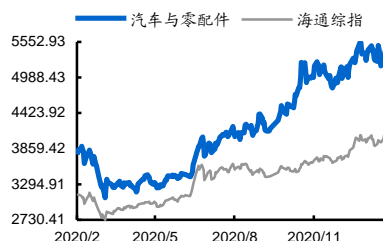


投资评级 优于大市 维持

市场表现



资料来源：海通证券研究所

## 相关研究

《特斯拉 20Q4 表现亮眼，国产 Model Y 放量可期》2021.01.29

《(更新) 软件定义汽车专题三：智能座舱，智能时代增量价值核心入口》2021.01.28

《2020 年 12 月汽车数据解读及投资展望：全年 V 型反转，增长势头有望延续》2021.01.26

分析师:杜威

Tel:(0755)82900463

Email:dw11213@htsec.com

证书:S0850517070002

分析师:周旭辉

Email:zxh12382@htsec.com

证书:S0850518090001

分析师:郑宏达

Tel:(021)23219392

Email:zhd10834@htsec.com

证书:S0850516050002

联系人:郑蕾

Tel:23963569

Email:zll12742@htsec.com

联系人:房乔华

Tel:021-23219807

Email:fqh12888@htsec.com

## 软件定义汽车专题四：自动驾驶竞争升级带动需求爆发，从技术角度看激光雷达

### 投资要点：

- **激光雷达，L3 级自动驾驶之眼。**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。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，因而被认为是 L3 级及以上自动驾驶必备的传感器。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，按照沙利文预计，2025 年激光雷达市场规模预计将达到 46.1 亿美元，2019 年至 2025 年复合增长率达 83.7%。

- **激光雷达结构拆分：发射/接收匹配，扫描多技术方案。**激光雷达系统可拆分成激光发射、扫描系统、激光接收和信息处理四个部分。1) 激光发射：波长影响激光功率，激光器是核心；2) 扫描系统：MEMS 渐成主力，Flash/OPA 纯固态方案值得期待；3) 激光接收：光电探测器是关键，目前主要有 APD、SPAD 和 SiPM 等；4) 信息处理：点云分割算法、目标跟踪与识别算法和 SLAM。

- **从信噪比看激光雷达技术发展趋势。**信噪比是衡量激光雷达性能最重要的参数之一，要提高激光雷达的信噪比，最简单有效的方法是：

- 1) 提高接收信号光功率：1550nm 波长+光纤激光器+InGaAs 接收器。

- 2) 提高探测器的量子效率：SiPM 和 SPAD 正成为新兴的激光雷达探测器。

- 3) 采用相干探测方法：FMCW 的高灵敏性体现在其单光子探测和抗干扰能力。

- **投资建议。**我们认为，以特斯拉为代表的造车新势力在驾驶上给消费者带来了更“智能化”的体验，也将引领汽车行业 L3 级及以上自动驾驶的加速落地，而激光雷达被认为是 L3 级及以上自动驾驶的必备传感器，将深度受益汽车行业自动驾驶发展趋势。

- 1) **整车：**L3 级及以上自动驾驶极大丰富了用户的驾驶体验，自动驾驶选装、软硬件 FOTA 给整车企业带来新的利润增长空间，自动驾驶领域布局卡位良好、具备自研能力、响应速度更快的车企具备竞争优势。推荐吉利汽车、长城汽车、上汽集团、广汽集团、长安汽车，建议关注特斯拉、蔚来汽车、小鹏汽车、理想汽车等。

- 2) **激光雷达供应商：**激光雷达被认为是 L3 级及以上自动驾驶的必备传感器，将深度受益汽车行业自动驾驶发展趋势。建议关注禾赛科技、速腾聚创、镭神智能、华为、Livox 等。

- 3) **激光雷达产业链上游供应商：**激光雷达行业的上游产业链主要包括激光器和探测器、FPGA 芯片、模拟芯片供应商，以及光学部件生产和加工商等。建议关注炬光科技、安森美半导体等。

- **风险提示。**无人驾驶发展进度不及预期；激光雷达核心技术发展进度不及预期；芯片供应紧缺风险；全球贸易摩擦加剧的风险；汽车行业销量增长情况不及预期。

## 目 录

1. 激光雷达，L3级自动驾驶之眼.....	6
1.1 激光雷达被认为是L3级及以上自动驾驶必备传感器.....	6
1.2 全球L3级量产车快速开发中，国内激光雷达加速上车.....	7
2. 核心技术解析：发射/接收匹配，扫描多技术方案.....	9
2.1 激光雷达结构拆分.....	9
2.2 激光发射系统：波长影响激光功率，激光器是核心.....	9
2.3 激光扫描系统：MEMS渐成主力，Flash/OPA纯固态方案值得期待.....	10
2.3.1 机械式激光雷达.....	10
2.3.2 MEMS激光雷达.....	11
2.3.3 Flash激光雷达.....	11
2.3.4 OPA激光雷达.....	12
2.4 激光接收系统：光电探测器是关键.....	12
2.5 信息处理系统：车载激光雷达的三类应用算法.....	14
3. 从信噪比看激光雷达技术发展趋势.....	14
3.1 提高接收信号光功率：1550nm波长+光纤激光器+InGaAs接收器.....	15
3.2 提高探测器的量子效率：SPAD和SiPM探测器.....	16
3.3 采用相干探测方法：FMCW调频连续波.....	16
4. 激光雷达行业竞争格局梳理.....	17
4.1 国内国外齐开花，技术路线各有千秋.....	17
4.2 华为大疆入场，加速激光雷达降本趋势.....	19
5. 投资建议.....	21
风险提示.....	21

## 图目录

图 1	特斯拉 Autopilot 核心传感器情况 .....	6
图 2	激光雷达三维点云建模 .....	7
图 3	禾赛科技 Pandar64+PandarQT 点云图 .....	7
图 4	Luminar 激光雷达将无缝集成于未来沃尔沃汽车的车顶 .....	7
图 5	Luminar 激光雷达高速公路感知 .....	7
图 6	蔚来 ET7 外观完美融合自动驾驶感知硬件 .....	8
图 7	蔚来 ET7 搭载 Innovusion 超远距高精度激光雷达 .....	8
图 8	小鹏与大疆孵化的 Livox 览沃科技达成合作 .....	8
图 9	激光雷达能提高自动驾驶在弱势场景下的综合体验 .....	8
图 10	长城咖啡智驾实现感知冗余——多源异构传感器方案 .....	8
图 11	长城智能驾驶战略升级发布会 .....	8
图 12	激光雷达结构拆分 .....	9
图 13	EEL 和 VCSEL 激光器图解 .....	10
图 14	Velodyne HDL-64E 激光雷达 .....	10
图 15	机械式激光雷达结构图 .....	10
图 16	Livox 览沃棱镜式激光雷达 Mid-40 .....	11
图 17	Mid-40 扫描图 .....	11
图 18	MEMS 微振镜工作示意图 .....	11
图 19	MEMS 激光雷达工作原理 .....	11
图 20	LeddarTech 3D Flash 激光雷达概念图 .....	12
图 21	OPA 芯片体积小 .....	12
图 22	OPA 激光雷达旁瓣效应 .....	12
图 23	盖革模式示意图 .....	13
图 24	SiPM (MPPC) 工作原理 .....	13
图 25	非相干激光雷达的信噪比 SNR 方程 .....	15
图 26	相干激光雷达的信噪比 SNR 方程 .....	15
图 27	Luminar 激光雷达产品与 OEM 要求、竞争对手对比 .....	15
图 28	SPAD 和 SiPM (MPPC) 分辨率对比 .....	16
图 29	SPAD 和 SiPM (MPPC) 信噪比对比 .....	16
图 30	FMCW 激光雷达的视线原理图 .....	17

图 31	不同型号激光雷达在多个距离对同一辆轿车进行探测的点云数目对比图 .....	18
图 32	华为 96 线中长距激光雷达 .....	19
图 33	华为激光雷达多线程微振镜激光测量模组 .....	19
图 34	华为激光雷达光路图 .....	19
图 35	浩界 Horizon 与 Horiz 点云质量对比 .....	20
图 36	Livox 激光雷达非重复扫描方式和 Mid-40 参数 .....	20
图 37	Livox Mid-40 产品探测距离和 FoV 参数 .....	20
图 38	Livox 高性价比工业级激光雷达仅售 3999 元起 .....	20

## 表目录

表 1	车载传感器优缺点对比 .....	6
表 2	激光雷达常用探测器简介 .....	13
表 3	滨松激光雷达探测器产品参数对比 .....	13
表 4	车载激光雷达应用算法 .....	14
表 5	激光雷达技术方案 .....	18

# 1. 激光雷达，L3 级自动驾驶之眼

## 1.1 激光雷达被认为是 L3 级及以上自动驾驶必备传感器

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。特斯拉环绕车身共配有 8 个摄像头，视野范围达 360 度，对周围环境的监测距离最远可达 250 米。12 个新版超声波传感器作为整套视觉系统的补充，可探测到柔软或坚硬的物体，传感距离和精确度接近上一代系统的两倍。增强版前置雷达通过发射冗余波长的雷达波，能够穿越雨、雾、灰尘，甚至前车的下方空间进行探测，为视觉系统提供更丰富的数据。

图1 特斯拉 Autopilot 核心传感器情况



资料来源：高工智能汽车官方微信公众号，海通证券研究所

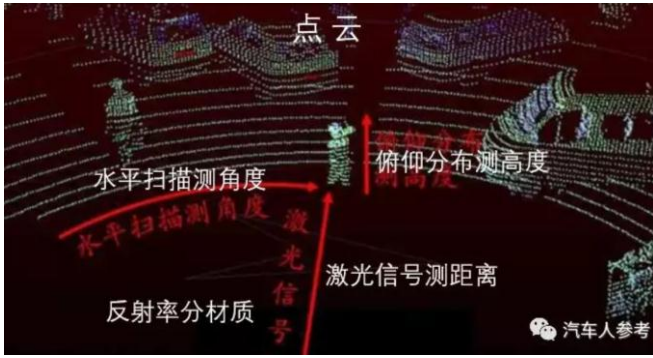
**激光雷达被认为是 L3 级及以上自动驾驶必备传感器。**激光雷达兼具测距远、角度分辨率优、受环境光照影响小的特点，且无需深度学习算法，可直接获得物体的距离和方位信息。这些相较于其他传感器的优势，可显著提升自动驾驶系统的可靠性，因而被大多数整车厂、Tier 1 认为是 L3 级及以上自动驾驶（功能开启时责任方为汽车系统）必备的传感器。

