



华安证券

HUAAN SECURITIES

证券研究报告

智能制造前瞻布局， 把握MEMS传感器国产替代机遇

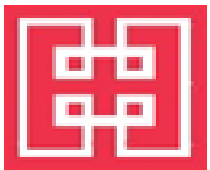
华安机械 张帆 S0010522070003

2023年7月19日



核心观点

- MEMS 传感器无处不在，从智能手机到汽车，从智能工厂到医疗设备，近四分之三的半导体传感器销售额来自利用MEMS技术制造的产品，MEMS器件现在已经占据全球传感器总出货量的54%。
- 重视工业级高精度MEMS传感器行业国产化机遇，目前国内高精度工业级MEMS传感器主要依赖于国外进口，MEMS压力传感器主要依赖于博世、泰科电子、英飞凌等国外厂商，MEMS惯性传感器主要依赖于美新半导体、博世、ST等国外厂商。
- 重视MEMS传感器在机器人领域的无限潜力，随着特斯拉确认人形机器人Optimus将于明年落地，智能机器人将具备计算机视觉、自然语言处理、动作规划和控制功能，并且拥有语音交互、行走和执行复杂任务等与物理世界互动能力，而实现一切感知的基础和核心就是传感器。
- 根据同花顺传感器指数（885946.TI），成分股截至目前共有84家A股上市公司，但是缺少MEMS传感器真正行业龙头，特别是高精度MEMS传感器。国产MEMS传感器的研发，主要问题是半导体工艺的改进、市场的拓展等，随着近几年地方政府的重视，各地MEMS中试线、量产线的投入建设，将有助于建立MEMS共性基础工艺生产体系，提升传感器企业MEMS工艺研发和迭代能力，推动中国MEMS传感器产业的快速发展。
- 建议关注公司：MEMS芯片-敏芯股份；ASIC芯片-纳芯微；压阻MEMS传感器国产突破-康斯特；惯性硅谐振MEMS传感器-芯动联科，以及明皜传感、高华科技、士兰微；CMOS图像传感器-长光辰芯。
- 风险提示：政策变动风险，核电安全等相关政策的变动对于行业的影响巨大；相关半导体技术等核心技术卡脖子的风险；原材料大幅波动的风险；测算市场空间的误差风险；研究依据的信息更新不及时，未能充分反映公司最新状况的风险。



