

激光雷达成为 L3/L4 焦点，自动驾驶显现千亿新蓝海

行业评级：增持

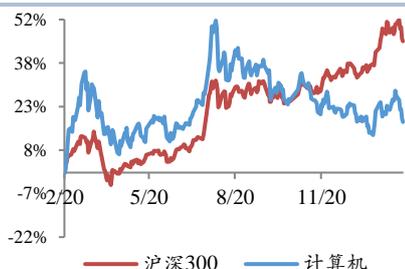
报告日期：2021-02-01

主要观点：

报告亮点：本篇报告主要从以下三个方面对激光雷达展开讨论：

- 1) 自动驾驶和激光雷达的关系，为什么当前需要关注激光雷达？
- 2) 激光雷达是如何发展起来的，可以用在哪些领域，市场有多大？
- 3) 介绍国内龙头禾赛科技，以及激光雷达的行业主要玩家都有哪些？

行业指数与沪深 300 走势比较



分析师：尹沿枝

执业证书号：S0010520020001

邮箱：yinyj@hazq.com

联系人：赵阳

执业证书号：S0010120050035

邮箱：zhaoyang@hazq.com

联系人：夏瀛韬

执业证书号：S0010120050024

邮箱：xiayt@hazq.com

激光雷达是智能汽车迈向 L3/L4 的关注焦点，单车价值量高，催生自动驾驶千亿新蓝海。根据 Forbes 的预测，2019 年，Tesla 共交付约 36.8 万辆汽车，有 57% 左右的客户选择了自动驾驶软件包。根据 IDC 的预测，2024 年全球 L1-L5 级自动驾驶汽车出货量预计将达到约 5425 万辆，2020 至 2024 年的年均复合增长率 (CAGR) 达到 18.3%。我们测算，按照每车 7000 元计算，假设装车量达到 1500 万辆，则激光雷达在无人驾驶中的市场约为 1000 亿，市场前景广阔。

激光雷达技术壁垒高，市场增速快，Robotaxi 和 Robotruck 落地有优势。

根据 Allied Market Research 估计，2026 年全球无人驾驶技术市场规模将达到 5,566.7 亿美元，较 2019 年可实现 39.47% 的年均复合增长率。根据沙利文的统计及预测，激光雷达整体市场预计将呈现高速发展态势，至 2025 年全球市场规模为 135.4 亿美元，较 2019 年可实现 64.5% 的年均复合增长率。其中，Robotaxi 和 Robotruck 落地有一定优势。据预测，2025 年全球 Robotaxi 和 Robotruck 的 L4/L5 无人驾驶汽车，数量为 53.5 万辆，对应的激光雷达市场规模 35 亿美元，2019 年至 2025 年的年均复合增长率达 80.9%。

激光雷达产业链随自动驾驶迎来价值重估，国内龙头禾赛科技已于近期申报上市。受益于自动驾驶产业变革，激光雷达价值迎来重估。当前境外激光雷达公司如：Velodyne、Luminar、Aeva、Innoviz 等迎来上市热潮。其中 Velodyne 在上半年市值最高上涨约 300%，Luminar 上市后 PS 一度超过 100X。国内激光雷达龙头禾赛科技也于 1 月份提交了上市招股说明书。禾赛科技在激光雷达领域目前已布局 500 多项专利，公司研发人员占总员工数量的 53.78%。公司 2017-2019 年三年累计研发投入占对应三年累计营业收入的比例为 51.84%。商业合作方面，公司的 RoboTaxi 产品与国内外包括：博世、百度、滴滴等众多优质客户开展深度合作 RoboTruck 相关产品则和图森等头部无人驾驶卡车公司展开合作。

相关报告

1.《华安证券_行业研究_商用车有望落地重磅新政策，智能网联迎来量价齐升》2020-11-09

2.《华安证券_公司深度_道通科技：国内汽车综合诊断龙头，平台和软件付费趋势加速》2020-11-30

3.《华安证券_公司深度_中科创达：智能座舱龙头，智能网联时代全球领先的软件服务商》2020-01-18

投资建议

自动驾驶是汽车智能化的确定性应用，激光雷达是自动驾驶迈向 L3/L4 的关键技术，市场前景广阔。自动驾驶重点关注：德赛西威、中科创达；激光雷达建议关注：万集科技、禾赛科技，行业内相关公司还有：速腾聚创、镭神智能、北科天绘、览沃科技、华为、Velodyne、Luminar、Aeva、Ouster、Innoviz、Ibeo、Innovusion 等。

风险提示

1) 智能汽车渗透率不及预期；2) 自动驾驶渗透率不及预期；3) 激光雷达技术突破和量产成本不及预期；4) 疫情影响商务活动，导致产业进展不及预期。

正文目录

1 激光雷达：自动驾驶的千亿新蓝海	5
1.1 确定性强：自动驾驶是汽车智能化杀手级应用	5
1.2 意义重大：依靠传感器对环境的正确感知是实现智能驾驶先决条件	6
1.3 成为焦点：激光雷达被认为是实现 L3/L4 自动驾驶的关键	8
2 激光雷达前世今生，受益自动驾驶迎来价值重估	11
2.1 早期用于测绘，自动驾驶极大地拓宽下游应用领域	11
2.2 激光雷达在自动驾驶产业链中处于高价值环节	13
2.3 激光雷达的原理和技术路线	15
2.4 激光雷达的下游应用都有哪些领域？	17
3 国内激光雷达龙头：禾赛科技	20
3.1 反复探索打磨，成为激光雷达全球领先企业	20
3.2 下游行业与政策支持共同驱动公司发展	21
3.3 深入探索不同技术方案，打造多场景立体化产品矩阵	24
3.4 技术突破和持续的研发投入，构筑产品护城河	26
3.5 多种技术路线与自有生产线创造超车优势	28
3.6 广泛深入的商业合作	29
4 国内外部分激光雷达公司梳理	31
4.1 万集科技	31
4.2 速腾聚创	32
4.3 镭神智能	33
4.4 览沃科技	34
4.5 华为	35
4.6 VELODYNE	36
4.7 LUMINAR	38
4.8 INNOVUSION	40
5 风险提示	41

图表目录

图表 1	2020-2024 年全球智能驾驶汽车出货量及增长率预测（单位：千辆）	5
图表 2	自动驾驶中多传感器技术的运用	6
图表 3	2014-2018 年中国毫米波及超声波雷达传感器装载量（单位：百万件）	7
图表 4	2014-2023 年预测中国雷达传感器芯片行业市场规模（单位：百万件）	7
图表 5	智能驾驶相关传感器对比	8
图表 6	自动驾驶 L0 至 L5 级别说明	9
图表 7	典型 L4 级无人驾驶车辆感知元件的分布	9
图表 8	搭载禾赛科技激光雷达的百度无人驾驶汽车路测	10
图表 9	激光雷达技术发展历经三阶段	11
图表 10	VELODYNE 64 线激光雷达结构	12
图表 11	近 60 年激光雷达行业发展概况	13
图表 12	全球激光雷达市场规模（单位：亿美元）	14
图表 13	全球激光雷达在 ADAS 领域中的市场规模（单位：亿美元）	14
图表 14	全球激光雷达在 ROBOTAXI/ROBOTRUCK 领域的市场规模（单位：亿美元）	15
图表 15	激光雷达的组成系统和测距原理	15
图表 16	激光雷达技术路线图及对应的典型产品	17
图表 17	激光雷达在汽车、工业等场景有着广泛的下游应用	18
图表 18	AUDI A8 搭载 VALEO 激光雷达	18
图表 19	搭载有激光雷达的无接触医用物资配送小车	19
图表 20	IPHONE 12 上搭载激光雷达模组	19
图表 21	禾赛科技发展历程	20
图表 22	禾赛科技营收和毛利率（单位：万元）	21
图表 23	禾赛科技营收结构和地区构成（2019 年）	21
图表 24	我国 65 岁及以上人口数量及比例（单位：万人）	21
图表 25	2019-2025 年全球激光雷达分应用市场规模	22
图表 26	2019 年以来智能传感器相关的国家政策	23
图表 27	角度盲区的产生及 PANDARQT 盲区检测效果	24
图表 28	PANDARXT 实现零测距盲区	25
图表 29	激光雷达专用芯片及功能模块示意图	26
图表 30	激光雷达芯片化发展路线	27
图表 31	公司研发费用及占营收的比例（单位：万元）	28
图表 32	与 VELODYNE、LUMINAR 营收和毛利率对比（2019 年，单位：万元）	29
图表 33	公司激光雷达产品在无人驾驶汽车产业的应用	30
图表 34	公司激光雷达产品在无人驾驶物流配送产业的应用	30
图表 35	用于车路协同的 WLR-732 路侧 32 线激光雷达	31
图表 36	近三年公司研发投入金额及占营业收入的比例	31
图表 37	速腾聚创的激光雷达感知算法可适应稠密交通流	32
图表 38	镭神智能混合固态激光雷达与机械激光雷达	33
图表 39	览沃科技激光雷达产品在弱势场景下的感知能力	34
图表 40	华为 96 线中长距激光雷达性能	35
图表 41	VELODYNE 营业收入和毛利率（万元人民币）	36

图表 42	VELODYNE 营收业务和地区构成（2019 年）	36
图表 43	VELODYNE 产品矩阵	36
图表 44	VELODYNE 2020-2025 年分领域出货量预测	37
图表 45	LUMINAR 营业收入（万元人民币）	38
图表 46	LUMINAR 营收业务和地区构成（2019 年）	38
图表 47	LUMINAR 的合作伙伴	39
图表 48	LUMINAR 高速公路产品的全栈能力	39
图表 49	INNOVUSION 高清激光雷达用于智慧高速场景	40
图表 50	蔚来 ET7 搭载的 INNOVUSION 激光雷达	40

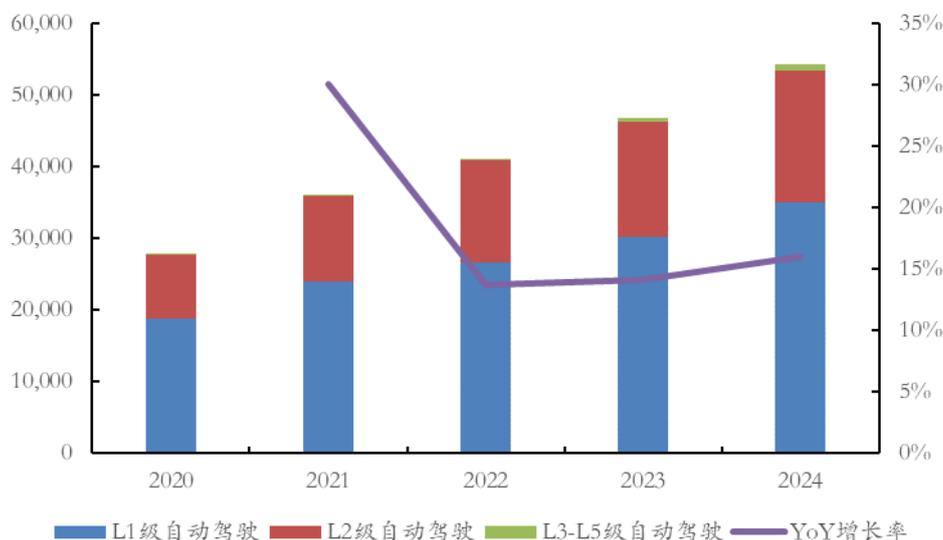
1 激光雷达：自动驾驶的千亿新蓝海

1.1 确定性强：自动驾驶是汽车智能化杀手级应用

需求、技术、政策共振，自动驾驶产业化进程加速。1) 从需求侧来看，自动驾驶有望成为未来汽车销售的差异化焦点。根据 Forbes 的预测，2019 年，Tesla 共交付约 36.8 万辆汽车，有 57% 左右的客户选择了自动驾驶软件包（90% 的 Model X 和 Model S 买家以及 50% 的 Model 3 买家）。2) 从技术成熟度来看，运用多传感器融合技术实现自动驾驶，在全球范围内受到了业界和政府层面的密切关注，尤其是激光雷达，倘若能够顺利实现量产上车，将会极大地加速 L3/L4 自动驾驶时代的到来。3) 从国家政策的指引来看，2020 年 11 月 11 日发布了《智能网联汽车技术路线图 2.0》，按照路线图的指引，计划到 2025 年，带有智能化配置的新车占比将超过 50%；到 2035 年，中国方案智能网联汽车技术和产业体系全面建成，网联式高度自动驾驶智能网联汽车大规模应用。

汽车智能化渗透率快速提升，全球自动驾驶汽车保持高速增长。根据 IDC 的预测，2024 年全球 L1-L5 级自动驾驶汽车出货量预计将达到约 5425 万辆，2020 至 2024 年的年均复合增长率（CAGR）达到 18.3%；L1 和 L2 级自动驾驶在 2024 年的市场份额预计分别为 64.4% 和 34.0%。L3-L5 级自动驾驶技术的应用具有开拓性意义，L1-L2 级辅助驾驶会是未来 5 年内带动全球自动驾驶汽车出货量增长的最大细分市场。我们认为，无论是辅助驾驶抑或是自动驾驶，感知系统作为汽车的增量是确定趋势，激光雷达属于智能汽车感知系统。

图表1 2020-2024 年全球智能驾驶汽车出货量及增长率预测（单位：千辆）



资料来源：IDC，华安证券研究所

保证安全和提升出行效率，自动驾驶将带来巨大社会效益。1) 从安全方面来看，自动驾驶将降低车祸事故率和死亡率。目前，全球每年 120 万人死于车祸，美国去年车祸死亡人数更是增加 9% 至 3.8 万人。90% 的车祸是人为造成的，因使用手机而分心近年更成为酒驾以外最大的安全隐患。即便是 L1/L2 的自动驾驶，就能极大纠正人为错误，降低事故率。据 Insurance Institute for Highway Safety 研究，自动紧急刹车可以减

少40%的追尾相撞,而前向碰撞预警也能减少追尾相撞23%。Virginia Tech Transportation Institute 根据 Alphabet 提交的数据研究证实,Alphabet 自动驾驶汽车发生不同等级碰撞事故的概率均大幅低于目前全国交通事故数据库计算的平均值。2) 从出行效率来看,自动驾驶汽车将提高汽车的使用率,以更低的汽车保有量满足现有出行需求。目前,美国家庭平均汽车保有量为2.1辆,但使用率只有4%,其他时间车辆或者停放在家中,或者停放在目的地。实现L4自动驾驶后,多个家庭成员共用一辆汽车将更为可行。据密歇根大学测算,在私人购买L4自动驾驶汽车的情形下,美国家庭汽车保有量可以下降到1.2辆,但单车里程可增加101%。当自动驾驶汽车成为社会共享后,资源效率的提高则更为可观。当自动驾驶技术成熟后,共享出行将更加成为城市交通的主要模式。根据密歇根大学的测算,一辆自动驾驶共享汽车可以取代9.34辆传统汽车。我们认为,自动驾驶还将减少交通拥堵,降低停车场需求,减少能源消耗,拓展残疾人和老年人的活动范围,释放人们的驾驶时间,增添车内信息娱乐需求等。