表 1 车载传感器优缺点对比

车载传感器	优点	缺点
超声波雷达	成本低	有效探测距离小于 5m，无法对中远距离物体进行测量
摄像头	具有优异的角度分辨率	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
毫米波雷达	同时测距和测速的功能，有效探测距离可达 200m	单颗车载毫米波雷达的角度分辨能力通常较弱，如 Continental(大陆)77GHz 高配版毫米波雷达 ARS 408-21 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

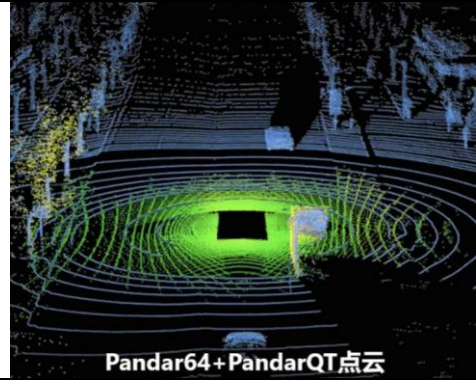
资料来源：禾赛科技招股说明书（申报稿），海通证券研究所

图2 激光雷达三维点云建模



资料来源：汽车人参考微信公众号，海通证券研究所

图3 禾赛科技 Pandar64+PandarQT 点云图



资料来源：禾赛科技招股说明书（申报稿），海通证券研究所

## 1.2 全球 L3 级量产车快速开发中，国内激光雷达加速上车

全球范围内 L3 级辅助驾驶量产车项目当前处于快速开发之中。BMW 预计在 2021 年推出具有 L3 级自动驾驶功能的 BMW Vision iNEXT；Mercedes-Benz 首款 L3 级自动驾驶系统将于 2021 年在新款 S 级车型上推出；Volvo 预计在 2022 年推出配备激光雷达的自动驾驶量产车型，实现没有人工干预情况下的高速行驶；Honda 计划于 2021 年在其 Legend 车型上提供 L3 级自动驾驶系统。

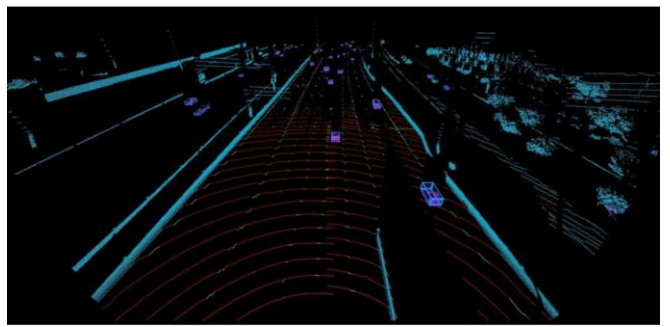
随着成本不断下探且达到车规级要求，激光雷达有望实现高速增长。考虑全球高级辅助驾驶项目的发展进度，2020 年及 2021 年 ADAS 领域激光雷达的销售主要仍由 SCALA 贡献。随着激光雷达成本下探至数百美元区间且达到车规级要求，未来越来越多高级辅助驾驶量产项目将实现 SOP；根据 Yole 的研究报告，至 2025 年全球乘用车新车市场 L3 级自动驾驶的渗透率将达约 6%，即每年将近 600 万辆新车将搭载激光雷达。激光雷达在高级辅助驾驶领域的市场规模将在未来 5 年里保持高速增长，按照沙利文预计，2025 年激光雷达市场规模预计将达到 46.1 亿美元，2019 年至 2025 年复合增长率达 83.7%。

图4 Luminar 激光雷达将无缝集成于未来沃尔沃汽车的车顶



资料来源：沃尔沃汽车集团官方微信公众号，海通证券研究所

图5 Luminar 激光雷达高速公路感知



资料来源：沃尔沃汽车集团官方微信公众号，海通证券研究所

蔚来 ET7 搭载 Innovusion 超远距高精度激光雷达。蔚来 ET7 搭载 33 个高性能感知硬件，定义量产车自动驾驶感知系统全新标准，包含 11 个 800 万像素高清摄像头、5 个毫米波雷达、12 个超声波雷达、1 个激光雷达、2 个高精度定位单元、1 个车路协同感知和 1 个 ADMS 增强主驾感知。其中，激光雷达为蔚来与 Innovusion 合作开发，最远探测距离达 500m，水平视角 120°，最高分辨率 0.06°×0.06°，采用 1550nm 安全激光，避开了人眼敏感的 900nm 波长，兼顾性能和他人安全。

**图6 蔚来 ET7 外观完美融合自动驾驶感知硬件**


资料来源：蔚来汽车官方微信公众号，海通证券研究所

**图7 蔚来 ET7 搭载 Innovusion 超远距高精度激光雷达**

# 500

超远距高精度激光雷达  
 与Innovusion合作开发, 500米最远探测距离  
 1.550nm安全激光 | 水平视角120° | 最高分辨率0.06° x 0.06°

资料来源：蔚来汽车官方微信公众号，海通证券研究所

**小鹏汽车将搭载 Livox 激光雷达。**小鹏汽车宣布与大疆孵化的 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，Livox 也正式成为小鹏汽车在激光雷达领域的首家合作伙伴。在本次合作中，Livox 览沃科技基于浩界 Horiz 车规级激光雷达平台为小鹏汽车进行了一系列定制化开发，最终提供的车规级量产版本在量程、FOV、点云密度等多个核心指标上都做到了业内领先水平。

**图8 小鹏与大疆孵化的 Livox 览沃科技达成合作**


资料来源：小鹏汽车官方微信公众号，海通证券研究所

**图9 激光雷达能提高自动驾驶在弱势场景下的综合体验**


资料来源：小鹏汽车官方微信公众号，海通证券研究所

**长城将搭载 ibeoNEXT 激光雷达，欲实现中国首个配置激光雷达的自动驾驶。**咖啡智驾搭载的全球首款能够真正量产的车规级高性能固态激光雷达，角分辨率达 0.05°\*0.07°，性能高出普通无人驾驶车型所采用的机械激光雷达 5 倍，配合毫米波雷达、摄像头、超声波雷达等配置带来全方位 360°双倍无死角覆盖。

**图10 长城咖啡智驾实现感知冗余——多源异构传感器方案**


资料来源：长城汽车官方微信公众号，海通证券研究所

**图11 长城智能驾驶战略升级发布会**


资料来源：车东西官方微信公众号，海通证券研究所

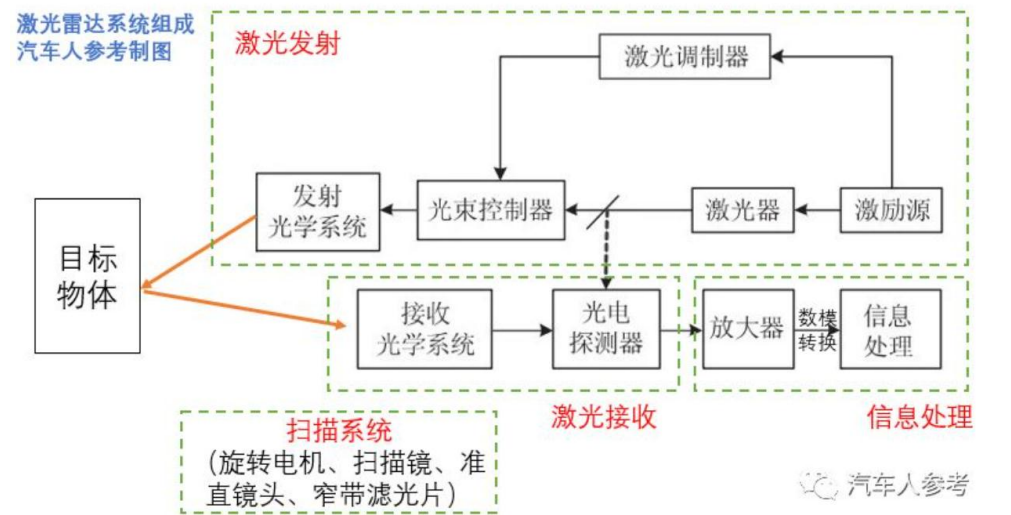


## 2. 核心技术解析：发射/接收匹配，扫描多技术方案

### 2.1 激光雷达结构拆分

激光雷达系统可拆分成激光发射、扫描系统、激光接收和信息处理四个部分。

图12 激光雷达结构拆分



资料来源：汽车人参考官方微信公众号，海通证券研究所

### 2.2 激光发射系统：波长影响激光功率，激光器是核心

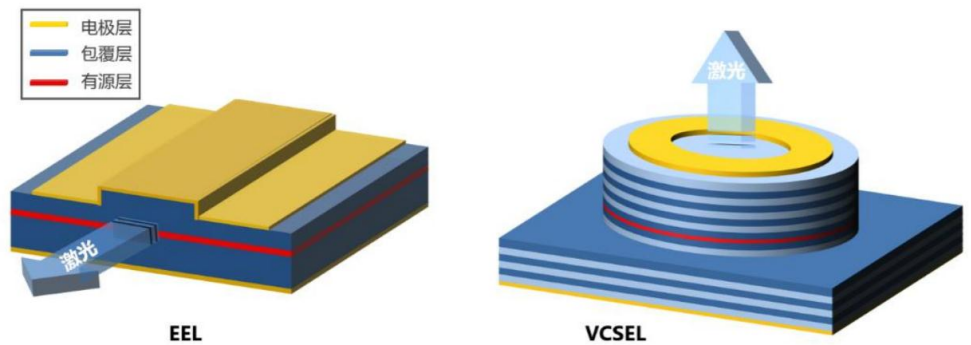
**基本原理：**激励源周期性地驱动激光器，发射激光脉冲，激光调制器通过光束控制器控制发射激光的方向和线数，最后通过发射光学系统，将激光发射至目标物体。

