

证券研究报告

2024年6月21日

行业报告 | 行业深度研究

机器人系列报告

传感器：汽车电子国产替代，机器人再添增长空间

作者：

分析师 孙潇雅 SAC执业证书编号：S1110520080009



天风证券

[综合金融服务专家]

行业评级：强于大市（维持评级）

上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

摘要

一、传感器属性：市场大而散，其中最大下游在汽车电子，此领域多为海外垄断，国内企业突破中

传感器是指能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用信号的器件或装置，一般包含敏感元件、转换元件和转换电路。传感器有多种分类方式，按照被测对象可分为位移、力、力矩、转速、振动、加速度、温度、压力、流量、流速等传感器，按照工作原理可分为电阻式、电感式、电容式、压电式、光电式、热电式、波式和辐射式等传感器。传感器产业链包括上游原材料（半导体、陶瓷、高分子、金属）、中游制造，下游应用，下游应用主要有工业自动化、汽车电子、医疗设备、智能家居等。

传感器市场空间大但品类多（分下游分品种），海外占比较高（欧美合计占7成左右），汽车电子是最大的下游（占比3成+）。从全口径看，全球/国内传感器市场空间达千亿美元/千亿人民币。1）从下游看：汽车电子占比32%，消费类占比18%、工业类占比16%；2）从区域看：北美占比43%，其次是欧洲、日本，国内占比较低，故存在较大国产替代空间。3）从品种看：压力传感器占比最大，在汽车电子占比30%，在消费类占比14%。

传感器行业竞争格局呈现整体分散，细分品类集中的特点，国内企业在中高端传感器市场与海外企业差距较大，主要体现在市占率和智能传感器的芯片自供能力。

二、传感器赛道期权：是人形机器人重要零部件，在人形产业趋势下，加持传感器赛道成长空间

人形机器人用传感器主要包括力、触觉、位置和视觉传感器。

从供应链配套看，力传感和电子皮肤尚不明晰，视觉方面，奥比中光配套客户较多。

三、传感器工艺壁垒，什么样的公司能脱颖而出？

传感器品类和下游较多，不同类别有不同的工艺特性，我们从存量和增量市场空间大小出发，重点分析汽车领域用压力传感器（存量最大下游和占比最高品类）、力矩传感器和电子皮肤（人形机器人空间和弹性较大品类）。

3.1 汽车压力传感器

目前汽车压力传感器的难点在于：1) 压力传感器为安全件，整车厂在选择供应商时相对谨慎，产品验证周期较长；2) 压力传感器下游汽车电子被海外垄断，整车厂商使用的ECU、ESP等汽车电子系统主要由海外企业提供，国内汽车电子系统的落后。

汽车用压力传感器细分为陶瓷电容、MEMS（玻璃微熔广义角度也属于此类）。陶瓷电容式压力传感器的生产壁垒主要体现在陶瓷芯片的制备和高质量封接：1) 材料选择：主流使用氧化铝材料，氧化铝含量的提高可以提高机电性能但加工难度也增大；2) 陶瓷片制备：需要干燥工艺解决表面和底层干燥不一致的问题；3) 封接：印刷和烧结技术：电极导体后膜印刷技术，保证膜片和基座的微间隙距离精度。MEMS压力传感器工艺制造需要经过四个步骤：晶圆制造、薄膜沉积、表面微加工技术、封装和测试。

3.2 力矩传感器

应用于机器人市场的六/单维力矩传感器主流是电阻式应变片传感器，弹性体和应变片是核心零部件。电阻式应变片力传感器主要由敏感元件（即为弹性体）、外部封装、集成电路板和电阻应变片等部件组成。弹性体的结构决定所测量的力的维度和量程，应变片的选择包括金属和半导体材料。

六维力传感器生产壁垒主要体现在：1) 标的设备需自制：标定设备主要用于确定传感器的转换特性，确定传感器的输入-输出关系。六维联合加载设备是高精度六维力研发和生产的必要条件，但是目前六维联合加载设备没有标准产品可以直接采购，一般由传感器生产厂商自行研制；2) 解耦算法需时间和经验积累（分为硬件解耦合软件解耦，BP神经网络常见解耦算法）。

目前多采用金属应变片+人工贴片，考虑降本，未来硅应变片+玻璃微熔工艺有望成为六维力大批量生产时的首选路线。目前六维力传感器依然以人工显微镜下的手动贴片为主，大批量市场下无规模效应使单位成本难以下降。1) 硅应变片：优势在于灵敏度，大批量生产下单位成本下降空间大。2) 玻璃微熔技术：将高温熔化的玻璃纤维作为黏合剂，可实现自动贴（用烘烤机把玻璃胶烘上去），适合大批量生产（设备耗电量大，大批量才有经济性）。微熔玻璃的热膨胀系数与硅应变片基本相似，因此在硅应变片的贴片方面具有良好的应用前景。

3.3 电子皮肤

压阻式传感器更适合人形机器人灵巧手需求，电容式适合身体关节的安全作业需求。柔性触觉传感器由敏感材料、电极材料、衬底材料构成。生产壁垒体现在敏感材料：1) 材料选择：使用较多的是聚二甲基硅氧烷(PDMS)、聚氨酯泡沫(PORON)；2) 结构设计：常见有金字塔、微针式等结构；3) 工艺制作：存在电子印刷术和MEMS工艺；4) 标定：仍需要研究人员利用大量的实验和AI情景模拟。

四、投资建议

汽车传感器投资逻辑在于国产替代，目前国产化率较低，重点推荐【安培龙】、建议关注【华培动力】。

此外，电子皮肤目前阶段更考验材料配比，建议关注【福莱新材】。

风险提示：人形机器人发展不及预期、特斯拉人形机器人进展不及预期、力传感和电子皮肤国产化进展不及预期、测算有主观性。

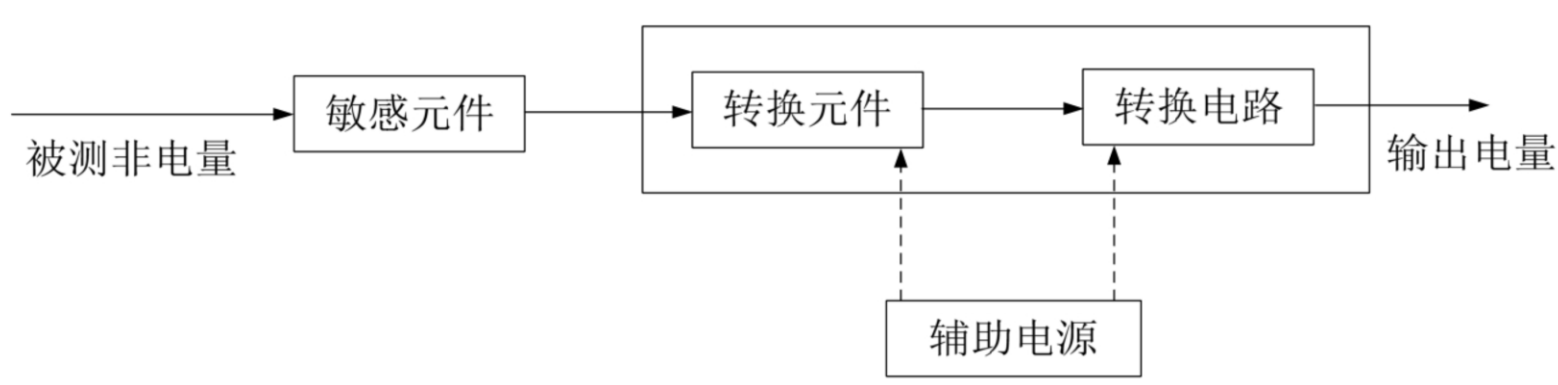
一、传感器存量市场空间大而散，海外企业市占率和盈利能力较高

传感器是将物理或化学信号转换为电信号的设备，一般包括敏感元件、转换元件、转换电路

□ 传感器是指能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用信号的器件或装置，一般包含敏感元件、转换元件和转换电路。

- ✓ 敏感元件负责信号采集，是传感器中能直接感受（或响应）被测量的部分；
- ✓ 转换元件则根据嵌入式软件算法，对敏感元件输入的电信号进行处理，以输出具有物理意义的测量信息；
- ✓ 最后通过转换电路与其他装置进行通信。

图：传感器的组成



传感器可以按照被测对象或工作原理分类

□ 传感器可以按照被测对象或工作原理进行分类：

- ✓ 根据被测对象：可分为位移、力、力矩、转速、振动、加速度、温度、压力、流量、流速等传感器。
- ✓ 根据工作原理：可分为电阻式、电感式、电容式、压电式、光电式、热电式、波式和辐射式等传感器。

表：传感器按照被测对象分类

基本被测量		派生被测量
位移	线位移	长度、厚度、应变、振幅等
	角位移	旋转角、偏转角、角振幅等
速度	线速度	速度、流量、动量等
	角速度	转速、角振动等
加速度	线加速度	振动、冲击、质量等
	角加速度	角振动、转矩、转动惯量等
力	压力	重量、应力、力矩等
时间	频率	周期、计数
光		光通量与密度、光谱分布
温度		热容
湿度		水汽、含水量、露点
浓度		汽(液)体成分、黏度

传感器产业链包括上游原材料（半导体、陶瓷、高分子）、中游制造，下游应用

□ 传感器产业链主要包括上游的原材料、中游的传感器制造和下游的不同应用市场。

- ✓ 上游原材料：主要包括半导体材料、陶瓷材料、高分子材料、金属材料等；
- ✓ 中游：为各种类型的传感器，由各类传感器供应商组成，主要完成传感器产品的设计、组装和销售；
- ✓ 下游：主要应用有工业自动化、汽车电子、医疗设备、智能家居、环境监测等领域。

