

电子行业研究

买入（维持评级）
行业深度研究

证券研究报告

电子组

 分析师：樊志远（执业 S1130518070003） 分析师：邓小路（执业 S1130520080003） 分析师：刘妍雪（执业 S1130520090004）
 fanzhiyuan@gjzq.com.cn dengxiaolu@gjzq.com.cn liuyanxue@gjzq.com.cn

4D 毫米波雷达加速，PCB/CCL 环节值得关注

投资逻辑

毫米波必备属性再确认，“助攻”有望变“主力”。随着美国特斯拉汽车公司推出新一代自动驾驶平台可能搭载1颗高分辨率的4D毫米波雷达（76-77GHz），毫米波雷达的必备性再次确认，其主要表现为相对于摄像头和激光雷达而言，毫米波雷达能够提供更多的信息（测速等）、抗干扰能力强（不受天气环境影响）、测距较远（~250m，能够穿透前车）、价格适中（1500元，激光雷达需要3000元）。过去毫米波雷达存在较大的性能缺陷，现阶段推出的4D毫米波雷达在一定程度上解决了缺陷问题，包括增加了高度信息（增加纵向天线）、提高了角分辨率（通过级联、专用芯片开发、软件等方式增加天线数量）、数据量足以达到成像效果，因此我们认为具有必备性的4D毫米波雷达在ADAS中将从以往的“助攻”逐渐变成“主力”。我们预估全球4D毫米波雷达市场23~25年复合增长为70.69%，至2025年全球市场规模将达到112亿人民币，在毫米波雷达市场价值占比将达到18.6%，快速增长可期。

4D毫米波雷达助力高频高速PCB/CCL扩容。4D毫米波雷达从硬件形态来看主要通过PCB板来承载信号收发和处理，毫米波雷达从传统升级为4D成像雷达也将带来作为基础承载的PCB/CCL价值量提升。根据研究和产业链调研，我们测算毫米波雷达中射频板天线将增大至3倍（0.004m²→0.012m²）、PCB层数将提升2~4层（6层→8~10层）、CCL材料也将升级（单价提升至3倍），最终使得射频板PCB单台价值量提升至传统的5~8倍，射频板CCL单台价值量也提升至传统方案的5~8倍；信号处理板的价值量也会有所升级，PCB单台价值量约提升至2倍（10元/台→20元/台），CCL单台价值量约提升2.5倍（4元/台→10元/台）。结合毫米波雷达的出货量，我们预计2025年全球毫米波雷达PCB/CCL市场空间将分别达到53/23亿元。

PCB/CCL是4D毫米波雷达值得关注的环节。4D毫米波雷达在汽车自动驾驶中扮演着不可或缺的角色，我们认为在全球知名主机厂特斯拉即将推出搭载4D毫米波成像雷达的车型的今年，有望成为4D毫米波成像雷达开始快速渗透趋势的元年。在这样的背景下，我们认为虽然PCB/CCL环节市场空间有限，但值得高度关注，原因在于：1）PCB/CCL价值增量显著高于毫米波雷达增量，4D毫米波雷达相对传统方案，PCB/CCL单台价值量达到3.6~5.5倍/4.9~6.4倍，远高于毫米波雷达本身价值增幅（50~70美元升级为100~200美元，增幅2~3倍）；2）国内PCB/CCL厂商已站好格局，多家PCB/CCL厂商在毫米波雷达布局已久，虽然市场空间相对有限，但快速增长的增量将会为PCB/CCL产业链公司带来直接的增长贡献。

投资建议与估值

我们认为4D毫米波雷达将为PCB/CCL环节带来显著增量，建议关注已经长期配套主流Tier1厂商开发毫米波雷达、技术积累较为深厚的PCB/CCL厂商。可关注生益科技、中英科技、沪电股份、生益电子、四会富仕等公司。

风险提示

渗透率不及预期；产业链格局变化；价格下降风险；竞争格局恶化。

内容目录

一、毫米波必备属性再确认，“助攻”有望变“主力”	4
1.1、毫米波雷达的必备性得到确认，4D 弥补短板有望地位上升	4
1.2、市场测算：全球 4D 毫米波 2025 年超过百亿	7
二、4D 毫米波雷达助力高频高速 PCB/CCL 扩容	10
2.1、射频前端集成化加剧，PCB 价值量增加 5~8 倍	11
2.2、信号处理板略有升级，数据融合或使硬件功能简化	12
2.3、高频高速 PCB 空间扩展	13
三、投资建议：PCB/CCL 是 4D 毫米波雷达值得关注的环节	16
3.1、PCB/CCL 是值得关注的环节	16
3.2、投资建议	17
四、风险提示	17
4.1、渗透率不及预期	17
4.2、产业链格局变化	17
4.3、价格下降风险	17
4.4、竞争格局恶化	17

图表目录

图表 1：FCC 文件中显示特斯拉申请了 76-77GHz 频段毫米波雷达	4
图表 2：毫米波不同频段大气衰减趋势图	5
图表 3：毫米波不同工艺演进价格变化	5
图表 4：主流 ADAS 搭载传感器对比	5
图表 5：主机厂主流型号搭载传感器情况对比	5
图表 6：NHTSA 报告的特斯拉幽灵刹车次数	6
图表 7：毫米波雷达（上）与激光雷达（下）点云图	6
图表 8：毫米波雷达与激光雷达性能对比	6
图表 9：大陆 ARS540 通过级联 4 枚芯片实现 12T16R	7
图表 10：Arbe Phoenix 点云图（具备测高功能）	7
图表 11：部分已宣告搭载 4D 毫米波雷达方案	7
图表 12：2021-2025 全球各级别 ADAS 渗透率（%）	8
图表 13：各级别 ADAS 搭载毫米波雷达数量	8
图表 14：单车毫米波雷达搭载量测算（颗/车）	8

图表 15: 全球毫米波雷达出货量预测.....	9
图表 16: 4D 与非 4D 毫米波雷达价格趋势.....	9
图表 17: 全球 4D 毫米波雷达市场规模测算.....	10
图表 18: 毫米波雷达硬件结构.....	10
图表 19: 传统毫米波雷达与 4D 毫米波成像雷达方案对比.....	11
图表 20: 传统毫米波雷达与 4D 毫米波成像雷达射频板 PCB/CCL 方案和价值对比.....	11
图表 21: 大陆 ARS410 信号处理板.....	12
图表 22: 特斯拉 4D 毫米波雷达信号处理板.....	12
图表 23: 数据融合逻辑示意图.....	13
图表 24: 4D 毫米波雷达信号处理板价值提升 (元/台).....	13
图表 25: 毫米波雷达市场 PCB 测算.....	14
图表 26: 毫米波雷达市场 CCL 测算.....	15
图表 27: 4D 毫米波成像雷达产业链环节.....	16
图表 28: PCB/CCL 价值增量高于 4D 毫米波成像雷达.....	16
图表 29: 2021 年国产乘用车毫米波雷达供应商.....	17

一、毫米波必备属性再确认，“助攻”有望变“主力”

作为自动驾驶重要推动者，美国特斯拉汽车公司（后简称“特斯拉”）基于自研硬件平台 Hardware（后缩写为 HW）形成的 Autopilot 自动辅助驾驶方案成为全球自动驾驶方案的风向标。经过多次迭代，目前特斯拉正处于由 HW3.0 向 HW4.0 过渡更新的阶段，从各类官方申报文件可以看到（如 FCC 等），新一代 HW4.0 硬件中将支持更多传感器与摄像头接入，其中可能会增加 1 颗高分辨率的 4D 毫米波雷达（76-77GHz）成为了最出乎意料的变化之一。