**激光波长：**激光最关键指标在于波长，一般会考量四个因素：人眼安全、与大气相互作用、可选用的激光器以及可选用的光电探测器。目前业内主流采用 905nm 和 1550nm 两种波长，905nm 波长适用的光电探测器比 1550nm 的更便宜，但 1550nm 对人眼安全性更高。针对于与大气相互作用，1550nm 吸水率比 905nm 更强，但 905nm 的光损失更少。

**激光器：**当前阶段重要有 EEL 激光器、VCSEL 激光器和光纤激光器等。

- **EEL 激光器：**EEL 作为探测光源具有高发光功率密度的优势，但 EEL 激光器因为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，极大地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：**垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 其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 激光器存在发光密度功率低的缺陷，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：**以掺有激活粒子的光纤为激光介质的激光器，通常以半导体激光器作为能量泵浦源 (以半导体激光器发出的光，泵浦光纤增益介质产生光)。

图13 EEL 和 VCSEL 激光器图解



资料来源：禾赛科技招股说明书（申报稿），海通证券研究所

## 2.3 激光扫描系统：MEMS 渐成主力，Flash/OPA 纯固态方案值得期待

### 2.3.1 机械式激光雷达

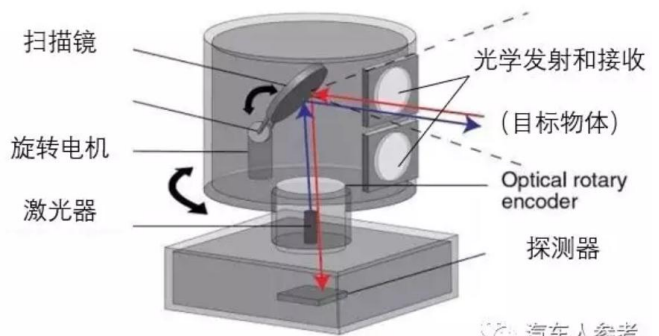
机械式激光雷达通过电机带动收发阵列进行整体旋转，实现对空间水平 360°视场范围的扫描。测距能力在水平 360°视场范围内保持一致。

图14 Velodyne HDL-64E 激光雷达



资料来源：Velodyne 官网，海通证券研究所

图15 机械式激光雷达结构图

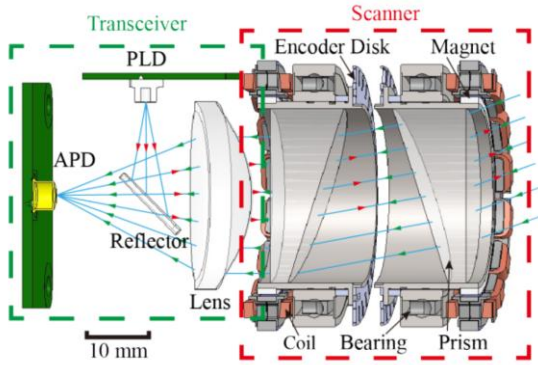


资料来源：汽车人参考官方微信公众号，海通证券研究所

**传统机械式激光雷达难以满足车规级要求。**传统机械式激光雷达，通过电机带动整个激光头做圆周运动，其扫描方式通常呈 360 度线式扫描。这种方式带来的直接后果是无论扫描时间多长，线与线之间总会有间隙，存在漏检物体的可能性。而更为糟糕的是，占整个雷达 70% 质量的重要部件，包括激光发射、接收等精密的电子器件，都在不停地一边运动，一边工作，这种机械运动以及旋转部件动平衡上的误差带来的磨损、振动等，大大降低了雷达的稳定性和可靠性。而且多线激光雷达这种转动的工作模式，若采用滑环设计会容易失效，而无线供电的方式则不够稳定，很难满足车规级别的应用场景。

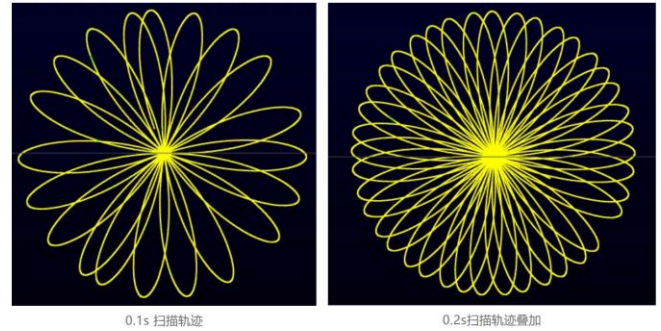
**Livox 推出棱镜式激光雷达，采用非重复扫描技术。**为避免上千个电子部件同时旋转，Livox 将所有的发射和接收部件移到稳定的后端，在前端只用两三个棱镜做高速纯光学扫描，在技术上为稳定性提供了可能。此外，Livox 的的点云特性覆盖率随时间不断增加，并且无需进行重复扫描。

图16 Livox 览沃棱镜式激光雷达 Mid-40



资料来源: Livox 览沃激光雷达官方微信公众号, 海通证券研究所

图17 Mid-40 扫描图



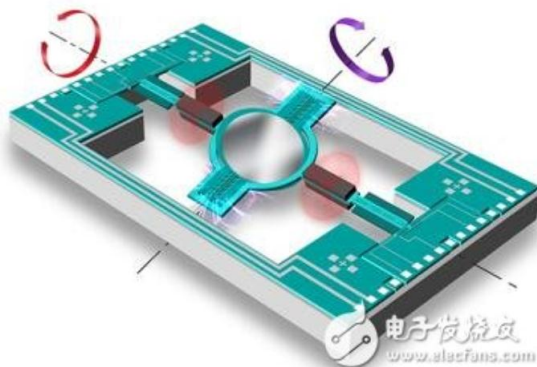
资料来源: Livox 览沃激光雷达官方微信公众号, 海通证券研究所

### 2.3.2 MEMS 激光雷达

MEMS 激光雷达通过硅基芯片上微振镜以一定谐波频率的振荡, 来反射激光器的光线, 从而以超高的扫描速度形成高密度的点云图。由此改变单个发射器的发射角度进行扫描, 形成较广的扫描角度和较大的扫描范围。

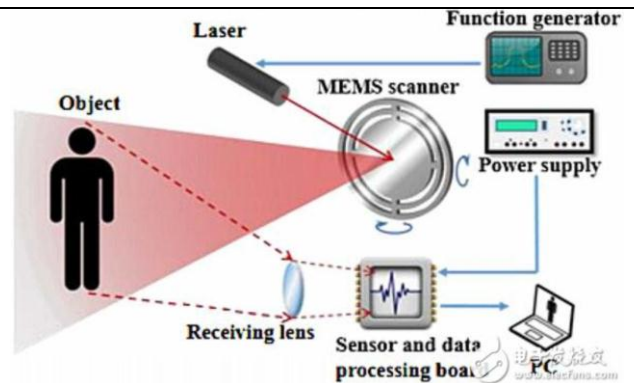
- **优点:** 其核心光束操纵元件为 MEMS 微振镜, 大大减少了激光雷达的尺寸, 减少激光器和探测器数量, 极大地降低成本, 具有高性能、稳定可靠、易于生产制造等优点, 兼顾车规量产与高性能的需求。
- **缺点:** MEMS 激光雷达并没有完全消除机械, 只是将扫描单元变成了 MEMS 微振镜, 仍然存在微振镜的振动, 所以它并不能算纯固态激光雷达, 而是混合固态雷达 (也称类固态/半固态雷达)。其光路较复杂, 微振镜结构会影响整个激光雷达的寿命, 激光功率较低, 信噪比较低、有效距离较短, 并且激光扫描范围受微振镜面积限制, 视野相对较窄。

图18 MEMS 微振镜工作示意图



资料来源: 电子发烧友官网, 海通证券研究所

图19 MEMS 激光雷达工作原理



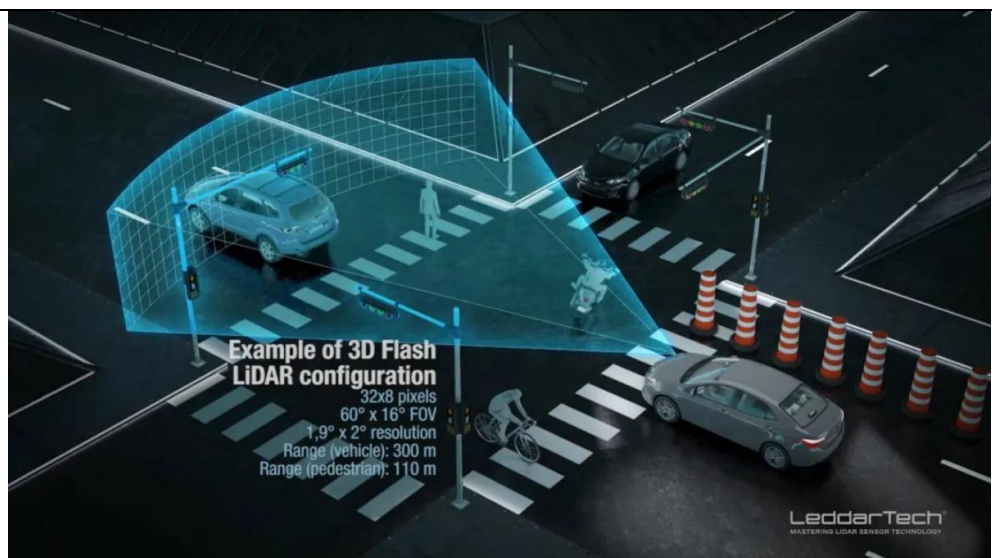
资料来源: 电子发烧友官网, 海通证券研究所

### 2.3.3 Flash 激光雷达

Flash 激光雷达, 指一次闪光 (激光脉冲) 成像的激光雷达, 在发射端采用面光源, 短时间发射出一大片覆盖探测区域的面阵激光, 再以高度灵敏的接收器, 来完成对环境周围图像的绘制, 它也是目前唯一的非扫描式激光雷达, 能够达到最高等级的车规要求。

这种激光雷达的缺点很明显, 功率密度太低, 导致其有效距离一般难以超过 50 米, 分辨率也比较低。要改善其性能, 需要使用功率更大的激光器, 或更先进的激光发射阵列, 让发光单元按一定模式导通点亮, 以取得扫描器的效果。

