成主流

固态指无任何机械运动部件的激光雷达类型, 可细分为 OPA、Flash、电子扫描等形式, 目前技术成熟度较低。

零部件需大量自研, OPA 上车仍需时间。OPA 即光学相控阵技术, 利用电压调节制造发射阵列间的相位差实现光束偏转, 兼具扫描快、精度高、体积小及强可控、强抗振等优势, 技术突破后成本较低、量产标准化程度高, 被部分业界专家认为是激光雷达最终的主流形态。

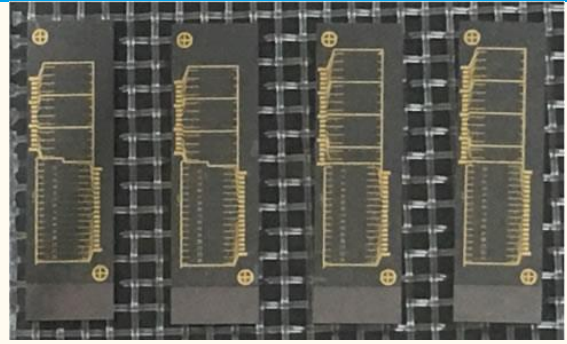
同时, OPA 产业链培育不足, 零部件大部分需要自研、制造工艺要求高, 对激光雷达厂商而言难度较大, 也存在易形成旁瓣效应、光信号覆盖有限、测距不足等问题。代表厂商为 Quanergy, 但近年来舆论不利、影响力逐渐降低; 国内力策科技等厂商已成功自研 OPA 芯片, 但目前未有车企合作消息。

图表 32: OPA 激光雷达原理



来源: 麦姆斯咨询, 国金证券研究所

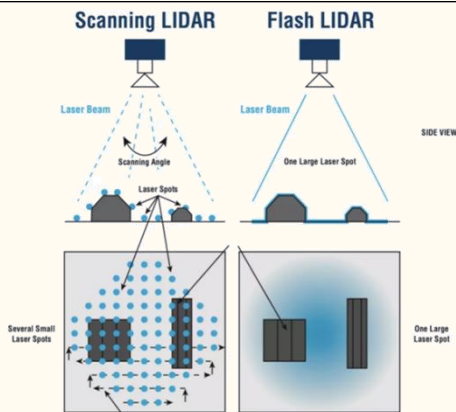
图表 33: OPA 激光雷达芯片



来源: 国科光芯, 国金证券研究所

**Flash 探测范围受限, 可结合 VCSEL、SPAD 等其它系统创新改善。**Flash 是目前唯一不存在扫描系统的方案, 但由于不存在机械运动部件常被归类为固态。它主要指采用短时间发射大覆盖面阵激光、再以高度灵敏探测器完成图像绘制的技术, 可达最高等级的车规要求, 但功率密度及回波光光子数量太低导致的测距及分辨率不足是最大的问题。代表厂商 Ouster 结合 VCSEL、SPAD 技术改善性能, 也有业界专家认为这种路线会是激光雷达最终的主流形态。

图表 34: Flash 激光雷达原理



来源: 汽车之心, 国金证券研究所

图表 35: Flash 激光雷达



来源: Ouster 官网, 国金证券研究所

电子扫描指依据时间顺序驱动不同视场激光器实现扫描的全固态方案, 是禾赛科技已应用于 Pandar FT 的创新方案, 结合 VCSEL 与 SPAD 技术, 目前处于小批量试制阶段。

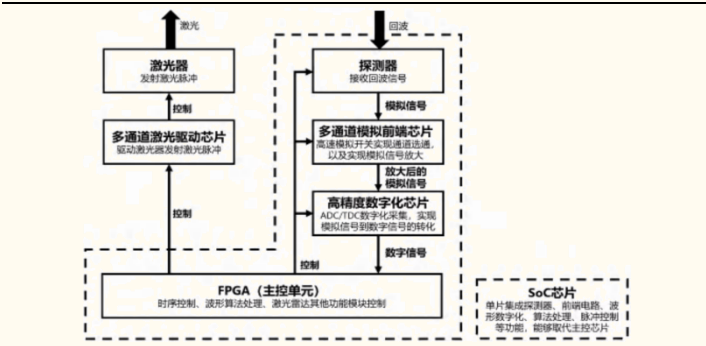
## 2.5 信息处理: 主控芯片标配为 FPGA, 长期或与 SoC 共存

**FPGA 为主流选择, 赛灵思产品在激光雷达主控芯片市场占有率高达 90%。**激光雷达信息处理部分主要分为主控芯片及模拟芯片。主控芯片用于激光发射器、探测器等激光雷达其他功能模块的控制, 最常用的是 FPGA 芯片。最为先进的 CMOS 工艺制备的 FPGA 芯片容量巨大, 赛灵思产品高算力、高集成、低成本的特点使市占率高达 90%; 且提供可编程硬件, 对多种技术路线的适应性极强。此外, MCU、DSP 也可作为主控芯片的选择。

**激光雷达厂商多自研 SoC 贴合上车要求, 长期二者将共存。**最新趋势是可片内集成探测器、前端电路、波形数字化、算法处理、脉冲控制等模块的 SoC, 可光子输入、点云输出, 可显著降低系统复杂度及成本, 适合规模量产; 同时也需要承担较高的开发风险、费用及周期。

今后，先列、面阵规模的增大及 CMOS 工艺节点的升级可实现更强算力、更低功耗及更高集成，有望逐步替代主控芯片 FPGA 的功能；较高的技术壁垒及程序安全性推动厂商自研 SoC，禾赛科技、Mobileye、英特尔等已率先布局 SoC 技术，长期来看二者将共存。

图表 36：激光雷达专用芯片及功能模块示意图



来源：禾赛科技招股书，国金证券研究所

图表 37：FPGA 与 SoC 对比

类型	FPGA	SoC
功能	主控芯片，负责功能模块控制及计算	激光收发元件、脉冲控制等，光子输入、点云输出
集成度	一般	极高，整个激光雷达集成于一个芯片产品
供应商	赛灵思	激光雷达厂商自研
集中度	极高，赛灵思 FPGA 产品在激光雷达主控芯片市场占有率达 90%	低