图表 1: FCC 文件中显示特斯拉申请了 76-77GHz 频段毫米波雷达

Application: 76-77 GHz Automotive Radar				
Equipment Class: VRD - Part 95 Vehicular Radar Systems				
Short Link: fcc.id/2AEIM-1541584				
Sources: FCC.gov FCC.report				
Registered By: Tesla, Inc - 2AEIM (United States)				
you@youremail.com		Subscribe		

App #	Purpose	Date	Unique ID	
1	Original Equipment	2022-06-07	TAI5I5aHqj4GjFFPukbA==	

Operating Frequencies				
Frequency Range	Power Output	Emission Designator	Rule Parts	Line Entry
76-77 GHz	72 mW	230MF0N	95M	1
76-77 GHz	107 mW	433MF0N	95M	2
76-77 GHz	177 mW	779MF0N	95M	3

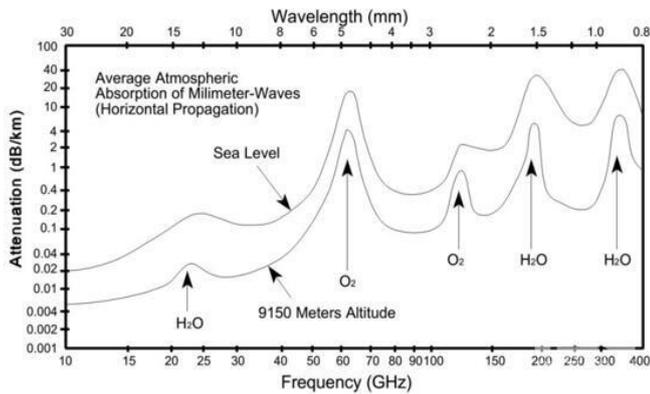
来源：FCC，国金证券研究所

1.1、毫米波雷达的必备性得到确认，4D 弥补短板有望地位上升

特斯拉曾在 2021 年放弃毫米波雷达转而提出仅依靠摄像头的“100%视觉方案”，而此次特斯拉重新启动 4D 毫米波雷达证明了毫米波雷达是高级别 ADAS 必备的感知层组件。毫米波不可或缺的原因主要来自 4 个方面：

- 1) 提供的信息更多。毫米波雷达是基于电磁波传播原理的传感器，这相对基于光学的摄像头和激光雷达的传感器方案能够提供更多元的信息，例如在测速方面毫米波雷达具有显著的优势，这一优势能够弥补摄像头在深度值测算方面的缺陷，也能够避免激光雷达因吸收效应导致的测速失真的问题。
- 2) 抗干扰能力强，可全天候工作。电磁波在空气中传播时会被固体反弹但极少被大气中的水蒸气、氧气、二氧化碳等吸收衰减，毫米波雷达利用电磁波这一特性能够保证较高的功能性（利用反弹收集信息）和抗干扰性（雨雾等环境下仍能正常工作），从而能够全天时工作。这一特性是基于光学原理的摄像头和激光雷达不具备的，这使得 ADAS 方案中毫米波雷达必备的关键原因。
- 3) 测距较远，穿透车能力强。摄像头的工作距离一般在 150m 左右，激光雷达的工作距离能够达到 300m，77Ghz 的毫米波雷达的工作距离能达到 250m 左右，由此可以看出毫米波雷达具有较远的工作距离，并且相对同样具有较长工作距离的激光雷达而言，毫米波雷达具有穿透塑料的能力优势，可以被安装在保险杠正中间以使得电磁波能够穿过前车底盘下部探测到前前车的行驶情况，从而保证更远的探测距离。
- 4) 价格适中。毫米波雷达已经经历 GaAs（砷化镓）、SiGe（锗硅）、CMOS 工艺演进，目前 CMOS 的工艺让价格下降至初代的 30%，2023 年的毫米波前向雷达单价约为 500 元，角雷达单价约为 250 元，即使 4D 毫米波成像雷达单价也就约为 1500 元（尚未批量化的价格），相比激光雷达的单价 3000 元来说仍具有较高性价比。

图表2: 毫米波不同频段大气衰减趋势图



来源: 邦拿公司官网, 国金证券研究所

图表3: 毫米波不同工艺演进价格变化



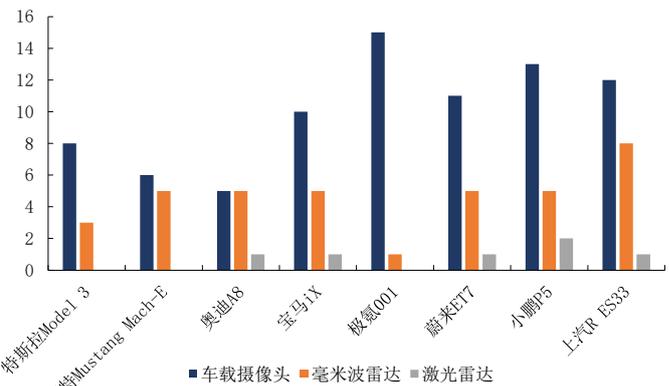
来源: 加特兰微电子官网, 国金证券研究所

图表4: 主流 ADAS 搭载传感器对比

参数	摄像头	毫米波雷达	激光雷达
探测距离	0-150m	0-250m	0-300m
主要信息	图像	位置、速度、距离	位置、速度、高度、形状
单价(元)	350左右	500左右	6000以上
优点	可识别颜色、对比度、材质、物体类别	不受天气环境影响; 穿透能力强; 分辨率高	探测距离远、分辨率高
缺点	易受光线变化、恶劣天气影响; 难以探测相对距离变化	难以识别静止和缓慢移动物体; 不能测高	易受天气影响; 成本高; 工艺精度高
应用功能	AEB、ACC、BSD、LKA等	ACC、AEB、BSD等	ACC、AEB、FCW、LKA等
ADAS等级	L0及以上	L1及以上	L3及以上

来源: 懂车帝, 汽车之家, 国金证券研究所

图表5: 主机厂主流型号搭载传感器情况对比

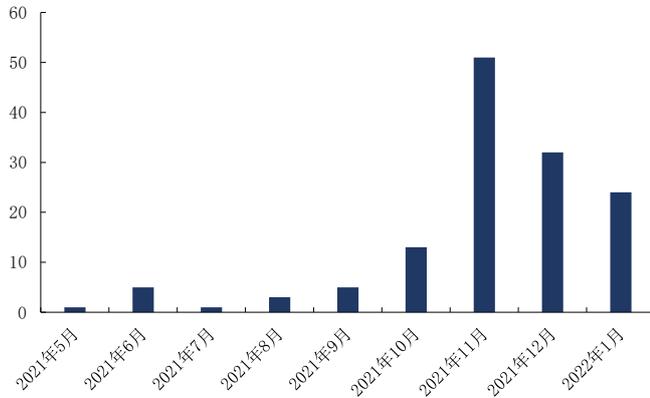


来源: 高工数据, 国金证券研究所

毫米波雷达的必要性让大多数 L1 级及以上车型都会选择搭载, 但传统的毫米波雷达在 ADAS 传感器中的地位偏向“助攻”而非“主力”, 原因在于以往的毫米波雷达在性能上存在较大缺陷:

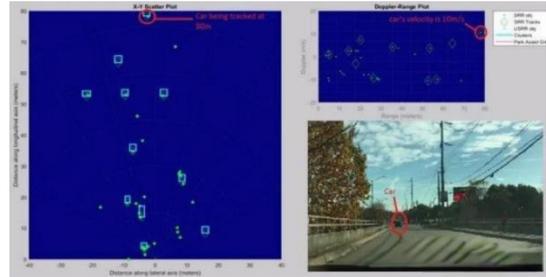
- 1) 缺乏高度信息。传统毫米波雷达缺乏纵向天线形成天线阵列, 无法测量物体的高度, 这曾导致大量的“幽灵刹车”事件, 而主机厂为了安全和保证驾驶体验往往选择对毫米波雷达进行静态过滤, 导致其功能无法完全利用。
- 2) 角度分辨率低。角度分辨率决定了在特定距离中将两个物体区别开的能力, 该值越小证明能够在越长的距离下将两个距离越近的物体识别开来。传统毫米波雷达的天线数量有限导致角度分辨率较低, 如大陆 ARS408 远距角分辨率仅为 1.6°, 而激光雷达镭神 CH128X1 角度分辨率可以达到 0.4°, 同时获取的数据量也相对有限、无法形成足够的点云数量达到成像的效果。
- 3) 点云数据量不足难以成像。由于天线数量有限, 毫米波雷达获取到的点云数量相对较少、难以成像, 收集的信息太过模糊以至于单靠毫米波雷达进行环境识别存在较大误差。

图表6: NHTSA 报告的特斯拉幽灵刹车次数



图表7: 毫米波雷达(上)与激光雷达(下)点云图

毫米波雷达点云稀疏、难以成像



激光雷达成像清晰



来源: NHTSA, 国金证券研究所

来源: 焉知智能汽车, 镭神智能, 国金证券研究所

图表8: 毫米波雷达与激光雷达性能对比

类型	传统毫米波雷达		激光雷达	
厂商	博世	大陆	厂商	博世
型号	LRR4	ARS408	型号	LRR4
最远距离	250	250	最远距离	250
远距视角场(水平/垂直)	±6°	±9°	远距视角场(水平/垂直)	±6°
远距角分辨率(水平/垂直)	/	±1.6°	远距角分辨率(水平/垂直)	/
最大点云(数据量)	少	少	最大点云(数据量)	少

来源: 各公司公告/官网, 国金证券研究所

传统毫米波雷达的性能存在差异, 即使当前的汽车都会搭载毫米波雷达作为补盲产品, 性能缺陷不弥补将影响毫米波雷达的终局空间。4D 毫米波成像雷达的出现开始扭转毫米波雷达的“地位”, 其在一定程度上解决了传统毫米波雷达的缺陷:

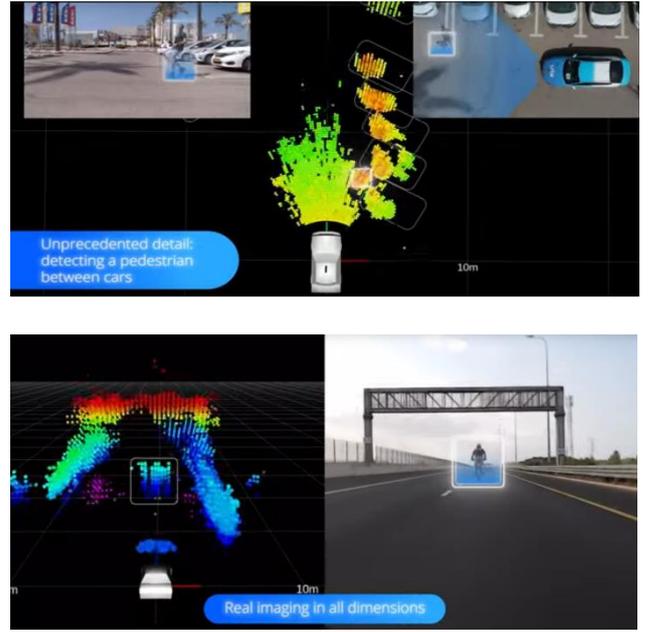
- 1) 增加高度信息。4D 毫米波雷达新增纵向天线, 纵向天线能提供垂直分辨率的数据维度, 毫米波收到的返回信号不再是简单地排列在二维平面上, 而是呈现在立体的三维空间里, 从而 4D 毫米波雷达拥有测高功能。这有助于区分识别各种高度的静态障碍物, 解决“幽灵刹车”问题。
- 2) 角分辨率提高。4D 毫米波雷达的天线数量大幅提升从而使得角分辨率提高, 天线数量大幅提升的方式包括通过级联+MIMO、专用芯片、软件算法的方式, 例如 ARS540 利用四级联方案形成 12T16R 共 192 个虚拟通道, Arbe 通过专用芯片设计的方式推出 48T48R 共 2304 个虚拟通道, 傲酷利用虚拟孔径成像技术在硬件的基础上再虚拟出 10-100 倍虚拟通道。
- 3) 数据量提升, 点云成像效果大幅改善。4D 毫米波雷达通过增加天线数量而大幅增加获取信息量, 从而使得点云更致密, 成像效果大幅改善, 如 Arbe 48T48R 的 4D 毫米波雷达 Phoenix 已经有一定成像效果, ARS548 的点云量最高可达 800 每帧。

图表9: 大陆 ARS540 通过级联4枚芯片实现 12T16R



来源: FCC, 国金证券研究所

图表10: Arbe Phoenix 点云图 (具备测高功能)



来源: Arbe 官网, 国金证券研究所

综上, 我们认为毫米波雷达是 ADAS 必备的传感器, 以往受制于产品性能而作为辅助功能居多, 限制了毫米波雷达的终局空间, 但随着 4D 毫米波雷达在硬件和软件算法上的精进, 我们认为 4D 毫米波雷达将成为助力 ADAS 中必不可少的主力产品, 终局空间将进一步打开。

1.2、市场测算: 全球 4D 毫米波 2025 年超过百亿

虽然当前 4D 毫米波成像雷达的应用尚处于初期阶段, 但从主机厂近期的布局来看, 特别是从特斯拉即将搭载 4D 毫米波雷达的举动来看, 4D 毫米波成像雷达上车趋势已现。

图表11: 部分已宣告搭载 4D 毫米波雷达方案

主机厂	车型	上市时间	4D 毫米波雷达数量
Waymo	Waymo one (第五代自动驾驶感知套件)	2020 年宣布搭载 4D 雷达	6
上汽	RES33	2021 年 4 月亮相	2
	飞凡 R7 旗舰版	2022 年 9 月	2 颗
长安汽车	长安深蓝 SL03	2022 年 7 月	选装 1 颗
特斯拉	待定	2023 年下半年或 2024 年年初	待定

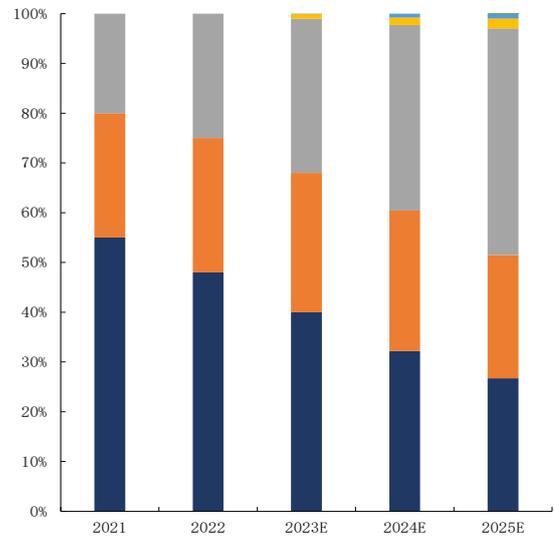
来源: 各厂商公告/官网, 国金证券研究所

我们根据下列关键假设对毫米波雷达市场规模进行预测:

- 1) 假设 1: ADAS 渗透率假设。从全球乘用车的角度来看, 40~50%的乘用车自动驾驶级别仍然停留在 L0, 剩下的市场由 L1 和 L2 级别占领。展望未来, 我们认为 23~25 年 L0 级别将显著下降, L1 级别维持稳定但 L2 级别将显著上升, 同时 L3~L5 级别车型将陆续推出, 即我们假设 23~25 年 L0 级别占比为 40%/32%/27%, L1 级别占比 28%/28%/25%, L2 级别占比 31%/37%/46%, L3 级别占比 0.9%/1.5%/2.0%, L4 级别 0.1%/0.8%/1.0%, L5 级别在 25 年才出现。

图表12: 2021-2025 全球各级别 ADAS 渗透率 (%)

ADAS 等级	2021	2022	2023E	2024E	2025E
L0	55%	48%	40%	32%	27%
L1	25%	27%	28%	28%	25%
L2	20%	25%	31%	37%	46%
L3	-	-	0.9%	1.5%	2.0%
L4	-	-	0.1%	0.8%	1.0%
L5	-	-	-	-	0.01%



来源: Yole, 国金证券研究所

- 2) 假设 2: 各级别 ADAS 搭载毫米波雷达数量假设。结合当前主流车型毫米波雷达前向和角雷达的搭载量, 我们假设 L0~L5 的毫米波前向雷达搭载量分别为 0/1/1/1/1/2 颗, 角雷达搭载量分别为 0/1/2/4/6/6 颗。结合假设 1, 我们测算可得 23~25 年全球乘用车单车毫米波搭载量为 1.54/1.80/2.05 颗/车, 其中前向为 0.60/0.67/0.74 颗/车, 角雷达为 0.94/1.13/1.31 颗/车。

图表13: 各级别 ADAS 搭载毫米波雷达数量

自动驾驶等级	前向搭载量	角雷达搭载量
L0	0	0
L1	1	1
L2	1	2
L3	1	4
L4	1	6

图表14: 单车毫米波雷达搭载量测算 (颗/车)

	2021	2022	2023E	2024E	2025E
单车-毫米波雷达	1.10	1.29	1.54	1.80	2.05
其中: 前向	0.45	0.52	0.60	0.67	0.74
其中: 角雷达	0.65	0.77	0.94	1.13	1.31

来源: Yole, 国金证券研究所

来源: Yole, 国金证券研究所

- 3) 假设 3: 单车-4D 毫米波雷达-前向渗透率假设。我们认为, 4D 毫米波雷达会先在高级别 ADAS 和豪华车型使用, 经过市场检验后会向低级别车型加速渗透, 因此替代传统毫米波雷达速度呈先缓慢后加速的态势, 我们假设 23~25 年 4D 毫米波前向雷达渗透率为 5%/10%/20%。
- 4) 假设 4: 单车-4D 毫米波雷达-角雷达渗透率假设。由于功能较弱、探测距离较短的角雷达在 ADAS 中主要起到辅助作用, 4D 相对非 4D 毫米波雷达的优势不大, 因为我们预计 4D 毫米波角雷达会在前向雷达初步渗透后才开始替代传统角雷达。基于此我们假设 23~25 年 4D 毫米波角雷达渗透率为 0.5%/1.5%/3.0%。
- 5) 假设 5: 全球汽车销量假设。根据 Marklines, 21~22 年全球乘用车销量为 8144 万辆和 8063 万辆, 在经历了宏观经济波动后, 我们预计 23~25 年全球汽车销量有望恢复缓慢增长, 假设全球汽车销量复合增速为 3%。

基于上述假设, 最终我们预测计算得到 23~25 年全球乘用车毫米波雷达数量将达到 1.28/1.54/1.81 亿颗, 其中 4D 毫米波雷达有望达到 288/720/1651 万颗, 渗透率达

到 2%、5%、9%。

图表15：全球毫米波雷达出货量预测

序列	变量	单位	2021	2022	2023E	2024E	2025E	备注
(1)	单车-毫米波雷达	颗/车	1.10	1.29	1.54	1.80	2.05	取自图表 14
(2)	其中：前向	颗/车	0.45	0.52	0.60	0.67	0.74	
(3)	其中：角雷达	颗/车	0.65	0.77	0.94	1.13	1.31	
(4)	单车-4D 毫米波雷达	颗/车	0.00	0.02	0.03	0.08	0.19	(5) + (7)
(5)	其中：前向	颗/车	0.00	0.02	0.03	0.07	0.15	(2) * (6)
(6)	前向 -渗透率	%	1%	4%	5%	10%	20%	假设 3
(7)	其中：角雷达	颗/车	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	(3) * (8)
(8)	角雷达-渗透率	%	0.0%	0.2%	0.5%	1.5%	3.0%	假设 4
(9)	单车-非 4D 毫米波雷达	颗/车	1.10	1.27	1.51	1.72	1.86	(1) - (4)
(10)	其中：前向	颗/车	0.45	0.50	0.57	0.61	0.59	(2) * (11)
(11)	前向 -渗透率	%	100%	97%	95%	90%	80%	1- (6)
(12)	其中：角雷达	颗/车	0.65	0.77	0.94	1.11	1.27	(2) * (13)
(13)	角雷达-渗透率	%	100%	100%	100%	99%	97%	1- (8)
(14)	全球乘用车销量	百万辆	81	81	83	86	88	假设 5
(15)	合计-毫米波雷达	百万颗	90	104	128	154	181	(16) + (17)
(16)	其中：前向	百万颗	37	42	50	58	65	(2) * (14)
(17)	其中：角雷达	百万颗	53	62	78	96	115	(3) * (14)
(18)	合计-4D 毫米波雷达	百万颗	0.2	1.6	2.9	7.2	16.5	(20) + (21)
(19)	渗透率	%	0%	2%	2%	5%	9%	(18) / (15)
(20)	其中：前向	百万颗	0.2	1.5	2.5	5.8	13.0	(5) * (14)
(21)	其中：角雷达	百万颗	0.0	0.1	0.4	1.4	3.5	(7) * (14)
(22)	合计-非 4D 毫米波雷达	百万颗	89	102	125	147	164	(24) + (25)
(23)	渗透率	%	100%	98%	98%	95%	91%	(22) / (15)
(24)	其中：前向	百万颗	36	40	47	52	52	(10) * (14)
(25)	其中：角雷达	百万颗	53	62	78	95	112	(12) * (14)

来源：Marklines, Yole, 国金证券研究所

- 6) 假设 6：价格趋势假设。根据 Arbe 招股说明书，2021 年 4D 毫米波前向雷达单价为 1500 美元/颗，但到 2022 年单价下降至 220 美元/颗，并且 Arbe 宣称 2023 年底开始转向大规模量产、预计单价会继续显著下降，基于此，我们预计 4D 毫米波前向雷达自 2023 年价格缓慢下滑而 2024 年开始价格会显著下行，假设年同比降幅为 10%、30%、20%，对应单价为 198/139/111 美元；非 4D 毫米波雷达在 21~22 年约 75/73 美元，考虑到传统毫米波雷达市场竞争较为充分，预计价格每年下降 3%，对应 23~25 年价格为 71/68/66 美元。根据产业链调研，角雷达价格约为前向雷达的 50%，因此我们按照假设的前向雷达价格估测角雷达价格。

图表16：4D 与非 4D 毫米波雷达价格趋势

	2021	2022	2023E	2024E	2025E
4D 前向雷达单价 (美元)	1500	220	198	139	111
4D 角雷达单价 (美元)	750	110	99	69	55
非 4D 前向雷达单价 (美元)	75	73	71	68	66
非 4D 角雷达单价 (美元)	38	36	35	34	33
美元对人民币平均汇率 ^注	6.45	6.73	6.84	6.84	6.84
4D 前向雷达单价 (元)	9675	1481	1354	948	758
4D 角雷达单价 (元)	4838	740	677	474	379
非 4D 前向雷达单价 (元)	484	490	483	468	454