1.2 意义重大：依靠传感器对环境的正确感知是实现智能驾驶先决条件

实现驾驶过程中的“耳聪目明”，多传感器融合核心技术。智能汽车通过多传感器融合来实现对车辆运行环境的感知。传感器是汽车感知周围的环境的硬件基础,在实现自动驾驶的各个阶段都必不可少。自动驾驶离不开感知层、控制层和执行层的相互配合。摄像头、雷达等传感器获取图像、距离、速度等信息,扮演眼睛、耳朵的角色。控制模块分析处理信息,并进行判断、下达指令,扮演大脑的角色。车身各部件负责执行指令,扮演手脚的角色。而环境感知是这一切的基础,因此传感器对于自动驾驶不可或缺。

图表2 自动驾驶中多传感器技术的运用

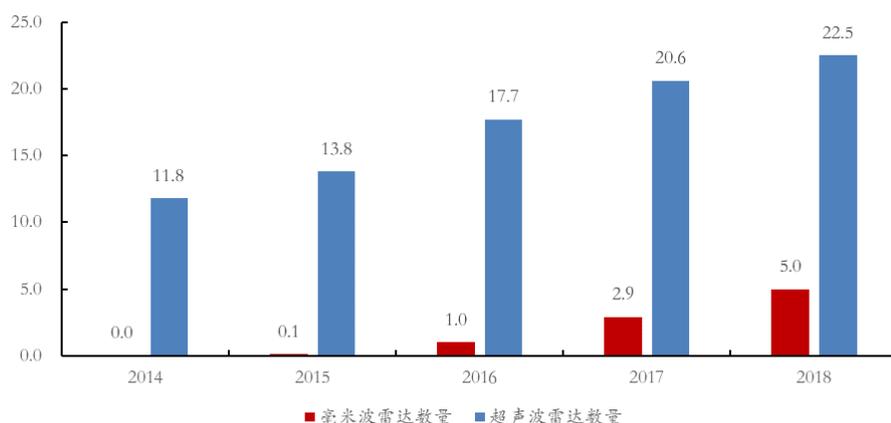


资料来源：Kittcamp 自动驾驶学院，华安证券研究所

从0到1实现突破，Lidar有望复制Radar的增长。我们来复盘一下超声波雷达和毫米波雷达增长。2014-2018年超声波雷达装载量上涨，平均增长幅度达到17.7%，毫米波雷达装载量也从2015年的12.3万件激增至2018年的500.7万件，CAGR达到

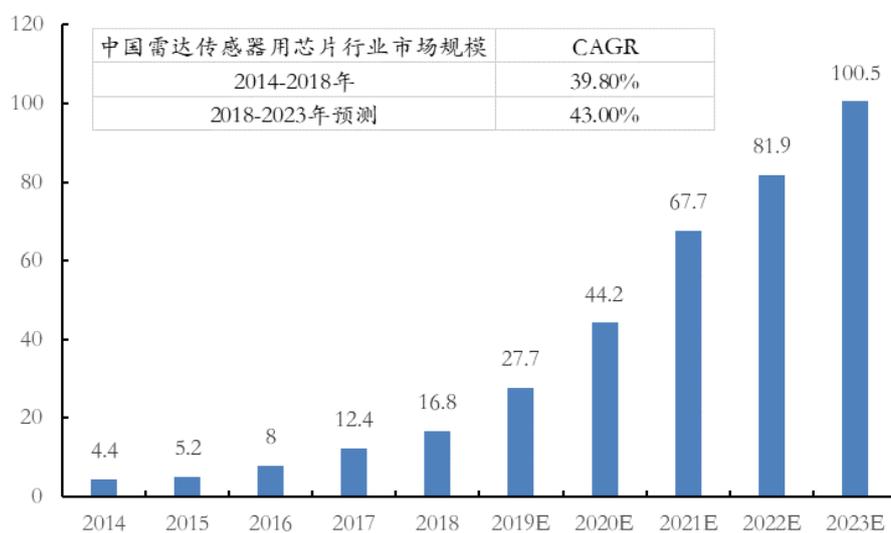
244.0%。受益于中国雷达传感器装配数量的提升，中国雷达传感器用芯片行业市场规模持续增长，2014-2018年，中国雷达传感器用芯片行业市场规模（按销售额统计）从4.4亿元人民币增长至16.8亿元人民币，CAGR为39.8%。预计2018年至2023年中国雷达传感器用芯片行业市场规模（按销售额统计）CAGR将达到43.0%，2023年中国雷达传感器用芯片行业市场规模将达到100.5亿元。我们认为，激光雷达处在从0到1的关键时期，一旦运用成熟，后续也有望出现爆发式的增长。

图表3 2014-2018年中国毫米波及超声波雷达传感器装载量(单位:百万件)



资料来源：头豹研究院，华安证券研究所

图表4 2014-2023年预测中国雷达传感器芯片行业市场规模(单位:百万件)



资料来源：头豹研究院，华安证券研究所

传感器融合互为冗余，提高整车安全系数。多传感器融合系统所实现的功能要远超这些独立系统能够实现的功能总和。使用不同的传感器种类可以在某一种传感器全都出现故障的环境条件下，额外提供一定冗余度。这种错误或故障可能是由自然原因（如一团浓雾）或是人为现象（例如对摄像头或雷达的电子干扰或人为干扰）导致。

图表5 智能驾驶相关传感器对比

性能	激光雷达	毫米波雷达	超声波雷达	摄像头	红外线
成本	目前很高	适中	很低	适中	适中
探测角度	15-360°	10-70°	120°	30°	30°
远距离探测	强	弱	弱	弱	一般
夜间环境	强	强	强	弱	强
全天候	弱	强	弱	弱	弱
不良天气环境	弱	强	一般	弱	弱
温度稳定性	强	强	弱	强	一般
车速测量能力	弱	强	一般	弱	一般
路标识别	✘	✘	✘	✓	✘

资料来源：计算机视觉之路，华安证券研究所

对比各类传感器优缺点如下：

- **LiDAR**：可以获得目标精确的 3D 信息，检测范围也能够到达 150 米。对光照不敏感，晚上也可以正常工作。但是角分辨率大，目标稀疏，无法获得目标纹理，分类不准，而且在雨、雾、雪等恶劣天气中，性能会下降。对扬尘、水雾也比较敏感，易产生噪点。
- **RADAR**：可以提供精确的距离和速度信息，探测距离也比较远，可以全天候工作，但分辨率较低，无法提供物体高度信息。
- **相机**：对目标的颜色和纹理比较敏感，可以完成目标分类、检测、分割、识别等任务，但是不能得到精确的探测距离，而且易受光照、天气条件的影响。

1.3 成为焦点：激光雷达被认为是实现 L3/L4 自动驾驶的关键

L3 级是自动驾驶等级中的分水岭，其驾驶责任的界定最为复杂。在自动驾驶功能开启的场景中，环境监控主体从驾驶员变成了传感器系统，驾驶决策责任方由驾驶员过渡到了汽车系统。当前 L2 级自动驾驶感知系统主要由超声波雷达、毫米波雷达、摄像头等车载传感器组成。1) 车载超声波雷达成本低，但有效探测距离通常小于 5m，无法对中远距离物体进行测量；2) 毫米波雷达具有同时测距和测速的功能，有效探测距离可达 200 m，然而单颗车载毫米波雷达的角度分辨能力通常较弱，如：大陆的 77GHz 高配版毫米波雷达 ARS408-21 在长距模式最优水平角分辨率为 1.6°，无法辨识物体的细节，且毫米波雷达对金属的探测灵敏度远高于非金属材料，导致其在人、车混杂的场景下对行人的探测效果不佳；3) 摄像头具有优异的角度分辨率，然而其受光照影响大，黑夜和强光下的探测效果不佳，此外摄像头对物体及其距离的识别依赖深度学习算法，无法做到完全准确。激光雷达兼具测距远、角度分辨率优、受环境光照影响小的特点，且无需深度学习算法，可直接获得物体的距离和方位信息。这些相较于其他传感器的优势，可显著提升自动驾驶系统的可靠性，因而被大多数整车厂、Tier1 认为是 L3 级及以上自动驾驶（功能开启时责任方为汽车系统）必备的传感器。

图表6 自动驾驶 L0 至 L5 级别说明

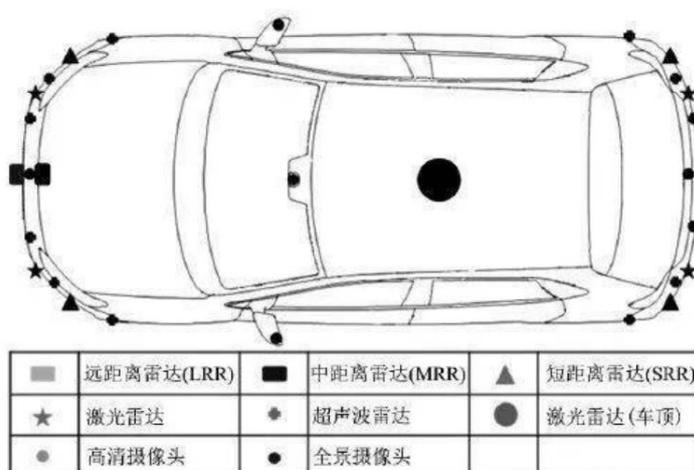
等级	名称	定义	环境监控主	决策责任方	是否限定场景
L0	无自动化	需要驾驶者全权操作	驾驶员	驾驶员	是
L1	驾驶辅助	针对方向盘和加减速其中一项提供驾驶支持，其他由驾驶者操作	驾驶员	驾驶员	是
L2	部分自动化	针对方向盘和加减速中多项提供驾驶支持，其他由驾驶者操作	驾驶员	驾驶员	是
L3	有条件自动化	由系统完成所有驾驶操作，根据系统请求，驾驶者提供适当操作	系统/驾驶员	系统/驾驶员	是
L4	高度自动化	在限定道路和环境由系统完成所有驾驶操作	驾驶员	驾驶员	是
L5	完全自动化	在所有道路和环境由系统完成所有驾驶操作	驾驶员	驾驶员	否

资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

激光雷达量产有望成为实现 L3/L4 自动驾驶的关键节点。按照国际汽车工程师协会发布的工程建议对自动驾驶进行分类。从 L0 级（纯由驾驶员控制）至 L5 级（完全自动驾驶），级别越高，车辆的自动化程度越高，动态行驶过程中对驾驶员的参与度需求越低，对车载传感器组成的环境感知系统的依赖性也越强。

L4/L5 级自动驾驶功能通常被定义为无人驾驶，Robotaxi/Robotruck 落地有一定优势。其驾驶责任完全归属于汽车系统，因而对激光雷达的探测性能要求最高，但因为车辆的所有者往往为无人驾驶运营公司（Robotaxi/Robotruck），所以对激光雷达价格及与车身的集成度要求相对较低，机械式激光雷达也可以满足要求。

激光雷达、毫米波雷达和摄像头是公认的自动驾驶的三大关键传感器技术。从技术上看，激光雷达与其他两者相比具备强大的空间三维分辨能力。中国汽车工程学会、国汽智联汽车研究院编写的《中国智能网联汽车产业发展报告（2019）》称，当前在人工智能的重要应用场景智能网联汽车的自动驾驶和辅助驾驶领域中，激光雷达是实现环境感知的核心传感器之一。报告认为，在用于道路信息检测的传感器中，激光雷达在探测距离、精准性等方面，相比毫米波雷达具有一定的优势。

图表7 典型 L4 级无人驾驶车辆感知元件的分布


资料来源：上海汽车，华安证券研究所

激光雷达性能精良，单就产品和技术层面是无人驾驶的最佳技术路线。激光雷达相对于其他自动驾驶传感器具有非常优越的性能：1) **分辨率高**，激光雷达可以获得极高的角度、距离和速度分辨率，这意味着激光雷达可以利用多普勒成像技术获得非常清晰的图像。2) **精度高**，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。3) **抗有源干扰能力强**，与微波、毫米波雷达易受自然界广泛存在的电磁波影响的情况不同，自然界中能对激光雷达起干扰作用的信号源不多，因此激光雷达抗有源干扰的能力很强。

图表8 搭载禾赛科技激光雷达的百度无人驾驶汽车路测



资料来源：新华网，华安证券研究所

2 激光雷达前世今生，受益自动驾驶迎来价值重估

2.1 早期用于测绘，自动驾驶极大地拓宽下游应用领域

激光雷达发展三阶段，数字和纯固态是未来趋势。世界上第一台激光器诞生于1960年，此后随着激光技术的发展，使用激光进行探测的激光雷达也得到发展。早期激光雷达主要用于科研及测绘项目，进行气象探测以及针对海洋、森林、地表的地形测绘。二十世纪八九十年代，激光雷达的应用不再仅局限于科研领域，商用产品如激光测距仪开始起步。扫描结构的加入扩大了激光雷达的视场范围并拓展了其应用领域：RIEGL及FARO等厂商引入扫描式结构，专注于激光机载测绘及工业测量；Sick及Hokuyo等厂商推出的2D扫描式单线激光雷达产品被应用于工业测量以及早期的无人驾驶研究项目。