目录

1 乘风智能制造，MEMS传感器工艺逐渐成熟

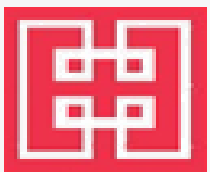
2 夯实科技强国基础，MEMS传感器无处不在

3 着眼未来，重视MEMS传感器国产替代机遇

4 建议关注公司

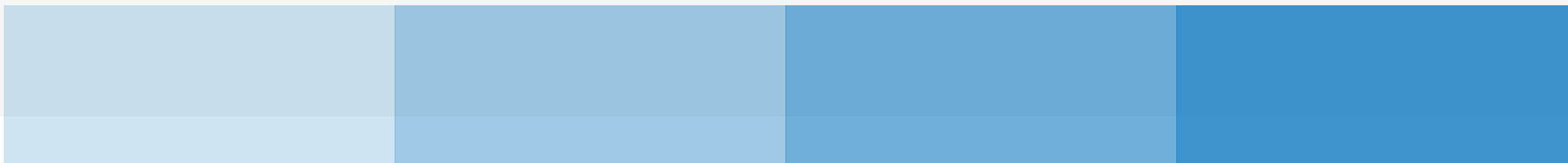
5 风险提示





华安证券
HUAAN SECURITIES

04/2023



01 乘风智能制造，MEMS传感器工艺逐渐成熟



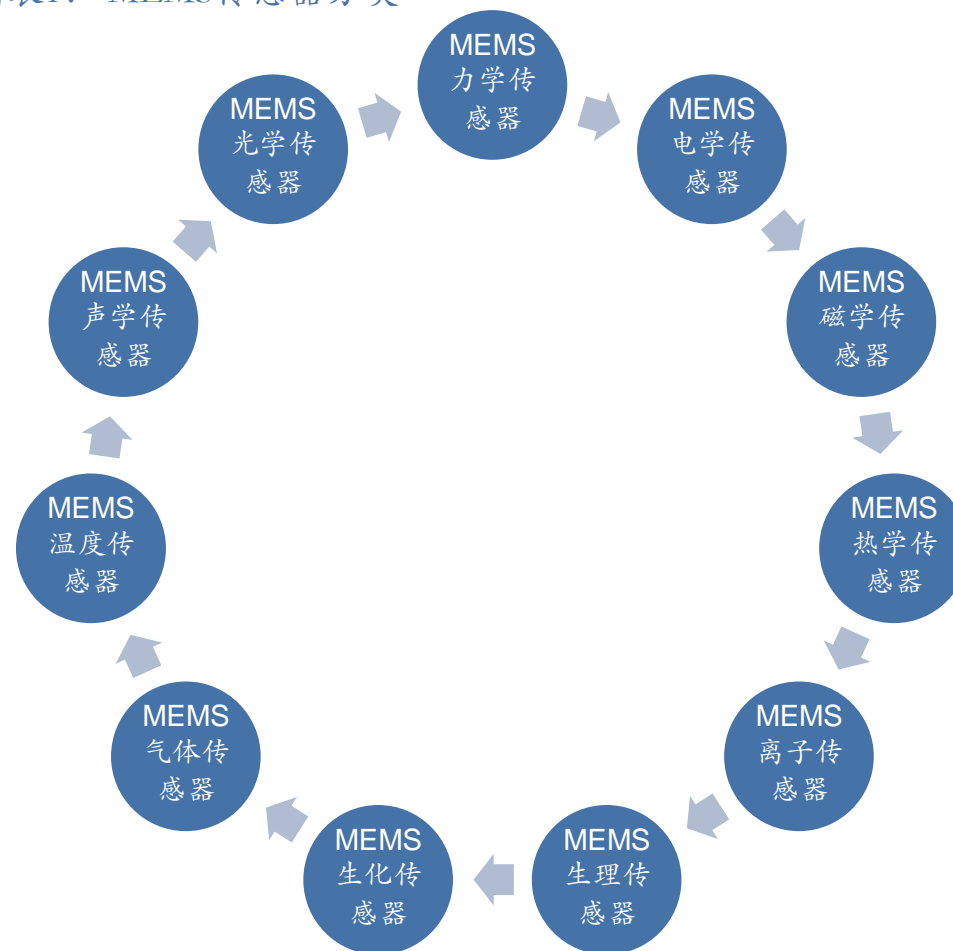
1.1 什么是MEMS

- **微机电系统**（MEMS, Micro-Electro-Mechanical System），也叫做微电子机械系统、微系统、微机械等，指尺寸在几毫米乃至更小的高科技装置。微机电系统其内部结构一般在微米甚至纳米量级。微机电系统是在微电子技术（半导体制造技术）基础上发展起来的，融合了光刻、腐蚀、薄膜、LIGA、硅微加工、非硅微加工和精密机械加工等技术制作的高科技电子机械器件。MEMS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。例如，常见的MEMS产品尺寸一般都在 $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ ，甚至更小。一个MEMS传感器里面最重要的芯片为MEMS芯片和ASIC芯片，其中MEMS芯片负责感知信号，将测量量转化为电阻、电容等信号变化；ASIC芯片负责将电容、电阻等信号转换为电信号，其中涉及到信号的转换和放大等功能。
- MEMS侧重于超精密机械加工，涉及**微电子、材料、力学、化学、机械学**诸多学科领域。它的学科面涵盖微尺度下的力、电、光、磁、声、表面等物理、化学、机械学的各分支。
- 常见的产品包括MEMS加速度计、MEMS麦克风、微马达、微泵、微振子、MEMS光学传感器、MEMS压力传感器、MEMS陀螺仪、MEMS湿度传感器、MEMS气体传感器等等以及它们的集成产品。

1.2 MEMS传感器

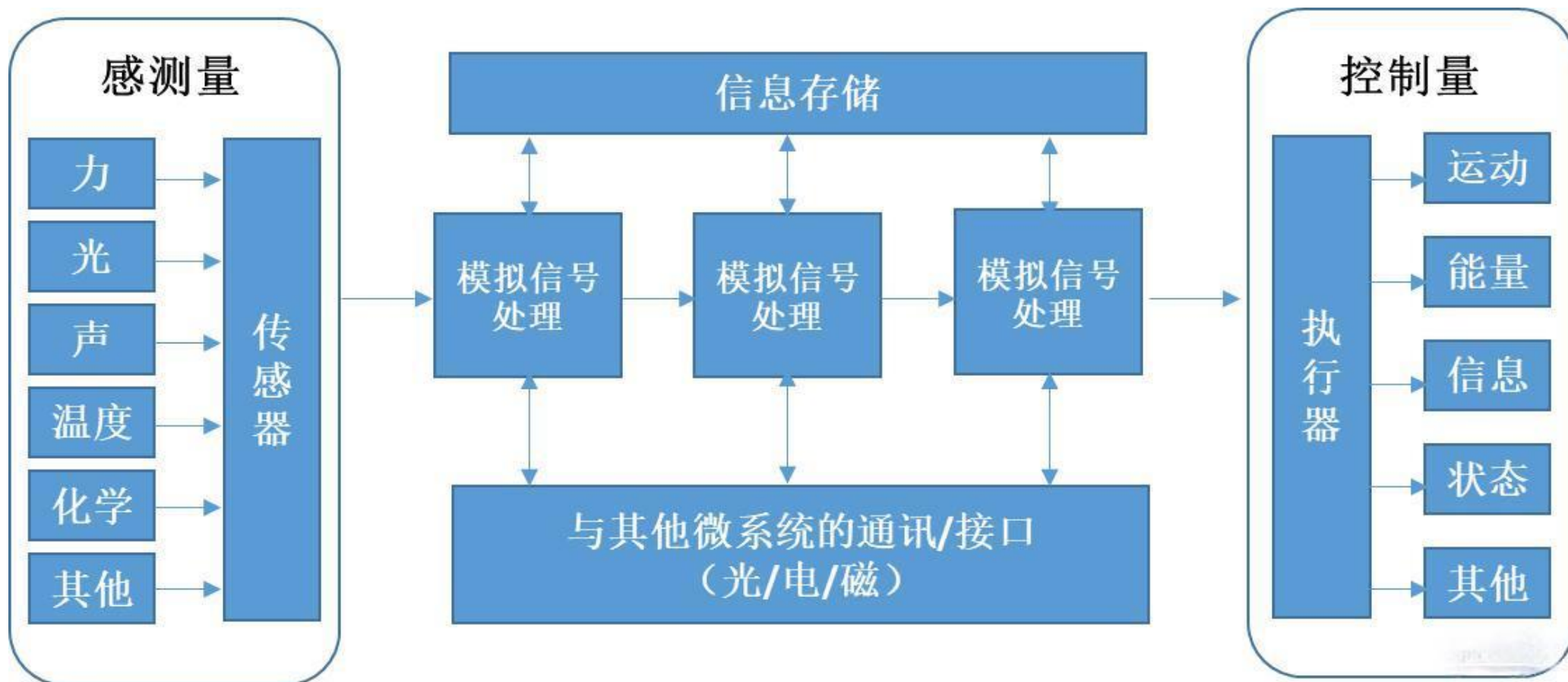
- MEMS传感器是基于微机电系统的典型传感器件。它是指可以批量制造的，集微结构、微传感器、微执行器以及信号处理和电路于一体的器件或系统。其特征尺寸一般在 $0.1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 范围。MEMS集成了当今科学技术的许多尖端成果，它将感知信息处理与执行机构相结合，改变了人类感知和控制外部世界的方式。
- 与传统的机械传感器相比，MEMS传感器具有体积小、重量轻、成本低、功耗低、可靠性高、适于批量化生产、易于集成和实现智能化等特点。在微米量级的特征尺寸MEMS传感器可以完成某些传统机械传感器不能实现的功能。因此，MEMS传感器正逐步取代传统机械传感器的主导地位，在消费电子产品、汽车工业、航空航天、机械、化工及医药等领域得到广泛的应用。