表：传感器产业结构图

上游行业	半导体材料、陶瓷材料、高分子材料、金属材料
中游行业	传感器生产
下游行业	工业自动化、汽车电子、医疗设备、智能家居、环境监测等

表：传感器上游原材料分类

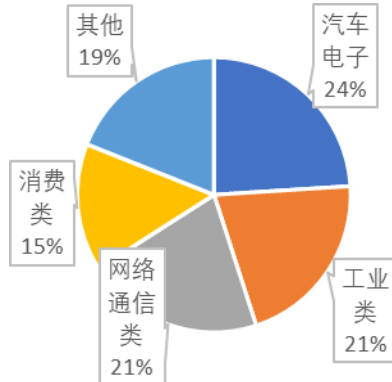
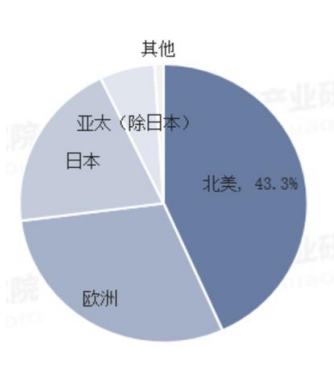
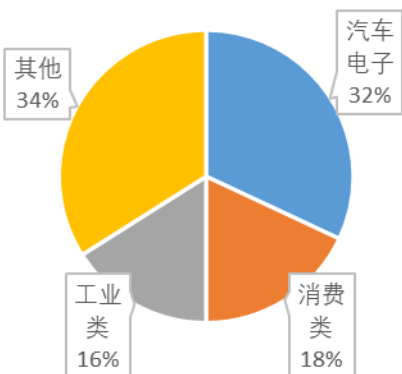
	材料	特点
半导体材料	硅材料：核心是单晶硅、多晶硅、碳化硅	储量丰富，成本低廉。硅晶体容易生长，杂质在几十亿量级，机械品质因数可高达 10 - 6个数量级，具有较小的迟滞和良好的重复性
	其他：砷化镓、碲化铟、硫化铅、碳化硅氮化镓以及石英晶体等	砷化镓、碲化铟等化合物半导体材料有比硅、锗更好的物理性能，其具有更高的磁场传感灵敏度。随着化合物半导体的快速发展，适合特定应用场景的更高灵敏度的霍尔传感器可以由砷化镓等材料制备
陶瓷材料	氧化铁、氧化锡、氧化锌、氧化锆、氧化钛、氧化铝、钛酸钡等	以一定化学成分组成、经过成型及烧结，其最大的特点是耐热性，在敏感技术发展具有很大的潜力；制造气敏、湿敏、热敏、红外敏、离子敏等传感器
高分子材料	高分子膜、高分子电液等	高分子功能材料是指具有物质、能量和信息的转换、传递和储存作用的高分子及其复合材料，按结构特征可分为主链型、侧链型、分散型、接合型，具有导电性、光电性、压电性和热电性等特性
金属材料	铂、铝、铜、金等	主要用在机械传感器和电磁传感器中

传感器市场空间大但品类多（分下游分品种），汽车电子是最大的下游，占比3成多

□ 根据华经情报网的数据，2022年全球传感器市场规模达1844亿美元，预计2023年全球传感器市场规模将达2032亿美元。

- ✓ 从下游看：汽车电子占比32%，消费类占比18%、工业类占比16%。
- ✓ 从区域看：北美占比43%，其次是欧洲、日本，国内占比较低，故存在较大国产替代空间。
- ✓ 从品种看：传感器可以分为压力传感器、加速度传感器、温度传感器、流量传感器、湿度传感器、气体传感器等。根据赛迪顾问披露的2019年数据，压力传感器占比最大，在汽车电子占比30%，在消费类占比14%。

图：全球传感器市场结构2019年 图：全球传感器市场区域分布2022年 图：中国传感器市场结构2022年 表：中国传感器分产品分终端市场空间2019年



类型	汽车电子领域		消费类产品领域	
	金额（亿元）	占比	金额（亿元）	占比
压力传感器	155	30%	44	14%
加速度传感器	150	28%	54	17%
距离传感器	42	8%	25	8%
流量传感器	40	8%	31	10%
温度与湿度传感器	32	6%	32	10%
位置传感器	25	5%		
图像传感器	22	4%	49	15%
其他传感器	60	11%	88	27%
合计	527	100%	322	100%

传感器行业竞争格局呈现整体分散，细分品类集中的特点

- 传感器不同细分领域有不同头部企业，呈现整体分散，细分品类集中的特点。全球头部企业具备产业链纵向一体化或跨行业解决方案能力，这些企业的传感器与软件配合方面优势明显，具有较强的盈利能力。例如森萨塔作为传感器制造商，提供基于传感器的解决方案，近五年毛利率超过30%，提供的电气保护产品组合（包括组件和系统）中除了传感器，还由各种开关、熔断器、电池管理系统、逆变器、储能系统、高压配电装置、控制器和软件组成。
- 整体分散：千亿美元，全球市场每个公司的份额都不高，但是细分市场很高。例如压力传感器这个品类的主要市场参与者是博世、泰科电子、英飞凌；在位移传感器市场中基恩士的市场份额超过60%。

表：全球传感器细分市场的头部公司

	头部企业
压力传感器	博世、泰科电子、英飞凌
位移传感器	基恩士、松下电器、欧姆龙、巴鲁夫、倍加福
图像传感器	索尼、三星、韦尔股份、意法半导体、安森美
温度传感器	霍尼韦尔、西门子、ABB、艾默生、德州仪器
MEMS传感器	博世、博通、威讯联合、意法半导体、德州仪器、歌尔微
汽车传感器	博世、森萨塔、日本电装

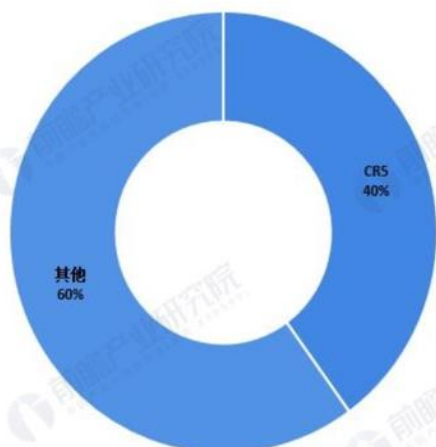
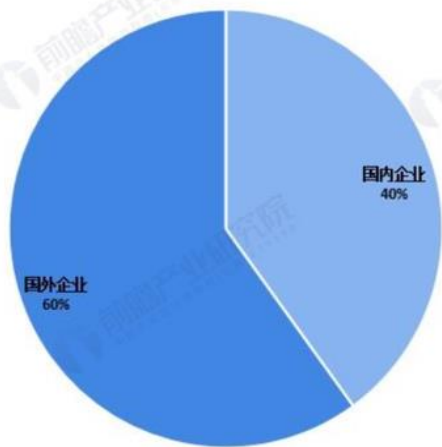
国内企业在中高端传感器市场与海外企业差距较大，主要体现在市占率和芯片自供能力

- 中国市场达千亿人民币，年均复合增速约为11%，市场空间大。根据中商产业研究院数据，2022年中国传感器市场规模近3097亿人民币，预计2024年中国传感器市场规模将达3733亿人民币，年均复合增速约为11%。
- 我国国内供给能力不足，艾默生、西门子、博世、意法半导体、霍尼韦尔等国外企业在2020年占据超过60%的市场份额。分品类看，国内企业在中高端市场竞争力不足；分产业链看，国内企业芯片依赖进口。
- ✓ 分品类：中高端传感器进口比例达80%；2020年我国传感器TOP5公司如歌尔股份、汉威科技等的份额占据了国内传感器企业所占份额的40%以上，其余60%为中小企业，产品主要集中在中低端，国内传感器公司的产品结构较为简单。
- ✓ 分产业链：中国市场传感芯片进口比例达90%（芯片是传感器信号调节电路、微电子计算机存储器及接口电路的集成），跨国公司在MEMS传感器市场占比高达60%。

图：2020年中国传感器行业市场份额

图：2020年中国传感器企业集中度

图：中国传感器企业及其产品

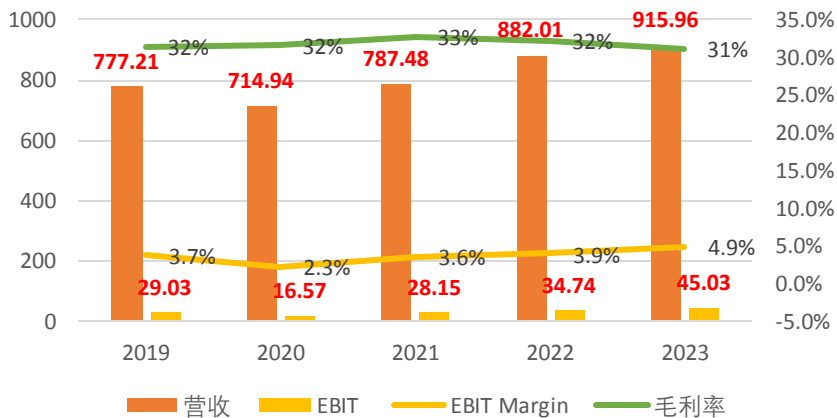


公司	传感器产品类型
大立科技	红外温度成像传感器
华工科技	NTC系列热敏电阻、PIC系列热敏电阻和汽车电子
威尔泰	压力变送器、传感器
汉威科技	气体、压力、流量、温度、加速度等传感器
高德红外	红外温度成像传感器
韦尔股份	图像传感器
歌尔股份	压力传感器、交互类传感器、流体传感器
兆易创新	嵌入式传感芯片，电容、超声、光学模式指纹识别芯片以及自、互容触控屏控制芯片
森霸传感	热释电红外传感器、可见光传感器
中航电测	应变式传感器