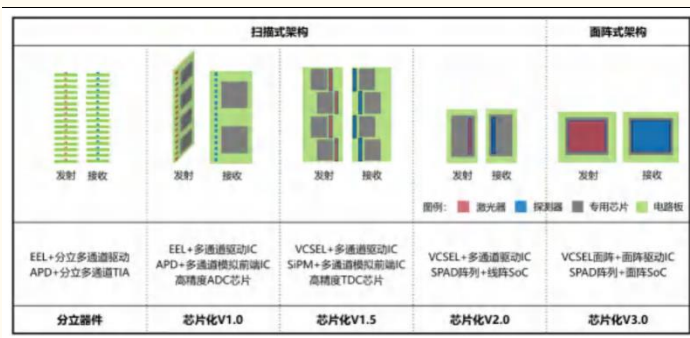
来源：国金证券研究所

## 2.6 总体而言：迈过成本及车规大山，发展呈现固态化、芯片化、智能化

激光雷达上车存在成本及车规两大阻碍，可通过技术进步、建设流水线解决。前装量产需要成本大幅下降达到可商用水平、车规认证产品稳定性。不同技术路线激光雷达的核心控制点不一，如 1550nm 光源激光雷达的光纤激光器成本占比高达 80%，约为 2000 美元；905nm MEMS 产品的核心控制点在于 MEMS 微振镜，发光-振镜-接收系统成本占比约为 40%。而 ADAS 前装量产产品价格要求降至约 500 美元，自动驾驶产品价格降至约 1000 美元，仍存在一定差距。通过采购供应链管理、规模化流水线生产、提升良品率、提高标准化及模块化水平等方式，产品成本可得到较大幅度降低。

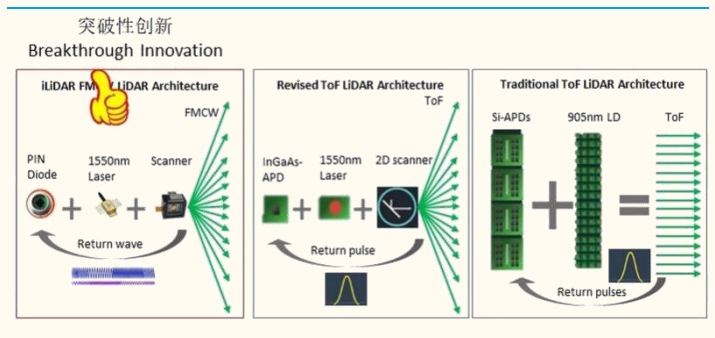
短期内，激光雷达将往混合固态发展；长期来看，FMCW、OPA、Flash 均有可能成为主导路线。由于机械式需要人工堆叠激光器及探测器等收发元件，虽探测性能优秀，却带来了高成本、低寿命、大体积等问题，无法达到成本及车规要求，目前多应用于价格不敏感的自动驾驶领域；而 MEMS、转镜等混合固态方案结合多层次技术进步突破原有的探测距离等问题，较符合车企上车要求，未来 2-3 年将出现前装量产爆发；长期来看，随着技术成熟及产业链供应商的发展，FMCW、OPA、Flash 都有可能成为主导的技术路线，整体呈现明显的固态化趋势。

图表 38：禾赛科技芯片化发展路径



来源：禾赛科技招股书，国金证券研究所

图表 39：各部件创新方案相结合



来源：麦姆斯咨询，国金证券研究所

集成度、价格、体积等方面均有明显优势，许多厂商均有布局芯片化技术。芯片化主要是指将激光雷达各模块集成到芯片上，可以较大程度提升集中度，从而降本降价。芯片化架构将分立器件集成于一颗芯片，实现收发单元阵列化、核心模块芯片化，即 SoC；芯片化技术有助于构建系列产品的核心架构和技术

中台、建设自动化产线，在降低物料成本的同时，系统失效率和人力生产成本也显著降低，产品可靠性、能量利用率、生产效率显著提高。目前，Luminar、Innoviz、Ouster、Aeva、Quanergy、禾赛科技等厂商均有布局芯片化技术。

激光雷达有望在收集数据基础上完成感知算法的实时计算分析，向智能化发展。前期感知属于信息搜集层面，而算法则直接连接决策层。速腾聚创在 2017 年推出普罗米修斯计划，其后在 MEMS 激光雷达中嵌入 AI 感知算法与专用计算芯片组，同步输出障碍物检测、障碍物分类、动态物体跟踪、可行驶区域检测等感知结果。

### 三、产业链上游由海外光电子巨头垄断，激光雷达厂商自研铸壁垒

激光雷达三大核心元器件为激光发射器、光电探测器及光束操纵元件，主要由海外光电子巨头垄断，国产替代正起步。激光雷达可分为激光发射、激光接收、光束操纵和信息处理四大系统，光电部分多由日韩德光电子厂商垄断，如激光器主要供应商有 OSRAM、AMS、Lumentum 等，探测器主要供应商有 First Sensor、滨松、安森美、索尼等，光束操纵元件主要供应商有英飞凌、滨松、Mirrocle 等。

图表 40：激光雷达产业链上下游



来源：汽车人参考，国金证券研究所

图表 41：激光雷达产业链上游代表厂商

类型	厂商	国家	产品
激光器	Lumentum	美国	至今已累计发货超 8.5 亿颗 3D 传感激光器，其中 EEL5 千万颗，VCSEL 超 8 亿颗；光纤激光器
	滨松	日本	21W-120W 的 905nm 激光器、4 通道车规级 905nm 激光器、高功率 940nm VCSEL 等
	AMS	奥地利	收购了拥有高功率 VCSEL 技术的 Princeton Optronics
光电探测器	滨松	日本	PD、PIN PD、APD、SPAD、SiPM 等
	安森美	美国	收购 SensL, APD、SPAD、SiPM 等
	First Sensor	德国	PIN PD、APD、SiPM、镓砷探测器等
光束操纵元件	英飞凌	德国	收购 Innoluce, MEMS 微振镜等
	Mirrocle	美国	MEMS 微振镜、带通滤光片 BPF、FAC-LENS 快轴准直透镜等