图表1：MEMS传感器分类



1.2 MEMS传感器

图表2: MEMS传感器工作原理



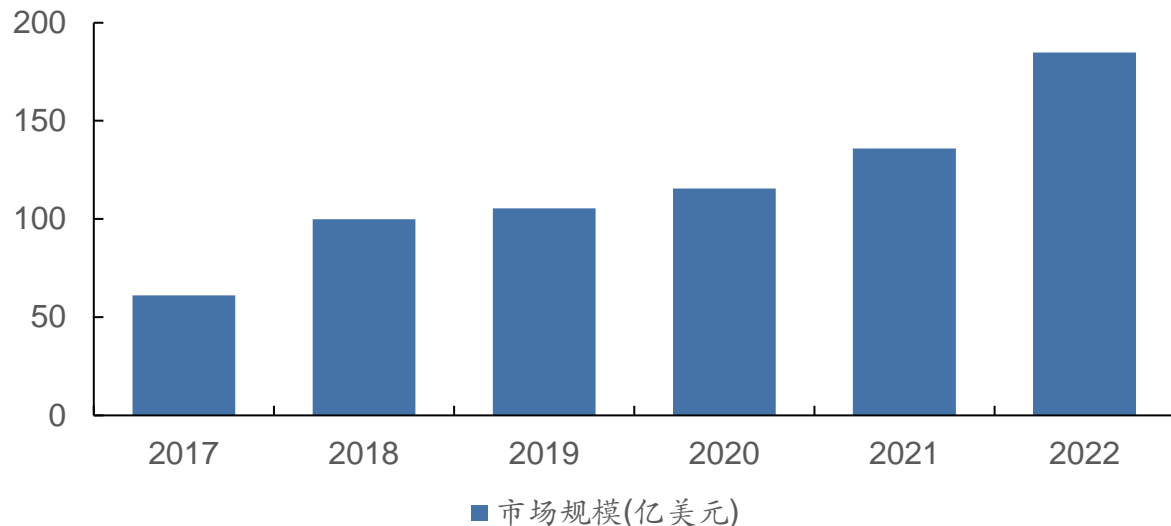
资料来源: 数字化企业网, 华安证券研究所整理

敬请参阅末页重要声明及评级说明

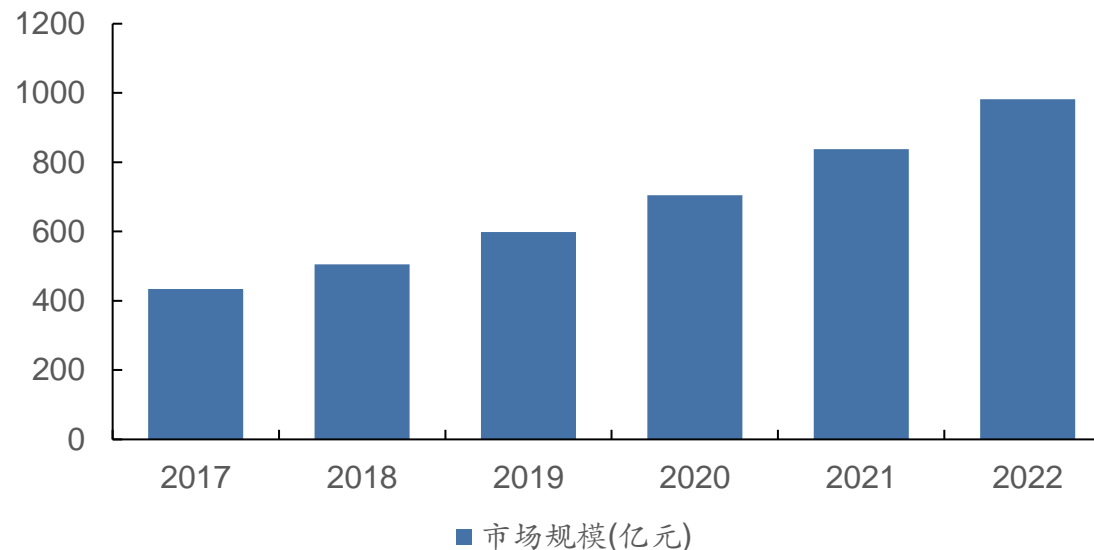
1.2 MEMS传感器

- 中国MEMS传感器市场的起步和发展与中国3C产品(包括计算机、通信和消费类电子产品)及汽车电子产品保持快速增长、全球电子整机产业向中国转移密切相关。近年来,随着消费电子、汽车电子产品等下游行业的快速发展,我国MEMS传感器市场需求旺盛,历年持续保持快速增长。
- 根据Omdia的数据统计,2022年全球MEMS行业市场规模已达到184.77亿美元,2017-2022年复合增长率为5.77%。根据赛迪顾问的数据统计与预测,2022年中国MEMS传感器市场规模已达到982.1亿元,同比增长15.1%,预计到2025年市场规模将达到1571.3亿元,2022-2025年复合增长率为17.0%。

图表3: MEMS传感器全球市场规模



图表4: MEMS传感器中国市场规模



资料来源: Yole Intelligence, 华安证券研究所整理

资料来源: 智研咨询, 华安证券研究所整理



1.3 MEMS传感器应用领域

图表5：MEMS传感器应用领域分析

应用领域	用途
工业检测	在石油、化工、电梯、钢铁、机械等工业中，完成各种信息检测，并将信息通过自动控制和计算机处理进行反馈，实现生产过程、质量、工艺、安全等方面控制。
汽车	对行驶速度、距离、发动机转速、安全气囊、防盗装置、防滑系统、排气循环系统等参数进行测量和控制
医疗	对人体表面和内部温度、血压、血液和呼吸流量、心脑电波、肿瘤等进行高精度诊断。
环境保护	对大气污染、水质污染、噪声等进行实时监控。
航空航天	精确测量飞行器飞行速度、加速度、距离、周围环境、内部状态等。



1.3 MEMS传感器应用领域

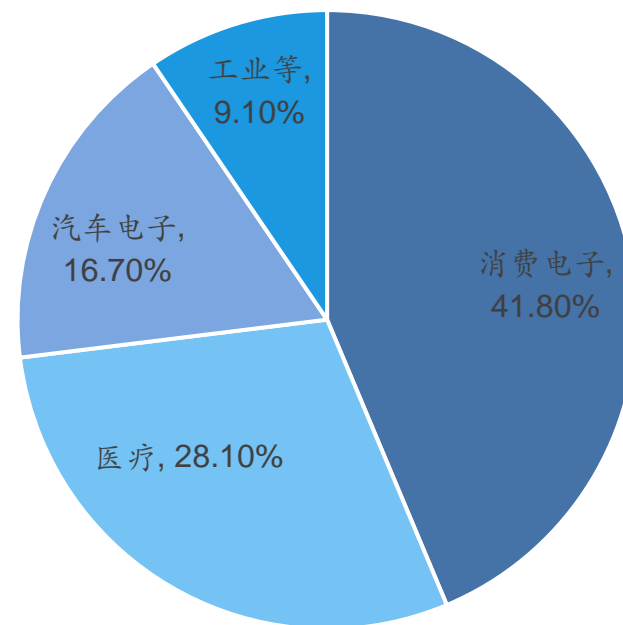
图表6：MEMS传感器应用产品分析

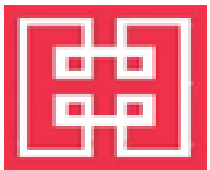
应用市场	涉及的MEMS传感器产品
消费电子	射频MEMS、微型麦克风、喷墨打印头、光学MEMS、惯性传感器组合、陀螺仪、加速度计、压力传感器、磁传感器等。
汽车电子	加速度计、压力传感器、陀螺仪、惯性传感器组合等。
工业与通信	压力传感器、喷墨打印头、非制冷红外探测仪、微针、陀螺仪、流量计、加速度计等
国防与航空	非制冷红外探测仪、陀螺仪、加速度计、压力传感器等

