

激光雷达行业分析报告

2021.07

目录

核心观点.....	2
一：激光雷达产业背景与概况.....	3
1. 自动驾驶市场广阔，激光雷达成为核心元件.....	3
2. 十年长周期顶级赛道，激光雷达市场进入爆发前期.....	5
3. 激光雷达 2B/2C 赛道增长显著，支撑激光雷达产业发展.....	7
二：技术路线与发展趋势.....	8
1. 测距原理.....	9
2. 激光发射与接收.....	11
3. 光束操纵.....	12
4. 信息处理芯片.....	14
三：竞争格局分析.....	15
1. 国外玩家起步较早，陆续登陆资本市场.....	15
2. 国内企业迅速崛起，激光雷达产品逐渐进入量产阶段.....	17
四：产业链培育.....	19
1. 激光雷达上游元器件是产业链布局的重要机遇.....	19
2. 激光雷达上游元器件布局：Luminar 案例分析.....	23
3. 激光雷达上游元器件布局：华为案例分析.....	24

核心观点

1. 行业背景与状况：高阶自动驾驶驱动带来广阔市场空间，激光雷达成为十年长周期顶级赛道

- 激光雷达是高阶自动驾驶的最核心的传感器，在性能、防干扰和环境信息获取量等方面均优于其他自动驾驶传感器。激光雷达产业已吸引大量传统整车厂商、新兴自动驾驶公司、科技公司投资入局，驱动激光雷达市场规模扩大。据沙利文的统计和预测，2025年激光雷达的全球市场规模可达135.4亿美元，较2019年实现64.5%的符合增长率。激光雷达在自动驾驶、服务机器人、测绘、消费电子等领域具有广泛的应用场景。

2. 技术路径：新旧技术各具优势，FMCW、OPA、Flash 这些技术路径值得关注。

- 在测距原理上，飞行时间法（ToF）市场成熟、具有完整的产业链，但生产成本陷入瓶颈。FMCW相较于ToF具有抗干扰性强、测量距离长、分辨率高、对道路障碍物探测更加敏感的优势，具有广阔的发展空间。
- 在激光发射与接收方面，主流激光器波长分为950nm和1550nm两种，1550nm对人眼健康更加友好，同时抗干扰能力强。探测器中PAD已经成熟，SPAD、SiPM是新兴的激光雷达探测器，抗光干扰、成本具有优势。
- 扫描方式方面，机械式较为成熟，但因成本和稳定性难以实现车规级量产。固态激光雷达在技术和成本上具有优势，其中OPA激光雷达成本低、可量产性高、可靠性好，同时市场阶段尚在初期、技术要求较高更容易孕育具有不可替代地位的龙头企业。Flash不存在旋转结构，扫描速度快，避免机械式雷达旋转带来的稳定性问题，但需要优化功率和探测器的灵敏度。

3. 竞争格局：竞争格局逐渐形成，国内外厂商需重点克服车规、量产、成本问题

- 国外激光雷达企业起步较早，国内企业也在快速崛起，激光雷达的竞争格局逐渐形成。国内外厂商技术路线策略不同，但都需要跨越车规、量产、成本三座大山。主流激光雷达厂商的路径选择上转向车规和成本更具优势的固态式，技术的研发和优化也应围绕车载的稳定性、安全性，量产可能性和成本控制。

4. 产业链培育：激光雷达技术路径的选择最终看对应产业链的成熟，上游元器件成为重大机遇

- 激光雷达上游元器件是产业链的核心，技术发展与更新依赖于元器件及相关配套的研发与生产能力。不同技术路径衍生出细分产业链，而细分产业链的成熟度，将决定技术路线最终的竞争格局。当前激光雷达核心器件由国外厂商垄断，掌握议价权，国产替代需求空间巨大，对技术路径的投资，最终是对细分产业链的投资。

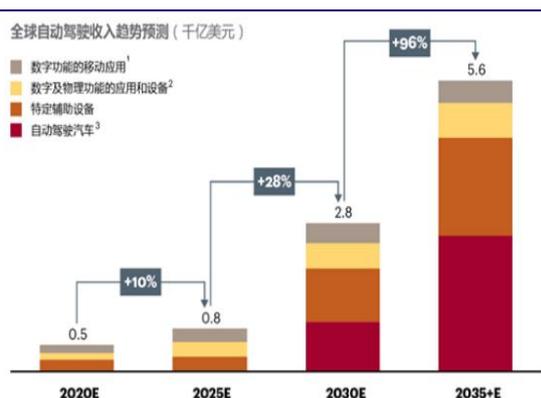
一：激光雷达产业背景与概况

1. 自动驾驶市场广阔，激光雷达成为核心元件

全球自动驾驶市场规模广阔。随着人工智能、5G 技术的逐渐普及，无人驾驶、高级辅助驾驶快速发展，这些技术的实现能够有效减少交通风险、提高交通运行效率，实现交通运输安全、高效、绿色的发展愿景。根据 IHS 的预测，自动驾驶汽车将在 2025 年前后开始一轮爆发式增长，到 2035 年，道路行驶车辆将有一半实现自动驾驶，届时自动驾驶整车及相关设备、应用的收入规模总计将超过五千亿美元。

中国自动驾驶市场快速增长。据发改委最新《智能汽车创新发展战略》，到 2020 年，中国标准智能汽车的技术创新、产业生态、路网设施、法规标准、产品监管和信息安全体系框架基本形成，智能汽车新车占比达到 50%，中高级别智能汽车实现市场化应用。据中商产业研究院数据，2016 年-2019 年中国智能驾驶市场规模从 490 亿元增长到 1226 亿元，复合增速为 35.8%，到 2021 年市场规模将进一步增长至 2358 亿元。

全球自动驾驶规模(单位: 千亿美元)



资料来源: IHS, 中国银河证券研究院

中国智能驾驶市场规模(单位: 亿元)



资料来源: 中国产业研究院, 中国银河证券研究院

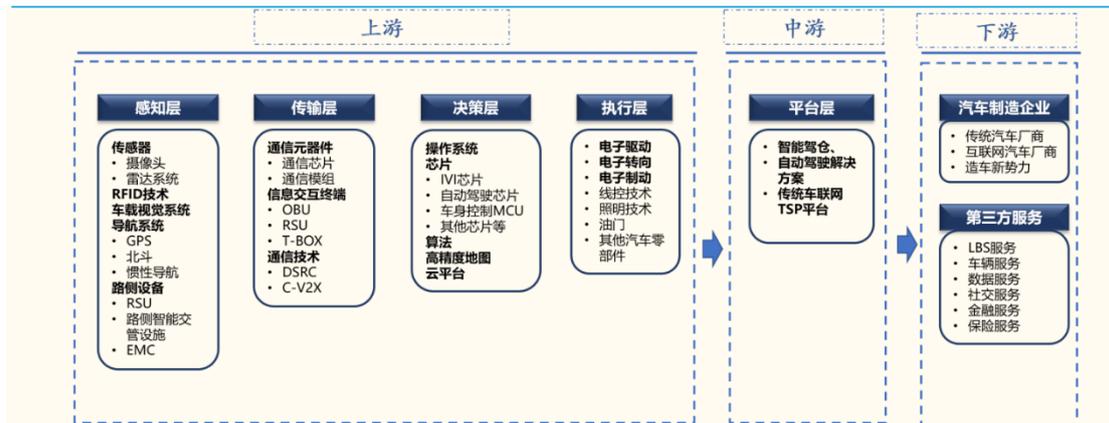
自动驾驶新秀厂商成为资本新宠，各路车企纷纷入局。自动驾驶作为新兴战略性产业和高附加值产业，需要持续和高强度的人才与资本的投入。国内外主要自动驾驶汽车公司获得持续的融资，资金来源主要分为两类：1) 财务投资；2) 合作性投资。一方面，由于自动驾驶的战略性地位，新兴的自动驾驶厂商获得市场看好，获得源源不断地资金投入；另一方面，各路传统车企和相关的运输企业通过投资自动驾驶车企入局，服务于消费级用车的自动驾驶提升，和企业级的自动驾驶，如 Robotaxi/Robotruck，自动配送、工矿用车等等。

国内外自动驾驶厂商融资状况	
Waymo	2021 年 6 月融资 25 亿美元。2020 年 5 月首轮外部融资 30 亿美元，创下自动驾驶公司单轮融资的新纪录，本轮融资以财务投资为主，并没有车企战略投资。
Aurora	2020 年 12 月并购 Uber ATG，并购后的 Aurora 估值达到 100 亿美元，跻身超级独角兽行列。Uber 通过现金+股权交换实现对 Aurora 的注资和未来的合作。
Nuro	2020 年 11 月，Nuro 完成新一轮 5 亿美元融资，距离 2019 年 4.9 亿美元单轮融资过去了 2 两年。随后不久完成对自动驾驶卡车公司 Ike 的并购。

