

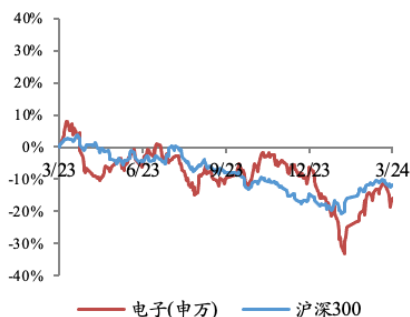
MEMS 传感器关注射频、惯性和压力三大应用领域

投资评级：增持

报告日期：2024-04-01

主要观点：

行业指数与沪深 300 走势比较



分析师：陈耀波

执业证书号：S0010523060001

邮箱：chenyaobo@hazq.com

联系人：李元晨

执业证书号：S0010123060022

邮箱：liyyc@hazq.com

● 关注 MEMS，关注什么？

MEMS 行业是百亿美金大市场。根据 Yole 的数据，市场空间将从 2021 年的 136 亿美金，提升至 2027 年的 223 亿美金。整体 CAGR 的增长年复合增长率为 9%。到 2027 年第一大市场为射频 MEMS 市场，整体空间为 46.64 亿美金；第二大市场为惯性市场，IMU 惯性和加速度计合计市场空间为 44.33 亿美金；第三大市场为压力 MEMS，市场空间为 26.24 亿美金；第四大市场为硅麦 MEMS，市场空间为 23.33 亿美金。

● MEMS 细分行业关注的未来方向(射频、惯性、压力)

到 2027 年第一大市场为射频 MEMS 市场，滤波器是构建射频微波子系统最重要、用量最大的器件之一。民用市场的射频微波滤波器主要以 SAW、BAW 滤波器以及近年来的 FBAR 滤波器为主。滤波器市场空间巨大，国产替代空间大。根据 Yole 的数据显示，BAW 滤波器 (BAW-SMR 和 FBAR) 从 2021 年的 23.13 亿将增至 2026 年的 36.44 亿，BAW 的营收占比也将从 2021 年的 35%，提升至 2026 年的 44%。在高频通信时代，供应链安全使得下游客户对滤波器国产替代需求迫切，随着本土厂商技术不断积累，未来有望打破日美厂商垄断的市场格局。

第二大市场为惯性市场，IMU 惯性和加速度计合计市场空间为 44.33 亿美金。MEMS 惯性领域技术研发和建设，事关国民经济和国家安全建设。MEMS 惯性传感器对于惯性导航系统的小型化具有关键意义。MEMS 创造了惯性导航应用的新市场，如战术级别的制导弹药以及可以与 GPS 芯片进行组合导航的个人导航仪。从全球市场和我国 MEMS 惯性导航领域的成就看，在高性能 MEMS 惯性传感器产品已推广应用，国内掌握了 MEMS 惯性传感器设计、制造、封装和测试等主要技术环节，具备了开发高性能 MEMS 惯性传感器产品的能力。

第三大市场为压力 MEMS，市场空间为 26.24 亿美金。从 MEMS 压力传感器整体行业应用看。压力 MEMS 传感器主要的下游应用包括汽车、生命医学领域、航天领域应用。目前随着我国航空航天事业的蓬勃发展，国产 MEMS 压力传感器迎来历史机遇。在航天领域的应用中，利用压力传感器能够对航天飞行器及宇宙飞船的姿态进行控制，对火箭、卫星、喷气发动机、高速飞行器等耐热腔体表面的压力进行测量。在我国航天事业发展过程中，随着科技水平和工艺技术的提高，在载人飞船、空间实验室和空间站等航天器上也都应用了 MEMS 压力传感器。

● 重点关注的企业：赛微电子（纯 MEMS 代工厂）、高华科技（高性能传感器布局商业航天）、芯动联科（高性能惯性传感器布局未来自动驾驶）

赛微电子：公司全资子公司瑞典 Silex 是全球领先的纯 MEMS 代工企业，2012 年至今，瑞典 Silex 在全球 MEMS 代工厂营收排名中一直位居前五，与意法半导体(STMicroelectronics)、TELEDYNE DALSA、台积电(TSMC)、索尼(SONY)等厂商持续竞争。公司 MEMS 产品包括消

消费电子领域的硅基麦克风、工业生产领域的惯性传感器、汽车和光通信领域的微镜、生物医学领域的微流控/芯片实验室、无线通信领域的射频芯片,以及光通信领域的硅光子等。公司客户遍及全球各个行业,包括全球 DNA/RNA 测序仪龙头、光刻机巨头、新型超声设备巨头、网络通信和应用巨头以及工业和消费细分行业的领先企业等。

高华科技:公司主营业务为高可靠性传感器及传感器网络系统。依托高可靠性传感器产品的自主创新优势,公司核心产品具有可靠性高、一致性好、集成度高的特点,较早得到航天客户的关注,成功参与了载人航天工程的项目配套,并逐渐被应用于其他各高可靠领域。

随着公司的研发和生产能力的提升,在航天领域,公司参与并圆满完成了载人航天工程、探月工程、北斗工程、空间站建设工程等重点工程配套任务;在航空领域,公司参与了多型新一代战机的配套;在兵器领域,公司参与了信息化装备的传感器配套任务;在轨道交通领域,公司参与了和谐号、复兴号等高铁动车的传感器国产化配套;在冶金领域,公司产品已被应用于宝武集团、建龙集团等企业的冶炼设备健康监测系统。公司与上述领域的重要客户建立了长期稳定的合作关系。

芯动联科:主营业务为高性能硅基 MEMS 惯性传感器。公司主要产品为高性能 MEMS 惯性传感器,包括 MEMS 陀螺仪和 MEMS 加速度计。公司 MEMS 陀螺仪借助半导体技术,实现了批量化生产,并且具有智能化程度更高和成本更低的优势。应用于系统复杂、高价值平台(如卫星、车辆、高铁、舰船、石油开采设备)。同时公司未来将通过半导体制造技术降低惯性传感器的制造成本,将进一步拓展应用深入自动驾驶领域。

● 投资建议

建议关注 MEMS 领域高可靠传感器中高华科技(布局商业航天)、芯动联科(布局自动驾驶),以及赛微电子(MEMS 纯代工厂全球排名第一)

● 风险提示

技术开发不及预期,竞争加剧,需求不及预期

正文目录

1 MEMS 行业整体情况	6
1.1 什么是 MEMS	6
1.2 物联网时代到来，MEMS 迎来高景气发展机遇，国产替代空间大	7
1.3 MEMS 主要的应用领域	8
2 MEMS 行业按照下游领域看未来发展潜力	9
2.1 射频 MEMS：滤波器是其中最主要器件之一	9
2.2 惯性 MEMS：小型化创造惯性导航领域新市场	12
2.3 压力 MEMS：应用于汽车工业、医疗和航空航天	14
3 MEMS 行业主要关注的上市公司	17
3.1 赛微电子：MEMS 领域纯代工厂全球排名第一	17
3.2 高华科技：高可靠压力和温湿度传感器和传感器网络系统供应商布局商业航空航天	21
3.3 芯动联科：高可靠惯性传感器布局自动驾驶	25
风险提示：	27

图表目录

图表 1 MEMS 和 MEMS 传感器的工作原理图	6
图表 2 MEMS 传感器的分类	6
图表 3 MEMS 模拟和扩展感官	7
图表 4 MEMS 是物联网时代信息获取的关键节点	7
图表 5 中国物联网连接规模	7
图表 6 MEMS 市场规模预测 2020-2026	7
图表 7 中国 MEMS 市场空间	8
图表 8 MEMS 行业下游应用 2021 – 2027 的整体变化	8
图表 9 2020 年中国 MEMS 产品结构	9
图表 10 RF MEMS 领域主要应用	9
图表 11 各类 RF MEMS 器件及其应用方向和优势特点	10
图表 12 RF MEMS 主要玩家市场份额	11
图表 13 滤波器市场分技术路线统计和预测 2015-2026(\$M)	11
图表 14 惯性技术发展历史	12
图表 15 惯性传感器应用精度级别	12
图表 16 MEMS 加速度计市场份额和空间	12
图表 17 MEMS IMU 惯性组合市场份额和空间	12
图表 18 全球和我国 MEMS 惯性领域发展现状和成就	13
图表 19 全球和我国 MEMS 惯性领域发展现状和成就	14
图表 20 硅压阻式压力传感器结构	15
图表 21 电容式压力传感器结构	15
图表 22 压力 MEMS 主要玩家市场份额	15
图表 23 压力 MEMS 主要的应用场景	16
图表 24 压力 MEMS 未来发展的驱动力和升级方向	16
图表 25 赛微电子主要发展历程	17
图表 26 赛微电子所处 MEMS 纯代工厂领域排名全球第一	18
图表 27 MEMS 产业链结构	18
图表 28 MEMS 赛道商业模式以及公司定位	18
图表 29 赛微电子在 MEMS 领域主要产品	18
图表 30 瑞典 SILEX 在业内拥有最完善的 MEMS 产品线	19
图表 31 公司重点客户遍布全球各行业优质厂商	20
图表 32 赛微电子产能情况	20
图表 33 赛微电子产能具体定位和说明	20
图表 34 高华科技公司产品主要应用领域	21
图表 35 高华科技公司产品采用的具体技术路线和种类	21
图表 36 高华科技公司产品列表（高性能传感器）	22
图表 37 高华科技公司传感器网络系统	23
图表 38 高华科技公司传感器网络系统（军用和民用领域发展方向）	23
图表 39 高华科技公司自研芯片情况	24

图表 40 高华科技公司自研芯片 VS 采购芯片	24
图表 41 芯动联科 MEMS 产业链定位（设计公司）	25
图表 42 芯动联科 MEMS 产品主要应用领域	25
图表 43 芯动联科 MEMS 陀螺仪系列产品	26
图表 44 芯动联科 MEMS 加速度计系列产品	26
图表 45 不同技术陀螺仪性能及下游应用领域	27
图表 46 芯动联科陀螺仪指标范围	27
图表 47 芯动联科 MEMS 主要布局在高端工业级、战术级、和导航级	27

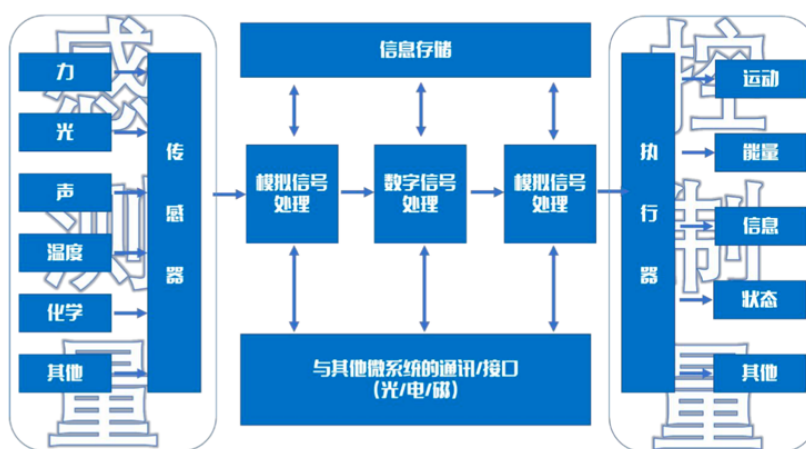
1 MEMS 行业整体情况

1.1 什么是 MEMS

MEMS 全称 Micro Electromechanical System, 即微机电系统, 是集微传感器、微执行器、微机械结构、微电源微能源、信号处理和控制电路、高性能电子集成电路件、接口、通信等于一体的微型器件或系统, 是一个独立的智能系统, 可大批量生产, 其系统尺寸在几毫米乃至更小, 其内部结构一般在微米甚至纳米量级。