1.3 MEMS传感器应用领域

- MEMS传感器种类极多，可应用于物理、化学、生物等领域信号的探测，较为常见的种类有加速度传感器、惯性传感器、压力传感器、MEMS陀螺仪以及MEMS麦克风等。
- 目前MEMS传感器在消费电子、医疗、汽车电子以及工业等应用领域占比最高，分别占据41.8%、28.1%、16.7%和9.1%。

图表7：MEMS传感器行业应用占比





目录

1 乘风智能制造，MEMS传感器工艺逐渐成熟

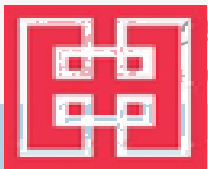
2 夯实科技强国基础，MEMS传感器无处不在

3 着眼未来，重视MEMS传感器国产替代机遇

4 建议关注公司

5 风险提示





华安证券
HUAAN SECURITIES

HUAAN SECURITIES

02 夯实科技强国基础，MEMS传感器无处不在



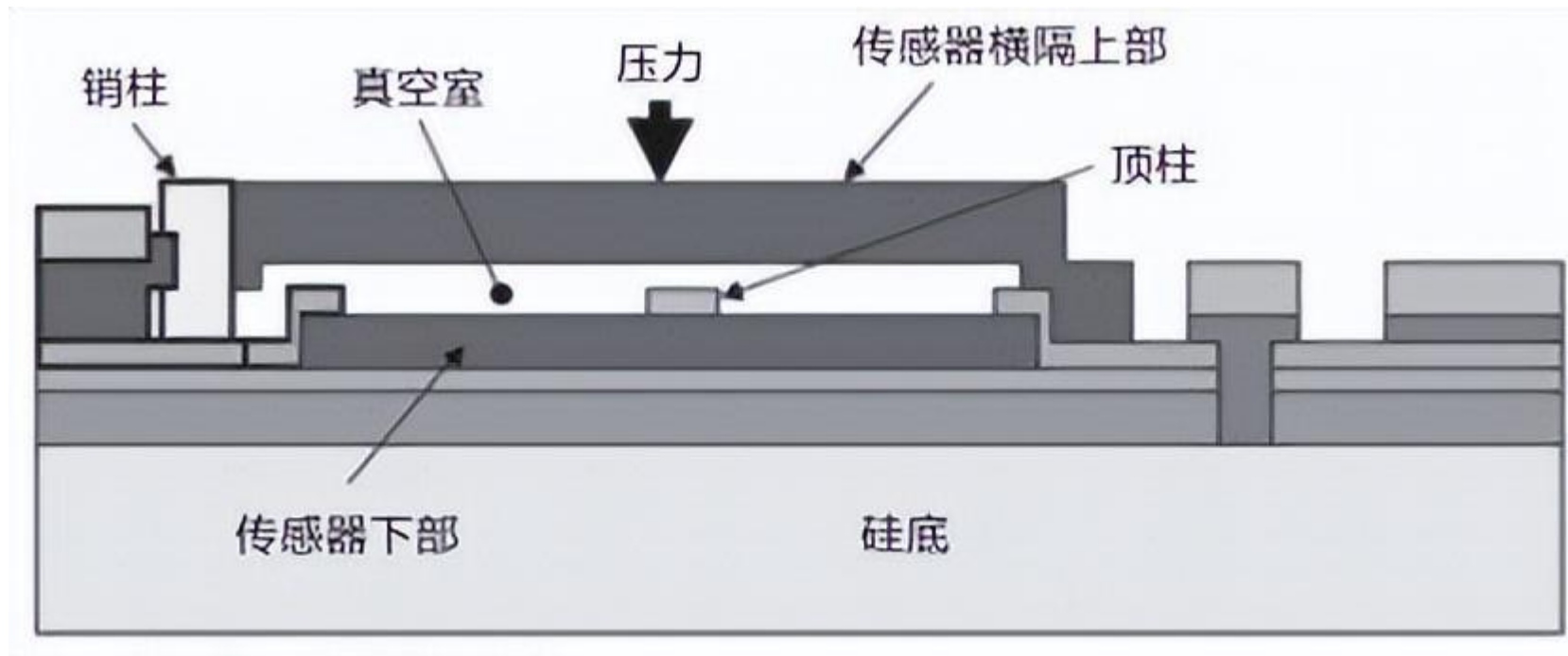
2.1 MEMS压力传感器

- MEMS压力传感器是一种薄膜元件，受到压力时变形。可以利用应变仪（压阻型感测）来测量这种形变，也可以通过电容感测两个面之间距离的变化来加以测量。这两种方法都很流行，轮胎压力监测系统使用比较结实的压阻方法。
- 常见的压力传感器有三种：压阻式、电容式和压电式。
- 具有体积小、重量轻、灵敏度高、精度高、动态特性好、耐腐蚀、零位小等优点
- 随着MEMS压力传感器的出现和普及，智能手机中用压力传感器也越来越多，主要用来测量大气压力。测量大气压的目的，是为了通过不同高度的气压，来计算海拔高度，同GPS定位信号配合，实现更为精确的三维定位，譬如爬楼高度、爬楼梯级数等都可以检测。
- MEMS压力传感器的原理也非常简单，核心结构就是一层薄膜元件，受到压力时变形，形变会导致材料的电性能（电阻、电容）改变。因此可以利用压阻型应变仪来测量这种形变，进而计算受到的压力。

2.1.1 MEMS压力传感器原理

- 下图是一种电容式MEMS压力传感器的结构图，当受到压力时，上下两个横隔(传感器横隔上部、传感器下部)之间的间距变化，导致隔板之间的电容变化，据此可以测算出压力大小。

