

电子

激光雷达深度报告

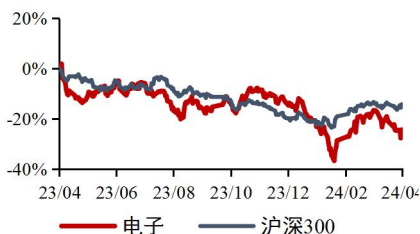
领先大市-A(维持)

产业化加速，国产供应链迎来投资机遇

2024年4月18日

行业研究/行业深度分析

电子板块近一年市场表现



资料来源：最闻

首选股票

评级

相关报告：

【山证半导体】存储行业深度报告：把握行业周期反转机会，存储产业链国产替代空间大 2024.4.17

【山证电子】山西证券电子行业周跟踪：AI市场竞争加剧，AI PC加速落地，关注联想4月18日科技创新大会 2024.4.15

分析师：

高宇洋

执业登记编码：S0760523050002

邮箱：gaoyuyang@sxzq.com

傅盛盛

执业登记编码：S0760523110003

邮箱：fushengsheng@sxzq.com

投资要点：

➤ **多传感器融合成为自动驾驶主流方案。**智能驾驶感知方案主要分为纯视觉感知和多传感器融合感知两条技术路线。纯视觉方案易受环境影响，且壁垒较高。多传感器融合感知方案中，激光雷达、摄像头、超声波雷达、毫米波雷达等不同传感器的优劣势容易互补，可显著提升自动驾驶系统的可靠性，弥补纯视觉方案的不足。目前激光雷达融合方案已经成为众多车企L3级及以上自动驾驶感知的主要选择。

➤ **2030年全球车用激光雷达市场预计872亿美元规模。**Frost & Sullivan数据显示，中国ADAS渗透率预计从2023年的6.3%增长到2030年的87.9%；美国ADAS渗透率有望从2023年的4.9%上升到2030年的69.9%。ADAS的快速渗透，将推动激光雷达市场规模持续扩大。Frost & Sullivan预计，2026年全球车用激光雷达市场规模有望达到247亿美元，2030年预计增长到872亿美元。

➤ **2023年激光雷达密集上车，产业化加速。**根据禾赛科技公告，其ASP从1Q22的35869元/台大幅下降到了4Q23的6394元/台。成本大幅降低推动激光雷达应用扩大。佐思汽研调研显示，国内车企陆续落地多款激光雷达车型，如蔚来ET5、ET7、ES7、ES8、ES6；理想L9、L8和小鹏P5、G9、G6等；据不完全统计，2023年国内有20款以上新车型搭载激光雷达上市；2024年后，宝马、奔驰、沃尔沃等外资品牌也将加入到激光雷达上车潮中。高工智能汽车研究院统计，2023年中国市场乘用车前装激光雷达合计出货57.09万颗，同比增长341.19%；2024年全年交付有望到150-180万颗，行业正加速成长。

➤ **国内整机和光学厂商具备全球竞争力，发射器、探测器进口替代空间大。**激光雷达产业化的加速，使国产供应链迎来了投资机遇。（1）整机，中国激光雷达企业全球市占率超过七成。（2）光学系统，国内企业在准直镜、分束器、分散片、反光镜等领域具备全球竞争力。（3）发射器，VCSEL占比有望提升，2027年市场规模预计39亿美元，Coherent、Lumentum、Ams-Osram等海外企业较为领先，具备较大的进口替代空间。（4）探测器，APD向SiPM、SPAD演进，Hamamatsu、onsemi、Sony等国外企业占主导地位，激光雷达企业也在推进自研相关芯片。（5）控制模块，国外厂商FPGA领先，整机厂商积极自研主控芯片。

➤ **重点公司关注：整机**，禾赛科技、速腾聚创、图达通等；**发射器**，长光华芯、炬光科技等；**探测器**，奥比中光等；**光学元件**，永新光学、宇瞳光学、蓝特光学、炬光科技、水晶光电、腾景科技、福晶科技等；**电机**，湘油泵、鸣志电器、江苏雷利等；**MEMS微振镜**，英唐智控、赛微电子等。**FPGA**，紫光国微、复旦微电、成都华微、安路科技等。

风险提示：需求波动风险、竞争加剧风险、技术路线变动风险、国际政治贸易风险等。



请务必阅读最后一页股票评级说明和免责声明

1

目录

1. 激光雷达：从传统科研、测绘应用，向自动驾驶延伸.....	5
1.1 一种优秀的测距传感器.....	5
1.2 多技术路线并行，固态和混合固态路线或成为未来主流.....	6
2. 智能驾驶开启激光雷达市场加速成长.....	7
2.1 政策推动自动驾驶商业化落地.....	7
2.2 多传感器融合方案成为主流.....	9
2.3 2030 年全球车用激光雷达市场 872 亿美元规模.....	11
2.4 催化剂：2023 年激光雷达密集上车，产业化加速.....	12
3. 产业链梳理.....	14
3.1 产品拆解：发射模块、扫描模块、接收模块和控制模块四部分构成.....	14
3.2 整机：中国激光雷达企业全球领先.....	14
3.3 发射模块：发射器进口替代潜力大，国内光学产业链具备竞争力.....	16
3.4 接收模块：探测器以海外厂商为主，国产供应链亟待发展.....	19
3.5 扫描模块：国内光学、电机供应链相对成熟.....	20
3.6 控制模块：整机厂商积极自研芯片.....	22
4. 投资建议与风险提示.....	23
4.1 投资建议.....	23
4.2 风险提示.....	24

图表目录

图 1：激光雷达结构.....	5
图 2：激光雷达工作原理.....	5
图 3：驾驶人因素是造成道路交通事故的主要原因.....	8
图 4：假设美国公路 90%汽车变成自动驾驶后效果.....	8
图 5：智能网联汽车发展目标.....	8
图 6：自动驾驶实现系统.....	9
图 7：部分场景比如逆光时会让摄像头“致盲”.....	10



图 8: 特斯拉的纯视觉方案壁垒高.....	10
图 9: 不同传感器可进行互补.....	11
图 10: 纯视觉方案 AMOTA 较融合方案还有差距.....	11
图 11: 激光雷达融合感知方案已经成为众多车企的选择.....	11
图 12: 中国、美国 ADAS 渗透率.....	12
图 13: 全球车载激光雷达市场规模, 亿美元.....	12
图 14: 2022 年以来, LiDAR ASP 下降明显, 元/台.....	13
图 15: 搭载激光雷达的车型价格区间持续下探.....	13
图 16: 2023 年激光雷达密集上车.....	13
图 17: 国内车载激光雷达出货量快速增长, 颗.....	13
图 18: ToF 激光雷达核心模块和零部件.....	14
图 19: 激光雷达整机成本构成.....	14
图 20: 国内企业禾赛科技激光雷达产品性能行业领先.....	15
图 21: 2022 年全球激光雷达市占率.....	15
图 22: 2023 年激光雷达厂商出货量排行榜, 万颗.....	15
图 23: 激光雷达收发模块.....	16
图 24: 激光发射器.....	16
图 25: 2023-2033 年, VCSEL 占比有望提升.....	17
图 26: 2027 年 VCSEL 预计达到 39 亿美元规模.....	17
图 27: 905nm 和 1550nm 激光器比较.....	17
图 28: 近红外光线 NIR (0.75-1.1 μ m) 占比超八成.....	17
图 29: 2022 年 VCSEL 市场份额.....	18
图 30: EEL 产业链.....	18
图 31: 激光雷达的光学系统.....	19
图 32: 激光光束经过分束器 DOE 可以分成 N 束光.....	19
图 33: 禾赛科技的技术演进方向.....	20



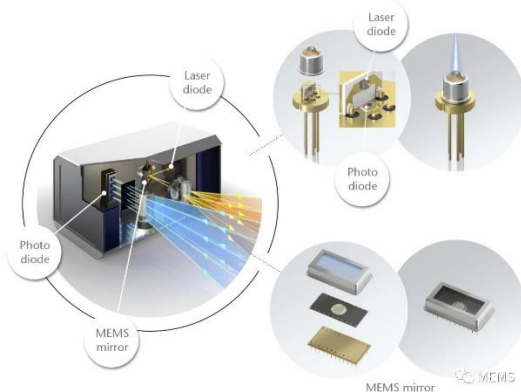
图 34: 2023-2033, SPAD 占比预计大幅提升.....	20
图 35: 混合固态激光雷达是 2023 年主流方案.....	21
图 36: 固态 Flash 激光雷达预计迎来大发展, 2033.....	21
图 37: 转镜激光雷达方案.....	22
图 38: MEMS 振镜激光雷达方案.....	22
图 39: Xilinx、Altera 寡头垄断 FPGA 市场, 2020.....	23
图 40: 蔚来自研的主控芯片“杨戬”.....	23
表 1: 激光雷达应用从科研、地形测绘等场景, 向无人驾驶、机器人等领域延伸.....	6
表 2: ToF 和 FMCW 法的比较.....	6
表 3: 激光雷达按扫描方式分类.....	7
表 4: 不同探测器比较.....	19