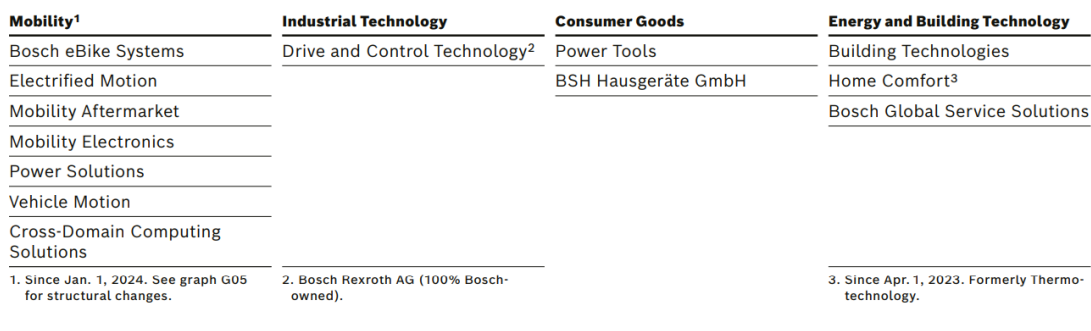
博世：传感器技术储备深厚，半导体传感器市场龙头

- 博世始于1886年，是全球领先的汽车技术和服务供应商，主要分为四个业务领域：汽车与智能交通技术、工业技术、消费品、能源和建筑技术。博世利用其在传感器技术、软件和服务方面的专业知识，为全球客户提供整合式跨领域解决方案。
- 博世是全球最大的汽车零部件供应商之一，以其一站式解决方案和专业研发技术在汽车传感器行业保持竞争优势。博世贴近应用场景提供传感器及其他零部件产品，为客户提供13类一站式跨领域应用方案，传感器产品主要体现在动力总成解决方案、电动汽车、跨域计算解决方案、和汽车电子。其中子公司Bosch Sensortec，为各种应用场景供应MEMS传感器。
- 2022年博世在全球汽车传感器市场中以21%的份额排名第一。博世从1969年开始研发传感器，90年代开发了MEMS传感器，拥有MEMS传感器从芯片设计到传感器生产的全流程技术和系统集成能力。博世始终重视在技术研发方面的投入，2023年研发费用达到73亿欧元，研发费率8%，其中超过70%用于汽车业务部，投入研究电气化、自动驾驶技术、汽车电子、传感器等。

图：博世营收、EBIT、EBIT Margin、毛利率（亿欧元，%）



图：博世产品结构



森萨塔：23年收入体量接近300亿元，毛利率多年稳定在30%+

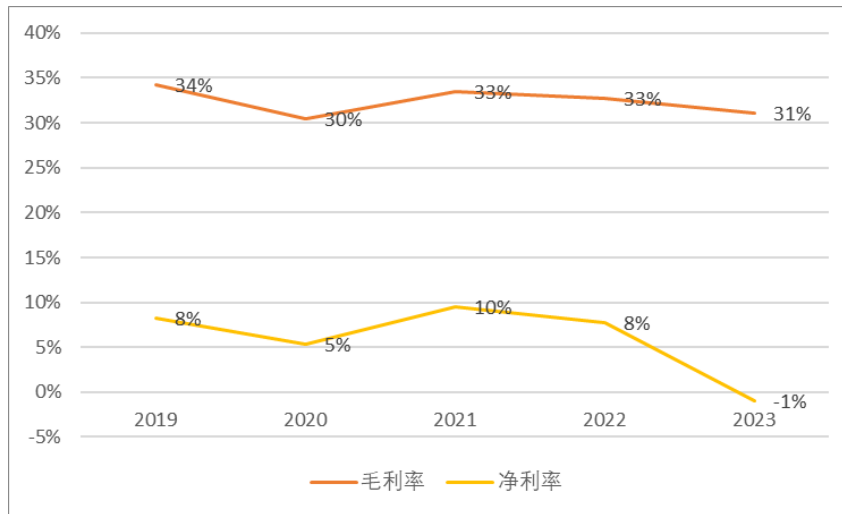
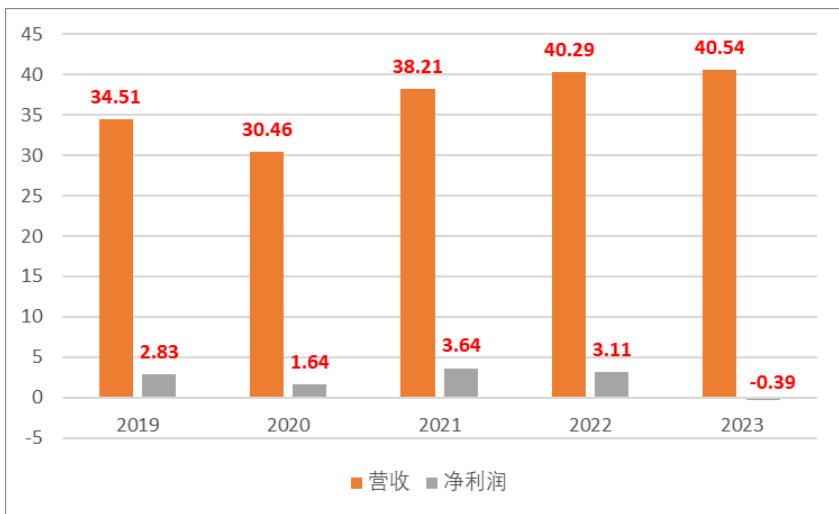
森萨塔是传感器、电气保护器、控制器设计及制造领域的全球领导者，具有明显的规模、研发技术和市场优势，在中国汽车压力传感器市场占重要地位。森萨塔由高性能传感器业务和传感器解决方案业务两个部门组成，产品广泛应用于汽车、暖通及空调设备、家用电器、航空设备和工业设备等领域。

森萨塔2023年营收达40.54亿美元，约287亿人民币（高性能传感器业务营收占比74%），毛利率达31%，净利润为-0.39亿美元。净利润为负是因为公司重新评估商誉，Insights部分有约3.2亿美元的一次性商誉减值。

图：森萨塔产品情况



图：森萨塔营收、净利润、毛利率、净利率（亿美元，%）

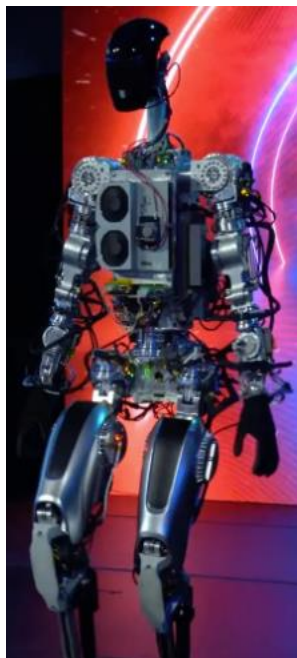


二、传感器在人形机器人市场空间弹性较大

传感器赛道为什么对人形重要？

- 人形机器人由控制、感知、执行三大部分组成，感知部分挖掘空间大。执行部分核心是执行器（电机、丝杠，减速器等硬件）。
- 我们认为感知层是特斯拉产品后续迭代的关键，二代视频初现端倪。23年12月，特斯拉发布第二代Optimus机器人的视频，配备特斯拉设计的执行器和传感器，2个自由度驱动颈部，行走速度提高30%，【脚部配备力矩传感】，减重10kg，平衡性提升（可深蹲），灵巧手性能大幅提升（处理鸡蛋）手指配备【触觉传感器】。

图：22年9月Optimus原型机



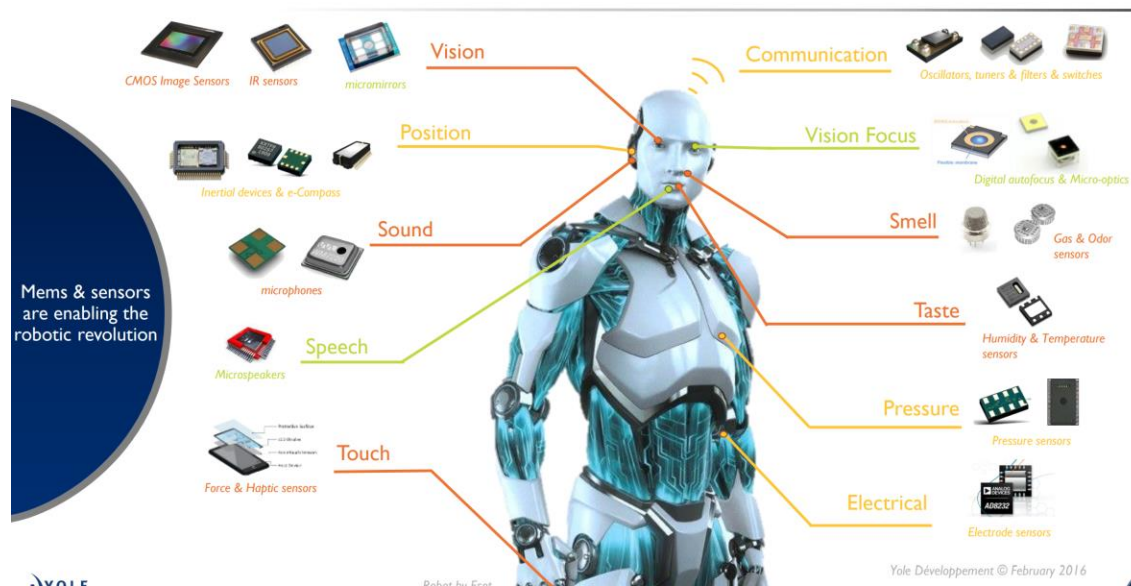
图：23年12月Optimus二代 图：脚部力控/力矩传感



人形机器人用传感器主要包括力、触觉、位置和视觉传感器

- 感知的核心是传感器。传感器是人形机器人获取状态信息的必要手段，即将机器人自身的相关特性或相关物体的特性转化为机器人执行某项功能时所需要的信息。一般分为内传感器和外传感器两大类：内部传感器是完成机器人运动控制所必需的传感器，如位置传感器、速度传感器用于采集机器人内部信息，是构成机器人不可缺少的基本元件；外部传感器检测机器人所处环境、外部物体状态或机器人与外部物体的关系。
- 力传感器：是指对机器人的关节、肢体等运动中所受力的感知，可以把力传感器分为测力传感器、力矩表等。
- 触觉传感器：触觉是接触、冲击、压迫等机械刺激感觉的综合，触觉可以用来进行机器人抓取，利用触觉进一步感知。
- 视觉传感器：是以光为媒介测量物体的位置、速度、形状等物理量所感知的信息，是非接触式测量。