图20 LeddarTech 3D Flash 激光雷达概念图



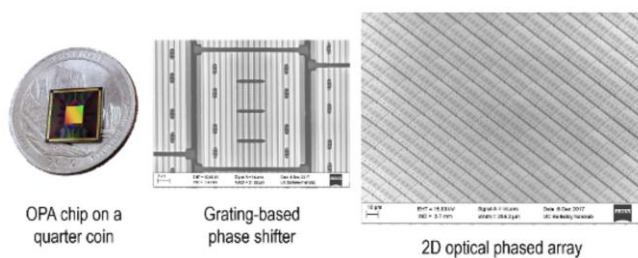
资料来源：LeddarTech，汽车商业评论官方微信公众号，海通证券研究所

### 2.3.4 OPA 激光雷达

OPA 激光雷达是运用相干原理，采用多个光源组成阵列，通过调节发射阵列中每个发射单元的相位差来改变激光的出射角度，通过控制各光源发射的时间差，可以合成角度灵活、精密可控的主光束，实现对不同方向的扫描。

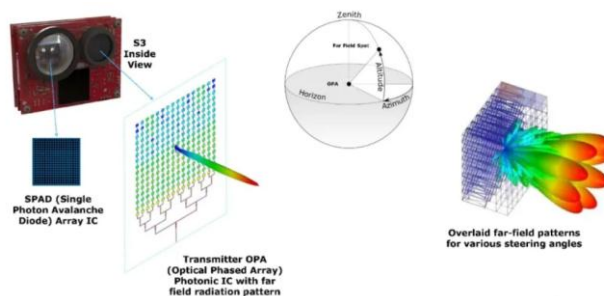
- 优点：这种固态激光雷达有着扫描速度快，精度高，可控性好，抗振性能好，体积小，量产一致性高，成本更低等优点。
- 缺点：OPA 激光雷达仍有易形成旁瓣效应，光信号覆盖有限、环境光干扰、测距较短等问题，而且加工难度较高。

图21 OPA 芯片体积小



资料来源：汽车商业评论官方微信公众号，海通证券研究所

图22 OPA 激光雷达旁瓣效应



资料来源：Quanergy，智车行家官方微信公众号，海通证券研究所

## 2.4 激光接收系统：光电探测器是关键

探测器指利用光电效应将光信号转化为电信号，实现对光信号进行探测的装置。目前激光雷达领域常用的探测器主要包括 APD、SPAD 和 SiPM 等。

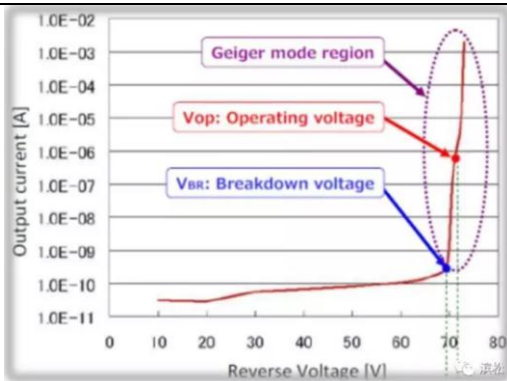
**表 2 激光雷达常用探测器简介**

探测器	简介
APD	Avalanche Photo Diode 的简称，即雪崩式光电二极管，工作在线性增益范围。
SPAD	Single Photon Avalanche Diode 的简称，即单光子雪崩二极管，工作在盖革模式，具有单光子探测能力。
SiPM	Silicon Photo-Multiplier 的简称，即硅光电倍增管。集成了成百上千个单光子雪崩二极管的光电探测器件。

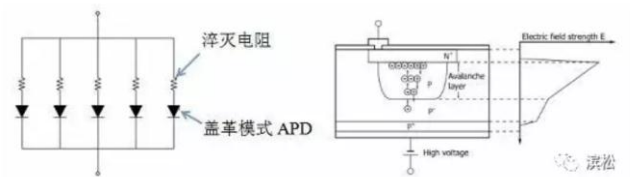
资料来源：禾赛科技招股说明书（申报稿），海通证券研究所

APD 是一种具有高速度、高灵敏度的光电二极管，当加有一定的反向偏压后，它能够对光电流进行雪崩放大。而 APD 的反向偏压被设定为高于击穿电压时，内部电场更强，光电流则会获得  $10^5 \sim 10^6$  的增益，这种工作模式就叫 APD 的“盖革模式”。

在盖革模式下，光生载流子通过倍增就会产生一个大的光脉冲，而通过对这个脉冲的检测，就可以检测到单光子。将盖革模式下的 APD 上连接一个淬灭电阻作为 1 个像素，就构成了 SiPM 的基本单元，而它输出的总和也构成了 SiPM 的输出，后则可根据该输出进行光子计数或者信号强度的测量。

**图23 盖革模式示意图**


资料来源：滨松官方微信公众号，海通证券研究所

**图24 SiPM（MPPC）工作原理**


资料来源：滨松官方微信公众号，海通证券研究所

**表 3 滨松激光雷达探测器产品参数对比**

	MPPC(SiPM)	SPAD	APD	PIN Photodiode	Hybrid Device (APD/Photodiode + TIA)
Gain	$10^6$	$10^6$	<100	None	<100
Range	Mid to Long	Mid to Long	Mid to Long	Short	Short to Long
Readout Circuit	Simple	complex	Complex	Complex	Simple
Cost	Low System Cost (Medium Detector Cost)	High System Cost (High Detector Cost)	High System Cost (High Detector Cost)	High System Cost (Low Detector Cost)	Low System Cost (High Detector Cost)
Design Complexity	Temperature compensation	Signal integrity and quenching circuit	Signal integrity & temperature compensation	Signal integrity	Complex, signal integrity or temperature compensation
Spectral Range	Up to 950 nm	Up to 1150 nm (Silicon) Up to 1700 nm (InGaAs)	Up to 1150 nm (Silicon) Up to 1700 nm (InGaAs)	Up to 1200 nm (Silicon) Up to 2.6 um (InGaAs)	Up to 1050 nm (Silicon) Up to 1600 nm (InGaAs)
Speed	Medium, limited by recovery time	Fast	Fast	Fast	Slow, limited by TIA
Operating Voltage	< 80 V	>150V	< 200 V	< 10 V	120 to 200 V
Dark Output/Noise	High Detector Noise (Low System Noise)	High Detector Noise	Low Detector Noise (High System Noise – Limited by amplifier)	Low Detector Noise (High System Noise – Limited by amplifier)	Low Detector and System Noise

资料来源：滨松官方微信公众号，新智驾，海通证券研究所

## 2.5 信息处理系统：车载激光雷达的三类应用算法

现有车载激光雷达应用算法都具有不同程度的局限性。首先，算法可靠性和实时性相互制约，二者难以同时满足；其次，算法多为针对某一特定场景开发，难以保证可移植性和稳定性。

场景的复杂性和多样性使得算法的研究异彩纷呈，呈现出多层次、多角度的多元组合态势。车载激光雷达应用算法可分为三类：点云分割算法、目标跟踪与识别算法、即时定位与地图构建算法（simultaneous localization and mapping, SLAM）。各类算法的合理选择使用将解决不同场景下的智能驾驶问题，其中点云分割算法是目标跟踪与识别的基础，目标跟踪与识别将实现对汽车周围障碍物运动状态和几何特征的判断，SLAM将实现汽车的精确定位与可通行路径规划。

表 4 车载激光雷达应用算法

类别	算法名称	关键技术	特点
点云分割	非模型投影法	地面投影法、虚拟像平面投影法	简单高效、不适用于复杂形体分割
	聚类法	K-means 聚类等	分割准确性高，较复杂
目标跟踪与识别	检测与跟踪	物体级检测与跟踪	实时性好，不适用于复杂环境
		格栅单元级检测与跟踪	跟踪精度高，计算效率低
	分类与识别	基于全球特征的目标分类与识别	识别速度快，受环境遮挡影响大
		基于局部特征的目标分类与识别	噪声不敏感，抗密度干扰性差
即时定位与地图构建	基于滤波器的 SLAM	扩展卡尔曼滤波器、Fast SLAM 等	较准确，不适用于大场景
	基于图优化的 SLAM	位姿图优化等	全局优化，对初始值要求高

资料来源：《光电工程》，《智能驾驶车载激光雷达关键技术与应用算法》，陈晓冬，海通证券研究所

## 3. 从信噪比看激光雷达技术发展趋势

信噪比，英文名称叫做 SNR 或 S/N (SIGNAL-NOISE RATIO)，又称为讯噪比。是指一个电子设备或者电子系统中信号与噪声的比例。

信噪比的计量单位是 dB。对于一张图像来说，计算信噪比可以按照  $20\lg(\text{信号}/\text{噪声})$  这个公式来计算，从公式可以看出信噪比应该越高越好。信噪比高，反应在画质上就是画面干净无噪点；信噪比低会使图像粗糙噪声多，画面发灰不通透，对比度不够。

信噪比是激光雷达系统中非常重要的设计指标，对探测距离、测距精度都产生重大影响。根据传感器技术官方微信公众号的介绍，激光雷达系统的信噪比 SNR 计算方程如下：

**图25 非相干激光雷达的信噪比 SNR 方程**

$$SNR = \frac{\eta_D P_S^2}{h\nu [2B(P_S + P_{Bk})] + K_1 P_{Dk} + K_2 P_{TH}}$$

**图26 相干激光雷达的信噪比 SNR 方程**

$$SNR = \frac{\eta_D P_S P_{L0}}{h\nu B [(P_S + P_{Bk} + P_{L0})] + K_3 P_{Dk} + K_4 P_{TH}}$$

资料来源：传感器技术官方微信公众号，海通证券研究所

资料来源：传感器技术官方微信公众号，海通证券研究所

其中， $\eta_D$ 是探测器的量子效率， $h$ 是普朗克常量， $\nu$ 是激光频率， $B$ 是电子带宽， $P_S$ 是接收信号光功率， $P_{Bk}$ 是背景光功率， $P_{Dk}$ 是探测器暗电流功率， $P_{TH}$ 是等效热噪声功率， $P_{L0}$ 是本振光功率。