1. 激光雷达：从传统科研、测绘应用，向自动驾驶延伸

1.1 一种优秀的测距传感器

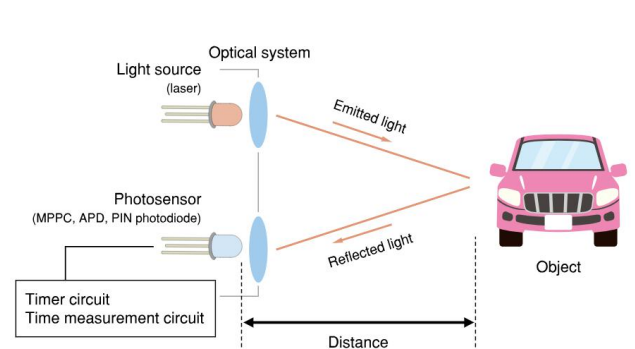
激光雷达（Light Detection And Ranging，简称 LiDAR）是一种利用激光束来计算物体到目标表面距离的传感器。其通过向目标发射激光束，再接收反射回来的信号，测量激光束往返的时间差，计算出目标物体的距离、速度和位置信息。激光雷达探测具备精度高、抗干扰能力强、测量范围广、测量速度快等优势。

图 1：激光雷达结构



资料来源：MEMS 公众号、Schott、山西证券研究所

图 2：激光雷达工作原理



资料来源：滨松中国官网、山西证券研究所

激光雷达应用从科研、地形测绘等场景，向无人驾驶、机器人等领域延伸。1960~1970年，随着激光器的诞生，使用激光进行探测的激光雷达在科研及测绘项目上开始得到应用；1980~1990年，激光雷达商业化技术起步，Sick 与 Hokuyo 等激光雷达厂商推出单线扫描式 2D 激光雷达产品，应用领域扩展到工业探测及早期无人驾驶领域；2000~2010年，高线数激光雷达开始用于无人驾驶的避障和导航，2010年 Ibeo 与法国 Tier 1 公司 Valeo 开始合作开发面向量产车的激光雷达产品 SCALA；2016~2018年，国内激光雷达厂商入局，激光雷达在无人驾驶、高级辅助驾驶、服务机器人等领域开始有商用化项目落地；2019年至今，激光雷达市场发展迅速，在无人驾驶、高级辅助驾驶、服务机器人、车联网等市场加速应用，行业内公司迎来上市潮。

表 1：激光雷达应用从科研、地形测绘等场景，向无人驾驶、机器人等领域延伸

时期	激光雷达行业特点	主要应用领域	标志性事件
1960-1970	激光器发明，基于激光的探测技术开始得到发展。	科研及测绘项目	1971 年阿波罗 15 号载人登月任务使用激光雷达对月球表面进行测绘。
1980-1990	激光雷达商业化技术起步，单线扫描式激光雷达出现。	工业探测及早期无人驾驶项力	Sick 与 Hokuyo 等光雷达厂商推出单线扫描式 2D 激光雷达产品。
2000-2010	高线数激光雷达开始用于无人驾驶的避障和导航，其市场主要是国外厂商。	无人驾驶测试项目等	2010 年 Ibeo 与法国 Tier 1 公司 Valeo 开始合作开发面向量产车的激光雷达产 SCALA。
2016-2018	国内激光雷达厂商入局，技术水平赶超国外厂商。激光雷达技术方案呈现多样化发展趋势。	无人驾驶、高级辅助驾驶、服务机器人等，且下游开始有商用化项目落地	采用新型技术方案的激光雷达公司同样发展迅速，如基于 MEMS 方案的 Innoviz，基于 1550nm 波长方案的 Luminar 等。
2019 年至今	市场发展迅速，应用领域持续拓展。激光雷达技术朝向芯片化、阵列化发展。激光雷达公司迎来上市热潮。	无人驾驶、高级辅助驾驶、服务机器人、车联网等	2020 年 9 月 Velodyne 完成 NASDAQ 上市，2020 年 12 月 Luminar 完成 NASDAQ 上市。2023 年 2 月，禾赛科技美股上市。2024 年 1 月，速腾聚创港交所上市。

资料来源：禾赛科技招股书、山西证券研究所

1.2 多技术路线并行，固态和混合固态路线或成为未来主流

ToF 和 FMCW 技术有望并存。按照测距方法，激光雷达可以分为飞行时间（Time of Flight, ToF）测距法、基于相干探测的调频连续波（Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW）测距法以及三角测距法。其中，ToF 和 FMCW 方法在室外阳光下能够实现 100~250 米的测程，被广泛认为是车载激光雷达的优选方案。目前市场上，ToF 是车载中长距激光雷达的主流方案，随着 FMCW 激光雷达技术的成熟，未来市场上可能会出现 ToF 和 FMCW 激光雷达并存的情况，为自动驾驶技术的发展提供更加全面的解决方案。

表 2：ToF 和 FMCW 法的比较

测距方法	主要特点	优点	缺点
ToF	通过直接测量发射激光与回波信号的时间差，基于光在空气中的传播速度得到目标物的距离信息	技术成熟、成本低、功耗低	测距准确性受限、容易受太阳光子干扰
FMCW	将发射激光的光频进行线性调制，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	抗干扰能力强、测距准确的高、能够直接测量速度	制造成本高、功耗大

资料来源：禾赛科技招股书、3d tof 公众号、山西证券研究所

固态和混合固态激光雷达未来有望成为主流。根据扫描方式的不同，激光雷达可以分为固态激光雷达、混合固态激光雷达、机械式激光雷达。其中，混合固态激光雷达包括转镜式、

色散棱镜式、MEMS，固态式激光雷达包括 Flash、光学相控阵（OPA）式激光雷达。相比机械式激光雷达结构复杂、体积庞大、价格昂贵、在极端的环境中可靠性较低等特点，固态和混合固态激光雷达更可靠、尺寸更小、更经济，更能满足客户对感知性能的需求。根据灼识咨询报告，固态（Flash）和混合固态（转镜式、MEMS）激光雷达预期在许多应用场景中会逐步取代机械式激光雷达，成为未来的主流。

表 3：激光雷达按扫描方式分类

类别	子类	技术原理	优点	缺点	应用场景
机械式激光雷达	机械旋转（一维扫描）	激光发生器垂直布置，通过 360 度物理旋转扫描，全面覆盖周围环境	360 度视场、扫描速度快、精度高、技术成熟	需要复杂的人工调教、制造周期长；可靠性差，难以量产；体积过大；寿命较短。	机器人、智慧城市及 V2X
混合固态激光雷达	转镜式（一维扫描）	发射器发射激光照射镜面，镜面不断旋转完成扫描工作	可靠性高，利于车规级量产；成本低；功耗低；	长期运行后稳定性和准确度下降；探测角度有限；探测距离短。	汽车、机器人、智慧城市及 V2X
	色散棱镜式（二维扫描）	色散棱镜围绕同一轴旋转产生花状扫描图案	点云密度高、探测距离远、可靠性高、利于车规级量产；	单个雷达视场角较小；对电机轴承等部件的可靠性提出了挑战。	汽车、机器人、智慧城市及 V2X
	MEMS（二维扫描）	基于 MEMS 的反射镜将激光反射到不同的角度	运动部件少；体积小；成本低。	探测距离和视场角有限；寿命较短。	汽车、机器人、智慧城市及 V2X
固态激光雷达	Flash（无扫描）	再一时间点发射出激光束来探测整个周边区域	体积小、结构简单、信息量大、技术成熟。	功率密度低；分辨率低；探测距离短。	汽车、机器人
	光学相控阵（OPA）（无扫描）	紧密间隔的光学天线阵列在宽角度范围内辐射相干光	精度高、扫描速度快、可控性好、抗震性能好；体积小。	抗环境干扰性差；光信号覆盖有限；加工难度大；成本较高，处于早期研状态。	汽车

资料来源：速腾聚创招股书、灼识咨询、CAICT《车载激光雷达技术与应用研究报告 2023》、山西证券研究所

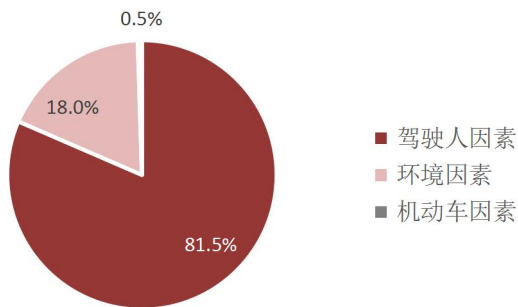
2. 智能驾驶开启激光雷达市场加速成长

2.1 政策推动自动驾驶商业化落地

自动驾驶可以提升驾驶体验和道路交通安全。WHO 数据显示，每年约有 119 万人因道路交通事故而丧生，还有 2000 万至 5000 万人受到非致命伤害，其中许多因此而残疾。道路交通事故造成的损失占大多数国家国内生产总值的 3%。CIDAS 数据库分析显示，约 81.5% 的交通事故由驾驶人因素造成。自动驾驶可以有效减少由于驾驶员疲劳驾驶、酒后驾驶、分神、

