

智能驾驶专题系列之一：

高阶智驾呼之欲出 激光雷达投资价值凸显

投资要点

- ◆ **市场概括：激光雷达 3D 感知性能优越，应用市场广阔。**激光雷达是利用激光实现 3D 感知的现代光学遥感技术，具备主动探测、高分辨率和强抗干扰的特性，通过线扫描和点阵扫描的方式可以实现三维感知，配合全球定位系统及惯性导航系统更能实现高精度定位，因而被广泛应用于工业测量、环境测绘及智能驾驶当中。
- ◆ **产业阶段：高阶智能驾驶呼之欲出，激光雷达蓝海开启。**智能驾驶多传感器融合成趋势，L3+阶段激光雷达能增强驾驶系统的可靠性、冗余性，并且借助差异化竞争优势，有望成为除特斯拉外的造车新势力实现弯道超车的有效手段。2021 年，车企已普遍规划从 L2 向 L3 级别智能驾驶进阶路径，2022 年多个激光雷达厂商已经规模量产并迎来装车小高潮。我们根据激光雷达出货量数据，测算 2025 年全球车载激光雷达市场规模将达到约 70.3 亿美元，到 2027 年更是有望达到 129.7 亿美元。
- ◆ **产业趋势：技术驱动阶段，降本和量产是最终目的。**当前激光雷达技术尚未收敛，路线百花齐放。我们认为“车规”是短期要义，是激光雷达从 0 到 1 阶段的前提，在 2025 年之前成熟度高的 905nm 波长、ToF 测距方式的转镜/MEMS 方案是技术主流；“降本”是中长期考量，是激光雷达从 1 到 N 阶段的关键，2025 年将会是 L3 级别智能驾驶汽车大规模量产应用的时间节点，激光雷达价格有望降至 500 美元左右，届时 1550nm 波长、FMCW 测距方式的固态激光雷达方案将成为最终发展趋势。
- ◆ **产业格局：产业链日益成熟，国内厂商初露锋芒。**激光雷达上游环节较多，收发部件国内已有布局，国产化替代可期；信息处理单元由海外垄断，国产差距较大；光学部件技术成熟叠加成本优势，率先迎来发展机遇。中游整机厂竞争激烈，参与方可分为两大类：一类是从机械式向半固态方案过渡的厂商，以 Velodyne、禾赛科技、速腾聚创为典型代表；另一类是直接锁定半固态或纯固态的厂商，半固态的有 Valeo、Innoviz、Innovusion、Luminar、华为、镭神智能、大疆 Livox，全固态的有 Ouster、Ibeo、大陆、Quanergy。海外企业先行，已有 8 家知名激光雷达公司分别通过 SPAC 合并上市，国内厂商快速崛起，在车载激光雷达市场占据一定份额。目前激光雷达主机厂与 OEM 和 Tier1 高度捆绑，产业链生态成为竞争关键。
- ◆ **投资建议：**激光雷达作为 L3 级别智能驾驶的关键传感器，是汽车智能化弹性较大的赛道，根据当前车厂车型规划和激光雷达厂商进展情况，我们认为激光雷达行业具备了量产基础并有望在 2022-2023 年迎来向上拐点，行业现阶段的关注在于禾赛科技、速腾聚创、大疆 Livox、华为、Innovusion 等半固态厂商的订单定点及实际交付情况。投资方面，产业快速成长期，上游确定性高，建议关注：1、已经涉足激光发射器、光电探测器领域并有所突破的公司，相关标的有炬光科技、长光华芯；2、光学部件方面，国内供应链价值量占比不低且技术水平成熟，有望借激光雷达之东风率先收益，相关标的有腾景科技、永新光学、水晶光电、福晶科技。
- ◆ **风险提示：**智能驾驶推进节奏不及预期、激光雷达技术路线不确定、激光雷达需求/价格/规模测算不及预期等。

作者

朱琳 分析师
资格证书：S0380521120001
联系邮箱：zhulin@wanhesec.com
联系电话：(0755)82830333-121

潘子栋 分析师
资格证书：S0380521080001
联系邮箱：panzd@wanhesec.com
联系电话：(0755)82830333-118

相关报告

《行业月报-缺芯整体缓解，行业步入周期底部阶段》 2022-08-03
《行业投资策略-逆风承压，寻找结构性机会》 2022-07-08
《行业月报-手机订单消减，看好功率半导体赛道》 2022-05-31
《公司快评-超级结 MOSFET 龙头，成长性与确定性兼备》 2022-05-20



请阅读正文之后的信息披露和重要声明

找报告，上“数据理理”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群 (13462421224) 同步分享更新

正文目录

一、 产业概括：激光雷达 3D 感知性能优越，应用市场广阔	4
（一） 激光雷达：利用激光实现 3D 感知	4
（二） 发展历程：测绘起步，车载普及	5
（三） 下游应用：领域广泛，车载前景可观	6
二、 产业阶段：高阶智能驾驶呼之欲出，激光雷达蓝海开启	7
（一） 技术阶段：智能驾驶需求逐级递进，激光雷达必要性显现	7
（二） 时间节点：2022 年激光雷达迎来规模量产元年	10
（三） 市场空间：车载激光雷达市场有望达到百亿级别	12
三、 产业趋势：技术尚未收敛，车规和成本决定发展	13
（一） 技术路径：技术尚未收敛，路线百花齐放	13
（二） 上车节奏：车规是第一要义，优先选择成熟度高的转镜/MEMS 方案	20
（三） 量产要素：成本限制大范围推广，中长期 Flash/OPA 成发展趋势	24
四、 产业格局：产业链日益成熟，国内厂商初露锋芒	26
（一） 上游：海外厂商耕耘已久，收发模块国产化可期	27
（二） 整机厂：百家争鸣，产业链协同铸就竞争力	30
五、 投资建议	32
六、 风险提示	32

图表目录

图 1 激光雷达系统构成及原理示例	4
图 2 激光雷达测距、测速、测角	5
图 3 激光雷达配合全球定位系统、惯性导航系统精准定位	5
图 4 激光雷达发展历程	6
图 5 激光雷达下游应用领域	7
图 6 2019-2026E 激光雷达下游应用及规模占比预测	7
图 7 汽车传感器在各 SAE 等级中的应用	8
图 8 汽车智能传感器雷达图对比	9
图 9 智能驾驶感知技术路径	10
图 10 汽车主机厂智能驾驶级别规划路线	11
图 11 激光雷达上车取决于性能、可靠性和成本	13
图 12 激光的波长与人眼安全	15
图 13 机械式激光雷达内部组件	18
图 14 速腾聚创机械式激光雷达	18
图 15 转镜式激光雷达拆解图例	18
图 16 奥迪 A8 搭载的法雷奥四线转镜式激光雷达 SCALA1	18
图 17 棱镜激光雷达原理	19
图 18 大疆 Livox 激光雷达	19
图 19 MEMS 激光雷达原理	19
图 20 MEMS 微镜图例	19
图 21 OPA 激光雷达原理	20
图 22 Quanergy S3 固态激光雷达传感器	20
图 23 Flash 激光雷达原理	20
图 24 ibeoNEXT 使用 Flash 原理的激光雷达	20
图 25 汽车产业链新的元器件导入项目流程	22
图 26 Velodyne 和 Luminar 量产周期范例	22
图 27 激光雷达技术路线 2017-2025	24
图 28 激光雷达降价趋势	25
图 29 激光雷达产品结构集成化降价趋势	26
图 30 激光雷达技术路线 2025-2030	26
图 31 激光雷达产业链	27
图 32 2019 年全球 VCSEL 市场竞争格局	28

图 33	2021 年全球 Si-APD 市场竞争格局.....	28
图 34	2021 年全球 FPGA 芯片市场格局.....	29
图 35	2021 年全球模拟芯片市场格局.....	29
图 36	舜宇光学科技激光雷达镜头产品.....	30
图 37	福晶科技晶体元件产品.....	30
图 38	2021 年车载激光雷达市场份额（按公司）.....	31
图 39	2021 年车载激光雷达市场份额（按技术）.....	31
表 1	各类传感器优劣对比.....	9
表 2	造车新势力主要车型示例.....	11
表 3	全球车载激光雷达市场规模测算（按激光雷达产品出货量）.....	12
表 4	激光雷达性能参数.....	13
表 5	测距方式.....	14
表 6	主流激光器对比.....	16
表 7	主流探测器对比.....	17
表 8	光电探测器性能比较.....	17
表 9	满足车规级量产条件.....	21
表 10	激光雷达主要车规认证相关标准.....	21
表 11	速腾聚创从 Demo 到 SOP 各阶段测试内容示范.....	23
表 12	主要半固态激光雷达交付进度.....	24
表 13	主要半固态/固态激光雷达交付进度.....	26
表 14	主要激光器和光电探测器供应商.....	28
表 15	主要激光器和光电探测器供应商.....	30
表 16	激光雷达海外公司上市情况汇总.....	31
表 17	主机厂与 OEM 和 Tier1 高度捆绑.....	31

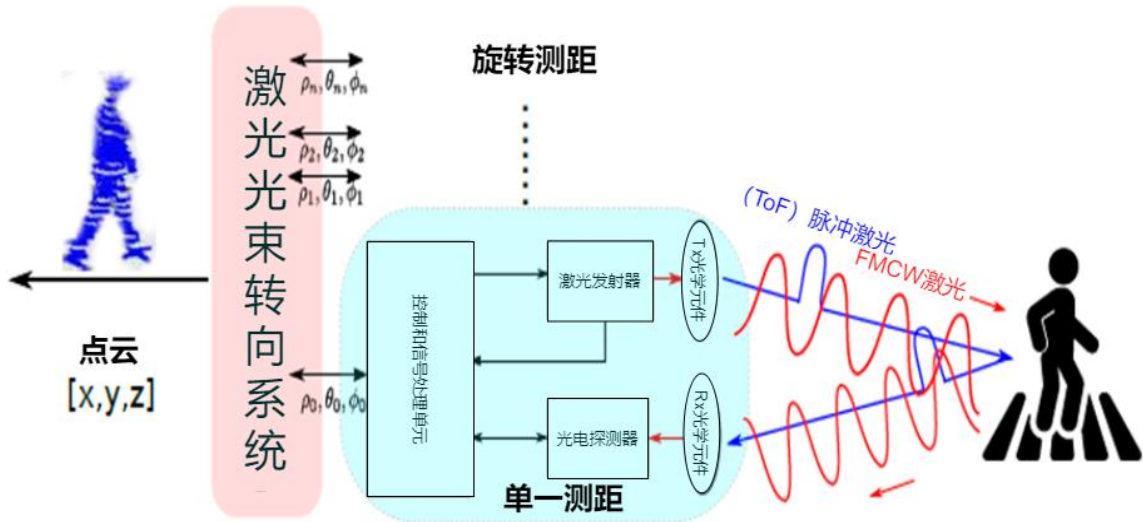
一、产业概括：激光雷达 3D 感知性能优越，应用市场广阔

（一）激光雷达：利用激光实现 3D 感知

激光雷达（Lidar）是利用激光实现 3D 感知的现代光学遥感技术。激光雷达的工作原理类似蝙蝠的回声定位，只不过以激光脉冲代替声波作为信号，通过向探测目标发射携带振幅、频率、相位等信息的激光束，分析、处理反射光束的时间差和相位差等信息，测算出目标的方位信息。

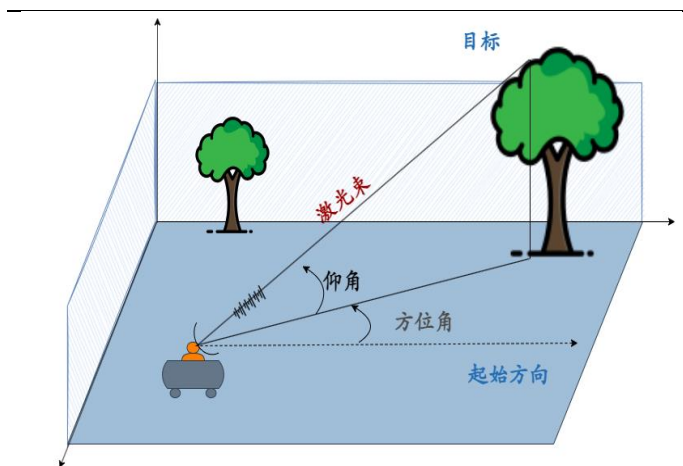
- ◆ **构成：**包含测距系统、扫描系统和控制系统三部分。1、**测距系统**，由激光发射器、光电探测器和光学元件组成，其中激光发射器负责向目标物发射调制后的光波，光电探测器负责将经目标物反射回来的光信号处理为电信号，光学元件则用于校准发射的激光光束和聚焦反射回来的光线。2、**扫描系统**，用于控制激光线数在不同方位、垂直角度的转向变化，由点成面从而捕获空间内上百万个稠密且精准的点云数据，形成激光雷达的感知范围。3、**控制系统**，由主控芯片及信息处理单元组成，负责光电信号的控制和点云数据的处理。
- ◆ **特性：**激光具有高亮度性、高方向性、高单色性和高相干性的特点，因此利用激光进行感测的激光雷达相较于摄像头、毫米波雷达等环境监测传感器具有一系列独特的优点。1、**主动探测**，能够自主提供光源，不依赖于外界光照条件，直接获取目标的距离、角度、反射强度、速度等信息；2、**高分辨率**，工作于光学波段，频率比微波高 2~3 个数量级以上，因此具有极高的距离分辨率、角分辨率和速度分辨率；3、**强抗干扰**，激光束发散角小、波长短、多路径效应小。
- ◆ **功能：**空间中的任何一点都可由距离、方位角和仰角三个坐标确认，根据激光雷达的工作原理，可以准确的对目标物测距、测速、测角，由此形成激光雷达的主要功能。1、**三维立体成像**。在单点激光测距的基础上，通过线扫描和点阵扫描的方式，激光雷达每秒可捕获目标物在空间内上百万个稠密且精准的点云数据，继而得到目标动态的距离-角度-角度图像，又称为三维图像；2、**高精度定位**。激光雷达配合全球定位系统（GNSS）及惯性导航系统（INS），可以将点云方位数据（ ρ 、 θ 、 ϕ ）处理成高度精确的地理配准（ x 、 y 、 z ）坐标，继而实现全局的高精度定位。

图 1 激光雷达系统构成及原理示例



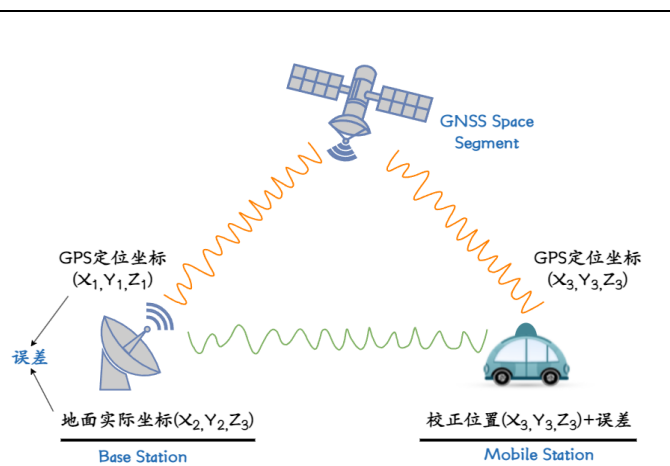
资料来源：You Li, Javier Ibanez-Guzman, Lidar for Autonomous The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems, 万和证券研究所

图2 激光雷达测距、测速、测角



资料来源：汽车学堂，万和证券研究所绘制

图3 激光雷达配合全球定位系统、惯性导航系统精准定位



资料来源：汽车学堂，万和证券研究所绘制

（二）发展历程：测绘起步，车载普及

激光雷达行业积累近 60 年，在功能上从测距发展到测角、测速，在设计上从单点发展到平面、3D，在应用上从军用延伸至商用、民用，具体来看主要历经以下四个阶段：

- ◆ **航天与军事领域科研阶段（1960 年代~1970 年代）：**世界上第一台激光发生器诞生于 1960 年，此后不久基于激光的探测技术开始得到发展。最早且最简单的激光雷达就是激光测距仪，由美国宇航局和美国军方开发，用于月球测距；此后又扩展到研究用于对洲际导弹等其他飞行器的瞄准和跟踪的激光雷达，1964 年研制出用于导弹初始跟踪测量的激光雷达，同时测角、测距、测速，是世界上第一部完整而实用的激光雷达。
- ◆ **工业与商业测绘应用崛起（1980 年代~1990 年代）：**激光雷达商业化技术起步，二极管系统提高了激光雷达的紧凑性、单线数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、GPS 民用技术精度达到了厘米的量级促进了激光雷达测量技术与定位系统结合。这期间 RIEGL 及 FARO（法如）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（西克）及 Hokuyo（北洋）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。
- ◆ **无人驾驶领域初步探索（2000 年代~2010 年代）：**21 世纪，随着扫描、摄影、卫星定位及惯性导航系统的集成，利用不同的载体及多传感器的融合，实现了激光雷达三维影像数据获得技术的突破，激光雷达对三维环境高精度重建的应用优势得到了空前认可，并从政府技术垄断向大幅度商业化渗透。2004 年开始的美国国防高级研究计划局无人驾驶挑战赛（DARPA Grand Challenge）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。车载激光雷达车规化发展也在这一时间起步，2010 年 Ibeo 同 Valeo（法雷奥）合作进行车规化激光雷达 SCALA 的开发，并于 2017 年实现量产，此后采用转境、MEMS、1550nm 新型技术方案的激光雷达公司 Innoviz、Luminar 等相继出现。
- ◆ **车载应用逐步铺开（2020 年~）：**随着智能驾驶向 L3 阶段进阶，激光雷达行业也随之进入高速发展期，在高级辅助驾驶领域的应用得到不断发展，激光雷达技术开始朝向芯片化、阵列化发展，境外激光雷达公司迎来上市热潮，同时不断有巨头公司加入激光雷达市场竞争。