因此，根据上述公式，要提高激光雷达的信噪比，最简单有效的方法是：1) 提高接收信号光功率；2) 提高探测器的量子效率；3) 采用相干探测方法。

### 3.1 提高接收信号光功率：1550nm 波长+光纤激光器+InGaAs 接收器

**1550nm 波长激光雷达加大信号光功率不会对人眼造成伤害。**目前市场上大部分的激光雷达都采用了近红外波段的 905nm 半导体激光器发射激光脉冲，然后记录反射光来创建汽车周围环境的点云图。但是，人眼内部对于 905nm 波长的光相当于“透明的”，因此采用 905nm 波长的激光雷达可以直射脆弱的视网膜。但是人眼对于 1550nm 波长的光则是不透明的，因而该波长的光无法投射到视网膜上，从而可以采用更高功率的激光雷达而不会对人眼造成伤害。

Luminar 利用 1550nm 激光器获得了 40 倍于 905nm 激光器的激光脉冲强度。超强的功率使其激光雷达的探测范围扩大了 10 倍，分辨率提高了 50 倍。

**图27 Luminar 激光雷达产品与 OEM 要求、竞争对手对比**

ONLY PLAYER MEETING ALL OEM REQUIREMENTS FOR AUTONOMY							
OEM Spec Requirement <sup>(1)</sup> (For Autonomy)	LUMINAR	Other lidar Companies					
		Company A (Product 1)	Company A (Product 2)	Company B	Company C	Company D	
Product Stage	Production	Series Production Ready	Test Vehicles (Robo-taxi)	Test Vehicles (Robo-taxi)	Delayed Series Production (ADAS)	Series Production (ADAS)	Test Vehicles (Robo-taxi)
Range Performance (at 5% reflectivity)	> 200m	> 250m	70m	22m	120m / 35m (Configurable)	35m	140m
Max Resolution (pts/deg <sup>2</sup> @ 10Hz)	> 200	> 300	45	3	25 / 100 (Configurable)	3	30
Field of View	>100° x 30°	120° x 30°	360° x 40°	360° x 30°	115° x 25°	145° x 3°	360° x 40°
Performance in Poor Weather	> 200m in Rain & Snow	Yes	No	No	No	No	No
Inference (Sunlight, Lidar)	None	None	Partially Blinded	Partially Blinded	Partially Blinded	Partially Blinded	Partially Blinded
Auto-Grade	Auto Grade Capable	Yes	No	No	Undemonstrated	Yes	No
Cost	Low BoM & Assembly Cost	1 Laser, 2 Receivers	128 Lasers, 128 Receivers	16 Lasers, 16 Receivers	6 Lasers, 6 Receivers	4 Lasers, 4 Receivers	64 Lasers, 64 Receivers
Commercial Perception Software	Yes	Yes	No	No	Basic Functions Only	Yes	No

Note: All data sourced from company spec sheets & physics. Based on Luminar's assessment of OEM RPs.

资料来源：Luminar，海通证券研究所

**1550nm 波长激光雷达需要采用光纤激光器，搭配 InGaAs 接收器。**硅基传感器对 1550nm 波长的激光没有响应，但室温下的铟镓砷 (InGaAs) 传感器可以。


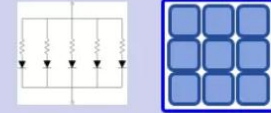


Luminar 在 2018 年收购了美国芯片设计商 Black Forest Engineering，后者一直专

注于研究高性能 InGaAs 接收器，可用于探测 Luminar 激光雷达系统所特有的 1550nm 波长激光。

### 3.2 提高探测器的量子效率：SPAD 和 SiPM 探测器

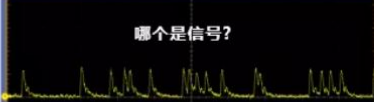
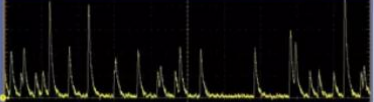

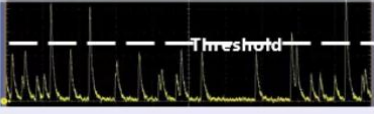
SiPM 和 SPAD 正成为新兴的激光雷达探测器。SiPM 和 SPAD 可探测距离超过 200m、5% 的低反射率目标，在明亮的阳光下也能工作，分辨率极佳，且尽可能小的光圈和固态设计实现紧凑的系统集成到汽车中，并极具成本优势。

图28 SPAD 和 SiPM (MPPC) 分辨率对比

	SPAD(Single Photon avalanche Diode)	MPPC(Multi Pixel Photon Counter)
<b>单点探测器</b>	 <p>单像素盖革模式探测器，像素尺寸小</p>	 <p>多像素盖革模式探测器，单通道尺寸大。</p>
<b>阵列型</b> e.g. 9×9 阵列	 <p>相同分辨率下，SPAD阵列的面积更小</p>	 <p>相同分辨率下，MPPC阵列的面积更大</p>

资料来源：滨松官方微信公众号，海通证券研究所整

图29 SPAD 和 SiPM (MPPC) 信噪比对比

	SPAD(Single Photon avalanche Diode)	MPPC(Multi Pixel Photon Counter)
<b>输出波形</b>	 <p>哪个是信号？</p> <p>输出脉冲信号幅值相同(= 相当于只输出 '0' 或 '1' 电平信号) →因此无法测量光强。</p>	 <p>脉冲高度是多级的(= 多像素输出的和) →能够测量光强。</p>
<b>信号与噪声的分辨方法</b>	 <p>SPAD阵列需要按照时间和空间相关度确认是否为信号</p>	 <p>MPPC通过设定阈值直接提取信号</p>

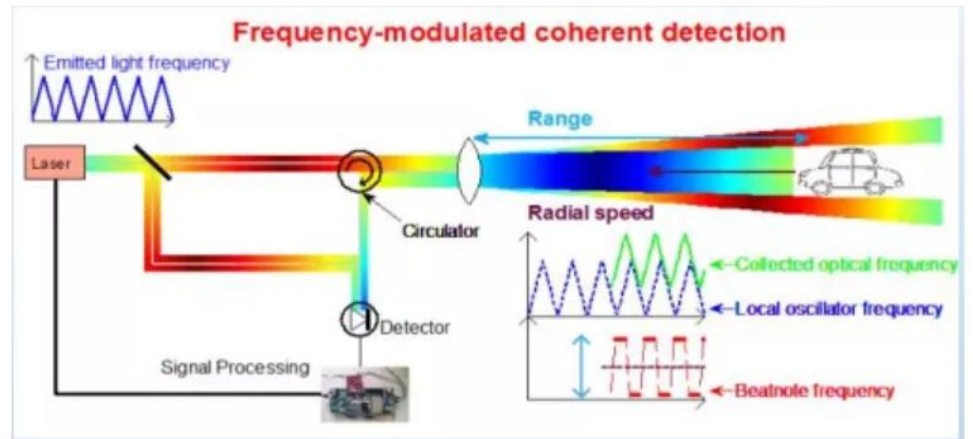
资料来源：滨松官方微信公众号，海通证券研究所

### 3.3 采用相干探测方法：FMCW 调频连续波

FMCW 激光雷达发射调频连续激光，通过回波信号与参考光进行相干拍频得到频率差，从而间接获得飞行时间反推目标物距离，同时也能够根据多普勒频移信息直接测量目标物的速度，其技术发展方向为利用硅基光电子技术实现激光雷达系统的芯片化。



图30 FMCW 激光雷达的视线原理图



资料来源: leaderobot 北京光勺科技官方微信公众号, 海通证券研究所

**FMCW 激光雷达的高灵敏性体现在它的单光子探测和抗干扰能力。**FMCW 在系统内预留了一部分激光作为参考激光, 用于与目标的回波激光进行混频, 通过混频就可实现对目标回波激光的放大, 但对自身发出的光信号不存在放大作用。从相干激光雷达的探测信噪比可以看出, 当参考激光功率足够大, FMCW 激光雷达就消除了热噪声、暗电流以及太阳背景光或其他光源的噪声影响, 使得 FMCW 激光雷达具备不受背景光干扰的单光子探测能力。

内置的参考激光另外一个优点是使得 FMCW 激光雷达噪声比较稳定, 其内部可控制的噪声使得 FMCW 激光雷达虚警概率约等于 0, 即每个点都是真实的目标点, 无假目标点。

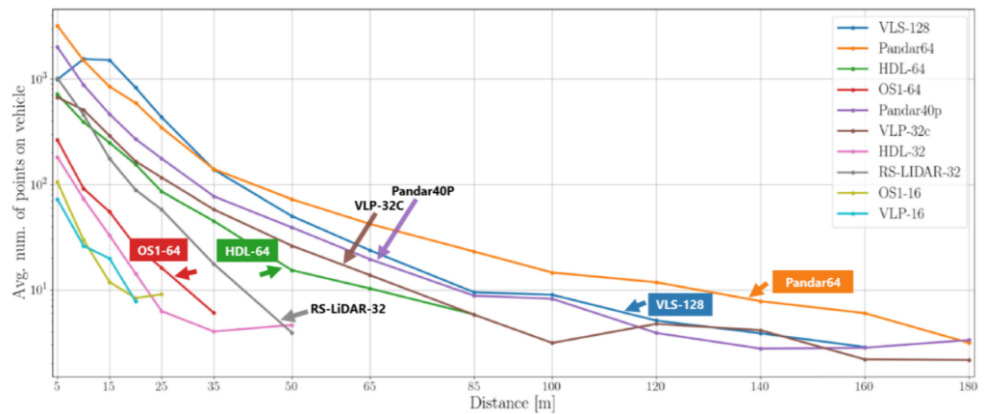
**FMCW 激光雷达可使用基于硅光技术的锗硅探测器, 成本更低。**目前 FMCW 激光雷达中的接收模块主要还是利用分立的平衡光探测器 (Balance Photo Detector, BPD) 阵列进行相干探测。使用基于硅光技术的锗硅探测器能够实现单片集成 BPD 阵列, 在保证接收模块器件一致性的同时, 可以和系统中其他硅基器件进行单片集成, 显著降低系统的尺寸和成本。

## 4. 激光雷达行业竞争格局梳理

### 4.1 国内国外齐开花, 技术路线各有千秋

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。

从技术选择路径和目标市场来看, 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, Luminar 选用 1550nm 光源和探测器而非市场主流的 905nm 光源和探测器, Aeva 选择 FMCW 而非市场主流的飞行时间法, Innoviz 通过采 MEMS 二维微振镜来实现激光扫描和接收, 通过减少激光器和探测器数量来降低成本, Ibeo 则选用 VCSEL 和 SPAD 面阵的纯固态激光雷达方案。