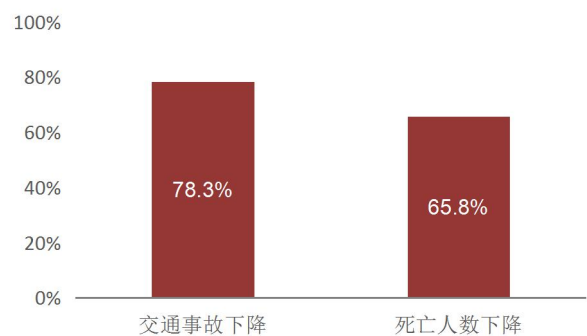
操作不当、情绪影响及不遵守交通规则等人为错误原因引起的道路交通风险。据国外机构 Eno Centre for Transportation 研究显示，如果美国公路上 90% 的汽车变成自动驾驶汽车，每年交通事故数量将从 600 万起降至 130 万起，死亡人数从 3.3 万人降至 1.13 万人。

图 3：驾驶人因素是造成道路交通事故的主要原因



资料来源：《自动驾驶汽车交通安全白皮书》、山西证券研究所

图 4：假设美国公路 90% 汽车变成自动驾驶后效果



资料来源：《自动驾驶汽车交通安全白皮书》、Eno Centre for Transportation、山西证券研究所

政策推动自动驾驶商业化落地。在相关产业政策引领下，自动驾驶市场迎来了蓬勃发展。2020 年 11 月，CAICV 发布《智能网联汽车技术路线图 2.0》，其规划了国内智能驾驶目标，2020-2025 年预计 L2-L3 级汽车销量占比超过 50%，在特定场景和限定区域开展 L4 级车辆商业化应用；2026-2030 年，预计 L2-L3 级汽车销量占比超过 70%，L4 级占比达到 20%。IDC 预测，2024 年中国乘用车市场中满足 L2 级自动驾驶标准的新车占比有望达到 59.8%。

图 5：智能网联汽车发展目标

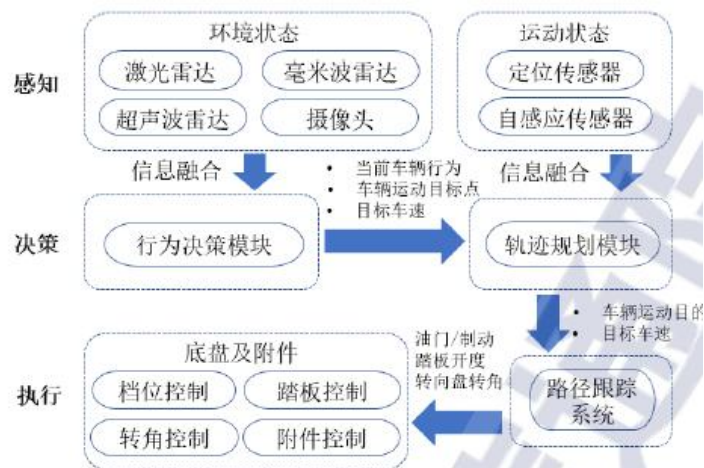


资料来源：CAICV、山西证券研究所

2.2 多传感器融合方案成为主流

感知是自动驾驶先决条件，其探测的精度、广度与速度直接影响自动驾驶的行驶安全。智能驾驶实现系统分为感知层、决策层、执行层。**感知层**，通过感知传感器对环境信息和车辆信息进行采集与处理；**决策层**，对感知信息数据进行处理分析；**执行层**，控制车辆完成动力供给、方向控制等动作，最终实现自动驾驶的目标。**感知层**包括车辆运动感知和环境感知。**车辆运动感知**提供车辆行驶中速度角度及高精度定位等信息，感知传感器包括自感应传感器和定位传感器。**环境感知**提供车辆行驶中交通路况和车身环境等信息，感知传感器包括摄像头、毫米波雷达、超声波雷达和激光雷达等。

图 6：自动驾驶实现系统



资料来源：CAICT《车载激光雷达技术与应用研究报告 2023》、山西证券研究所

智能驾驶感知方案主要分为纯视觉感知和多传感器融合感知两条技术路线。纯视觉感知方案以摄像头为主导感知外界信息，通过单个或多个相机实现对人眼睛的模拟，希望模仿人开车时候的感知过程，特斯拉主要采用纯视觉方案。多传感器融合感知方案是以激光雷达为核心，同时辅以摄像头、超声波雷达、毫米波雷达等多种传感器协同配合来感知外界信息，不同传感器的优劣势可进行互补，国内电动车厂商普遍采用多传感器融合方案。

纯视觉方案有其局限性，且壁垒较高。视觉方案优势在于采集信息相对较全，硬件成本较低。摄像头不仅可以快速识别车道线，还能识别道路中的限速等交通标志、其他车辆和行

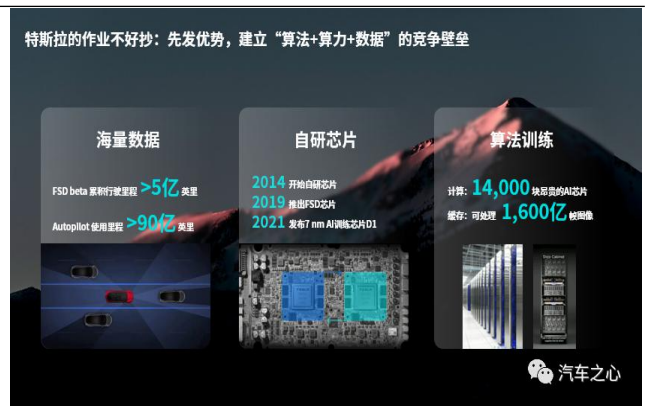
人等。但该方案也有其明显的缺点。一是摄像头感知环境有其局限性，如果遇到会暗光、逆光等影响“视线”的情况，摄像头会像人眼一样看不清从而丢失目标。二是隐性成本高，包括算法、路测、云计算、数据标注、仿真训练和系统软件等都需要巨大成本投入。特斯拉不仅自研 FSD 芯片和自建数据中心，还有海量的数据支撑，自动驾驶系统每天可以接收到车队回传的 1600 亿帧视频数据，支持其神经网络训练，其他厂商很难模仿特斯拉的方案。

图 7：部分场景比如逆光时会让摄像头“致盲”



资料来源：禾赛科技公众号、山西证券研究所

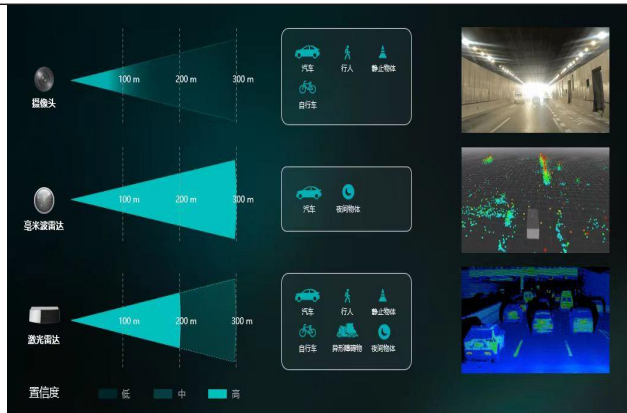
图 8：特斯拉的纯视觉方案壁垒高



资料来源：汽车之心公众号、山西证券研究所

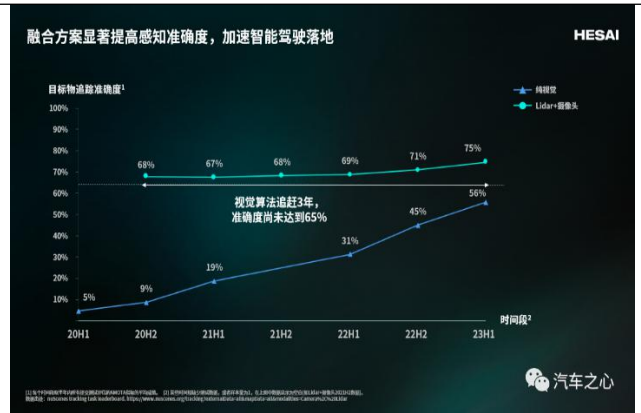
多传感器融合方案成为当前众多车企的选择。车载超声波雷达，成本低，但有效探测距离通常小于 5m，无法对中远距离物体进行测量；毫米波雷达，具有同时测距和测速的功能，有效探测距离可达 200m，然而单颗车载毫米波雷达的角度分辨能力通常较弱。激光雷达，通过主动发射激光光束去确定物体的位置、距离、角度、反射强度、速度等信息，生成目标的三维图像，同时不易受光线影响。多传感器融合感知方案中，激光雷达、摄像头、超声波雷达、毫米波雷达等不同传感器的优劣势可进行互补，可显著提升自动驾驶系统的可靠性，有效弥补纯视觉方案的不足。根据禾赛科技数据，截止 2023H1，纯视觉方案和融合方案（激光雷达+摄像头）对目标物追踪准确度（AMOTA）上仍有较大差距，二者相差接近 20 个百分点（56% VS 75%）。目前激光雷达融合方案已经成为众多车企 L3 级及以上自动驾驶的选择。