图表9 激光雷达技术发展历经三阶段

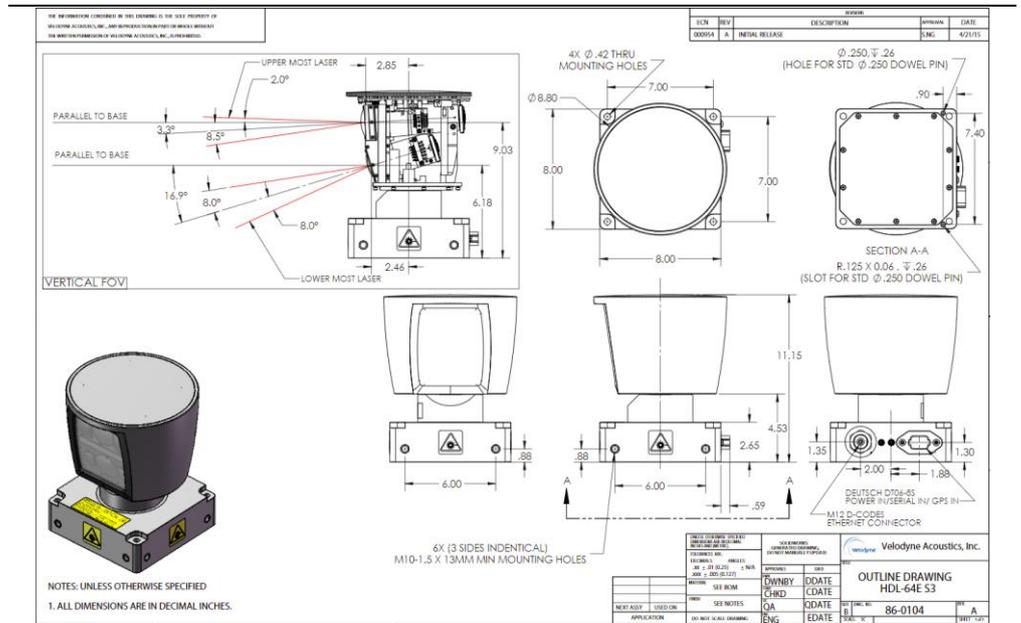


资料来源：麦姆斯咨询，华安证券研究所

2000年以前激光雷达的商业化技术处于起步阶段，在车载领域应用有限。2000年以后激光雷达的系统架构得到拓展，从单线扫描逐渐发展到多线扫描，激光雷达对环境三维高精度重建的应用优势被逐渐认可，基于激光雷达的避障与导航技术在无人驾驶应用中得到逐步发展。2004年开始的美国国防高级研究计划局无人驾驶挑战赛推动了无人驾驶技术的快速发展并带动了高线数激光雷达在无人驾驶中的应用。2005年Velodyne推出的64线激光雷达在第二届DARPA挑战赛中得到广泛关注，2007年第三届挑战赛时，六支完成比赛的队伍中五家使用了Velodyne的激光雷达，高线数激光雷达在无人驾驶中的应用前景得到了广泛的重视。DARPA挑战赛之后陆续有巨头科

技公司及新兴无人驾驶公司投入无人驾驶技术研究，激光雷达被广泛应用于无人驾驶测试项目，当时的高线数激光雷达市场主要以 Velodyne 的产品为主。车载激光雷达车规化发展也在这一时间起步，2010 年 Ibeo 同 Valeo 合作进行车规化激光雷达 SCALA 的开发，SCALA 为基于转镜架构的 4 线激光雷达，经过多年的测试和验证，于 2017 年实现量产。

图表10 Velodyne 64 线激光雷达结构



资料来源：Velodyne 官网，华安证券研究所

在汽车产业“电气化、共享化、网联化、智能化”的“新四化”驱动下，2016 年后无人驾驶行业高速发展。激光雷达行业也随之进入迅速发展期，这一时期激光雷达行业表现出了以下几个特征：①国内外不断有初创公司投入高线数激光雷达的研究并陆续取得突破，2017 年 4 月禾赛科技发布了 40 线激光雷达 Pandar40。②激光雷达技术方案得到创新和拓展，半固态式或固态式激光雷达如 MEMS、OPA 等技术方案受到市场重视。③激光雷达应用范围不断扩大，早期无人驾驶测试项目的规模持续扩张，而且随着技术的成熟，开始有无人驾驶车队进行小范围商业化试点，此外激光雷达在高级辅助驾驶和服务机器人领域的应用也得到不断发展。

2019 年后激光雷达行业进入新的发展阶段。这一时期主要表现出了以下几个特征：①从技术方案来看，收发器件面阵化及核心模块芯片化为高性能、低成本、高集成度、高可靠性的激光雷达提供了可靠的发展方向。②FMCW 原理的激光雷达技术方案受到了市场的关注。③激光雷达应用范围进一步得到拓展，“新基建”中的车联网技术为激光雷达带来了新的应用场景，此外，依据应用领域的不同，激光雷达呈现性能及价格分层的发展趋势。④2020 年境外激光雷达公司迎来通过特殊目的并购公司完成上市的热潮，Velodyne、Luminar 已完成 NASDAQ 上市，Aeva、Innoviz 预计 2021 年第一季度完成，Ouster 预计 2021 年上半年完成。

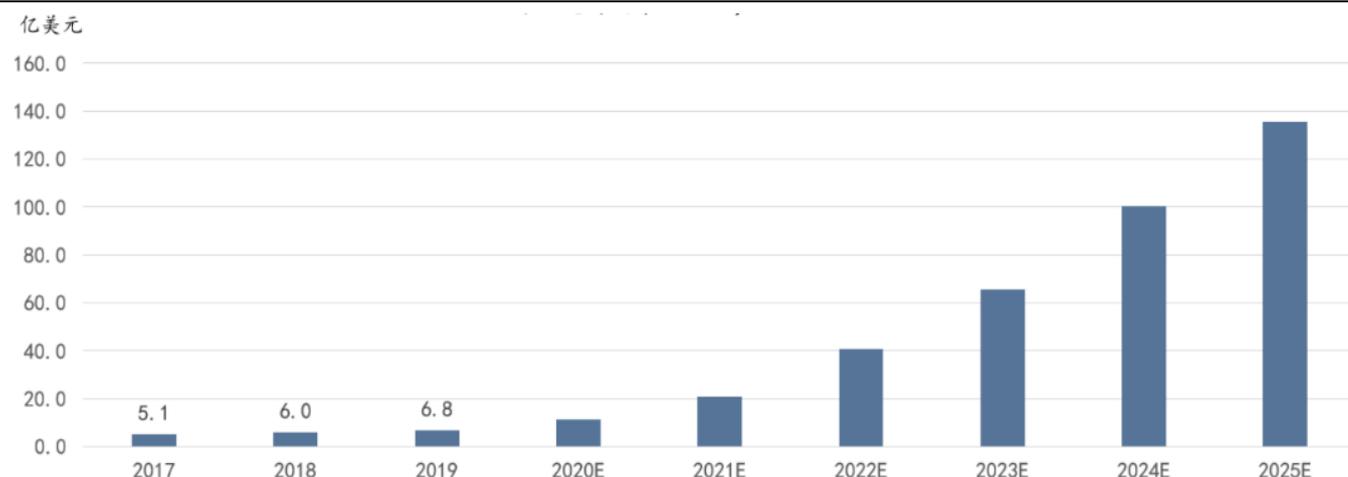
图表11 近60年激光雷达行业发展概况



资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

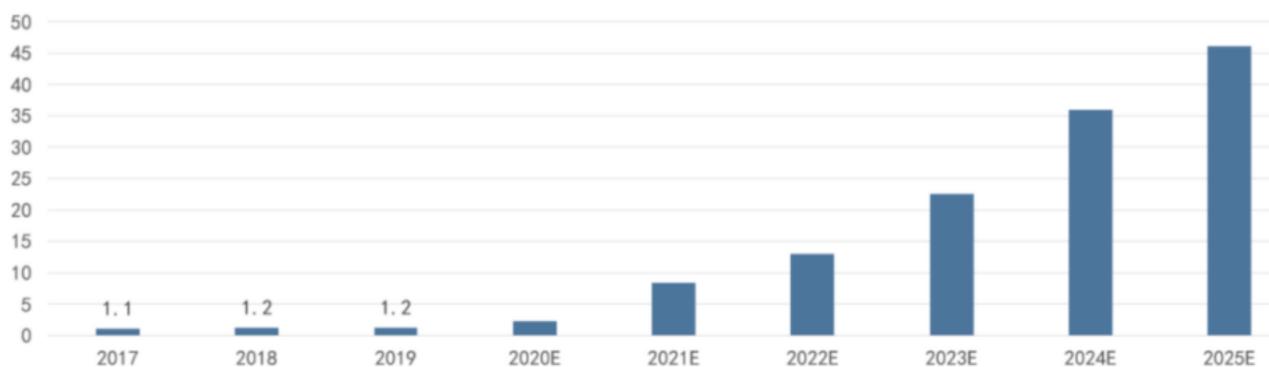
2.2 激光雷达在自动驾驶产业链中处于高价值环节

激光雷达是高级别无人驾驶技术实现的关键。根据 Allied Market Research 估计，2026 年全球无人驾驶技术市场规模将达到 5,566.7 亿美元，较 2019 年可实现 39.47% 的年均复合增长率。根据沙利文的统计及预测，受无人驾驶车队规模扩张、激光雷达在高级辅助驾驶中渗透率增加、以及服务型机器人及智能交通建设等领域需求的推动，激光雷达整体市场预计将呈现高速发展态势，至 2025 年全球市场规模为 135.4 亿美元，较 2019 年可实现 64.5% 的年均复合增长率。

图表12 全球激光雷达市场规模（单位：亿美元）


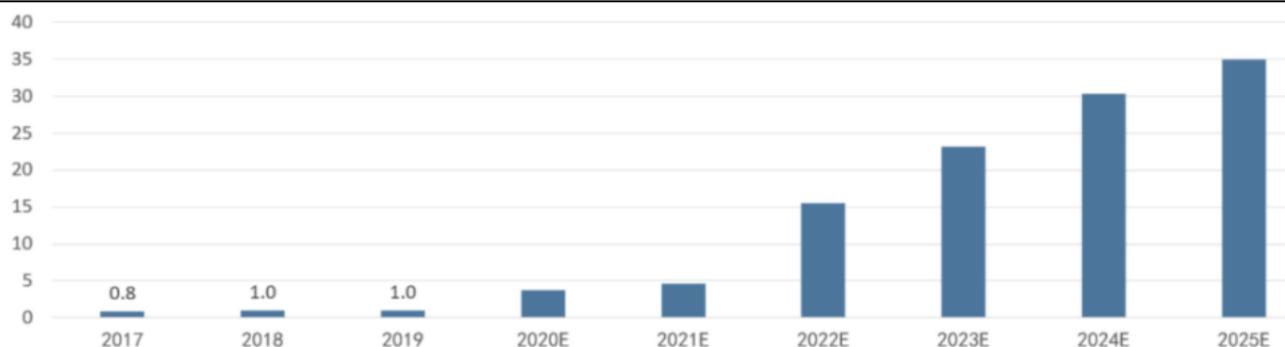
资料来源：沙利文研究，华安证券研究所

激光雷达在高级辅助驾驶 ADAS 领域。针对 L2/L3 级别的自动驾驶乘用车，直接面向用户，因此，激光雷达与车身融为一体的美观性要求和价格敏感度都较高。据预测，2025 年全球乘用车新车 L3 渗透率 6%，即每年近 600 万辆新车将搭载激光雷达，对应的市场规模为 46.1 亿美元(单价 768 美元)，2019 年至 2025 年复合增长率达 83.7%。

图表13 全球激光雷达在 ADAS 领域中的市场规模（单位：亿美元）


资料来源：沙利文研究，华安证券研究所

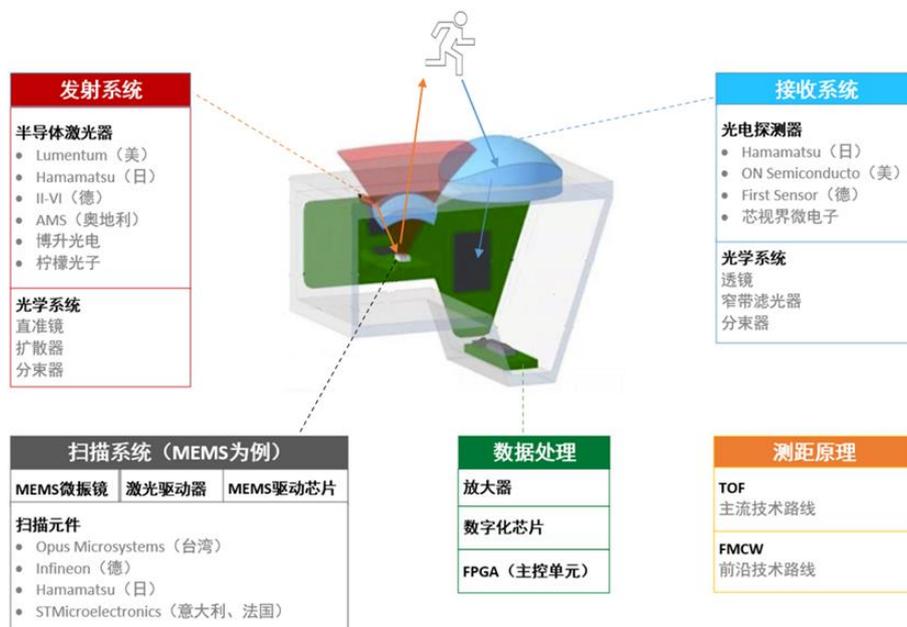
激光雷达在无人驾驶领域。针对 L4/L5 级别的运送乘客 Robotaxi 和运送货物 Robotruck，由于驾驶责任完全归属汽车本身，对激光雷达探测性能要求最高，同时车辆所有者为运营公司，对激光雷达价格及与车身集成度要求较低。据预测，2025 年全球 Robotaxi 和 Robotruck 的 L4/L5 无人驾驶汽车，数量为 53.5 万辆，对应的激光雷达市场规模 35 亿美元（假设一辆车一套，单价为 6542 美元），2019 年至 2025 年的年均复合增长率达 80.9%。

图表14 全球激光雷达在 Robotaxi/Robotruck 领域的市场规模（单位：亿美元）


资料来源：沙利文研究，华安证券研究所

2.3 激光雷达的原理和技术路线

激光雷达是用激光作为辐射源的雷达，可用于高精度地探测、测距。激光雷达由四个系统组成：1) 发射系统，由半导体激光器和光学系统组成；2) 扫描系统，由系列扫描元件构成，以华为 2020 年 7 月 2 日公布的 MEMS 激光雷达为例，包括 MEMS 微振镜、激光驱动器、MEMS 驱动芯片等；3) 接收系统，包括核心的光电探测器和光学系统；4) 数据处理系统，由放大器、数字化芯片、FPGA（主控单元）构成。发射系统发射激光束，通过扫描系统中的 MEMS 微振镜来反射激光器的光束，两者采用微秒级的频率协同工作，能目标物体进行 3D 扫描。通过接收系统接收到目标物体反射的光信号后，数据处理系统将其放大并转化为数字信号并进一步生成物体位置信息。