**图31 不同型号激光雷达在多个距离对同一辆轿车进行探测的点云数目对比图**


资料来源：CREST, OPERA, 禾赛科技招股说明书（申报稿），海通证券研究所

**表 5 激光雷达技术方案**

公司	技术路线	发展阶段	产品成熟度	市场地位及应用场景落地	生产规划
禾赛科技 中国	在售产品包括不同架构的机械旋转方案的多线激光雷达，其中 Pandar40P 和 Pandar64 发射端采用光纤排布的架构，QT 采用 VCSEL+单光子探测器的平面化架构，XT 采用禾赛 V1.0 的芯片化架构。深度布局激光雷达的芯片化架构，以应用于（半）固态和纯固态激光雷达产品	成立于 2014 年 10 月，已申请科创板上市	多线机械旋转雷达的多个产品已形成规模销售	产品广泛用于全球头部无人驾驶目，同时也服务于机器人及车联网领域	拥有自主产线，同时制定了自动化生产线及智能化工厂的发展路线
Velodyne 美国	在售产品主要为机械旋转方案的多线激光雷达；已发布（半）固态产品，技术方案未对外公布；已布局 ADAS 软件解决方案	2020 年 9 月完成 NASDAQ 上市，股票代码：VLDR	多线机械旋转雷达的多个产品已形成规模销售	从 2006 年到 2017 年一季度是多线数线激光雷达市场的最主要提供方。产品广泛应用于服务机器人、无人驾驶等领域	拥有自主产线，但逐渐转向第三方代工的模式。已与 Fabrinet、Nikon(尼康)、Veoneer(维宁尔)签署多年代工协议
Luminar 美国	产品使用 1550nm 激光器、InGaAs 探测器、以及扫描转镜；已布局算法感知软件方案	2020 年 12 月完成 NASDAQ 上市，股票代码：LAZR	市场上无公开批量售卖产品	当前产品面向无人驾驶和乘用车的测试及研发项目。与沃尔沃达成供应协议，用于 2022 年上市的自动驾驶系统	无公开资料
Aeva 美国	布局芯片化 FMCW 连续波调频激光雷达	计划 2021 年第一季度完成 NYSE 上市，股票代码：AEVA	市场上无公开批量售卖产品	当前尚无信息显示规模化应用。与奥迪自动驾驶子公司合作为乘用车提供传感器	2020 年宣布与 ZF 达成生产合作
Innoviz 以色列	发布产品为半固态方案，选用二维微振镜作为扫描器件；已布局感知算法解决方案	计划 2021 年第一季度完成 NASDAQ 上市，股票代码：INVZ	市场上无公开批量售卖产品	当前尚无信息显示规模化应用。与宝马达成供应协议，为 2021 年推出的 L3 量产车提供激光雷达	2017 年宣布与全球第三大代工厂 Jabii(捷普)合作，2018 年宣布与 Magna 合作宝马项目
Ouster 美国	在售产品为机械旋转式，采用 VCSEL 和 SPAD 阵列芯片技术；已布局纯固态方案	计划 2021 年上半年完成 NYSE 上市，股票代码：OUST	多线机械旋转雷达的多个产品已形成规模销售	中、近距离激光雷达的主要供应商之一。产品应用于服务机器人、无人驾驶等领域	无公开资料
Ibeo 德国	在售产品采用转镜方案；已发布基于 VCSEL 和 SPAD 阵列的纯固态产品	自 2016 年，德国 ZF 持有其 40% 股份	转镜方案的多线半固态激光雷达已形成规模销售；纯固态方案无公开批量售卖产品	与 Valeo 合作量产了世界首款车规级激光雷达 SCALA，由 Valeo 负责生产和销售，Ibeo 从中收取授权费用。SCALA 是目前在 ADAS 领域唯一在量产车上使用的多线激光雷达	无公开资料
速腾聚创 中国	在售产品主要为机械旋转方案和微振镜方案，同时销售激光雷达的环境感知算法解决方案	2018 年 10 月公布 3 亿元人民币战略融资，此前已完成 C 轮融资	多线机械旋转雷达的多个产品已形成规模销售	主攻机器人市场，是多线机械旋转雷达在国内机器人市场的主要供应商之一，同时具有半固态激光雷达产品	无公开资料

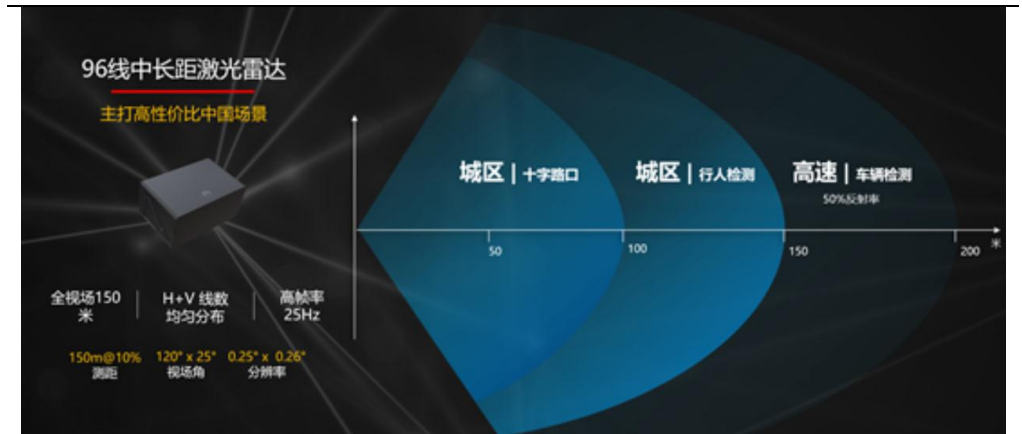
资料来源：禾赛科技招股说明书（申报稿），海通证券研究所

## 4.2 华为大疆入场，加速激光雷达降本趋势

基于场景分析，华为设计、开发了 96 线中长距激光雷达产品，可以实现城区行人车辆检测覆盖，并兼具高速车辆检测能力，更符合中国复杂路况下的场景。

- 大视野 120°x25°，应对城区、高速等场景的人、车测距诉求。
- 全视野中，水平、垂直线束均匀分布，不存在拼接、抖动等情况，形成稳定的点云对后端感知算法非常友好。
- 小体积，适合前装量产车型需求。

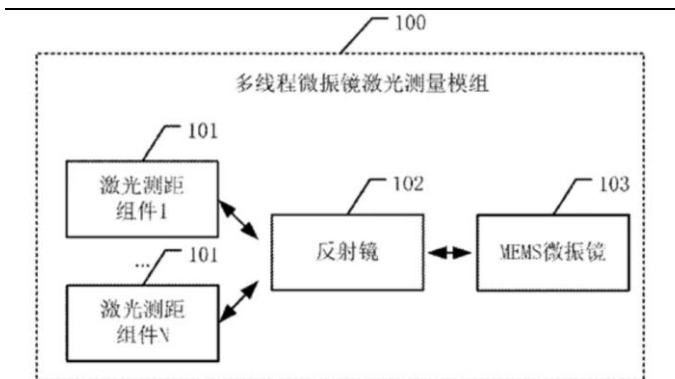
图32 华为 96 线中长距激光雷达



资料来源：华为智能汽车解决方案官方微信公众号，海通证券研究所

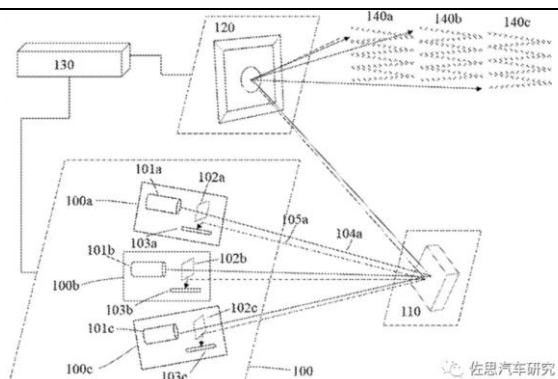
华为采用机械激光雷达的做法，采用多个发射和接收组件，而不是传统 MEMS 激光雷达那样只有一个，因为华为在光电领域产业庞大，规模效应突出，采购激光发射器和接收器的成本远比传统激光雷达要低。

图33 华为为激光雷达多线程微振镜激光测量模组



资料来源：佐思汽车研究官方微信公众号，海通证券研究所

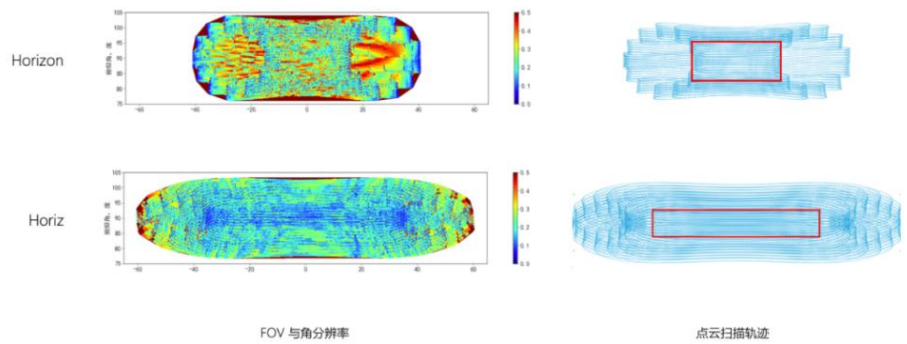
图34 华为激光雷达光路图



资料来源：佐思汽车研究官方微信公众号，海通证券研究所

**Livox 览沃科技与全球知名智能汽车品牌小鹏汽车正式达成合作。** Livox 将为小鹏汽车从 2021 年开始量产的全新车型提供车规级激光雷达技术。在本次合作中，Livox 基于浩界车载激光雷达平台为小鹏汽车进行一系列定制化开发，最终量产供货版本将实现行业领先的性能指标。其中，浩界车规版（Horiz）的探测距离将由公开测试版（Horizon）的 90 米提升至 150 米（针对 10% 反射率目标物），助力小鹏 XPILOT 自动驾驶辅助系统更加游刃有余地应对高速公路、城区道路等场景下远处障碍物的超前检测。