图 9：不同传感器可进行互补



资料来源：禾赛科技公众号、山西证券研究所

图 10：纯视觉方案 AMOTA 较融合方案还有差距



资料来源：汽车之心公众号、山西证券研究所

图 11：激光雷达融合感知方案已经成为众多车企的选择



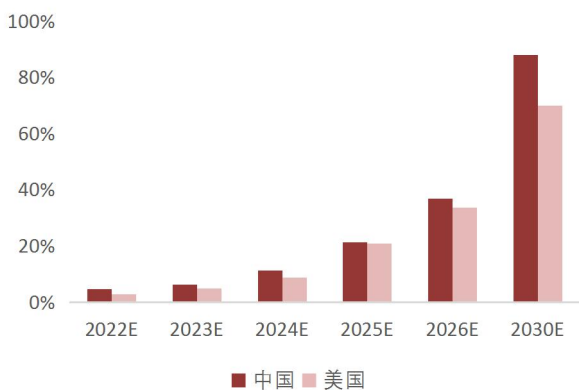
资料来源：CAICT《车载激光雷达技术与应用研究报告 2023》、山西证券研究所

2.3 2030 年全球车用激光雷达市场 872 亿美元规模

自动驾驶汽车渗透率提升推动激光雷达市场规模持续扩大。Frost & Sullivan 数据显示，中国 ADAS 渗透率预计从 2023 年的 6.3% 增长到 2030 年的 87.9%；美国 ADAS 渗透率有望从 2023 年的 4.9% 上升到 2030 年的 69.9%。ADAS 和自动驾驶汽车的快速渗透，预计将提升单车激光雷达搭载数量。中国信通院发布的《车载激光雷达技术与应用研究报告》认为，L3、

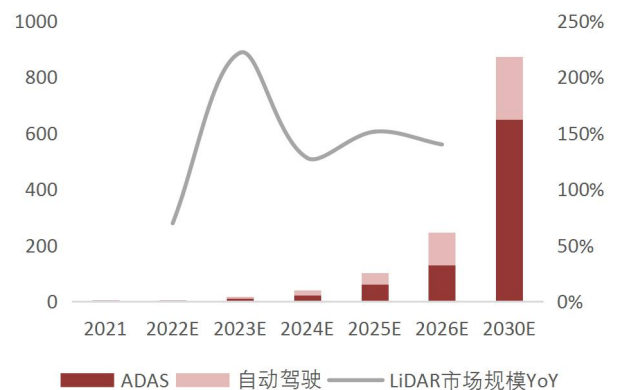
L4 和 L5 级别自动驾驶分别需要平均搭载 1 颗、2-3 颗和 4-6 颗激光雷达。Frost & Sullivan 预计，2026 年全球车用激光雷达市场规模有望达到 247 亿美元，其中，ADAS（L3 以下）预计 129 亿美元规模，自动驾驶（L4、L5）预计 118 亿美元规模。2030 年全球车用激光雷达市场规模有望进一步增长到 872 亿美元，其中 ADAS 649 亿美元，自动驾驶 223 亿美元规模。

图 12：中国、美国 ADAS 渗透率



资料来源：Frost & Sullivan、禾赛科技美股招股书、山西证券研究所

图 13：全球车载激光雷达市场规模，亿美元



资料来源：Frost & Sullivan、禾赛科技美股招股书、山西证券研究所

2.4 催化剂：2023 年激光雷达密集上车，产业化加速

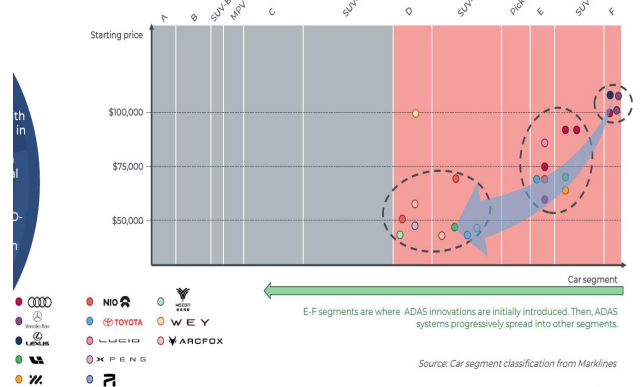
成本大幅降低，激光雷达车型价格区间持续下探。随着产业化推进，激光雷达 ASP 在过去两年大幅下降。根据禾赛科技季报出货量和收入数据分析，其 ASP 从 1Q22 的 35869 元/台大幅下降到了 4Q23 的 6394 元/台。成本的下降推动了越来越多的车企推出搭载激光雷达的车型。搭载激光雷达的车型也从最开始的 10 万美元以上高端车下探到了 5 万美元以下的普通车型。

图 14: 2022 年以来, LiDAR ASP 下降明显, 元/台



资料来源: 禾赛科技官网、Wind、山西证券研究所

图 15: 搭载激光雷达的车型价格区间持续下探



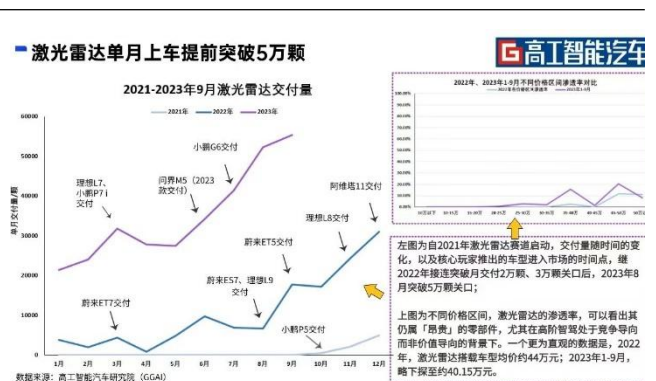
2023 年激光雷达密集上车, 产业化加速。根据佐思汽研调研, 国内车企陆续落地多款激光雷达车型, 如蔚来 ET5、ET7、ES7、ES8、ES6; 理想 L9、L8 和小鹏 P5、G9、G6 等; 据不完全统计, 2023 年国内有 20 款以上新车型搭载激光雷达上市; 2024 年后, 宝马、奔驰、沃尔沃等外资品牌也将加入到激光雷达上车潮中。激光雷达密集上车带动了其出货量的快速增长。高工智能汽车研究院统计, 2023 年中国市场乘用车前装激光雷达合计出货 57.09 万颗, 同比增长 341.19%; 2024 年全年交付有望到 150-180 万颗, 行业正加速成长。

图 16: 2023 年激光雷达密集上车



资料来源: 佐思汽研公众号、《2023 年汽车激光雷达产业研究报告》、山西证券研究所

图 17: 国内车载激光雷达出货量快速增长, 颗

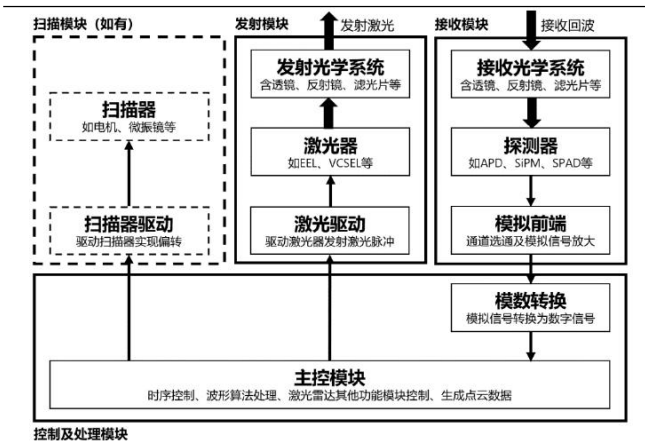


3. 产业链梳理

3.1 产品拆解：发射模块、扫描模块、接收模块和控制模块四部分构成

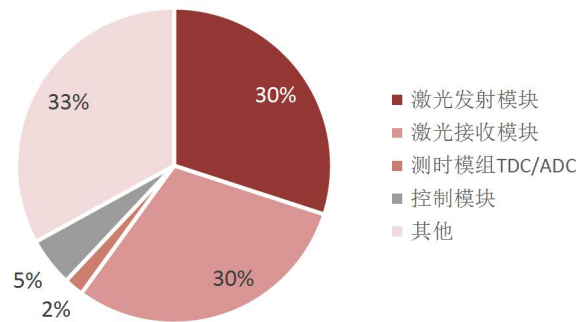
激光雷达产业链主要包括上游零部件、中游整机制造和下游机器人、自动驾驶汽车等应用。激光雷达整机一般由发射模块、扫描模块、接收模块和控制模块四部分组成。中国信通院预计，发射模块、接收模块、测时模块（TDC/ADC）和控制模块，四大光电系统约占激光雷达整机成本的70%。