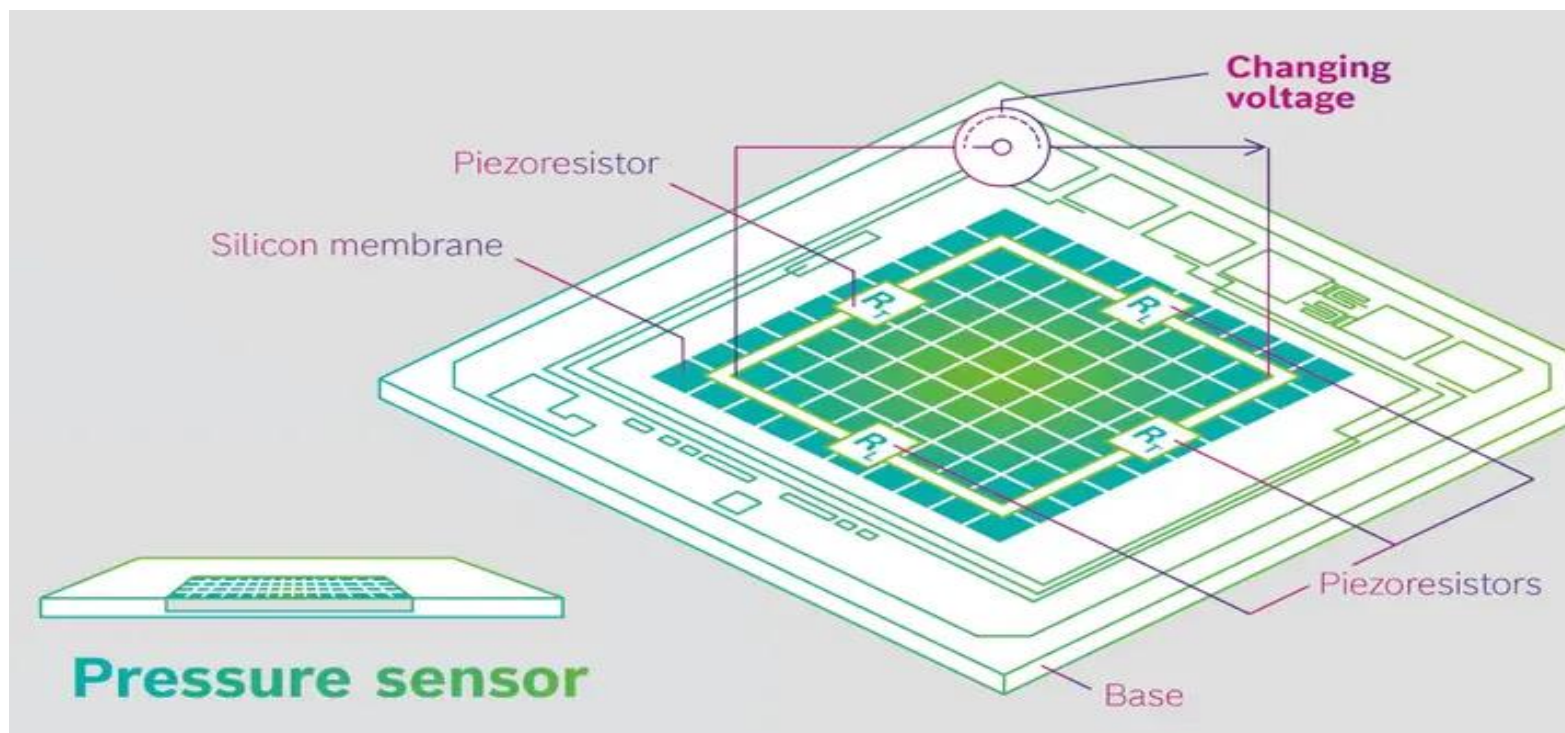
图表8：电容式MEMS压力传感器



2.1.1 MEMS压力传感器原理

- 下图是一种电阻式MEMS压力传感器的工作动图，由一个带有硅薄膜的底座和安装在其上的电阻结构组成，当外力施加时，电压与压力大小成比例变化产生测量值。

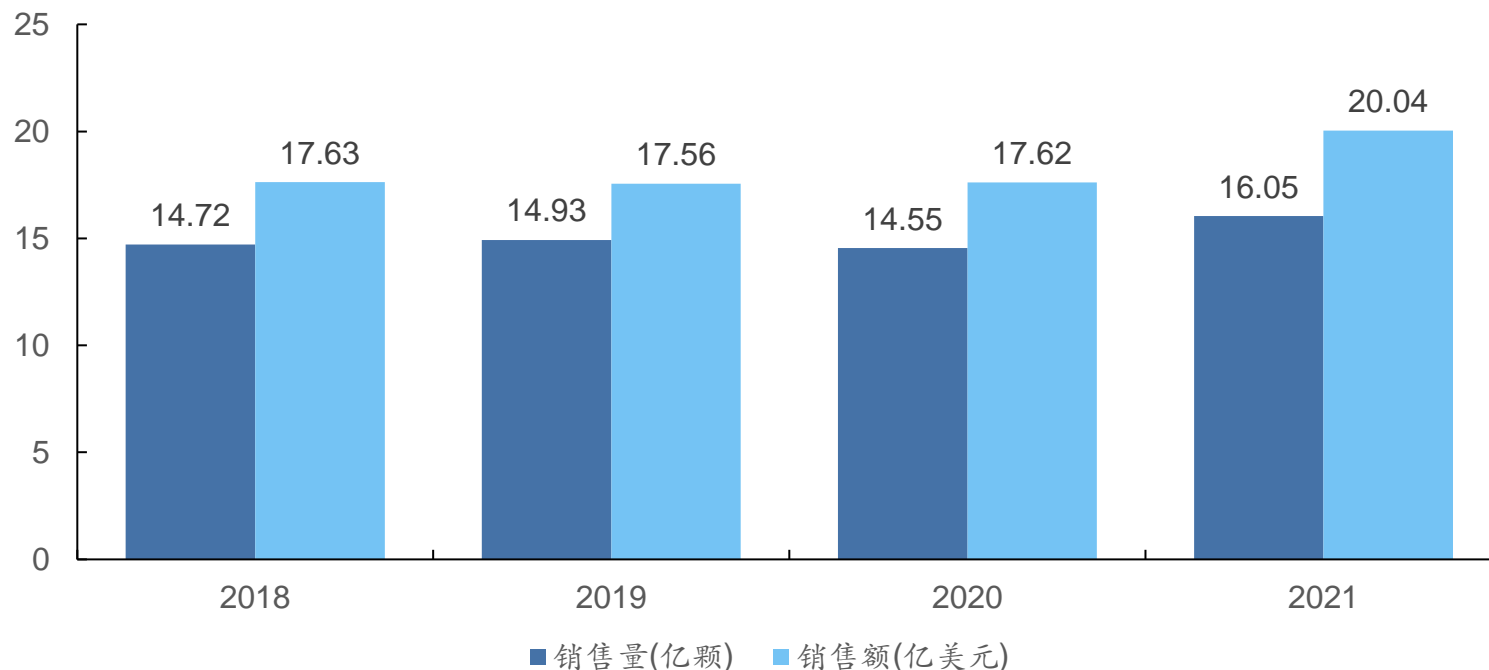
图表9：电阻式MEMS压力传感器



2.1.2 MEMS压力传感器市场规模

- 根据Yole Intelligence的统计数据，2021年压力传感器是MEMS传感器中销售额最高的细分市场，也是销售量第二大的细分市场，仅次于硅麦克风。MEMS压力传感器的市场规模从2018年的14.72亿颗、17.63亿美元增加至2021年的16.05亿颗、20.04亿美元，预计将于2027年增长至 25.35亿颗、26.24亿美元。

图10：MEMS压力传感器全球市场规模



资料来源：Yole Intelligence，华安证券研究所整理



2.2 MEMS压力传感器应用

- MEMS压力传感器是使用最广泛的 MEMS传感器产品之一，通常应用于智能手机、航空航天、汽车、生物医药以及工艺控制等领域，按照压力探测方式可以分为压阻式、电容式、谐振传感等，而最为常用的是压阻式和电容式，因此这两种压力传感器的技术迭代也最为活。
- 为充分降低微压MEMS传感器中测量的敏感性和线性度之间的矛盾，不断提高微压传感器测量精度，一种新型的FBBM结构应运而生，该结构包含了 4 个短梁和一个位于中心的方形凸块，通过减少传感膜结构偏转程度达到进一步降低压力的非线性，并提高了压阻灵敏度，达到了提升微压MEMS传感器精度的目标。