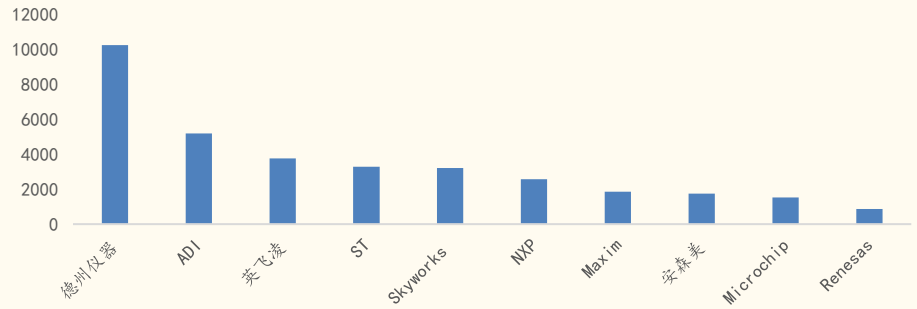
来源：国金证券研究所

近年来，国内光电器件厂商也逐渐进入激光雷达供应链中，如深圳瑞波、常州纵慧芯光等的激光器，成都量芯、深圳灵明光子、南京芯视界、飞芯电子等的探测器。其中，已有部分公司产品获得车规认证 (AEC-Q102)，在面向国内激光雷达厂商需求上也有一定定制化、成本优势，长期来看有望实现国产替代。

信息处理系统中主控芯片、模拟芯片市场均由美国半导体公司垄断，国内产业链培育中。90%主控芯片市场被赛灵思的 FPGA 产品占据，还可选择 MCU、DSP 类产品，主要供应商包括瑞萨、英飞凌和德州仪器、亚德诺半导体等。FPGA 国内主要供应商有紫光国芯、安路半导体等，其逻辑资源规模和高速接口性能均能满足激光雷达需求。

模拟芯片市场 CR5 占有率近 50%，2019 年前五大供应商分别为德州仪器（19%）、亚德诺半导体（10%）、英飞凌（6%）、意法半导体（5%）、Skyworks（5%）。模拟芯片国内主要供应商有圣邦微电子、思瑞浦等，相比起步较晚，车规级产品类型、技术水平尚有较大差距。

图表 42：2019 年全球十大模拟芯片供应商营收（百万美元）



来源：各公司年报，国金证券研究所

创新技术路线的核心控制点不一，激光雷达厂商多通过内研外扩布局以铸壁垒。1550nm 光源激光雷达为光纤激光器、铟镓砷探测器，国内厂商如禾赛科技、镭神智能等自研光纤激光器，Luminar 并购上游铟镓砷厂商使探测器单品成本由几万美元降至 3 美元；MEMS 产品在于 MEMS 微振镜，禾赛科技、镭神智能、Innoviz 等厂商均选择自研，速腾聚创通过投资希景机电布局。

图表 43：国内厂商激光雷达上游布局

器件类型	厂商	厂商类型	布局
光束扫描系统	禾赛科技	激光雷达厂商	自研 MEMS 微振镜
	一径科技		自研 MEMS 微振镜
	速腾聚创		投资希景机电 (MEMS 微振镜公司)
激光发射系统	镭神智能	激光雷达厂商	自研 MEMS 微振镜
	镭神智能		自研 1550nm 用光纤激光器
	华为		自研 1550nm 用光纤激光器
激光接收系统	深圳瑞波	光电厂商	自研激光器
	常州纵慧芯光		自研激光器
	南京芯视界		自研光电探测器
信息处理系统	深圳灵明光子	芯片厂商	自研光电探测器
	飞芯电子		自研光电探测器
	成都量芯		自研光电探测器
SoC	紫光国芯	芯片厂商	自研 FPGA 主控芯片
	西安智多晶		自研 FPGA 主控芯片
	矽力杰		自研模拟芯片
	圣邦微电子	激光雷达厂商	自研模拟芯片
	力策科技		自研 OPA 芯片
	国科光芯		自研 OPA 芯片
SoC	禾赛科技	激光雷达厂商	自研 SoC 芯片通用架构
	速腾聚创		自研 SoC 芯片
	饮冰科技		自研 SoC 芯片

来源：国金证券研究所

长期来看，创新技术有待产业链价值调整，2030年激光雷达前装量产的上游市场规模将达112亿美元。若未来1550nm光源能占有一席之地，光纤激光器、铟镓砷探测器等核心器件或将通过激光雷达厂商交叉授权、License + Loyalty等方式授权于上游供应商，标准化产品批量生产以降低成本。其中，光纤激光器成本占比高达80%，约为2000美元，Lumentum、Oclaro等已率先布局的上游供应商将形成一定壁垒。而905nm路线中，MEMS产品的核心控制点在于MEMS微振镜，发光-振镜-接收系统成本占比约为40%，目前已有部分上游初创企业布局；VCSEL、SPAD技术已有部分上游光电巨头掌握。基于对产业规律的理解推测激光雷达毛利率及软硬件价值占比变化趋势，我们认为，前装量产的上游市场规模将达112亿美元。

#### 四、近期领先玩家纷纷上市，2021年规模生产即将铺开

2020年开启激光雷达上市潮，厂商多通过SPAC方式上市。2020年10月，Velodyne成为激光雷达第一股，通过SPAC方式在纳斯达克上市，目前约为40亿美元市值。12月，Luminar宣布同样以SPAC于纳斯达克上市，目前市值约100亿美元。SPAC（Special Purpose Acquisition Company，特殊目的并购公司）可节省许多上市流程，上市费用大幅降低，且耗时较短，具有并购基金和壳资源的双重属性。

2021年，目前已宣布计划上市的激光雷达厂商还有禾赛科技（估值20亿美元）、Ouster（估值19亿美元）、Aeva（估值21亿美元）、Innoviz（估值14亿美元）等，其中禾赛科技以IPO登陆科创板，其余厂商均通过SPAC形式登陆美股。

图表44：激光雷达厂商上市情况

厂商	(计划)上市时间	上市方式	交易所	市值/估值
Velodyne	2020年10月	SPAC	纳斯达克	约40亿美元
Luminar	2020年12月	SPAC	纳斯达克	约100亿美元
禾赛科技	2021年一季度	IPO	科创板	约20亿美元
Ouster	2021年上半年	SPAC	纽交所	约19亿美元
Aeva	2021年一季度	SPAC	纽交所	约21亿美元
Innoviz	2021年一季度	SPAC	纳斯达克	约14亿美元