Zoox	2020年6月亚马逊以13亿美元并购自动驾驶初创公司Zoox, 此前Zoox累计融资额达10亿美元, 将服务于亚马逊的无人配送体系的建设。
Argo	2020年6月Argo获得大众26亿美元投资, 此项投资后, 大众将和福特共同持有Argo的股权, 服务于两家车企的无人驾驶发展。
国内自动驾驶厂商融资状况	
小马智行	2021年2月获得1亿美元C轮融资, 2020年以来共完成总额近9亿美元的融资, 其中包括来自丰田、一汽等车企的战略投资。
文远知行	2021年1月获得宇通集团3.1亿美元的B轮投资, 共同开发无人驾驶小巴。此前文远知行获得雷诺、日产、三菱等主机厂的投资
滴滴自动驾驶	2020年5月获得软银愿景基金5亿美元融资。2021年5月获得广汽集团投资。
图森未来	2021年4月完成美股上市, 曾获得美国卡车企业Navister和大众旗下的商用车公司传拓集团的投资。

自动驾驶产业链：上游感知、传输、决策和执行层，中游平台层，下游为整车与服务。自动驾驶汽车的实现需要汽车制造商、零部件供应商、车载计算平台开发商、出行服务供应商等多方主体参与。具体而言，上游包括感知层、传输层、决策层和执行层；中游为平台层，包括整合的智能驾舱平台、自动驾驶解决方案以及传统的车联网 TSP 平台；下游主要为整车厂和第三方服务。

自动驾驶产业链梳理



资料来源：国金证券整理

感知层的传感器是自动驾驶汽车硬件层面的眼睛和耳朵。感知层用于感知外部环境的特征和变化，获取相关信息。无人驾驶硬件系统包括有传感器、RFID、车载视觉系统等，分别是汽车感知系统的硬件终端、车路信息交互方式和系统层面的信息传递载体。其中传感器是自动驾驶汽车硬件层面的眼睛和耳朵，通过传感器实时感知并采集环境信息，是自动驾驶的第一步。

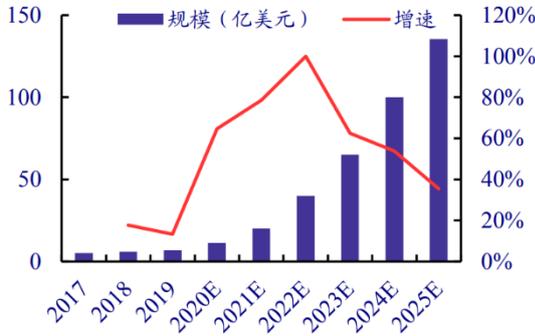
激光雷达是高等级自动驾驶的核心传感器，在性能、防干扰和信息量优势明显。自动驾驶传感器主要包括摄像头和雷达。摄像头利用计算机视觉判别周围环境与物体，判断前车距离；雷达分为毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达三类，利用发射波和反射波之间的时间差、相位差获得目标物体的位置和速度等数据。激光雷达通过激光器和探测器组成的收发阵列，结合光束扫描，可以对广义机器人所处环境进行实时感知，获取周围物体的精确距离及轮廓，以实现避障功能；同时，结合预先采集的高精地图，智能汽车在环境中通过激光雷达的定位精度可达厘米量级，以实现自主导航。激光雷达具有分辨率高、抗干扰能力强、获取信息丰

整车厂商	激光雷达布局	技术路径
福特	投资 Velodyne, 已退出	机械式
	投资 Ouster	Flash
通用	收购 Strobe	FMCW
特斯拉	投资 Quanergy	OPA
	摄像头+激光雷达以外的传感器	
欧系		
整车厂商	激光雷达布局	技术路径
奔驰	投资 Quanergy、战略合作	OPA
	投资 Luminar	MEMS
宝马	投资 Blackmore	FMCW
奥迪	投资 Aeva、战略合作	FMCW
保时捷	投资 Aeva	FMCW
沃尔沃	投资 Luminar	MEMS
日韩		
整车厂商	激光雷达布局	技术路径
现代	投资 Velodyne	机械式
	投资 Aurora	FMCW
	持股 Opsys Tech	Flash
丰田	投资 Luminar	MEMS
	投资 Blackmore	FMCW
	与 Aeva 合作	FMCW
日产	摄像头+激光雷达以外的传感器	
国产品牌		
整车厂商	激光雷达布局	技术路径
上汽集团	投资速腾聚创	机械式、MEMS
北汽集团	投资速腾聚创	机械式、MEMS
蔚来	投资 Innovusion	MEMS
小鹏汽车	与大疆合作	MEMS
长安汽车	与华为合作	MEMS
Tier1		
Tier1 厂商	激光雷达布局	技术路径
博世	投资 TetraVue	ToF
采埃孚	收购 Ibeo	Flash
安波福	投资 Quanergy	OPA
自动驾驶公司		
国外公司		
自动驾驶公司	激光雷达布局	技术路径
Waymo	谷歌无人驾驶独立公司, 购买、自研激光雷达	机械式
Aurora	收购 OURS 和 Blackmore	FMCW
Mobileye	英特尔旗下自动驾驶公司, 自研激光雷达	FMCW+OPA
Argo	自研激光雷达	机械式
国内公司		
自动驾驶公司	激光雷达布局	技术路径
小马智行	与 Luminar 合作开发系统	MEMS
百度	投资禾赛科技、Velodyne	机械式、MEMS
华为	自研激光雷达	转镜
图森未来	与 Aeye 建立合作研发关系	MEMS

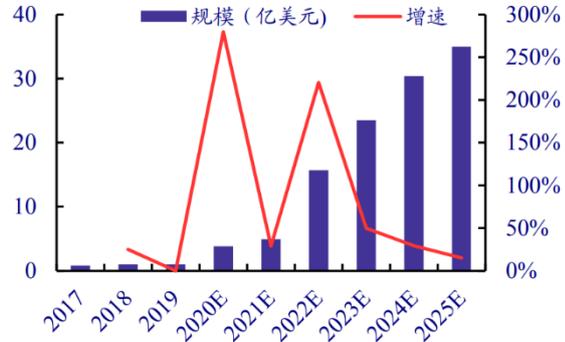
自动驾驶大市场驱动全球激光雷达市场快速增长。随着自动驾驶的发展成熟带来的巨大市场需求,大量资金入局激光雷达产业,以及车企与新兴自动驾驶企业的合作,激光雷达的市场规模将迎来快速增长。Velodyne、Luminar、华为、大疆、Innovusion 等激光雷达厂商宣布与汽车厂商合作,最早于 2021 年推出车规级产品,预计 2023 年搭载激光雷达的量产

车型将突破 30 万台。根据沙利文的统计及预测，激光雷达在 2025 年的全球市场规模可以达到 135.4 亿元，较 2019 年可实现 64.5%的年均复合增长率。

全球激光雷达市场规模（单位：亿美元）



全球激光雷达在无人驾驶领域的规模（单位：亿美元）



资料来源：沙利文研究、禾赛招股说明书、中国银河证券研究院

3. 激光雷达 2B/2C 赛道增长显著，支撑激光雷达产业发展

各应用场景对激光雷达要求各不相同。激光雷达的主要应用场景包括无人驾驶（Robotaxi、Robotruck）、ADAS、服务机器人、车联网 V2X、消费电子等。应用场景的不同对激光雷达的特性需求也不同。其中 Robotaxi/Robotruck 与 ADAS 是自动驾驶主要的两个细分市场，分别属于 2B 和 2C 赛道。对于 Robotaxi/Robotruck 来说，其用户客群主要是运营公司，对价格与车身的集成度要求较低。对于 ADAS 来说，所有者主要是个人，对车身一体性以及外表美观度要求高，同时对价格较为敏感。

不同场景下对激光雷达的要求

比较项目	无人驾驶	高级别辅助驾驶	机器人
应用场景区说明			
场景复杂度	高 (L4/L5)	中 (L2/L3, 功能开启场景有限)	低/中 (封闭园区, 应用较多)
承载装置行驶速度	中 (城市道路) 高 (高速场景)	中 (城市道路) 高 (高速场景)	高 (城市道路, 应用较少) 低 (封闭园区)
最远测距要求	远	中/远 (取决于 ADAS 功能)	中/远 (取决于应用场景)
与承载转置的外观集成度*	低	高	中
对激光雷达的要求			
价格敏感度	低	高	中/高
对激光雷达供应的算法需求度	低	高	低
车规级要求	中 (当前) / 高 (预期)	高	低