图表15 激光雷达的组成系统和测距原理


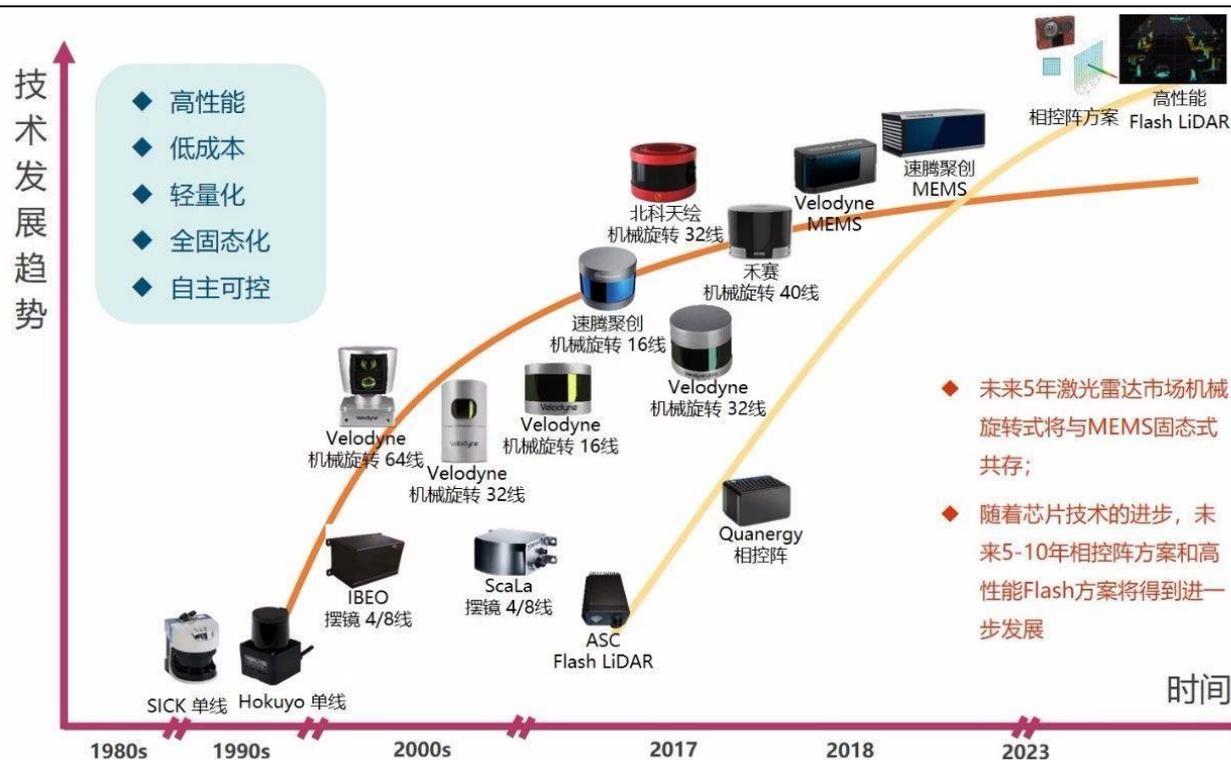
资料来源：佐思产业研究，盖世汽车，华安证券研究所

激光雷达产业自诞生以来，紧跟底层器件的前沿发展，呈现出了技术水平高的突出特点。激光雷达厂商不断引入新的技术架构，提升探测性能并拓展应用领域：从激光器发明之初的单点激光雷达到后来的单线扫描激光雷达，以及在无人驾驶技术中获得广泛认可的多线扫描激光雷达，再到技术方案不断创新的固态式。激光雷达、FMCW 激光雷达，以及如今芯片化的发展趋势，激光雷达一直以来都是新兴技术发展及应用的代表。

目前的激光雷达存在着四条主要的技术路线：传统机械式激光雷达、MEMS、Flash、OPA（后三种为固态激光雷达的实现方式），它们特点各不相同：

- 机械旋转式激光雷达的优势在于可以对周围环境进行 360° 的水平视场扫描，测距能力远，目前主流无人驾驶项目纷纷采用机械旋转式激光雷达作为主要的感知传感器。但也存在固有缺陷，由于采用水平线性扫描方式，存在产生盲点的风险，无论扫描持续多长时间，视场中的某些物体都会被遗漏，并且机械式激光雷达受限于生产工艺，大规模量产存在着一定的难度，成本依旧高昂。
- MEMS 微机电系统能够直接在硅基芯片上集成体积十分精巧的微振镜，由可以旋转的微振镜来反射激光器的光线，从而实现扫描，凭借超高的扫描速度形成高密度的点云图，具有一定的集成性。但 MEMS 微振镜的扫描角度是由控制电路调节的，保证角度精度是主要的技术难点，其量产可行性比较低，且如何使 MEMS 微振镜通过车规是现在面临的一大挑战。
- Flash 激光雷达刷新频率极高，但 Flash 的光源能够覆盖到前方很宽范围内的所有目标物，而探测器的视场角刚好可以接收到这一范围内的反射光，这种工作原理造成了能量值低、量程难以到达 20 米以上，因此不能充当主传感器。Flash 激光雷达被视为当前主流技术路线，并能够实现商用。
- OPA 扫描技术作为一种新型光束指向控制技术是近年来的研究热点，具有无惯性器件、精确稳定、方向可任意控制的优点，但 OPA 的接收部件的不成熟，导致阳光下噪点多，难以作为主传感器之用，并且其核心元器件 OPA 芯片加工难度高，产品化的道路上存在一定的挑战。

图表16 激光雷达技术路线图及对应的典型产品

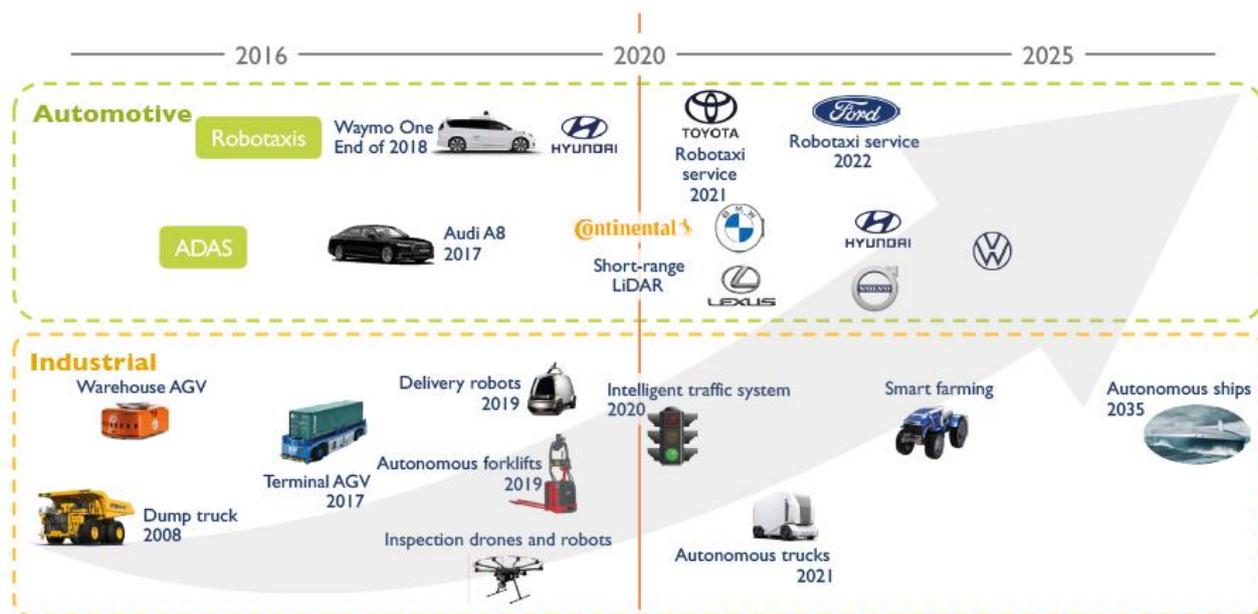


资料来源：国汽智联，华安证券研究所

2.4 激光雷达的下游应用都有哪些领域？

激光雷达在无人驾驶领域市场前景可观。传统出行服务中人工成本占运营总成本60%以上，无人驾驶出行服务能够取消这一成本，而且无人驾驶技术能够减少车辆闲置时间，因而相比传统的出行服务具有广泛的商业价值和盈利空间。高级辅助驾驶市场主要服务于整车厂及Tier1公司，激光雷达在性能满足要求的基础上，成本及车规要求是量产车项目关注的重点。Valeo的SCALA是世界第一款受到市场认可通过车规并实现量产的激光雷达产品，搭载在了奥迪旗舰车型AudiA8。2020年Valeo将对SCALA进行升级，实现更优的传感器解决方案。

世界各地交通法规的修订为L3级自动驾驶技术商业化落地带来机会。2019年，日本《道路交通法案》修正案获得通过，允许L3级自动驾驶车辆在公共道路上使用。2020年1月，韩国国土交通部发布《自动驾驶汽车安全标准》（修订版），制定L3级自动驾驶安全标准和商用化标准。2020年6月联合国的欧洲经济委员会通过《ALKS车道自动保持系统条例》，这是全球范围内第一个针对L3级自动驾驶具有约束力的国际法规。

图表17 激光雷达在汽车、工业等场景有着广泛的下游应用


资料来源：Yole，华安证券研究所

世界范围来看，中国智能网联汽车发展速度快，战略化程度高。2020年2月，国家发展改革委、工信部、科技部等11个部委联合印发《智能汽车创新发展战略》，提出到2025年，智能交通系统和智慧城市相关设施建设取得积极进展，车用无线通信网络实现区域覆盖，新一代车用无线通信网络在部分城市、高速公路逐步开展应用，高精度时空基准服务网络实现全覆盖。2020年3月，发改委和工信部发布《关于组织实施2020年新型基础设施建设工程（宽带网络和5G领域）的通知》，将“基于5G的车路协同车联网大规模验证与应用”列为七项5G创新应用提升工程之一。与单车智能相比，基于5G的车路协同可以更大限度地提升行车安全、提高交通系统运行效率、降低车载设备成本，从而促进无人驾驶的快速落地。

图表18 Audi A8 搭载 Valeo 激光雷达


资料来源：Audi 官网，华安证券研究所

服务机器人主要应用范围包括无人配送、无人清扫、无人仓储、无人巡检等。借助强大的内置感知系统及控制系统，服务机器人能够完成多种无人作业，从而减轻对人力的依赖，提高生产效率。服务型机器人不仅仅可以实现将货物从物流中心运送到消费者家中，还可以提供大量新型的“最后一公里”服务，为整个服务社区提供便利性、安全性和健康性。2020年面对新冠疫情，无人配送能够避免人与人的不必要接触，减少交叉感染概率，为方便社区生活以及阻隔疫情扩散筑起了健康防线。

图表19 搭载有激光雷达的无接触配医用物资配送小车



资料来源：新华网，华安证券研究所

激光雷达也被应用在消费电子领域。2020年Apple（苹果）在新款iPad Pro、iPhone 12 Pro和iPhone 12 Pro Max上搭载了dToF激光雷达模组，虽然同为基于飞行时间原理的激光雷达，但从产品要求以及客户群体来看，消费类电子产品上的激光雷达与公司所面向的无人驾驶、高级辅助驾驶、机器人、车联网应用的激光雷达区别较大，比如前者的测距范围一般为5m以内，对体积和功耗要求非常严格。

图表20 iPhone 12 上搭载激光雷达模组



资料来源：Apple 官网，华安证券研究所

3 国内激光雷达龙头：禾赛科技

3.1 反复探索打磨，成为激光雷达全球领先企业

禾赛科技是全球领先的激光雷达制造商。2014年成立于上海，禾赛依靠近500人的团队打造出一系列创新型传感器解决方案，兼顾业内顶尖的产品性能、可量产的设计以及出众的可靠性。禾赛凭借自主研发的微振镜和波形加密技术，始终引领传感器创新的发展方向，目前已布局500多项专利，客户遍布全球20个国家和地区的70座城市。

由激光气体传感器向激光雷达拓展，是公司长期战略。2015至2016年期间，公司主要的产品为激光气体传感器，产品灵敏度高、误报率低，一面世就受到燃气行业的关注，并入围了2017年的Prism Award最终名单。2016年，经历反复探索后，公司在原有激光气体遥感技术的积累之上拓展了新的发展方向——无人驾驶激光雷达。面向无人驾驶的激光雷达产品技术壁垒高，市场总量大，应用前景广阔且与公司发展愿景高度吻合。随后，公司深耕于高端激光雷达产品的开发，推出了一系列产品，积累了大量优质客户。2017年底，公司部署芯片技术发展方向，成立芯片部门，根据产品上积累的系统需求定义芯片参数，自主设计芯片。

图表21 禾赛科技发展历程



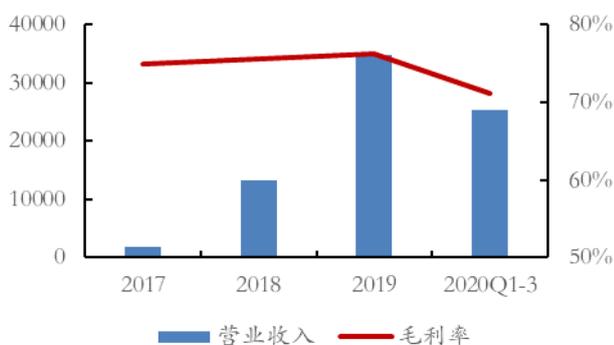
资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

公司核心团队专业背景深厚。公司实际控制人孙恺、李一帆、向少卿毕业于清华大学、斯坦福大学、上海交通大学等海内外高校，拥有苹果、西部数据等公司的工程师背景，其他核心技术人员也拥有电子、光学等方面的专业背景，这些经验是公司战略制定的有力保障。

营收迅速增长，毛利率高，客户以北美和国内为主。公司近年营业收入增长迅速，考虑到公司收入多集中在第四季度，叠加国外疫情逐步缓解等因素，2020年营业收入

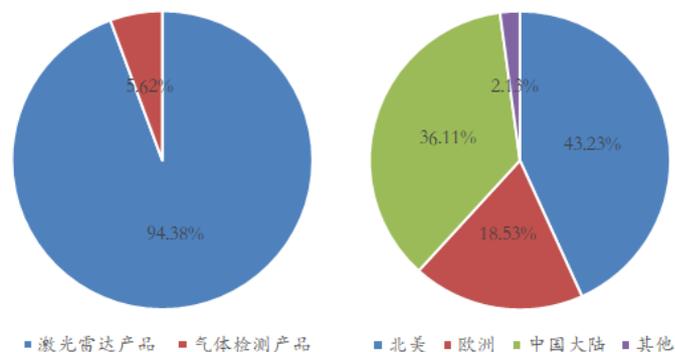
有望再创新高。毛利率保持在较高水平,主要因为激光雷达行业的研发与制造壁垒高,且公司为行业内高线数激光雷达的领军企业,具有较强定价权。营收地区分布方面,以北美和中国大陆客户为主。

图表22 禾赛科技营收和毛利率 (单位:万元)