来源：国金证券研究所

关注焦点从自动驾驶市场转向前装市场，不同厂商定位与策略各异。虽然前装市场空间更大，但早期在规模、技术限制下，激光雷达主要客户为自动驾驶车队，后者更注重性能，对价格不敏感，Velodyne、禾赛科技等厂商深耕该领域，其高线数机械式产品颇受自动驾驶出行商青睐。

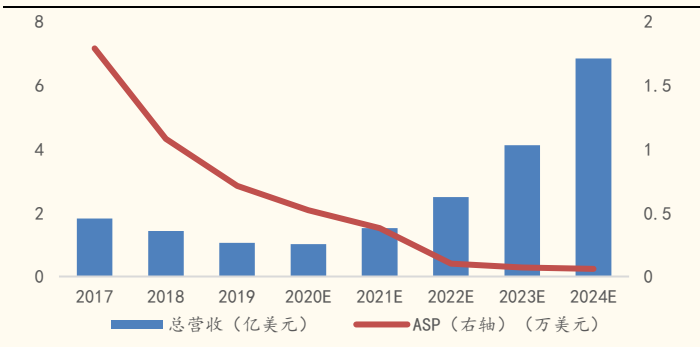
2020年以来，供需双方驱动激光雷达前装量产进程，性能够用即可，使用寿命、稳定性、成本、体积等成为车企关注指标，混合固态/固态激光雷达关注度提升。其中，Luminar、速腾聚创、Innoviz等重点布局MEMS，Quanergy、力策科技等重点布局OPA，Ouster、Ibeo、Aeye等重点布局Flash，Aeva等重点布局FMCW，华为、大疆、Innovusion等重点布局转镜。由于技术路线较多，许多厂商均选择多方布局以做强技术储备、拓展能力边界，补全产品种类，如以高线数机械式见长、意在自动驾驶出租的禾赛科技补全低线数场景产品及MEMS等固态条线，以低线数机械式、定位“最后一公里”配送入场的速腾聚创开拓高线数产品、重点推出MEMS产品等。

融资投向重点多在于自建工厂，以规模化生产降本增效。厂商希望通过规模化生产、产线工艺管理等方式大幅降本以满足车企要求，国外厂商如Velodyne、Aeva、Innoviz多通过和采埃孚、麦格纳等Tier 1合作共建工厂，国内厂商如禾赛科技、镭神智能、一径科技等多自建工厂，速腾聚创等拿到车企定点的厂商表示量产将与车企工厂合作。

#### 4.1 Velodyne:机械式激光雷达先驱，多元业务、工厂建设促进商业化

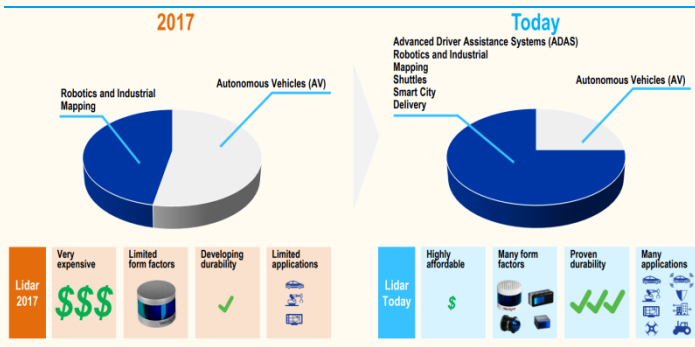
过去：出货量及总营收居首，总营收连续三年下滑。2020年10月于纳斯达克SPAC上市，成为激光雷达第一股，目前市值约40亿美元。成立至今，Velodyne拥有300余个客户，累计售出超4万台激光雷达，获得超5.7亿美元收入，超其余激光雷达厂商总和，2017、2018、2019年总营收分别为1.821亿美元、1.429亿美元、1.014亿美元。预计2020年全年营收约为9400万美元，连续三年收入下滑，主要原因为竞争加剧及ASP下降。

图表 45: Velodyne 总营收及 ASP 预测



来源：Velodyne 上市路演报告，国金证券研究所

图表 46: Velodyne 自动驾驶营收占比下降至四分之一



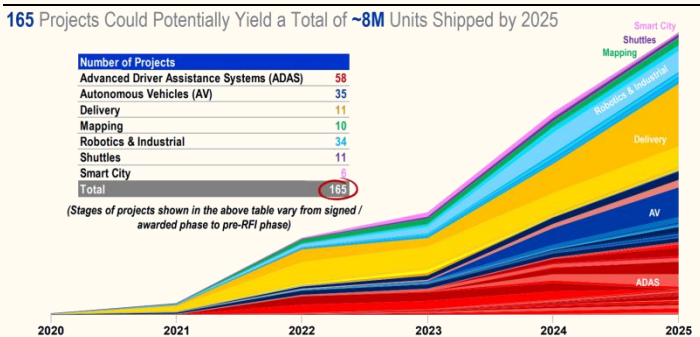
来源：Velodyne 上市路演报告，国金证券研究所

现在：Vella 软件+低成本 Velabit 组合进军 ADAS，收入走向多样化。早期 Velodyne 以高线数机械式激光雷达闻名，超半数获加州 DMV 自动驾驶路测牌照公司为其客户，2017 年总营收超半数由自动驾驶业务提供。近年来实现业务多元化，收购高精地图创业公司 Mapper.ai，推出定位 ADAS 的 Vela-系列低成本固态产品，已与现代、福特等车企达成合作。如今，自动驾驶业务占比下降至四分之一，其余业务包括 ADAS、无人递送、机器人、测绘、智慧城市、摆渡车等。

未来：手握多个长期订单，合作工厂加快规模化效应。根据其上市路演报告，Velodyne 手握多个领域高达 16 个长期订单合同，主要收入来自自动驾驶、ADAS 及无人递送业务，预计 2024 年软硬件总收入将达 8 亿美元，2025 年出货量将达 800 万台。为提供相应产能，Velodyne 在美国圣何塞、日本仙台、泰国春武里及加拿大分别部署工厂，与尼康、Fabrinet 和 Veoneer 建立制造合作关系，积极建设自动化产线。

我们认为，随着长期订单的铺开和规模化效应的形成，Velodyne 毛利率将有较显著的提升；其机械式产品短期内将维持万台出货量水平，固态 ADAS 产品的出货比例将进一步提升，ASP 将持续下行；多领域同时铺开，将成为商业化程度最快最高的厂商之一。