图4 激光雷达发展历程



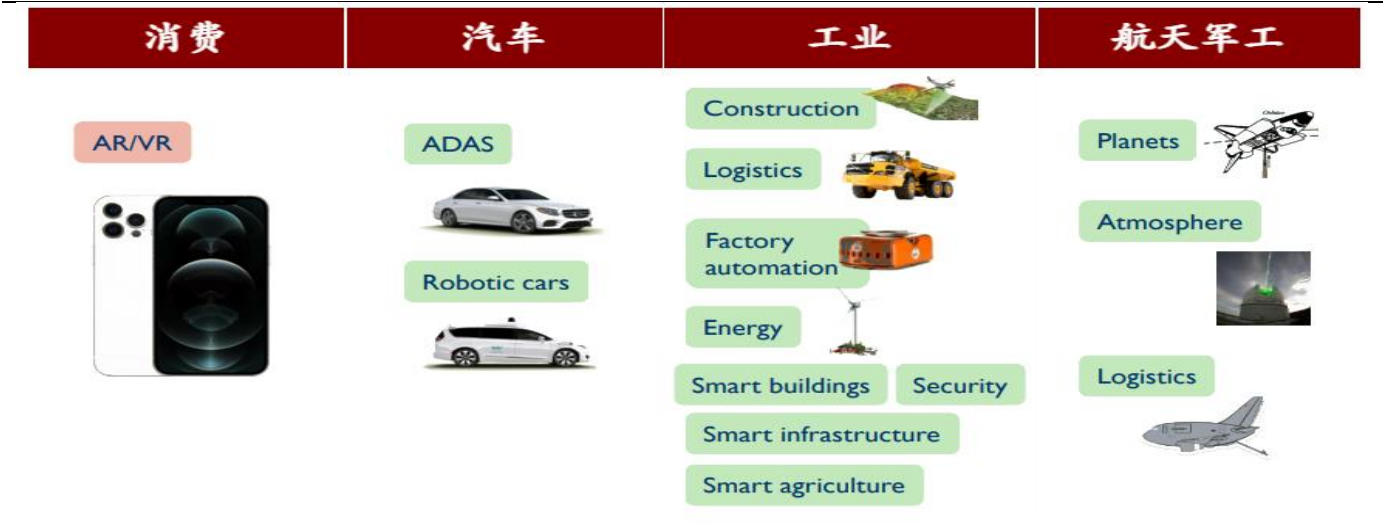
资料来源: LiDAR for Automotive and Industrial Applications 2021 – Yole Développement, 禾赛科技招股说明书, 万和证券研究所

(三) 下游应用: 领域广泛, 车载前景可观

凭借优越的三维成像和高精度定位功能, 激光雷达已广泛应用于科学研究和社会发展的各个领域, 早期主要被广泛应用于航空航天、测绘、风电等领域, 随后受汽车智能化的驱动, 在车载领域迅速发展, 具体来看:

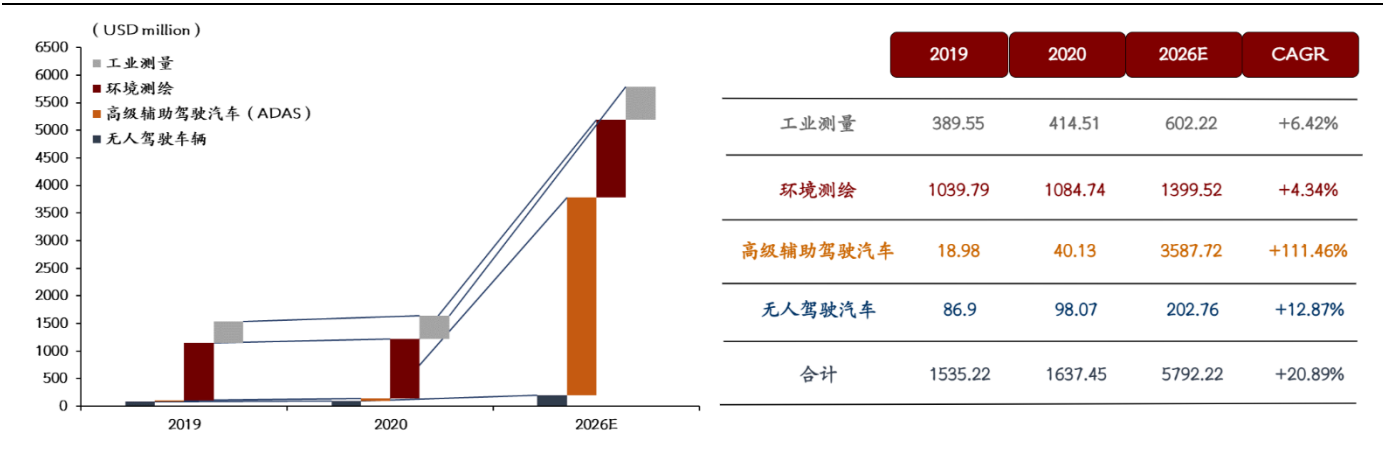
- ◆ **市场规模:** 根据 Mordor Intelligent 数据, 2019-2020 年激光雷达市场总规模为 15.35-16.37 亿美元, 预计到 2026 年激光雷达市场总规模将达到 57.92 亿元, 2019-2026 年复合增长率高达 20.89%。
- ◆ **应用占比:** 传统的环境测绘是激光雷达最主要应用, 2020 年市场规模已有 10.85 亿美元, 占比高达 66.28%, 用于地形测量、风速监测、农林测绘等; 其次是工业测量应用, 2020 年市场规模有 4.15 亿美元, 占比 25.35%, 用于工业自动化、物流、智能楼宇等场景; 汽车应用占比最小, 但潜力可观, 2020 年市场规模约为 1.38 亿元, 占比 8.43%。
- ◆ **市场潜力:** 根据 Mordor Intelligent 数据, 随着智能汽车的快速上量, 辅助驾驶 (ADAS) 系统市场占比快速提升, 2019-2026 年复合增长率高达 111.46%, 除此之外无人驾驶领域依旧是激光雷达的车载主战场, 2019-2026 年复合增长率达 12.87%; 工业及环境测绘增长较慢, 2019-2026 年复合增长率分别为 6.42% 和 4.34%。

图5 激光雷达下游应用领域



资料来源：LiDAR for Automotive and Industrial Applications 2021 – Yole Développement，万和证券研究所

图6 2019-2026E 激光雷达下游应用及规模占比预测



资料来源：Mordor Intelligent，万和证券研究所
注：2019、2020 为历史数据，数据统计自市场主要参与企业

二、 产业阶段：高阶智能驾驶呼之欲出，激光雷达蓝海开启

（一） 技术阶段：智能驾驶需求逐级递进，激光雷达必要性显现

感知层是智能驾驶的起点，传感器是感知层的核心

美国汽车工程师学会（SAE）将智能驾驶的发展按驾驶控制权的归属分为六个阶段：L0-L2 为较低阶辅助驾驶阶段，由驾驶员主导、系统辅助完成；L3-L5 为高阶智能驾驶阶段，驾驶决策责任方逐步由驾驶员过度到系统。

智能驾驶按技术架构分为感知、决策和执行三个层次。感知层是汽车的“眼睛”，主要负责对环境信息和车内信息的采集与处理；决策层是汽车的“大脑”，依据感知信息来进行驾驶决策判断；执行层相当于汽车的“四肢”，按照决策结果对车辆进行控制。这其中，感知层是实现智能驾驶的基础和前提，在信息传输上归纳为三个层面：1、物理信息，包括姿态、速度、形状、温度、能耗等；2、语义信息，辨别物体的类别；3、行为预测，预测物体的行为。

智能传感器是感知层的硬件核心。感知层通过传感器实现对信息的感知，根据作用机理不同分为传统传感器和智能传感器，前者主要负责车辆对自身状态的感知，安装在动力总成、底盘系

统等汽车关键部位，该类传感器多以 MEMS 工艺生产，具有低成本、高可靠性、小体积等优势。后者负责从车辆外界获取信息，是智能驾驶感知层的硬件核心，主要包括车载摄像头、毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达四大类别的硬件传感，具备两个显著特征：1) 量少价高，与传统传感器相比，智能传感器数量少且价格高，基本都在百元以上，占据了汽车传感器总成本的绝大部分；2) 量随级升，随着汽车 SAE 等级提升，为了提高感知冗余，所需配备的智能传感器数量随之增多。

图7 汽车传感器在各 SAE 等级中的应用



资料来源：半导体行业观察，前瞻产业研究院，Global LiDAR Growth Opportunities—Frost&Sullivan，万和证券研究所

备注：1*指 L2+阶段激光雷达预计使用 1 台激光雷达

激光雷达感知性能优越，帮助提升智能驾驶安全冗余

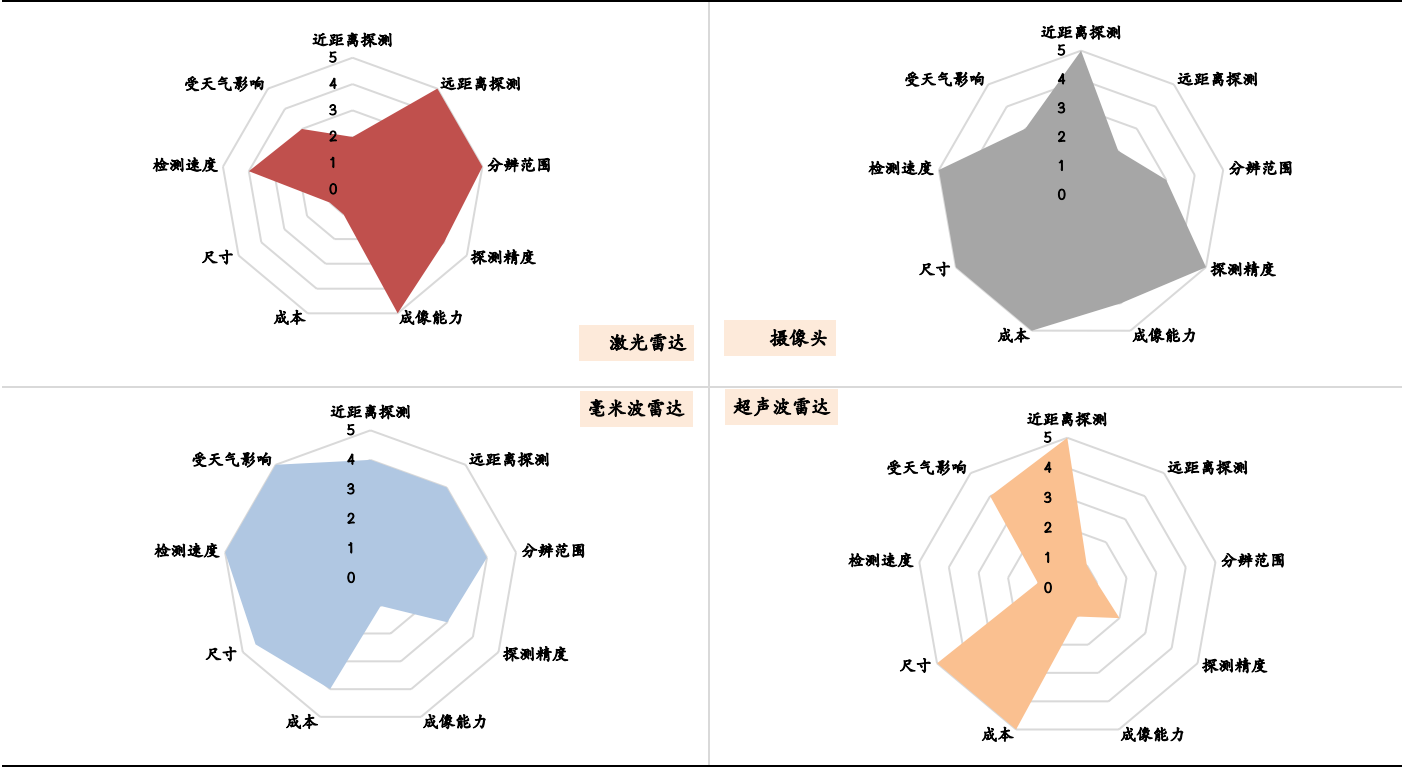
摄像头、毫米波雷达、超声波雷达以及最新出现的激光雷达特色鲜明，在探测精度、感知范围、环境抗干扰及成本等方面各有所长，组成了智能驾驶感知系统的“主力阵容”。

- ◆ **摄像头：技术成熟成本可控，成为最主要的视觉传感器。**摄像头类似人眼，可对物体几何特征、色彩及文字信息进行识别，借助算法可实现对障碍物距离的探测，技术成熟成本可控，因而成为 L2 及以下 ADAS 系统中最主要的视觉传感器，但受光照及恶劣天气影响大，识别准确率在长尾场景存在安全隐患。
- ◆ **毫米波雷达：全天候性能佳，但探测精度有限。**毫米波雷达工作原理类似激光雷达，具有同时测距和测速的功能，有效探测距离可达 200m，由于波长较长，对烟雾、灰尘的穿透力、抗干扰能力强，可全天候工作，但角度分辨能力通常较弱，难以判断障碍物的具体轮廓，对小尺寸障碍物的判断更加模糊。
- ◆ **超声波雷达：最早上车，适用近距离停车辅助。**技术成熟、成本低，抗干扰能力强，但测量精度差，测量范围通常小于 5m，主要用于停车辅助，是最早上车且应用数量最多的智能传感器。
- ◆ **激光雷达：技术难度大、成本高，尚未规模量产。**测量精度高、范围广，可以实时构建车辆周边环境 3D 模型，受限于技术难度大、成本高，目前尚未大规模量产上车。

激光雷达与对其他智能硬件传感器不是替代而是功能的补充叠加。相较摄像头和毫米波雷达，激光雷达所见即所得，能够实现三维实时感知，避开对算法和数据的高度依赖，在探测精度、

可靠性和抗干扰能力等方面具备特色优势，能够规避部分长尾场景存在的感知失灵情况，可显著提升智能驾驶系统的可靠性和冗余度，因而被大多数整车厂、Tier1 认为是 L3+智能驾驶（功能开启时责任方为汽车系统）必备的传感器。

图 8 汽车智能传感器雷达图对比



资料来源：头豹研究院，万和证券研究所

表 1 各类传感器优劣对比

传感器	优势	不足
激光雷达	相对测量精度高，探测距离远	成本高
毫米波雷达	探测距离远	相对于激光雷达探测角度小
超声波雷达	成本较低	探测距离近，精度低
视觉摄像头	成本较低，可识别文字、颜色、图案	容易被遮挡，强光和弱光环境无法有效观测

资料来源：盖世汽车，万和证券研究所

多传感器融合成趋势，L3+阶段激光雷达后来居上

智能驾驶需要传感器满足成本、可靠性、距离、精度等不同维度的需求，由于各类传感器互有优劣，难以替代，因此多传感器融合已成为大势所趋。要实现高级别的智能驾驶，仅靠不同传感器之间简单的堆叠和并列是远远不够的，通过主次分明、有机统一的传感器融合方案，激发核心传感器之间的“化学反应”，实现更优异的感知表现，并使辅助传感器对系统整体能力做到恰到好处的补充，才是打造智能驾驶车辆感知系统的必要之举。目前对于智能驾驶的感知层融合配置，市场上主要有两大技术流派：