资料来源：禾赛科技招股书、西部证券研发中心

无人驾驶颠覆传统运营业态，头部玩家商业化加速。传统出行服务中人工成本占运营总成本的 60%以上，而无人驾驶减少人工的投入，从而转嫁给消费的成本降低；另一方面对于主机厂，无人驾驶将重塑汽车运营市场的业态，特斯拉预计每辆 Robotaxi 每年将带来 3 万美元的毛利润，并且在工作持续性上更具优势。目前全球仅 Waymo 可以完全实现无人驾驶打车，国内的百度和文远知行等公司也在加速商业化，开展路测和试乘服务。

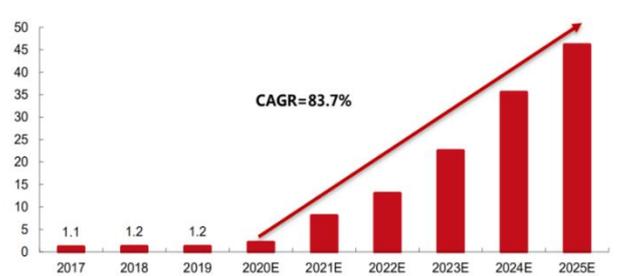
车企加速高级别驾驶辅助汽车发展。2021年1月9日，蔚来发布首款自动驾驶车型ET7，该车型配备了1台Innovusion的超远距离激光雷达，拥有120度超广视角、等效300线的超高分辨率，最远可达500米的超远探测距离；2021年初，小鹏发布了第三款车型P5，该车型搭载2台Livox车规级激光雷达。此外，智己汽车、本田、奔驰、丰田、长安等将陆续在2021年上市搭载激光雷达的自动驾驶车型。

无人驾驶与高级辅助是激光雷达的主要市场。随着无人驾驶的逐步发展，无人驾驶领域的全球激光雷达市场也会随之实现高速增长。根据沙利文的测算，无人驾驶领域激光雷达市场在2025年预计达到35亿美元，较2019年的年均复合增长率可达80.9%。无人驾驶和高级驾驶辅助将占据激光雷达应用领域50%以上的份额，在激光雷达的增长中发挥着支撑作用。

2017-2025E 全球激光雷达在 Robotaxi/Robotruck 领域的市场规模（单位：亿美元）

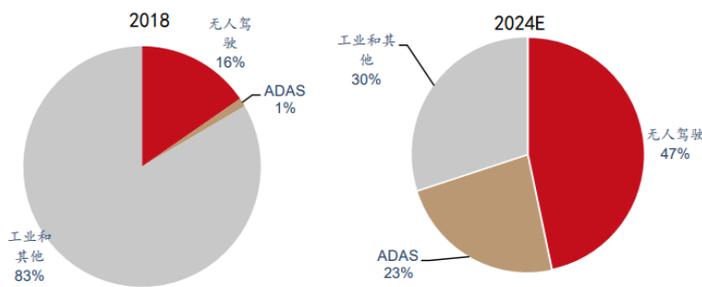


2017-2025E 全球激光雷达在 ADAS 领域的市场规模（单位：亿美元）



资料来源：沙利文研究、西部证券研究中心

无人驾驶与高级辅助是激光雷达的主要战场

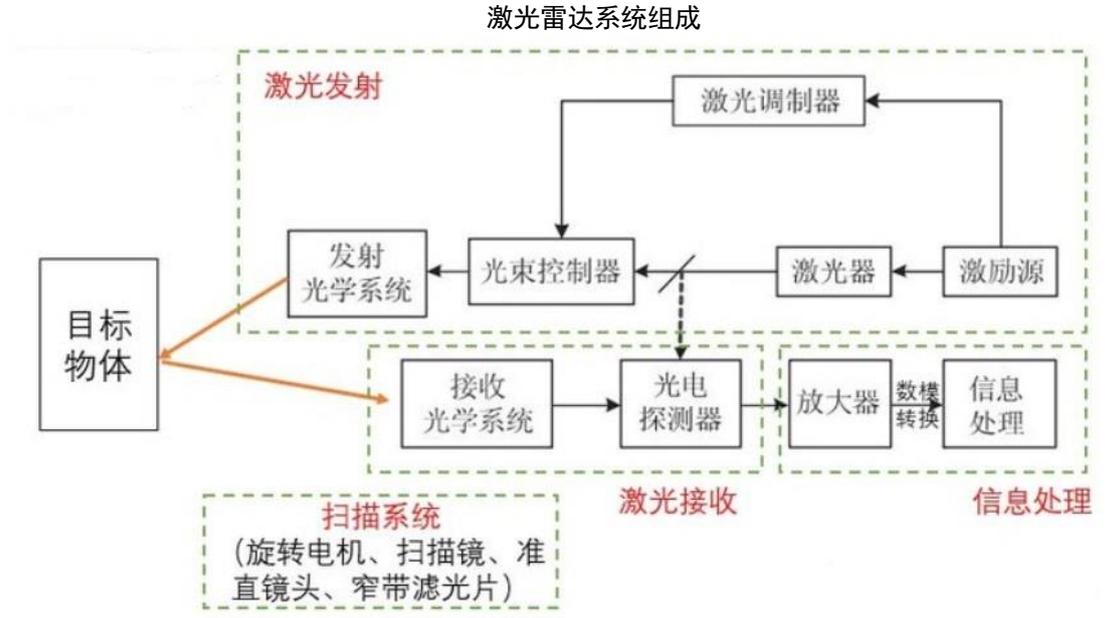


资料来源：Yale、西部证券研究中心

二：技术路线与发展趋势

激光雷达可分为激光发射、激光接收、扫描系统和信息处理四大系统。激光雷达的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；激光反射后到激光接收系统，光电探测器接

收后产生接收信号，经放大处理和数模转换，信息处理模块计算后获得物体的属性，在这个过程中，扫描系统通过各个方向的光束，实现对目标空间区间的扫描，并产生实时的环境信息。



资料来源：汽车人参考

根据上述工作原理，激光雷达的技术路线有四个主要的维度：测距原理、光源、探测器、光束操纵。光源和探测器即激光雷达的发射端与接收端，光束操纵即激光雷达的扫描方式。激光雷达的技术路线可以从测距原理、激光发射与接收、扫描方式和信息处理四个角度进行分析。



1. 测距原理

激光雷达根据测距原理主要有四类：飞行时间法（ToF, Time of Flight）、调频连续波（FMCW, Frequency Modulated Continuous Wave）、三角测距法和相位法。相对来说，

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，具有响应速度快、探测精度高的优势。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，具有抗干扰强、可直接测速的优势。TOF 已经有较为完整成熟的产业链，供应商可提供相应的标准组件，FMCW 则处于早期培育阶段，并未推出规模化的产品。

测距原理的主要类型	
类型	简介
飞行时间法 (ToF, Time of Flight)	通过记录发射一束激光脉冲与探测器接收到回波信号的时间差，直接计算目标物与传感器之间距离的探测方法。
调频连续波 (FMCW, Frequency Modulated Continuous Wave)	指发射调频连续激光，通过回波信号与参考光进行相干拍频得到频率差，从而间接获得飞行时间反推目标物距离，同时也能够根据多普勒频移信息直接测量目标物的速度。
三角测距法	系统以一定角度发射的激光照射在目标物后，在另一角度对反射光进行成像，根据物体在摄像头感光面上的位置通过三角几何原理推导出目标物距离的探测方法。
相位法	激光雷达相位法测距是利用发射的调制光和被目标反射的接受光之间光强的相位差包含的距离信息来实现被测距离的测量。回波的延迟产生了相位的延迟，测出相位差就得到了目标距离

ToF 的功率要求使成本控制和量产难度较大，同样功率下 FMCW 功率极低。ToF 对发光器件的功率要求较高，采用多节 VCSEL 激光器虽然达到了目标功率，但成本高，一致性难以确认，量产有待确认。同样探测 250-300m 距离，ToF 需要达到 100W 的功率，而 FMCW 只需要 120mW-150mW，但 FMCW 要实现窄线宽、可调频的标准对工艺要求较高。

飞行时间法与 FMCW 对比

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

资料来源：国金证券

2. 激光发射与接收

激光探测汇总

一、发射				
1. EEL	Edge Emitting Laser		边缘发射激光器	
2. VCSEL	Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser		垂直腔面发射激光器	
主流波长	905nm	1550nm		
光学透镜系统	1.准直镜	2.扩束镜	3.辅助光学	
二、扫描（光束控制）				
			是否有运动物件	特点
点扫描	旋转	机械式	是	环形扫描，多线激光设计
	MEMS	半固态	否（小幅度运动）	在硅基芯片上集成体积小的微振镜，由旋转的微振镜来反射激光光线
	OPA	固态	否	短时间发射大片覆盖探测区域的激光
面阵扫描	Flash	固态	否	多个光源组成阵列，通过控制光源的相位差，合成具有特定方向的主光束
三、探测				
核心：光电探测器	1.PIN	探测材料	1.CMOS	波长：905nm
	2.APD			
	3.SPAD		2.InGaAs	波长：1550nm
	4.SiPM			
分类	系统复杂度	特点	性能	
直接探测	简单	直接解调光信号	低	
相干探测	复杂	光能转换为可测量物理量	高	