MEMS 传感器, 是 MEMS 中的核心元件, 它是一种将能量从一种形式转变成另一种形式, 并针对特定可测量的输入为用户提供一种可用的能量输出的微型器件, 它是采用微电子和微机械加工技术制造出来的。

图表 1 MEMS 和 MEMS 传感器的工作原理图



资料来源: 赛迪顾问, 华安证券研究所

MEMS 传感器的门类品种繁多, 分类方法也很多。按其工作原理, 可分为物理型、化学型和生物型三类。按照被测的量又可分为加速度、角速度、压力、位移、流量、电量、磁场、红外、温度、气体成分、湿度、pH 值、离子浓度、生物浓度、触觉等类型的传感器。其中每种 MEMS 传感器又有多种细分方法。如微加速度计, 按检测质量的运动方式划分, 有角振动式和线振动式加速度计; 按检测质量支承方式划分, 有扭摆式、悬臂梁式和弹簧支承方式, 按信号检测方式划分, 有电容式、电阻式和隧道电流式; 按控制方式划分, 有开环和闭环式。

图表 2 MEMS 传感器的分类

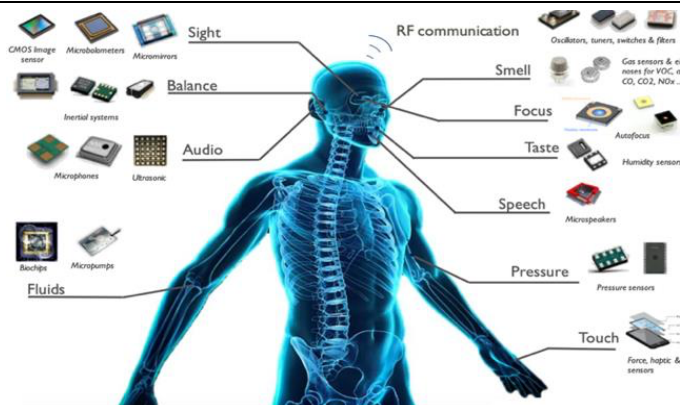
MEMS 传感器										
MEMS 物理传感器						MEMS 化学传感器			MEMS 生物传感器	
力学	电学	磁学	热学	光学	声学	气体	湿度	离子	生理量	生化量
加速度、角速度、流量、压力、惯性测量	电流、电场强度、电场	磁通、磁场强度	温度、热流、热导率	红外、激光、可见光	噪声、声表面波、超声波	可燃性气体、毒性气体、大气污染气体、	湿度	离子浓度、PH	生物浓度、触觉	酶、DNA、免疫、微生物

资料来源: 赛迪顾问, 华安证券研究所

1.2 物联网时代到来，MEMS 迎来高景气发展机遇，国产替代空间大

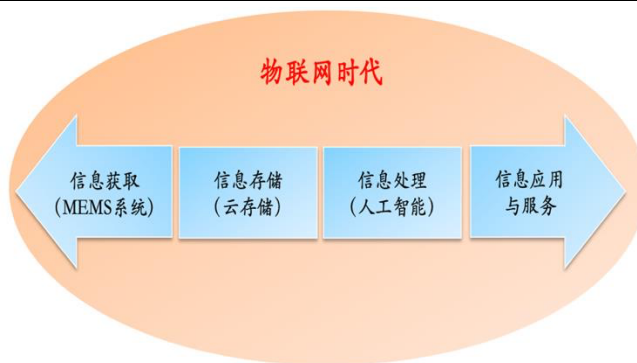
MEMS 传感器模拟和扩展人类感官，具备微型化优势，是物联网时代获取信息的关键节点技术。MEMS 是利用半导体生产工艺构造的集微传感器、信号处理和电路、微执行器、通讯接口和电源等部件于一体的微米至毫米尺寸的微型器件或系统，具备微型化优势。通过接收运动、光、热、声、磁等信号，信号再被转换成电子系统能够识别、处理的电信号，当今在物联网蓬勃发展的背景下，移动设备中大量使用各类 MEMS 传感器。

图表 3 MEMS 模拟和扩展感官



资料来源：Yole，华安证券研究所

图表 4 MEMS 是物联网时代信息获取的关键节点



资料来源：中科院微系统研究所，华安证券研究所

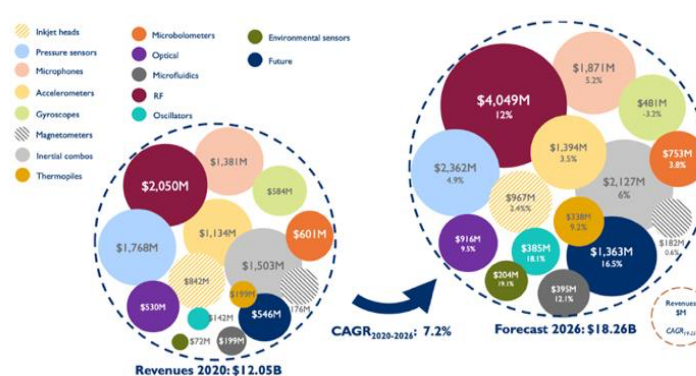
物联网终端连接规模庞大，带动 MEMS 全球市场空间不断提升。根据 IDC 的数据，预计到 2025 年物联网总连接数达到 102.7 亿，中国物联网规模占比全球 26%，5 年复合增速 17.8%。物联网需求带动 MEMS 市场规模不断提升。根据半导体权威机构 Yole Development 的数据，预计到 2026 年，全球 MEMS 市场规模将达到 183 亿美金。按照应用场景分类，消费电子市场是 MEMS 第一大市场，稳定占比 MEMS 市场份额的 60% 以上。按照产品应用分类，2020 年 MEMS 市场规模前三名分别为射频传感器(20.5 亿，占比 17%，CAGR12%)、压力传感器(17.68 亿，占比 14.7%，CAGR4.9%)和 MEMS 惯性(15.03 亿，占比 12.47%，CAGR5.2%)。

图表 5 中国物联网连接规模



资料来源：IDC，华安证券研究所

图表 6 MEMS 市场规模预测 2020-2026

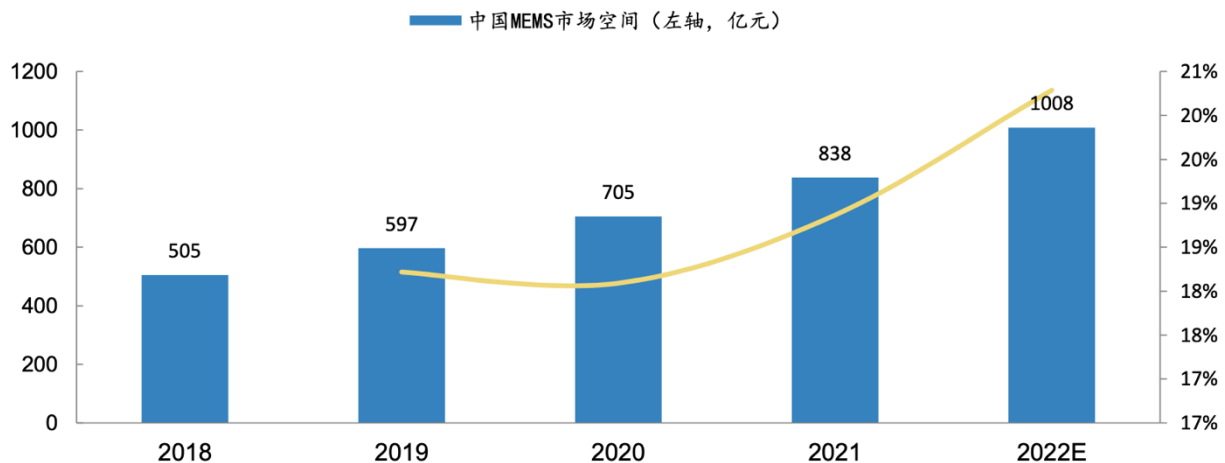


资料来源：Yole，华安证券研究所

MEMS 产品应用领域广泛，国内市场空间大。MEMS 应用领域广泛，包括智能汽车、智能家居、智能工厂、健康医疗、智慧社区等多个领域。根据赛迪咨询的数据，2019 年中国 MEMS 整体市场规模达到 597.8 亿元(包括设计、代工、封测)，

同比增长 18.3%。中国是世界主要的电子器件消费大国，每年消耗近一半的 MEMS 器件，未来国产替代空间大，MEMS 代工自主可控重要性将愈发凸显。未来随着工业互联网、智能制造、人工智能等战略的实施，将加速推动智慧城市建设、智能制造、智慧医疗，将为 MEMS 市场及企业带来高景气发展机遇。

图表 7 中国 MEMS 市场空间

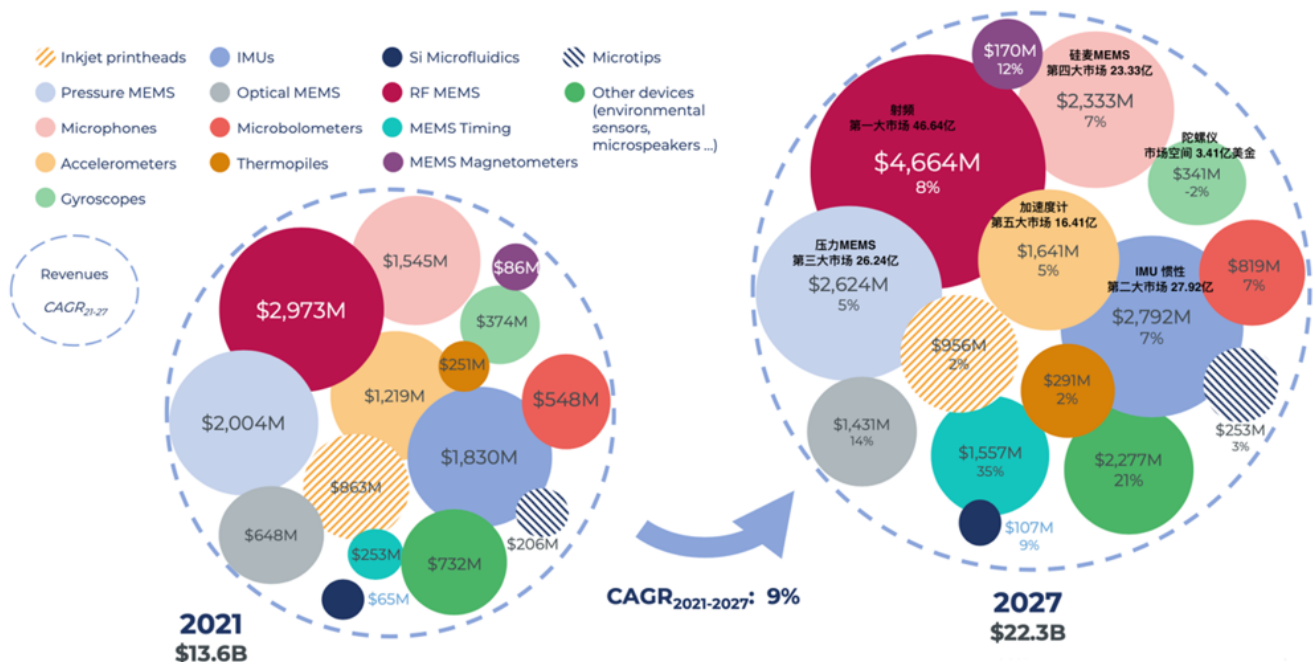


资料来源：赛迪顾问，华安证券研究所

1.3 MEMS 主要的应用领域

MEMS 行业是百亿美金大市场。市场空间将从 2021 年的 136 亿美金，提升至 2027 年的 223 亿美金。整体 CAGR 的增长年复合增长率为 9%。到 2027 年第一大市场为射频 MEMS 市场，整体空间为 46.64 亿美金；第二大市场为惯性市场，IMU 惯性和加速度计合计市场空间为 44.33 亿美金；第三大市场为压力 MEMS，市场空间为 26.24 亿美金；第四大市场为硅麦 MEMS，市场空间为 23.33 亿美金。