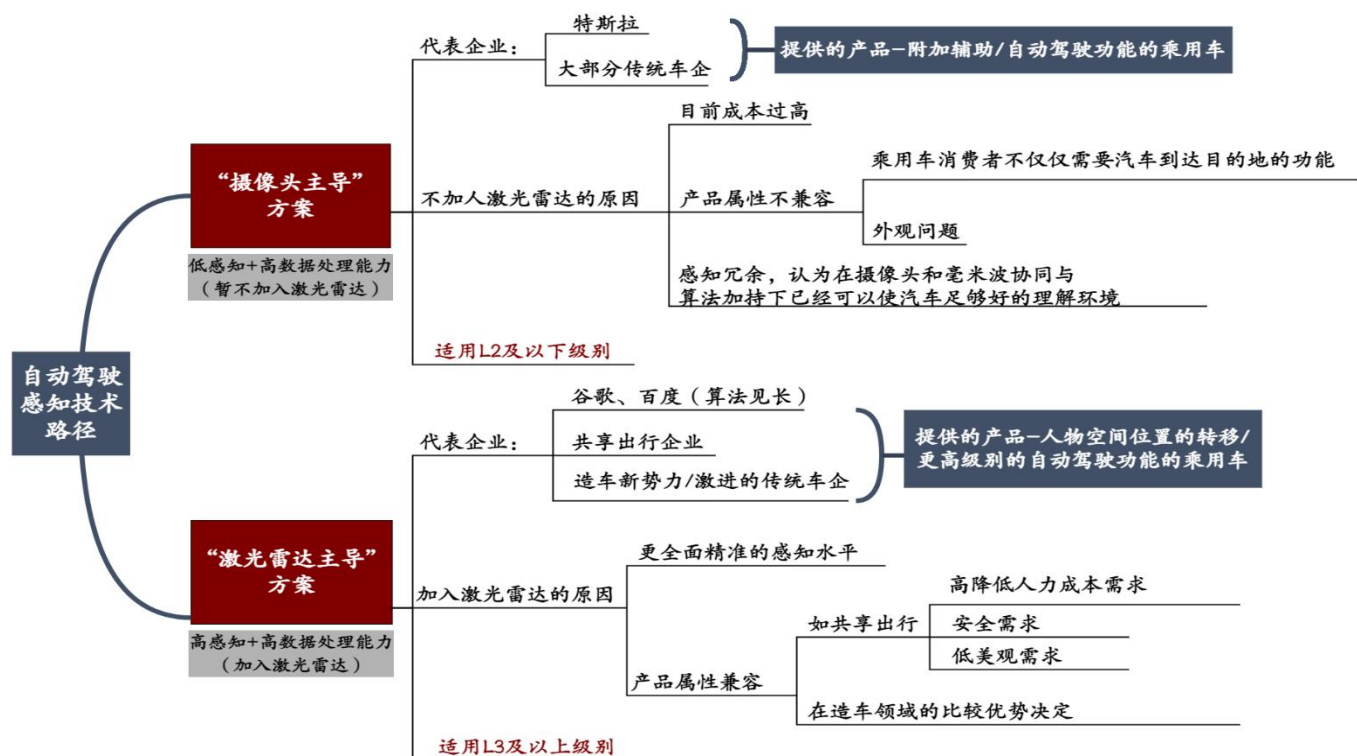
- ◆ 一类是“摄像头主导”方案，感知系统由摄像头主导+毫米波雷达组成，轻感知重算法，以特斯拉为典型代表；
- ◆ 另一类是“激光雷达主导”方案，感知系统由激光雷达主导+摄像头+毫米波雷达组成，重感知轻算法，以 Waymo、百度等无人驾驶型企业和蔚来、小鹏、理想等造车新势力为典型代表。

“摄像头主导”方案依赖人为干预，在 L2 以及下阶段占据优势。“摄像头”方案采用“摄像头”+“算法”完全模拟“人眼”+“人脑”的纯视觉驾驶行为，依赖大量的数据训练来提高感知的准确度，在技术成熟度、成本上具备优势，但在精度、可靠性上都有局限，尤其在应对汽车高速

行驶等长尾场景时，摄像头+毫米波的组合对于非标准静态的物体也有一定的识别障碍，需要驾驶员的大量干预。因此，在 L2 及以下的智能驾驶阶段，“摄像头主导”方案占据优势。现阶段特斯拉已凭借先发销量优势，通过数据积累上的高墙垒筑，在 L2 阶段便与其他新势力拉开了差距，独占绝对优势。

“激光雷达主导”方案增强感知系统冗余，助力 L3+智能驾驶的实现。“激光雷达”方案重感知重算法，精度高、抗干扰能力强，配合高精度地图更能实现精准定位。随着智能驾驶向 L3 进阶，驾驶员的参与度会大幅度减少，单纯的“眼见为实”已不再满足车辆智能驾驶的需求。激光雷达具备高精度、高可靠性，配合摄像头和毫米波雷达，能增强系统的可靠性、冗余性，有望在 L3+ 阶段成为汽车传感器中不可或缺的一部分，并且借助差异化竞争优势，也有望成为除特斯拉外的造车新势力实现弯道超车的有效手段。

图 9 智能驾驶感知技术路径



资料来源：亿欧智库，万和证券研究所

（二）时间节点：2022 年激光雷达迎来规模量产元年

2021 年车企普遍规划从 L2 向 L3 级别智能驾驶进阶路径。自 2021 年起全球范围内 L3 级辅助驾驶量产车项目就处于快速开发之中：BMW（宝马）预计在 2021 年推出具有 L3 级智能驾驶功能的 BMW Vision iNEXT；Mercedes-Benz（梅赛德斯-奔驰）首款 L3 级智能驾驶系统将于 2021 年在新款 S 级车型上推出；Volvo（沃尔沃）预计在 2022 年推出配备激光雷达的智能驾驶量产车型，实现没有人工干预情况下的高速行驶；Honda（本田）计划于 2021 年在其 Legend 车型上提供 L3 级智能驾驶系统。

截至 2022 年上半年已经有汽车厂商已经推出具有 L3 级智能驾驶功能的车型：2021 年 3 月本田正式发售了全球首款获法律许可的 L3 级智能驾驶的车辆 Legend EX，可在日本本土指定路况下使用 L3 级智能驾驶功能；2022 年 3 月长安汽车发布了全新车系“引力”下的首款车型 UNI-T，实现 L3 级智能驾驶车型量产；2022 年 4 月，宝马已经推出具备了 L3 级智能驾驶可能的全新 BMW 7 系；2022 年 5 月初，奔驰宣布支持 L3 级（有条件）智能驾驶功能的 DRIVE PILOT 智能领航系统将于德国市场率先上市，涉及车型为 S 级轿车与全新纯电动 EQS。除了传统车企外，一些造车新势力像特斯拉的 ModelY 已经达到 L2+级别，国内蔚来的 ET7、小鹏的 P5 也已实现 L3 级别的智能驾驶。

图 10 汽车主机厂智能驾驶级别规划路线

区域	主机厂	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
欧美	奔驰		L1			L2			L3			L4/5		
	宝马			L1			L2			L3		L4/5		
	大众			L1			L2					L4/5		
	奥迪	L1		L2					L3					L4/5
	通用			L1				L2				L4/5		
	沃尔沃	L1				L2						L4/5		
	福特			L1				L2				L4/5		
	特斯拉		L1			L2						L4/5		
日韩	现代			L1				L2				L4/5		
	丰田				L1		L2		L3			L4/5		
	本田	L1				L2				L3				L4/5
	日产		L1				L2			L3		L4/5		
中国	长安			L1			L2				L3			L4/5
	长城			L1			L2			L3		L4/5		
	比亚迪				L1					L2				L4/5
	一汽红旗					L1		L2			L3			L4/5
	吉利		L1				L2		L3			L4/5		
	广汽			L1			L2				L3			
	北汽							L1	L2			L3		L4/5
	上汽				L1		L2				L3			L4/5
	奇瑞					L1	L2				L3			L4/5
	东风				L1		L2		L3		L4			

资料来源：佐思汽研，万和证券研究所

2022 年激光雷达有望规模量产并迎来装车小高潮。随着乘用车逐步发展到 L3+阶段，“视觉计算”方案不再满足智能驾驶的感知要求，乘用车市场在 2022 迎来了激光雷达装车小高潮，像小鹏新一代 P7 搭载大疆 Livox 激光雷达，该车型目前已经于 2021 年 3 月开始预售；2021 年 12 月法雷奥官方宣布其第二代 SCALA 激光雷达将搭载于新款奔驰 S 级之上，可实现 L3 级智能驾驶；蔚来 ET7 搭载 Innovusion 图达通激光雷达在 2021 年 1 月 9 日就已经正式上市，并于 2022 年 3 月 28 日开启交付；除此之外 Luminar、Cepton、Aeva、华为、大疆、速腾聚创、一径科技、禾赛科技等激光雷达公司已经拿到或正在交付前装量产订单。

表 2 造车新势力主要车型示例

品牌	车型	搭载数量	激光雷达厂商	量产交付时间
蔚来	ET5	1 颗	预计是 Innovusion	2022 年 9 月
	ET7	1 颗	Innovusion	2022 年 3 月 28 日
小鹏	P5	2 颗	大疆 Livox	2021 年 10 月
	G9	2 颗	速腾聚创	2022 年 Q3
理想	理想 L9	/	禾赛	2022 年 Q2
威马	M7	3 颗	速腾聚创	2022 年
哪吒	哪吒 S	3 颗	华为	2022 年底
高合	HiPhiZ	1 颗	禾赛	2022 年
爱驰	/	/	禾赛	2022 年-2023 年
集度汽车	/	/	禾赛	预测到 2023 年
小米汽车	/	/	预计是禾赛	预测到 2024 年
吉利极氪	/	/	预计是速腾聚创	/
路斯特	TYPE132	/	禾赛	2022 年亮相
长城沙龙汽车	机甲龙	4 颗	华为	2022 年上半年
长城 WEY	摩卡	3 颗	lbeo	2021 年 11 月
广汽埃安	LXPLUS	3 颗	速腾聚创	2022 年 1 月
上汽智己	智己 L7	支持 2 颗激光雷达升级	速腾聚创	2022 年上半年
	智己 LS7	/	速腾聚创	2022 年
飞凡汽车	飞凡 R7	1 颗	Luminar	2022 年下半年
北汽极狐	极狐阿尔法 S 华为 Hi 版	3 颗	华为	2021 年底

长安阿维塔	阿维塔 11	3 颗	华为	2022 年 Q3
奔驰	奔驰 S 级	1 颗	法雷奥	2022 年上半年
奥迪	A8	1 颗	法雷奥	2017 年
本田	本田 Legend	5 颗	法雷奥	2021 年 3 月
沃尔沃	Embla	/	Luminar	2022 年
通用	/	/	Cepton	2022 年

资料来源：盖世汽车，万和证券研究所

（三）市场空间：车载激光雷达市场有望达到百亿级别

参照第一部分 Mordor Intelligent 预测数据，激光雷达在辅助驾驶（ADAS）汽车+无人驾驶汽车市场总规模将从 2019 年的 1.05 亿美元增长到 2026 年的 37.90 亿美元，复合增长率达到 66.72%。考虑到激光雷达作为智能汽车 L3 级别以上自动驾驶传感器的关键，即将迎来行业向上拐点，市场增长潜力可观，我们依据激光雷达的出货量、价格变化数据，在 2021 年的数据基础上，重新测算激光雷达在乘用车和无人驾驶车领域的市场空间。

参照 Frost & Sullivan 提供的数据，2021 年约有 10 万台激光雷达被用在乘用车和无人驾驶车上，到 2027 年激光雷达上车数量将达到 1480 万台，按照机械式、半固态/固态（MEMS、3D Flash/OPA、FMCW）划分，机械式激光雷达将从 2021 年的 \$5,500 均价逐步下降到 2027 年的 \$2,500，MEMS 和 3D Flash/OPA 激光雷达将从 2021 年的 \$1,000 均价逐步下降到 2027 年的 \$500，FMCW 激光雷达将在 2025 年首次上车，均价将从 2025 年的 \$1,000 下降到 2027 年的 \$500。

我们通过“机械式 Lidar 出货量×机械式 Lidar 均价+半固态/固态 Lidar 出货量×半固态/固态 Lidar 均价”来测算全球车载激光雷达的市场空间，得出 2025 年全球车载激光雷达市场规模将达到约 70.3 亿美元，到 2027 年更是有望达到 129.7 亿美元。

表 3 全球车载激光雷达市场规模测算（按激光雷达产品出货量）

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
出货量（百万台）							
机械式 Lidar	0.1	0.6	1.8	1.8	1.4	2.1	2.8
半固态/固态 Lidar	0.03	0.12	0.63	1.42	6.99	9.32	11.94
MEMS/3D FLASH	0.03	0.12	0.63	1.42	6.85	8.94	10.99
OPA					0.07	0.19	0.36
FMCW					0.07	0.19	0.60
均价（美元）							
机械式 Lidar	\$5,500	\$5,500	\$4,500	\$3,500	\$2,500	\$2,500	\$2,500
半固态/固态 Lidar							
MEMS/3D FLASH	\$1,000	\$1,000	\$700	\$700	\$500	\$500	\$500
OPA					\$500	\$500	\$500
FMCW					\$1,000	\$1,000	\$500
市场规模（十亿美元）							
机械式 Lidar	0.55	3.30	8.10	6.30	3.50	5.25	7.00
半固态/固态 Lidar	0.03	0.12	0.44	1.00	3.53	4.75	5.97
MEMS/3D FLASH	0.03	0.12	0.44	1.00	3.43	4.47	5.49
OPA					0.04	0.09	0.18
FMCW					0.07	0.19	0.30
全球合计	0.58	3.42	8.54	7.30	7.03	10.00	12.97

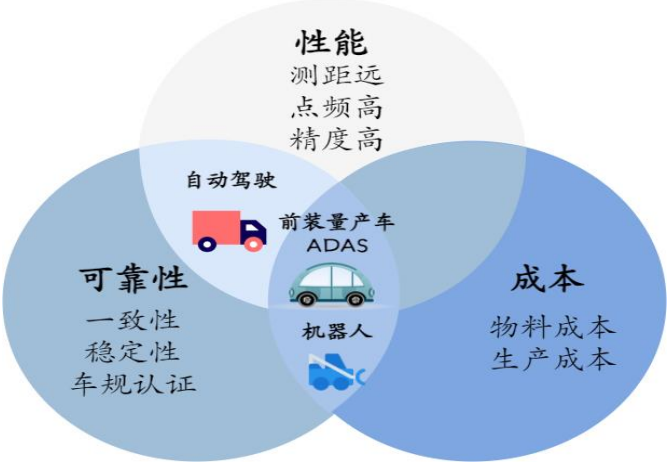
资料来源：Frost & Sullivan，万和证券研究所

注：红色字体为 Frost & Sullivan 数据，黄色字体为预估数据，黑色字体为测算结果

三、 产业趋势：技术尚未收敛，车规和成本决定发展

从激光雷达产业发展趋势来看，我们认为技术决定性能，是激光雷达行业的“敲门砖”；车规认证可靠性，是激光雷达行业的“入场券”；而成本制约量产，是激光雷达规模化量产的“催化剂”，在产业发展的过程中主机厂商将会一直寻找性能、可靠性、成本三者可行的有效均衡。现阶段激光雷达上车早期尚处于技术驱动阶段，性能是首要考量因素，随着技术的成熟和产业的发展，可靠性和低成本将成为接下来验证和量产阶段的角逐重心，这也是激光雷达上车和量产的决定因素。

图 11 激光雷达上车取决于性能、可靠性和成本



资料来源：九章智驾，万和证券研究所

(一) 技术路径：技术尚未收敛，路线百花齐放

激光雷达目前尚处技术驱动阶段，技术路线百花齐放，需要随着产品的量产持续验证。按照激光雷达的构成和原理，测距原理、激光波长、发射装置、接收装置、扫描方式是激光雷达的五大技术维度，不同的维度衍生出不同的技术发展方向，下游主机厂依照这五个维度设计组合形成特色技术方案，不同的技术路径又导致激光雷达成品在测距、测速、测角、精度、范围、功耗、集成度等性能上的差异，继而决定了各主机厂的产品能力和远期潜力。

表 4 激光雷达性能参数

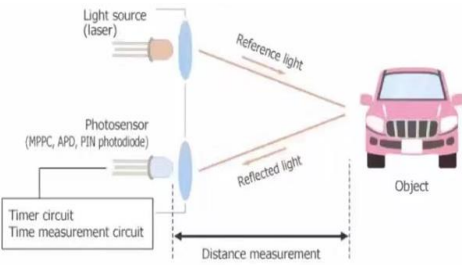
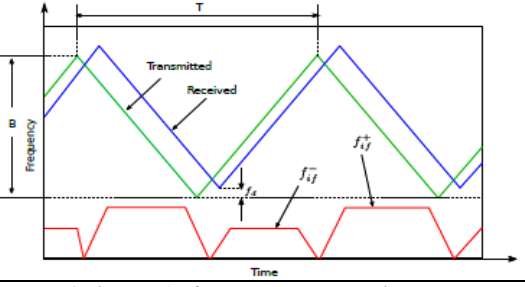
参数	描述	说明
测远能力	一般指激光雷达对于 10%低反射率目标物（标准朗伯体反射能量的比例）的最远探测距离	激光雷达测远能力越强，距离覆盖范围越广，目标物探测能力越强，留给系统进行感知和决策的时间越长。目标物反射率影响探测距离，相同距离下，反射率越低越难进行探测
点频	激光雷达每秒完成探测获得的探测点的数目	点频越高说明相同时间内的探测点数越多，对目标物探测和识别越有利
角分辨率	激光雷达相邻两个探测点之间的角度间隔，分为水平角度分辨率与垂直角度分辨率	相邻探测点之间角度间隔越小，对目标物的细节分辨能力越强，越有利于进行目标识别
视场角范围	激光雷达探测覆盖的角度范围，分为水平视场角范围与垂直视场角范围	视场角越大说明激光雷达对空间的角度覆盖范围越广
测距精度	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
测距准度	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
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越高