资料来源：光大证券

激光器方面，主要有**半导体激光器**和**光纤激光器**。半导体激光器中，EEL 作为探测光源，具有高发光功率密度，但复杂工艺步骤也带来高企成本、易碎和标准化程度不足的问题。VCSEL 生产成本相对较低，但也有发光功率密度不足的问题，探测距离不足 50m。

不同激光器对比		
类型	优点	缺点
EEL	高发光功率密度	复杂工艺步骤带来成本高企、易碎、标准化程度不足
VCSEL	信噪比、生产成本、产品可靠性 适合量产	发光功率密度不足，但创新后提升 5-10 倍、够用

激光器是激光雷达的核心器件，硅光子技术提高激光雷达的集成度，具备性能和成本优势。激光器占整个激光雷达成本的一半以上，传统激光雷达大多使用离散器件的组合，封装难度和成本较高，同时器件之间协调的效率难以保障。而硅光子技术将硅集成电路与半导体激光器结合，在解决传统离散激光雷达成本和性能劣势的同时，也可以在电路层面应用已有的技术优化，进一步提高信息吞吐能力。

光源方面，主流发射器的激光波长分为 905nm 和 1550nm 两种，1550nm 对人眼健康更加友好，但配套激光器成本高。905nm 可在人眼中传输，需要限制发射器功率，而发射器功率又与发射距离正相关。1550nm 激光雷达，远离人眼可吸收波长，光子能量相对较低，对人眼损害较小，点云成像效果好，但需要高价的铟镓砷作为探测器的衬底材料、光纤激光器作为发射器，且功耗增加到 50-60W，也会出现性能衰减问题。

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

资料来源：国金证券

探测器是激光接受的器件，根据可增益能力，光电探测器可分为 PIN PD、APD、SPAD、SiPM 四类。其中，PIN PD 适用于 FMCW 测距激光雷达，成本低；ToF 类激光雷达目前主要使用的是技术较为成熟的 APD；SPAD 可实现低激光功率下的远距离探测能力，但过于灵敏的接收也会导致通道串扰大、寄生脉冲等问题，电路设计等工艺难题带来较高的制造成本，而 SiPM 是由多个独立且带有淬灭电阻的 SPAD 组成，克服单个 SPAD 不能同时测量多个光子的不足。激光接收器面阵化及核心模块芯片化为高性能、低成本、高集成度、高可靠性的激光雷达提供了可靠的发展方向。

激光雷达探测器种类对比

类型	PIN PD	APD	SPAD	SiPM
增益能力	10 ⁶	10 ⁶	<100	无
探测范围	中长距	中长距	中长距	短距
电路结构	简单	复杂	复杂	复杂
成本	低系统成本，中等探测器成本	高系统成本，高探测器成本	高系统成本，高探测器成本	高系统成本，低探测器成本
设计冗余	温度补偿	信号完整性，淬灭电路	信号完整性，温度补偿	信号完整性
光谱范围	最高 950nm	最高 1150nm (硅)，最高 1700nm (铟镓砷)	最高 1150nm (硅)，最高 1700nm (铟镓砷)	最高 1200nm (硅)，最高 2600nm (铟镓砷)
探测速度	中等，取决于恢复时间	快	快	快
工作电压	<80V	>150V	<200V	<10V
噪声	探测器高噪声，系统低噪声	探测器高噪声	探测器低噪声，系统高噪声	探测器低噪声，系统高噪声 (功耗限制)

资料来源：滨松《面向自动驾驶 Lidar 的核心半导体介绍》

发射和接收所用半导体材料。光电转化的波长在 800-1000nm 接收端可以用 Si，发射端用 GaAs；而 1310nm，1550 nm，接收端用 Ge 或者 InGaAs，发射端用 InP。

3. 光束操纵

根据扫描方式不同可将激光雷达分为机械式、半固态和固态，其中半固态方案主流方向为 MEMS 与转镜式，固态方案目前以 OPA 和 Flash 方案为主。长期来看，纯固态技术的成本和稳定性都有较大潜力，是技术上的最优解。

类型	工作原理	探测距离	成熟度	优势	劣势
机械式	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”，并在垂直方向上排布多束激光，形成多个面，达到动态扫描并动态接收信息的目的。	中远距离	高	技术成熟；性能优越；供应链成熟	工艺复杂；造价昂贵；长期使用可靠性差；硬件集成难度大，产能受限
MEMS	用半导体“微动”器件（如 MEMS 扫描镜）来代替宏观机械式扫描器，在微观尺度上实现雷达发射端的激光扫描方式。	中远距离	中	成本低；适合大规模应用；便于集成化、小型化	研发难度大；对于震动敏感；视野有限。
转镜	转镜式保持收发模块不动让电机在带动转镜运动的过程中反射激光从而达到扫描探测效果	中远距离	高	距离指标，FOV 好	器件多，角分辨率提升需要更多器件，降本空间小
OPA	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束，然后再加以控制，主光束便可以实现对不同方向的扫描。	中远距离	低	扫描速度快；可控性好；精度高；体积小；成本优势；量产一致性高。	易形成旁瓣，影响光束作用距离和分辨率；生产难度高；
Flash	通过在短时间内直接发射出一大片覆盖探测区域的激光，辅以高度灵敏的接收器，来完成对周围图像的绘制。	近距离	中	记录速度快；成本低；	探测距离较近，不适合远程探测；可靠性存疑

机械式雷达：发展较为成熟，但因成本与可靠性缺陷难以实现车规级量产。机械式激光雷达目前多应用于 Robotaxi/Robotruck 测试项目。机械式激光雷达主要通过电机带动光机结构整体旋转，可实现 360°扫描(半固态式和固态式激光雷达往往最高只能做到 120°的水平视场扫描)。由于机械式激光雷达发展较早、技术较为成熟，且具备最佳性能和分辨率、可测距离最远等优势，但部件复杂，易受车辆震动影响，行车环境下磨损严重，可靠性差等因素导致难以过车规，且结构精密，零件数多、组装工艺复杂、制造周期长导致生产成本居高不下，难以量产。机械式激光雷达技术路线代表性企业包含 Velodyne、禾赛科技、速腾聚创等。

MEMS 雷达：较适合量产，技术门槛高。微振镜式主要采用 MEMS(微机电系统, Micro-Electro-Mechanical System)微振镜替代传统机械式旋转装置，由微振镜通过一定谐波频率振荡反射光形成较广的扫描角度和较大扫描范围，高速扫描形成点云图效果。MEMS 虽然相

较机械式激光雷达探测角度范围较小，但因具有良好的性能、探测距离及高分辨率，同时小巧轻便、坚固可靠且成本较低，目前较为适合作为车载激光雷达配套汽车量产。MEMS 的技术门槛主要包含以下三点：一、属于振动敏感性器件，而且 MEMS 材料的属性会随温度的变化而变化，影响微小活动部件的运动特性，车规级较难；二、激光雷达需要设计偏转角度更大的 MEMS，同时要求镜面尺寸尽可能大，但这会降低良率，加大成本；三、MEMS 代工资源较少，台积电安排产能少，只能找有 MEMS 的 IDM 厂或非主流代工厂。MEMS 激光雷达技术路线代表性企业包含 Luminar、华为、一径科技等。

OPA 激光雷达推动固态化，但尚处起步阶段。OPA 即光学相控阵（Optical—Phased—Array）技术，通过对阵列移相器中每个移相器相位的调节，利用干涉原理实现激光按照特定方向发射的技术从而完成系统对空间一定范围的扫描测量。OPA 的相控阵主要分为液晶相控阵和集成光波导型相控阵。硅基集成光学芯片可以实现大规模激光器的集成，从而推动激光雷达的固态化。OPA 具备精度高、扫描快、体积小等优势，集成度高且量产标准化程度高，技术突破后大规模量产将使 OPA 方案成本进一步下探，但由于目前 OPA 产业链尚处于起步阶段，上游零部件多数需要激光雷达厂商自研，且制造工艺要求较高存在一定壁垒，对激光雷达制造商难度较大，故目前 OPA 方案采用率较低。OPA 激光雷达技术路线代表性企业主要是英特尔和 Quanergy。