资料来源:公司财报,华安证券研究所

图表23 禾赛科技营收结构和地区构成 (2019年)

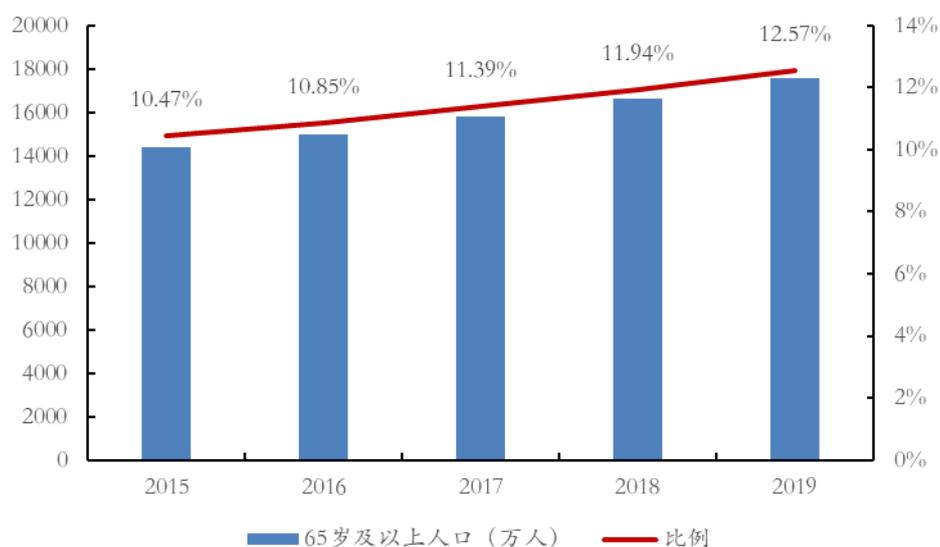


资料来源:公司财报,华安证券研究所

3.2 下游行业与政策支持共同驱动公司发展

老龄化现象加剧,社会对智能服务依赖度不断提升。自2012年起,我国劳动年龄人口数量和比重持续降低,2019年65岁以上人口占总人口比例达到12.57%,可以预见未来30年,中国社会老龄化问题将越来越严重。依赖人口红利的物流运输系统也将出现巨大的劳动力缺口。社会人口老龄化的到来将给这些行业带来巨大的劳动力缺口,这为智能服务的发展带来了广阔的应用前景。无人驾驶卡车、无人运货小车、无人码头运送车等的推广将大量解放劳动力,激光雷达作为其重要传感器也将为社会的转型与发展提供技术支持。为了持续的经济增长。

图表24 我国65岁及以上人口数量及比例 (单位:万人)



资料来源:国家统计局,华安证券研究所

下游行业的蓬勃发展将持续驱动激光雷达行业的增长。根据 Yola 的测算，2019 年全球激光雷达市场规模约为 16 亿美元，预计到 2025 年将达 38 亿美元，复合增长率达 19%。其中，ADAS 领域市场规模将从 1900 万美元增长至 17 亿美元，复合增长率达 114%。

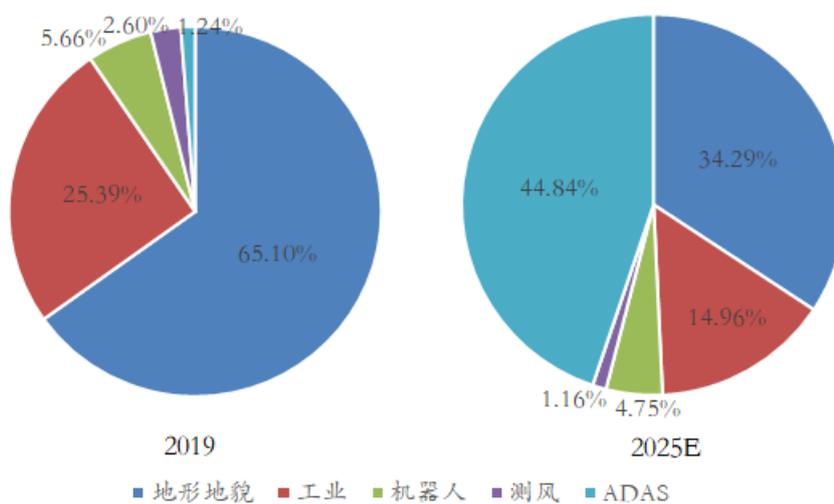
1) 无人驾驶行业：传统出行服务中人工成本占运营总成本 60% 以上，无人驾驶出行服务能够取消这一成本，而且无人驾驶技术能够减少车辆闲置时间，因而相比传统的出行服务具有广泛的商业价值和盈利空间。当前，国内外的无人驾驶项目不断取得进展，根据 ReportLinker 研究估计，2025 年全球包括运送乘客和货物在内的 L4/L5 级无人驾驶车辆数目将达到 53.5 万辆。随着无人驾驶商业模式的逐步确立，该领域的全球激光雷达市场也将随之实现高速增长。

2) 高级辅助驾驶行业：世界各地交通法规的修订正为 L3 级自动驾驶技术商业化落地带来机会，全球范围内 L3 级辅助驾驶量产项目当前处于快速开发之中。随着激光雷达成本下探至数百美元区间且达到车规级要求，未来越来越多高级辅助驾驶量产项目将实现 SOP；根据 Yole 的研究报告，至 2025 年全球乘用车新车市场 L3 级自动驾驶的渗透率将达约 6%，即每年将近 600 万辆新车将搭载激光雷达。激光雷达在高级辅助驾驶领域的市场规模将在未来 5 年里保持高速增长。

3) 服务型机器人行业：当前越来越多的电商、消费服务业巨头以及初创公司投入服务型机器人的开发，随着智能服务机器人技术的成熟，其业务范围和辐射半径将不断增强，无人运送、无人清扫、无人巡检机器人在运营成本降低及服务效率提升等方面的优势将得以显现，对此类设备的需求也将不断提升。

4) 车联网行业：基于 5G 的车路协同可以更大限度地提升行车安全、提高交通系统运行效率、降低车载设备成本，从而促进无人驾驶的快速落地，国内城市纷纷展开智能城市、智能交通的建设和测试。激光雷达结合智能算法，能够提供高精度的位置、形状、姿态等信息，实现对交通状况进行全局性的精确把控，对车路协同功能的实现至关重要。随着智能城市、智能交通项目的落地，未来该市场对激光雷达的需求将呈现稳定增长态势。

图表25 2019-2025 年全球激光雷达分应用市场规模



资料来源：Yole，华安证券研究所

国家对智能传感器的发展给予大量政策支持。智能传感器是智能装备感知外部环境信息的关键，对智能装备的应用起着技术牵引和场景升级的作用。近年来，随着互联网与物联网的高速发展，传感器在新兴的智能家居、智慧城市、智能移动终端（汽

车、机器人等)等领域的应用突飞猛进,大幅扩展了应用空间。同时集成电路是智能传感器的重要组成部分,专用芯片的发展为智能传感器的性能提升、可靠性提升和成本控制提供了重要支撑。国家政策也给予了大力支持。2017年起,随着智能汽车及车联网行业的发展,各级政府出台多项政策明确发展车载传感器技术以及形成产业化规模,对公司经营发展起到正向促进作用。

图表26 2019年以来智能传感器相关的国家政策

时间	发布机构	政策	内容
2020	国务院	新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)	实施智能网联技术创新工程。以新能源汽车为智能网联技术率先应用的载体,支持企业跨界协同,研发复杂环境融合感知、智能网联决策与控制、信息物理系统架构设计等关键技术,突破车载智能计算平台、高精度地图与定位、车辆与车外其他设备的无线通信(V2X)、线控执行系统等核心技术和产品
2020	商务部等8部门	商务部等8部门关于推动服务外包加快转型升级的指导意见	将企业开展云计算、基础软件、集成电路设计、区块链等信息技术研发和应用纳入国家科技计划(专项、基金等)支持范围
2020	发改委等11部委	智能汽车创新发展战略	明确提出推进车载高精度传感器、车规级芯片、智能操作系统、车载智能终端、智能计算平台等产品研发与产业化,建设智能汽车关键零部件产业集群
2020	国务院	新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策	在现有的“五免五减半”政策基础上,首次推出十年免征所得税政策,支持28nm(含)及以下先进工艺生产企业发展;把“两免三减半”政策适用范围从过去的芯片设计扩大到封装、设备、材料全产业链,同时对重点设计及软件企业税收优惠加大;与生产相关的原材料等产品进口关税免除政策继续施行,明确设备免税条件。此外,人才政策方面,第一次明确把集成电路列入“一级学科”,并对产教融合企业提出明确税收优惠
2019	财务部、税务总局	关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告	对符合条件的集成电路设计企业和软件企业,在2018年12月31日前自获利年度起计算优惠期,第一年至第二年免征企业所得税,第三年至第五年按照25%的法定税率减半征收企业所得税,并享受至期满为止
2019	发改委	产业结构调整指导目录(2019年本,征求意见稿)	明确提出发展智能汽车传感器等关键零部件及技术,加快发展先进制造业和现代服务业,促进制造业数字化、网络化、智能化升级,推动先进制造业和现代服务业深度融合

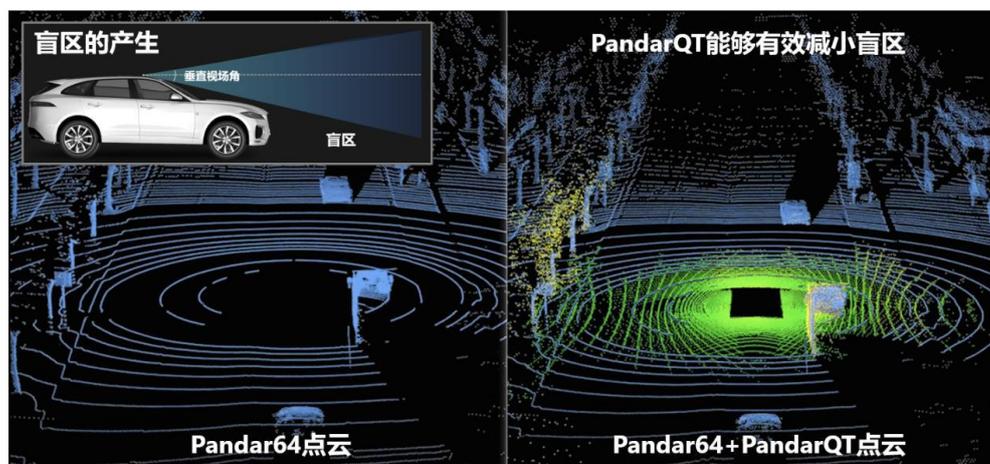
资料来源:禾赛科技招股说明书,华安证券研究所

3.3 深入探索不同技术方案，打造多场景立体化产品矩阵

从对激光雷达性能要求最高的无人驾驶领域入手，面对不同场景打造多样化产品矩阵。坚持产品性能的优化，持续积累核心模块的开发经验，前瞻部署芯片化的发展战略，深入探索不同技术方案，面对不同领域对激光雷达的多样化需求，秉承“长、中、短距兼备，机械、固态方案并进”的立体化产品矩阵，开发并陆续推出多样化的激光雷达产品。

无人驾驶场景产品针对性地解决了行驶环境中的一系列问题。1) **复杂环境和其他激光雷达干扰方面**，L4/L5级无人驾驶应用的实现，有赖于激光雷达提供的感知信息。该级别应用需要面对复杂多变的行驶环境，对激光雷达性能水平要求最高，在要求360°水平扫描范围的同时，对于低反射率物体的最远测距能力需要达到200m，且需要更高的线数以及更密的点云分辨率；同时，为了减少噪点，还需要激光雷达具有抵抗同环境中其他激光雷达干扰的能力。为满足上述要求，公司推出了性能逐步优化的Pandar40（2017年4月）、Pandar40P（2018年4月）、Pandar64（2019年1月）以及Pandar128（2020年9月）。2) **角度盲区方面**，激光雷达放置在车辆顶部，有限的垂直视场角会在近距离产生盲区，即无法探测的区域。为此公司在2020年1月推出了垂直视场角覆盖104.2°和探测距离最近达0.1m的盲区检测激光雷达PandarQT。3) **多传感器标定及同步方面**，自动驾驶公司的多传感器标定及同步是一个难点，公司与百度Apollo在2017年12月联合发布了多传感器融合感知套件Pandora。

图表27 角度盲区的产生及PandarQT盲区检测效果



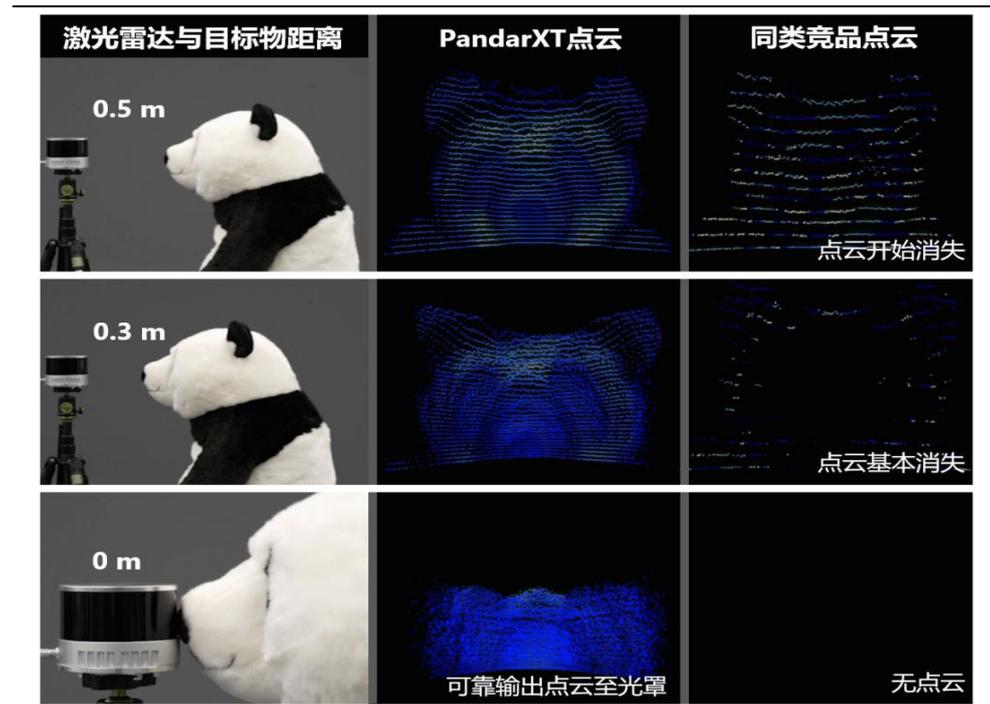
资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