图 18：ToF 激光雷达核心模块和零部件



资料来源：禾赛科技招股书、山西证券研究所

图 19：激光雷达整机成本构成



资料来源：CAICT《车载激光雷达技术与应用研究报告 2023》、山西证券研究所

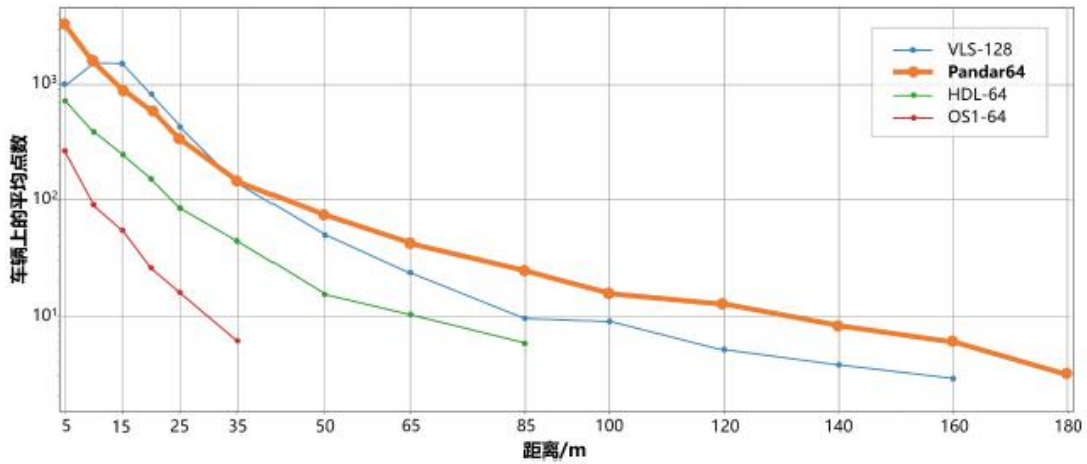
3.2 整机：中国激光雷达企业全球领先

整机领域，中国企业在技术水平和全球市占率方面都保持领先。

中国企业激光雷达产品性能处于第一梯队。2020年7月，日本科学技术振兴机构JST下属的CREST和日本OPERA共同支持的激光雷达测评组发表测评文章，测评中国内激光雷达企业禾赛科技的Pandar64及Pandar40P在实际测远及目标物点云数目、全距离范围精准度、全距离范围内对不同反射率目标的探测一致性、噪点和丢点控制、反射强度分离度等方面表现突出。HDL-64探测距离仅至85m，OS1-64探测距离仅至35m，Pandar64探测距离达180m；

从角分辨率来看，Pandar64 比线数为其两倍的 VLS-128 表现更好。

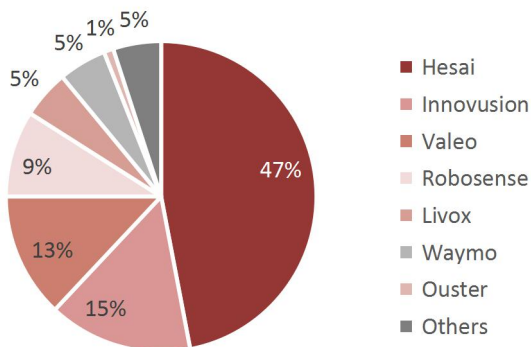
图 20：国内企业禾赛科技激光雷达产品性能行业领先



资料来源：禾赛科技招股书、山西证券研究所

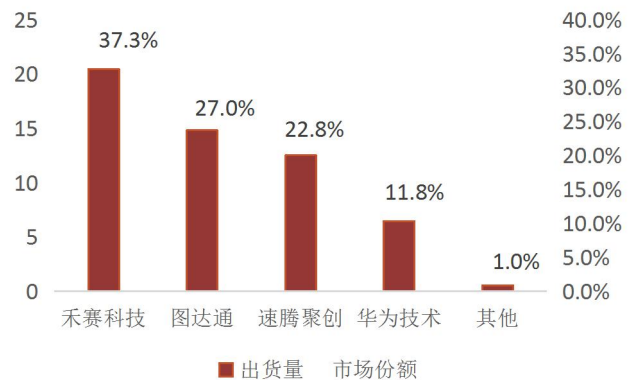
中国激光雷达企业全球市占率超过七成。当前激光雷达市场竞争力较强的厂商主要集中在中国、美国、欧洲。根据 Yole 数据，2022 年禾赛科技以 47% 的市场份额连续两年稳居全球车载激光雷达市占率第一，其在 ADAS 和自动驾驶激光雷达领域均保持了全球领先地位；图达通（Innovusion，现改名为 Seyond）依靠蔚来汽车的持续出货，以 15% 的市场份额夺得第二名；法雷奥（Valeo）、速腾聚创（Robosense）、览沃（Livox）分别以 13%、9%、5% 的市场份额位列三、四、五名。中国激光雷达企业全球市占率合计超过七成。

图 21：2022 年全球激光雷达市占率



资料来源：Yole、禾赛科技公众号、山西证券研究所

图 22：2023 年激光雷达厂商出货量排行榜，万颗

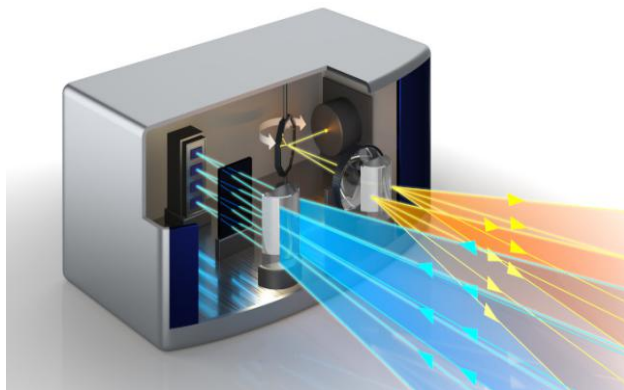


资料来源：盖世汽车社区公众号、山西证券研究所

3.3 发射模块：发射器进口替代潜力大，国内光学产业链具备竞争力

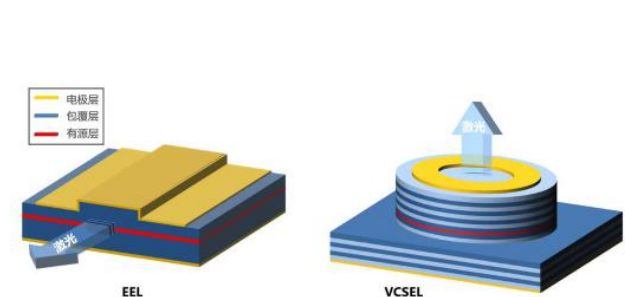
激光发射模块主要包括激光器发射器、光学系统，是激光雷达的核心系统。激光发射器为整个激光雷达提供激光光源。光学系统主要对激光器的输出光束进行准直整形，通过改变光束的发散度、波束宽度和截面积，改善输出光束质量。光学系统一般由准直镜、分束器、扩散片等组成。

图 23：激光雷达收发模块



资料来源：新车新技术 Cartek、山西证券研究所

图 24：激光发射器

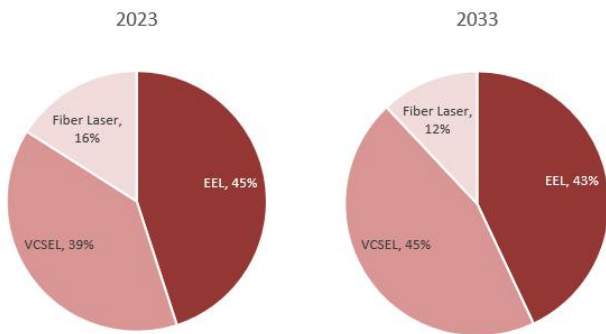


资料来源：禾赛科技招股书、山西证券研究所

激光发射器

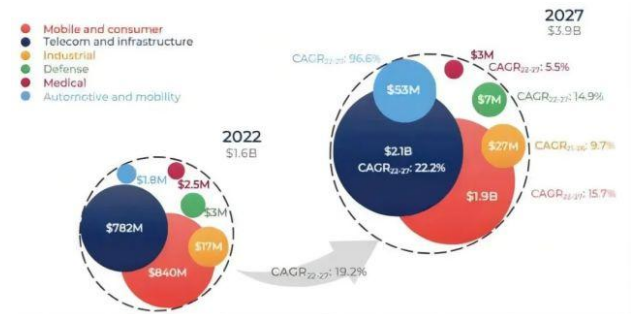
VCSEL 占比有望提升，2027 年市场规模预计 39 亿美元。按结构分，激光发射器可以分为边发射激光器（EEL）和垂直腔面激光器（VCSEL）及光纤激光器。EEL 优势在于输出功率及电光效率较高，缺点是光束质量较差，生产成本相对 VCSEL 较高。VCSEL 优点包括体积小易于集成、易于规模化生产、成本低、可靠性较高等优势，不足之处是输出功率及电光效率较 EEL 低。光纤激光器复杂度较高，在激光雷达领域应用占比较小。近年来国内外厂商陆续推出多层级结高功率 VCSEL，大幅提升了光功率密度，高功率 VCSEL 开始代替部分传统的 EEL 方案。Yole 预计，2033 年，VCSEL 的占比有望从 2023 年的 39%逐步提升到 45%；EEL 则小幅下降到 43%。市场规模方面，2027 年，VCSEL 有望达到 39 亿美元，EEL 预计 74 亿美元。