图表 47: Velodyne 收入多样化



来源：Velodyne 上市路演报告，国金证券研究所

图表 48: Velodyne 长期订单收入预测 (百万美元)

业务	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E
最后一公里配送	9.3	26.4	75.5	150.0	149.3
自动驾驶出租	15.5	14.3	33.4	96.0	123.5
ADAS	5.4	7.6	17.7	47.0	53.2
航天飞机	1.9	2.9	3.5	-	-
高精地图	0.6	0.9	0.8	-	-
机器人	0.2	0.4	0.9	-	-
智慧城市	0.2	0.6	0.6	-	-
总计	33.1	53.0	132.4	293.0	326.0

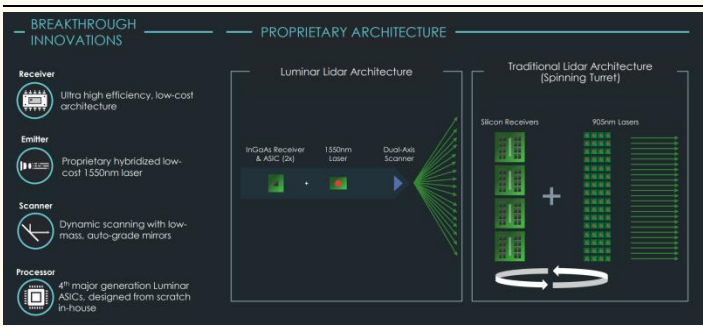
来源：Velodyne 上市路演报告，国金证券研究所

#### 4.2 Luminar: 主推 1550nmMEMS 软硬件全栈方案，PEG 估值 103 亿美元

过去：收购上游厂商布局 1550nm 光源，软件收入占比近 80%。为实现更高分辨率及更大探测范围，Luminar 收购了 Open Photonics 和 Black Forest Engineering 两家公司，前者为光电初创公司，后者为铟镓砷探测器公司；根据 Luminar 上市路演报告，配合 Luminar 自研 SoC，1550nm 探测器成本可由几万美元/个降至 3 美元/个，同时实现高性能低成本。

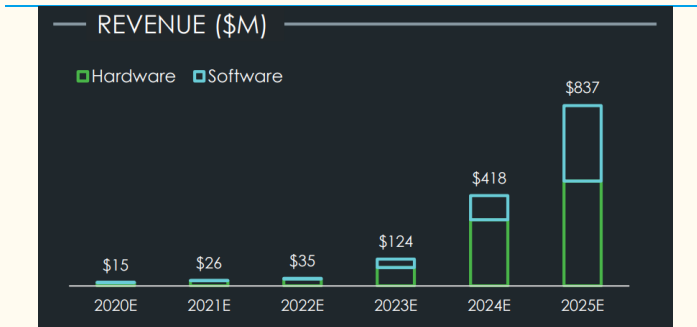
同时，由于最早于 2022 年量产，2020 年 Luminar 激光雷达出货量仅为百台，2019、2020 连续两年软件收入近 80%；随着量产开启，该比例有望持续降低至 50% 以下。

图表 49：Luminar 1550nm 光源创新方案



来源：Luminar 上市路演报告，国金证券研究所

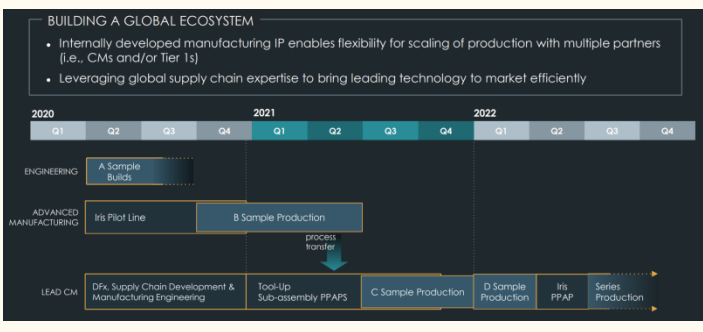
图表 50：Luminar 软件占收入比例预测



来源：Luminar 上市路演报告，国金证券研究所

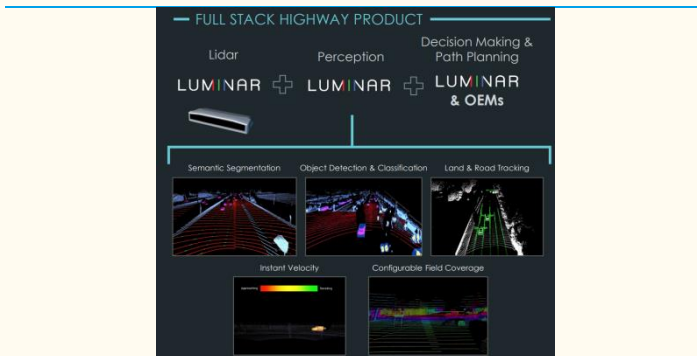
现在：软硬件配套提供全栈解决方案，低阶产品单价低至 500 美元、高阶单价低至 1000 美元。Luminar 先后推出 Iris、Hydra 两款 MEMS 软硬件解决方案，其中，Iris 已于 2019 年投产，计划于 2022 年量产，Hydra 仍在测试阶段。根据 Luminar 上市路演报告，Iris L3 级以下低阶版本单价约 500 美元，L3 及以上高阶版本单价约 1000 美元。结合产业调研，Luminar 2021 年销售量预计将达 400 台，ASP 约 2 万美金；2025 年计划生产 63.36 万台，ASP 降至 730 美金。