资料来源：禾赛科技招股说明书，万和证券研究所

测距原理：测距方式分为 TOF 和 FMCW

激光雷达主要有两种测距方法，一种是基于时间的测量方法，通过计算发射激光脉冲和接收激光脉冲所需的时间得到目标距离，称作飞行时间法（TOF, time-of-flight）；另一种是基于频率的测量方法，将发射的激光进行调制后测量往返光波的频率差与相位差测得目标距离，称作连续波调频相干检测法（FMCW, frequency-modulated continuous wave），结合多普勒效应还可以同时计算出物体每个像素点的速度数据。ToF 工艺成熟、成本合理，是目前市场车载中长距激光雷达的主流方案；FMCW 具有可直接测量速度信息以及抗干扰（包括环境光和其他激光雷达）的优势，未来随着 FMCW 激光雷达整机和上游产业链的成熟，ToF 和 FMCW 激光雷达将在市场上并存。

表 5 测距方式

	TOF 飞行时间法	FMCW 连续波调频相干检测法
原理	使用时间来测量距离，利用光脉冲在目标物与激光雷达间的飞行时间乘以光速来测算距离。	使用频率来测量距离，将发射的激光进行调制后测量往返光波的频率差与相位差测得目标距离，结合多普勒效应还可以计算出速度信息。
图例		
优点	1、系统简单，成本低； 2、工艺成熟，当前主流应用。	1、低功率峰值，容易满足人眼安全要求； 2、调频波加密可克服干扰问题 3、除距离和反射强度信息外还能直接得到速度信息； 2、FMCW 易于与 OPA 扫描结构兼容，易于更高程度芯片化。
缺点	1、采用脉冲激光，短时间发射的高功率激光，影响人眼安全，限制了系统的整体功率和探测范围； 2、脉冲激光难以克服相互干扰问题； 3、速度必须通过多次测量的结果来间接计算，消耗计算资源，数据质量低。	1、配套要求高，需要搭配精细的数据处理和高灵敏度探测器； 2、系统复杂、成本高昂； 3、技术成熟度低，现阶段难以大规模量产。
应用	主流应用	Aurora、Aeva

资料来源：Y.Li et. Al, Lidar for Autonomous Driving:from Sensor to Perception System, IEEE Signal Processing Magazine, 2020 & You Li, Javier Ibanez-Guzman, Lidar for Autonomous The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems, 万和证券研究所

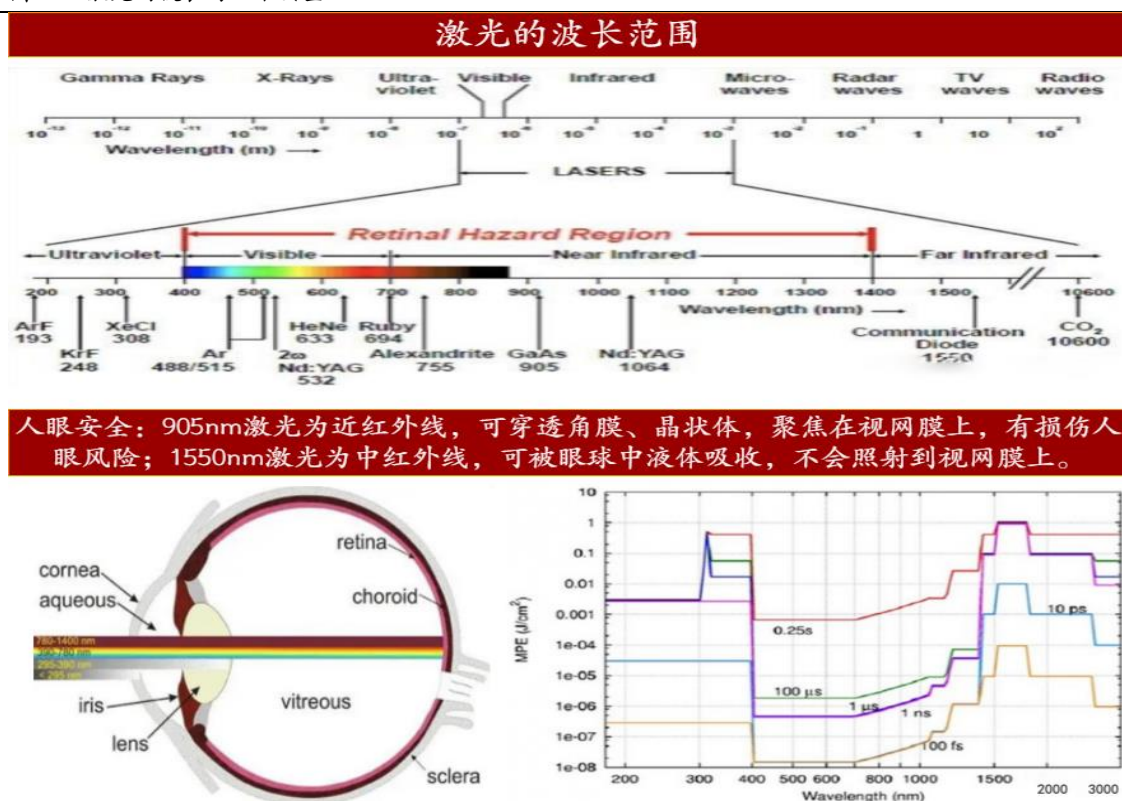
发射端：905nm 半导体激光器是主流，1550nm 光纤激光器是趋势

从光源上看，市场上激光雷达最常用的波长方案是 905nm 和 1550nm。激光是一种单一颜色、单一波长的光，根据发生器的不同可以产生紫外线（10-400nm）到可见光（390-780nm）到红外线（760-1000000nm）波段内的不同激光。车载激光雷达波长的选择主要考量三个因素：

- ◆ **人眼安全**：为避免可见光对人眼的伤害，激光雷达选用的激光波长一般不低于 850nm，905nm 激光工作于近红外（NIR）波段，接近可见光 360nm-750nm 频率，可穿透角膜和晶状体，聚焦在视网膜上，所以发射功率需先在对人无害的范围内。而 1550nm 激光工作于中红外波段（SWIR），主要被角膜上的液体吸收，无法在视网膜上聚焦成点，相对更加安全。
- ◆ **功率上限**：905nm 激光对应的器件功率受到限制，进而影响了激光雷达的探测距离和雨雾抗干扰能力；1550nm 激光更加安全，对应的功率上限相应提高，其探测距离和抗干扰能力也显著提高。

- ◆ **适配器件：**波长与发光材料物理特性有关，905nm 激光器多用砷化镓 GaAs 作为发光材料，配备半导体激光器即可，1550nm 多用磷化铟 InP 作为发光材料，其工作波段需配备体积较大的光纤激光器。此外，特定的波长需要特定材料制成的探测器吸收，905nm 波长的激光可被硅基材料吸收，1550nm 波长的激光需要铟镓砷 InGaAs 材料才可高效率吸收。

图 12 激光的波长与人眼安全



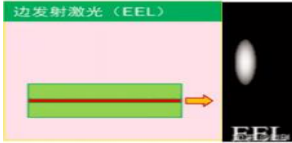
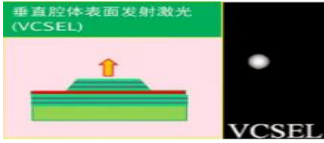
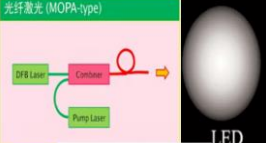
人眼安全：905nm激光为近红外线，可穿透角膜、晶状体，聚焦在视网膜上，有损伤人眼风险；1550nm激光为中红外线，可被眼球中液体吸收，不会照射到视网膜上。

资料来源：ams OSRAM，万和证券研究所

从激光器种类上看，当前阶段主要方案有边发射激光器（Edge Emitting Laser, EEL）、垂直腔面发射激光器（Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL）和光纤激光器。其中，前两者均属于半导体激光器，具有电光转换效率高（最高可达到 60-70%），体积小、重量轻（常用产品体积仅仅为立方厘米量级），寿命长、可靠性高（高功率亦可实现上万小时），集成度高、成本低（同一块半导体晶圆上实现大量激光二极管芯片的集成）的特点。

- ◆ **EEL 激光器长期占据主流。**EEL 作为探测光源具有高发光功率密度的优势，但 EEL 的激光是沿平行于衬底表面发出，其发光面位于半导体晶圆的侧面，使用过程中需要进行切割、翻转、镀膜、再切割的工艺步骤，往往只能通过单颗一贴装的方式和电路板整合，而且每颗激光器需要使用分立的光学器件进行光束发散角的压缩和独立手工装调，极为依赖产线工人的手工装调技术，生产成本高且一致性难以保障。
- ◆ **VCSEL 激光器逐步成熟。**VCSEL 出光方向垂直于衬底表面，发光面与半导体晶圆平行，具有面上发光的特性，其所形成的激光器阵列易于与平面化的电路芯片键合，在精度层面由半导体加工设备保障，无需再进行每个激光器的单独装调，且易于和面上工艺的硅材料微型透镜进行整合，提升光束质量。传统的 VCSEL 激光器存在发光功率密度低的缺陷，导致只在测距要求近的应用领域有相应的激光雷达产品（通常<50m）。近年来国内外多家 VCSEL 激光器公司纷纷开发了多层结 VCSEL 激光器，将其发光功率密度提升了 5-10 倍，这为应用 VCSEL 开发长距激光雷达提供了可能。
- ◆ **光纤激光器配套 1550nm 发光功率要求。**光纤激光器体积较大，由种子源、泵浦源、以及增益光纤构成，所生产的激光光束质量优异，功率高、调制速度快，可以实现超远距离感测，但价格也较为高昂，主要取决于 1550nm 技术的突破和需求的放量。

表6 主流激光器对比

	EEL	VCSEL	光纤激光器
结构			
图例	 EEL激光器	 VcSEL激光器芯片	 光纤激光器
增益介质	InGaAs	GaAs	980nm/1480nm 泵浦源/掺铒光纤
输出波长	905nm	905nm/904nm	1550nm
大规模生产	分离芯片级	晶圆级	—
发射结构	边发射	垂直表面发射	—
探测距离	中	近	远
型号性能	中	中	好
综合性能	均衡主流	低成本	高性能
优点	峰值功率高、功率密度高、较高的调制频率、配套技术成熟	光束垂直衬底发射易于二维集成，较高的调制频率	发光功率高、对人眼安全性更高
缺点	单点发光、椭圆光斑不利于光束整形；依赖手工装调，生产成本高	器件未成熟，距离受限，功率密度需进一步提高	成本高、功耗高、体积大
应用	主流	禾赛科技	镭神智能

资料来源：北汽产投，头豹研究院，万和证券研究所

综合而言，905nm 半导体激光器是当下的主流选择，1550nm 光纤激光器是未来发展趋势。波长为 905nm 的激光雷达采用 EEL/VCSEL 半导体激光器为发射源，具有成本较低和技术成熟的优势，但考虑到人眼安全要求，激光功率受到明显限制，使得传感器在探测距离和信噪比上物理受限。波长为 1550nm 的激光雷达一般配备光纤激光器，其发出的激光远离人眼吸收的可见光光谱，安全功率达到 905 纳米的 40 倍，可以发射更高的功率增加探测距离、点云分辨率和抗干扰能力，但无法被常规的硅探测器吸收，需要外部电源、复杂的电子控制装置以及配套的接收器，因此体积庞大、技术面临着更大的复杂性。

接收端：APD 是当前主流，SPAD/SiPM 是未来趋势

光电探测器利用光电效应将光信号转变为电信号。灵敏度、反应速度和抗干扰性是衡量光电探测器的主要指标，从类别上区分，传统探测器为 PIN 光电二极管和 APD（雪崩二极管），新型探测器有 SPAD（单光子雪崩二极管）和 SiPM（硅光电倍增管）；从材料上区分，探测材料有 Si 基 CMOS 工艺，主要用于 905nm 波长探测，也有灵敏度较高的 InGaAs 探测器，主要用于 1550nm 波长探测。一般而言，光电探测器的选择取决于其接收到的激光波长。

- ◆ PIN PD：针状光电二极管，由 P-I-N 结组成，工作于反偏压，无增益，探测距离较短；
- ◆ APD：雪崩二极管，PN 结加大反向电压后会产生“雪崩”现象，在低于击穿电压的偏置电压下工作，对微弱光电流产生放大作用，但工作电压较大，噪声也被放大；
- ◆ SPAD：单光子雪崩二极管，工作在盖革模式（远高于击穿电压的反向偏置电压）下的雪崩二极管，具有单光子检测的能力；
- ◆ SiPM：硅光电倍增管，由 APD 阵列组成，具有增益高、工作偏置电压低、受温度影响小、对磁场不敏感、能够实现高度集成化的优势。

表7 主流探测器对比

类型	优缺点
Si-PIN	成本低、信噪比低，探测速度慢
InGaAs-PIN	成本高、尺寸小、制造难度高、主要用于航天 1550nm 探测
APD	905nm 光电子探测效率 PDE80%，技术成熟、成本低
SiPM	兼容 CMOS，可耦合在一个芯片上。905nm PDE20%，探测效率可进一步优化。
Si-SPAD	功耗相对较低，540-900nm PDE 为 40-50%。
InGaAs-SPAD	主要探测 1100nm 以上，PDE 为 50-80%，后脉冲 10%。

资料来源：北汽产投，和证券研究所

905nm 激光器探测 APD 是主流方案，SPAD/SiPM 是未来趋势。APD 采用分立器件模式，技术较为成熟，在 905nm 探测的 PDE 可优化达到 80%，成为目前使用最为广泛的光电探测器件。单光子雪崩二极管（SPAD）和硅光电倍增管（SiPM）在增益能力、大尺寸阵列的实现和易用性上较 APD 更加优越：1）SPAD 或者 SiPM/MPPC 是工作在盖革模式下的 APD，理论上增益可达到 APD 的 100 万倍以上，但系统成本与电路成本均较高；2）SiPM 是多个 SPAD 的阵列形式，可通过多个 SPAD 获得更高的可探测范围以及配合阵列光源使用，更容易集成 CMOS 技术，具备规模量产的成本优势；3）由于 SiPM 工作电压较低，不需要高压系统，易于与主流电子系统集成，内部的百万级增益也使 SiPM 对后端读出电路的要求更简单。

表8 光电探测器性能比较

	MPPC (SiPM)	SPAD	APD	PIN PD
增益	10^6	10^6	< 100	无
探测距离	中长	中长	中长	短
读出电路	简单	复杂	复杂	复杂
成本	系统成本低 (探测器成本中)	系统成本高 (探测器成本高)	系统成本高 (探测器成本高)	系统成本高 (探测器成本低)
设计复杂度	温度补偿	信号整合和淬熄电路	信号整合和温度补偿	信号整合
光谱范围	< 950nm	硅基 < 1150nm InGaAs < 1700nm	硅基 < 1150nm InGaAs < 1700nm	硅基 < 1200nm InGaAs < 2.6 μm
速度	中	快	快	快
运行电压	< 80V	> 150V	< 200V	< 10V
噪声	探测器噪声高 (系统噪声低)	探测器噪声高	探测器噪声低 (系统噪声高)	探测器噪声低 (系统噪声高)
应用	-	Ouster、ibeo	主流	-

资料来源：滨瀚《面向自动驾驶 Lidare 的核心半导体器件介绍》，和证券研究所

扫描方式：半固态率先上车，纯固态为最终趋势

从线束转向（或称扫描）方式来看，激光雷达技术路径正朝着机械式-半固态-纯固态的方向不断迭代。其中，机械式激光雷达产品已经在无人驾驶领域得到了广泛应用；半固态式激光雷达是机械式和纯固态式的折中方案（较机械式只扫描前方一定角度内的范围；较纯固态式仍有一些较小的活动部件），是目前阶段量产装车的主流产品，具体包括微振镜方案、转镜、棱镜方案；纯固态激光雷达工艺级别最高，具体包括相控阵（OPA）方案、Flash 方案等，有望成为终极方案。

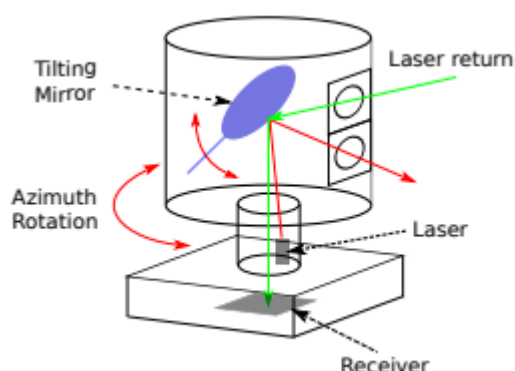
◆ 纯机械旋转式：高性能与高成本并存，最早上车的激光雷达

原理：通过不断旋转发射头，将速度更快、发射更准的激光从“线”变成“面”，并在竖直方向上排布多束激光，形成多个面，从而达到动态扫描并动态接收信息的目的。

性能：机械雷达是研发最早、发展最成熟的激光雷达，由于带有机机械旋转结构，可以通过 360° 物理旋转进行 3D 扫描，而缺点也很明显，一是高频的转动和复杂的机械结构致使其平均的失效时间仅 1000-3000 小时，难以达到车规级设备最低 13000 小时的要求；二是机械式激光雷达复杂的结构也不易控制成本，高昂的售价也是影响其广泛装备量产车型的一大因素。

应用：机械旋转多线激光雷达的主要供应商有 Velodyne、速腾聚创、禾赛科技，产品主要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，其在 2007 年便推出了 64 线机械式激光雷达产品，成为首个商业化大规模量产的 3D 激光雷达。