非 4D 角雷达单价 (元)	242	245	241	234	227
----------------	-----	-----	-----	-----	-----

来源: Arbe 官网, SystemPlus, Vehicle, Wind, 产业链调研, 国金证券研究所

注: 我们以年平均美元兑人民币汇率作为汇率计算基准, 其中 2023 年汇率统计时间截止 2023 年 3 月 16 日, 我们在 2024 年、2025 年的数据中继续采用 2023 年的汇率进行计算。

结合上述假设, 我们预估全球 4D 毫米波雷达市场 23~25 年复合增长为 70.69%, 至 2025 年全球市场规模将达到 112 亿人民币, 在毫米波雷达市场价值占比将达到 18.6%, 快速增长可期。

图表17: 全球 4D 毫米波雷达市场规模测算

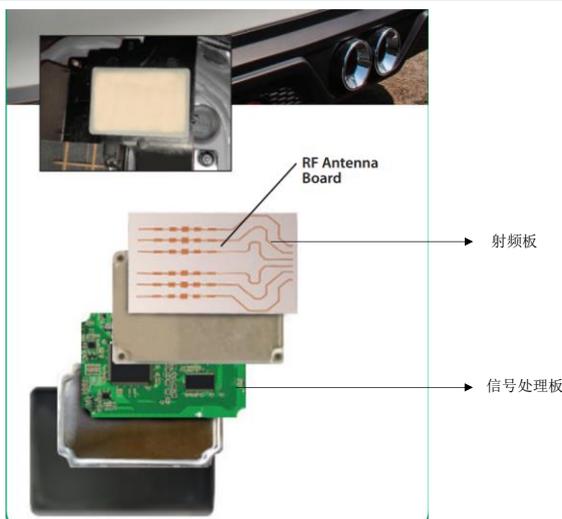
	单位	2021	2022	2023E	2024E	2025E
毫米波雷达	亿元	323	372	453	527	603
其中: 前向	亿元	194	220	262	297	336
其中: 角雷达	亿元	129	153	191	229	267
4D 毫米波雷达	亿元	18	23	36	61	112
价值占比	%	5.7%	6.1%	8.0%	11.7%	18.6%
其中: 前向	亿元	18	22	34	55	99
其中: 角雷达	亿元	1	1	3	7	13
非 4D 毫米波雷达	亿元	304	350	416	465	491
价值占比	%	94.3%	93.9%	92.0%	88.3%	81.4%
其中: 前向	亿元	176	198	228	243	237
其中: 角雷达	亿元	128	152	188	222	254

来源: Marklines, 盖世汽研, Yole, 国金证券研究所

二、4D 毫米波雷达助力高频高速 PCB/CCL 扩容

4D 毫米波雷达从结构来看主要可以分为发射模块、接收模块、处理模块和外壳, 其中发射模块包括天线和合成器 (振荡器), 接收模块包括低噪声放大器 (LNA)、混频器、数模转换器 (ADC) 等, 处理模块主要承载处理芯片 (MCU/DSP/FPGA), 从硬件形态来看发射模块、接收模块和处理模块基本上都是通过 PCB 板来实现相应功能, 毫米波雷达从传统升级为 4D 成像雷达也将带来作为基础承载的 PCB/CCL 价值量提升。

图表18: 毫米波雷达硬件结构



来源: 罗杰斯官网, 国金证券研究所

2.1、射频前端集成化加剧，PCB 价值量增加 5~8 倍

无论 4D 毫米波成像雷达采用“级联+MIMO”、专用芯片还是软件赋能的方案，其结果本质是使得雷达收发信息的数量和质量显著提升（从而达到点云成像的结果），这也就使得承担信号收发的射频前端（发射模块和接收模块）集成化程度得到提升，那么作为信号承载的 PCB 板也将发生变化。我们认为 4D 毫米波成像雷达相比传统雷达在 PCB/CCL 方面将有显著升级：

- 1) 面积增大至 3 倍。我们通过对比全球知名 Tier1 德国大陆公司的传统毫米波雷达 ARS410（特斯拉曾用）、4D 毫米波成像雷达 ARS540、特斯拉在 FCC 上披露的最新 4D 毫米波成像雷达的方案进行对比，我们发现 4D 毫米波雷达采取芯片级联的方式使得射频板面积有所增大，估算出传统毫米波雷达的射频板面积约为 0.006 平方米，而以 ARS540 和特斯拉方案为代表的 4D 毫米波成像雷达的射频板面积约为 0.012 平方米，面积增幅达到 2 倍。

图表19：传统毫米波雷达与 4D 毫米波成像雷达方案对比

所属型号	大陆 ARS410	大陆 ARS540	特斯拉（待发布）
类型	非 4D 毫米波雷达	4D 毫米波成像雷达	4D 毫米波成像雷达
频段	76-77GHz	76-77GHz	76-77GHz
通道数	2T3R	4×3T4R	2×3T4R
MIMO	单芯片	4 芯片级联	2 芯片级联
面积	~0.004m ²	~0.012m ²	~0.012m ²

来源：FCC，产业链调研，国金证券研究所

- 2) PCB 层数增加。由于 4D 毫米波成像雷达的数据量增加，PCB 板需要处理的信号也随之大幅增加，需要通过层数增加来提供足够的线路。根据产业链调研，传统毫米波雷达射频板层数将从以往的 6 层提升至 8~10 层，层数提升使得 PCB 价格也将有所提升。
- 3) CCL 材料升级。毫米波雷达需要接受和发射高频信号，因此需要高频 CCL 材料作为信息接受和发射的最前沿承载，根据产业链调研，无论是传统毫米波雷达还是 4D 毫米波成像雷达，77GHz 主流方案中均会设置 2 层高频层，所用材料为 PTFE（24GHz 方案或用 PPO 材料方案），但不同的是传统毫米波雷达所采用的高频 PTFE 材料较初级（例如 R04850/R04350），4D 毫米波成像雷达所用高频 PTFE 较高级（例如 R03003/R03006），后者材料单价为前者的 3 倍，材料价值升级打开空间。

在射频板面积增加、层数提高、CCL 材料升级的趋势下，我们计算得到 4D 毫米波成像雷达射频板 PCB 价值量提升至传统毫米波雷达的 5~8 倍，CCL 价值量提升至传统方案的 5~8 倍，可见 4D 毫米波成像雷达为 PCB/CCL 带来了显著的价值增量。

图表20：传统毫米波雷达与 4D 毫米波成像雷达射频板 PCB/CCL 方案和价值对比

	射频板-传统毫米波	射频板-4D 毫米波成像雷达
面积	0.004	0.012
层数	6 层	8~12 层
工艺	埋盲孔	埋盲孔
单台价值量-PCB	12 元/台	60~100 元/台

CCL 分布:

高频层-层数	2 层	2 层
高频层-CCL 材料	PTFE	PTFE
高频层-CCL 单价	~1000 元/平方米	~2000-3000 元/平方米
高频层-单台价值量	4 元/台	24~36 元/台
普通层-层数	4 层	6~8 层
普通层-CCL 材料	高 Tg FR4	高 Tg FR4
普通层-CCL 单价	~150 元/平方米	~150 元/平方米
普通层-单台价值量	1.2 元/台	5.4~7.2 元/台
单台价值量-CCL	5.2 元/台	29.4~43.2 元/台