图表 51：Iris 计划于 2022 年 Q3 开始量产



来源：Luminar 上市路演报告，国金证券研究所

图表 52：Luminar 提供软硬件全栈解决方案



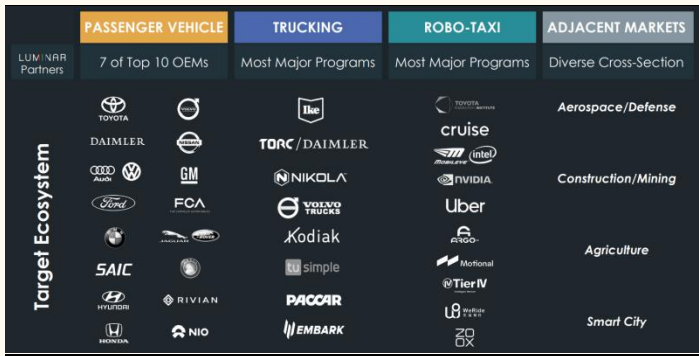
来源：Luminar 上市路演报告，国金证券研究所

未来：车企合作协议价值超 15 亿美元，2025 年预计总营收达 8.37 亿美元，2030 年目标营收为 72 亿美元。目前，Luminar 已与沃尔沃、丰田、戴姆勒达成量产合作，其余车企伙伴达 13 家，合同价值超 15 亿美元；50 余个合作伙伴来自乘用车、卡车和自动驾驶出租等多个垂直行业。2021-2022 年，Luminar 计划有 12 个量产及研发项目，包括 1 个戴姆勒卡车量产项目、2 个沃尔沃等厂商量产项目及 9 个其他开发合同。

根据 Luminar 上市路演报告，全球每年汽车销量为 9000 万台，单车搭载激光雷达数为 4 个、单个激光雷达价值量为 500 美元，预计全球激光雷达汽车市场规模可达 1800 亿美元，而 Luminar 2030 年目标渗透率为 4%，即 72 亿美元。据预测，Luminar 2021-2025 年总营收复合增速超 120%，2025 年将达 8.37 亿美元；毛利率将于 2021 年转正，2021-2025 年逐渐提升并稳定在 60% 左右。

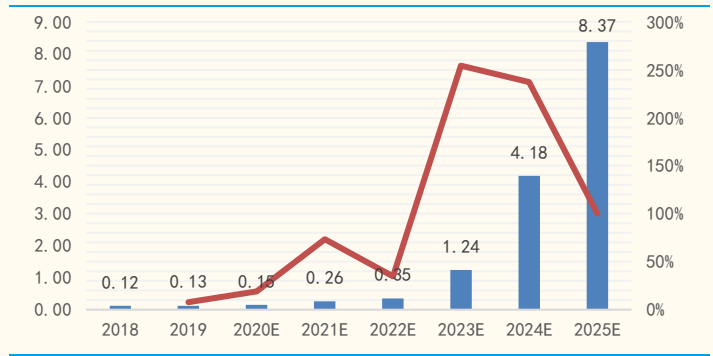


图表 53: Luminar50 余个多领域合作伙伴



来源: Luminar 上市路演报告, 国金证券研究所

图表 54: Luminar 总营收及增速预测



来源: Luminar 上市路演报告, 国金证券研究所

我们认为, 根据 8% 资本成本折现, 给予 1 倍 PEG, 假设净利率为 15%、增长率为 120%, Luminar20 年底合理市值约 103 亿美元。

图表 55: Luminar 估值敏感性分析 (美元)

参数	净利率	增长率	2025 年底估值	2020 年底估值
最差	10%	90%	75 亿	51 亿
我们预测	15%	120%	151 亿	103 亿
最优	20%	150%	251 亿	171 亿

来源: 国金证券研究所

#### 4.3 禾赛科技: 机械式自动驾驶领域已成规模, 统一芯片架构启动放量

过去: 高线数产品以高性能、低成本抢占多数自动驾驶市场。激光雷达产品销售额占总营收比例超 75%, 2019 年禾赛销售 2890 套激光雷达, 2020 年 1-9 月销售 2132 套, 营收分别为 3.28 亿元、1.91 亿元。2020 年 9 月 Pandar128 推出前, 高线数旋转式 Pandar64 和 Pandar40P 为主力产品, 其高性能获得日本科学技术振兴机构 JST 认可, 在同等线数产品中品牌表现最佳, 且价格仅为高线数机械式先驱 Velodyne 的四分之一。

图表 56: 禾赛科技财务情况

时间	2017	2018	2019
总营收	1947.40	13287.01	34847.41
毛利率	74.52%	75.61%	76.21%
净利润	-2427.23	1611.23	-14973.35

来源: 禾赛科技招股书, 国金证券研究所

现在: 自动驾驶仍为主要客户, ADAS 市场试水中。禾赛科技主要客户集中在自动驾驶领域, 如博世、Aurora、百度、AutoX、文远知行、上汽、Nuro、Lyft、Navya 等, 在美国加州 DMV 公布的获得无人驾驶公开道路测试牌照的公司中超过一半为其客户。2019 年, 禾赛推出了面向 ADAS 市场的 PandarGT, 目前未拿到车企定点, 但对近期更易通过车规认证的 MEMS 路线已有布局, 有意试水 ADAS 市场。

未来: 筹资投向规模生产、芯片及算法研发, 规模化在路上。禾赛科技于 2017 年即开始布局芯片设计研发, 希望实现多路线可用的芯片架构规划; 2019 年、2020 年 1-9 月产能分别为 6188 台、5070 台, 产能利用率稳定在 85% 左右。本次上市筹资计划投向智能制造中心、专属芯片及算法研发三个方向, 根据产业调研, 智能制造中心投入占本次募资比例的 65%, 建成后将使禾赛产能达 265.25 万台。

我们认为，禾赛科技将强化在自动驾驶市场的优势，将通用芯片化架构应用在有所布局的其他路线产品，通过规模化生产快速降低成本。2021年按计划通过车规测试后将与更多整车厂接洽，进入 ADAS 市场；车企在激光雷达方面或有较多定制化要求，可通过依靠高性能及低成本快速打入本土整车厂建立在 ADAS 市场的口碑。

图表 57：禾赛科技 2017-2020 年产能及产量

时间	2017	2018	2019	2020Q1-Q3
产能	400	3120	6188	5,070
产量	352	2734	5408	4270
产能利用率	88.00%	87.63%	87.39%	84.22%

来源：禾赛科技招股书，国金证券研究所

图表 58：禾赛科技 IPO 募资投向（亿元）

投资项目	智能制造中心	激光雷达专属芯片	激光雷达算法研发	总计
投资总额	13.31	6.55	1.50	21.37
拟使用募资金额	12.00	6.50	1.50	20.00
募资金额占比	60%	32.5%	7.5%	100%

来源：禾赛科技招股书，国金证券研究所

目前，激光雷达市场还处于百花齐放的阶段，技术路线繁多，即将迎来规模放量。我们认为，激光雷达厂商需要各领域业务共同推进，在布局创新技术及上游核心器件的同时，需要加快推进芯片架构研究及工厂规模化生产，与车企积极接洽，提供创新型、定制化、高性价比的产品。