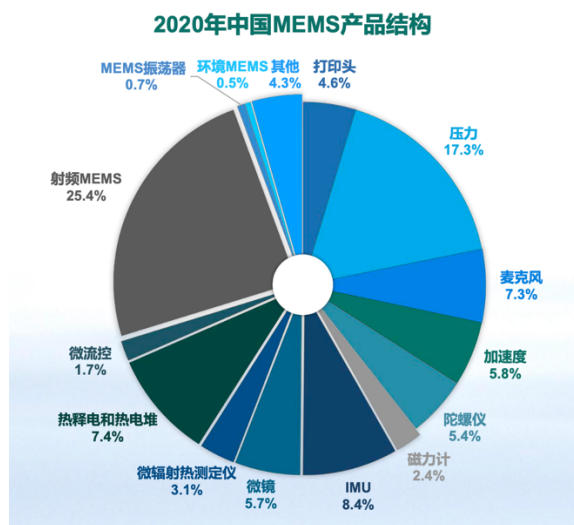
图表 8 MEMS 行业下游应用 2021 - 2027 的整体变化



资料来源：Yole，华安证券研究所标注

中国 MEMS 产业结构和全球整体 MEMS 下游领域应用基本类似。根据赛迪顾问的数据统计看，2020 年中国 MEMS 市场射频占据最大份额，达到 25.4%，其次是压力、惯性、红外和麦克风。

图表 9 2020 年中国 MEMS 产品结构



资料来源：赛迪顾问，华安证券研究所

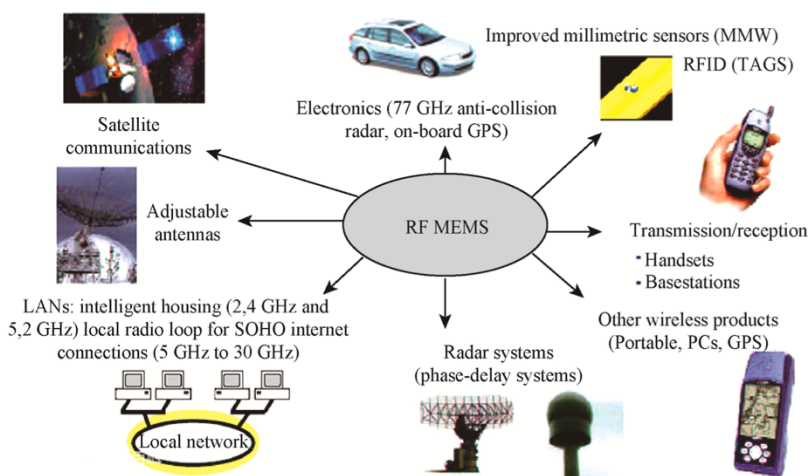
2 MEMS 行业按照下游领域看未来发展潜力

2.1 射频 MEMS：滤波器是其中最主要器件之一

RF MEMS 是指利用微纳电子机械系统 MEMS/NEMS，技术微纳精细制造实现的射频微波结构、器件、单片集成子系统等。它具有小型化、低功耗、低成本、集成化等方面的优势，逐渐广泛应用于军民各领域。

RF MEMS 应用领域包括：1) 个人通讯，如移动电话、PDA(Personal Digital Assistant)、便携式计算机的数据交换；2) 车载、机载、船载 收发机和卫星通信终端、GPS 接收机等；3) 信息化作战指挥、战场通信、微型化卫星通信系统、相控阵雷达等。

图表 10 RF MEMS 领域主要应用



资料来源：RF MEMS 国内外现状及发展趋势，北京遥测技术研究所，华安证券研究所

RF MEMS 器件主要有:1) 基于开关基本结构单元的移相器、可调滤波器、可变波束天线等, 应用于相控阵雷达系统、平面阵列扫描天线等;2) 硅基/熔融石英基的高性能滤波器, 应用于军用雷达/ 卫星通信、电子对抗等;3) 超小型化的声波滤波器 (SAW、FBAR), 大量应用于手机、无线人机交互设备、导航、微纳卫星等;4) 微纳电感、电容结构组成的天线阵列, 用于雷达、电子对抗等;5) 微纳传输线/波导结构 (如微同轴结构)组成的高性能 T/R 组件等。

图表 11 各类 RF MEMS 器件及其应用方向和优势特点

RF MEMS 器件种类	应用方向	特点和优势
电容	VCO、可调滤波器、收/发平台	IC 芯片上用, 线性, 高 Q 值, 可调范围大, 无功耗
电感	匹配网络、不平衡变换器、VCO	IC 芯片上用, 线性, 高 Q 值, 可调范围大, 无功耗
开关	波段切换开关、旁路开关、可重构天线、相控阵通信系统 (地面、空间、机载)、相控阵雷达 (地面、空间、弹载、机载、车载)、无线通信 (便携、基站)、卫星 (通信和雷达)、仪器	近零驱动功耗、低插损、线性 (信号不失真), 是解决 Ku 波段以上弹载相控阵功耗的最好手段
移相器	相控阵雷达、导弹寻的系统等	近零驱动功耗、低插损, 降低系统功放的要求, 是实现有/无源集成设计的新型相控阵的最佳方式
谐振器	滤波器、收/发带通滤波器、双工器、VCO 等	小尺寸, 可集成在射频系统级芯片上
滤波器	代替微小型系统中的传统滤波器, 应用于射频前端组件	微型化、可集成、无功耗
匹配网络	集成可重构射频前端	低损耗、低功耗、高线性
天线	超低成本的轻型相控阵雷达、多波段相控阵天线、动态自适应天线、共形天线阵列	微型化、轻量化、可重构

资料来源: RF MEMS 国内外现状及发展趋势, 北京遥测技术研究所, 华安证券研究所

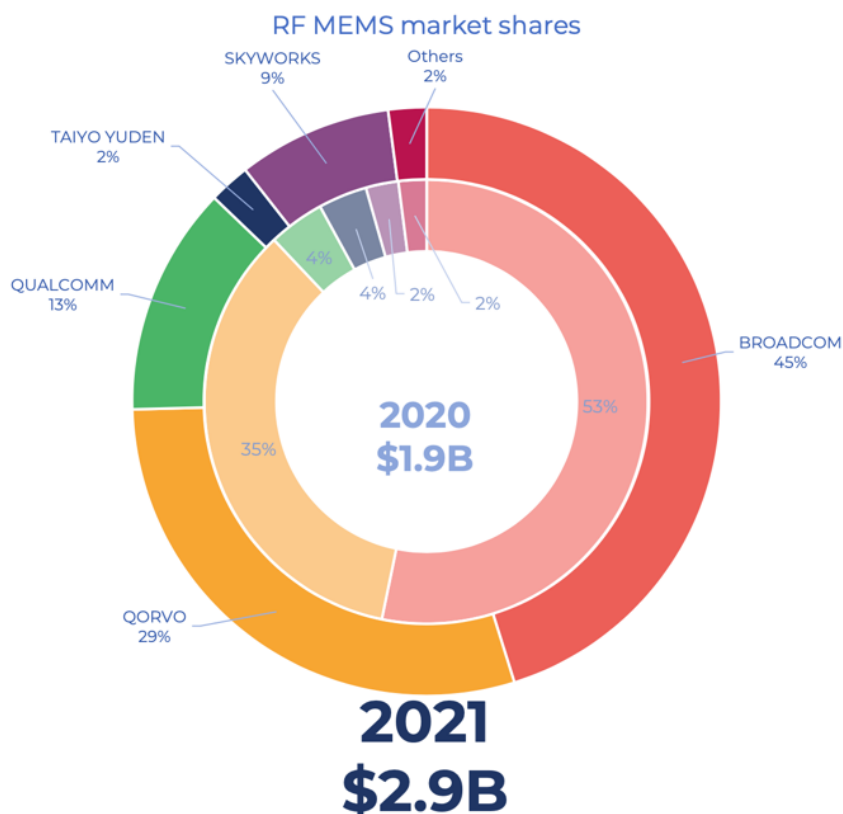
滤波器是构建射频微波子系统最重要、用量最大的器件之一, 也是研究最广泛、成熟度最高的器件。RF MEMS 滤波器有微带线滤波器、带状线滤波器、硅基腔体滤波器、熔融石英 SIW 滤波器、SAW 滤波器、BAW 和 FBAR 滤波器等。

针对高性能指标、高可靠性、高功率容量的军工市场需求, RF MEMS 滤波器主要有:1) 微带线滤波器;2) 硅基 SIW 和腔体滤波器, 国内中电 13 所和 55 所研制的该类型产品已达到实用化程度;3) MEMTronics 公司的高性能熔融石英 SIW 滤波器, 主要供应军工高端市场;4) Avago 公司 FBAR 和 TriQuint 公司 BAW 滤波器, 主要针对超小体积、高性能的应用领域, 如智能手机、消费电子无线终端、微纳卫星等

民用市场的射频微波滤波器主要以 SAW、BAW 滤波器以及近年来的 FBAR 滤波器为主, SAW 滤波器主要供应商有日本 EPCOS、村田制作所、富士通 Media Device、欧姆龙、MUTATA 公司及国内的中电 55 所、中电 26 所等。SAW 滤波器主要针对 2GHz 以下的应用领域, 如早期的 2G 通信等。

根据 Yole 的数据统计, RF MEMS 的器件滤波器领域全球市场空间到 2021 年达到 29 亿美金。其中几乎全部市场都被美国厂商所垄断。博通占比 2021 年 29 亿美金中的 45%, Qorvo 占比 2021 年 29 亿美金中的 29%, 高通占比 13%, Skyworks 占比 9%, 太阳诱电占比份额的 2%。