图：人形机器人的传感器解析



人形机器人的发展带动传感器市场空间扩大

- 人形机器人处于产业化初期，2022年全球市场空间达15亿美元，未来发展空间大，将扩大传感器市场空间。人形机器人还处于产业化初期，市场规模由产品技术进步速度、大规模商用进程、下游渗透率决定。
- 人形机器人需要视觉、触觉、听觉、力传感等外部传感器以及位置、速度等内部传感器。

人形机器人本体厂商目前传感器供应链配套情况

□ 人形机器人处于产业化初期，没有实现大规模商业化。

□ 视觉传感器方面，奥比中光全领域布局六类3D视觉感知技术，合作超百家机器人企业。奥比中光是行业领先的机器人视觉及AI视觉科技公司，3D视觉传感器是公司主要产品之一，为全球超过1000家客户与开发者提供“研发+制造”的一站式产品和服务，与微软、英伟达合作开发产品。公司已经与高仙、云迹、普渡、优必选等超百家多类型机器人企业达成合作，其中机器人视觉业务在中国服务机器人市场占有率超过 70%。

□ 力传感器和电子皮肤方面，尚未形成清晰的供应链体系。

图：奥比中光主要3D视觉传感器产品



三、传感器工艺壁垒，什么样的公司能脱颖而出？

传感器品类和下游较多，不同类别有不同的工艺特性。我们从存量和增量市场空间大小出发，重点分析汽车领域用压力传感器（存量最大下游和占比最高品类）和力矩传感器和电子皮肤（人形机器人空间和弹性较大品类）

3.1 汽车压力传感器

汽车压力传感器：主要品类是陶瓷电容、MEMS（玻璃微熔广义角度也属于此类）

□ 压力传感器是能感受压力信号，并能按照特定的标定公式，将压力信号转换成可用的电信号的器件或装置，广泛应用于汽车电子领域及各种工业自控产品中。

□ 从感测原理来区分，压力传感器主要包括五类技术路线：MEMS硅压阻技术、陶瓷压阻技术、陶瓷电容技术、MEMS硅微熔技术（即玻璃微熔技术）、溅射薄膜压阻式技术。不同技术路线的汽车压力传感器具有不同的产品特性，适用不同的应用场景，常见的有：1）陶瓷电容式压力传感器可用于汽车空调系统、发动机系统、变速箱系统、商用车刹车系统，新能源汽车热泵以及商用空调等领域。2）MEMS 硅压阻压力传感器主要用于汽车发动机系统、刹车系统、尾气处理系统等气压测量场景。3）MEMS 硅微熔压力传感器主要用于汽车 ABS 刹车系统、ESP 车辆稳定系统及发动机高压共轨系统、汽油机直喷系统。

图：压力传感器技术路线对比

类别		概况	优缺点	量程范围
MEMS硅压阻技术	不充油	由半导体的压阻特性来实现，压阻特性取决于材料种类、掺杂浓度和晶体的晶向等因素。	优点：尺寸小，灵敏度高，成本低。缺点：介质耐受性差。	低压量程 50Pa~2MPa
	充油	由半导体的压阻特性来实现，为克服耐候性差的问题，压力芯片置于密封硅油腔室，通过硅油来传递压力。	优点：精度高、压力量程宽，耐液压介质。缺点：成本高，受振动干扰大，工艺复杂，不利于批量生产。	中低压量程 1KPa~30MPa
陶瓷压阻技术		采用厚膜印刷工艺将惠斯通电桥印刷在陶瓷结构的表面，利用压阻效应，将介质的压力信号转换为电压信号。	优点：介质耐受性高，工艺简单。缺点：输出灵敏度低，稳定性差。	中低压量程 0.5MPa~20MPa
陶瓷电容技术		采用固定式陶瓷基座和可动陶瓷膜片结构，可动膜片通过玻璃浆料等方式与基座密封固定在一起。两者之间内侧印刷电极图形，从而形成一个可变电容，当膜片上所承受的介质压力变化时，两者之间的电容量随之发生变化，通过调理芯片将该信号转换成电压信号。	优点：稳定性高，温漂小，无需高低温标定，成本低，压力过载范围大。缺点：15MPa以上高压力的量程线性较差。	中低压量程 0.5MPa~15MPa
MEMS硅微熔技术		采用高温烧结工艺，将硅应变片与不锈钢感压膜结合。硅应变片等效的四个电阻组成惠斯通电桥，当不锈钢感压膜片的另一侧有介质压力时，将产生微小形变，引起电桥电阻的变化，形成正比于压力变化的电压信号。	优点：输出灵敏度高，介质耐受性较好，抗过载能力强。缺点：低量程灵敏度差，工艺实现难度较大，成本较高。	中高压量程 5MPa~600MPa
溅射薄膜压阻式		采用离子溅射工艺在不锈钢感压膜片上形成绝缘膜，再采用离子溅射工艺在绝缘膜上形成惠斯通电桥，不锈钢膜片产生的微小变量引起电桥电阻的变化，形成正比于压力变化的电压信号。	优点：稳定性高，温漂小。缺点：输出灵敏度低，成本高。	中高压量程 5MPa~600MPa

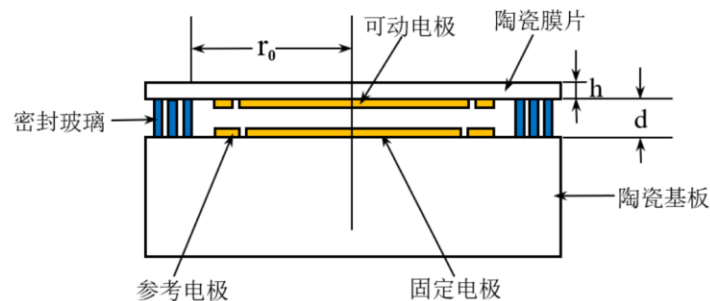
陶瓷电容式压力传感器：工作原理为电容变间隙式原理

- 陶瓷电容式压力传感器以其成本低、使用寿命长、测量重复性强等众多优势，在 MEMS 压力传感器快速发展的今天仍然牢牢占据着市场的大量份额，市场地位难以动摇。与国外相比，我国在电容式压力传感器领域的研究和开发较为缓慢，仍处于研究开发阶段，核心部件主要依赖进口。
- 陶瓷电容式压力传感器是采用陶瓷材料经特殊工艺精制而成，其是由陶瓷电容、线路板（FPC）、ASIC 调理芯片、接插件、外壳以及密封圈等材料构成。
- 陶瓷电容式压力传感器的工作原理为电容变间隙式原理。传感器由薄、厚两层陶瓷片构成，陶瓷基底与膜片之间利用有机玻璃浆料经过烧结封接为整体，内部留有空间构成电容腔，当膜片受到外界压力作用时，膜片发生位移，电容腔间距变小，电容随之变大，信号通过处理和转换后输出。

图：陶瓷电容式压力传感器工艺路线图



图：陶瓷电容式压力传感器敏感结构（陶瓷芯片）



陶瓷电容式压力传感器：核心技术是陶瓷芯片的制备和高质量封接

□ 在制备工艺方面，主要包括敏感结构（俗称芯片）的制备工艺和外壳封装工艺，主要工艺壁垒在于陶瓷芯片的制备和高质量封接。

□ 陶瓷基片及陶瓷弹片的制备：

✓ 陶瓷片材料选用：常用的材料包括氧化铝、氮化铝、碳化硅、氮化硅、氮化硼、氧化铍等，其中氧化铝材料应用最广泛。

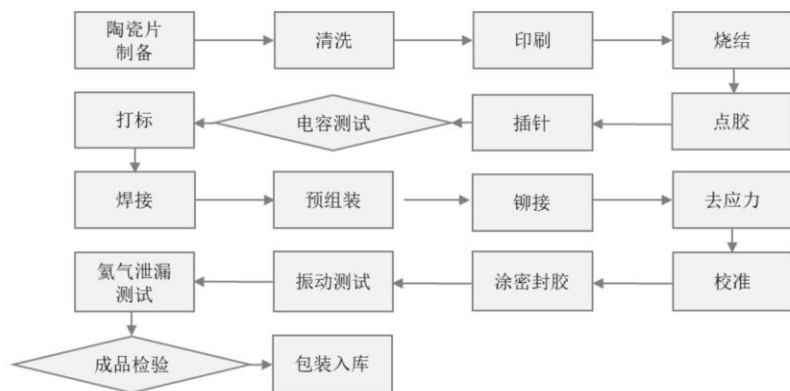
✓ 在陶瓷片制备过程，容易存在表面和底层干燥不一致的问题，在进一步烧结时发生翘曲。需要干燥工艺（例如采用水热直接接触加热膜带），使温度均匀，提高流延膜带的密度均匀性。

□ 封接工艺主要步骤包括：1) 将金属氧化物制备成粉末，并进一步制成封装浆料；2) 通过印刷工艺将封装浆料印刷至特定位置；3) 通过低温烧结，去除浆料中的有机载体，并使浆料粘接组份熔融混合，完成对器件的粘接。