在对激光雷达厂商估值过程中，增长率、净利润率、投资效率、风险为我们关注的四大要素；其中，投资效率主要指销售资本率，风险包括资本成本及破产概率。其中，增长率可通过车企长期合作订单提前锁定，净利润率、投资效率、资本成本可参考电子行业规律，破产概率应结合其余要素综合考量。此外，性能、成本、体积、产能、车规认证、车企订单等指标助于我们跟踪厂商发展情况，对上述要素取值作出判断。

图表 59：激光雷达厂商对比一览表

厂商	产业投资/合作方	技术路线	车规等级	客户	量产进度	价格	工厂	上游布局
Velodyne	现代摩比斯、福特、百度、尼康、三一重工投资	机械式、共振镜	-	300 多个客户，占有 70% 市场份额	累计售出 4 万台，2025 年实现 800 万台出货量；2023-2030 年将为现代汽车提供 40 万颗	ASP 约 1.4 万美元；其中机械式为万美元，固态量产价格不足 500 美元	与尼康、Fabrinet 和 Veoneer 合作，在美国圣何塞、日本仙台、泰国春武里、加拿大部署四座工厂	自研 8 通道 SoC、扫描共振镜
Luminar	丰田沃尔沃、戴姆勒投资，Mobileye 合作	MEMS	-	50 多个客户（含十大整车厂的八个）	沃尔沃 SPA2 量产搭载	Iris 系列 ADAS 产品价格约 500 美元，自动驾驶产品价格约 1000 美元；预计 2021 年 ASP 约 2 万美金，2025 年约 730 美元	美国佛罗里达州奥兰多工厂	收购镭铍焊接收器生产商 Black Forest；自研 SoC 芯片
Quanergy	奔驰投资且合作，安波福、德尔福、马斯克、三星电子、德州仪器投资	OPA	生产线通过 IATF 16949 认证，ISO9001:2015 认证	30 多家整车厂，谷歌、苹果、IBM、博世、德尔福、森萨塔合作	-	OPA 产品 S3 订货量万台可降价至 250 美元以下	已在硅谷圣何塞工厂投入 S3 激光雷达生产，年产能 100 万台；加州森尼维尔；马萨诸塞州	自研激光相控阵 OPA、光学集成电路、远场辐射
Ouster	福特、Cox Automotive 投资	Flash	计划于 2022 年通过 ISO26262 标	600 个客户，30% 为自动驾驶	2022 年交付样品，2024 年量产	ES2 仅 600 美元，用于 ADAS；从	在美国旧金山和东南亚各有一个工厂	自研 VCSEL 芯片及 SPAD 芯片

			准中的 ASIL B (D)			3500 美元 (OS1-16) 到 24000 美元 (OS2-128)		
Aeva	采埃孚、电装合作, 保时捷 SE 投资	FMCW	-	30 多个客户	奥迪 e-tron 自动驾驶车队, 大众 I.D.Buzz 保时捷, 将于 2022-2023 年上市	低于 500 美元	与采埃孚合作生产	自研 FMCW 芯片
Innovusion	蔚来投资且合作	转镜	计划用两到三年通过验证	主要客户为蔚来	蔚来 ET72021 年量产, 2022 年上市	第一款产品量产单价控制在一两千美元	-	-
禾赛科技	百度、博世、安森美投资	机械式	Pandar128 满足 ISO26262 功能安全要求, 将于 2021 年 Q3 完成认证	主要客户包括博世、百度、AutoX、文远知行、上汽、Nuro、Lyft、Navya 等, 在美国加州 DMV 公布的获得无人驾驶公开道路测试牌照的公司中, 超过一半为其客户	-	2017-2020 年激光雷达销售价格分别为 11.38 万元、10.42 万元、11.36 万元、8.94 万元	2020 年产能为 5070 万件, 产能利用率为 85% 左右	自研 MEMS 微振镜和芯片架构
速腾聚创	上汽、北汽投资	MEMS、机械式	生产线获得了 IATF 16949 资格认证	主要合作伙伴包括上汽、吉利、一汽、AutoX、小马智行、阿里巴巴、京东等	首批车规级 MEMS 固态激光雷达 RS-LiDAR-M1 已批量出货, 发往北美	RS-LiDAR-M1Smart 1898 美元	机械自己生产, MEMS 样机自己生产, 长线要和车厂合作; 芯片到百万级别会投自动化产线	投资 MEMS 微振镜公司, 自研芯片架构
华为	长安汽车合作	转镜	MDC 智能驾驶计算平台获得了 ISO 26262 认证	北汽新能源、小鹏搭载	北汽新能源 2021 量产	96 线数百美元	2023 年以后年产能或达 10 万套/线	自研 1550nm 光源
大疆 Livox	小鹏合作	转镜	泰览 Tele-15 通过车规级 (VW 80000 / ISO 16750 等) 测试	小鹏、一汽解放重卡搭载	2021 量产	Livox 泰览 TELE-15 售价 8999 元; 等效 64 线和 128 线售价分别为 6499 元和 9000 元	年产能 10 万件/线	自研双楔形棱镜
镭神智能	高新兴合作	MEMS、机械式	32 线通过 IATF 16949: 2016 认证, 混合固态单线经过公安部的认证	已购买的客户有 700 余家, 正在测试阶段的有 400 余家, 包括富士康、格力、美的、海尔、东风汽车、陕汽重卡等	2022 年量产	固态 128 线的千台批量价为 2.8 万元, 32 线万台批量价为 1.8 万, 16 线万台批量价为 3999 元; 机械式 32 线批量价为 6 万元, 16 线为 1.2 万元	自有工厂流水线	自研 MEMS 微振镜、16 通道 TIA 芯片、1550nm 光纤激光器
一径科技	赢彻科技合作	MEMS	通过了车规 ISO-16750 认证	广汽如祺出行自动驾驶出租	小批量交付, 2020 年交付量达数百台	-	常熟工厂, 规划年产能 5 万台	创新底层芯片和元器件
Ibeo	采埃孚收购 40% 股份, AMS 合作	Flash、转镜	与法雷奥合作的 Scala 为全球首款车规级	长城汽车、奥迪 A8	截至 2019 年 9 月, 已交付超 10 万台 SCALA; 搭载	SCALA 单价 200 欧元 (Ibeo 供给奥迪的价格)	德国汉堡、荷兰埃因霍温和美国底特律都设有工厂	-