图 25：2023-2033 年，VCSEL 占比有望提升



资料来源：Yole 《Automotive LIDAR Market: Competitive Dynamics, Technology Evolution, and Revenue Trends》、山西证券研究所

图 26：2027 年 VCSEL 预计达到 39 亿美元规模



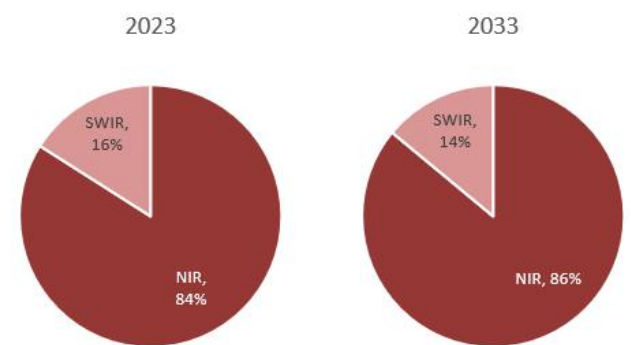
资料来源：Yole、集微网、山西证券研究所

905nm 光源预计仍将占主导地位。激光器波长选择主要兼顾性能和对人眼安全性，目前主流的激光雷达主要有 905nm 和 1550nm 两种波长。**905nm** 优势是基于 GaAs 材料体系，产业成熟，成本低；缺点是发射功率受到对人眼安全性限制，探测距离较短。**1550nm** 优点是对视网膜更加友好，可以发射更大功率，探测距离可以做到更远；不足是其无法采用常规的硅吸收，而需要更加昂贵的铟镓砷（InGaAs）材质，成本更高。不过随着 905nm 技术持续升级（禾赛发布了 905nm 的舱内激光雷达 ET25，探测距离为 250 米@10%，与 1550nm 相当），1550nm 成本偏高，预计未来 905nm 激光器预计仍将占主导地位。Yole 数据显示，2033 年 NIR（0.75-1.1 μ m，主要是 905nm 和 940nm）占比预计从 2023 年的 84% 提升到 86%。

图 27：905nm 和 1550nm 激光器比较

参数	905nm	1550nm
可靠性	高	高
技术成熟度	高	高
传感器	硅基	InP/InGaAsP
所需光源	半导体激光器	光纤激光器
成本	低	高
优势	零部件可批量采购，成本低	安全性更高，受日光、大气散射干扰较少
劣势	波长较短，光子能量高，对人眼伤害大；难以穿透大气	所需光线激光器、探测器成本居高不下

图 28：近红外光线 NIR（0.75-1.1 μ m）占比超八成

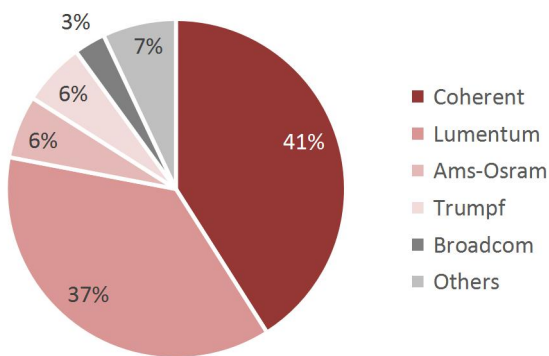


资料来源：佐思汽研公众号、《2023年激光雷达核心部件产业研究报告》、山西证券研究所

资料来源：Yole《Automotive LIDAR Market: Competitive Dynamics, Technology Evolution, and Revenue Trends》、山西证券研究所

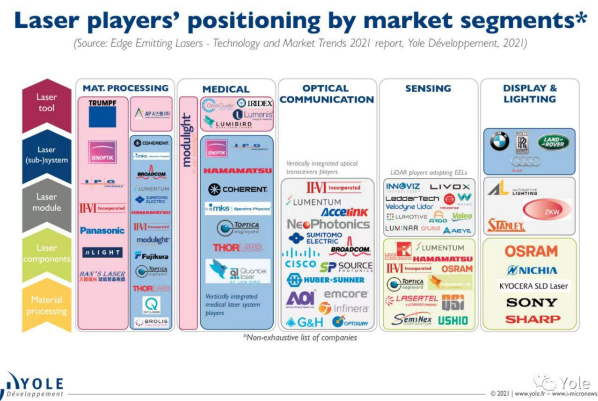
海外企业领先激光发射器市场，进口替代潜力大。VSCSEL 市场参与者主要包括 Coherent（高意）、Lumentum、Ams-Osram、Trumpf 等，其中 Osram（欧司朗）在汽车应用（如激光雷达或车内传感）市场相对领先。EEL 市场领导者主要包括 Coherent（高意）、Lumentum、Ams-Osram、滨松光子、Laser Components 等。国内相关产业链公司包括长光华芯、炬光科技、瑞波光电、纵慧芯光等。

图 29：2022 年 VSCSEL 市场份额



资料来源：Yole 公众号、Yole Intelligence《VCSEL 2023》、山西证券研究所

图 30：EEL 产业链

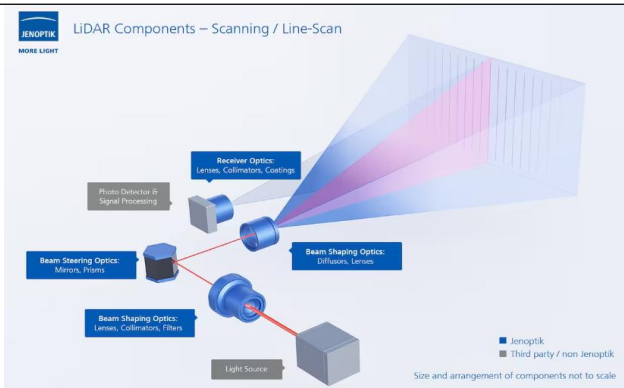


资料来源：Yole 公众号、山西证券研究所

光学系统

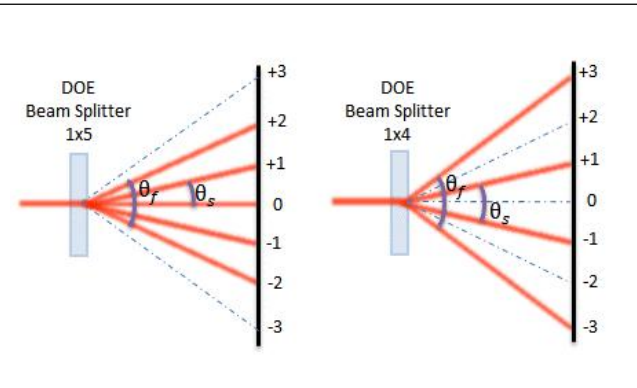
国内光学系统产业链具备竞争力。光学系统一般由准直镜、分束器、扩散片等组成。准直镜，激光器发射的光束并不是平行的直线，存在发散角度大、光斑形状不规则等问题，准直镜可以改变光束的发散度、波束宽度和截面积，从而改善输出光束质量。分束器，又称激光分光镜、分光片，Beam Splitter DOE，分束器功能是把一束入射激光均匀地分成 N 束出射光，出射光的光束直径、发散角和入射激光相同，只是传播方向发生改变。扩散片，又称匀化镜、扩散器或匀化器（DF/HM），Homogenizer，其作用是将入射激光转化成任意形状尺寸、强度均匀的光斑。国内光学系统产业链相对成熟，炬光科技、永新光学、蓝特光学、水晶光电、腾景科技、福晶科技等公司均有相关业务布局。

图 31：激光雷达的光学系统



资料来源：德国林纳官网、山西证券研究所

图 32：激光光束经过分束器 DOE 可以分成 N 束光



资料来源：海纳光学官网、山西证券研究所

3.4 接收模块：探测器以海外厂商为主，国产供应链亟待发展

激光探测器是将光信号转变为电信号的器件。探测器类型主要有 PIN 型光电二极管（PIN）、雪崩光电二极管（APD）、单光子雪崩二极管（SPAD）、硅光电倍增二极管（MPPC/SiPM）。PIN，价格低、结构简单，但因为不具备增益（光电探测器将光信号转换为电子信号后，对电子信号的放大能力），探测光的灵敏度较低。APD，由于“雪崩”效应（即光电流成倍地激增），使其具有高的灵敏度，可以探测微弱的光，在光纤通信、激光测距和其他光电转换数据处理等系统中应用较广。MPPC/SiPM，是由多个工作在盖革模式的 APD 组成的光子计数型器件。SPAD，是由一个能工作在盖革模式下的 APD 构成的光子计数型器件。