高级辅助驾驶场景产品覆盖前向视场，实现自动跟车或者高速自适应巡航等功能。L2/L3级高级辅助驾驶对激光雷达的需求与L4/L5级无人驾驶应用的需求有所不同，覆盖前向视场（水平视场角覆盖60°到120°）的激光雷达通常为优选方案，实现自动跟车或者高速自适应巡航等功能，但在测远和角度分辨率等性能上的要求和无人驾驶是一致的；此外，整车厂及Tier1公司更看重激光雷达的形态与尺寸是否容易嵌入车身，保险杠、前挡风玻璃后视镜等易于隐藏的地方是放置激光雷达的优先选择，这些位置往往空间狭小因而限制了激光雷达的体积；该领域客户也要求激光雷达通过电磁兼容、可靠性（包括振动及冲击、防水防尘）等一系列严格的车规测试；因为面向消

费者的乘用车采购数量大，该领域客户对激光雷达的价格敏感度相较于无人驾驶领域也更高。为此，公司利用技术架构预研过程中的实践积累，在2019年1月推出了基于微振镜方案的远距前向式激光雷达PandarGT。当前，公司发挥在专用芯片开发上的研究成果，基于微振镜架构的低成本方案以及基于转镜方案的PandarST将搭载公司自研的V1.0多通道激光驱动芯片以及多通道模拟前端芯片，保障性能的同时提高可靠性并控制成本，目前相关产品处于样机迭代及OEM洽谈阶段。

机器人场景产品使用自研芯片优化性能。机器人应用范围包括无人送货小车、自动清扫车辆、园区内的接驳车、港口或矿区的无人作业车、执行监控或巡线任务的无人机等，这些场景的主要特点是路线相对固定、环境相对简单、行驶速度相对较低（通常不超过30km/h）。因而相比无人驾驶应用，机器人应用对激光雷达测远及分辨率等探测性能的要求相对较低，但对价格更敏感。为此，公司采用禾赛V1.0自研芯片架构，开发了面向机器人市场的中距机械旋转式激光雷达，于2020年10月推出了PandarXT产品。PandarXT发射端使用自主研发的多通道激光驱动芯片，接收端使用自主研发的多通道模拟前端芯片，专用芯片的应用带来了产品性能的优化：更高的测距精度、更优的抗干扰能力、更低的功耗等，而且也使得PandarXT在性能一致性、系统集成度、成本控制、可量产性等方面具有优势。

图表28 PandarXT 实现零测距盲区



资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

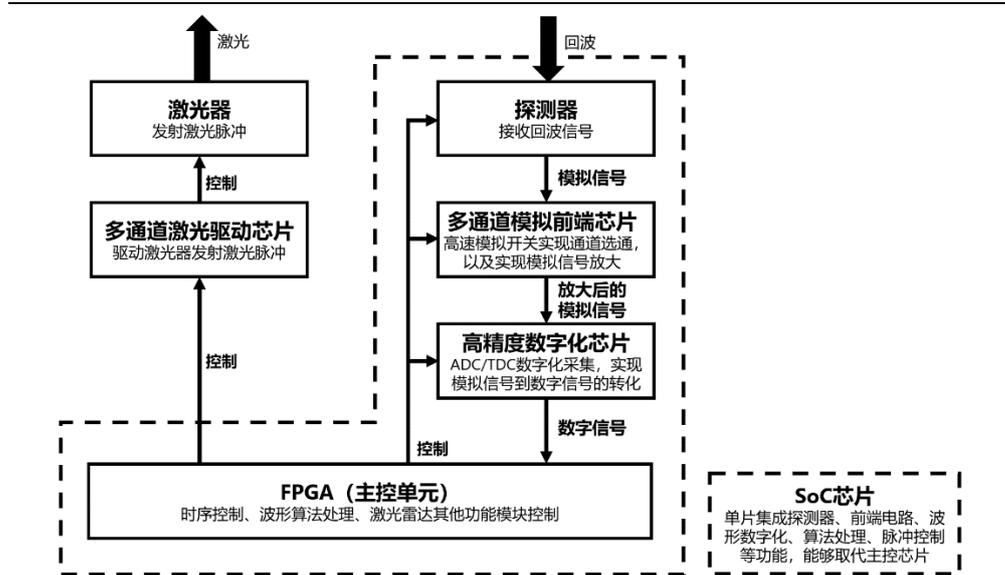
车路协同场景产品采用目标聚类及追踪算法，内部集成算力并降低典型时延。人、车、路的有效协同需要准确识别和追踪交通参与者，并对其路线进行有效预测，采用基于激光雷达点云数据的目标聚类及追踪算法能够满足这一要求。PandarMind系列产品能够直接输出经过深度学习算法处理得到的目标物识别结果，相比传统的激光雷达外接算法处理单元的方案，PandarMind算力内部集成，具有无需额外软件移植部署的优势。此外，相比传统算法方案需要的 $\geq 100\text{ms}$ 的典型时间延迟，PandarMind有效降

低典型时延，为车辆提供了更长的反应时间用于驾驶决策，有利于充分实现人车路的有效协同，保证交通安全，提高通行效率。

3.4 技术突破和持续的研发投入，构筑产品护城河

激光雷达行业具有较高的技术水准与技术壁垒。作为一种新兴的传感器技术，激光雷达系统结构精密且复杂，精细的光机设计和收发对准、微弱信号的灵敏探测和快速响应是实现探测目标的前提。为了实现最优的探测效果，激光雷达不仅在开发过程中需要光、机、电等子模块的高度配合和协同优化，而且还需要在生产过程中具有相匹配的高精度生产制造能力。

图表29 激光雷达专用芯片及功能模块示意图



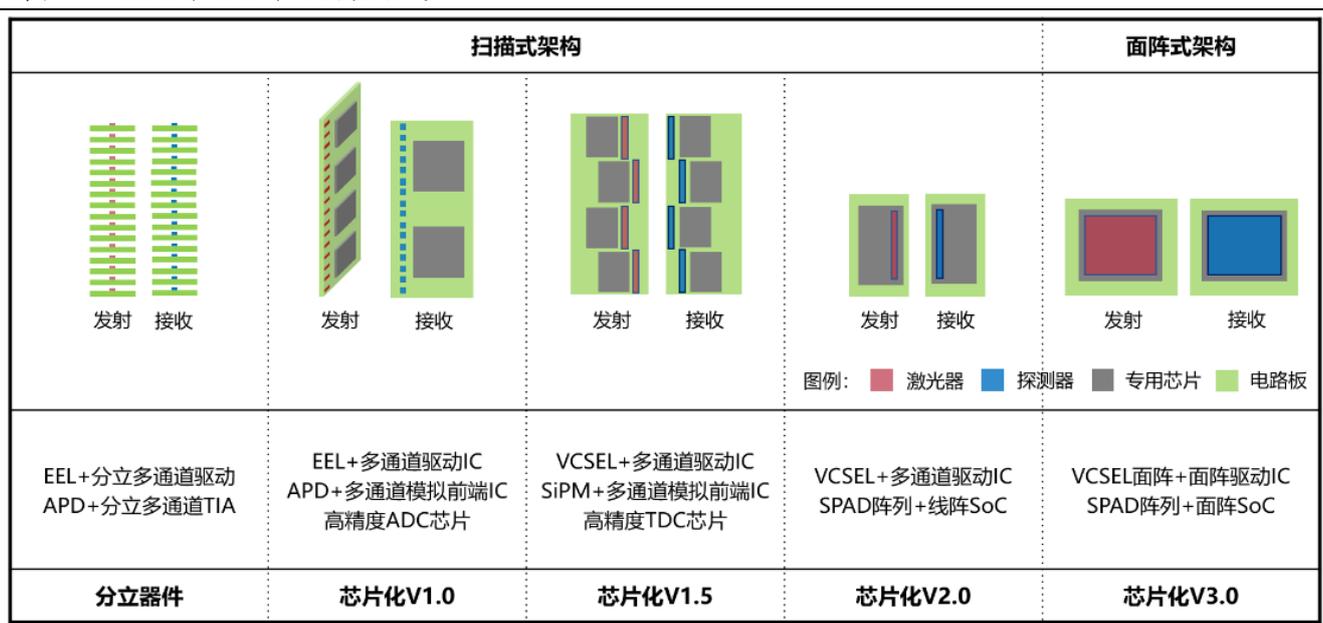
资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

全固态是车用激光雷达的技术发展趋势，公司针对不同场景应用不同技术路线，并开展新技术的布局积累。总体来看，激光雷达未来发展趋势为取消机械旋转结构，利用半导体工艺将所有机械部件全集成，实现体积小、质量轻、坚固可靠、高效率 and 低成本的全固态激光雷达，同时提高其环境适应性。机械旋转式激光雷达产品已经在无人驾驶领域得到了广泛应用，而半固态式激光雷达主要面向即将兴起的量产乘用车高级辅助驾驶市场。不同细分应用领域的差异对激光雷达的综合指标提出了不同维度的要求，产品性能分层、不同架构方案并存将是常态。依据对未来市场的预判，公司也开展了对 FMCW 激光雷达和电子扫描方案的固态式激光雷达的技术布局和积累，具有新技术方案激光雷达的产品开发能力。

突破激光雷达技术限制，公司制定芯片化发展战略。当前市场对激光雷达产品的测远能力以及点频的要求不断提升，但由于受到激光安全阈值的限制以及产品功耗与发热的限制，目前已经很难通过简单堆砌通道数目去满足这个需求。为了突破现有瓶颈，需要通过技术的改进以及实现核心收发芯片的升级换代，提升能量利用率，用更少的能量实现更远的单点测距能力。针对上述问题，公司发挥技术创新能力，规划了 V1.0、V1.5、V2.0、V3.0 代核心收发单元芯片化的发展战略，V1.0、V1.5、V2.0 芯片研

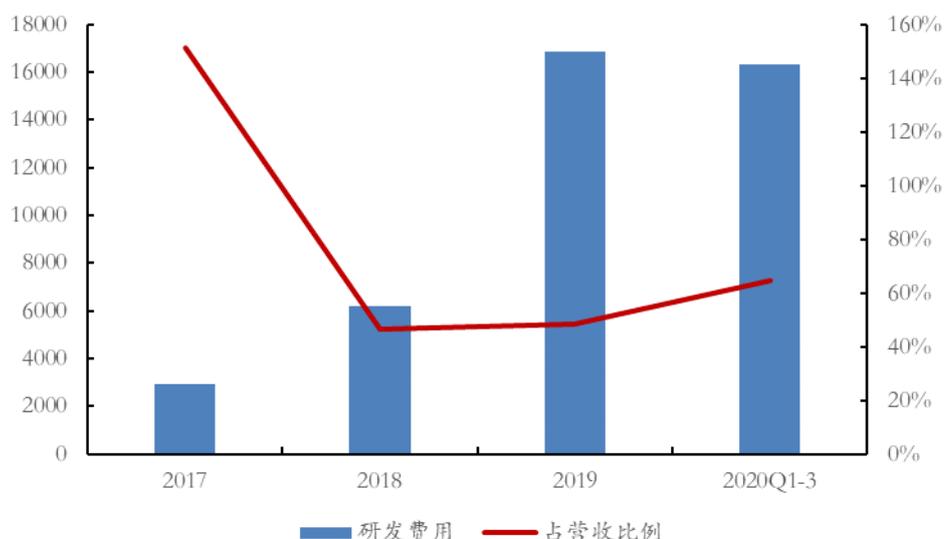
究成果面向当前机械式、微振镜式、转镜式技术方案，是这些产品系列升级迭代的共同技术支撑，V3.0 面向纯固态式激光雷达 PandarFT 的开发及应用。公司于 2017 年末成立了芯片部门，开展激光雷达专用芯片的研发工作。激光雷达专用芯片化研究包括激光驱动芯片、模拟前端芯片、数字化技术和芯片以及 SoC 芯片，其在激光雷达系统的功能如下图所示。目前芯片化 V1.0 成果多通道激光驱动芯片及多通道模拟前端芯片已完成量产，并应用于多个激光雷达研发项目和 PandarXT 的量产项目。高精度数字化技术已应用于公司产品，模拟数字转换芯片已进入开发后期，公司在 SoC 芯片方面已有技术储备。

图表30 激光雷达芯片化发展路线



资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

公司高度重视研发，募集资金用于智能制造中心和激光雷达算法项目。截至 2020 年 9 月 30 日，公司共有研发人员 270 人，占总员工数量的 53.78%。研发投入不断增加，最近三年累计研发投入占最近三年累计营业收入的比例为 51.84%；2017-2019 年三年累计研发投入 25,964.15 万元。本次募集资金除用于激光雷达专属芯片项目外，还包括智能制造中心项目和激光雷达算法的研发。智能制造中心项目将帮助公司在激光雷达各产品线的生产工艺优化以及测试环境等方面，实现业内领先的生产能力，为大规模量产做好准备，激光雷达算法研发项目将提升公司激光雷达相关的算法能力，以为乘用车、车联网等领域的客户提供产品及算法的解决方案，所面向领域均为激光雷达的研发设计、产品方案、生产制造等关键环节。

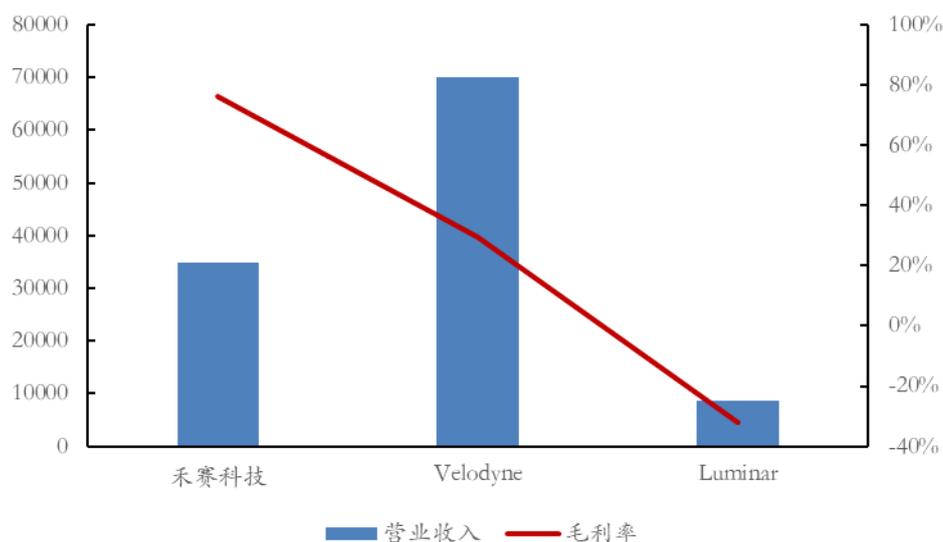
图表31 公司研发费用及占营收的比例（单位：万元）


资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

3.5 多种技术路线与自有生产线创造超车优势

行业内主要的激光雷达公司包括美国的 Velodyne、Luminar、Aeva、Ouster，以色列的 Innoviz，德国的 Ibeo，以及国内的速腾聚创、镭神智能、华为、览沃科技等。