图35 浩界 Horizon 与 Horiz 点云质量对比

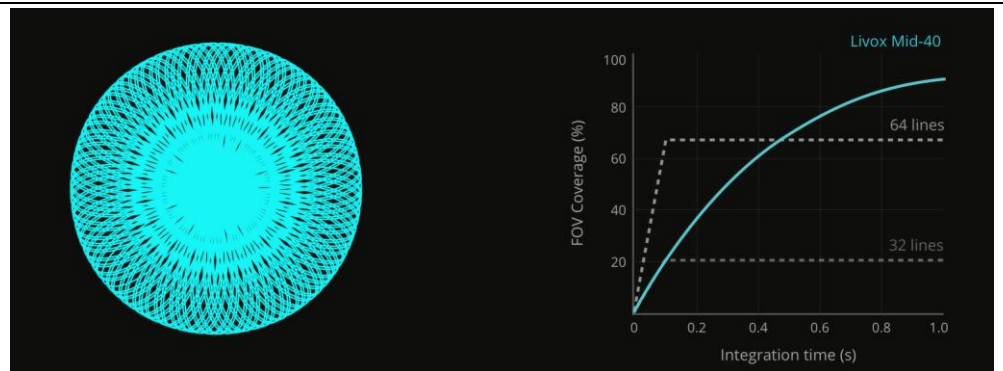


资料来源: Livox 览沃激光雷达官方微信公众号, 海通证券研究所

Livox 团队自 2016 年成立以来, 始终聚焦于可大规模量产的高性价比激光雷达技术方案的研究与产品化, 致力于打破激光雷达行业“价格高”、“难量产”、“可靠性低”三大瓶颈。Livox 团队经过 4 年潜心研发, 在智能硬件制造、全球供应链管理等方面已建立起强大优势, 并于 2020 年推出了一系列车载激光雷达新产品, 为激光雷达行业的量产化打开了新局面。Livox 具备了行业领先的制造能力, 在实践中积累了激光雷达精密制造面向规模化量产项目的宝贵经验, 为车规级前装市场的崛起铺平道路。

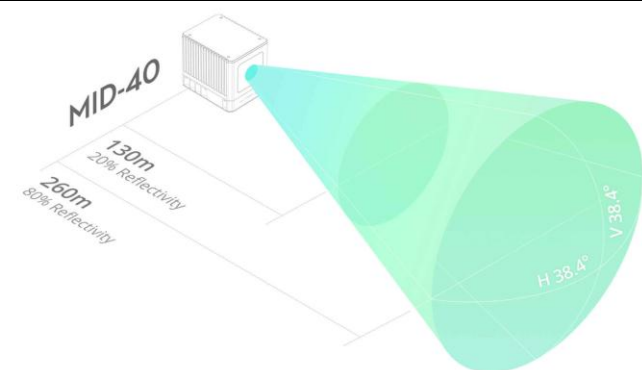
觅道 Mid-40 是 Livox 研发的高性价比激光雷达, 可探测远至 260 米的物体。独特的非重复采样策略, 助其精确探测视场中每个细节。而这一切都蕴含于小巧的机身中, 可轻松嵌入各种平台。Mid-40 现已实现大规模量产, 可立即供货, 助力移动机器人、园区物流、车路协同、测绘、安防等领域从小批量测试走向大规模应用。

图36 Livox 激光雷达非重复扫描方式和 Mid-40 参数



资料来源: Livox 官网, 海通证券研究所

图37 Livox Mid-40 产品探测距离和 FoV 参数



资料来源: Livox 官网, 海通证券研究所

图38 Livox 高性价比工业级激光雷达仅售 3999 元起



资料来源: Livox 官网, 海通证券研究所

## 5. 投资建议

我们认为，以特斯拉为代表的造车新势力在驾驶上给消费者带来了更“智能化”的体验，也将引领汽车行业 L3 级及以上自动驾驶的加速落地，而激光雷达被认为是 L3 级及以上自动驾驶的必备传感器，将深度受益汽车行业自动驾驶发展趋势。当前阶段激光雷达多技术共同发展，MEMS 激光雷达渐成主力，OPA 和 Flash 纯固态方案未来可期，随着激光雷达过车规和降本问题逐渐得到解决，激光雷达上车搭载有望加速。

1) **整车**：L3 级及以上自动驾驶极大丰富了用户的驾驶体验，自动驾驶选装、软硬件 FOTA 给整车企业带来新的利润增长空间，自动驾驶领域布局卡位良好、具备自研能力、响应速度更快的车企具备竞争优势。推荐吉利汽车、长城汽车、上汽集团、广汽集团、长安汽车，建议关注特斯拉、蔚来汽车、小鹏汽车、理想汽车等。

2) **激光雷达供应商**：激光雷达被认为是 L3 级及以上自动驾驶的必备传感器，将深度受益汽车行业自动驾驶发展趋势。建议关注禾赛科技、速腾聚创、镭神智能、华为、Livox 等。

3) **激光雷达产业链上游供应商**：激光雷达行业的上游产业链主要包括激光器和探测器、FPGA 芯片、模拟芯片供应商，以及光学部件生产和加工商等。建议关注炬光科技、安森美半导体等。

## 风险提示

**风险提示**。无人驾驶发展进度不及预期；激光雷达核心技术发展进度不及预期；芯片供应紧缺风险；全球贸易摩擦加剧的风险；汽车行业销量增长情况不及预期。

## 信息披露

### 分析师声明

杜威 汽车行业  
周旭辉 电子行业  
郑宏达 计算机行业

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

### 分析师负责的股票研究范围

重点研究上市公司： 均胜电子,伯特利,岱美股份,长城汽车,华域汽车,新泉股份,华安鑫创,星宇股份,银轮股份,福耀玻璃,泉峰汽车,华阳集团,德赛西威,宁波高发,长安汽车,科博达,禾赛科技,江淮汽车,精锻科技,广汽集团,上汽集团,爱柯迪,亿华通-U,吉利汽车,浙江仙通,广汇汽车

### 投资评级说明

	类别	评级	说明
<b>1. 投资评级的比较和评级标准:</b> 以报告发布后的 6 个月内的市场表现为比较标准,报告发布日后 6 个月内的公司股价(或行业指数)的涨跌幅相对同期市场基准指数的涨跌幅; <b>2. 市场基准指数的比较标准:</b> A 股市场以海通综指为基准;香港市场以恒生指数为基准;美国市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。	股票投资评级	优于大市	预期个股相对基准指数涨幅在 10%以上;
		中性	预期个股相对基准指数涨幅介于-10%与 10%之间;
		弱于大市	预期个股相对基准指数涨幅低于-10%及以下;
		无评级	对于个股未来 6 个月市场表现与基准指数相比无明确观点。
	行业投资评级	优于大市	预期行业整体回报高于基准指数整体水平 10%以上;
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%与 10%之间;
		弱于大市	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

### 法律声明

本报告仅供海通证券股份有限公司(以下简称“本公司”)的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下,本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下,本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断,本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期,本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

市场有风险,投资需谨慎。本报告所载的信息、材料及结论只提供特定客户作参考,不构成投资建议,也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况。在法律许可的情况下,海通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,未经海通证券研究所书面授权,本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品,或再次分发给任何其他人,或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。如欲引用或转载本文内容,务必联络海通证券研究所并获得许可,并需注明出处为海通证券研究所,且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。

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

**海通证券股份有限公司研究所**

 路颖 所长  
(021)23219403 luying@htsec.com

 高道德 副所长  
(021)63411586 gaodd@htsec.com

 邓勇 副所长  
(021)23219404 dengyong@htsec.com

 荀玉根 副所长  
(021)23219658 xyg6052@htsec.com

 涂力磊 所长助理  
(021)23219747 tll5535@htsec.com

 余文心 所长助理  
(0755)82780398 ywx9461@htsec.com

**宏观经济研究团队**

 宋潇(021)23154483 sx11788@htsec.com  
 梁中华(021)23219820 lzh13508@htsec.com  
 联系人  
 应稼娴(021)23219394 yjx12725@htsec.com  
 侯欢(021)23154658 hh13288@htsec.com

**金融工程研究团队**

 高道德(021)63411586 gaodd@htsec.com  
 冯佳睿(021)23219732 fengjr@htsec.com  
 郑雅斌(021)23219395 zhengyb@htsec.com  
 罗蕾(021)23219984 ll9773@htsec.com  
 余浩淼(021)23219883 yhm9591@htsec.com  
 袁林青(021)23212230 ylq9619@htsec.com  
 姚石(021)23219443 ys10481@htsec.com  
 张振岗(021)23154386 zzg11641@htsec.com  
 颜伟(021)23219914 yw10384@htsec.com  
 联系人  
 孙丁茜(021)23212067 sdq13207@htsec.com  
 张耿宇(021)23212231 zgy13303@htsec.com

**金融产品研究团队**

 高道德(021)63411586 gaodd@htsec.com  
 倪韵婷(021)23219419 niyt@htsec.com  
 唐洋运(021)23219004 tangyy@htsec.com  
 皮灵(021)23154168 pl10382@htsec.com  
 徐燕红(021)23219326 xyh10763@htsec.com  
 谈鑫(021)23219686 tx10771@htsec.com  
 庄梓恺(021)23219370 zzk11560@htsec.com  
 周一洋(021)23219774 zyy10866@htsec.com  
 联系人  
 谭实宏(021)23219445 tsh12355@htsec.com  
 吴其右(021)23154167 wqy12576@htsec.com  
 黄雨薇(021)23219645 hyw13116@htsec.com  
 张弛(021)23219773 zc13338@htsec.com  
 邵飞(021)23219819 sf13370@htsec.com

**固定收益研究团队**

 周霞(021)23219807 zx6701@htsec.com  
 姜珊珊(021)23154121 jps10296@htsec.com  
 联系人  
 王巧喆(021)23154142 wqz12709@htsec.com  
 张紫睿(021)23154484 zxr13186@htsec.com  
 孙丽萍(021)23154124 slp13219@htsec.com

**策略研究团队**

 荀玉根(021)23219658 xyg6052@htsec.com  
 高上(021)23154132 gs10373@htsec.com  
 李影(021)23154117 ly11082@htsec.com  
 张向伟(021)23154141 zxw10402@htsec.com  
 李姝醒 lsx11330@htsec.com  
 曾知(021)23219810 zz9612@htsec.com  
 郑子勋(021)23219733 zzx12149@htsec.com  
 刘溢(021)23219748 ly12337@htsec.com  
 周旭辉 zxh12382@htsec.com  
 唐一杰(021)23219406 tj11545@htsec.com  
 联系人  
 吴信坤 021-23154147 wxk12750@htsec.com