- 为满足航空航天领域中在恶劣环境中的无源无线压力传感需求，一种基于蓝宝石的隔膜和结构体MEMS压力传感结构被提出，在施加压力时，传感器隔膜发生偏转，传感器的电谐振频率因而随压力隔膜的偏转而改变，实现了将轻微压力转换为电信号的目的，该结构可在 1000℃ 的高温下正常工作，满足了恶劣环境下压力传感的需求。

2.2 MEMS压力传感器应用

- 压力传感器的下游行业主要是石油、化工、电力、冶金、机械制造、国防工业、计量等。
- 随着全球经济的发展及工业化水平的提高，各行业对数字压力检测的需求增长较快；科技水平的提高以及产品应用领域的扩大等因素也将催生压力传感器在医疗、食品、气象、铁路等行业大量使用。

图表11：MEMS压力传感器上下游行业





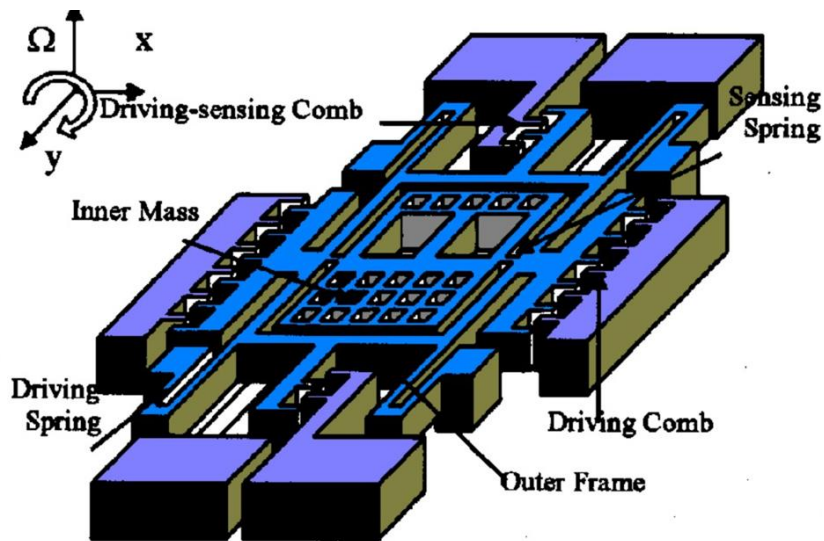
2.2 MEMS惯性传感器

- 惯性传感器是一种用于测量物体的加速度、角速度和倾斜角度等参数的电子传感器。
- MEMS惯性传感器指采用MEMS工艺制备的惯性传感器，与传统工艺制造的惯性传感器相比，MEMS器件具有体积小、重量轻、成本低、功耗低、可靠性高、适于批量化生产、易于集成和智能化等特点，被广泛应用于航空航天、石油化工、汽车、船舶、消费电子、医疗等领域。
- 高性能MEMS惯性传感器，包括MEMS陀螺仪、MEMS加速度计和MEMS惯性测量单元（IMU），均包含一颗微机械（MEMS）芯片和一颗专用控制电路（ASIC）芯片，并通过惯性技术实现物体运动姿态和运动轨迹的感知。陀螺仪和加速度计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。
- 其中，陀螺仪用于感知物体运动的角速率，加速度计用于感知物体运动的线加速度，二者辅以时间维度进行运算后可得出物体相对于初始位置的偏离，进而获得物体的运动状态，包括当前位置、方向和速度。