✓ 印刷：电极导体后膜印刷技术，采用特殊沉降工艺，筛选出直径高度一致的颗粒物，保证膜片和基座的微间隙距离精度。

✓ 烧结：密封烧结工艺曲线可以有效保证陶瓷电容芯体的气密性。

图：陶瓷电容式压力传感器工艺流程



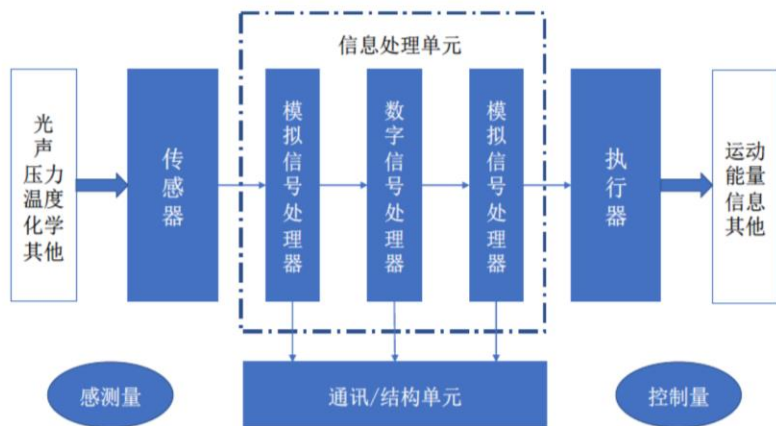
图：陶瓷材料对比

陶瓷材料	特点
氧化铝	价格低廉、来源丰富、热稳定性好、耐腐蚀、抗磨损、抗冲击振动、绝缘性好，是一种性价比较高的陶瓷材料，应用非常广泛；氧化铝材料随着氧化铝的含量增高，材料机电性能和热性能更优异，但是制造加工的难度增大，价格也有所提升
氮化铝	综合性能十分优良，但是价格高昂、加工难度大，不利于批量生产
碳化硅	脆性较大，过高介电常数限制了其在高频领域的应用
氮化硅	料抗弯曲强度高（达到980MPa），耐磨性好，综合机械性能最好，但其热导率较低、制备工艺复杂且制造成本较高
氮化硼	抗弯强度较低，无突出优点且价格昂贵，目前仍处于开发研究阶段
氧化铍	粉末有毒，对人体造成伤害，并且会对环境造成一定污染

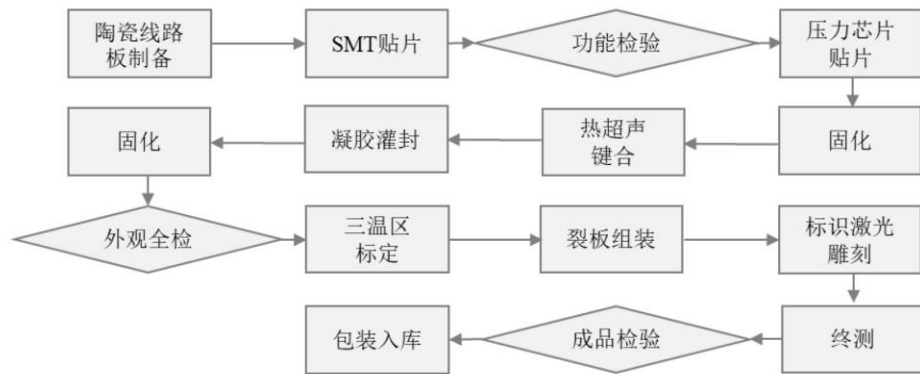
MEMS压力传感器主要工艺包括：晶圆制造、薄膜沉积、表面微加工技术、封装和测试

- MEMS传感器的工艺制造需要经过四个步骤：晶圆制造、薄膜沉积、表面微加工技术、封装和测试。1) 晶圆制造，是MEMS制造过程的基础。晶圆用于绘制传感器的结构。2) 薄膜沉积。薄膜可以作为传感器的敏感部分。薄膜沉积可以采用化学气相沉积（PCD）或者物理气相沉积（PVD）技术在晶圆上形成所需的薄膜层。3) 表面微加工技术，包括扩孔和表面反应等操作。通过使用微加工技术，可以使传感器的敏感元件尽可能地接近工作环境，更加准确地测量物理量。4) 封装和测试，将制造好的传感器封装成为一个整体，并进行测试。从材料上MEMS封装主要有金属封装、陶瓷封装和塑料封装三种形式。
- 汽车上采用的传感器中大约1/3传感器采用的是MEMS传感器，并且汽车越高级，采用的MEMS传感器越多。
- 目前国内汽车压力传感器主要被美国森萨塔、博世等国际企业所占据，中国压力传感器仍处于技术追赶阶段，应用难点在于：1) 作为安全件，压力传感器的稳定性和性能至关重要，整车制造企业在选择供应商时相对谨慎，对产品的验证周期较长；2) 压力传感器与车身相应电子控制系统的配合度亟待验证，全球主流的整车厂商使用的ECU、ESP等汽车电子系统主要由国外汽车零部件供应商提供，这些零部件供应商在压力传感器与软件配合度方面优势明显，可提供配套化服务。

图：MEMS传感器工作原理



图：MEMS压力传感器工艺流程

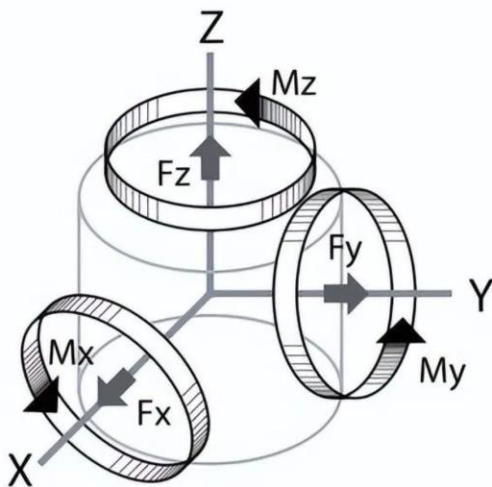


3.2 力矩传感器

六维力传感器：电阻应变片式为主流，保证精度和灵敏度是关键

- 六维力/力矩传感器能够在笛卡尔坐标系中同时检测三维空间的力/力矩信息，即实现空间三维力（ F_x , F_y , F_z ）和三维力矩（ M_x , M_y , M_z ）的获取。
- 按照测量原理，六维力传感器可分为电磁式、光电式、电感式、电阻应变式、压电式、电容式。
- 电阻应变式六维力传感器主要由敏感元件、外部封装、集成电路板和电阻应变片等部件组成。对于力传感器，敏感元件即为弹性体，当外力作用于传感器时，弹性体会发生微小变形，附着在其上的电阻应变片也会随之产生应变，导致电阻值发生变化。对于电阻应变片式六维力传感器，基本的设计原则是传感器具有足够的内部空间粘贴应变片，实现弹性体的小型化结构设计。

图：六维力传感器测量原理



图：各种检测方法对比

检测方法	方法描述	优点	缺点
电磁式	基于霍尔效应在力/力矩作用下产生与之相应的磁通量的变化	<ul style="list-style-type: none"> 动态测量范围大 功耗小 系统简单可靠 	<ul style="list-style-type: none"> 非线性误差较大 互换性较差 分辨率不高
光电式	基于光电效应在力/力矩作用下产生与之相应的光学量的变化	<ul style="list-style-type: none"> 可靠性高 测量范围广 动态响应好 	<ul style="list-style-type: none"> 价格昂贵 对测试环境要求高
电感式	在力/力矩作用下产生与之相应的电感量的变化	<ul style="list-style-type: none"> 高灵敏度和高分辨率 线性度好 重复性好 	<ul style="list-style-type: none"> 不适用于动态测量 可靠性不高
电阻应变式	在力/力矩作用下产生与之相应的电阻变化量	<ul style="list-style-type: none"> 精度高、技术成熟 测量范围广 频响特性好 	<ul style="list-style-type: none"> 存在非线性误差 信号输出微弱
压电式	基于正压电效应在力/力矩作用下产生与之相应的电荷量的变化	<ul style="list-style-type: none"> 动态响应好 精确性好和分辨率高 结构紧凑、尺寸小 刚度强 	<ul style="list-style-type: none"> 存在电荷泄露，静态力测量困难 分辨率不高
电容式	在力/力矩作用下产生与之相应的电容变化量	<ul style="list-style-type: none"> 高灵敏度和高分辨率 频率范围宽，结构简单 环境适用性强 	<ul style="list-style-type: none"> 调理电路复杂 寄生电容影响大






六维力传感器：弹性体的结构决定所测量的力的维度和量程

- 弹性体的结构有竖梁式、十字交叉式、圆柱式等，目前应用最为广泛的结构为十字交叉型。弹性体的结构设计的优劣将直接影响传感器的静态特性。十字交叉型具有结构紧凑，精度高和抗过载能力强的特点，可以有效降低维间耦合度，且相关的技术标准较为成熟。
- 弹性体常见材质包括钢质、铝质、钛合金，硬铝合金适合复杂加工。弹性体材质会影响传感器的刚度、重量、耐用性和成本。六维力传感器在保证精度和灵敏度的同时，应具有较高的刚度强度，同时还应具有质量较小、易加工、便于贴片等良好的特性。硬铝合金刚度大、耐腐蚀、耐高温、密度低，非常适合加工复杂的元件。
- 弹性体的工艺难点在于，受制于检测方法是基于力敏元件在受载荷作用下产生相应的应变或变形的原理，传感器的量程和灵敏度难以同时提升，且加工应力会影响传感器的测试性能指标。目前常用的检测方法是有限元仿真分析，对弹性体进行初步的结构设计后，需利用数值法确定弹性体的具体尺寸，利用有限元分析软件对弹性体多次反复地施加和卸载力/力矩，分析弹性体关键位置的形变、应力和应变，对弹性体的尺寸进行多次修改，并最终确定应变片的最佳粘贴位置。

图：电阻式应变片六维力传感器的弹性体材质

弹性体材料	特点
不锈钢	良好的耐腐蚀性、抗疲劳性和耐磨蚀性
铝合金	密度低、重量轻
钛合金	耐腐蚀性能远优于不锈钢，但价格非常昂贵

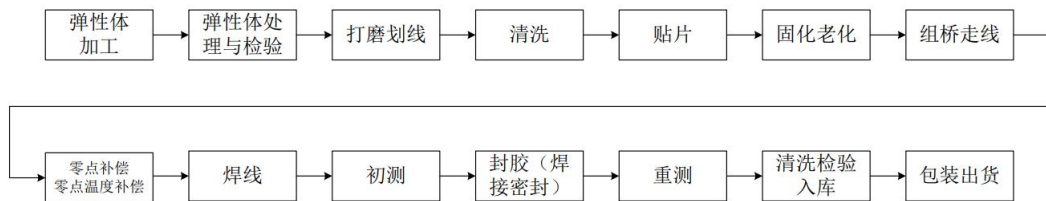
图：弹性体结构

结构形式	图例	特点
竖梁式		能够承受较大的负载，但对于横向和竖向的感知能力差异较大，且具有较大的维间耦合性
十字交叉式		内环与外环通过十字型承变梁连接，通过不同的输出通道对应不同维度的负载，有效降低了维间耦合度，但受力有限，测量范围较小
圆柱筒形		各维度耦合度低，但是输入输出之间不呈现线性变化，数据拟合和分析都没有合适的标准
T型梁		高度的对称性使得传感器具有很好的各向一致性，灵敏度较高，但尺寸较大，实用性较差
全平面式		能够达到较小尺寸，灵敏度高，但是对称性不好，使用寿命短，存在较大耦合误差