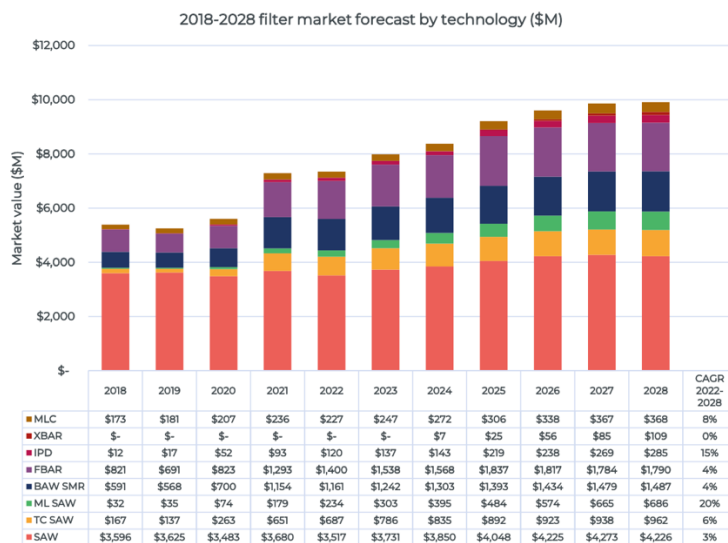
图表 12 RF MEMS 主要玩家市场份额



资料来源: Yole, 华安证券研究所

滤波器市场空间巨大, 国产替代空间大。根据 Yole 的数据显示, BAW 滤波器 (BAW-SMR 和 FBAR) 从 2018 年的 8.21 亿美金和 5.91 亿美金, 提升至 2028 年的 17.90 亿美金和 14.87 亿美金。BAW 的营收占比也将从 2018 年的 26.2%, 提升至 2028 年的 33.1%。在高频通信时代, 供应链安全使得下游客户对滤波器国产替代需求迫切, 随着本土厂商技术不断积累, 未来有望打破日美厂商垄断的市场格局。

图表 13 滤波器市场分技术路线统计和预测 2018-2028(\$M)



资料来源: Yole, 华安证券研究所

2.2 惯性 MEMS：小型化创造惯性导航领域新市场

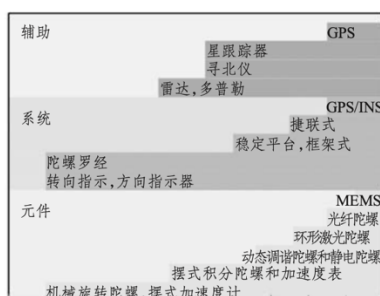
在惯性传感器领域,三种主要的技术在不断提升军用和民用能力:环形激光陀螺(RLGs),光纤陀螺(FOGs)以及 MEMS 陀螺和加速度计。应用这些技术制造的陀螺和加速度计已经取代了除高精度应用领域之外几乎所有的机械陀螺和加速度计。

RLGs 具有超高的标度因素稳定性和对重力不敏感,在许多军用领域占据重要地位。

FOGs(光纤陀螺)RLGs(环形激光陀螺)一种成本低廉的替代品也逐渐渗透进 RLGs 的应用领域。

MEMS 惯性传感器对于惯性导航系统的小型化具有关键意义。MEMS 创造了惯性导航应用的新市场,如战术级别的制导弹药以及可以与 GPS 芯片进行组合导航的个人导航仪。

图表 14 惯性技术发展历史



图表 15 惯性传感器应用精度级别

应用级别	陀螺性能	加速度计性能
民用/商业	$>1^{\circ}/s$	$>50\text{ mg}$
战术级	$\approx 1^{\circ}/h$	$\approx 1\text{ mg}$
导航级	$0.01^{\circ}/h$	$25\text{ }\mu\text{g}$
战略级	$\approx 0.001^{\circ}/h$	$\approx 1\text{ }\mu\text{g}$

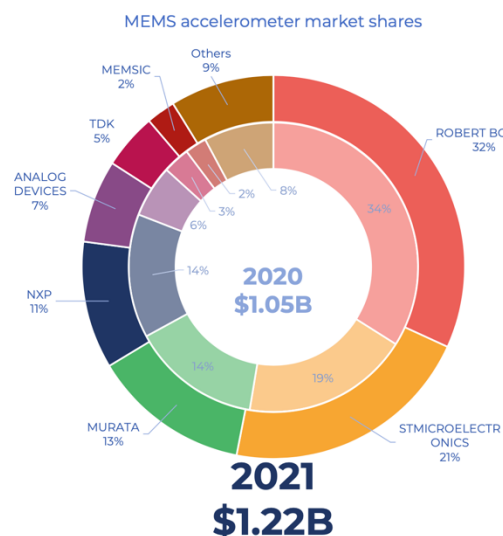
资料来源：MEMS 惯性导航传感器，舰船科学技术，华安证券研究所

资料来源：MEMS 惯性导航传感器，舰船科学技术，华安证券研究所

从 MEMS 惯性领域主要市场的 MEMS IMU 惯性组合和 MEMS 加速度计看，海外厂商占据绝对市场份额。其中 MEMS 加速度计市场在 2021 年空间为 12.2 亿美金，Bosch 市场占有率为 32%，ST 意法半导体市场份额为 21%，村田市场占有率为 13%，NXP 市场占有率为 11%，ADI 市场占有率为 7%。

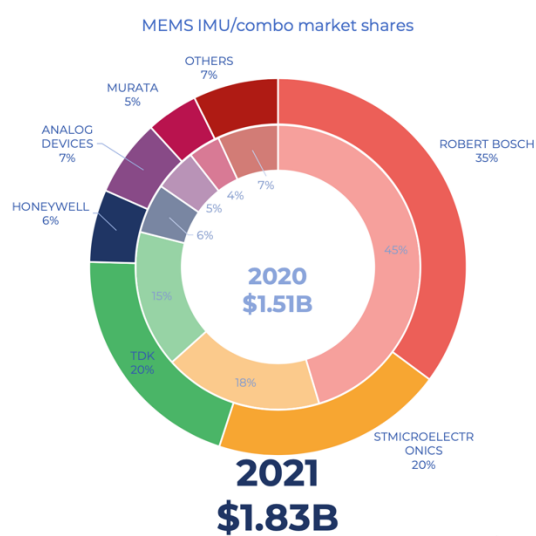
在 MEMS IMU 惯性组合市场中，2021 年市场规模为 18.3 亿美金。其中 Bosch 占比 35%，ST 意法半导体占比 20%，TDK 市场占比为 20%，霍尼韦尔市场占比 6%，ADI 市场占比为 7%。

图表 16 MEMS 加速度计市场份额和空间



资料来源：Yole，华安证券研究所

图表 17 MEMS IMU 惯性组合市场份额和空间



资料来源：Yole，华安证券研究所

MEMS 惯性领域技术研发和建设, 事关国民经济和国家安全建设。“九五”期间, 我国把研制高性能 MEMS 惯性传感器作为发展军用微米纳米技术的战略, 紧紧围绕微型惯性测量单元(MIMU)的需求开展技术攻关, 带动了国内相关单位建立研究队伍、设立相关实验室、建设工艺制造平台, 突破了若干关键技术, 奠定了技术发展基础。

三十年弹指一挥间, MEMS 惯性传感器已从实验室探索研究走向工程应用, 技术和产品都取得了巨大进步, 在消费电子、车载导航、物联网、工业装备和高端装备等方面得到了广泛应用。

从全球市场和我国 MEMS 惯性导航领域的成就看,在高性能 MEMS 惯性传感器产品已推广应用, 国内掌握了 MEMS 惯性传感器设计、制造、封装和测试等主要技术环节, 具备了开发高性能 MEMS 惯性传感器产品的能力; MEMS 惯性传感器应用于智能辅助驾驶中, 同时国内企业将 MEMS 六轴惯性传感器应用于智能辅助驾驶, 在车载定位这个细分赛道蹚出了一条新路, 走在了国际前列, 在消费电子 MEMS 惯性传感器领域, 消费领域同样存在供应链安全的问题, 国产化替代的大背景下, 系统厂商对于 MEMS 陀螺和 MEMS 加速度计产品的需求量巨大, 国内企业迎来了新的发展机遇。

图表 18 全球和我国 MEMS 惯性领域发展现状和成就

MEMS 发展具体成就	主要发展机遇/突破	具备的技术能力/成就
高性能 MEMS 惯性传感器产品已推广应用	2011 年底, 国内开发出基于陶瓷外壳的 MEMS+ASIC 两片式系统级封装(SiP)的陀螺和加速度计。2019 年, 高性能 MEMS 陀螺和 MEMS 加速度计实现规模量产。	国内掌握了 MEMS 惯性传感器设计、制造、封装和测试等主要技术环节, 具备了开发高性能 MEMS 惯性传感器产品的能力
率先将 MEMS 惯性传感器应用于智能辅助驾驶	智能辅助驾驶和自动驾驶对定位系统的基本要求为高精度、高可靠性、高可用性, 同时需要满足功能和安全的冗余。仅依靠 GNSS 定位, 在复杂环境和极端天气的情况下存在风险, 而惯性导航则成为有效的安全冗余。与激光陀螺和光纤陀螺相比, MEMS 惯性传感器在体积、质量、功耗、价格、寿命等方面具有无可替代的巨大优势。	在国内造车新势力特别是小鹏汽车智能辅助驾驶方案的强力牵引下, 国内企业敢为天下先, 率先尝试 MEMS 惯性传感器+GNSS 组合上车试验。同时国内企业将 MEMS 六轴惯性传感器应用于智能辅助驾驶, 在车载定位这个细分赛道蹚出了一条新路, 走在了国际前列。
消费级 MEMS 惯性传感器崭露头角	我国作为全球最大的电子产品生产基地, 正消耗着全球四分之一的 MEMS 传感器, 需求和市场是巨大的。但是, 目前我国大部分 MEMS 传感器仍然依赖于进口。Bosch、ST、TDK 等 IDM 大公司拥有雄厚的技术实力和资金实力, 自己设计传感器, 自己生产传感器晶圆, 他们的产品无论在价格还是性能等方面均具有巨大的优势。	消费领域同样存在供应链安全的问题, 国产化替代的大背景下, 系统厂商对于 MEMS 陀螺和 MEMS 加速度计产品的需求量巨大, 国内企业迎来了新的发展机遇。

资料来源: 三十年不断发展的 MEMS 惯性传感器, 中国惯性技术学会, 华安证券研究所

从 MEMS 惯性产品应用未来发展方向看,主要机会在自动驾驶, 人形机器人, 以及具备更高的集成度和智能化。

从智能驾驶 MEMS 惯性导航应用看,L3 及以上级自动驾驶需要安全可靠、低成本、高精度的 MEMS 惯性传感器。从 L2 级别到 L3 级别, 自动驾驶的安全性问题突出, 目前, 全球自动驾驶渗透率情况以 L1、L2 级为主, L3~L5 级渗透率较低。国内乘用车市场自动驾驶技术以 L2 级为主, L3 级尚未落地。根据 ICV 预测, 2023 年~2027 年全球自动驾驶渗透率 L2 及以上级呈现增加的趋势。其中, L2/L2+级预计 2027 年渗透率达 58%, L3 级预计 2027 年渗透率达 25%。具备高可靠性的传感器是保障更高等级自动驾驶的必由之路。