来源：产业链调研，国金证券研究所

2.2、信号处理板略有升级，数据融合或使硬件功能简化

信号经过射频板完成基本转换之后，会进入信号处理板以计算物体的距离、速度、角度等信息，一般情况下信号处理板有高速处理要求，因此 PCB 多用高速覆铜板作为信号走线的材料。由于 4D 毫米波成像雷达信息量有所提升，因此 PCB 的规格也会相应升级，但值得注意的是，由于 AI 算法的介入，数据融合程度提升将简化毫米波雷达上的信号处理功能，从而使得信号处理板上的设计和工艺复杂度降低。根据产业链调研，目前已经推出的 4D 毫米波成像雷达的信号处理板相对传统毫米波雷达的价值量仍然会提升，大约从 10 元/台提升至 20 元/台，其中高速 CCL 价值量从 4 元/台提升至 10 元/台，价值量提升主要体现在 PCB 层数有所增加（4 层到 4~6 层）和 CCL 材料等级有所升级（从 Very Low Loss 和 Ultra Low Loss 掺杂到全部用 Ultra Low Loss）。

图表21：大陆 ARS410 信号处理板



来源：FCC，国金证券研究所

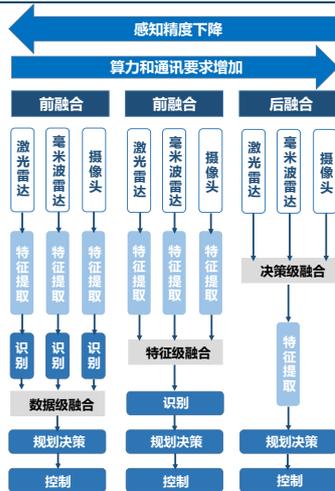
图表22：特斯拉 4D 毫米波雷达信号处理板

1.4 EUT Internal Board #2, Top View

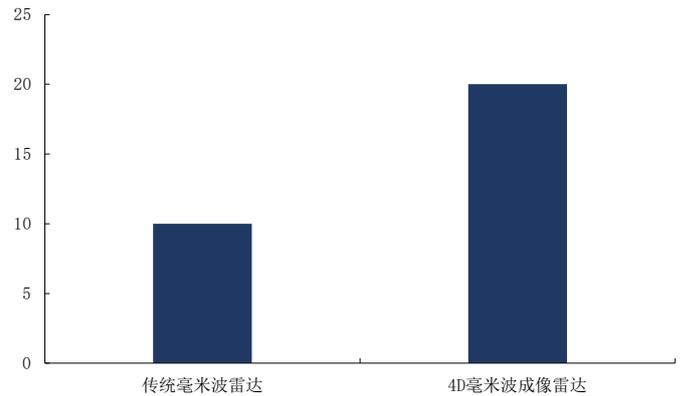


来源：FCC，国金证券研究所

图表23: 数据融合逻辑示意图



图表24: 4D 毫米波雷达信号处理板价值提升 (元/台)



来源: 产业链调研, 国金证券研究所

来源: 产业链调研, 国金证券研究所

综合来看, 传统毫米波雷达单台 PCB/CCL 价值量合计约为 22 元/9 元, 4D 毫米波成像雷达单台 PCB/CCL 价值量合计约为 80~120 元/44~58 元, 单台价值量达到 3.6~5.5 倍/4.9~6.4 倍, 可见 4D 毫米波成像雷达为 PCB/CCL 带来显著增量。

2.3、高频高速 PCB 空间扩展

根据前述对毫米波雷达市场的测算, 我们再针对 PCB 和 CCL 市场进行测算, 如前, 我们将通过分解为 4D 毫米波-前向市场、4D 毫米波-角雷达市场、非 4D 毫米波市场进行分别测算。

2.3.1、未来毫米波雷达用 PCB 市场空间超过 50 亿元

根据前述内容, 我们基于以下假设对毫米波雷达用 PCB 板市场进行预测:

- 1) 假设 1: 4D 毫米波雷达-前向-射频板单台价值量。根据前述内容, 4D 毫米波雷达中射频板单台价值量为 60~100 元, 考虑到前向雷达要求更高, 因此我们假设 2023 年 4D 毫米波前向雷达射频板单台价值量为 100 元, 考虑到 PCB 是核心承载元件, 2024~2025 年按照 5% 的降幅估测单台价值量;
- 2) 假设 2: 4D 毫米波雷达-前向-信号处理板单台价值量。根据前述内容, 4D 毫米波雷达中信号处理板大概是 20 元/台, 我们假设 2023 年前雷达信号处理板单台价值量为 20 元/台, 考虑到 PCB 是核心承载元件, 2024~2025 年按照 5% 的降幅估测单台价值量;
- 3) 假设 3: 4D 毫米波雷达-角雷达-射频板单台价值量。根据前述内容, 4D 毫米波雷达中射频板单台价值量为 60~100 元, 考虑到角雷达要求更低, 因此我们假设 2023 年 4D 毫米波角雷达射频板单台价值量为 60 元, 考虑到 PCB 是核心承载元件, 2024~2025 年按照 5% 的降幅估测单台价值量;
- 4) 假设 4: 4D 毫米波雷达-角雷达-信号处理板单台价值量。根据前述内容, 4D 毫米波雷达中信号处理板大概是 20 元/台, 并且角雷达和前雷达在信号处理板上的差别不大, 因此我们假设 2023 年角雷达信号处理板单台价值量为 20 元/台, 考虑到 PCB 是核心承载元件, 2024~2025 年按照 5% 的降幅估测单台价值量;
- 5) 假设 5: 非 4D 毫米波雷达-射频板单台价值量。根据前述内容, 传统毫米波雷达射频板单台价值量为 12 元/台, 考虑到传统毫米波雷达竞争相对充分、价格稳定, 我们预计 2023~2025 年传统毫米波雷达射频板单台价值量保持为 12 元/台;
- 6) 假设 6: 非 4D 毫米波雷达-信号处理板单台价值量。根据前述内容, 传统毫米波雷达信号处理板单台价值量约为 10 元/台, 考虑到传统毫米波雷达竞争相对充分、价格稳定, 我们预计 2023~2025 年传统毫米波雷达信号处理板单台价值量保持为 10 元/台;

根据上述假设, 我们预估 2023~2025 年全球毫米波雷达 PCB 市场空间为 31 亿元、40 亿元和 53 亿元, 其中射频板 PCB 市场空间为 18 亿元、24 亿元和 33 亿元, 信号处理板 PCB 市场空间为 13 亿元、16 亿元和 19 亿元。

图表25：毫米波雷达市场 PCB 测算

序号	变量	单位	2023E	2024E	2025E	备注
(1)	4D 毫米波雷达-前向-出货量	百万颗	2.5	5.8	13.0	取自图表 15
(2)	4D 毫米波雷达-前向-PCB 市场	亿元	3.0	6.6	14.1	(1)*(3)
(3)	PCB 单台价值量	元/台	120	114	108	(5)+(7)
(4)	其中：射频板市场	亿元	2	5	12	(1)*(5)
(5)	PCB 单台价值量-射频板	元/台	100	95	90	假设 1
(6)	其中：信号处理板市场	亿元	0	1	2	(1)*(7)
(7)	PCB 单台价值量-信号处理板	元/台	20	19	18	假设 2
(8)	4D 毫米波雷达-角雷达-出货量	百万颗	0.4	1.4	3.5	取自图表 15
(9)	4D 毫米波雷达-角雷达-PCB 市场	亿元	0.3	1.1	2.5	(8)*(10)
(10)	PCB 单台价值量	元/台	80	76	72	(12)+(14)
(11)	其中：射频板市场	亿元	0	1	2	(8)*(12)
(12)	PCB 单台价值量-射频板	元/台	60	57	54	假设 3
(13)	其中：信号处理板市场	亿元	0	0	1	(8)*(14)
(14)	PCB 单台价值量-信号处理板	元/台	20	19	18	假设 4
(15)	非 4D 毫米波雷达-出货量	百万颗	125	147	164	取自图表 15
(16)	非 4D 毫米波雷达-PCB 市场	亿元	28	32	36	(15)*(17)
(17)	PCB 单台价值量	元/台	22	22	22	(19)+(21)
(18)	其中：射频板市场	亿元	15	18	20	(15)*(19)
(19)	PCB 单台价值量-射频板	元/台	12	12	12	假设 5
(20)	其中：信号处理板市场	亿元	13	15	16	(15)*(21)
(21)	PCB 单台价值量-信号处理板	元/台	10	10	10	假设 6
(22)	毫米波雷达-PCB 市场	亿元	31	40	53	(2)+(9)+(16)
(23)	射频板 PCB	亿元	18	24	33	(4)+(11)+(18)
(24)	信号处理板 PCB	亿元	13	16	19	(6)+(13)+(20)