六维力传感器：无通用标定设备，需要六维力传感器生产厂商自行研制

- 应变式传感器工艺流程主要包括弹性体的加工、应变片的粘贴、惠斯通电桥的搭建（组桥走线）、测试。其中，弹性体在加工中会产生各种加工应力，其加工应力的积蓄与大小会影响到传感器的测试性能指标。在贴片、组桥、调试、封胶这几个环节上需要控制环境温度、湿度、洁净度和流程节拍。故必须从多个指标（非线性、重复误差、滞后误差、蠕变、灵敏度、零点等）标定和检测传感器的精度和准度。
- 标定设备主要用于确定传感器的转换特性，确定传感器的输入-输出关系。六维联合加载设备是高精度六维力研发和生产的必要条件，但是目前六维联合加载设备没有标准产品可以直接采购，一般由六维力传感器生产厂商自行研制。一维加载设备的成本低，但标定出来的传感器准度性能较差，串扰较大。六轴联合标校技术可实现正交三方向力和三方向力矩的联合加载，保证产品的精度和准度。
- 六维联合加载设备的研发涉及：空间光学定位，载荷位移补偿，机电一体化等多项综合技术，依赖工程经验。坤维科技自行研发出了六维联合加载设备，使六维力传感器的准度优于0.5%FS，实现高准度、少串扰。

图：应变式传感器工艺流程

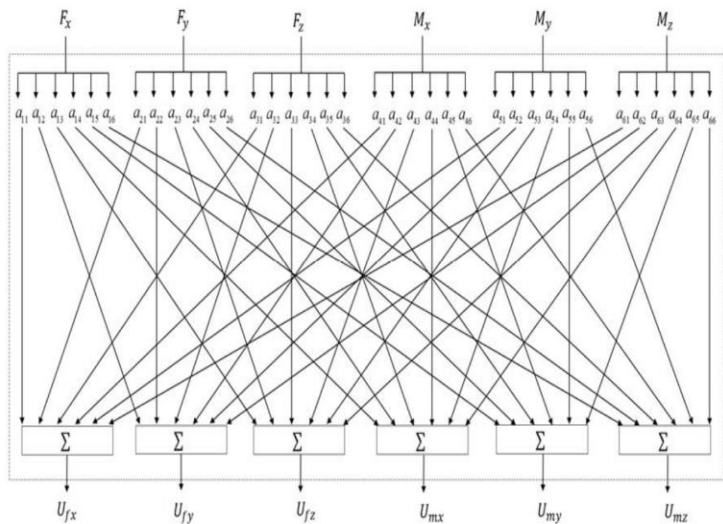


六维力传感器：维间耦合是影响传统力觉感知系统精度提高的主要因素

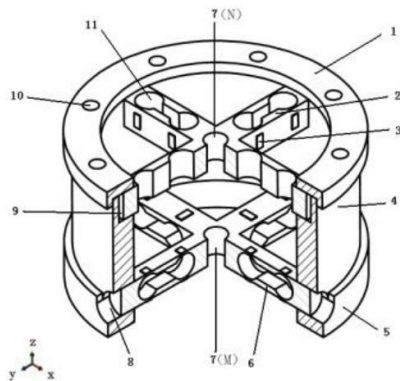
□ 多维力传感器在进行力检测时容易在不同维度间产生耦合。六维力传感器的维间干扰可分为结构干扰和误差干扰，主要因素包括传感器的结构设计、弹性体和应变片的加工误差、应变片粘贴位置及机械装备误差等。

□ 维间耦合的机理复杂，建模困难，是降低力传感器测量精度和灵敏度的主要因素。消除维间耦合是六维力传感器需要解决的关键问题，解耦算法可以分为硬件解耦和软件解耦，需要时间积累。1) 硬件解耦是从传感器弹性体的结构设计上进行解耦，浮动梁结构和滑移结构是典型的机械解耦形式。2) 软件解耦是通过软件算法实现解耦，基于最小二乘法计算标定矩阵的广义逆是应用最广泛的解耦算法。由于不同通道的输入、输出数据之间并不总是线性关系，神经网络被广泛应用于多维力传感器的静态解耦中，其中BP神经网络是用于解耦算法的最常见的神经网络之一，但是BP神经网络存在易陷入局部极小值、网络泛化能力弱和对初始权值敏感等缺点。

图：维间耦合时输入输出关系

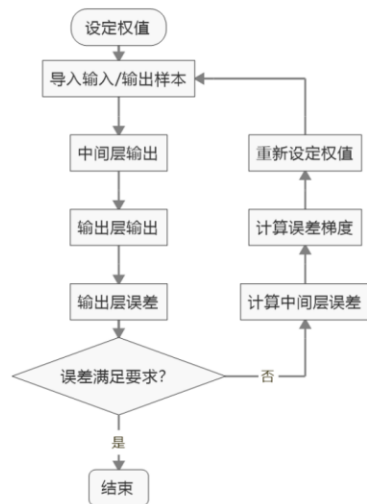


图：一种机械解耦形式：具有滑移结构的弹性体



1 顶盖, 2 十字梁, 3 电阻应变片, 4 外环, 5 底盖, 6 十字梁二, 7 中心孔, 8 半圆形槽, 9 方形槽, 10 螺纹孔, 11 “1”形孔

图：BP神经网络算法工作流程



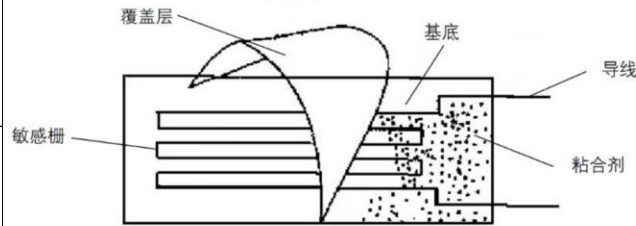
六维力传感器：目前多采用金属应变片，需依赖人工贴片

- 结构上，电阻应变片包括敏感栅、基底、覆盖层、和导线，各部分用粘合剂实现可靠粘连。半导体应变片（多为硅材料）灵敏度和响应度优势大。1) 敏感栅是核心部件，可以感知微小的应变变化，并将应变转化为电阻值的改变；根据敏感栅材质，应变片分为金属应变片和半导体应变片；根据敏感格栅的形状，金属应变片分为丝式应变片、箔式应变片和薄膜式应变片。2) 基底主要的材料是树脂，其厚度在 0.02mm~0.05mm 之内，一方面能保护内部敏感元件，另一方面可以传导被测单元的应变。3) 覆盖层起到保护敏感格栅的作用。4) 敏感格栅的引出部分为导线，可以将应变片接入测量电路。
- 应变片的主要性能指标包括热输出、机械滞后、灵敏度系数、蠕变等，在连接应变片和弹性体时需要注意消除应力对电阻应变值的影响。应变片需要粘贴在弹性体上，一维力传感器等基本可以实现自动化贴片，但是目前六维力传感器等多维传感器依然以人工显微镜下的手动贴片为主，小规模市场下此种工艺路线满足需求，但大批量的市场下无规模效应导致单位成本难以下降。国内传感器企业在应变片制作技术、电子元器件的可靠性以及电镀外观等方面均与国外有一定差距。

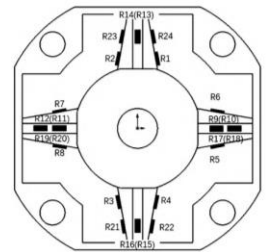
图：电阻式应变片六维力传感器的应变片材质

敏感格栅材质		特点	用途
金属材料	康铜合金	灵敏度高，对温度的变化不敏感且在弹性形变范围内拥有较好的延展性，故应用最为广泛，但在高温条件下，康铜合金温度漂移现象比较严重	多用于测量动态应变
	镍锰合金	抗疲劳，具有极好的稳定性，能长时间工作，也可应用于温度变化较大的工况	适合于静态工况下的应变测量
半导体材料	硅、锗等	优势在于灵敏度和响应度，灵敏度是金属材料的几十倍，大批量生产下硅应变片单位成本下降空间大	可用于检测微应变并制成具有高灵敏度系数的力传感器

图：电阻式应变片结构图



图：应变片位置示意图



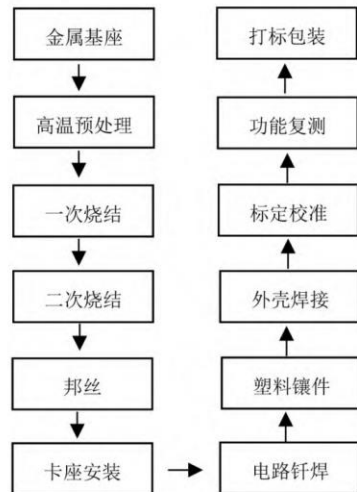
六维力传感器：硅应变片+玻璃微熔工艺有望成为六维力大批量生产时的首选路线

- 贴片工艺方面，目前最常见的传感器贴片材料是有机粘接剂，但热稳定性差，降低传感器性能。传统的力传感器在贴片时一般采用有机粘接剂，例如硅胶、环氧等，把金属或半导体应变片较可靠地粘接在各种基材的弹性体上。但是随着力传感器弹性元件的小型化，有机粘接剂自身的厚度对传感器性能的影响越来越显著，而且有机胶粘贴工艺的热稳定性差、胶体承受的温度范围小，随着工作温度的升高，粘接剂会出现粘塑性行为，增大传感器迟滞误差和输出信号的不稳定。
- 玻璃微熔技术是指将高温熔化的玻璃纤维作为黏合剂，将不锈钢的外壳加工件与测量介质结合的一种技术，提供可靠性密封连接，使得产品具备卓越的耐热性及耐候性。玻璃纤维在 250 °C 时，仍可保持较好的黏合度和稳定性，使应变片和金属底座有较强的粘接强度。
- 玻璃微熔工艺可实现自动贴（用烘烤机把玻璃胶烘上去），适合大批量的生产（设备耗电量大，大批量才有经济性）。微熔玻璃的热膨胀系数与硅应变片基本相似，并可以与适合批量化生产的厚膜封装技术结合，因此在硅应变片的贴片方面具有良好的应用前景。