人形机器人打开了 MEMS 惯性传感器的成长空间。MEMS 惯性传感器可以获取人形机器人的角速度和加速度数据,通过 MEMS IMU 可监测人形机器人的实时状态、位置信息以及运动轨迹,维持人形机器人完成走、跑、蹲等动作的姿态平衡。单台人形机器人采用 1 颗或多颗 MEMS IMU,市场空间广阔。MEMS IMU 与其他传感器融合,如立体声摄像机、关节编码器、力扭矩传感器、足部接触传感器等,实现数据互补,估计姿态足的质心位置、速度、方向、角速率和角动量,共同进行机器人状态反馈并完成下一步动作,应用于机器人的下蹲起立、前后行走、上下楼梯、回避障碍等场景。

图表 19 全球和我国 MEMS 惯性领域发展现状和成就

MEMS 传感器发展方向	主要发展机遇	主要实现目标
L3 及以上级自动驾驶需要安全可靠、低成本、高精度的 MEMS 惯性传感器	从 L2 级到 L3 级,自动驾驶的安全性非常突出,譬如对自动驾驶车辆进行测试,15 万公里测试能够发现 99.9%的问题,但是剩余 0.1%的问题可能在 15 亿公里都未能发现和解决。这个 0.1%乘以每年上路的几亿辆车和行驶公里数,那就是天文数字。因此,如何让自动驾驶汽车比飞机更安全?具有功能安全的、具有 99.9999%可靠性的传感器必不可少。	价格在 30 万元以上的乘用车市场占有率很有限,因此乘用车高精度定位产品的装车率在 1.8%左右。未来高精度定位产品一定会往 20 万元乃至 10 万等级的车渗透,那么巨大的成本压力就会随之而来。在不影响安全和质量的前提下,MEMS 惯性传感器降本必然是,价格应非常低,而且性能和可靠性要求还非常高。
人形机器人打开了 MEMS 惯性传感器的成长空间	根据麦肯锡预测,全球人形机器人市场空间可达 120 万亿级别,是一个崭新且空间庞大的蓝海市场。据艾瑞咨询预测,2021 年~2025 年国内智能机器人市场规模的年平均复合增长率将达到 40%,2025 年国内智能机器人市场规模接近千亿,这将带动 MEMS 惯性传感器的需求量不断增长。	MEMS 惯性传感器可以获取人形机器人的角速度和加速度数据,通过 MEMS IMU 可监测人形机器人的实时状态、位置信息以及运动轨迹,维持人形机器人完成走、跑、蹲等动作的姿态平衡。单台人形机器人采用 1 颗或多颗 MEMS IMU,市场空间广阔。MEMS IMU 与其他传感器融合,如立体声摄像机、关节编码器、力扭矩传感器、足部接触传感器等,实现数据互补,估计姿态足的质心位置、速度、方向、角速率和角动量,共同进行机器人状态反馈并完成下一步动作,应用于机器人的下蹲起立、前后行走、上下楼梯、回避障碍等场景。
MEMS 惯性传感器朝着集成、融合、智能方向迈进	在高性能和低成本的需求牵引下,MEMS 惯性传感器的主要性能指标—零偏稳定性将达到 $0.05(^{\circ})/h$,并且实现多轴集成,即三轴陀螺和三轴加速度计集成在一起,同时与卫星芯片将逐渐走向融合。	随着集成化程度越来越高,产品的成本将更具竞争力,芯片集成或成产品终极形态。先进的封装技术特别是 3D 堆叠封装技术,可以将多个芯片组合封装,可在有限的体积内集成更多的传感芯片,实现更复杂、更强大的功能。

资料来源:三十年不断发展的 MEMS 惯性传感器,中国惯性技术学会,华安证券研究所

2.3 压力 MEMS: 应用于汽车工业、医疗和航空航天

MEMS 压力传感器可以用类似集成电路(IC)设计技术和制造工艺,进行高精度、低成本的大批量生产,从而为消费电子和工业过程控制产品用低廉的成本大量使用 MEMS 传感器打开方便之门,使压力控制变得简单易用和智能化。传统的机械量压力传感器是基于金属弹性体受力变形,由机械量弹性变形到电量转换输出,因此它不可能如 MEMS 压力传感器那样做得像 IC 那么微小,成本也远远高于 MEMS 压力传感器。相对于传统的机械量传感器,MEMS 压力传感器的尺寸更小,最大的不超过 1cm,

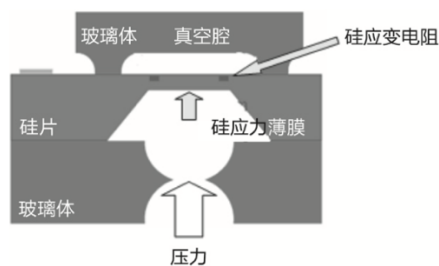
使性价比相对于传统“机械”制造技术大幅度提高。**MEMS 压力传感器**主要包括压阻式、电容式和谐振式类型，主要用于测量液体、气体、固体等介质的压力。

硅压阻式压力传感器：是采用高精密半导体电阻应变片组成惠斯顿电桥作为力电变换测量电路的，具有较高的测量精度、较低的功耗，极低的成本。惠斯顿电桥的压阻式传感器，如无压力变化，其输出为零，几乎不耗电。

硅电容式压力传感器：由沉积在膜片下表面的一层金属作为可移动的电容器，而沉积在膜片上的另一个电极则沉积在硅衬底上，这两个电极组成了一个平行的平板电容器。由于膜片受到压力的影响而产生挠曲，使电容的两个极板之间的距离改变，使电容值改变，其值与被测量的压力一致。

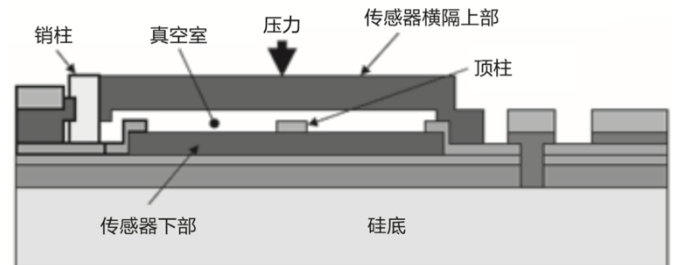
硅谐振式压力传感器：是利用膜片或梁的谐振频率随着被测压力的不同而变化，从而实现对压力表的测量。硅膜(梁)受到静电等方式的刺激，会产生共振振动，共振频率为 f_0 ，当硅膜(梁)受到被测压力的直接或间接作用时，会引起共振频率的变化，并相应于被测压力。

图表 20 硅压阻式压力传感器结构



资料来源：MEMS 压力传感器及其应用，华润矽威科技，华安证券研究所

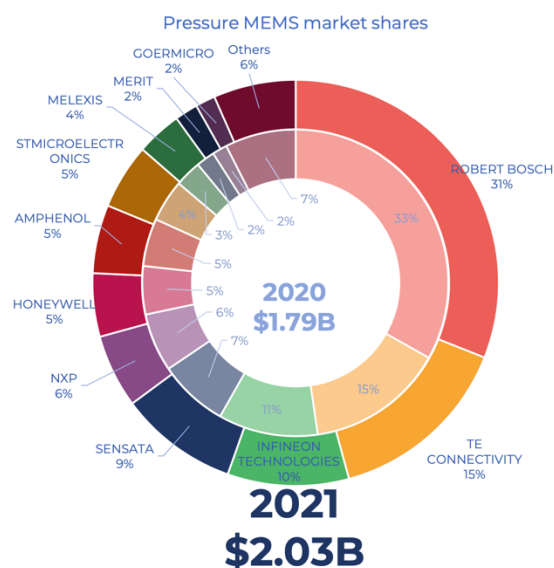
图表 21 电容式压力传感器结构



资料来源：MEMS 压力传感器及其应用，华润矽威科技，华安证券研究所

从压力 MEMS 市场格局来看。MEMS 压力传感器前三名玩家、博世、TE Connectivity 和英飞凌凭借进入行业较早建立的技术，资金壁垒。同时凭借巨大的规模经济效益占据全球市场中 20 亿美金中的超过 50%。新晋玩家较难进入相关供应商行列。其他供应商如森萨塔(Sensata)和恩智浦(NXP)等其他厂商紧随其后在 TPMS 领域具备较深的布局。

图表 22 压力 MEMS 主要玩家市场份额



资料来源：Yole，华安证券研究所

从 MEMS 压力传感器整体行业应用看。压力 MEMS 传感器主要的下游应用包括汽车、生命医学领域、航天领域应用。

在汽车工业领域的应用中，MEMS 压力传感器具有很广泛的应用，可以对汽车的行驶速度、燃油消耗量、耗油量以及汽车的安全性等进行测量。在汽车的行驶过程中，需要对汽车的速度、油耗以及安全性进行检测。

在生物医学领域的应用中，可在诊断系统及检测系统，如颅内压力检测系统中应用压力传感器。通过微机电系统(MEMS)技术将数据以数字形式传输到计算机中。随着生命科学的发展，应用于生命科学中的 MEMS 传感器已广泛应用于各种生物医学系统中。比如在细胞培养实验中，通过检测细胞内的压力变化来研究细胞的生长情况;在生理学实验中，利用 MEMS 传感器测量生物体内气体和液体的浓度来研究生物反应情况等。

在航天领域的应用中，利用压力传感器能够对航天飞行器及宇宙飞船的姿态进行控制，对火箭、卫星、喷气发动机、高速飞行器等耐热腔体表面的压力进行测量。在我国航天事业发展过程中，随着科技水平和工艺技术的提高，在载人飞船、空间实验室和空间站等航天器上也都应用了 MEMS 压力传感器。

图表 23 压力 MEMS 主要的应用场景

MEMS 压力传感器的应用	具体应用
在汽车工业领域的应用	采用 MEMS 压力传感器，可以对发动机的转速、发动机的温度、汽车的燃油消耗量、汽车的耗油量以及轮胎压力进行测量。通过 MEMS 压力传感器对汽车中的空气流动情况进行监测，从而及时发现汽车中的安全隐患。
在生物医学领域的应用	可在诊断系统及检测系统，如颅内压力检测系统中应用压力传感器，能有效地对颅内压力进行检测，还可同时对颅内压的高低进行检测，为颅内出血等疾病的诊断提供了可能；在生理学实验中，利用 MEMS 传感器测量生物体内气体和液体的浓度来研究生物反应情况
在航天领域的应用	利用压力传感器能够对航天飞行器及宇宙飞船的姿态进行控制，对火箭、卫星、喷气发动机、高速飞行器等耐热腔体表面的压力进行测量。美国宇航局(NASA)在航天飞机、土星五号、旅行者一号及旅行者 2 号等飞行器上应用了大量的微机电系统(MEMS)压力传感器。航天领域中的压力传感器主要包括航天器姿态传感器和空间飞行器部件温度传感器。