的长城汽车于  
2021 上市；  
2022 年量产

Innoviz	麦格纳、德尔福、捷普、陕西重汽合作	MEMS	Innoviz One 为车规级产品	约 200 个客户正在接洽，约 25 个客户的生产合同已经接近落地	宝马 Design Win 量产，2021 年年中量产	新品 Innoviz Two 的发布，价格为 One 的 30%	通过麦格纳、捷普生产	自研 MEMS 振镜、SoC 芯片、光电探测器
---------	-------------------	------	--------------------	-----------------------------------	-----------------------------	-------------------------------------	------------	-------------------------

来源：国金证券研究所

图表 60：激光雷达厂商主力产品对比一览表

厂商	主力产品	技术路线	线数	探测距离	测量精度	垂直视场角	水平角分辨率	点频	价格(美元)	反射率	功耗(W)	信噪比	车企订单
Velodyne	HDL-64E	机械式	64	120m	2cm	-24.9° 至 2°	0.08° 至 0.35°	1.3M (单) 2.2M (双)	75000	10%	60	一般	丰田
	HDL-32E		32	100m	2cm	-30.67° 至 10.67°	0.1° 至 0.4°	695k (单) 1.39M (双)	30000	10%	12	一般	-
	VLP-32C		32	200m	3cm	-25° 至 15°	0.1° 至 0.4°	600k (单) 1.2M (双)	4000	10%	10	一般	福特
Luminar	Iris	MEMS	-	250m	1cm	30°	0.1°	-	1000	10%	-	高	奥迪 沃尔沃
Quanergy	M8	OPA	8	100m	3cm	-17° 至 3°	0.033° 至 0.132°	430 (单) 1.3M (三)	500	10%	16	高	奔驰
Ouster	OS2-64	Flash	64	240m	1.5cm	22.5°	0.18° 至 0.73°	1.31M	600	10%	10-20	一般	-
Aeva	Aeries	FMCW	-	300m	-	20°	-	-	500	10%	-	-	奥迪 大众
Innovusion	捷豹 65°	转镜	300	280m	3cm	40°	0.09°	-	-	10%	40	一般	蔚来
禾赛科技	Pandar128	机械式	128	200m	2cm	40°	0.1° 至 0.2°	3.46M (单) 6.91M (双)	-	10%	20/27	一般	-
	PandarXT		32	80m	5cm	31°	0.09°	640k (单)	-	10%	10	一般	-
速腾	RS-LiDAR-M1	MEMS	125	120m	5cm	25°	平均 0.2°	1.13M (单)	1898	10%	25	一般	一汽
大疆	Horizion	转镜	64	90m	2cm	25.1°	0.03°	240k (单) 480k (双)	800	10%	12	-	小鹏
	Tele-15		128	320m	2cm	14.5°	0.02°	240k (单) 480k (双)	1200	10%	12	-	小鹏
华为	96 线中长距	转镜	96	150m	-	25°	0.25°	-	200	10%	-	一般	长安 奥迪 奔驰
镭神智能	LS20B	MEMS	16	200m	3cm	20°	0.2°	-	999	10%	10	一般	丰田
一径科技	ML-30S	MEMS	200	200m-400m	-	70°	0.5°	-	-	10%	-	-	广汽
lbeo	Scala2	转镜	16	150m	-	10°	0.25°	260.8k (三)	-	10%	-	-	奔驰
Innoviz	One	MEMS	160	100m/250m	3cm	25°	0.1°	-	-	10%	-	一般	宝马

来源：国金证券研究所

## 五、投资建议

全球自动驾驶升级、前装量产铺开，激光雷达为 Level 3 及以上级别不可或缺的传感器设备。根据产业链演进规律，我们建议短中期分别把握激光雷达厂商、下游车企的投资机会，长期来看创新技术有待产业整合、供应链机会尚不明确，需要在价值重新分配中持续跟踪，建议重点关注：

- 激光雷达厂商：Velodyne、Luminar、禾赛科技、速腾聚创等；
- 整车厂、造车新势力：小鹏汽车、蔚来、沃尔沃、长城汽车等；

- 光电子器件上游供应商：Lumentum、滨松、圣邦微电子等。

## 六、风险提示

- 智能驾驶产业发展不及预期；
- 商业化进程不及预期；
- 配套政策不及预期；
- 技术成熟不及预期；
- 成本下降不及预期。

**公司投资评级的说明：**

买入：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 15%以上；

增持：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 5%—15%；

中性：预期未来 6—12 个月内变动幅度在 -5%—5%；

减持：预期未来 6—12 个月内下跌幅度在 5%以上。

**行业投资评级的说明：**

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

**特别声明:**

国金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。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”(以下简称“国金证券”)所有,未经事先书面授权,任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发,或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发,需注明出处为“国金证券股份有限公司”,且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料,但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证,对由于该等问题产生的一切责任,国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断,在不作事先通知的情况下,可能会随时调整。

本报告中的信息、意见等均仅供参考,不作为或被视为出售及购买证券或其他投资标的邀请或要约。客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突,而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品,使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况,以及(若有必要)咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议,国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保,在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下,国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易,并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法,故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致,且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

根据《证券期货投资者适当性管理办法》,本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级(含C3级)的投资者使用;非国金证券C3级以上(含C3级)的投资者擅自使用国金证券研究报告进行投资,遭受任何损失,国金证券不承担相关法律责任。

此报告仅限于中国大陆使用。

上海	北京	深圳
电话: 021-60753903	电话: 010-66216979	电话: 0755-83831378
传真: 021-61038200	传真: 010-66216793	传真: 0755-83830558
邮箱: researchsh@gjzq.com.cn	邮箱: researchbj@gjzq.com.cn	邮箱: researchsz@gjzq.com.cn
邮编: 201204	邮编: 100053	邮编: 518000
地址: 上海浦东新区芳甸路1088号 紫竹国际大厦7楼	地址: 中国北京西城区长椿街3号4层	地址: 中国深圳市福田区中心四路1-1号 嘉里建设广场T3-2402