来源：产业链调研，大陆公司，Arbe，国金证券研究所

2.3.2、未来毫米波雷达用 CCL 市场空间超过 20 亿元

根据前述内容，我们基于以下假设对毫米波雷达用 CCL 板市场进行预测：

- 假设 1：4D 毫米波雷达-前向-高频材料单台价值量。根据前述内容，4D 毫米波雷达中高频 CCL 单台价值量为 24~36 元，考虑到前向雷达要求更高，因此我们假设 2023 年 4D 毫米波前向雷达高频 CCL 单台价值量为 36 元，考虑到 CCL 的供应格局较为稳定、竞争壁垒较高，因此假设 2024~2025 年单台价值量不变；
- 假设 2：4D 毫米波雷达-前向-高速材料单台价值量。根据前述内容，4D 毫米波雷达中高速 CCL 大概是 10 元/台，我们假设 2023 年前向雷达高速 CCL 单台价值量为 10 元/台，考虑到 CCL 的供应格局较为稳定、竞争壁垒较高，因此假设 2024~2025 年单台价值量不变；
- 假设 3：4D 毫米波雷达-前向-FR4 单台价值量。根据前述内容，4D 毫米波雷达中普通 FR4 类材料单台价值量为 5.4~7.2 元，考虑到前向雷达要求更高，因此我们假设 2023 年 4D 毫米波前向雷达 FR4 材料单台价值量为 7.2 元，考虑到 CCL 的供应格局较为稳定、竞争壁垒较高，因此假设 2024~2025 年单台价值量不变；
- 假设 4：4D 毫米波雷达-角雷达-高频材料单台价值量。根据前述内容，4D 毫米波雷达中高频 CCL 单台价值量为 24~36 元，考虑到角雷达要求更低，因此我们假设 2023 年 4D 毫米波前向雷达高频 CCL 单台价值量为 24 元，考虑到 CCL 的供应格局较为稳定、竞争壁垒较高，因此假设 2024~2025 年单台价值量不变；
- 假设 5：4D 毫米波雷达-角雷达-高速材料单台价值量。根据前述内容，4D 毫米波雷达中高速 CCL 大概是 10 元/台，我们假设 2023 年前向雷达高速 CCL 单台价值量为 10 元/台，考虑到 CCL 的供应格局较为稳定、竞争壁垒较高，因此假设 2024~2025 年单台

价值量不变；

- 6) 假设 6: 4D 毫米波雷达-角雷达-FR4 单台价值量。根据前述内容, 4D 毫米波雷达中普通 FR4 类材料单台价值量为 5.4~7.2 元, 考虑到前向雷达要求更高, 因此我们假设 2023 年 4D 毫米波前向雷达 FR4 材料单台价值量为 5.4 元, 考虑到 CCL 的供应格局较为稳定、竞争壁垒较高, 因此假设 2024~2025 年单台价值量不变;
- 7) 假设 7: 非 4D 毫米波雷达-高频材料单台价值量。根据前述内容, 非 4D 毫米波雷达中高频 CCL 单台价值量为 4 元, 考虑到传统毫米波雷达竞争相对充分, 因此假设 2023~2025 年非 4D 毫米波雷达高频 CCL 单台价值量保持为 4 元;
- 8) 假设 8: 非 4D 毫米波雷达-高速材料单台价值量。根据前述内容, 非 4D 毫米波雷达中高速 CCL 大概是 4 元/台, 考虑到传统毫米波雷达竞争相对充分, 因此假设 2023~2025 年非 4D 毫米波雷达高速 CCL 单台价值量保持为 4 元;
- 9) 假设 9: 非 4D 毫米波雷达-FR4 单台价值量。根据前述内容, 非 4D 毫米波雷达中普通 FR4 类材料单台价值量为 1.2 元, 考虑到传统毫米波雷达竞争相对充分, 因此假设 2023~2025 年非 4D 毫米波雷达普通 FR4 材料单台价值量保持为 1.2 元;

根据上述假设, 我们预估 2023~2025 年全球毫米波雷达 CCL 市场空间为 13 亿元、17 亿元和 23 亿元, 其中高频 CCL 市场空间为 6 亿元、8 亿元、12 亿元, 高速 CCL 市场空间为 5 亿元、7 亿元、8 亿元。

图表26: 毫米波雷达市场 CCL 测算

序号	变量	单位	2023E	2024E	2025E	备注
(1)	4D 毫米波雷达-前向-出货量	百万颗	2.5	5.8	13.0	取自图表 15
(2)	4D 毫米波雷达-前向-CCL 市场	亿元	1.3	3.1	6.9	(1)*(3)
(3)	CCL 单台价值量	元/台	53	53	53	(5)+(7)+(9)
(4)	其中: 高频市场	亿元	1	2	5	(1)*(5)
(5)	CCL 单台价值量-高频	元/台	36	36	36	假设 1
(6)	其中: 高速市场	亿元	0	1	1	(1)*(7)
(7)	CCL 单台价值量-高速	元/台	10	10	10	假设 2
(8)	其中: FR4 市场	亿元	0	0	1	(1)*(9)
(9)	CCL 单台价值量-FR4	元/台	7	7	7	假设 3
(10)	4D 毫米波雷达-角雷达-出货量	百万颗	0.4	1.4	3.5	取自图表 15
(11)	4D 毫米波雷达-角雷达-CCL 市场	亿元	0.2	0.6	1.4	(10)*(12)
(12)	CCL 单台价值量	元/台	39	39	39	(14)+(16)+(18)
(13)	其中: 高频市场	亿元	0	0	1	(10)*(14)
(14)	CCL 单台价值量-高频	元/台	24	24	24	假设 4
(15)	其中: 高速市场	亿元	0	0	0	(10)*(16)
(16)	CCL 单台价值量-高速	元/台	10	10	10	假设 5
(17)	其中: FR4 市场	亿元	0	0	0	(10)*(18)
(18)	CCL 单台价值量-FR4	元/台	5	5	5	假设 6
(19)	非 4D 毫米波雷达-出货量	百万颗	125	147	164	取自图表 15
(20)	非 4D 毫米波雷达-CCL 市场	亿元	12	14	15	(19)*(21)
(21)	CCL 单台价值量	元/台	9	9	9	(23)+(25)+(27)
(22)	其中: 高频市场	亿元	5	6	7	(19)*(23)
(23)	CCL 单台价值量-高频	元/台	4	4	4	假设 7
(24)	其中: 高速市场	亿元	5	6	7	(19)*(25)
(25)	CCL 单台价值量-高速	元/台	4	4	4	假设 8
(26)	其中: FR4 市场	亿元	2	2	2	(19)*(27)
(27)	CCL 单台价值量-FR4	元/台	1	1	1	假设 9
(28)	毫米波雷达-CCL 市场	亿元	13	17	23	(2)+(11)+(20)

(29)	高频 CCL	亿元	6	8	12	(4)+(13)+(22)
(30)	高速 CCL	亿元	5	7	8	(6)+(15)+(24)
(31)	FR4 CCL	亿元	2	2	3	(8)+(17)+(26)