转镜式激光雷达最早通过车规，探测能力强与不稳定并存。短期或将与 MEMS 并存。转镜式保持收发模块不动让电机在带动转镜运动的过程中反射激光从而达到扫描探测效果。转镜方案的激光雷达最早是法雷奥 Scala 于 2017 年在奥迪 A8 上量产，也是首个车规级激光雷达，大疆 Livox 产品预计于 21 年量产上市。转镜式雷达缺点在于电机驱动也带来了功耗高、稳定性不足和光源能量分散等问题，但也具备高扫描精度，同时可以通过控制扫描区域从而提高关键区域的扫描密度，且具有探测距离远、探测角度大的优势。

Flash 激光雷达避免器件移动带来的问题，但光子传播较差。探测距离短板导致 Flash 激光雷达应用受限。Flash 型激光雷达不存在扫描系统，由于不存在机械运动部件被归类为固态激光雷达。Flash 可以通过短时间内向各个方向发射大覆盖面阵激光，利用微型传感器阵列采集不同方向反射回来的激光束快速记录整个场景并以高度灵敏探测器完成周围图像绘制，避免了扫描过程中目标或激光雷达移动带来的稳定性问题。但由于探测范围较窄目前配套汽车有所受限。Flash 激光雷达的优势在于能够快速记录整个场景，避免了扫描过程中目标或激光雷达移动带来的各种麻烦。其缺点在于光子预算，一旦传播距离超过几十米，返回的光子太少，导致无法进行可靠的探测。因此对接收端和功率的要求较高，提高了成本。目前推出该方案产品的代表性公司主要是 Ouster 等。

4. 信息处理芯片

FPGA 与 SoC 对比

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

来源：国金证券研究所

FPGA 芯片发展历史较长，相对成熟，SoC 集成度高，对 FPGA 有替代作用。激光雷达的芯片主要包含主控芯片和模拟芯片。其中主控芯片用于激光发射器、探测器等部件控制及计算，目前最常用的主控芯片是 FPGA 芯片。信息处理系统目前逐步向企业自研专用单光子接收端片上集成芯片(SoC)迁移发展，通过片内集成探测器、前端电路、算法处理电路、激光脉冲控制等模块，能够直接输出距离、反射率信息，对 FPGA 具有替代作用。

三：竞争格局分析

1. 国外玩家起步较早，陆续登陆资本市场

国外的激光雷达产业起步较早，企业数目众多，在技术和客户群等方面具有优势。激光雷达的传统应用领域由传统测绘技术公司 Trimble、Hexagon、Topcon 和 Sick 主导，而车载激光雷达领域涌入新兴玩家，国外主要是 Velodyne、Luminar、Aeva、Innoviz、Ouster 等等。其中 Velodyne 在机械雷达领域具有显著优势，Luminar 和 Innoviz 在 MEMS 激光雷达方面较为领先，Aeva 最早采用 FMCW 技术路径，Ouster 则主要走 Flash 路线。

国外主要激光雷达企业							
公司	成立时间	国家	主要技术路线及产品	应用领域	激光器件	累计融资(美元)	市值
Velodyne	1983	美国	机械式雷达方面具有优势，近年来逐渐覆盖固 MEMS。主要产品包括 HDL-64E、HDL-32E、VLP-16、Ultra Puck Auto 等	无人驾驶	自研 SoC, 微振镜	2.25 亿	14.45 亿
Quanergy	2012	美国	OPA 固态，激光雷达 S3	无人机、机器人、安防	自研光学集成电路	1.4 亿以上	上市后预计 11 亿
Ibeo	1998	美国	Flash 固态，激光雷达 Scala	无人驾驶	-	-	-
Luminar	2012	美国	MEMS 固态，激光雷达 Iris	无人驾驶	收购 BFE 发展研究 InGaAs 接收器	4.2 亿	62.27 亿
Aeva	2017	美国	采用 FMCW 的技术路线，产品包括 Aeries 等	无人驾驶	传感器集成在微型光子芯片上	4850 万	18.86 亿元

Innoviz	2016	以色列	MEMS 固态, 产品包括 Innoviz One、Innoviz Pro、Innoviz Two	无人驾驶、机器人	-	2.51 亿	12.01 亿
Ouster	2015	美国	近似于 Flash 的技术路线, 产品包括 OS-0、OS-1、OS-2、ES2	无人驾驶、机器人、测绘	自研 VCSEL 芯片及 SPAD 芯片	1.32 亿	15.96 亿

2020 年以来国外激光雷达企业迎来密集上市潮。Velodyne、Luminar 已于 2020 年通过借壳方式实现上市。2021 年 6 月底, Quanergy 拟通过中信以 SPAC 上市, 已接近达成合并上市的交易。Aeva、Ouster 于 2021 年 3 月, Innoviz 于 2021 年 4 月通过 SPAC 上市。

Velodyne: Velodyne 于 1983 年成立, 2005 年开始专注研究激光雷达。Velodyne 在机械式激光雷达方面具有较强的先发优势, 近年来也积极布局混合固态式、固态式激光雷达。曾为谷歌在 2010 年首测的无人汽车提供激光雷达。下游领域方面, 公司产品可广泛应用在自动驾驶、ADAS、无人配送、无人机、高精度地图、智慧城市等多元化场景近年获得了百度和福特的投资, 并于 2020 年 9 月, Velodyne 在纳斯达克上市, 股票代码为“VLDR”。Velodyne 是目前营收规模最大的激光雷达公司, 近年公司为推广产品降价, 营收规模下挫。根据公布的数据, Velodyne 从 2020 年到 2024 年预计收入超过 8 亿美元, 利润和自由现金流将会在 2022 年后扭亏为盈。技术方面, Velodyne 在多线机械旋转式激光雷达市场先发优势显著。2017 年开始, Velodyne 在 Vela-系列产品上加大投入, Velodyne 希望通过 Vella 软件+低成本固态激光雷达组合打进 ADAS 市场, 计划是到 2021 年下半年将开始大规模生产车规级激光雷达, 并有望在 2022 年或 2023 年量产上车。

Luminar: Luminar 创立于 2012 年, 依靠 PayPal 联合创始人 Peter Thiel 提供的 10 万美元启动资金创立, 后续获得沃尔沃和戴姆勒投资, 目前已和 7 家主流 OEM 达成合作, 3 款量产车型落地。公司还与 Mobileye 达成合作关系, Luminar 的激光雷达将被整合到 Mobileye 的软硬件系统中, 应用于无人驾驶车队。在扫描器方面沿用了传统的 MEMS 双轴振镜扫描并对信噪比方面进行改进。采用 1550nm 激光以降低对人眼的伤害、通过铟镓砷激光接收器降低成本、实行软硬件一体。Luminar 预计 2025 年营收超 8 亿美元, 毛利率攀升至 60%。2020 年 12 月, Luminar 于纳斯达克上市, 股票代码为“LAZR”。Luminar 的主要产品 Iris 不超过 1000 美元, 并且支持 L4 驾驶, 预计于 2022 年推出量产。2020 年, 公司与沃尔沃达成合作, 为其下一代无人驾驶汽车提供激光雷达感知技术。

Aeva: Aeva 由两位苹果前工程师于 2017 年创立, 采用的技术路径是 FMCW。Aeva 在 2020CES 上展出了 4D 激光雷达芯片系统, 尺寸与二十五美分硬币相当, 最远探测距离可达 300m, 预计量产后的售价 500 美元。该雷达在抗干扰能力、成本上具备优势。Aeva 预计 2025 年收入 8.8 亿元, 其中 8 成来自汽车相关, Aeva 预计 2025 年营收 8.8 亿美元, 毛利率攀升超过 60%, 和 Luminar 规模相当。2021 年与 InterPrivate Acquisition Corp.合并后上市。

Innoviz: Innoviz 成立于 2016 年, 其核心团队和技术来自以色列情报总队精英技术部门, 在 B 轮融资中获得来自中国的耀途资本的投资。Innoviz 专注于研究固态激光雷达, 采用的是 MEMS 微振镜技术, 其产品注重性价比, 符合车规级要求, 目前已经推出了 Innoviz One、Innoviz Pro 和 Innoviz Two, 其中, Innoviz One 将于 2021 年在宝马 (BMW) 量产车型中获得首次批量应用。目前公司有麦格纳、安波福, 恒润科技, 哈曼 4 个 Tier1 合作伙伴。

Innoviz 于 2021 年 4 月完成纳斯达克上市。

Ouster: Ouster 于 2015 年创立于美国，目前主要有 4 款产品：OS-0、OS-1、OS-2 以及最新推出的 ES2。Ouster 目前的技术路线为 Flash 激光雷达，并采用大功率的 VCSEL 和 SPAD。Ouster 在 2020 年与中国自动驾驶公司惠尔智能签订战略合作，正式进军中国市场。目前，公司正在与 Colonnade Acquisition Corp. 合并，于 2021 年上半年完成纽交所上市。