资料来源：MEMS 压力传感器原理及其应用论述，华安证券研究所

MEMS 压力传感器未来的应用趋势，主要朝着更小型化、多功能化、网络化演进。同时在传感器设计方面将采用更多的新型结构设计，并需要进行温度补偿。

图表 24 压力 MEMS 未来发展的驱动力和升级方向

MEMS 压力传感器应用趋势	具体趋势
小型化	MEMS 压力传感器的体积与压力作用面积的比通常为 0.75,这就决定了 MEMS 压力传感器在实际应用中，要想达到体积小、质量轻的目的，必须通过提高单位面积上的压力来实现。 要提高单位面积上的压力，首先要通过增加压力传感器的敏感结构来实现。
多功能化	MEMS 压力传感器在实际应用中，不仅要具有较高的灵敏度，而且还要具备良好的线性和稳定性，因此在选择传感器时，不仅要考虑到对温度和湿度等因素的适应能力，还需要考虑到其精度、带宽等性能指标，在保证传感器功能的同时，还需要做到多功能化
网络化	利用网络实现资源共享、信息交互、通信等功能，这对于提高系统的灵活性、可靠性、可扩展性和降低成本都具有重要的意义。目前，MEMS 传感器网络化主要包括:传感器与智能网关(Intelligent Gateway)结合，实现数据采集、处理、传输和显示的网络化;将传感器网络与工业以太网连接，实现控制网络和数据采集网络的数据交换;将传感器网络与 Internet 连接，实现传感器网络资源的共享和交互。
新型结构的设计	1 新的结构形式，如基于悬臂梁结构的压力传感器、基于硅橡胶薄膜的压力传感器、基于非对称梁结构的压力传感器等。

- 2 新型材料的引入, 如在传统硅材料上添加不同的半导体材料、碳基材料等。
- 3 新型加工技术(如深硅刻蚀、深硅光刻等), 在硅材料上引入新的加工工艺, 如采用 MEMS 技术和先进光刻工艺相结合, 采用薄膜沉积技术实现高精度、高强度、高稳定性等特点。
- 4 新型结构加工工艺。如采用 MEMS 技术制作薄膜阵列, 通过特殊加工工艺制备成具有高灵敏度的压力传感器。

资料来源: MEMS 压力传感器原理及其应用论述, 华安证券研究所

3 MEMS 行业主要关注的上市公司

3.1 赛微电子: MEMS 领域纯代工厂全球排名第一

赛微电子深耕 MEMS 微系统领域, 通过收购瑞典 Silex 逐渐转型为 MEMS 技术开发服务和纯代工厂商。赛微电子前身耐威科技成立于 2008 年, 于 2015 年在创业板上市, 主要从事导航业务和航空电子业务。2016 年通过全资收购瑞通芯源获得全球领先的 MEMS 纯代工领域龙头瑞典公司 Silex 控股权, 同年公司在北京开始筹划建设 FAB38 英寸 MEMS 代工厂。2019 年公司完成非公开发行引入战略股东国家集成电路产业基金, 2021 年公司再度完成非公开发行募资 23 亿元表明了加码进军 MEMS 本土制造的决心。自 2020 年初开始, 公司逐步剥离非半导体业务, 至 2022 年已基本完成。目前公司主营业务分为 MEMS 工艺开发、MEMS 代工制造。

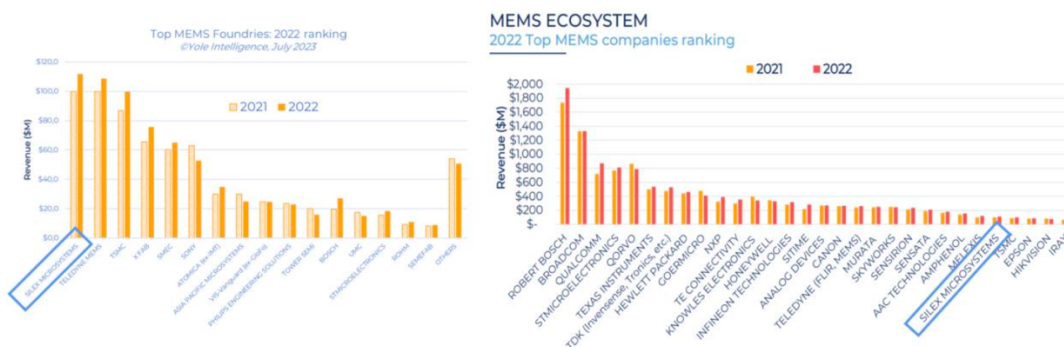
图表 25 赛微电子主要发展历程



资料来源: 赛微电子推介材料, 华安证券研究所

公司全资子公司瑞典 Silex 是全球领先的纯 MEMS 代工企业, 服务于全球各领域巨头厂商, 且正在瑞典持续扩充产能; 同时公司控股子公司赛莱克斯北京已投入运营并持续推动产能爬坡, 因此合理预计公司有望继续保持纯 MEMS 代工的全球领先地位。根据 Yole 的统计数据, 2012 年至今, 瑞典 Silex 在全球 MEMS 代工厂营收排名中一直位居前五, 与意法半导体(STMicroelectronics)、TELEDYNE DALSA、台积电(TSMC)、索尼(SONY)等厂商持续竞争, 2019-2022 年则在全球 MEMS 纯代工厂商中位居第一, 在 2022 年全球 MEMS 厂商综合排名中居第 26 位。随着公司境内外新增产线及产能的陆续建设及投入使用, 公司整体将继续保持在全球 MEMS 制造产业竞争中的第一梯队。

图表 26 赛微电子所处 MEMS 纯代工厂领域排名全球第一



资料来源：赛微电子 2023 年年报，华安证券研究所

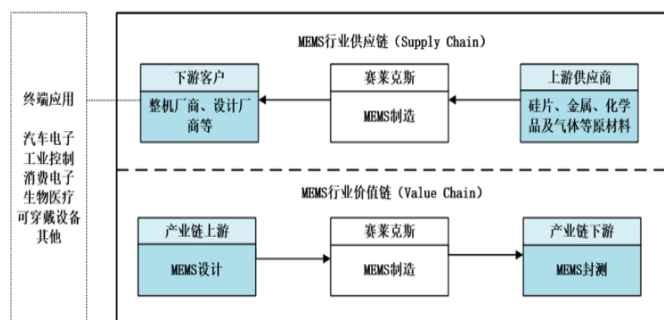
赛微电子定位中游代工环节，工艺开发能力强。MEMS 行业存在产品品类多、工艺非标准化的特点，无法通过单一工艺支持整个产品世代。针对每个单独产品采取不同的工艺策略，面对每个客户高度定制化的属性，代工厂需要不断进行工艺开发，因此工艺平台的 Knowhow 和生产的管理需要长期经验积累。公司全资子公司 Silex 拥有 164 项国内/国际 MEMS 核心专利，同时具备多项目并行开发的能力，满足客户多样化多批次需求。

图表 27 MEMS 产业链结构



资料来源：赛微电子 2023 年年报，LEK，华安证券研究所

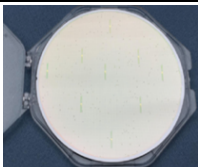
图表 28 MEMS 赛道商业模式以及公司定位

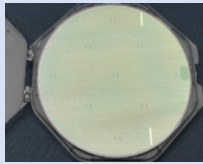
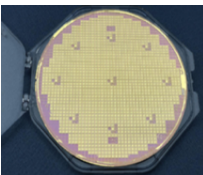
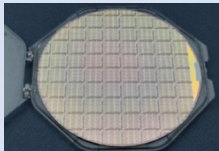
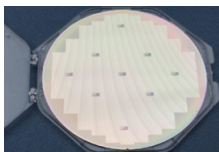
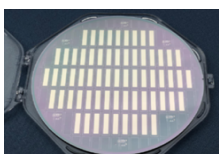


资料来源：赛微电子 2020 年创业板定向增发募集说明书，华安证券研究所

赛微电子产品覆盖领域广泛，具备全球性的销售渠道、坚实的客户基础，市场储备良好。公司 MEMS 产品包括消费电子领域的硅基麦克风、工业生产领域的惯性传感器、汽车和光通信领域的微镜、生物医学领域的微流控/芯片实验室、无线通信领域的射频芯片，以及光通信领域的硅光子等。公司客户遍及全球各个行业，包括全球 DNA/RNA 测序仪龙头、光刻机巨头、新型超声设备巨头、网络通信和应用巨头以及工业和消费细分行业的领先企业等。

图表 29 赛微电子在 MEMS 领域主要产品

产品示意图	名称	产品主要用途及相关功能介绍
MEMS 领域代表性产品 	MEMS microphone 麦克风	具有高 SNR，低功耗，良好的灵敏度，并且可以与表面安装组工艺完全兼容的超小型封装中使用。该 MEMS 麦克风在焊接后几乎没有表现出任何变化，并具有出色的温度特性。

	MEMS 惯性传感器	体积更小，成本更低，功耗更低，灵敏度和精度更高。具有极好的精度和可重复性。
	RF MEMS 开关	具有低损耗，高功率开关，仅需几皮安即可工作，其运行速度比典型的机械开关快 1000 倍。
	Silicon photonics 硅光子	硅光子 (SiP) 将实现廉价、批量生产的光连接，有望彻底改变光通信组件和模块行业。
	MEMS 医疗压力传感器	世界上最小的压力传感器，该传感器用于外科导管上以局部测量人心脏小冠状动脉中的血压。
	MEMS 微针	微针锋利、坚固且足够细小，能够以完全无痛的方式穿透皮肤外层。微针设计有各种高度、长度、通道位置和尺寸。可用于控制释放大分子，包括治疗性蛋白质、抗体、疫苗和肽。除了在皮肤上的应用外，微针还适用于将生物活性物质输送到眼睛和细胞中。
	DNA 测序芯片	世界上第一个纳米孔 DNA 测序平台，提供了对任何长度的 DNA 或 RNA 片段 (短或超长) 进行测序的能力。

资料来源：赛微电子官网，华安证券研究所

图表 30 瑞典 Silex 在业内拥有最完善的 MEMS 产品线

Foundry	Inkjet heads	Pressure	Micro-phones	Inertial	Optical	Microfluidics	Infrared	RF	Oscillators	Environmental	Others
Silex	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	μneedles, pMUT, cMUT
Teledyne MEMS		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		Membranes, μneedles
Sony			✓								
TSMC			✓	✓							cMUT, MEMS sensor shift
X Fab		✓		✓		✓	✓			✓	Magnetic
APM	✓	✓	✓		✓		✓			✓	Si optical bench
Atomica (ex IMT)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	Flowmeter
Philips Engineering Solutions	✓	✓		✓	✓	✓		✓			cMUT, μlenses, membranes
VIS (ex GloFo)		✓	✓	✓		✓			✓		pMUT, magnetic
Tower Semi			✓	✓			✓	✓	✓		μspeakers
UMC		✓	✓	✓						✓	
STMicroelectronics	✓				✓	✓					μspeakers, autofocus
Rohm	✓	✓		✓	✓						μspeakers
Silicon Sensing Systems	✓			✓	✓						
Bosch	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓	μspeakers, pMUT
Semefab		✓			✓		✓			✓	flowmeter
Tronics	✓			✓	✓	✓		✓			μneedles
SMECS (SMIC)		✓	✓	✓				✓			

资料来源：YOLE，华安证券研究所

图表 31 公司重点客户遍布全球各行业优质厂商



资料来源：赛微电子公众号，华安证券研究所

公司产能主要包括瑞典产能和北京产能。公司在瑞典拥有一座成熟运转的 MEMS 晶圆工厂，内含两条 8 英寸产线；在北京拥有一座已建成运营、具备规模产能的 MEMS 晶圆工厂，内含一条 8 英寸产线；该两座晶圆工厂均处于持续扩产状态，其中瑞典产线通过添购部分设备、收购半导体产业园区推动扩产，以满足相关客户的订单需求；北京产线则主要是陆续推动产能从当前的 1.2 万片/月向 3 万片/月产能扩充，并持续扩大晶圆类别及客户领域。