图 13 机械式激光雷达内部组件



资料来源：You Li, Lidar for Autonomous, 万和证券研究所

图 14 速腾聚创机械式激光雷达



资料来源：新智驾，万和证券研究所

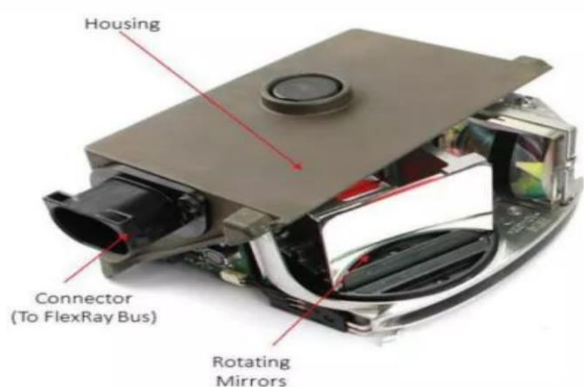
◆ 转镜方案：最早实现车规级应用，有望阶段性率先起量

原理：转镜方案将激光收发模组固定，在前方布置两面可旋转的镜子，让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，从而实现限定范围内的探测扫描。在转镜方案中，存在一面扫描镜（一维转镜）和一纵一横两面扫描镜（二维转镜）两种技术路线。一维转镜线束与激光发生器数量一致，而二维转镜在一维转镜的基础上增加了俯仰的转动，可以实现等效更多的线束，在集成难度和成本控制上存在优势。

性能：转镜方案在功耗、散热等方面有着更大优势，但是存在信噪比低，有效距离短，FOV 视场角受限等问题。

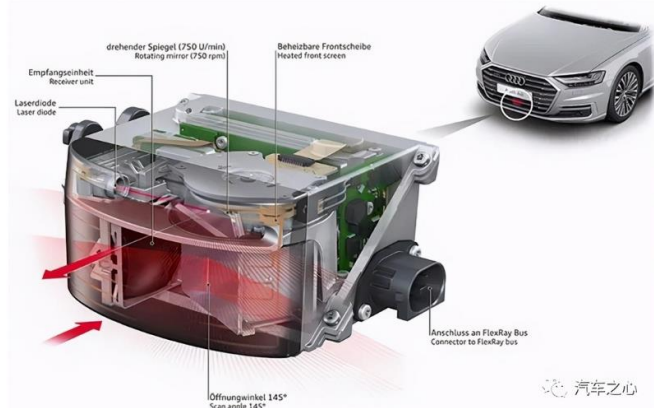
应用：2017 年 7 月，奥迪 A8 搭载的法雷奥四线转镜式激光雷达 SCALA1 是业内首款车规级激光雷达产品，华为的等效 96 线激光雷达用的就是二维转镜技术。目前转镜方案代表品牌有华为、法雷奥、禾赛、Innovusion 等。

图 15 转镜式激光雷达拆解图例



资料来源：SYSTEMPlus, 万和证券研究所

图 16 奥迪 A8 搭载的法雷奥四线转镜式激光雷达 SCALA1



资料来源：汽车之心，万和证券研究所

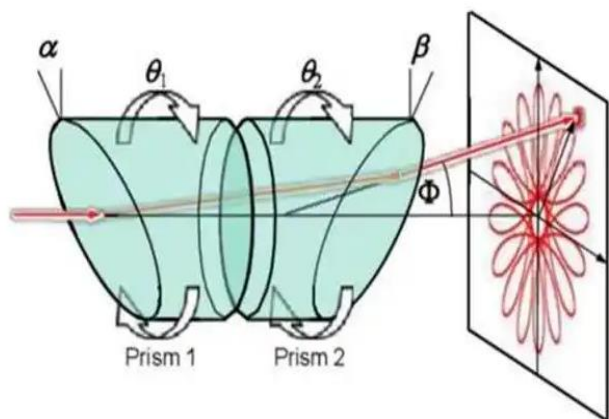
◆ 棱镜：大疆一枝独秀，绑定小鹏 P5

原理：棱镜激光雷达也称为双楔形棱镜激光雷达，内部包括两个楔形棱镜，激光在通过第一个楔形棱镜后发生一次偏转，通过第二个楔形棱镜后再一次发生偏转，累积的扫描图案形状若花朵，而并非一行一点的点云状态。

性能：相比 MEMS 微振镜和转镜方案，棱镜激光雷达可以通过增加激光光束和功率实现更高的精度和更远的探测距离，不过也存在中心区域点云密集，两侧点云相对稀疏的情况，机械结构也相对更加复杂，体积较前两者更难以控制，存在轴承或衬套的磨损等风险。

应用：目前发力棱镜激光雷达的主要有大疆旗下的 Livox 览沃，从车规级应用来看，小鹏 P5 配备 2 颗大疆 Livox 车规级棱镜式激光雷达，另外大疆 Livox 也获得了一汽解放量产项目的定点。

图 17 棱镜激光雷达原理



资料来源：太平洋汽车网，万和证券研究所

图 18 大疆 Livox 激光雷达



资料来源：大疆 Livox 官网，万和证券研究所

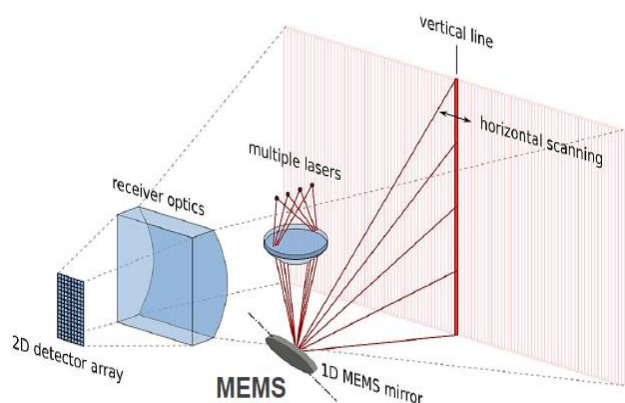
◆ 微振镜：现阶段量产上车主流

原理：MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) 微振镜方案通过控制微小的镜面平动和扭转往复运动，将激光反射到不同的角度，以此达到等效机械式更多线束的扫描覆盖。

性能：MEMS 将扫描单元变成了毫米级尺寸 MEMS 微镜，具有尺寸小、可靠性高、成本可控、分辨率高等优势，但也存在信噪比低、有效距离短、寿命短等问题。

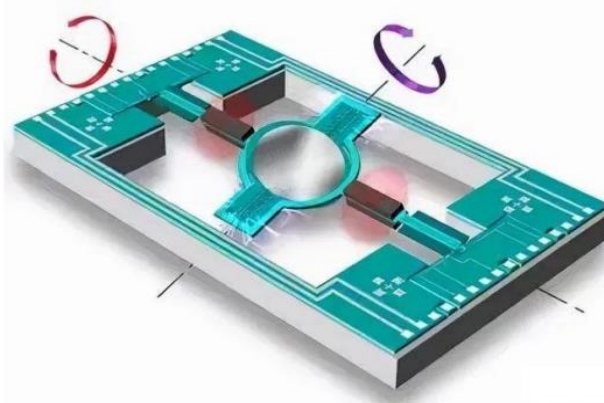
应用：Luminar、Innoviz、速腾聚创、雷神科技等

图 19 MEMS 激光雷达原理



资料来源：IDTechEx，万和证券研究所

图 20 MEMS 微镜图例



资料来源：汽车之心，万和证券研究所

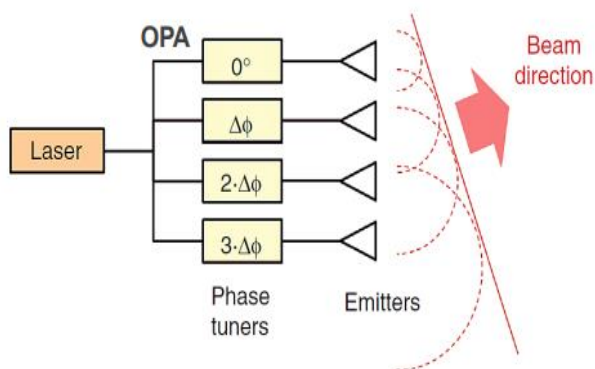
◆ OPA 光学相控阵：工艺难度极高，尚处实验室阶段

原理：OPA (optical phased array) 光学相控技术运用相干原理，采用多个光源组成阵列，通过控制各光源发光时间差，合成具有特定方向的主光源，并在在程序的控制下可使一束或多束高强度光束按设计指向特定空域扫描。

特性：采用纯固态器件，具有体积小、耐久度高的优点。但是，对激光调试、信号处理的运算力要求很大，同时对材料和工艺的要求都极为苛刻，因此成本也相应的居高不下。

应用：多处于实验室或初步测试阶段，Quanergy 于 2021 年发布的 S3 型固态激光雷达是业内第一款使用相控阵技术的产品。

图 21 OPA 激光雷达原理



资料来源：IDTechEx，万和证券研究所

图 22 Quanergy S3 固态激光雷达传感器



资料来源：麦姆斯咨询，万和证券研究所

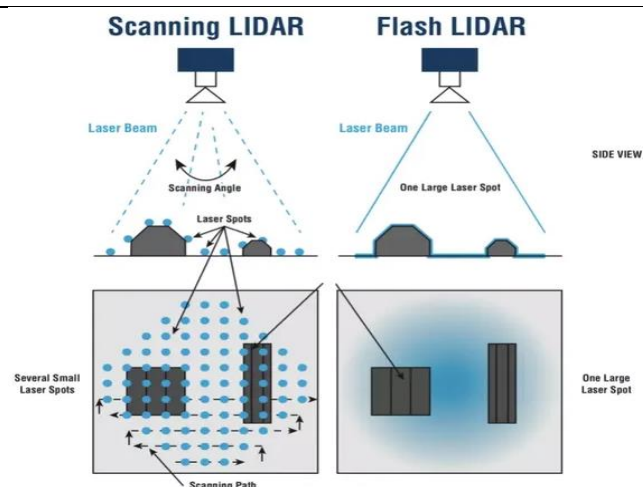
◆ Flash 闪光：目前纯固态激光雷达的主流技术方案

原理：Flash 激光雷达的原理类似于黑夜中的照相机，不是通过扫描的方式，而是在短时间内直接向远方发射出一大片覆盖探测区域的激光，通过高度灵敏的接收器实现对环境周围图像的绘制，最终生成包含深度信息的 3D 数据。

性能：结构简单，能快速记录整个场景，但在探测精度和探测距离上会受到较大的影响。

应用：主要用于较低速的无人驾驶车辆，例如无人外卖车、无人物流车等，对探测距离要求较低的智能驾驶解决方案中，代表品牌包括 Ibeo、大陆、Ouster 等。

图 23 Flash 激光雷达原理



资料来源：汽车之家，万和证券研究所

图 24 IbeoNEXT 使用 Flash 原理的激光雷达



资料来源：Ibeo 官网，万和证券研究所

（二）上车节奏：车规是第一要义，优先选择成熟度高的转镜/MEMS 方案

“车规级”认证是激光雷达从 0 到 1 阶段的前提

车规是短期要义，是进入汽车行业的门槛。车规级是指能够通过车企的一系列认证测试，拿到项目定点资格。对于车载应用，汽车电子元件需要在极其严苛的环境下长时间地工作，加上汽车的车型生命周期较消费级产品要长得多，单个器件的失效率叠加加上汽车较大的销量及长期的使用便会急剧放大，因而衍生出各类电子元器件有关生产制造和性能的特定行业标准。

业内主要相关的车规认证标准有 IATF 16949、ISO 26262、AEC-Q 系列等，从功能、质量、稳定性等各个维度采取铁腕级标准，要求各个部件能够在多样化的压力及动态环境下保持长期稳定、高效的工作状态。其中，AEC-Q 系列认证是车规元器件的通用测试标准和基本门槛，

ISO26262 是全球公认最权威的汽车功能安全标准，IATF16949 则是世界范围内共同和唯一的汽车行业质量管理体系的基本要求，像 Quanergy、速腾聚创等已获得其认证。

表 9 满足车规级量产条件

	类别	消费级	工规	车规
管理	质量体系	ISO9001	ISO9001	ISO9001 IATF 16949
	质量审核			VDA6
产品	使用环境	-20 度~60 度	-40 度~85 度	-40 度~105 度
	寿命	3~5 年	10 年	15 年
	可靠性标志	JESD47	JESD47	AEC-Q 系列
	失效率	~500PPM	~200PPM	0

资料来源：Cepton，万和证券研究所

表 10 激光雷达主要车规认证相关标准

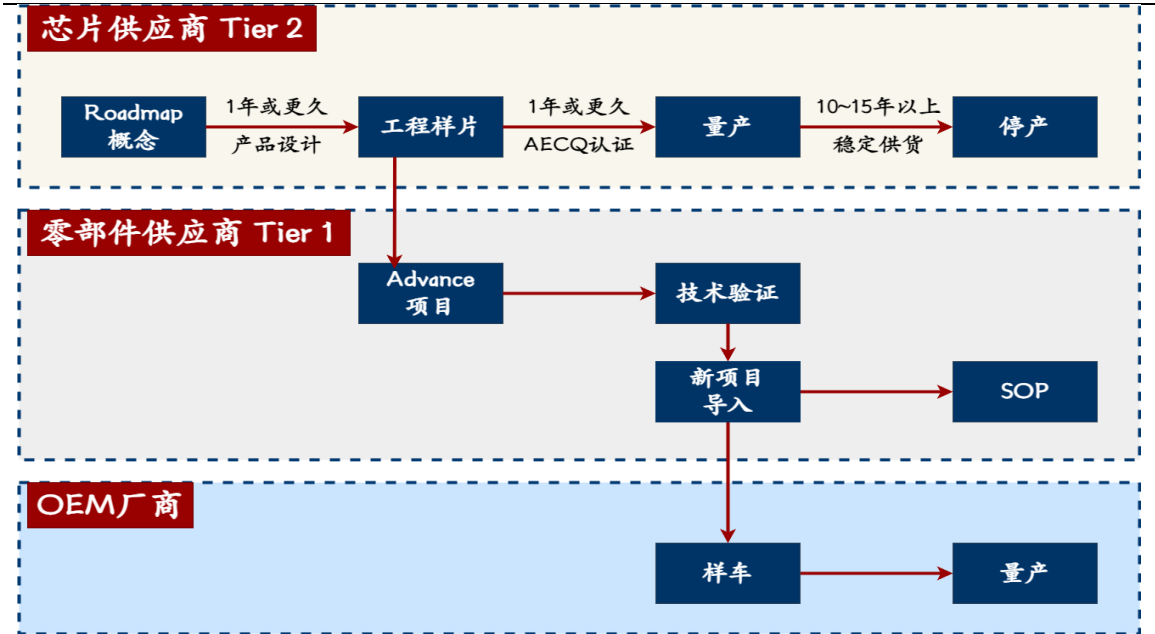
标准	制定组织	聚焦方向	内容	范例
IATF 16949	国际汽车专责小组 (IATF) 成员包括以下主流汽车制造商和汽车制造商各自的行业协会	只适用于汽车整车厂和其直接的零备件制造商，已成为世界范围内共同和唯一的汽车行业质量管理体系的基本要求	IATF16949 标准是以 ISO9001 标准为基础，补充汽车工业的特殊要求而形成，2016 年 10 月 1 日发布，认证的评估包括 5 个阶段 113 项任务，评估的五大工具为：统计过程控制 (SPC)、测量系统分析 (MSA)、失效模式和效果分析 (FMEA)、产品质量先期策划 (APQP)、生产件批准程序 (PPAP)。	2018 年 7 月 30 日，Quanergy 宣布其固态激光雷达生产线获得 IATF 16949 认证；速腾聚创于 2019 年 12 月宣布通过 IATF 16949 认证。
ISO 26262	国际标准化组织 (ISO)	是全球公认最权威的汽车功能安全标准，主要有两方面，一是生产流程认证；二是产品功能认证	ISO 26262 覆盖产品全部生命周期，包含功能安全管理、概念阶段、系统阶段、硬件开发、软件开发、生产运行、支持流程、安全分析等所有环节。并根据对人身安全的重要性要求安全机制符合 ASIL (汽车安全完整性) 各等级认证，从低到高分 A、B、C、D4 个等级。	2021 年 9 月 17 日禾赛科技 Pandar128 激光雷达成功通过 ISO 26262 ASIL B 功能安全产品认证。
AEC-Q	汽车电子委员会 (AEC) 最初由克莱斯勒、福特和通用汽车联合成立	属于元器件级标准 (不包括零部件)，侧重点是器件的可靠性及长期供货的一致性	AECQ 包含 37 个标准和子标准，其中 AEC-Q102 为汽车应用的光电半导体应力测试标准，在 2020 年 4 月 6 日正式发布版本中，专门针对激光器件制定标准，可靠性测试起步 1000 小时。	欧司朗 2019 年 9 推出了一颗应用于激光雷达的激光器件 SPL S1L90A_3，满足 AEC-Q102 标准