车载激光雷达企业技术路径及产品成熟度

	Velodyne	Luminar	Innoviz	Aeva	Ouster
市值/估值	29 亿美金	101 亿美金	14 亿美金	21 亿美金	19 亿美金
核心技术	微缩小型激光雷达阵列 (MLA)	光通讯激光功率放大与高灵敏度 1550 纳米激光二极管	MEMS	线性激光调频芯片 (FMCW)	VCSEL+SPAD 全半导体真固态
技术成熟度	高	高	最高	很低	一般
量产车载产品性能	佳	最佳	一般	佳	一般 (IBEO 可以做到佳)
量产车载产品成本	中等	高	最低	最高	低
量产车载产品信噪比	一般	最高	低	高	一般 (IBEO 可以做到高)
车规难易度	易	难	易	易	最容易
体积	很小	大	大	大	很小
有效距离	远	最远	一般	远	近 (IBEO 可以做得很远)
合作伙伴	现代、福特、维宁尔	丰田、沃尔沃、Mobileye	宝马、麦格纳、安波福	奥迪、采埃孚	英伟达、赛灵思

资料来源：汽车之家、西部证券

2. 国内企业迅速崛起，激光雷达产品逐渐进入量产阶段

国内激光雷达企业呈现百花齐放的格局，在传统的机械雷达领域，禾赛科技、速腾聚创和镭神智能发展路径与 Velodyne 对标，主打性价比，抢占 Velodyne 市场份额。同时，三家公司都在向前装固态领域发展，镭神智能产品线覆盖最全；固态激光雷达中，北光天绘主要走 Flash 路线；光勺科技、国科光芯和洛微科技面向 FMCW 技术开发激光雷达产品。国内激光雷达厂商与自动驾驶厂商合作，部分产品符合车规并已投入量产。

禾赛科技: 禾赛科技成立于 2014 年，2021 年 3 月因财务和专利问题终止 IPO，但在 6 月完成 3 亿美元 D 轮融资。主要客户包括百度、小鹏、Boscha Group、上汽、蔚来和北美的自动驾驶卡车公司与自动配送公司。目前正深度布局半固态和固态激光雷达产品，在高线数雷达方面具有优势；2017 年底开始部署芯片自研，根据产品需求设计芯片，目前芯片化 V1.0 成果多通道激光驱动芯片及多通道模拟前端芯片已完成量产，并应用于多个激光雷达研发项目和 PandarXT 的量产项目；同时正在推进 FMCW 的研发，作为未来的技术储备。主要产品是 ToF 机械旋转式，目前机械雷达已形成市场规模。

速腾聚创: 速腾聚创成立于 2014 年，2021 年 2 月 1 日，获信业基金、东方富海等投资，金额未知。主要客户包括上汽、吉利、一汽、AutoX、小马智行。2021 年速腾聚创已经发布了车规级固态激光雷达 SOP，2020 年 Q2 启动定点项目量产交付。两条零件路线：主要是机械旋转方案和 MEMS 微振镜方案；一套算法：开展激光雷达的环境感知算法解决方

案。公司最新版本的车规级固态激光雷达 M1 自去年 7 月开始连续获得全球多个量产车型定点合作订单，其中首个定点来自北美车企。2020 年 12 月，M1 样件批量出货给北美车厂，成为全球首款批量交付的车规级 MEMS 固态激光雷达。

镭神智能：2015 年镭神智能成立，2016 年 7 月宣布获得近亿元的 A 轮融资，招商资本领投。2018 年 B 轮获达晨创投、易金资本投资，金额 1 亿元。主要客户包括富士康、格力、美的、海尔、东风汽车、陕汽重卡等。镭神智能实现了 ToF、FMCW、三角测距、相位法测距的覆盖，主要产品包括 16/32 线机械式、MEMS、OPA 和 3D Flash。镭神智能服务覆盖无人驾驶及汽车辅助驾驶、智慧交通、机器人、物流、安防、测绘、港口和工业自动化等领域。

北科天绘：北科天绘于 2005 年成立，2018 年 1 月 A+ 轮获 StarVC 与云晖资本投资，金额 1 亿元，核心团队来自于中国科学院。主要开发 16/32/64 线机械式激光雷达、3D Flash 固态面阵激光雷达。从导航级激光雷达到车规级激光雷达，北科天绘同时具备测量型、导航型两大类激光雷达研制能力。2009 年北科天绘开始研发激光雷达芯片，并采用半导体封装工艺，适合大规模量产。

光勺科技：2019 年 1 月成立，并接受了 500 万元的天使轮投资。在不到一年的时间内就完成了 FMCW 激光雷达的路测和样机推出，目前正在进行产品推广和成本控制。光勺的雷达产品的器件，例如光源器件及芯片，会寻找第三方的方案，扫描路径的 OPA 也会交给第三方，而信号处理芯片与整机系统自主开发；目前 FMCW 主要与机械式结合，未来以 MEMS 作为中间过渡方案，并最终实现 OPA+FMCW。攀感光子属于光勺科技上游，凸显光勺科技集成与整合的策略；主要客户：UBER, GM, Ford, 滴滴，百度等。

国科光芯：成立于 2019 年，以硅光技术作为基础平台性技术，基于核心硅光芯片，开发颠覆性的 FMCW 与相控阵固态激光雷达产品及解决方案。国科光芯采用全新硅基材料体系波导，开发了定制激光雷达扫描芯片，发挥新材料的低传输损耗和弱非线性的优势。同时通过硬件与软件的开发降低旁瓣抑制比。

洛微科技：成立于 2018 年，2021 年 2 月获 5000 万 A 轮融资，由轻舟资本、财通资本等参与。洛微科技将 OPA 芯片、FMCW 和晶圆级微纳光学、光系统级封装等技术应用于激光雷达领域。自主研发纯固态成像级激光雷达以及毫米级微型激光雷达。其中，纯固态成像级激光雷达具有高分辨率、大场视角、低成本的特点，已于 2020 年下半年发布原型机，2021 年实现量产。洛微科技从通用型使用场景和特殊场景定制化方案两套模式相互补充，并组建了融合硬件和算法的方案团队。

国内主要激光雷达企业				
厂商	成立时间	主要技术路线和产品	激光器件	最近融资
禾赛科技	2014 年	ToF 机械式，目前正在布局 FMCW 和固态雷达，主要产品有 Pandar 系列机械式和 PandarGT 固态激光雷达。	与地平线合作，借力地平线 AI 芯片开发高级智能驾驶应用；自研 MEMS 微振镜	2021 年 7 月获得 3 亿美元 D 轮融资
速腾聚创	2014 年	机械旋转方案和 MEMS 微振镜方案，目前有车规级固态雷达 M1	投资 MEMS 微振镜公司，自研芯片架构	2018 年获超 3 亿元人民币战略投资

镭神智能	2015 年	ToF、FMCW、三角测距、相位法测距的全覆盖，主要产品包括 16/32 线机械式、MEMS、OPA 和 3D Flash	自研 MEMS 微振镜、16 通道 TIA 芯片、1550nm 光纤激光器	2018 年 B 轮融资金额 1 亿元人民币
北科天绘	2005 年	主要开发 16/32/64 线机械式激光雷达、3D Flash 固态面阵激光雷达	自研激光雷达芯片	2018 年 1 月 A+ 轮获 1 亿元投资
光勺科技	2019 年	FMCW 4D 激光雷达 G1	逐渐将电路板、激光器、放大器和调制解调器集成成为芯片。	2019 年获得 500 万元的天使轮投资
国科光芯	2019 年	基于核心硅光芯片开发 FMCW 与相控阵固态激光雷达产品	相控阵激光雷达扫描芯片	-
洛微科技	2018 年	OPA 芯片、FMCW 和晶圆级微纳光学、光系统级封装，主要研发纯固态成像级激光雷达以及毫米级微型激光雷达	-	2021 年 2 月获 5000 万 A 轮融资
华为	2016 年（开始研发）	多线程微振镜	自研 1550nm 光源 自研转镜结构	-

四：产业链培育

1. 激光雷达上游元器件是产业链布局的重要机遇

激光雷达上游元器件是产业链的核心。激光雷达产业链主要划分为上游元器件、中游集成激光雷达、下游应用。上游包括大量的激光雷达元器件，元器件支持不同的技术路径，对应激光发射、激光接收、扫描系统和信息处理的解决方案。中游的激光雷达厂商在这些方案的基础上推出激光雷达整机产品，并应用在自动驾驶、高精度地图、服务机器人等领域。当前下游应用对激光雷达的需求旺盛，激光雷达处于卖方市场，量产能力、成本控制，以及自动驾驶特有的车规要求，依托于上游扫描方式的优化、激光发射的功率控制以及信息处理系统的高效处理。特殊应用领域的定制化需求，也直指激光雷达上游器件的研发和生产能力。掌握上游元器件，对于产业链的竞争力提升的作用不言而喻。