图表 32 赛微电子产能情况

晶圆产线	产品制程	总体产能（片晶圆/年）	产能利用率	生产良率
瑞典 8 英寸 MEMS 产线（FAB1&FAB2）	0.25um-1um	84,000	46.87%	70.83%
北京 8 英寸 MEMS 产线（FAB3）	0.25um-1um	132,000	13.80%	58.12%

资料来源：赛微电子 2023 年年报，华安证券研究所

图表 33 赛微电子产能具体定位和说明

产线	产线定位	主要产能说明
瑞典 FAB1&FAB2	当前阶段的定位仍属于中试+小批量产线	产能利用率及生产良率均受到工艺开发业务的影响，工艺开发对产线的产能利用率天然低于晶圆制造业务，且产线与客户双方对开发试验阶段生产良率的容忍度一般较高。且由于本报告期瑞典 FAB1&FAB2 仍处于恢复阶段，其产能利用率仍处于较低水平，生产良率处于正常区间。
北京 FAB3	定位属于规模量产线	已实现产能 12,000 片晶圆/月，由于产线仍处于初期运营向产能爬坡过渡的关键阶段，面向客户需求产品的工艺开发、产品验证及批量生产需要经历一个客观的爬坡过程，本报告期已实现量产的品类仍相对较少，大部分仍处于工艺开发、产品验证或风险试产阶段，产能爬坡在第四季度较为快速，2023 年 12 月单月产能利用率已达 24.07%，但由于产能持续扩充，全年产能利用率仍处于较低水平。另外由于北京 FAB3 在当前阶段的工艺开发业务仍占比较高，该业务的良率一般远低于晶圆制造业务的良率，也影响了产线全年的整体生产良率水平。

资料来源：赛微电子 2023 年年报，华安证券研究所

3.2 高华科技：高可靠压力和温湿度传感器和传感器网络系统供应商布局商业航空航天

公司主营业务为高可靠性传感器及传感器网络系统的研发、设计、生产及销售，主要产品为各类压力、加速度、温湿度、位移等传感器，以及通过软件算法将上述传感器集成为传感器网络系统。依托高可靠性传感器产品的自主创新优势，公司核心产品具有可靠性高、一致性好、集成度高的特点，较早得到航天客户的关注，成功参与了载人航天工程的项目配套，并逐渐被应用于其他各高可靠领域。

随着公司的研发和生产能力的提升，在**航天领域**，公司参与并圆满完成了载人航天工程、探月工程、北斗工程、空间站建设工程等重点工程配套任务；在**航空领域**，公司参与了多型新一代战机的配套；在**兵器领域**，公司参与了信息化装备的传感器配套任务；在**轨道交通领域**，公司参与了和谐号、复兴号等高铁动车的传感器国产化配套；在**冶金领域**，公司产品已被应用于宝武集团、建龙集团等企业的冶炼设备健康监测系统。公司与上述领域的重要客户建立了长期稳定的合作关系。

图表 34 高华科技公司产品主要应用领域

具体应用领域	参与的项目
航天领域	公司参与并圆满完成了载人航天工程、探月工程、北斗工程、空间站建设工程等重点工程配套任务
航空领域	公司参与了多型新一代战机的配套
兵器领域	公司参与了信息化装备的传感器配套任务；在轨道交通领域，公司参与了和谐号、复兴号等高铁动车的传感器国产化配套
冶金领域	公司产品已被应用于宝武集团、建龙集团等企业的冶炼设备健康监测系统

资料来源：高华科技注册稿，华安证券研究所

公司的高可靠性传感器指满足国标、军标、宇航级标准等要求下，可在恶劣和严酷环境(如高温、低温、高冲击、强腐蚀性和复杂电磁环境等)下长期稳定工作的传感器。在传感器领域，终端应用场景需求会决定工艺技术和感测原理的选择。目前，公司压力、加速度、湿度传感器均采用 MEMS 技术，振动、温度、位移传感器未采用 MEMS 技术。

图表 35 高华科技公司产品采用的具体技术路线和种类

收入分类	传感器类型	是否采用 MEMS 技术	公司采用的感测原理和技术路线
压力	压力	全部采用 MEMS 技术	基于压阻效应原理，通过 MEMS 压阻技术实现
加速度	加速度	全部采用 MEMS 技术	基于电容原理，通过 MEMS 电容技术实现
加速度	振动	未采用 MEMS 技术	基于压电式原理，通过陶瓷压电技术实现
温湿度	湿度	全部采用 MEMS 技术	基于硅电容原理，通过 MEMS 电容技术实现
温湿度	温度	未采用 MEMS 技术	基于热电阻、热电偶原理，通过对热电阻及热电偶的利用实现
位移	位移	未采用 MEMS 技术	基于磁致伸缩原理，通过铁磁性材料实现

资料来源：高华科技注册稿，华安证券研究所

图表 36 高华科技公司产品列表（高性能传感器）

信号类型	产品名称	产品图示	应用领域
温湿度、压力	无线温湿压传感器		航天领域
压力	微压压力传感器		航空、航天领域
压力	压力传感器		航天领域
振动	振动传感器		航天领域
压力	压力传感器		航空领域
温度、压力	温压复合传感器		航空领域
转速	转速传感器		航空领域
压力	压力传感器		军用车辆领域
位移	位移传感器		军用车辆领域
压力	MB16 系列压力传感器		工业过程控制、液压气动设备、暖通空调、能源与水处理
压力	MB300 系列通用压力变送器		通用机械、水利环保、压缩制冷、CNG 压缩机
压力	MB610 工程机械压力传感器		水泥泵车、挖掘机械、装载机械、起重机械
压力	GPD60 矿用压力变送器		煤矿液压支架电液控制系统
温湿度	GWD200 矿用温度变送器		煤矿液压支架电液控制系统
温湿度、加速度	GWZ125/4 无线温振传感器		工业设备健康监测
加速度	MJ-131B 系列高铁转向架加速度传感器		高速动车组列车
加速度	MJ-331 系列高铁稳定性加速度传感器		高速动车组列车
位移	GUG900V 磁致伸缩位移变送器		煤矿液压支架电液控制系统

资料来源：高华科技注册稿，华安证券研究所

在传感器网络化和智能化的发展趋势下，依托自身在传感器领域的优势，公司根据军用领域和工业领域客户的需求，为其定制传感器网络系统。该产品将公司自主研发的传感器产品与信号采集及处理技术相结合，形成集信息采集、传输、处理于一体的综合系统，可为客户实现设备健康状态监测、远程运营维护等功能。目前，公司已开发出多种可应用于不同领域的传感网络系统。

图表 37 高华科技公司传感器网络系统

产品名称	产品简介	应用领域
实时传感器网络系统平台	新型的实时传感网络，由网络控制器、传感器以及手持信标机组成。各种传感器采集的敏感数据，经由通信信道传输给网络控制器，实现多变量、多通道数据的测量。同时传感器可接收网络控制器和手持信标机发出的指令，实现网络点名、时隙分配、网络状态切换和节点参数配置等操作，极大增强了系统的灵活性。该平台配有对应的软件系统，可实时查看传感器原始数据和解析数据，以及每个传感器的实时波形图，并具有传感器参数设置，网络参数配置等功能。该系统平台为实现高频信号测量提供了技术支撑，具有灵活配置、自主组网、自由增减、可靠性高等特点	航空航天、轨道交通、智能制造等
非实时传感器网络系统平台	无线传感器通过主动上报方式，完成敏感数据的定时上传，实现多种环境情况下各类参数的全天候监测，提高工作现场的安全管理能力	航空航天、武器装备等
旋转设备状态监测及故障分析系统	该系统可以对各类工业过程中的关键设备如：泵、风机、电机等旋转类设备实施状态监测、振动分析以及设备事件记录和告警。该系统的优势如下：①该系统不仅可监测振动信号，还可同时监测温度、电流、电压、转速、压力等信号参数，并进行趋势查看和分析，利用多参数综合研判设备状态；②可将趋势、波形、频谱同时显示，可观看长时间的趋势变化；③诊断分析功能丰富，多方法协同分析。该系统已在宝武集团、建龙集团等工业企业形成应用	冶金、石化、能源等

资料来源：高华科技注册稿，华安证券研究所

图表 38 高华科技公司传感器网络系统（军用和民用领域发展方向）

应用领域	传感器网络系统军民领域发展计划
军用领域	公司将通过自主创新及技术迭代，不断提高传感器网络系统的高可靠、高速率、低功耗、抗干扰等性能，积极推进军用领域高可靠实时传感网络协议及传输标准的制定，引领该领域传感网络技术的标准化、智能化发展。
民用领域	公司将通过不断拓展传感器网络系统功能，致力于服务工业智能化时代的发展需要，推动产业数字化转型。一方面，公司将深化传感器件的自主开发，丰富产品种类，并推进传感器件的无线组件、智能组件以及多物理量复合传感器的研发，以适应传感器网络发展对硬件的新要求。另一方面，公司在软件上将持续丰富故障模型库，加强边缘及云端算法建设，打造更加专业的预测性诊断运维系统。

资料来源：高华科技注册稿，华安证券研究所

高华科技持续围绕基于 MEMS 相关技术自主研发设计高可靠性传感器以及传感器网络系统相关产品的发展战略，经过多年的技术积累与研发投入，目前已具备 MEMS 相关芯片的自主设计能力。随着研发及生产工作的不断推进，公司自主设计的 MEMS 芯片预计将于 2022/2023 年底开始逐步实现量产。

目前，公司在研的 MEMS 芯片为压力敏感芯片，按技术原理可分为扩散硅原理和 SOI 原理两大类，其中扩散硅原理芯片是目前国内市场上 MEMS 压力传感器主要采用的芯片，该类芯片具有灵敏度高、精度高、动态特性好、耐腐蚀、响应时间短、易批量生产、易多功能集成等特点。但是由于硅材料的禁带宽度受温度限制，在高温工作时会因电子跃迁导致失效，而 SOI 原理芯片相较于扩散硅原理芯片，可

有效缓解 PN 结漏电带来的工作温度受限、电性能漂移等问题，因此，该类芯片具有耐高温、可靠性高等优势。

公司自研的扩散硅芯片通过特有的屏蔽技术和独有的结构设计实现了抗电磁干扰、宽温区、高线性度、优迟滞性、高可靠性等特性；公司自研的 SOI 芯片相较于外采通用的 SOI 芯片，通过调节掺杂浓度，改善了常见的温度漂移问题，满足了传感器宽温区、严酷环境适应性的使用要求。

图表 39 高华科技公司自研芯片情况

序号	技术原理	型号/类型	应用领域	目前研发进度	预计量产时间
1	扩散硅	中低量程 GPDM	航空、航天、兵器、船舶、轨道交通、车辆、工程机械、冶金、医疗设备	正在进行小批量试制	预计 2022 年底
2	扩散硅	高量程 GPDH	航空、航天、兵器、轨道交通、船舶、车辆、工程机械、冶金、医疗设备	正在进行小批量试制	预计 2022 年底
3	SOI	中低量程 GPOM	航空、航天、兵器、船舶、轨道交通、车辆、石油化工	正在进行初样验证	预计 2023 年底
4	SOI	高量程 GPOH	航空、航天、兵器、船舶、轨道交通、车辆、石油化工	正在进行初样验证	预计 2023 年底