资料来源：eeworld, 360doc, 禾赛科技等，万和证券研究所

激光雷达技术差异大，暂无标准化且量化的车规级准入标准，新进入企业即使通过车规级认证，还需要经过下游汽车厂商长时间的测试和认证，才算达到“车规级”标准。一般而言，一个车规级元器件从发布到量产需经历器件规划→工程样片→量产→停产的生命周期。从器件规划到工程样片阶段，Tier2 制定规划 (Roadmap)，并经与 Tier1 及 OEM 调研后进行产品开发设计，一般需 1 年以上时间；从工程样片到量产阶段，Tier2 厂商一方面需获取车规认证，满足量产基准要求，此过程约 1 年以上时间，另一方面需同步推进下游验证，Tier2 先向 Tier1 提供免费工程样片满足其预研 (advance) 项目设计导入，此阶段需要 1 年以上时间，接着 Tier 2 提供量产芯片/元件，Tier 1 用其进行 DV (Design validation 设计验证)，最后采用新器件的 Tier 1 的项目 SOP (Start Of Production，代表具有大批量成熟生产工艺的产品件)，OEM 采用此 Tier 1 产品的车型也同步量产，此过程也需 1 年以上时间；从量产到停产阶段，一般能够保持 10-15 年的稳定供货时间。

参照以上流程，我们可以将激光雷达产品的车规级定义为满足如下四个条件：1、产品所采用的所有电子元器件获得车规级认证 (AEC-Q 系列认证)；2、产品满足汽车电子设计开发要求；3、产品满足大型车企测试要求；4、产品实现批量前装。

图 25 汽车产业链新的元器件导入项目流程

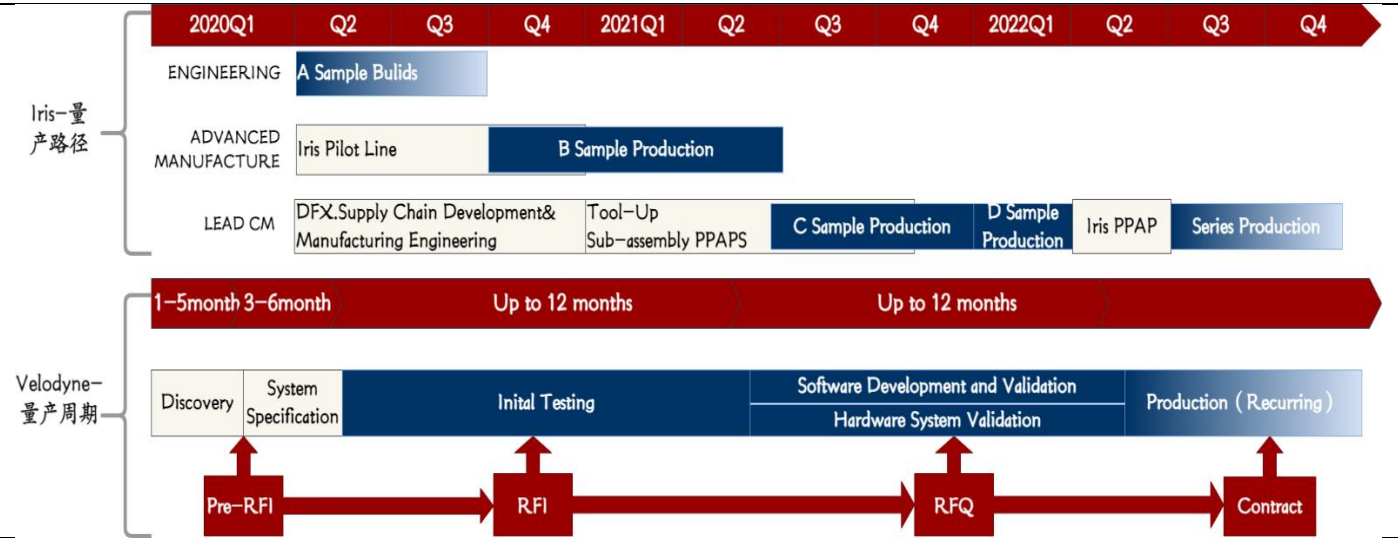


资料来源：九章智驾，万和证券研究所

全产业链深度合作加快激光雷达上车进程。从激光雷达的实际上车流程来看，参照 Velodyne、Luminar 和速腾聚创梳理，激光雷达厂商需经历 Pre-RFI（提前信息获取）→RFI（信息获取）→RFQ（报价获取）→Production Contract（生产订单）四个阶段，仅考虑 Pre-RFI 到 Production Contract 阶段，激光雷达厂商需提供 Demo、A 样、B 样、C 样…、SOP 等多次样品迭代，一般而言 Demo 和 A 样属于原型样件，主要是用于基本功能的验证和工程测试，B 样属于产品研发主要阶段，持续时间长，决定产品绝大部分功能设计，一般并引入样板线，C 样代表采用量产工艺的试生产样件，已通过相应的可靠性验证，将对生产工艺持续改进；SOP 代表具有大批量成熟生产工艺的产品件。

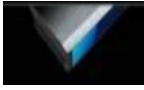
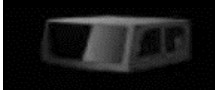
Velodyne 预测整个流程可能会长达两年多，若加上前期调研及立项，还有 4 月-1 年的时间；Luminar 规划的 IRIS 激光雷达从工程研发到批量生产也历时两年半。而要完成这样的流程，传统的整车厂、Tier1、Tier2 这样链式的供应商关系已经不足满足，激光雷达产业链正走向深度合作，比如 Innovusion 与上游供应商之间是在产品研发环节就进行不断的磨合，与下游整车厂蔚来在整个开发过程中，就互相进行了资金以及资源的协调，使得激光雷达的产品性能与上车速度提升更快。

图 26 Velodyne 和 Luminar 量产周期范例



资料来源：Velodyne，Luminar，万和证券研究所

表 11 速腾聚创从 Demo 到 SOP 各阶段测试内容示范

产品版本		Demo	A-Sample	B1-Sample	B2-Sample	SOP
						
产品完成度		原型	30%	50%	70%	100%
硬件	光机设计	原型	原型	架构冻结	尺寸优化、设计优化	尺寸优化、设计优化 DFA 优化完成 产品性能验收完成
	硬件设计	原型	原型	核心器件选型	方案冻结	产品问题整改完毕 DFM 优化完成 系统固件冻结
	产品认证	×	×	×	人眼安全认证 Class-1 ROHS	人眼安全认证 Class-1 ROHS/FCC/CE/REACH
点云质量	产品功能 (点云)	基于机械式 know-how		完成度: 40%	完成度: 80%	完成度 100%
	道路测试	×	×	累计里程 (KM): ~10K	累计里程 (KM): ~200K	累计里程 (KM): ~1M 覆盖国家: 4 个
软件	产品功能 (配套功能)	×	×	×	脏污检测 (Demo) 性能检测 (Demo) 自动标定 (Demo)	窗口片加热、脏污检测 性能监控、自动标定 状态机控制 网络管理/电源管理
	软件开发	×	×	软件架构搭建完毕	时间同步 PPS 通讯 (自研) 诊断 (自研)	时间同步 PPS+PTP AutoSAR 4.X w/ gPTP BootLoader OTA
	系统测试	×	×	测试用例覆盖度: 30%	测试用例覆盖度: 65%	测试用例覆盖度: 100%
	功能测试	×	×	测试用例覆盖度: 10%	测试用例覆盖度: 50%	测试用例覆盖度: 100%
	功能安全 认证	×	×	功能安全启动	功能安全覆盖度: 60%	功能安全覆盖度: 100% 功能安全认证: ASIL-B (D)
可靠性	可靠性测试	×	×	摸底测试完成	Pre-DV 完成	DV/PV 完成

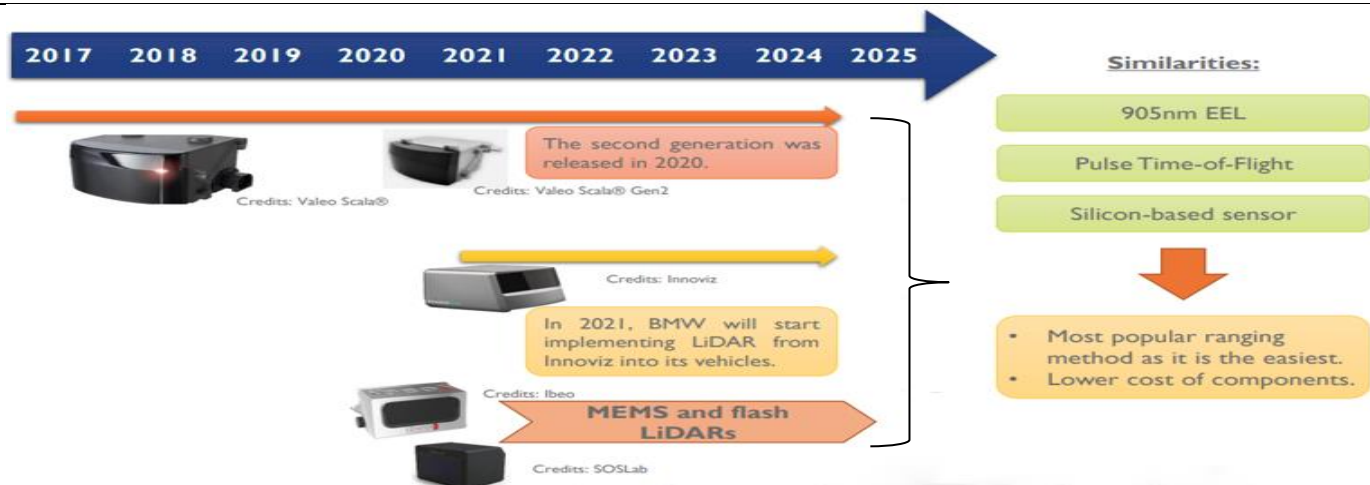
资料来源: 速腾聚创, 万和证券研究所

关注实际交付进度, 优先选择成熟度高的 905nm 波长、ToF 测距方式的转镜/MEMS 方案

初期上车阶段, 优先选择成熟度高的转镜/MEMS 方案。Yole 预测从 2018 年到 2025 年, 在硬件配置上 ToF-905nm 激光雷达是技术主流, 大部分 ToF 激光雷达产品采用分立器件, 即发射端使用边发射激光器 (Edge Emitting Laser, EEL) 配合多通道驱动器、接收端使用线性雪崩二极管探测器 (Avalanche Photodiode, APD) 配合多通道跨阻放大器 (Trans-Impedance Amplifier, TIA) 的方案; 在扫描方式上, 小范围上车主要考量能否过车规, 转镜和 MEMS 是选择度最高的方案。

车企量产落地的搭载激光雷达车型项目代表着不同激光雷达厂商的车规级能力和供应链成熟程度, 因此需要关注相关供应商交付情况, 从量产现状来看, Valeo 的 Scala 系列已经搭载奔驰车型量产落地, Innovusion 的猎鹰激光雷达也在 2022 年 1 月搭载蔚来 ET7 量产, Luminar、Ibeo、速腾聚创、禾赛科技、华为、大疆 Livox 均已具备乘用车项目定点订单, 这些企业多以 905nm 波长、ToF 测距方式的转镜/MEMS 方案为主, 已经在量产上车阶段显现优势。

图 27 激光雷达技术路线 2017-2025



资料来源：Lidar for Automotive Industrial Applications, yole2021, 万和证券研究所

表 12 主要半固态激光雷达交付进度

厂商	产品	类型	计划交付时间	预期价格	备注	部分意向合作厂家
Luminar	Iris	MEMS 半固态	2022Q3	\$1,000	1550nm	飞凡汽车
Innoviz	InnovizONE	MEMS 半固态	2021 年	\$1,000	905nm*4	宝马
Velodyne	H800	共振镜	未知	\$500	专有 MLA 阵列架构	福特、FF
速腾聚创	M1	MEMS 半固态	2021Q2	\$1,898	二维 MEMS, 已过车规	Lucid
镭神智能	LS20D	MEMS 半固态	未知	\$999	同时拥有 905nm 和 1550nm 产品	东风
禾赛科技	AT128	微转镜半固态	2022 年 H2	未知	已获百万台定点 搭载嵌入 VCSEL 自研车规级芯片	理想、集度、高合、路特斯
华为	未命名	微转镜半固态	2021 年	\$500	已过车规	极狐、长安
Livox	浩界 HAP	三棱镜半固态	2021 年	¥7999	已量产上车	小鹏、一汽
Innovusion	Falcon 猎鹰	微转镜半固态	2022 年 Q1	未知	1550nm 激光器, 已量产上车	蔚来
法雷奥	SCALA 2	微转镜半固态	2021 年	未知	已量产上车	奔驰

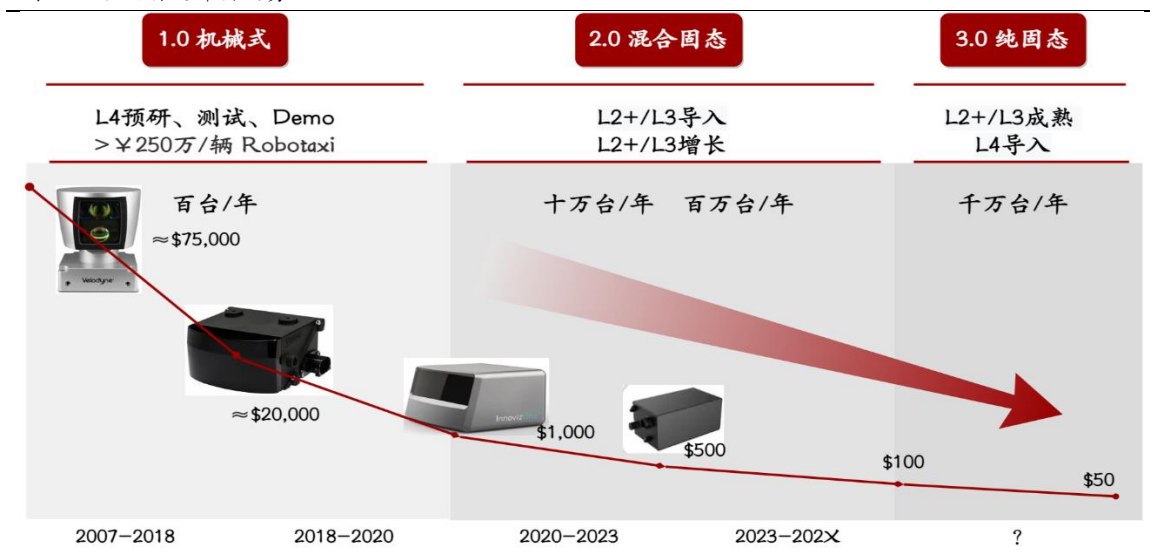
资料来源：AutoLab, 万和证券研究所

（三）量产要素：成本限制大范围推广，中长期 Flash/OPA 成发展趋势

“降本”是激光雷达从 1 到 N 阶段的关键

价格限制激光雷达上车，“降本”是中长期考量核心。早期成熟的无人驾驶技术方案都采用了 64 线机械式激光雷达，成本约在 7.5 万美元，第一款满足车规级的激光雷达 SCALA，第一代时的价格也达到 2 万美元级别，对应的车型都是百万级豪车的级别，对价格的宽容度很高，而由终端消费者买单的大量私家车，对价格敏感度则很高。根据盖世汽车行业调研，激光雷达要大规模量产，94%的被调研者接受的价格在 5000 元以下，可接受价格控制在 500 元以下的占比 25%，在 500-1000 元之间的占比 39%，在 1000-5000 元之间的占比 30%。当前 MEMS、转镜、棱镜类型激光雷达的成本普遍已降至 1000 美元左右，离规模量产仍有一定距离，预计到 2025 年部分固态产品才有望突破。

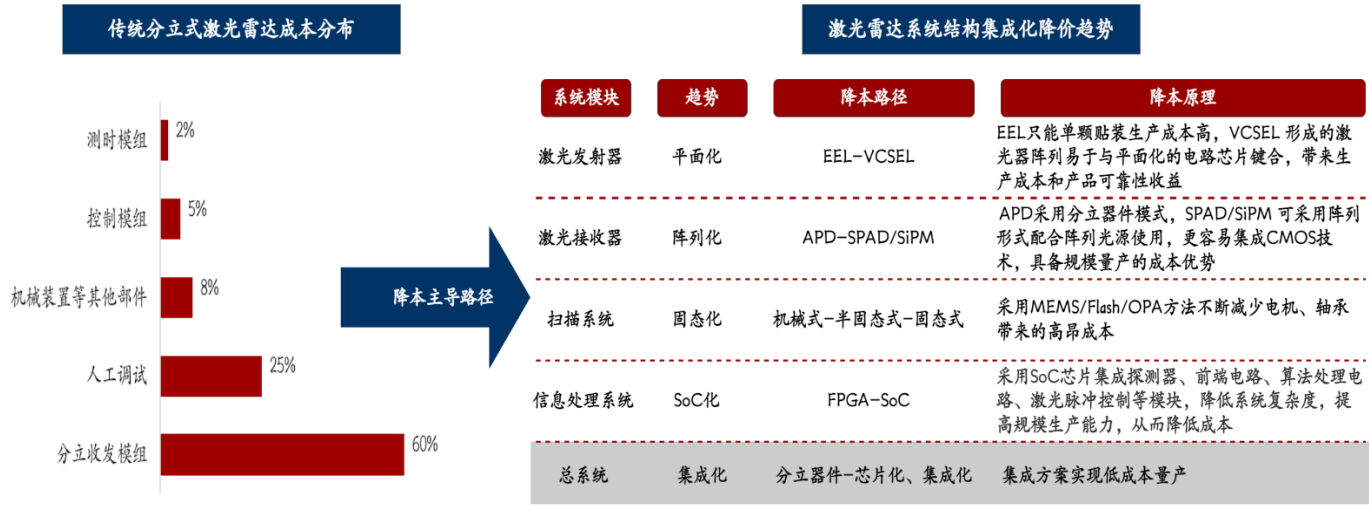
图 28 激光雷达降价趋势



降本路径清晰，核心在于产品结构的集成化。激光雷达是由多部件构成的光机电系统，拆解激光雷达成本结构，其中光电系统成本约占激光雷达整机成本的近七成，由激光雷达收发模组、测时模组、控制模组四部分构成。除此之外，人工调试和机械装置等其他部件分别占据总成本的 25% 和 8%。光电系统是激光雷达的主要成本，也是激光雷达降本的主要落脚点，我们总结激光雷达厂商的降本路径，主要分为系统结构的集成化、产业生态的国产化、产线生产的自动化和订单需求的规模化四个方向：