公司当前激光雷达以机械式为主，积极布局半固态和全固态激光雷达开发。 Luminar、Aeva、Innoviz、Ibeo 主要面向无人驾驶和量产乘用车 ADAS 市场，开发相应的（半）固态激光雷达，其技术特点各有不同；Velodyne、Ouster 等主要是机械式旋转多线激光雷达的供应商，产品面向无人驾驶和服务型机器人市场。Velodyne 在这个领域具有先发优势，在 2006 年到 2017 年一度是机械旋转激光雷达市场的最主要提供方。公司于 2017 年开始向市场出售产品，逐渐赢得无人驾驶高线数激光雷达市场的客户。在技术方向上，公司注重芯片的底层研发。Ouster 从创立开始就选择数字化的芯片方案，该方案架构先进，但产品的整体性能非常依赖芯片架构和器件的成熟度，Ouster 当前的产品性能和成本尚不具备优势。凭借量产出货的技术积累，包括公司在内的四家主要的机械旋转雷达公司，也都在积极布局半固态和全固态激光雷达的开发。

图表32 与 Velodyne、Luminar 营收和毛利率对比 (2019 年, 单位: 万元)


资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

Velodyne 仍为市场龙头，公司正迎头赶上。从产业应用及市场占有率来看，Velodyne 当前仍是市场营收总额最高的激光雷达公司；Luminar 2019 年的销售台数在百台量级；Aeva 和 Innoviz 在 2020 年预期营业收入均为 500 万美元，市场占有率较低。2017 年之前 Velodyne 几乎是市场上唯一的高线数激光雷达厂商，公司进入激光雷达领域后，国外厂商的市场占有率不断降低，无人驾驶市场占 Velodyne 2017 年营收的 50% 以上，近期下降到约 25%。凭借优秀的产品性能，公司建立了良好的口碑，销售数量及营业收入均实现较快增长。

生产模式国外公司以代工合作为主，公司自有生产线把握生产和成本控制权。从生产模式来看，部分国外激光雷达公司倾向采用代工或与制造厂合作的生产模式。Velodyne 已与 Fabrinet、尼康、Veoneer 等签署多年代工协议，从自主生产模式逐渐转向增加欧洲及亚洲第三方工厂代工的生产模式。Innoviz 与捷普合作进行产品代工，同时针对宝马项目与 Magna（麦格纳）开展合作。与大型代工厂或者 Tier1 合作能够降低激光雷达厂商对生产资源的投入，但也会削弱激光雷达厂商对生产环节和生产成本的把控，激光雷达作为新兴的精密传感器，迭代速度快，而且尚无确定的行业标准和成熟稳定的工艺，生产环节包括多步针对产品特性的精准装调和测试工序，需要激光雷达厂商对生产环节具有较强的把控能力，规模化生产能力会逐渐成为激光雷达企业的核心壁垒之一。禾赛科技所有激光雷达产品均为自主生产，解决了诸多工艺问题，积累了生产经验。同时结合行业特点，制定了自动化生产线及智能化生产工厂的技术发展路线，随着新制造中心的落成与使用，生产优势将进一步提升。

3.6 广泛深入的商业合作

禾赛科技已服务国内外众多的重量级客户，广泛分布于无人驾驶、高级辅助驾驶、机器人与车联网等领域。1) 在无人驾驶方面，公司的 40 线、64 线机械式激光雷达产品性能出色，受到了世界范围内头部无人驾驶公司的广泛认可。Robotaxi 已于国内外众多优质客户开展深度合作，博世的无人驾驶测试和服务试点，百度在长沙开放的无

人驾驶出租车试乘等，均采用了公司的激光雷达产品；Robo Truck 则于图森未来等头部无人驾驶卡车公司展开合作。2) 在高级辅助驾驶方面，公司 V1.5 的激光雷达芯片化架构将于 2021 年应用于面向 ADAS 市场的产品中，并将于博世在 ADAS 领域的激光雷达产品展开一系列的合作。3) 在服务机器人方面，公司已与国内专攻无人配送的白犀牛智达及生活服务电商巨头美团等公司合作，其无人配送车搭载了公司的激光雷达产品。4) 在车联网方面，2020 年 10 月的“2020 C-V2X 大规模先导性应用示范活动”中，公司作为唯一的激光雷达传感器提供方，使用 PandarMind 产品，联合搭建了行人横穿场景的网联环境，打通了从激光雷达探测行人到 RSU 将行人信息以 V2X 消息格式进行广播的链路，在国内首次实现了基于边缘感知算法进行行人横穿 V2X 应用场景的公开测试。

图33 公司激光雷达产品在无人驾驶汽车产业的应用



资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

图34 公司激光雷达产品在无人驾驶物流配送产业的应用



资料来源：禾赛科技招股说明书，华安证券研究所

4 国内外部分激光雷达公司梳理

4.1 万集科技

万集科技是国内领先的智能交通产品与服务提供商，提供精度更高的多通道激光雷达。2020年12月21日，公司车载激光雷达已实现产品化，符合车规级设计，可以嵌入车身，不影响车辆外观，并已通过多项车规级测试。公司已经与宇通客车就车载激光雷达达成商用合作，公司产品应用于其L4级别自动驾驶车辆。公司的第二代车载局部视场激光雷达及32线全视场路侧激光雷达开始小批量试制。该系列产品可广泛应用于自动驾驶/辅助驾驶车辆，高精度地图采集，道路情况实时扫描等场景。

图表35 用于车路协同的WLR-732路侧32线激光雷达



资料来源：万集科技官网，华安证券研究所

坚持自主创新，每年投入大量资源进行自主技术研发。公司提升研发团队综合实力，全年研发费用为14,633.80万元，占本期营业收入的4.37%。公司8线和32线激光雷达开始产品化并对实用技术进行了研究，对拖点算法、地面点剔除算法进行了改进优化。同时第二代车载局部视场激光雷达及32线全视场路侧激光雷达开始小批量试制。

图表36 近三年公司研发投入金额及占营业收入的比例

	2019年	2018年	2017年
研发人员数量(人)	272	223	253
研发人员数量占比	24.39%	23.88%	26.11%
研发投入金额(元)	146,338,012.78	85,711,174.20	76,496,918.00
研发投入占营业收入比例	4.37%	12.38%	12.17%

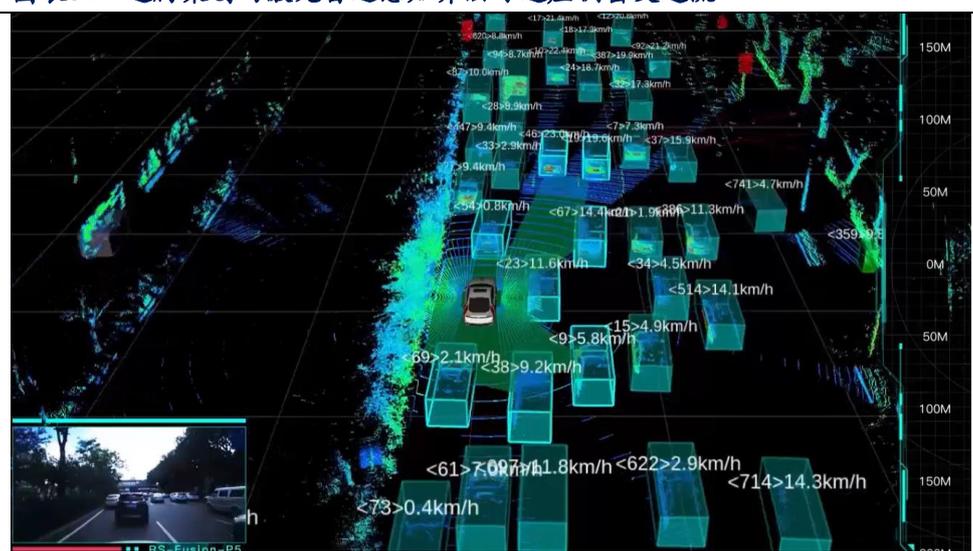
资料来源：公司年报，华安证券研究所

4.2 速腾聚创

RoboSense（速腾聚创）是智能激光雷达系统科技企业。产品技术包括：MEMS 与机械式激光雷达硬件，硬件融合技术，AI 感知算法等。公司合作伙伴覆盖全球各大自动驾驶科技公司、车企、一级供应商等，产品技术已广泛应用于自动驾驶、高级辅助驾驶、车路协同等场景。公司通过激光雷达硬件、AI 算法与芯片三大核心技术闭环，为市场提供具有信息理解能力的智能激光雷达系统，超越传统激光雷达硬件纯信息收集的定义，赋予机器人和车辆超越人类眼睛的感知能力，为客户提供多种的智能激光雷达系统解决方案。

激光雷达产品矩阵已经形成，公司合作伙伴丰富。公司已具备机械式、固态和静态激光雷达三大产品品类。今年 1 月，公司展示了车规级 MEMS 固态激光雷达 RS-LiDAR-M1 的 SOP 版本，计划于 Q2 启动定点项目量产交付。M1 自去年 7 月开始连续获得全球多个量产车型定点合作订单，12 月 M1 样件批量出货给北美车厂，成为全球首款批量交付的车规级 MEMS 固态激光雷达。公司与整车厂、无人驾驶等企业达成合作，包括京东、菜鸟、比亚迪、一汽等。

图表37 速腾聚创的激光雷达感知算法可适应稠密交通流



资料来源：速腾聚创官网，华安证券研究所

4.3 镭神智能

深圳市镭神智能系统有限公司成立于 2015 年 2 月,是一家激光雷达及整体解决方案提供商。主要受益于自动驾驶,公司所生产的激光雷达有望成为自动驾驶的标准配置。公司是全球唯一一家同时掌握了 TOF 时间飞行法、相位法、三角法和调频连续波等四种测量原理的激光雷达公司,也是国内唯一一家自主研发出激光雷达专用 16 通道 TIA 芯片、激光雷达自动化及半自动化生产线、1550nm 光纤激光器的激光雷达公司。

图表38 镭神智能混合固态激光雷达与机械激光雷达

	混合固态激光雷达			机械激光雷达	
					
型号	CH128	CH32	CH16	C32	C16
探测距离(m)	100/150/200/300	100/150/200/300	100/150/200/300	70/120/150/200	50/70/120/150/200
扫描通道	128	32	16	32	16
水平视场角	150°	120°	120°	360°	360°
垂直视场角	-17°~ 14.8°	-6.67°~ 4.58°	-4°~ 2°	-16°~ 15°/-18°~ 14°	-15°~ 15°/-14°~ 16°/-10°~ 10°
精度(cm)	±2,±5	±2,±3	±2,±3	±3	±3
测点速率(点/秒)	415,000	426,000	213,000	640,000	320,000
所在页	P03	P03	P03	P05	P05

资料来源:镭神智能官网,华安证券研究所

4.4 览沃科技

览沃科技 (Livox) 是大疆创新内部孵化成立的独立公司。致力于提供高性能、低成本的激光雷达传感器,应用于自动驾驶、智慧城市、测绘、移动机器人等多个行业, Livox 产品已销往 26 个国家和地区。览沃科技采用非重复式扫描技术的旋镜式类固态激光雷达技术路线。

为小鹏汽车定制车规级激光雷达产品。2021 年 1 月 1 日,小鹏汽车宣布与 Livox 览沃科技达成合作,将在 2021 年推出的全新量产车型上使用其生产的小鹏定制版车规级激光雷达。览沃科技首次提出并实现了全新的“超帧率”激光雷达技术概念,能更好地应对高速公路、城区道路等场景下远处障碍物的超前检测,更密的点云输出也让算法可以更快检测出远处路面上诸如行人、自行车以及雪糕桶等细小目标物体。

图表39 览沃科技激光雷达产品在弱势场景下的感知能力



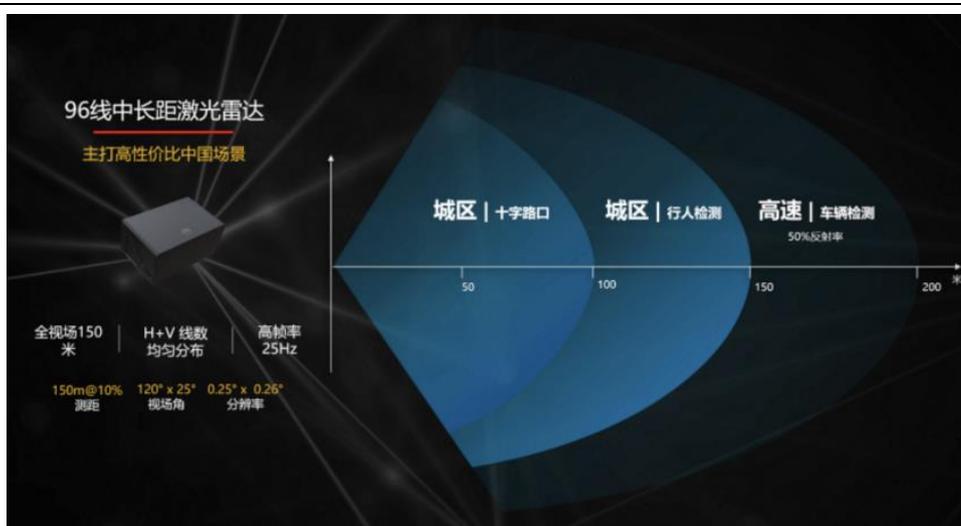
资料来源:小鹏汽车,华安证券研究所

4.5 华为

选择半固态 MEMS 微振镜架构，今年实现车规级量产。华为激光雷达项目起步于 2016 年，历经 4 年多的调研、场景分析、明确需求、设计开发、车规级验证，96 线激光雷达已经被推到了生产线上，年产能达 10 万套/线。华为选择半固态 MEMS 微振镜技术路线，其核心技术重点在发射、扫描、探测三个层面，其优势在于在光电领域产业庞大，规模效应突出，采购激光发射器和接收器的成本远比传统激光雷达低。

2020 年 7 月 2 日，世界知识产权组织国际局公布了华为的一项有关激光雷达的专利。北汽旗下 ARCFOX 极狐 HBT 将成为首个搭载华为激光雷达的电动车；另外，长安汽车也将和 华为、宁德时代打造一个新的高端智能汽车品牌，并在首款车上搭载华为的激光雷达。