资料来源：高华科技首次公开发行股票并在科创板上市申请文件的审核问询之回复报告，华安证券研究所

图表 40 高华科技公司自研芯片 VS 采购芯片

关键参数及指标	自研芯片	采购芯片	比较情况
工作温度	(-55 至 125) °C	(-40 至 125) °C	工作温度范围更广
工作电压	5VDC (10VDC MAX)	5VDC (10VDC MAX)	一致
非线性	0.1%FSO	0.25%FSO	非线性低有利于提高产品精度
迟滞	0.05%FSO	0.05%FSO	一致
输入阻抗	3kΩ 至 6kΩ	4kΩ 至 6kΩ	满足后端调理电路的信号调理要求
输出阻抗	3kΩ 至 6kΩ	4kΩ 至 6kΩ	满足后端调理电路的信号调理要求
零点输出	0mV±50mV	0mV±50mV	一致
满量程输出	80mV±40mV	240mV±35mV	输出信号大小不同，对传感器性能没有影响
介质耐压	500V	未标示	明确可靠工作的参数指标

资料来源：高华科技首次公开发行股票并在科创板上市申请文件的审核问询之回复报告，华安证券研究所

3.3 芯动联科：高可靠惯性传感器布局自动驾驶

芯动联科的主营业务为高性能硅基 MEMS 惯性传感器的研发、测试与销售。目前，公司已形成自主知识产权的高性能 MEMS 惯性传感器产品体系并批量生产及应用，在 MEMS 惯性传感器芯片设计、MEMS 工艺方案开发、封装与测试等主要环节形成了技术闭环，建立了完整的业务流程和供应链体系。

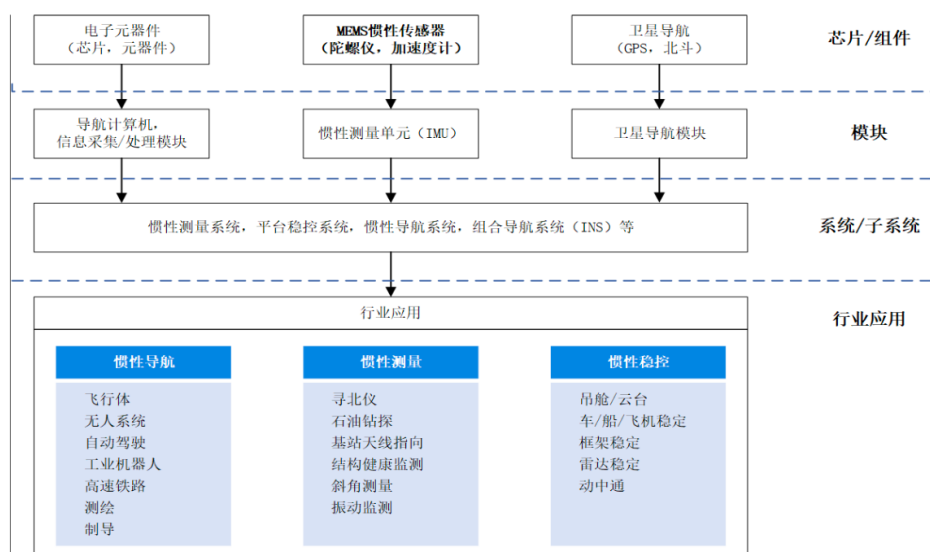
公司主要产品为高性能 MEMS 惯性传感器，包括 MEMS 陀螺仪和 MEMS 加速度计，均包含一颗微机械(MEMS)芯片和一颗专用控制电路(ASIC)芯片。陀螺仪和加速度计通过惯性技术实现物体运动姿态和运动轨迹的感知，是惯性系统的基础核心器件，其性能高低直接决定惯性系统的整体表现。硅基 MEMS 惯性传感器因小型化、高集成、低成本的优势，成为现代惯性传感器的重要发展方向。

图表 41 芯动联科 MEMS 产业链定位（设计公司）



资料来源：芯动联科注册稿，华安证券研究所

图表 42 芯动联科 MEMS 产品主要应用领域



注：加粗部分为目前公司主要产品。

资料来源：芯动联科注册稿，华安证券研究所

公司 MEMS 陀螺仪的主要特点为:基于 SOI 体硅工艺采用独特的多质量块全对称解耦合结构设计及自校准自补偿电极,在保持高性能的前提下易生产,对温度不敏感,同时能够起到对冲击和振动的抑制作用。MEMS 陀螺仪的数模混合 ASIC 具备自校准、自诊断、自标定、自适应等智能算法,使本产品相比传统惯性器件易使用、低成本、更智能。传统的惯性器件主要应用于系统复杂、高价值平台(如卫星、车辆、高铁、舰船、石油开采设备),但由于其体积大、价格高、抗机械冲击能力弱,不具备大规模量产能力,同时也制约上述应用平台向小型化、低成本化、智能化发展。公司 MEMS 陀螺仪借助半导体技术,实现了批量化生产,并且具有智能化程度更高和成本更低的优势。

图表 43 芯动联科 MEMS 陀螺仪系列产品

产品图示	用途	行业典型应用场景
	惯性导航	飞行体、车、船、测绘
	平台稳定	吊舱、车、船、飞机、动中通、雷达
	姿态感知	航姿仪、微纳卫星、石油勘探、寻北仪、动中通
	状态监测	5G 基站、高速铁路、机器人

资料来源:芯动联科注册稿,华安证券研究所

公司 MEMS 加速度计通过分散式多单元结构的设计,使 MEMS 敏感结构具有高灵敏度、低漂移、低温度系数、良好的重复性等特性。公司 MEMS 加速度计基于 SOI 体硅工艺制造,配以高性能 ASIC 电路,可以实现 μg 级加速度测量精度。

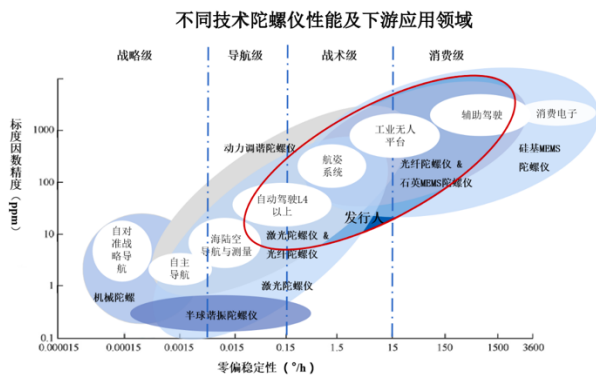
图表 44 芯动联科 MEMS 加速度计系列产品

产品图示	用途	行业典型应用场景
	惯性导航	飞行体、车、船、机器人等平台导航
	平台稳定	飞行体、车、船、机器人等平台稳定
	姿态感知	飞行体、车、船、机器人、卫星等姿态感知
	状态监测	工业设备、桥梁、高铁轨道、5G 基站等设备的监测

资料来源:芯动联科注册稿,华安证券研究所

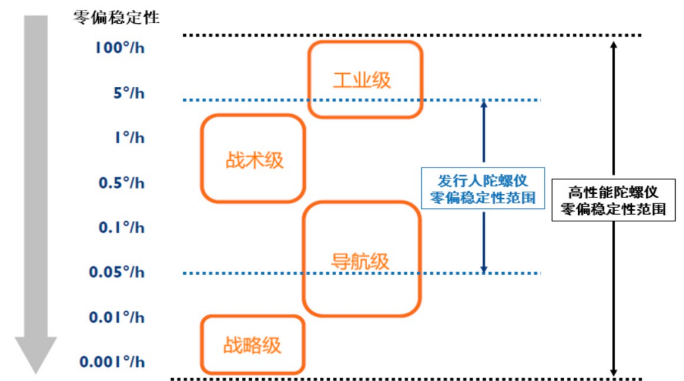
陀螺仪技术方面,传统的陀螺仪如环形激光陀螺仪、光纤陀螺仪、动力调谐陀螺仪、半球谐振陀螺仪、静电悬浮陀螺仪等产品,主要是为系统复杂、高价值应用平台(如卫星、飞船、飞机、高铁、舰艇、石油开采设备)提供惯性技术服务,但由于其体积大、价格高、抗机械冲击能力差,大规模量产能力有限,制约着上述应用平台小型化,低成本化、智能化发展。公司高性能 MEMS 陀螺仪核心性能指标已达到国际先进水平,亦可达到部分光纤陀螺仪和激光陀螺仪等传统陀螺仪精度水平,同时公司 MEMS 陀螺仪借助半导体技术,体积、重量和功耗相比上述传统陀螺仪优势明显,有力推动了 MEMS 陀螺仪在高性能惯性领域的广泛应用,成为部分行业用户的首选。

图表 45 不同技术陀螺仪性能及下游应用领域



资料来源：芯动联科注册稿，华安证券研究所

图表 46 芯动联科陀螺仪指标范围



资料来源：Yole，关于安徽芯动联科微系统股份有限公司首次公开发行股票并在科创板上市申报文件的审核问询函的回复，华安证券研究所

图表 47 芯动联科 MEMS 主要布局在高端工业级、战术级、和导航级

类别	战略级	导航级	战术级	消费级
应用领域	航天，航海	航空，长航时无人系统	高端工业（如测绘，资源勘探）、车辆和飞行体	消费电子
零偏稳定性 (°/h)	<0.01	0.01-0.15	0.15-15	>15
标度因数精度 (ppm)	<1	1-100	100-1000	>1000
角度随机游走 (°/√h)	<0.01	0.01-0.05	0.05-0.5	>0.5
陀螺仪技术	机电陀螺仪、激光陀螺仪、光纤陀螺仪	激光陀螺仪、光纤陀螺仪、动力调谐陀螺仪、MEMS 陀螺仪	激光陀螺仪、光纤陀螺仪、动力调谐陀螺仪、MEMS 陀螺仪	MEMS 陀螺仪
代表厂商	Honeywell	Honeywell、Northrop、Grumman、Emcore、公司	Honeywell、Sensoror、ADI、Silicon Sensing、Emcore、公司	Honeywell、Sensoror、ADI、Silicon Sensing、公司

资料来源：芯动联科注册稿，华安证券研究所

风险提示：

技术开发不及预期，竞争加剧，需求不及预期

重要声明

分析师：陈耀波，华安证券电子行业首席分析师。北京大学金融管理双硕士，有工科交叉学科背景。曾就职于广发资管，博时基金投资部等，具有 8 年买方投研经验。

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，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，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安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。本报告由华安证券股份有限公司在中华人民共和国（不包括香港、澳门、台湾）提供。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也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。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安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，未经华安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。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起 6 个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，

A 股以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克指数或标普 500 指数为基准。定义如下：

行业评级体系

- 增持—未来 6 个月的投资收益率领先市场基准指数 5% 以上；
- 中性—未来 6 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差 -5% 至 5%；
- 减持—未来 6 个月的投资收益率落后市场基准指数 5% 以上；

公司评级体系

- 买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15% 以上；
- 增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5% 至 15%；
- 中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差 -5% 至 5%；
- 减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5% 至；
- 卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15% 以上；
- 无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。