- ◆ **系统结构的集成化**：主要表现为收发端采用 VCSEL 光源+单光子探测器的组合方式，形成易于与平面化的电路芯片键合的收发阵列；扫描端固态化，采用 MEMS/Flash/OPA 方法不断减少电机、轴承带来的高昂成本；信息处理端使用集成芯片（SoC）逐步代替主控芯片 FPGA 的功能，基于成熟的 CMOS 工艺最终实现探测器、前端电路、算法处理电路、激光脉冲控制等模块结构的集成化、芯片化，以达到显著降低系统的尺寸和成本的目的。
- ◆ **产业生态的国产化**：目前激光雷达的上游玩家基本为海外厂商，像信息处理模块中的模拟芯片、主控芯片和收发端的激光器、探测器均主要由海外厂商所主导。在芯片端，以禾赛科技为代表的国内企业通过自研专用芯片和 SoC 片上系统芯片，实现更优的性能、更高的集成度、更低的生产成本；在接收端，国内已有厂商在激光器和探测器领域积极布局，未来可以通过产业生态的合作采购更低成本的国产化部件。
- ◆ **产线生产的自动化**：激光雷达生产精密度要求很高，大量生产时人工装调面临成本高、效率低的问题，通过对生产工序进行优化、并对生产工站进行自动化或半自动化改造，可以提高了生产效率并降低生产成本。
- ◆ **订单需求的规模化**：激光雷达最主要的舞台便是 L3 及更高阶的智能驾驶，现阶段激光雷达厂商订单规模在 10 万台左右，图达通预测过，当图达通年出货量在 10 万台时，成本将会下降到 1000 美金左右，速腾聚创也曾披露，如果订单规模达到 10 万-100 万台，则硬件价格可下探至 200-500 美元。由此可以预测到激光雷达的规模化生产将会带来其成本的大幅下降。

图 29 激光雷达产品结构集成化降价趋势



资料来源：汽车之家，禾赛科技招股说明书，万和证券研究所

大规模量产阶段，1550nm 波长、FMCW 测距方式的固态激光雷达成发展趋势

2025 年后激光雷达有望实现大规模量产。2025 年将会是 L3 级别智能驾驶车大规模量产应用的时间节点，届时激光雷达价格有望降至 500 美元左右，并最终推动激光雷达在乘用车上的大规模配置。Yole 预测 2025 年后，随着激光雷达的大规模量产和技术的逐步成熟，1550nm 波长、FMCW 测距方式的固态激光雷达方案将成为最终发展趋势。

图 30 激光雷达技术路线 2025-2030



资料来源：Lidar for Automotive Industrial Applications, yole2021, 万和证券研究所

表 13 主要半固态/固态激光雷达交付进度

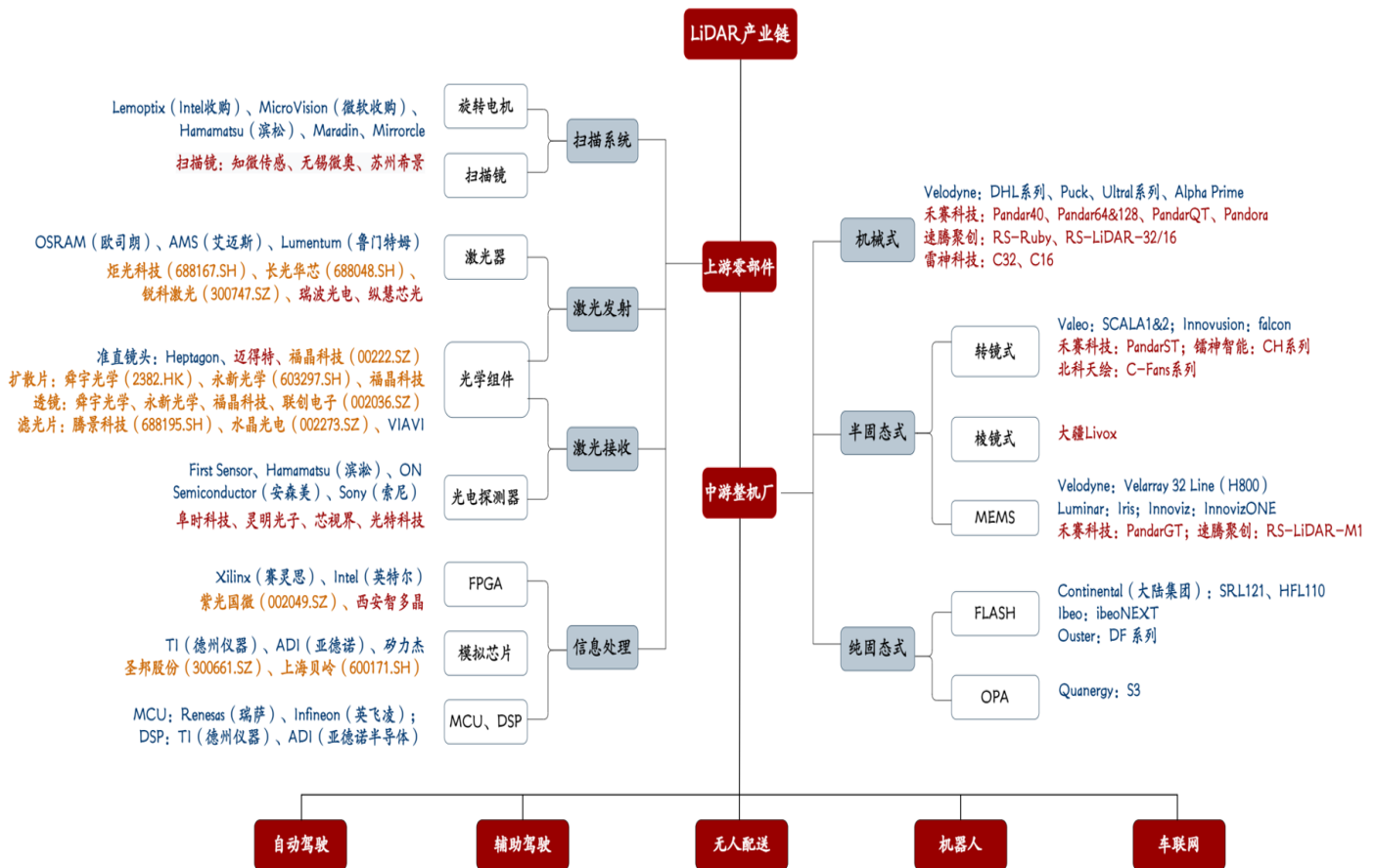
厂商	产品	类型	计划交付时间	预期价格	备注	意向合作厂家
Ouster	ES 2	FILASH 纯固态	2024 年批量生产	\$600	VCSEL+SPAD 1550nm 激光器	未知
Ibeo	NEXT	FILASH 纯固态	2021 年	未知	VCSEL+SPAD	长城 WEY
Quanergy	S3	OPA 纯固态	未知	\$250	S3 号称是全球首款固态 LiDAR	未知

资料来源：AutoLab, 万和证券研究所

四、产业格局：产业链日益成熟，国内厂商初露锋芒

产业链上下游共振，生态模式逐步成熟。车载激光雷达上游为光学和电子元器件，中游为激光雷达整机厂，下游主要由整车厂（ADAS 车企、Robotaxi/Robobus 自动出行服务商）和 Tier1 厂商组成。上游光电器件厂商的产品性能和成本不断改进，中游激光雷达主机厂技术路径快速迭代，共同推进激光雷达在车载市场的蓬勃发展。

图 31 激光雷达产业链



资料来源：汽车人参考，万和证券研究所整理

注：蓝色字体为海外公司，红色字体为国内公司，黄色字体为国内已上市公司

（一）上游：海外厂商耕耘已久，收发模块国产化可期

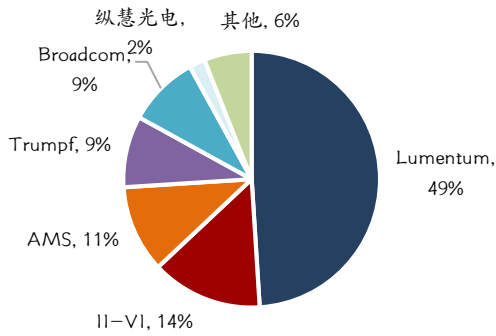
激光雷达上游环节较多，按光电器件可分为扫描部件、收发部件（激光器、探测器）、光学部件（准直镜、分束器、扩散片、透镜、滤光片）和信息处理部件（模拟芯片、FPGA），决定着激光雷达的性能、成本与可靠性。尽管当前整机厂商的激光雷达的路线方案各有不同，但在光电器件的选择上具备共性，因此能够与主流整机厂定点合作的上游光电器件厂商具备较高的成长确定性。

收发部件：国内已有布局，国产化替代可期。激光器和探测器是激光雷达重要收发部件，常年由海外大厂主导，近年来国内厂商开始布局。

发射端激光器代表企业包括国外的 OSRAM（欧司朗）、AMS（艾迈斯半导体）、Lumentum（鲁门特姆）等，其在消费电子市场耕耘已久，并迅速延伸至新兴的汽车领域并占据优势。国内企业主要有炬光科技（已上市）、长光华芯（已上市）、瑞波光电、纵慧光电等，相关产品性能已逐步接近海外水平，有望加速国产替代。Yole 数据显示，2019 年全球 VCSEL 市场 Lumentum 占据 49% 的市场份额，II-VI（贰陆集团）、AMS 分别以 14%、11% 的份额紧随其后，国内企业纵慧光电达到 2% 的占比。

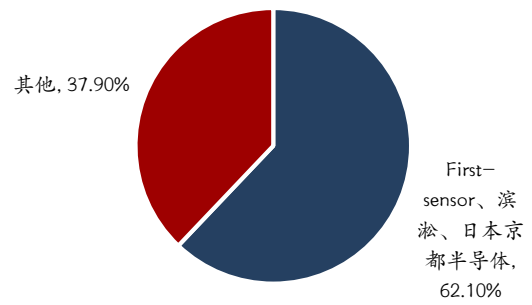
接收端探测器主要由 Hamamatsu（滨松）、ON Semiconductor（安森美）、Sony（索尼）等厂商布局并主导市场。国内供应商灵明光子（未上市）、宇称电子（未上市）、芯辉科技（未上市）已前瞻性地布局 SPAD、SiPM 等新技术。QYResearch 数据显示，2021 年全球 Si-APD 市场规模约 77.66 百万美元，预计 2028 年将达到 116.99 百万美元，复合增长率为 6.45%。其中，中国市场份额为 5.06%，日本为 35.26%，First-sensor、滨松和 Kyosemi Corporation（日本京都半导体）前三大厂商占有全球 62.10% 的市场份额。

图 32 2019 年全球 VCSEL 市场竞争格局



资料来源：华经产业研究院，万和证券研究所

图 33 2021 年全球 Si-APD 市场竞争格局



资料来源：QYResearch，万和证券研究所

表 14 主要激光器和光电探测器供应商

公司名称	产品技术方案	技术研发资质	客户资源
激光器			
II-VI	EEL、VCSEL、光纤激光器	贰陆集团是一家工程材料和光电器件生产商，主要从事高功率半导体激光芯片、器件、模块及直接半导体激光器的生产	中兴、腾讯、康宁。全球 VCSEL 公司市占率约 37%
Lumentum	EEL、VCSEL、光纤激光器	Lumentum VCSEL 是全球唯一通过 AEC-Q102 认证的 VCSEL 封装	华为、Ciena、苹果。全球 VCSEL 市场集中度极高，Lumentum 市占率约 42%
OSRAM	EEL、VCSEL	曾是西门子全资子公司，核心竞争力体现在传感技术和光源技术上	客户遍布全球近 150 个国家和地区
长光华芯 (688048.SH)	VCSEL	公司成立 VCSEL 事业部，已建立 VCSEL 产品包含外延生长、条形刻蚀、端面镀膜、划片裂片、特性测试、封装筛选和芯片老化的完整工艺线	创鑫激光、锐科激光。长光华芯单管芯片市占率全国第一
炬光科技 (688167.SH)	EEL、VCSEL；905nm、1550nm	炬光科技重点进行激光雷达发射模组（包含面光源、线光源）、激光雷达光源光学组件的研发生产	已与 Velodyne LiDAR、Luminar、自动驾驶公司 Argo AI 达成合作意向或建立合作项目，并与大陆集团签订约 4 亿元框架协议
锐科激光 (300747.SZ)	光纤激光器	光纤激光器领域位列全国第一、全球第二。公司已掌握包括泵浦源、特种光纤、光纤耦合器、传输光缆、功率合束器、光纤光栅等核心原材料的自制能力	比亚迪。锐科激光与下游客户也建立了紧密的合作关系，公司服务客户数量已达 1600 多家
创鑫激光	光纤激光器	国内首批成立的光纤激光器制造商之一，也是国内首批实现光纤激光器、光学器件两类核心技术上拥有自主产权并进行垂直整合的国家高新技术企业之一	创鑫激光 2021 年在国内光纤激光器市场份额 18.3%，排名第三
杰普特 (688025.SH)	VCSEL，光纤激光器	杰普特公司的硅光晶圆测试系统和 VCSEL 激光模组系统于 2018 年底研发成功，是国产 MOPA 脉冲激光器领军者	意法半导体、苹果、宁德时代、国巨股份
瑞波光电 (A 轮)	EEL	由深圳清华大学研究院、国内外技术专家共同创建的专业从事高端半导体激光器的研发和生产的高科技企业	海信、光迅科技。瑞波光电在国内部分细分市场占有率超过 30%
纵慧光电	VCSEL	中国第一家拥有自主知识产权的 VCSEL 芯片公司	华为。全球 ToF 传感器市场中，纵慧光电的 VCSEL 占比达到 32.65%
光电探测器			
索尼	SPAD	索尼的传感器研发能力全球闻名，在高感能力、高容度、视频能力上，具备优秀的性能	苹果、华为、尼康、富士。全球智能手机摄像头市场领头羊
安森美	SPAD\SiPM	安森美的产品 80% 是由自己制造的，因此对工艺、制造和产能有很好的把控，可以为客户提供长期稳定的供货保障	安森美进入汽车领域已有 20 多年的历史，有着较高的市场认可度。目前安森美的图像传感器产品在汽车市场拥有超过 50% 的市占率，在 ADAS 领域市占率甚至超过 70%
滨松光子	SPAD、SiPM	在激光雷达领域，滨松是世界上为数不多的可同时为车载激光雷达提供各类核心光学器件的企业	自 1953 年成立以来，滨松将超过 15000 种光电产品销售往全球，多种产品以其优质质量著称并享有高市占率
FirstSensor	SPAD、SiPM	超过 30 年光电探测器制造经验、核心竞争力在于芯片开发生产及微电子封装	英飞凌
光特科技 (B 轮追加)	APD	由国家级领军人才和多名省级领军人才创办的高科技光芯片公司，拥有多项业内领先的专利技术	2G 高速光芯片已基本完成客户送样测试，有望打入华为供应链
阜时科技	SPAD	具有完整的芯片设计、软硬件支持、核心算法开发等能力，已成功量产应用于一线厂商	2022 年初，公司成功拿到头部车企激光雷达厂商的 SPAD 芯片定制订单，目前已开始向客户批量交付芯片，也是目前全球为数不多有力量产车规级 SPAD 芯片的公司。
灵明光子 (C 轮)	SPAD、SiPM	灵明光子总部位于深圳南山，在上海张江设有研发中心，总人数 90+ 人，其中 10 余位拥有国外一流大学博士学位。	小米、OPPO、欧菲光
芯视界 (A 轮)	SPAD	在单光子直接 ToF (SPAD dToF) 技术和应用落地处于领先地位。	华为 3D dToF 供应商，宁德时代，比亚迪，歌尔微电子战略投资数亿美元