图表40 华为 96 线中长距激光雷达性能

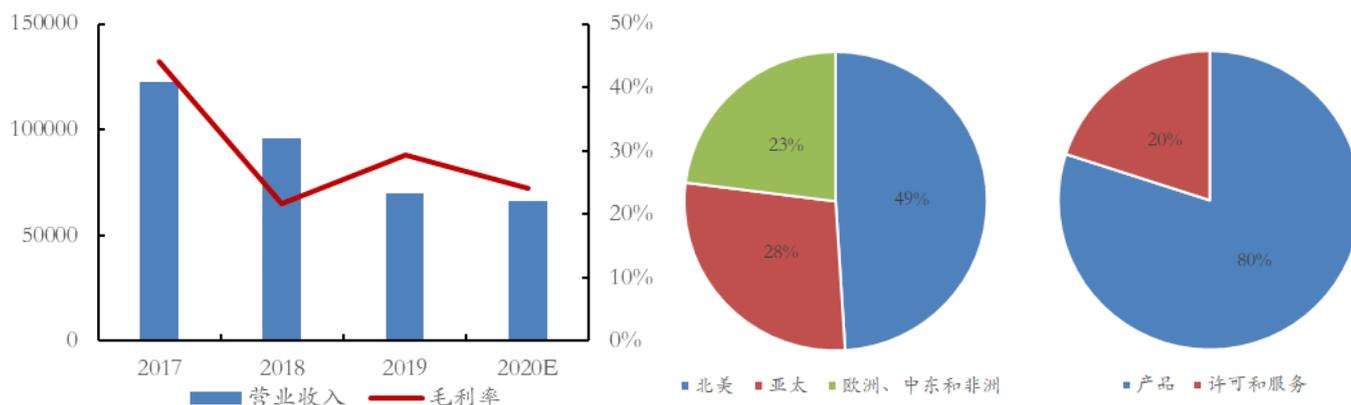


资料来源：快科技，华安证券研究所

4.6 Velodyne

深耕激光雷达行业十余年，成为行业全球龙头企业。Velodyne 于 2005 年开始开发激光雷达技术，并在 2015 年从 Velodyne Acoustics 公司独立。2007 年推出的 HDL-64E 产品成为第一款商用、量产的实时 3D 激光雷达。2020 年，Velabit、Velarray H800 和 Velarray M1600 三款固态激光雷达相继发布，拥有传统 MEMS 解决方案的高可靠性和长寿命，同时提供更远的传感距离。自 2010 年首批产品上市以来，公司已经出货超过 40000 台，累计销售额超过 5.7 亿美元。

图表41 Velodyne 营业收入和毛利率(万元人民币) 图表42 Velodyne 营收业务和地区构成(2019年)



资料来源：公司财报，华安证券研究所

资料来源：公司财报，华安证券研究所

具有嵌入式软件的智能视觉平台和校准技术巩固公司领先地位。Velodyne 的 360 度环绕视野架构已成为自动驾驶汽车、机器人和安防应用的参考架构，而嵌入式信号处理软件进一步增强了其技术领先地位，可运行专有算法来分析激光雷达硬件捕获的非结构化数据，并生成机器可处理的结构化数据。此外，专有校准方法使得公司可在智能视觉解决方案中最大限度地提高性能。

图表43 Velodyne 产品矩阵

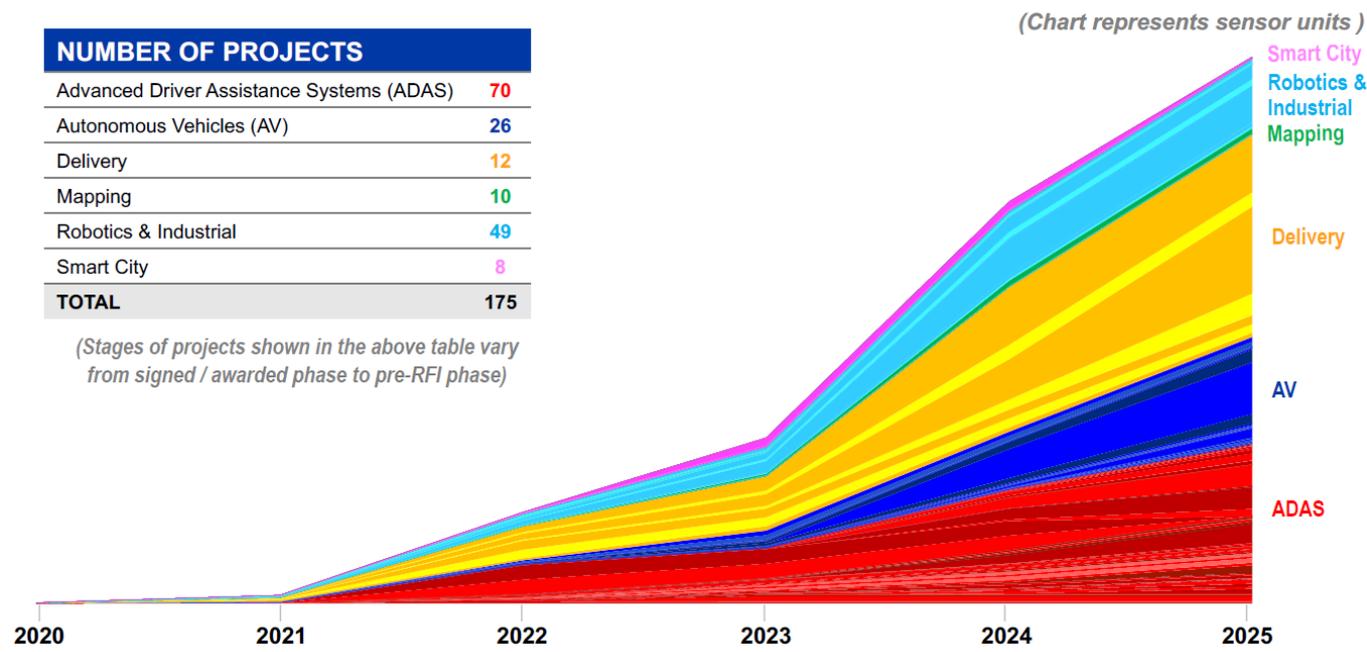


资料来源：Velodyne 官网，华安证券研究所

转向 ASIC 电路，降低成本并减少供应商依赖。公司正从现场可编程门阵列 (FPGA) 向专用集成电路 (ASIC) 过渡，以进一步提高产品性能，降低成本，减少对关键供应商的依赖。这种转变有助于公司随着终端市场的增长实现更大的产量。

公司在各领域拥有广泛的客户和合作伙伴。公司客户分布在自动驾驶、ADAS、无人机、测绘、工业自动化、智慧城市、机器人等多种领域，包括奥迪、通用、现代等车厂，滴滴等汽车系统集成商，以及 Google、徕卡等非汽车领域的公司。公司还与 Veoneer 和尼康签署代工协议，以便扩大规模，满足大批量市场的需求。预计到 2025 年，公司将承接 175 个项目，出货量总计达 900 万台。项目广泛分布在各领域，其中 ADAS 和机器人/工业领域项目最多，分别达到 70 个和 49 个；从出货量看，ADAS 和自动驾驶领域的数量最大，占据总量近一半的比例。

图表44 Velodyne 2020-2025 年分领域出货量预测

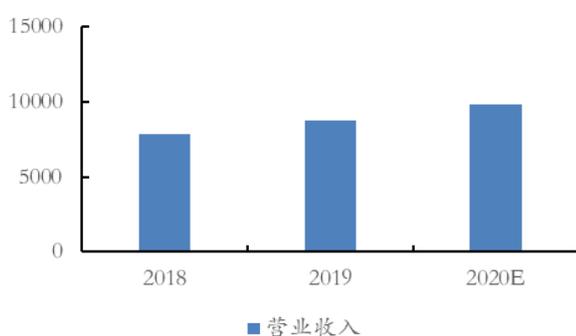


资料来源：Velodyne 官网，华安证券研究所

4.7 Luminar

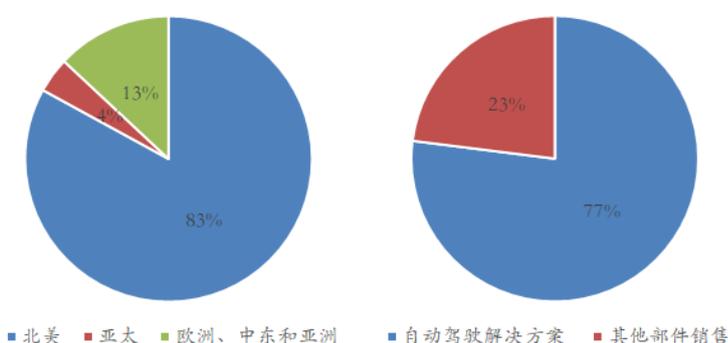
高速公路自动驾驶技术优势明显，多项垂直领域达成商业合作。Luminar 创立于 2012 年，是一家专注于乘用车和卡车自动驾驶和激光雷达技术的公司。公司的产品能够探测距离超过 250 米的物体，为高速公路速度 (105km/h) 下的自动驾驶安全操作提供超过 7 秒的反应时间。Luminar 目前正与全球十大汽车制造商中的七家合作，并有望成为第一家在生产车辆上引入高速公路自动驾驶和下一代主动安全系统的自主汽车公司。在 2019-2020 年两年中，公司的合作伙伴总数已超过 50 家，其中包括沃尔沃于 2020 年 5 月签署的首个生产车辆项目合同，10 月与戴姆勒卡车、11 月与英特尔的 MobileEye 签订的项目合同，在乘用车、卡车和 RoboTaxi 三大垂直领域占据领先优势。

图表45 Luminar 营业收入 (万元人民币)



资料来源：公司财报，华安证券研究所

图表46 Luminar 营收业务和地区构成 (2019 年)



资料来源：公司财报，华安证券研究所

发力乘用车和卡车领域自动驾驶，公司产品有望成为行业安全标准。根据 IABI 研究、IHS Markit、LMC 汽车等的测算，高速公路自动驾驶和主动安全市场潜力巨大，乘用车和商用卡车领域分别具有 1200 亿美元和 600 亿美元的市场空间。1) **乘用车方面**，Luminar 预计大多数合作伙伴将于 2023-2025 年开始生产高速公路自动驾驶汽车，公司激光雷达产品比当前的主动安全系统为车辆赋予更强的防撞能力，包括更快速的紧急制动、增强的车道保持功能，以及恶劣天气和低能见度条件下显著提升的性能和可用性。目前，沃尔沃正考虑将公司激光雷达标准应用于所有车辆，这将进一步促进并加速公司技术被汽车合作伙伴采用。2) **卡车方面**，公司直接为合作伙伴优化产品，公司产品的扫描模式可在特定感兴趣区域最大化点密度，传感器布置模型可使驾驶室周围的盲点数量降到最低。公司的技术能检测道路废弃物，如轮胎残余物或超过 250 米范围的停滞交通，以及高速行驶的摩托车，而绝大多数激光雷达供应商的短程性能不足以应对这些情况，也不足以提供在公共高速公路上运营的商业卡车公司所需的安全水平。另外，公司在乘用车领域的技术积累可以直接、快速地部署到卡车领域，考虑到卡车运输业的成本竞争，这将提升商业合作的吸引力。

图表47 Luminar 的合作伙伴

	PASSENGER VEHICLE	TRUCKING	ROBO-TAXI	ADJACENT MARKETS
LUMINAR Partners	7 of Top 10 OEMs	Most Major Programs	Most Major Programs	Diverse Cross-Section
Target Ecosystem	TOYOTA, DAIMLER, Audi, VW, Ford, SAIC, HYUNDAI, HONDA	Ike, TORC/DAIMLER, NIKOLA, VOLVO TRUCKS, Kodiak, tu simple, PACCAR, EMBARK	TOYOTA INSTITUTE, cruise, intel, NVIDIA, Uber, ARGO, Motional, Tier IV, WeRide, ZOX	Aerospace/Defense, Construction/Mining, Agriculture, Smart City

资料来源：Luminar 官网，华安证券研究所

公司软件性能为激光雷达填充全栈能力。软件解锁了激光雷达的完整功能，提供一站式解决方案，为 OEM 企业的商业级高速公路自动驾驶汽车生产赋能。感知能力可提供平稳、安全的操作，远距离的识别归类为高速上的规划决策提供更多的时间，OTA 升级则确保始终拥有最新软件特性。

图表48 Luminar 高速公路产品的全栈能力



资料来源：Luminar 官网，华安证券研究所

4.8 Innovusion

Innovusion 是一家 300 线激光雷达高新企业，总部位于美国硅谷，产品运用在自动驾驶、车路协同、城市轨道交通、智慧高速、高精地图等多个领域。目前国内已有多家主机厂测试激光雷达产品，计划作为平台化标准产品，应用于 L3 及以上的智能驾驶车型。因为产品技术的先进性和成本的可控性，国内已有多家车联网、高精地图、轨道交通、智慧高速等行业龙头企业正积极寻求与公司合作。2021 年 1 月 12 日，公司联手均胜电子，为蔚来汽车发布的首款轿车 ET7 提供超远距离高精度激光雷达。

图表49 Innovusion 高清激光雷达用于智慧高速场景



资料来源：Innovusion 官网，华安证券研究所

图表50 蔚来 ET7 搭载的 Innovusion 激光雷达



资料来源：搜狐网，华安证券研究所

5 风险提示

- 1) 智能汽车渗透率不及预期；
- 2) 自动驾驶渗透率不及预期；
- 3) 激光雷达技术突破和量产成本不及预期；
- 4) 疫情影响商务活动，导致产业进展不及预期。

分析师与研究助理简介

分析师：尹沿技，华安证券研究所所长、TMT 首席分析师，2010、2012 年新财富最佳分析师计算机行业第一。

联系人：赵阳，厦门大学硕士，七年产业经验，曾任职于 NI、KEYSIGHT 公司，从事 5G、智能网联汽车相关工作。

联系人：夏瀛韬，复旦大学应用数学本硕，四年金融从业经验，曾任职于内资证券自营、外资证券研究部门。

重要声明

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，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，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安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。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也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。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安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，未经华安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。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起 6 个月内，证券（或行业指数）相对于同期沪深 300 指数的涨跌幅为标准，定义如下：

行业评级体系

- 增持—未来 6 个月的投资收益率领先沪深 300 指数 5%以上；
- 中性—未来 6 个月的投资收益率与沪深 300 指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6 个月的投资收益率落后沪深 300 指数 5%以上；

公司评级体系

- 买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；
- 增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
- 中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至；
- 卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
- 无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。市场基准指数为沪深 300 指数。