来源：产业链调研，大陆公司，Arbe，国金证券研究所

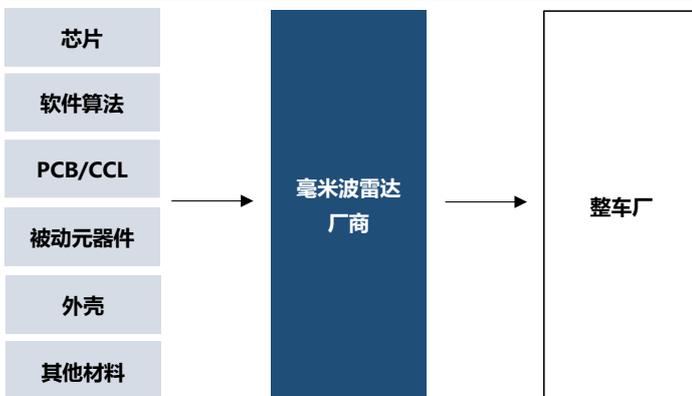
三、投资建议：PCB/CCL 是 4D 毫米波雷达值得关注的环节

3.1、PCB/CCL 是值得关注的环节

4D 毫米波雷达在汽车自动驾驶中扮演着不可或缺的角色，我们认为在全球知名主机厂特斯拉即将推出搭载 4D 毫米波成像雷达的车型的今年，有望成为 4D 毫米波成像雷达开始快速渗透趋势的元年。在这样的背景下，我们认为虽然 PCB/CCL 环节市场空间有限，但值得高度关注，原因在于：

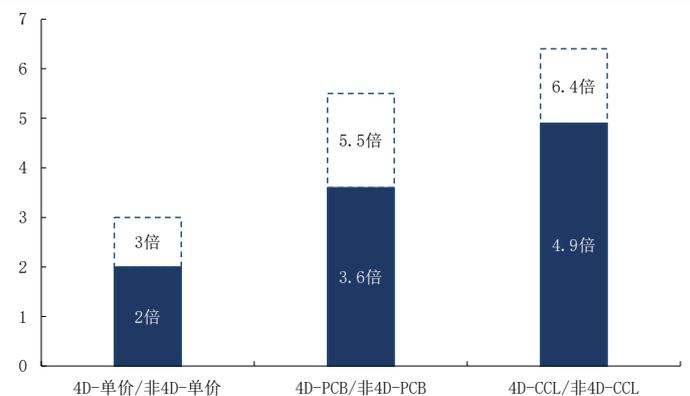
- 1) PCB/CCL 价值增量显著高于毫米波雷达增量。从产业链关系角度，4D 毫米波成像雷达由上游材料（芯片、软件算法、PCB/CCL、外壳等）、中游品牌厂、下游整车厂三大环节组成，在传统到 4D 毫米波成像雷达升级过程中，芯片、软件算法、PCB/CCL 都是价值增值幅度较大的环节，其中 PCB/CCL 单台价值量达到 3.6~5.5 倍/4.9~6.4 倍，远高于毫米波雷达本身价值增幅（50~70 美元升级为 100~200 美元，增幅 2~3 倍），成长性更好、价值增值更多的环节。
- 2) 国内 PCB/CCL 厂商已站好格局。由于 4D 毫米波成像雷达仍然处于渗透初期，国内无论是毫米波雷达厂商还是芯片厂商都尚处于追赶海外厂商的阶段，并且大陆厂商布局者相对较多、竞争较激烈，格局尚未明确；而 PCB/CCL 厂商实际上在毫米波雷达布局已久，并且已配合海外厂商在高端产品研发多年，一旦 4D 毫米波成像雷达放量，大陆多家 PCB/CCL 将直接获得价值增量，因此虽然市场空间相对有限，但快速增长的增量将会为产业链公司带来增长贡献。

图表27：4D 毫米波成像雷达产业链环节



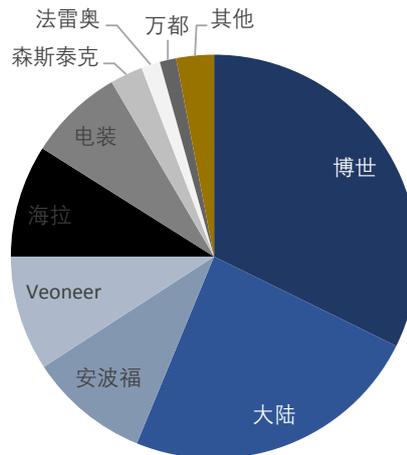
来源：产业链调研，国金证券研究所

图表28：PCB/CCL 价值增量高于 4D 毫米波成像雷达



来源：产业链调研，国金证券研究所

图表29：2021年国产乘用车毫米波雷达供应商



来源：高工数据，国金证券研究所

3.2、投资建议

我们认为 4D 毫米波雷达将为 PCB/CCL 环节带来显著增量，建议关注已经长期配套主流 Tier1 厂商开发毫米波雷达、技术积累较为深厚的 PCB/CCL 厂商。PCB 公司可关注沪电股份（本公司和控股子公司胜伟策均有布局）、景旺电子（快速进入传统 Tier1 供应链，配合毫米波雷达研发）、生益电子（配合客户研发）、四会富仕（深耕日系供应链）、深南电路（射频板龙头厂商，配合国内外客户研发）；CCL 公司可关注生益科技（高频材料进入海外毫米波雷达认证体系，高频材料已进入部分国内毫米波雷达供应体系，高 Tg FR4 材料是全球毫米波雷达主流选择）、华正新材（高频材料已进入部分国内毫米波雷达供应体系）、中英科技（深耕高频材料市场）、南亚新材（高频材料已获得突破）。

四、风险提示

4.1、渗透率不及预期

我们认为随着主流整车厂开始上量，4D 毫米波成像雷达有望走出加速渗透趋势。但如若因自动驾驶渗透进度不及预期或 4D 毫米波成像雷达渗透进入不及预期，则会影响高频高速 PCB 板的价值空间。

4.2、产业链格局变化

当前毫米波雷达市场主要仍然以海外 Tier1 为主，这导致当前国内部分技术领先的 PCB/CCL 厂商的业务布局也主要以绑定海外 Tier1 厂商为主。随着全球主机厂格局、4D 毫米波成像雷达的技术路线等因素的变化，产业链格局或将发生变化，例如国内新兴主机厂崛起使得国内 Tier1 厂商受到更多青睐、专用芯片/软件算法等新路线将改变产业链格局、主机厂介入 4D 毫米波成像雷达设计削弱 Tier1 的话语权等。如若在产业链格局变化中 PCB/CCL 厂商不能及时抓住客户变化，则面临份额被侵蚀的风险。

4.3、价格下降风险

当前 4D 毫米波成像雷达价格仍然较高，在加速渗透的过程中必然伴随着产品价格下降，如若 4D 毫米波成像雷达价格下降倒逼 PCB/CCL 行业价格下滑，则会使得 PCB/CCL 市场空间不及预期。

4.4、竞争格局恶化

目前全球多家 PCB/CCL 厂商瞄准了 4D 毫米波成像雷达市场，如若渗透率慢于预期，则会给 PCB/CCL 厂商带来更长的验证窗口期，最终导致竞争格局恶化。

行业投资评级的说明：

- 买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
- 增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
- 中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
- 减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级（含 C3 级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-60753903	电话：010-85950438	电话：0755-83831378
传真：021-61038200	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	传真：0755-83830558
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮编：100005	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	地址：北京市东城区建内大街 26 号	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号	新闻大厦 8 层南侧	地址：中国深圳市福田区中心四路 1-1 号
紫竹国际大厦 7 楼		嘉里建设广场 T3-2402