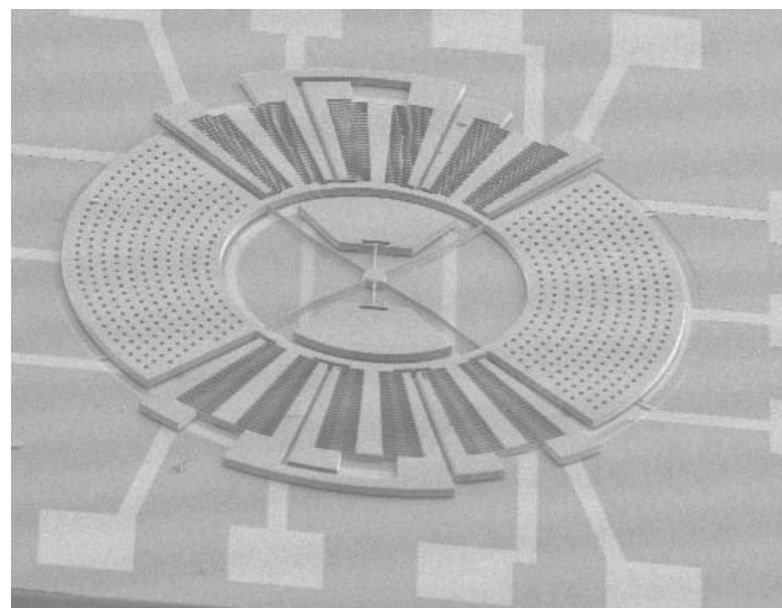
2.2.1 MEMS陀螺仪

- MEMS陀螺仪是测量角速率的一种器件，是惯性系统的重要组成部分，主要用于导航定位、姿态感知、状态监测、平台稳定等应用领域。
- 利用振动质量块被基座（仪表壳体）带动旋转时的哥式效应来敏感角速度，具有成本低、体积小、重量轻、可靠性高、可数字化及可重复大批量生产等优点。

图表12：线振动（音叉式）微陀螺仪



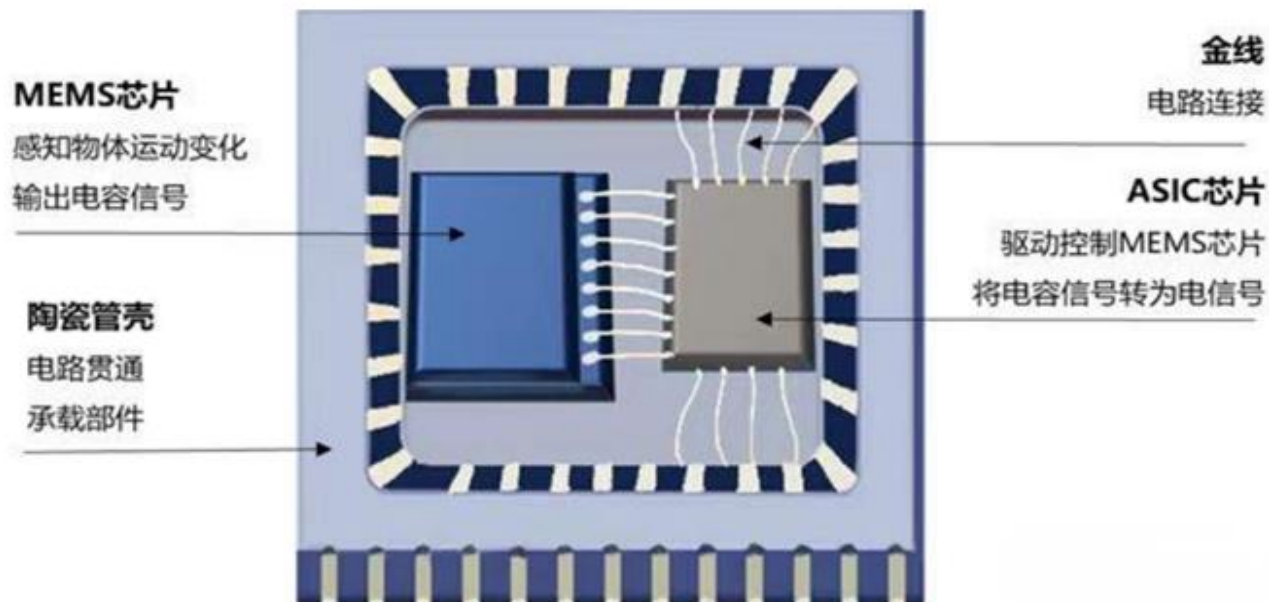
图表13：角振动微陀螺仪



2.2.1 MEMS陀螺仪

- MEMS陀螺仪的核心是一颗微机械（MEMS）芯片，一颗专用控制电路（ASIC）芯片及应力隔离封装。其工作原理为：采用半导体加工技术在硅晶圆上制造出的MEMS芯片，在ASIC芯片的驱动控制下感应外部待测信号并将其转化为电容、电阻、电荷等信号变化，ASIC芯片再将上述信号变化转化成电学信号，最终通过封装将芯片保护起来并将信号输出，从而实现外部信息获取与交互的功能。

图表14: MEMS陀螺仪内部结构示意图



2.2.2 MEMS加速度计

- **加速度计是一种能够测量物体线加速度的器件。**加速度计的理论基础是牛顿第二定律，传感器在加速过程中，可通过对质量块所受惯性力的测量计算出加速度值。如果初速度已知，就可以通过对时间积分得到线速度，再次积分即可计算出直线位移。加速度计已经广泛应用于导航定位、姿态感知、状态监测、平台稳定等领域。
- MEMS加速度计的核心是一颗MEMS芯片、一颗ASIC芯片及应力隔离封装。其产品构造与前述陀螺仪基本相同。MEMS加速度计利用敏感结构将线加速度的变化转换为电容的变化量，最终通过专用集成电路读出电容值的变化，得到物体运动的加速度值。产品主要包含加速度计敏感结构和ASIC芯片，ASIC芯片由电容/电压变换电路和数字部分组成。