图：玻璃微熔传感器成品图



图：玻璃微熔工艺加工流程

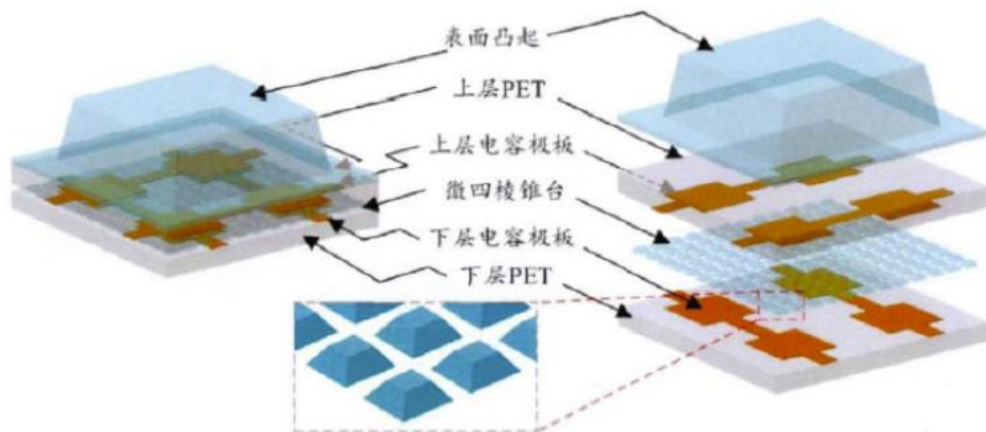


3.3 电子皮肤

从结构看，柔性触觉传感器由敏感材料、电极材料、衬底材料构成

- **敏感材料**：可以用作压阻式触觉传感器敏感层的材料分为两类，1) **纳米复合型高分子导电材料**：如导电橡胶、PDMS、碳纳米管等；2) **半导体材料**：其基片可直接用做敏感材料，一般通过组成惠斯顿电桥来检测。
- **电极材料**：一般要求具有良好的导电性、柔韧性和透明度，包括**铜薄膜、锡氧化铟（ITO）导电薄膜、铝掺杂的氧化锌（AZO）透明导电玻璃**等。其中铜薄膜因其具有良好的导电性和延展性，在电子元器件中应用最为广泛。通过烤板、钻孔、沉铜、镀铜等工艺，将设定大小和厚度的铜镀在衬底表面，形成电极。
- **衬底材料**：要将电极材料沉与衬底材料上，衬底必须具有一定的刚度和硬度；同时由于现代触觉传感器在不平整、不规则表面的使用，衬底又必须具有一定的柔性。现在最常用的衬底材料包括**聚酰亚胺（PI）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）、聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）和聚碳酸酯（PC）**等。

图：基于PDMS 薄膜介电层的分布式柔性触觉传感器阵列示意图



柔性触觉传感器生产壁垒体现在敏感材料选择和配比、结构设计、工艺制作上、标定上

- **材料：**使用较多的是聚二甲基硅氧烷(PDMS)、聚氨酯泡沫 (PORON) 等。不同材料制作的传感器的在回滞误差、线性度、重复性方面有很大区别。
- **结构设计：**有研究出金字塔、微针式等结构，这些结构可以增强介电层的回弹性，有利于增强触觉传感器的灵敏度、重复性和稳定性。
- **工艺制作：**1) **传统工艺-电子印刷术：**在柔性衬底上印刷导电电极和敏感材料。电子印刷技术包括丝网印刷、喷墨印刷和其他电子印刷技术。还有部分学者采用3D打印的方式。2) **现代新工艺-MEMS工艺：**利用微加工技术，已可以在1cm²大小的硅片上制作含有几千个压力传感器组成的阵列。集成化应变计式面阵列触觉传感器就是在8mm×8mm的硅片上制作出来的，它包含1024个(32×32)敏感触点(桥)，硅片四周还制作了信号处理电路，其元件总数约16000个。
- **标定：**阵列式触觉传感器，一次测量往往会涉及三维力，如果是集成式触觉传感器，单体触觉感知单元信号相互之间也会产生干扰。所以，触觉传感器的标定机制远复杂于其他类型传感器。从触觉传感器的标定方法来看，传统的标定方法是利用数学模型来计算物理量，但是对于高精度、干扰性强和变量较多的物理量标定场景，数学模型会异常复杂，但精度却不一定保证。因此，研究人员现在会利用图形处理系统和AI来完成传感器的纠偏和标定。利用大量的实验和AI情景模拟，能够形成触觉传感器的标定数据库，实际测量中，AI直接从数据库调用参数，来完成触觉传感器的标定。

表：不同印刷术介绍

分类	具体介绍
丝网印刷	以图形化的丝网作为版基，用橡胶刮刀将油墨压过丝网印版，使其转移到承印物上形成设计的图案形状，然后经过热处理固化，便能完成填料的制作
喷墨印刷	一种非接触式的印刷方式，因此对衬底材料没有严格的要求。除此之外，喷墨印刷技术还能精确的控制印刷的图案形状、电极厚度，制作简单，成本低，但对导电墨水的粘度和材质有一定要求，并且不适用于大面积电极的制作

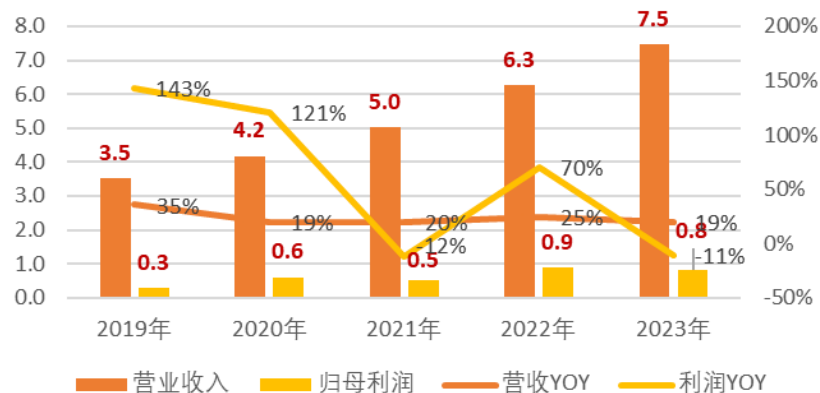
四、投资建议

安培龙：产品延拓能力是基础，车厂客户有望贡献收入增量

□ 公司三大类产品线是热敏电阻及温度传感器、压力传感器、氧传感器。热敏电阻及温度传感器包括PTC热敏电阻器、NTC热敏电阻器及温度传感器。压力传感器主要包括陶瓷电容式压力传感器、MEMS压力传感器、玻璃微熔压力传感器。氧传感器包括氧传感器芯体以及氧传感器、氮氧传感器。目前主要应用于汽车、家电、光伏、储能、充电桩、物联网、工业控制、医疗等领域。

□ 公司在传感器市场的竞争优势在于：1) 产品延拓能力，以技术创新驱动：公司从热敏电阻起家，通过自研+团队搭建延展至温度、氧、压力传感器，经过多年的陶瓷工艺技术积累，公司拥有从陶瓷材料研发到热敏电阻及传感器生产制造的完整产业链,在材料配方、陶瓷基体制备、成型、烧结、印刷、封装、MEMS芯片等方面均拥有自主研发能力和核心技术。公司现已组建了专门的力传感器研发团队，研发汽车EMB刹车力传感器以及多维力传感器。玻璃微熔压力传感器是公司目前重要的在研新品，性能指标接近海外同行。2) 客户开拓能力：公司与国内外知名品牌及其供应链企业建立了稳定的合作关系。公司合作的主要客户包括：美的集团、格力电器、比亚迪、上汽集团、法雷奥、麦格纳、华为等。随着公司产品从热敏电阻到温度传感器到压力传感器，客户从以家电企业为主转为比亚迪等汽车客户为主。

图：安培龙19-23年度收入、归母净利润（单位：亿元/%）



图：安培龙主要产品

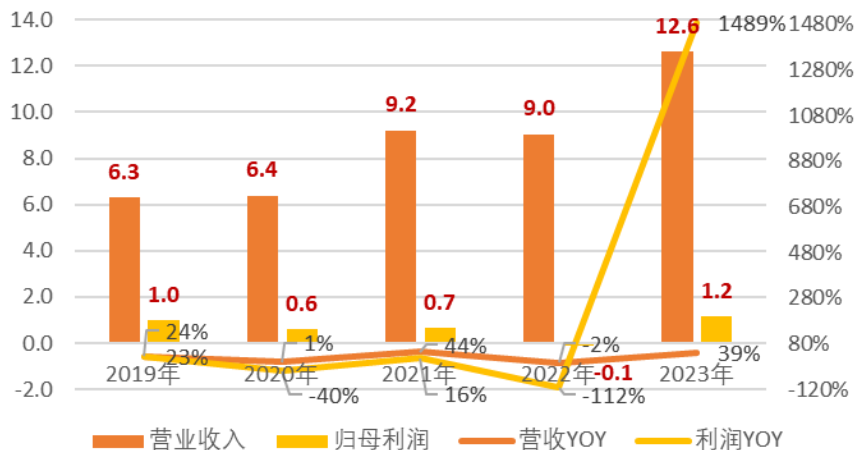
热敏电阻及温度传感器	PTC热敏电阻器	
	NTC热敏电阻器	
	温度传感器	
压力传感器	陶瓷电容式压力传感器	
	MEMS压力传感器	
	玻璃微熔压力传感器	
氧传感器		