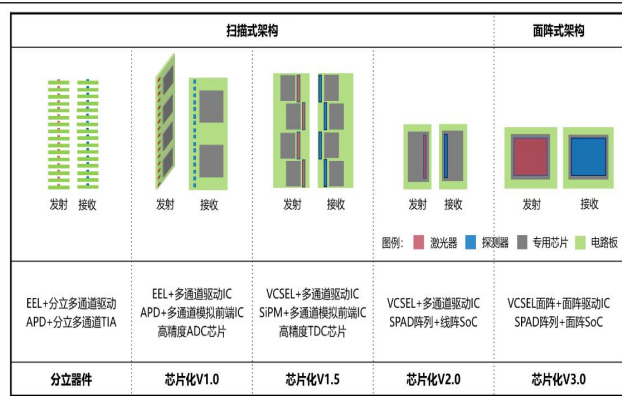
表 4：不同探测器比较

参数	MPPC/SiPM	SPAD	APD	PIN
增益	10^6	10^6	<100	无
探测距离	中远程	中远程	近	近远程
读出电路	简单	复杂	复杂	复杂
成本	系统成本低 检测成本中	系统成本高 检测成本高	系统成本高 检测成本高	系统成本高 检测成本低
光谱范围	可到 950nm	可到 1150nm (Si) 可到 1700nm (InGaAs)	可到 1150nm (Si) 可到 1700nm (InGaAs)	可到 1200nm (Si) 可到 2.6 μm (InGaAs)
速度	中	快	快	快
工作电压	$<80\text{V}$	$>150\text{V}$	$<200\text{V}$	$<10\text{V}$
噪声	高检测噪声 低系统噪声	探测器噪声高	低检测噪声 高系统噪声	低检测噪声 高系统噪声

资料来源：滨松中国公众号、山西证券研究所

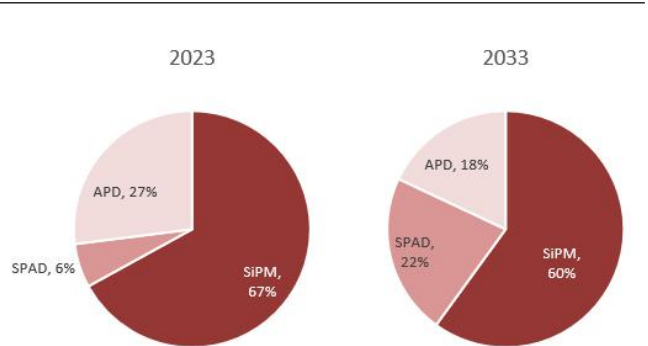
探测器从 APD 向 SiPM、SPAD 演进。SiPM 已经取代 APD 成为激光雷达主流方案。光电增益的提升能够降低电路噪声对系统信噪比的影响，SiPM 可以比 APD 实现更高的能量利用率，使系统探测距离更远。当前，SiPM 探测器已经是市场主流产品，如禾赛 AT128、速腾聚创 M1 Plus、图达通 Robin E 等。相比 MPPC，SPAD 是一个单像素盖革模式的探测器，探测器尺寸较小，更容易实现集成化和高分辨率。对小型化和高分辨率的追求，加上技术的逐步成熟，使得越来越多的厂商推出 SPAD 激光雷达，如禾赛 AT512 和 FT120、速腾聚创 E1 等。

图 33：禾赛科技的技术演进方向



资料来源：禾赛科技招股书、山西证券研究所

图 34：2023-2033，SPAD 占比预计大幅提升



资料来源：Yole 《Automotive LIDAR Market: Competitive Dynamics, Technology Evolution, and Revenue Trends》、山西证券研究所

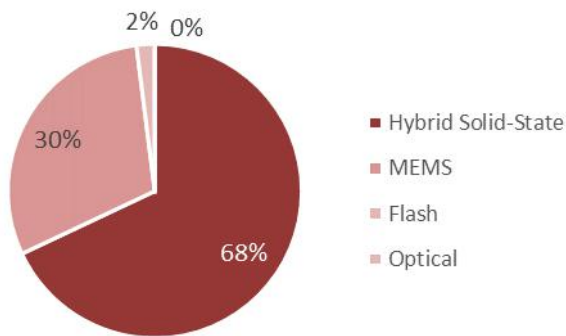
探测器行业主要企业包括国外的 First Sensor、Hamamatsu（滨松）、onsemi（安森美）、Sony（索尼）等；国内的深圳阜时科技有限公司、成都量芯集成科技有限公司、深圳市灵明光子科技有限公司、南京芯视界微电子科技有限公司、奥比中光等。此外禾赛科技、速腾聚创等整机企业也在推进自研相关芯片。

3.5 扫描模块：国内光学、电机供应链相对成熟

混合固态是主流，Flash 占比有望提升。根据扫描方式的不同，激光雷达可以分为固态激光雷达、混合固态激光雷达、机械式激光雷达。其中，机械激光雷达因为结构复杂、可靠性较差、寿命低于车规要求，当前用于车载领域较少。混合固态（转镜式、MEMS 振镜）较为

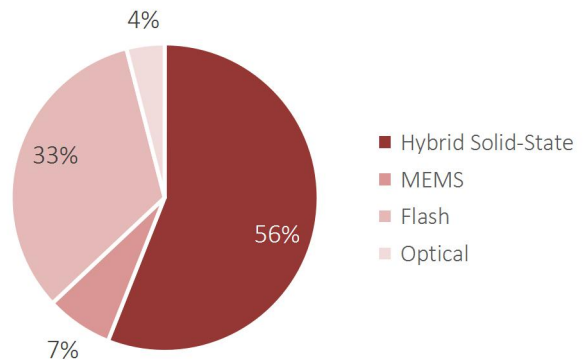
成熟，是当前和未来车载激光雷达主流方案。固态 Flash 方案（无扫描模块）逐步产业化，在车载领域占比持续提升。OPA 方案对材料和工艺的要求都极为苛刻，由于技术难度高，尚未实现产业化。Yole 预计，混合固态激光雷达（主要是转镜式）占比预计从 2023 年的 68% 下降到 2033 年的 56%；MEMS 方案从 2023 年的 30% 下降到 2033 年的 7%；固态 Flash 方案迎来大发展，从 2023 年的 2%，大幅提升到 2033 年的 33%。

图 35：混合固态激光雷达是 2023 年主流方案



资料来源：Yole 《Automotive LIDAR Market: Competitive Dynamics, Technology Evolution, and Revenue Trends》、山西证券研究所

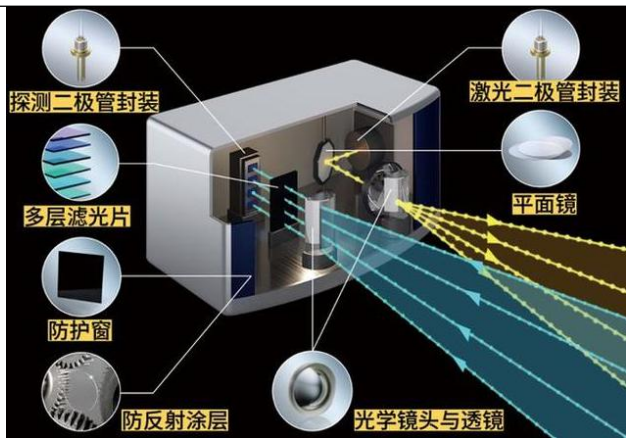
图 36：固态 Flash 激光雷达预计迎来大发展，2033



资料来源：Yole 《Automotive LIDAR Market: Competitive Dynamics, Technology Evolution, and Revenue Trends》、山西证券研究所

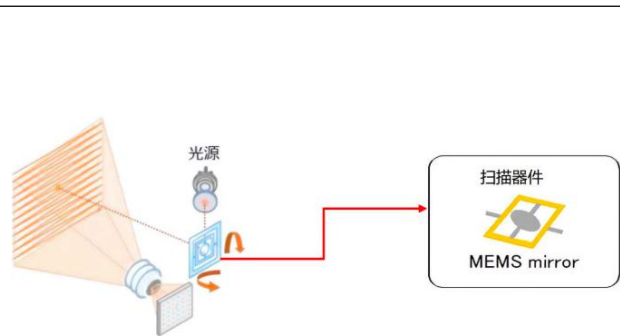
国内光学、电机供应链相对成熟。转镜式激光雷达，收发模块保持不动，发射器发射激光照射镜面，电机带动反射镜面围绕圆心不断旋转，使光束反射至空间的一定范围，从而实现扫描。棱镜式激光雷达，包括两个楔形棱镜，激光通过第一个棱镜后发生偏转，通过第二个棱镜后再一次发生偏转，通过控制两面棱镜的相对转速实现激光束的扫描形态。MEMS 微振镜方案，在芯片上集成微振镜，通过芯片控制镜面往复运动，将激光管反射到不同的角度完成扫描。国内相关产业链相对成熟，转镜式激光雷达电机厂商包括湘油泵、鸣志电器、江苏雷利等；反射镜厂商，永新光学、宇瞳光学、富兰光学等。MEMS 微振镜厂商包括海外 ST 意法半导体、博世、英飞凌、滨松电子，国内英唐智控、赛微电子、中科院苏州纳米所等。