激光雷达产业链及上游元器件



光电探测器及接收器IC		激光器	
<ul style="list-style-type: none"> ● 滨松 ● 夜视集团 ● SensL ● Excelitas ● Osarm ● Aurea ● STM ● First sensor ● Sens-Tech 	<p>光电探测器</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 固体激光器 ● 半导体激光器 ● 气体激光器 	<p>主要类型</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 亚德诺 ● 安森美 ● 德州仪器 ● 思佳讯 ● Intersil ● 微芯 ● 美信 ● 盛邦微电子 ● Qorvo 	<p>放大器</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 滨松 ● Manlight ● Coherent ● Lumentum ● Finsar ● 华芯科技 ● 光迅科技 ● Osram ● 富士通 ● ams ● II VI ● 昆纳科技 	
<ul style="list-style-type: none"> ● Cirrus Logic ● 亚德诺 ● 美信 ● Wolfson ● 云芯微 ● 瑞萨 ● 时代民芯 ● 德州仪器 ● NEC 	<p>模数转换器</p>	<p>扫描器及光学组件</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ● Xilinx ● Atmel ● Actel ● 智多晶 ● 国微电子 ● 广东高云 ● 华微电子 ● Lettice ● Altera ● Avago 	<p>FPGA</p>	<p>扫描镜、旋转电机</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 知微传感 ● Lemoptix ● Microvision ● Maradin ● Mirrocle ● 微奥 ● 滨松 ● STM ● Opus ● 创微 	<p>窄带滤光片</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 水晶光电 ● Alluxa ● VIAVI
<p>位置和导航系统</p>		<p>准直镜头</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Heptagon ● 福晶科技 ● 迈得特 	
<p>GPS</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 霍尼韦尔 ● GARMIN ● TomTom ● 北斗星涵 ● 天位领航 ● 路导明图 	<p>IMU</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 博世 ● STM ● 应美盛 ● 村田 ● 亚德诺 ● 美新 ● 松下 ● NXP 		

激光雷达核心器件由国外厂商垄断，掌握议价权，国产替代需求空间巨大。激光雷达光电部分多由日韩德光电子厂商垄断，如激光器主要供应商有 OSRAM、AMS、Lumentum 等，探测器主要供应商有 First Sensor、滨松、安森美、索尼等，光束操纵元件主要供应商有英飞凌、滨松、Mirrocle 等。国内元器件替代逐步推进，重点在扫描方式、激光器、芯片领域发展。扫描器件较为突出的企业有知微传感、Opus 等，二者在 MEMS 微振镜和芯片等方面的研发成果较为突出，如 Opus 拥有 15 年 MEMS 芯片研发经验，在 2016 年研发了全球最小的高清二维 MEMS 扫描镜，在业界具有较大影响。此外，国内瑞波光电和芯世界分别在激光发射和接收方面开发了半导体激光芯片和自主研发的 SPAD 方案，均已提供给激光雷达客户。芯片领域中，FPGA 芯片通常被用作激光雷达的主控芯片。国外的 Xilinx 首创 FPGA 技术，满足了全世界对 FPGA 一半以上的需求。国内的紫光同创推出的产品性能不及国外领先产品，但可以满足激光雷达的需求。

激光雷达上游产业链主要国内外厂商			
上游环节	地域	公司名称	发展概况
激光器	国外	Lumentum	Lumentum 面向 iToF (间接飞行时间)、dToF (直接飞行时间)、结构光、汽车 In-cabin 及汽车激光雷达等多种应用的 VCSEL 和 EEL 产品, 均处于量产状态, 2018 年至今在中国市场 3D 传感 VCSEL 发货量已经超过 6 千万颗。
		AMS	致力于推动对小型外观、低功耗、高灵敏度、多传感器集成有要求的应用, 打造一站式传感器平台, 推出的垂直腔表面发射激光器 (VCSEL)能够在高达 150°C 的环境温度下正常工作。
		OSRAM	首次推出第一款用于激光雷达的激光二极管, 提供全面产品组合, 2020 年 2 月推出的新型红外激光器创下了 70%效率的新纪录。
	国内	纵慧芯光	拥有自主知识产权的 VCSEL 芯片公司, 与 2020 年完成 AEC-Q102 第三方车规认证, 纵慧芯光于 2018 年在常州自建外延产线, 产品更迭速度具有优势。目前已经开发出 808nm、850nm、905nm、940nm 等各个波长的 VCSEL 产品系列。
		江苏华芯	江苏华芯成立于 2015 年底, 能够自主完成 VCSEL 和蓝光半导体激光器芯片外延及芯片工艺制造, 并实现量产的公司。2017 年 11 月, 10G VCSEL 芯片量产并批量出货。2018 年 3 月, 940nm 100mW VCSEL 产品定型。
		武汉光迅	武汉光迅科技是国内光通信光模块器件最大的公司, 公司牵头组建了“国家信息光电子创新中心”, 短期来看可以帮助公司节约研发支出, 长期来看有利于公司充分发挥产业协同优势, 完善技术前瞻布局。光迅科技近年来积极开展波长为 850nm/940nm VCSEL 芯片的研发, 应用于光通信、3D 传感等领域。
探测器	国外	First Sensor	致力于研发和制造各类具有高灵敏度和低暗电流的高速光电检测器, 适用于紫外线光、可见光、红外光和电离辐射等领域, 推出的 APD 产品 Series 9 非常适合采用传播延迟方法进行光学距离测量和物体识别的激光雷达系统。
		滨松	于 1953 年成立于日本, 产品品类丰富, 是世界上科技水平最高、市场占有率最大的光科学、光产业公司, 推出的 InGaAs 探测器在稳定性上具备独特优势。
		索尼	SPAD 阵列和 SPAD 硅基产品, 批量生产 SPAD Array 只有索尼, 今年 2 月索尼发布了用于汽车激光雷达的 SPAD 像素堆叠式直接飞行时间传感器。
		安森美	2018 年收购 SensL, SensL 在成像前沿领域目前处于领先地位, 基于 CMOS 工艺开发固态激光雷达, 围绕 SPAD 和 SiPM 提供广泛的产品线。

	国内	芯世界	成立于 2018 年，拥有自主研发的 SPAD（单光子雪崩二极管）和独特的采集和处理技术，而且已推出多款针对不同应用的固态激光雷达。
		灵明光子	SPAD 核心技术和工艺，公司发明的纳米光子捕捉技术，可以使探测效率大幅度增加，而成本基本不变，时间精确不变，另外，硅光子倍增管 SiPM 产品，以解决激光雷达面临的探测距离不足、功耗过大、成本过高、难以与现有的电路集成等共性问题。
扫描系统	国外	ST	提供符合 AEC-Q100 标准的汽车传感器产品组合，全部采用数字输出。
		滨松	光束操纵元件有 MEMS 微振镜、带通滤光片 BPF、FAC-LENS 快轴准直透镜等。
		Mirrorcle	主要开发 MEMS 微振镜。
	国内	知微传感	成立于 2016 年，提供集成 MEMS 振镜及其驱动、闭环反馈控制位置检测的扫描模组，可根据用户需求提供定制化的产品和服务，推出的 P11 系列模组可提供微振镜的实时扫描角度，并以脉冲的形式输出。
		Opus	15 年 MEMS 芯片研发经验，在 2016 年研发了全球最小的高清二维 MEMS 扫描镜，已经建立了 MEMS 激光扫描芯片批量生产的供应链。
		一径科技	一径科技是国内较早做面向车载应用的固态激光雷达的团队，在 MEMS 激光雷达领域领先，自研 MEMS 微振镜。
信息处理	国外	Xilinx	首创了现场可编程逻辑阵列（FPGA）这一创新性的技术，并于 1985 年首次推出商业化产品，满足了全世界对 FPGA 产品一半以上的需求，可提供 4 个系列的成本优化型产品组合，分别面向特定性能优化。
		TI	率先完成了从真空管到晶体管、再到集成电路（IC）的过渡，是全球领先的模拟芯片供应商，可提供采样速度高达 10.4GSPS 的高速器件和分辨率高达 32 位的精密器件。
	国内	紫光同创	紫光集团下属子公司，推出的 Titan 系列是中国第一款国产自主知识产权千万门级高性能 FPGA 产品，Logos 系列高性价比 FPGA 采用了新 LUT5 结构，Compact 系列低功耗 CPLD 具备低功耗、低成本、小尺寸特性。
		高云半导体	广东高云半导体科技股份有限公司是一家专业从事国产现场可编程逻辑器件（FPGA）研发与产业化为核心的高技术企业，2015 年量产出国内第一块产业化的 55nm 工艺 400 万门的中密度 FPGA 芯片，并开放开发软件下载。2016 年第一季度又顺利推出国内首颗 55nm 嵌入式 Flash SRAM 的非易失性 FPGA 芯片。
		圣邦微电子	A 股上市首家专注于模拟芯片领域的半导体企业，已有 1000 余款产品，全部符合欧盟 RoHS 标准以及绿色环保标准。