华培动力：多品类传感器供应能力，建立全球乘用车销售网络

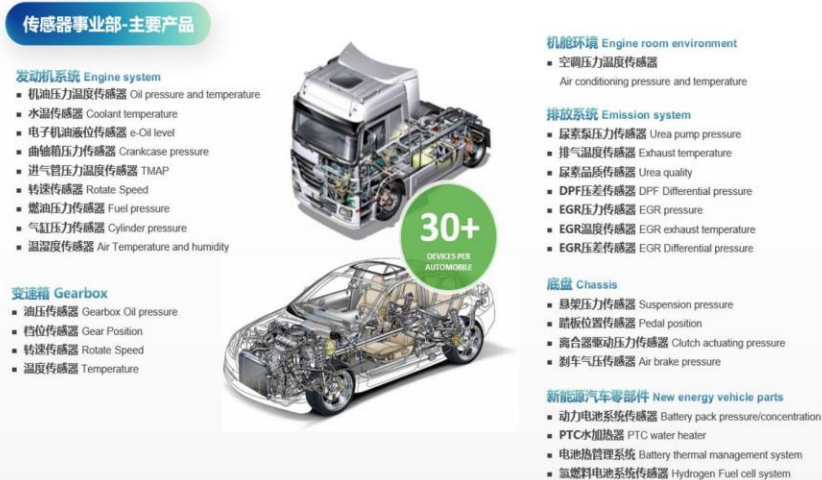
□ 公司业务分为动力总成业务及传感器业务，形成国内商用车传感器供应商第一梯队的领先能力。动力总成业务涵盖的主要产品为汽车发动机涡轮增压系统的核心零部件，包括放气阀组件、涡轮壳和中间壳及其他零部件等，下游有燃油乘用车、混动车、商用车。传感器业务是以控股子公司盛迈克、盛邦、盛美芯为业务基础，主要产品涵盖全压力量程范围的压力传感器、速度位置传感器、温度传感器、尿素品质传感器等多品类传感器及部分核心芯片，主要服务于国内商用车前装市场，客户涵盖一汽解放、中国重汽等商用车及工程机械整机厂，潍柴动力、康明斯、博世等国内外主流发动机厂商。

□ 公司在传感器市场的竞争优势在于：1) 多品类传感器供应能力：通过有效整合盛迈克、盛邦及盛美芯三家公司，公司拥有全压力量程传感器技术，逐步增加单车价值供应量，增强客户粘性。2) 全球客户关系网络：公司的动力总成业务已与博格华纳、盖瑞特等全球知名涡轮增压器整机制造商形成了长期稳健的合作关系，并对奔驰、宝马等整车厂形成供应，为传感器业务的全球化提供了客户基础，降低市场开发成本。3) 芯片能力：公司具备部分核心车规级芯片的自主设计、封装测试的能力，可以为MEMS 压力传感器、速度位置传感器等提供核心敏感芯片。公司是国内陶瓷压力传感器的主流厂商，具备“敏感元件—变送模块—变送器”全工艺链优势。

图：华培动力19-23年度收入、归母净利润（单位：亿元/%）



图：华培动力传感器业务主要产品

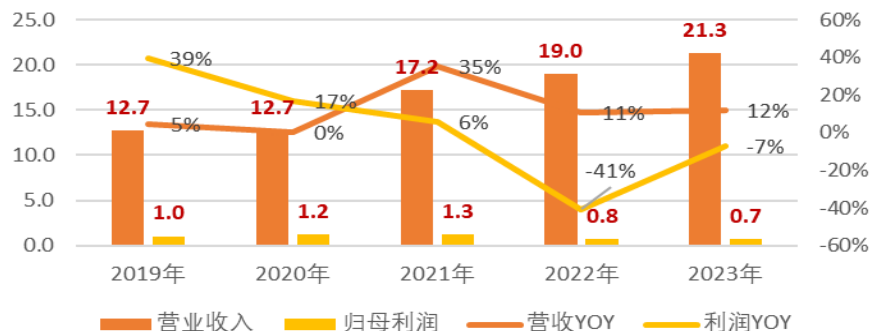


福莱新材：深耕功能性涂布复合材料，推进产业一体化

□ 公司为国内广告喷墨打印材料的龙头企业，是国内喷墨打印复合材料行业首家实现基膜、胶水、涂布一体化的企业，主营业务是功能性涂布复合材料，主营产品为广告喷墨打印材料、标签标识印刷材料、电子级功能材料、新型薄膜材料、胶粘材料等工业消费品及高端智能装备。目前收入大头在广告喷墨打印材料，占比在65%左右，其次是标签标识材料，收入占比在30%左右。广告喷墨打印材料包括环保型喷绘打印PP、环保型高透灯片等。标签标识印刷材料的基本结构包括基材层、涂层，应用于包装材料领域。电子级功能材料包括电子级胶粘材料、电子级保护材料，主要应用于消费电子和汽车电子领域。新型薄膜材料BOPP产品包括耗材类合成纸、标签膜、及珠光膜。胶粘材料主要是粘合剂、功能型助剂与涂料制品，是功能性涂布复合材料涂层结构的核心，主要产品是水性压敏胶。

□ 公司在涂布复合材料的竞争优势在于：1) **技术研发和产品创新优势**：公司持续投入柔性传感器的研究，在已取得专利的基础上，实现了材料、器件、著作权的进展。公司积极推动基膜生产设备的技术进步，依托多年来在涂布材料领域所形成的设备制造技术储备优势，持续推进自建产线项目，开拓行业高端智能制造设备的国产替代市场。2) **市场覆盖与客户资源优势**：公司拥有数百个不同规格不同特性的产品型号，满足客户多样化的需求，客户包括艾利丹尼森、芬欧蓝泰、冠豪高新、信维通信等知名企业，形成长期稳定的良好合作关系。

图：福莱新材19-23年度收入、归母净利润（单位：亿元/%）

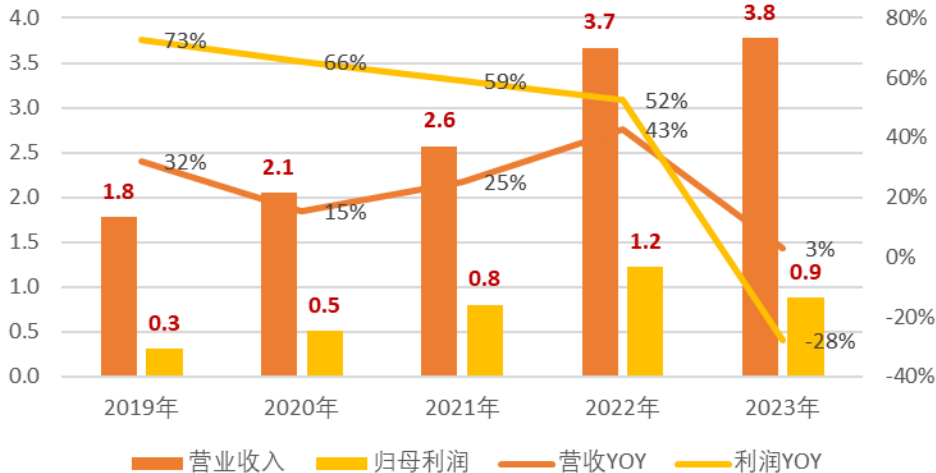


东华测试：专注于结构力学测试，开发高性能传感器

□ 公司是国内领先的结构力学性能研究和电化学工作站整体解决方案提供商。主营业务是结构力学性能测试分析系统、结构安全在线监测和防务装备PHM系统、基于PHM的设备智能维保管理平台、电化学工作站四大产品线，包含传感器、数据采集与控制分析系统、控制与分析软件平台，所有产品都是自主研发、设计和生产，拥有独立自主的知识产权。

□ 公司在传感器市场的竞争优势在于：1) 技术优势：公司具备研发六维力传感器的底层技术条件和产品快速研制能力。公司形成一定规模的技术密集型创新团队，六分量力矩传感器、冲击脉冲传感器、磁致伸缩传感器进入内部研发阶段。拉线式位移传感器性能升级后已进入量产状态，完成了GZW50/120本安型振动温度传感器产品的开发并申办矿用产品安全标志证书，一体电涡流化传感器已经进入量产状态，声发射传感器、高温压力传感器、光纤光栅传感器等小批量试制并进行局部市场推广。2) 产品种类齐全、客户覆盖广：公司研发了多规格多类型的产品，适应不同行业多样化应用需求，客户包括高校、科研院所实验室和企业研发实验室，2023年公司前五大客户营收占比仅9%。

图：东华测试19-23年度收入、归母净利润（单位：亿元/%）



图：传感器产品



- 压电式加速度传感器
- 直线式位移传感器
- IEPE加速度传感器
- 电涡流位移传感器
- 电容式加速度传感器
- 压电式压力传感器
- 压阻式加速度传感器
- 光电式转速传感器
- 磁电式速度传感器
- 多维力传感器
- 拉线式位移传感器

投资建议：看好汽车传感器国产替代、力矩传感器、电子皮肤投资机会

- 汽车传感器投资逻辑在于国产替代，目前国产化率较低，重点推荐【安培龙】、建议关注【华培动力】。
- 此外，电子皮肤目前阶段更考验材料配比，建议关注【福莱新材】。

风险提示

- **人形机器人发展不及预期：**丝杠国产化推进部分依赖人形机器人的发展和放量，若行业进展不及预期，将影响全文的逻辑推演。
- **特斯拉人形机器人进展不及预期：**人形机器人的发展核心看特斯拉人形机器人发展，若特斯拉进展不及预期，将影响后续的推荐逻辑。
- **力传感和电子皮肤国产化进展不及预期：**众多公司布局力传感、电子皮肤，若进展不及预期将影响我们的观点。
- **测算有主观性：**文中测算基于一定前提假设，假设具有一定主观性、存在假设不成立、市场发展不及预期等因素导致测算结果偏差的风险。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们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，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司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。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下