图 37：转镜激光雷达方案



资料来源：有驾网站、山西证券研究所

图 38：MEMS 振镜激光雷达方案



资料来源：英唐智控官网、山西证券研究所

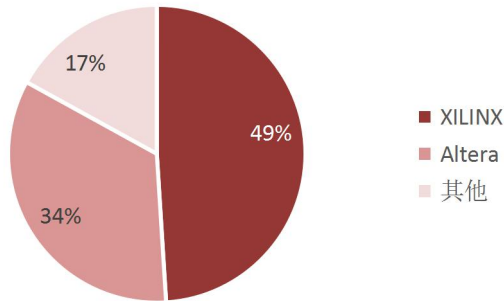
3.6 控制模块：整机厂商积极自研芯片

激光雷达控制模块主要功能包括时序控制、波形算法处理、收发扫描等其他功能模块控制、生成点云数据，主要元件包括主控芯片，模拟前端芯片等。

主控芯片

国外厂商 FPGA 领先，整机厂商积极自研主控芯片。主控芯片主要功能是控制发射系统发射激光、对接收系统获得的信号进行处理等。主控芯片一般采用 FPGA，激光雷达需要进行大量的信号处理、电机时序控制，采用基于可编程的 FPGA，效率会高很多。FPGA 国外主流的供应商有 Xilinx，Altera（被 Intel 收购）等。国内主要有紫光国微、复旦微电、成都华微、安路科技等。此外，目前整机厂商开启了自研芯片趋势，如图达通 falcon 激光雷达搭载了蔚来自研的主控芯片“杨戬”；禾赛科技 2018 年开始就积极研发激光雷达 SoC 芯片，以在未来取代外购的 FPGA 芯片。

图 39: Xilinx、Altera 寡头垄断 FPGA 市场，2020



资料来源：成都华微招股书、山西证券研究所

图 40: 蔚来自研的主控芯片“杨戬”



资料来源：蔚来官网、山西证券研究所

模拟前端、模数转换芯片

模拟前端、模数转换芯片的自研化与集成化趋势。模拟前端芯片，主要功能是对探测器输出的电流信号进行放大和转换（电流转电压），主要通过跨阻放大器（TIA）实现。模数转换芯片，主要功能是将模拟信号转换成数字信号，便于核心处理器进行处理及运行后续的算法，主要通过 ADC 实现。随着信号通路的增加，传统分立器件构建的系统已难以满足指标，越来越多的厂商开始自研相关芯片。禾赛科技已经开发了多通道驱动芯片以及多通道模拟前端芯片。主控芯片目前逐步向企业自研 SoC 方向发展，未来也有望实现 TIA、ADC 等芯片集成到 SoC 中。

4. 投资建议与风险提示

4.1 投资建议

整机，建议关注禾赛科技、速腾聚创、图达通等；

发射器，建议关注长光华芯、炬光科技等；

探测器，建议关注奥比中光等；

光学元件，建议关注永新光学、宇瞳光学、蓝特光学、炬光科技、水晶光电、腾景科技、福晶科技等；

电机，建议关注湘油泵、鸣志电器、江苏雷利等；

MEMS 微振镜，建议关注英唐智控、赛微电子等；

FPGA，建议关注紫光国微、复旦微电、成都华微、安路科技等。

4.2 风险提示

市场需求波动的风险

激光雷达行业市场处于起步阶段，尽管无人驾驶领域已开始应用，但无人驾驶车队的运营和发展情况及 ADAS、机器人、V2X 等领域对激光雷达的市场需求的发展速度若不及预期，则可能导致激光雷达的需求出现下滑。由于激光雷达行业应用的许多市场都是新兴且发展迅速的，因此很难准确预测长期下游客户的采用率和对激光雷达产品的需求。

行业竞争加剧风险

面对激光雷达良好的市场前景，目前国内外从事激光雷达的企业较多。若相关公司不能持续提升核心竞争能力，将可能会在未来的市场竞争中处于不利地位，面临市场竞争加剧导致市场占有率下降的风险。

产品技术路线的风险

根据测距方法的差异，激光雷达主要分为飞行时间测距法、相干测距法以及三角测距法；根据技术架构的差异，激光雷达主要分为机械式激光雷达、半固态式激光雷达以及固态式激光雷达。如果下游产业市场对激光雷达需求的技术路线与相关公司选择的技术路线产生重大不同，将对相关产品产品的下游市场需求带来一定的不利影响；同时，如果相关公司未能及时、有效开发推出与未来主流技术路线相适应的新产品，将对相关公司的竞争优势与盈利能力产生不利影响。

国际政治及贸易政策变化的风险

国内激光雷达产业链公司基本都有部分出口业务，若未来贸易摩擦进一步扩大化，可能导致相关公司与相关境外客户的合作减少甚至中断，将可能对相关公司的经营成果产生不利影响。若未来美国或其他国家进一步提高对激光雷达产业链相关产品征收的关税税率（美国现行税率是 25%），则可能导致部分公司自身竞争力或盈利水平有所下降。此外，目前国内整机厂商的激光发射器和探测器仍依赖海外供应链，若未来国际政治及贸易政策出现恶化，相关公司有可能面临不分原材料供应中断风险。

分析师承诺：

本人已在中国证券业协会登记为证券分析师，本人承诺，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本人对证券研究报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规，研究方法专业审慎，分析结论具有合理依据。本报告清晰准确地反映本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接接受任何形式的补偿。本人承诺不利用自己的身份、地位或执业过程中所掌握的信息为自己或他人谋取私利。

投资评级的说明：

以报告发布日后的 6--12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。

无评级：因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见的结果的重大不确定事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。（新股覆盖、新三板覆盖报告及转债报告默认无评级）

评级体系：

——公司评级

- 买入： 预计涨幅领先相对基准指数 15%以上；
- 增持： 预计涨幅领先相对基准指数介于 5%-15%之间；
- 中性： 预计涨幅领先相对基准指数介于-5%-5%之间；
- 减持： 预计涨幅落后相对基准指数介于-5%- -15%之间；
- 卖出： 预计涨幅落后相对基准指数-15%以上。

——行业评级

- 领先大市： 预计涨幅超越相对基准指数 10%以上；
- 同步大市： 预计涨幅相对基准指数介于-10%-10%之间；
- 落后大市： 预计涨幅落后相对基准指数-10%以上。

——风险评级

- A： 预计波动率小于等于相对基准指数；
- B： 预计波动率大于相对基准指数。

免责声明：

山西证券股份有限公司(以下简称“公司”)具备证券投资咨询业务资格。本报告是基于公司认为可靠的已公开信息，但公司不保证该等信息的准确性和完整性。入市有风险，投资需谨慎。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，公司不对任何人因使用本报告中的任何内容引致的损失负任何责任。本报告所载的资料、意见及推测仅反映发布当日的判断。在不同时期，公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。公司或其关联机构在法律许可的情况下可能持有或交易本报告中提到的上市公司发行的证券或投资标的，还可能为或争取为这些公司提供投资银行或财务顾问服务。客户应当考虑到公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。公司在知晓范围内履行披露义务。本报告版权归公司所有。公司对本报告保留一切权利。未经公司事先书面授权，本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，或以任何侵犯公司版权的其他方式使用。否则，公司将保留随时追究其法律责任的权利。

依据《发布证券研究报告执业规范》规定特此声明，禁止公司员工将公司证券研究报告私自提供给未经公司授权的任何媒体或机构；禁止任何媒体或机构未经授权私自刊载或转发公司证券研究报告。刊载或转发公司证券研究报告的授权必须通过签署协议约定，且明确由被授权机构承担相关刊载或者转发责任。

依据《发布证券研究报告执业规范》规定特此提示公司证券研究业务客户不得将公司证券研究报告转发给他人，提示公司证券研究业务客户及公众投资者慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

依据《证券期货经营机构及其工作人员廉洁从业规定》和《证券经营机构及其工作人员廉洁从业实施细则》规定特此告知公司证券研究业务客户遵守廉洁从业规定。

山西证券研究所：

上海

上海市浦东新区滨江大道 5159 号陆家嘴滨江中心 N5 座 3 楼

太原

太原市府西街 69 号国贸中心 A 座 28 层
电话：0351-8686981
<http://www.i618.com.cn>

深圳

广东省深圳市福田区林创路新一代产业园 5 栋 17 层

北京

北京市丰台区金泽西路 2 号院 1 号楼丽泽平安金融中心 A 座 25 层