**中小市值团队**

 钮宇鸣(021)23219420 ymniu@htsec.com  
 孔维娜(021)23219223 kongwn@htsec.com  
 潘莹练(021)23154122 pyl10297@htsec.com  
 相姜(021)23219945 xj11211@htsec.com  
 联系人  
 王园沁 02123154123 wyq12745@htsec.com

**政策研究团队**

 李明亮(021)23219434 lml@htsec.com  
 吴一萍(021)23219387 wuyiping@htsec.com  
 朱蕾(021)23219946 zl8316@htsec.com  
 周洪荣(021)23219953 zhr8381@htsec.com  
 王旭(021)23219396 wx5937@htsec.com

**石油化工行业**

 邓勇(021)23219404 dengyong@htsec.com  
 朱军军(021)23154143 zjj10419@htsec.com  
 胡歆(021)23154505 hx11853@htsec.com  
 张璇(021)23219411 zx12361@htsec.com

**医药行业**

 余文心(0755)82780398 ywx9461@htsec.com  
 郑琴(021)23219808 zq6670@htsec.com  
 贺文斌(010)68067998 hwb10850@htsec.com  
 范国钦 02123154384 fgq12116@htsec.com  
 联系人  
 梁广楷(010)56760096 lgg12371@htsec.com  
 孟陆 86 10 56760096 ml13172@htsec.com  
 周航(021)23219671 zh13348@htsec.com  
 朱赵明(021)23154120 zzm12569@htsec.com  
 彭婷(010)68067998 ppt13606@htsec.com

**汽车行业**

 王猛(021)23154017 wm10860@htsec.com  
 杜威(0755)82900463 dw11213@htsec.com  
 曹雅倩(021)23154145 cyq12265@htsec.com  
 联系人  
 房乔华 021-23219807 fqh12888@htsec.com  
 郑蕾 23963569 zl12742@htsec.com

**公用事业**

 吴杰(021)23154113 wj10521@htsec.com  
 戴元灿(021)23154146 dyc10422@htsec.com  
 傅逸帆(021)23154398 fuy11758@htsec.com  
 张磊(021)23212001 zl10996@htsec.com  
 于鸿光(021)23219646 yhg13617@htsec.com

**批发和零售贸易行业**

 李宏科(021)23154125 lhk11523@htsec.com  
 高瑜(021)23219415 gy12362@htsec.com  
 汪立亭(021)23219399 wangljt@htsec.com

**互联网及传媒**

 郝艳辉(010)58067906 hyh11052@htsec.com  
 毛云聪(010)58067907 myc11153@htsec.com  
 陈星光(021)23219104 cxg11774@htsec.com  
 孙小雯(021)23154120 sxw10268@htsec.com

**有色金属行业**

 施毅(021)23219480 sy8486@htsec.com  
 陈晓航(021)23154392 cxh11840@htsec.com  
 甘嘉尧(021)23154394 gjy11909@htsec.com  
 联系人  
 郑景毅 zjy12711@htsec.com

**房地产行业**

 涂力磊(021)23219747 tll5535@htsec.com  
 谢盐(021)23219436 xiey@htsec.com  
 金晶(021)23154128 jj10777@htsec.com  
 杨凡(010)58067828 yf11127@htsec.com

<b>电子行业</b> 周旭辉 zhx12382@htsec.com 联系人 肖隽翀 021-23154139 xjc12802@htsec.com	<b>煤炭行业</b> 李 焱(010)58067998 lm10779@htsec.com 戴元灿(021)23154146 dyc10422@htsec.com 吴 杰(021)23154113 wj10521@htsec.com 王 涛(021)23219760 wt12363@htsec.com	<b>电力设备及新能源行业</b> 张一弛(021)23219402 zyc9637@htsec.com 房 青(021)23219692 fangq@htsec.com 曾 彪(021)23154148 zb10242@htsec.com 徐柏乔(021)23219171 xbj6583@htsec.com
<b>基础化工行业</b> 刘 威(0755)82764281 lw10053@htsec.com 刘海荣(021)23154130 lhr10342@htsec.com 张翠翠(021)23214397 zcc11726@htsec.com 孙维容(021)23219431 swr12178@htsec.com 李 智(021)23219392 lz11785@htsec.com	<b>计算机行业</b> 郑宏达(021)23219392 zhd10834@htsec.com 杨 林(021)23154174 yl11036@htsec.com 于成龙(021)23154174 ycl12224@htsec.com 黄竞晶(021)23154131 hjj10361@htsec.com 洪 琳(021)23154137 hl11570@htsec.com 联系人 杨 蒙(0755)23617756 ym13254@htsec.com	<b>通信行业</b> 朱劲松(010)50949926 zjs10213@htsec.com 余伟民(010)50949926 ywm11574@htsec.com 张峰青(021)23219383 zzq11650@htsec.com 联系人 杨彤昕 010-56760095 ytx12741@htsec.com
<b>非银行金融行业</b> 孙 婷(010)50949926 st9998@htsec.com 何 婷(021)23219634 ht10515@htsec.com 李芳洲(021)23154127 lfz11585@htsec.com 联系人 任广博(010)56760090 rgb12695@htsec.com	<b>交通运输行业</b> 虞 楠(021)23219382 yun@htsec.com 罗月江(010)56760091 lyj12399@htsec.com 李 轩(021)23154652 lx12671@htsec.com 陈 宇(021)23219442 cy13115@htsec.com	<b>纺织服装行业</b> 梁 希(021)23219407 lx11040@htsec.com 盛 开(021)23154510 sk11787@htsec.com
<b>建筑建材行业</b> 冯晨阳(021)23212081 fcy10886@htsec.com 潘莹练(021)23154122 pyl10297@htsec.com 申 浩(021)23154114 sh12219@htsec.com 颜慧菁 yhj12866@htsec.com	<b>机械行业</b> 余炜超(021)23219816 swc11480@htsec.com 周 丹 zd12213@htsec.com 吉 晟(021)23154653 js12801@htsec.com 赵玥炜(021)23219814 zyw13208@htsec.com 联系人 赵靖博 zjb13572@htsec.com	<b>钢铁行业</b> 刘彦奇(021)23219391 liuyq@htsec.com 周慧琳(021)23154399 zhl11756@htsec.com
<b>建筑工程行业</b> 张欣劼 zxj12156@htsec.com 李富华(021)23154134 lf12225@htsec.com	<b>农林牧渔行业</b> 丁 频(021)23219405 dingpin@htsec.com 陈 阳(021)23212041 cy10867@htsec.com 联系人 孟亚琦(021)23154396 myq12354@htsec.com	<b>食品饮料行业</b> 闻宏伟(010)58067941 whw9587@htsec.com 颜慧菁 yhj12866@htsec.com 张宇轩(021)23154172 zyx11631@htsec.com 程碧升(021)23154171 cbs10969@htsec.com
<b>军工行业</b> 张恒恒 zhx10170@htsec.com 张高艳 0755-82900489 zgy13106@htsec.com 联系人 刘砚菲 021-2321-4129 lyf13079@htsec.com	<b>银行行业</b> 孙 婷(010)50949926 st9998@htsec.com 解巍巍 xww12276@htsec.com 林加力(021)23154395 lj12245@htsec.com 联系人 董栋梁(021)23219356 ddl13026@htsec.com	<b>社会服务行业</b> 汪立亭(021)23219399 wanglt@htsec.com 许樱之(755)82900465 xyz11630@htsec.com 联系人 毛弘毅(021)23219583 mhy13205@htsec.com
<b>家电行业</b> 陈子仪(021)23219244 chenzy@htsec.com 李 阳(021)23154382 ly11194@htsec.com 朱默辰(021)23154383 zmc11316@htsec.com 刘 璐(021)23214390 ll11838@htsec.com	<b>造纸轻工行业</b> 汪立亭(021)23219399 wanglt@htsec.com 赵 洋(021)23154126 zy10340@htsec.com 联系人 柳文韬(021)23219389 lw13065@htsec.com	

## 研究所销售团队

### 深广地区销售团队

蔡铁清(0755)82775962 ctq5979@htsec.com  
 伏财勇(0755)23607963 fcy7498@htsec.com  
 辜丽娟(0755)83253022 gulj@htsec.com  
 刘晶晶(0755)83255933 liujj4900@htsec.com  
 饶 伟(0755)82775282 rw10588@htsec.com  
 欧阳梦楚(0755)23617160  
 oymc11039@htsec.com  
 巩柏含 gbh11537@htsec.com  
 滕雪竹 txz13189@htsec.com

### 上海地区销售团队

胡雪梅(021)23219385 huxm@htsec.com  
 朱 健(021)23219592 zhuj@htsec.com  
 季唯佳(021)23219384 jiwj@htsec.com  
 黄 毓(021)23219410 huangyu@htsec.com  
 漆冠男(021)23219281 qgn10768@htsec.com  
 胡宇欣(021)23154192 hyx10493@htsec.com  
 黄 诚(021)23219397 hc10482@htsec.com  
 毛文英(021)23219373 mwy10474@htsec.com  
 马晓男 mxn11376@htsec.com  
 杨伟昕(021)23212268 yyx10310@htsec.com  
 张思宇 zsy11797@htsec.com  
 王朝领 wcl11854@htsec.com  
 邵亚杰 23214650 syj12493@htsec.com  
 李 寅 021-23219691 ly12488@htsec.com  
 董晓梅 dxm10457@htsec.com

### 北京地区销售团队

殷怡琦(010)58067988 yyq9989@htsec.com  
 郭 楠 010-5806 7936 gn12384@htsec.com  
 张丽莹(010)58067931 zlx11191@htsec.com  
 杨羽莎(010)58067977 yys10962@htsec.com  
 郭金垚(010)58067851 gjy12727@htsec.com  
 张钧博 zjb13446@htsec.com  
 高 瑞 gr13547@htsec.com



海通证券股份有限公司研究所  
地址：上海市黄浦区广东路 689 号海通证券大厦 9 楼  
电话：(021) 23219000  
传真：(021) 23219392  
网址：www.htsec.com