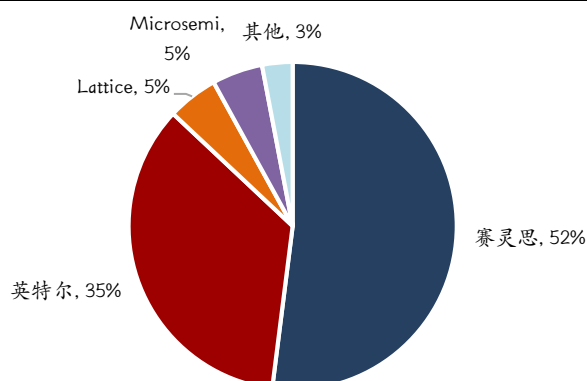
资料来源：盖世汽车，各公司官网，万和证券研究所

信息处理：海外垄断，国产差距较大。主要为信息处理部分的主控芯片和模拟芯片，基本由海外厂商垄断，国内厂商普遍还存在较大差距。

主控芯片一般采用 FPGA，由 Xilinx（赛灵思）、英特尔旗下 Altera、Lattice（莱迪思）三家海外厂商领跑，国内主要的供应商有安路科技、紫光国微（002049.SZ）等。

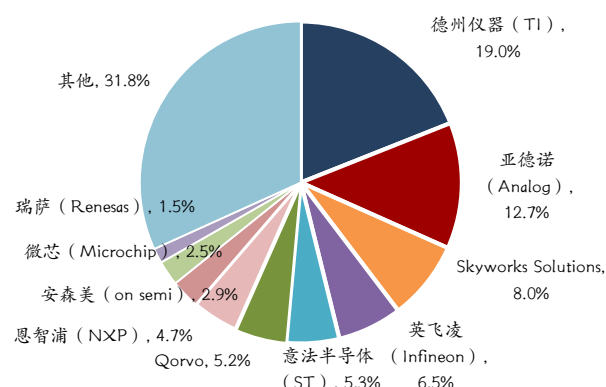
模拟芯片包括模数转换器、放大器等，用于激光雷达中的光电信号转换和发光控制，海外的 TI（德州仪器）、ADI（亚德诺）、skyworks（思佳讯）、Infineon（英飞凌）是行业领导者，国内模拟芯片供应商有富满微（300671.SZ）、上海贝岭（600171.SH）、华润微（688393.SH）、圣邦股份（300661.SZ）等，在车规级产品丰富度和技术水平上正在加速追赶。

图 34 2021 年全球 FPGA 芯片市场格局



资料来源：中商产业研究院，万和证券研究所

图 35 2021 年全球模拟芯片市场格局



资料来源：IC Insights，万和证券研究所

光学部件：技术成熟叠加成本优势，率先迎来发展机遇。激光雷达的光学部件主要应用于扫描系统以及收发单元，涉及的产品包括发射端的准直镜、扩散片、分束器，接收端的透镜、滤光片、分束器以及扫描端的扫描镜等，代表性厂商有舜宇光学科技（2382.HK）、炬光科技（688167.SH）、永新光学（603297.SH）、蓝特光学（688127.SH）、水晶光电（002273.SZ）、福晶科技（002222.SZ）、腾景科技（688195.SH）等。舜宇光学科技在激光雷达领域推出应用于收发端的镜头产品和多棱镜等核心零件，在 2021 年获得超过 20 个定点合作项目，其中 2 个项目已实现量产；炬光科技多项激光雷达发射模组和光学元器件项目正在同步进行，面光源的光束扩散器及高峰值功率固态激光雷达光源模块已于 2020 年进入量产阶段；永新光学先后与 Quanergy、禾赛、Innoviz、麦格纳、Innovusion、北醒光子等企业建立合作，获得定点合作项目超 10 家，2021 年度激光雷达业务收入超千万元；福晶科技配合华为开发激光雷达光学元件，目前实现小批量出货。

光学部件方面，激光雷达公司一般为自主研发设计，然后选择行业内的加工公司完成生产和加工工序，国内供应链的技术水平已经达到或超越国外供应链的水准，同时具备贴近下游市场的优势，在成本方面也更具竞争力，已经可以完全替代国外供应链和满足产品加工的需求，有望借激光雷达之东风率先收益。

图 36 舜宇光学科技激光雷达镜头产品



资料来源：舜宇光学科技官网，万和证券研究所

图 37 福晶科技晶体元件产品



资料来源：智福晶科技官网，万和证券研究所

表 15 主要激光器和光电探测器供应商

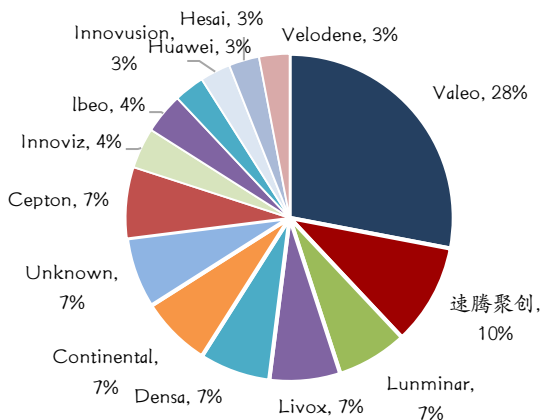
公司	代码	激光雷达相关产品	激光雷达业务
舜宇光学科技	2382.H	接收和发射镜头零组件、接收和发射模块、光学视窗及多棱镜等核心光学零件	在 2021 年获得超过 20 个定点合作项目，其中 2 个项目已实现量产
炬光科技	688167.SH	激光雷达面光源、激光雷达线光源、激光雷达光源光学组件（单（非）球面柱面透镜、光束转换器、光束准直器、光纤耦合器、光束扩散器）	与多家国内外知名的车载激光雷达行业头部客户开展了项目合作，在 2021 年成功获得一家国内知名激光雷达客户的项目定点，预计将于 2022 年 Q3 进入量产
永新光学	603297.SH	平面光学元件和专业成像光学部组件	在激光雷达方面，公司先后与 Quanergy、禾赛、Innoviz、麦格纳、Innovusion、北醒光子等企业建立合作，2021 年度获得定点合作项目超 10 家，激光雷达业务收入超千万元
蓝特光学	688127.SH	玻璃非球面透镜	公司玻璃非球面透镜产品在 2018 年开始布局激光器、激光雷达等应用领域
水晶光电	002273.SZ	车载激光雷达罩（玻璃基）	首家玻璃基激光雷达罩产品，走在市场前沿
福晶科技	002222.SZ	非线性光学晶体、激光晶体、精密光学元件和激光器件	与华为配合开发激光雷达用光学元件，激光雷达涉及的精密器件有小批量量产
腾景科技	688195.SH	光学滤光片	与下游知名企业建立了合作关系，包括光通信领域的 Lumentum、Finisar、华为、光迅科技、苏州旭创等

资料来源：Wind，各公司官网，万和证券研究所

（二）整机厂：百家争鸣，产业链协同铸就竞争力

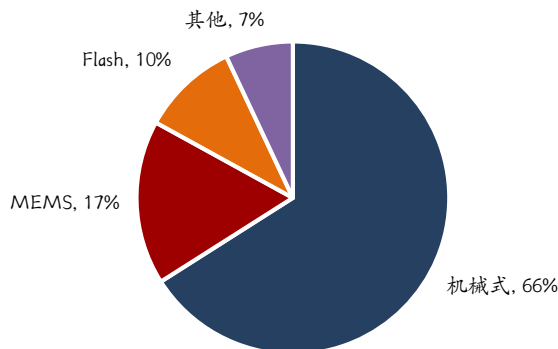
中游整机厂竞争激烈，市场格局百花齐放。当前激光雷达技术路径尚未收敛，仍处于发展阶段，正呈现出百花齐放的竞争格局。其参与方可分为两大类：一类是从机械式向半固态方案过渡的厂商，以 Velodyne、禾赛科技、速腾聚创为典型代表。早期面向 Robotaxi 或者智能驾驶实验场景，成为传统机械式激光雷达的先驱者，近年来开始推出半固态激光雷达，寻求在乘用车场景的应用；另一类是直接锁定半固态或纯固态的厂商，其中半固态的有 Valeo、Innoviz、Innovusion、Luminar、华为、镭神智能、大疆 Livox，全固态的有 Ouster、ibeo、大陆、Quanergy。

图 38 2021 年车载激光雷达市场份额（按公司）



资料来源：yole，万和证券研究所

图 39 2021 年车载激光雷达市场份额（按技术）



资料来源：yole，万和证券研究所

海外企业先行，国内厂商快速崛起。国外激光雷达产业起步较早，包括以老牌机械式激光雷达先行者 Velodyne、法雷奥、IBEO 及半固态/固态方案后起之秀 Luminar、Ouster、Innoviz 等。2020 年以来，随着 Velodyne、Luminar 等 8 家海外知名激光雷达公司分别通过 SPAC 合并上市，海外激光雷达产业随之进入更加成熟的阶段。国内激光雷达厂商后来跟上，主要有机械式激光雷达厂商禾赛科技、速腾聚创、北科天绘、雷神科技，采用 EMES 方案的一径科技、以及科技型企业大疆 Livox、华为。截止 2021 年 9 月，全球汽车与工业领域激光雷达市占率前三为法雷奥（28%）、速腾聚创（10%）、Luminar（7%），速腾聚创已获客户订单数位居全球第二。此外，国产化厂商大疆 Livox、华为、禾赛科技市占率分别为 7%、3%、3%。国内厂商快速崛起，有望在未来赶超海外厂商。

表 16 激光雷达海外公司上市情况汇总

企业	代码	上市时间	上市估值
Velodyne	VLDR.O	2020-10-01	18 亿美元
Luminar	LAZR.O	2020-12-4	34 亿美元
Aeva	AEVA.N	2020-2-27	21 亿美元
Quanergy	QNGY.N	2020-4-23	14 亿美元
Innoviz	INVZ.O	2020-6-29	14 亿美元
Ouster	OUST.N	2020-10-9	19 亿美元
Aeye	LIDR.O	2021-1-11	20 亿美元
Cepton	CPTN.O	2021-3-25	14 亿美元

资料来源：wind，万和证券研究所

主机厂与 OEM 和 Tier1 高度捆绑，产业链生态成为竞争关键。由于激光雷达技术不确定性高、产品测试周期长，为保障激光雷达稳定生产，下游车企和 Tier 1 供应商多采取投资的方式，与激光雷达厂商达成产品设计、测试、生产的高度捆绑，通过长期稳定的合作关系，形成较强的产业链协同性和竞争力，主机厂借助长期稳定的合作更能提前锁定订单，加快激光雷达上车速度，形成长期竞争优势。

表 17 主机厂与 OEM 和 Tier1 高度捆绑

地区	公司	OEM/Tier1 配套合作	产业投资
中国	禾赛科技	禾赛 AT128 已经获得超过全球数百万台的主机厂前装量产定点，有理想、集度、高合、路特斯等，将于 2022 年下半年在“麦克斯韦”超级工厂量产交付	百度、博世集团
	速腾聚创	2020 年 12 月全球首批车规级固态激光雷达 RS-LiDAR-M1 批量出货发往北美，目前速腾聚创已获 50 余款车型定点，定点合作伙伴包括一汽红旗、广汽、比亚迪、极氪、威马、路特斯、赢彻、挚途等	比亚迪、上汽、北汽、宇通等车企投资
	大疆 Livox	Livox HAP 已成功为小鹏汽车、一汽解放等商用车项目批量供货	

华为	搭载华为 96 线激光雷达的有极狐阿尔法 S HI、阿维塔 11、机甲龙、哪吒 S，目前未实现大规模量产交付	
镭神智能	镭神智能 CH128X1 已实现了东风悦享汽车的应用落地，同时也成为 Intel 路侧感知和路侧边缘计算解决方案的传感器硬件	
Velodyne	2010 年 Google（现称 Alphabet）开始了自动驾驶车辆道路测试，首个原型车上使用了 Velodyne Lidar 公司的 HDL-64E；2012 年与 Caterpillar 签订合同在 off-road vehicles 上应用激光雷达；2018 年宣布与 Hyundai Mobis（现代摩比斯）合作，专为乘用车设计以激光雷达为基础的高级辅助驾驶系统	福特、百度、尼康、现代
Luminar	2020 年 5 月，与沃尔沃汽车正式签署多年供应协议；2021 年 3 月，与上汽集团达成战略合作，将为 2022 年量产的 R 品牌纯电动车 ES33 提供激光雷达传感器及相应软件系统；2021 年 5 月，与小马智行联合发布一体式自动驾驶传感系统，搭载 Iris 系列激光雷达，计划到 2023 年完成上述自动驾驶系统量产。	丰田研究院、1517 Fund、Canvas Ventures 和 GVA Capital
Quanergy	Quanergy 目前已经和多家主要的汽车制造商和 Tier 1 供应商建立了深入的合作伙伴关系，包括 Daimler AG（戴姆勒集团）、Renault Nissan（雷诺日产）、Hyundai（现代）、Delphi（德尔福）、Sensata（森萨塔）等	Delphi（德尔福）、Samsung（三星）以及 Sensata（森萨塔）等
Innovusion	其图像级超远距激光雷达猎鹰（Falcon）已于 2022 年 3 月 28 日作为蔚来 ET7 自动驾驶超感系统的标配量产交付。	Gaorong Capital、蔚来资本和美国 F-Prime Capital 等
Valeo	2010 年与 ibeo 开始合作主导开发 SCALA1；2017 年 11 月份，SCALA1 搭载全球第一款真正实现 L3 级量产车辆奥迪 A8；2021 年 12 月宣布 SCALA2 将搭载于新款奔驰 S 级之上	
德国 Ibeo	2020 年 7 月，Ibeo 成为中国 SUV 和皮卡制造商长城汽车的全球首家量产固态激光雷达供应商。	采埃孚瑞声科技
以色列 Innoviz	2018 年被宝马选为激光雷达供应商；2019 年与 tier1 SAMSUNG、HARMAN 建立合作关系；2022 年 8 月 Innoviz 获大众 40 亿美元订单，宣布 2025 年开始量产	三星、软银亚洲投资、360 Capital Partners、深圳市创新投资集团、联新资本等

资料来源：各公司官网，万和证券研究所

五、投资建议

激光雷达作为 L3 级别智能驾驶的关键传感器，是汽车智能化弹性较大的赛道。根据当前车厂车型规划和激光雷达厂商进展情况，我们认为激光雷达行业具备了量产基础并有望在 2022-2023 年迎来向上拐点，行业现阶段的关注在于禾赛科技、速腾聚创、大疆 Livox、华为、Innovusion 等半固态厂商的订单定点及实际交付情况。

投资方面，产业快速成长期，上游确定性高，建议关注：1、已经涉足激光发射器、光电探测器领域并有所突破的公司，相关标的有炬光科技、长光华芯；2、光学部件方面，国内供应链价值量占比不低且技术水平成熟，有望借激光雷达之东风率先收益，相关标的有腾景科技、永新光学、水晶光电、福晶科技。

六、风险提示

智能驾驶推进节奏不及预期、激光雷达技术路线不确定、激光雷达需求/价格/规模测算不及预期等。

本公司具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格

证券投资咨询业务是指取得监管部门颁发的相关资格的机构及其咨询人员为证券投资者或客户提供证券投资的相关信息、分析、预测或建议，并直接或间接收取服务费用的活动。

证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

分析师声明：本研究报告作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确的反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

投资评级标准：

行业投资评级：自报告发布日后的 12 个月内，以行业指数的涨跌幅相对于同期沪深 300 指数的涨跌幅为基准，投资建议的评级标准为：

强于大市：相对沪深 300 指数涨幅 10%以上；

同步大市：相对沪深 300 指数涨幅介于-10%—10%之间；

弱于大市：相对沪深 300 指数跌幅 10%以上。

股票投资评级：自报告发布日后的 12 个月内，以公司股价涨跌幅相对于同期沪深 300 指数的涨跌幅为基准，投资建议的评级标准为：

买入：相对沪深 300 指数涨幅 15%以上；

增持：相对沪深 300 指数涨幅介于 5%—15%之间；

中性：相对沪深 300 指数涨幅介于-5%—5%之间；

回避：相对沪深 300 指数跌幅 5%以上。

免责声明：本研究报告仅供万和证券股份有限公司（以下简称“本公司”）客户使用。若本报告的接受人非本公司的客户，应在基于本报告作出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。本公司不因接收人收到本报告而视其为客户，与本公司无业务关系的阅读者不是本公司客户，本公司不承担适当性职责。

本报告由本公司研究所撰写，报告根据国际和行业通行的准则，以合法渠道获得这些信息。本报告基于已公开的资料或信息撰写，但不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告不能作为投资研究决策的依据，不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证，无论是否已经明示或者暗示。

本研究所将随时补充、更正和修订有关信息，但不保证及时发布。对于本报告所提供信息所导致的任何直接的或者间接的投资盈亏后果不承担任何责任。本报告版权仅为万和证券股份有限公司研究所所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。任何媒体公开刊登本研究报告必须同时刊登本公司授权书，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改，并自行承担向其读者、受众解释、解读的责任，因其读者、受众使用本报告所产生的一切法律后果由该媒体承担。本公司对于本免责声明条款具有修改权和最终解释权。

投资者应注意，在法律许可的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有本报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。

市场有风险，投资需谨慎。

万和证券股份有限公司

深圳市福田区深南大道 7028 号时代科技大厦西座 20 楼

电话：0755-82830333 传真：0755-25170093

邮编：518040 公司网址：<http://www.vanho.cn>