	西安智多晶	目前公司有 162nm CPLD 产品线、55nm 内嵌 Flash 小容量 FPGA 产品线、55nm 中等逻辑量 FPGA 与 28nm 嵌入式 FPGA 四大产品线，目前已形成规模。
	思瑞浦	公司的产品以信号链模拟芯片为主，并逐渐向电源管理模拟芯片拓展，产品已进入众多知名客户的供应链体系，其中不乏如中兴、海康威视、哈曼、科大讯飞等各行龙头企业的龙头企业。

对技术路径的投资，最终是对细分产业链的投资。激光类达的技术路径紧密依靠上游元器件产业，特定元器件分支的成熟度，决定着相应技术路线的发展。目前在诸多元器件领域国内厂商技术尚不能达到国外领先玩家，如 FPGA、激光器、探测器领域，但国内厂商根据自身技术路径的选择布局激光雷达上游的元器件，催化产业链的成熟。同时电子产业链的完整支撑加下来激光雷达元器件成本的下降，未来随着技术的逐渐成熟，国内的激光雷达的优势将更加凸显。

国内厂商激光雷达上游布局

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

资料来源：国金证券

2. 激光雷达上游元器件布局：Luminar 案例

Luminar 是目前市值最高的激光雷达公司，巅峰期市值大约 120 亿美元，目前市值在 90 亿美元上下，是老牌激光雷达厂家 Velodyne 市值的 4 倍左右。Luminar 的产品性能和成本处于领先地位，2022-2023 年可实现量产，并与沃尔沃、上汽、Mobileye、四维图新、Cruise 等进行量产合作，市场也对苹果采用 Luminar 激光雷达造车充满信心。

Luminar 专注于 MEMS 半固态技术，选取 1550nm 光纤激光器以达到更远的探测距离和更好的分辨率，采用铟镓砷接收器和自研 ASIC 芯片，提升探测效率并降低成本。

Luminar 采用 1550 纳米的 InGeAs 激光器，在安全性、可靠性、探测距离三个方面具有优势。Luminar 激光雷达一个激光源可以对应多个激光雷达，让激光雷达布局非常灵活，体积也可以大大缩小。光源采用 InGeAs 材料的 1550 纳米波长，在保证人眼安全的前提下将功率提升到传统硅光点系统的 40 倍，将有效距离提升至 200m，减小脉冲宽度至 20 纳秒以下，脉冲重复频率低于 100MHz，提高了信噪比。Luminar 申请了通过二级大模场掺铒光

纤 (EDFA) 放大器调制种子源激光的专利, 明晰了功率放大的路径。为了解决 1550 纳米易受阳光干扰的问题, Luminar 采用波分复用技术, 通过双波长防止出现虚像。

Luminar 收购 InGeAs 探测器公司, 解决铟镓砷成本高的痛点。2017 年 Luminar 收购了 BFE 公司。BFE 长期专注于研究高性能 InGaAs 探测器, 可用于探测 Luminar 激光雷达系统所特有的 1550nm 波长的激光。该收购使得 Luminar 接收器仅需要较少的铟镓砷, 就可实现超过竞争对手 40 倍的功率, 将接收器从成本从过去的上万美元降到了 3 美元。2019 年 7 月 Luminar 开始收购铟镓砷光电二极管设计制造商 OptoGration Inc 的收购, 对 1550nm 探测技术进行更新迭代。

Luminar 自主研发 ASIC 芯片, 降低成本, 优化性能。ASIC 指高度定制专用芯片, Luminar 通过自研 ASIC 芯片, 将发射模块与接收模块集成到芯片上, 降低物料成本, 缩短了数据链路, 实现了性能的提升。同时与 BFE 在数据接收领域的积累, 实现了更好的光子效率和动态范围, 提升了激光雷达的探测效率。

3. 激光雷达上游元器件布局: 华为案例

华为在 ICT 领域光学设计、信号处理、整机工程等拥有业界领先的技术积累, 华为的激光雷达直接面向前装量产, 重构了激光雷达的核心部件, 包括发送模块, 接收模块和扫描器, 并已经建立了第一条车规级激光类的 Pilot 产线, 并将激光雷达价格降低到 200 美元的水平。

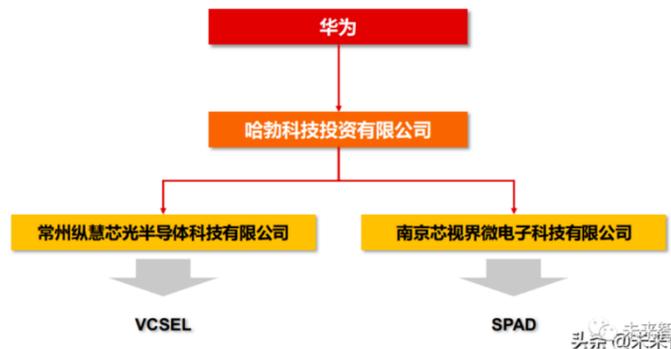
华为激光雷达研发始于 2016 年, 即“爬北坡战略”。2020 年 12 月, 华为正式宣布了车规级 96 线中长距前装量产激光雷达,并于北汽新能源高端品牌 ARCFOX 旗下的极狐 HBT 率先搭载。早在 2014 年, 华为就成立了“车联网实验室”。2019 年华为正式成立智能汽车解决方案 BU, 明确了华为提供智能网联汽车增量部件的业务重点。华为针对 MEMS 激光雷达功率较低的问题, 采用多线程微振镜激光测量模组技术做了改进。华为的激光雷达定位于中距激光雷达, 最远可达 150m 的探测距离, FOV 可达 120 度, 垂直角精度 0.07 度。

华为激光雷达专利累计 67 个, 包括激光发射与接收, 扫描系统和信息处理。华为从 2016 年起开始申请相关专利, 截止 2020 年末, 华为累计申请 67 个专利, 其中信号处理专利最多, 达 42 个。此外, 华为的核心专利主要对于扫描系统的优化以及在发射接收端信号提高点云质量。华为自身具备整套自动驾驶解决方案能力, 以专利作为支撑, 提升未来产业链竞争力。

华为激光雷达专利分布



华为布局上游 VCSEL 和 SPAD 厂商



华为激光雷达产业链布局涵盖激光器、接收器与芯片等关键器件。华为通过全资子公司哈勃投资了纵慧芯光、南京芯世界、裕太微电子、鑫耀半导体等公司。

1) 纵慧芯光的产品 VCSEL 芯片是激光雷达的光源。作为一种光电半导体, VCSEL 广泛

应用于智能手机、数据通信、激光雷达等领域。纵慧芯光同时也是华为手机 ToF 光源的主要供应商，自有 6 寸外延产线。

2) 南京芯视界的产品有单光子雪崩二极管 SPAD (接收器)，SPAD 对光具有高敏感度，装配 SPAD 的激光雷达可以准确探测低反射率的物体，例如暗色着装的行人等。

3) 裕太微的主要产品是汽车以太网 PHY 芯片，汽车以太网也是新型汽车电子电器架构的主干网络，以太网 PHY 不止用在激光雷达中传输点云数据，在毫米波雷达、智能座舱、自动驾驶域控制器上均有应用。

4) 鑫耀半导体主要从事化合物和半导体材料的研发和生产销售，其生产的 6 英寸砷化镓单晶片、4 英寸磷化铟通过华为海思的核查，将为哈勃的半导体研发提供支持。

5) 长光华芯的主要生产线是 VCSEL 的距离传感器、结构光和飞行时间三大类产品，可用于距离传感、机器人、激光雷达、光通讯等，目前已建成从芯片设计、MOCVD (外延)、光刻、解理/镀膜、封装测试、光纤耦合等完整的工艺平台和量产线，是全球少数几家研发和量产高功率半导体激光器芯片的公司。

6) 炬光科技主要从事激光行业上游的高功率半导体激光元器件、激光光学元器件的研发、生产和销售，目前正在拓展激光行业中游的光子应用模块和系统 (包括激光雷达发射模组和 UV-L 光学系统等)，拥有车规级激光雷达发射模组设计、开发、可靠性验证、批量生产等核心能力