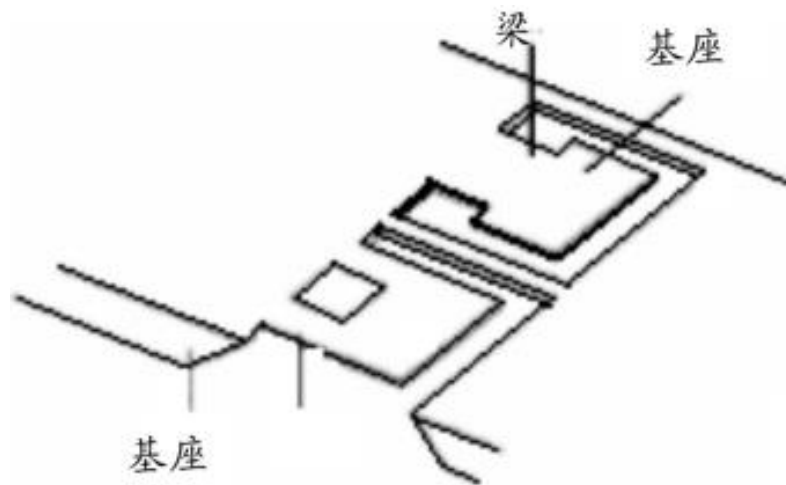
图表15: MEMS加速度计应用

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

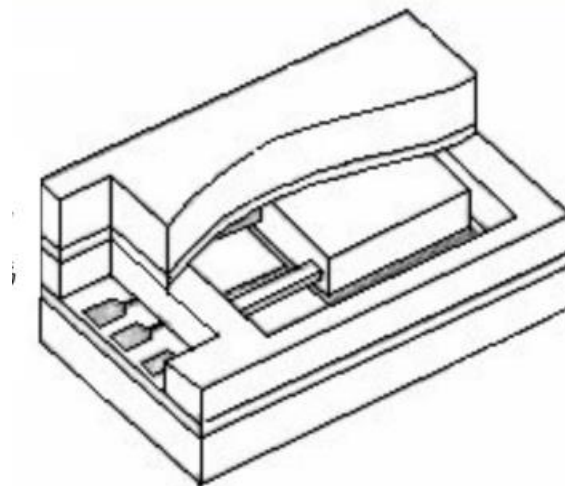
2.2.2 MEMS加速度计

- 主要用于测量物体运动过程中的加速度：过载、振动和冲击。
- 有压阻式、电容式、压电式、隧道电流式微加速度计
- 平行板结构电容式为加速度计虽然具有较高的灵敏度，但是其制作需要腐蚀、组装、键合等多种工艺，过程复杂，无法与硅平面工艺兼容，难以实现批量化、低成本生产。

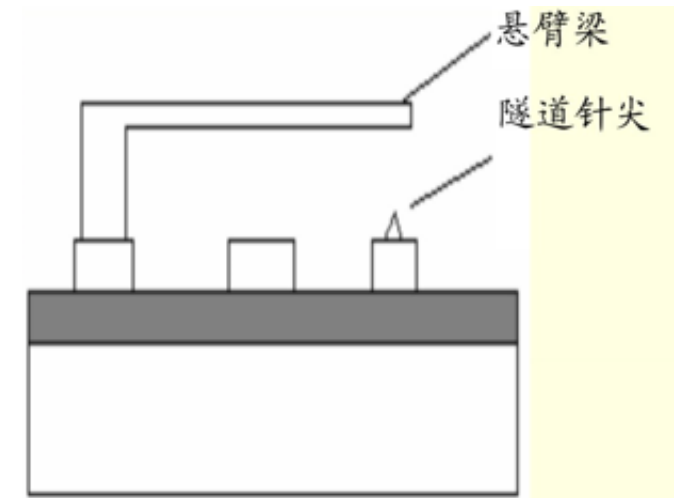
图表16：东南大学研制的压阻式大加速度计



图表17：“三明治”结构电容式微加速度计结构



图表18：悬臂梁式隧道效应微加速度计结构





2.2.3 MEMS惯性测量单元 (IMU)

- IMU是基于MEMS技术的新型惯性测量器件，用来测量物体的三轴加速度和三轴角速度信息。
- MEMS IMU的发展早期主要受军工需求推动，后续逐步推广至民用，现已于消费电子、汽车、工业自动化等领域中实现广泛应用。
- **IMU按实现途径分为组装式和单片式两类。**组装式是将三个单轴加速度传感器和三个单轴陀螺仪通过立体组装到一起分别实现三个方向加速度信号和角速度信号的测量。主要的厂家包括BOSCH，ST及TDK等。单片式是将多个MEMS敏感结构制作在一个芯片上，MEMS芯片和ASIC电路芯片通过引线键合连接达到多轴测量的目的，并且可以做到更高的集成度和更小的体积。



2.2.4 MEMS惯性传感器应用

- 目前MEMS惯性传感器已被广泛应用于工业与通信、高可靠、汽车电子、医疗健康、消费电子等多个领域。随着MEMS惯性技术的持续进步，高性能MEMS惯性传感器应用逐渐拓展到无人系统、自动驾驶、高端工业、高可靠等领域，而中低性能MEMS惯性传感器主要应用于消费电子和汽车等领域。

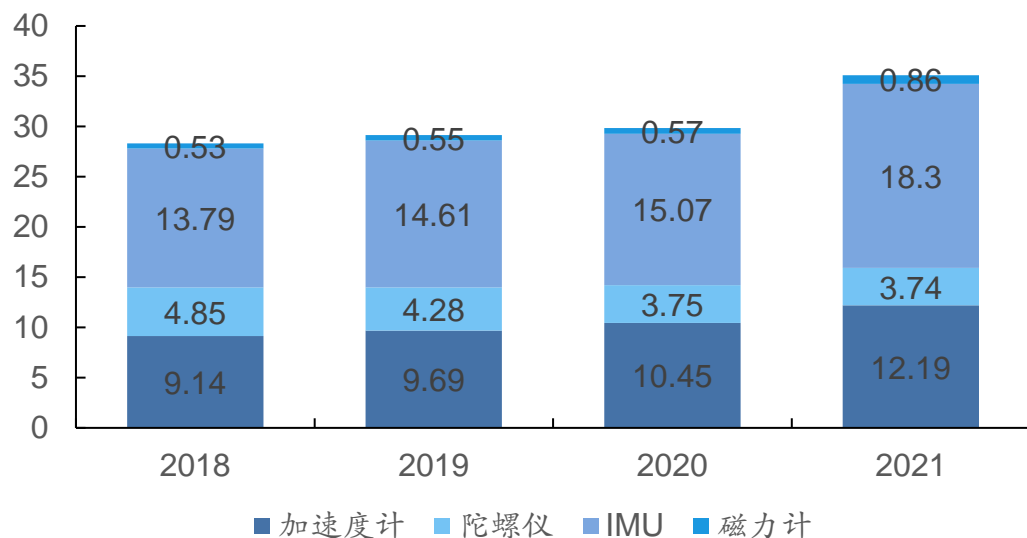
图表19: MEMS惯性传感器应用

领域	应用
工业与通信	工业机器人，石油助探，测量测绘、高速铁路、精密农业、工程机械、寻北仪、光电吊舱、动中通、天线姿态监测、光伏跟踪系统、结构健康监测、振动监测等
高可靠	卫星姿态控制、航姿备份系统等
汽车电子	安全气囊、车身稳定系统、TPWS胎压传感器、GPS辅助导航、自动驾驶高精定位等
医疗健康	健康监测设备、植入式心脏起搏器、手术机器人、康复训练设备等
消费电子	智能手机、平板电脑、游戏机、智能手表，智能手环，TWS耳机、笔记本电脑、数码相机、智能玩具等

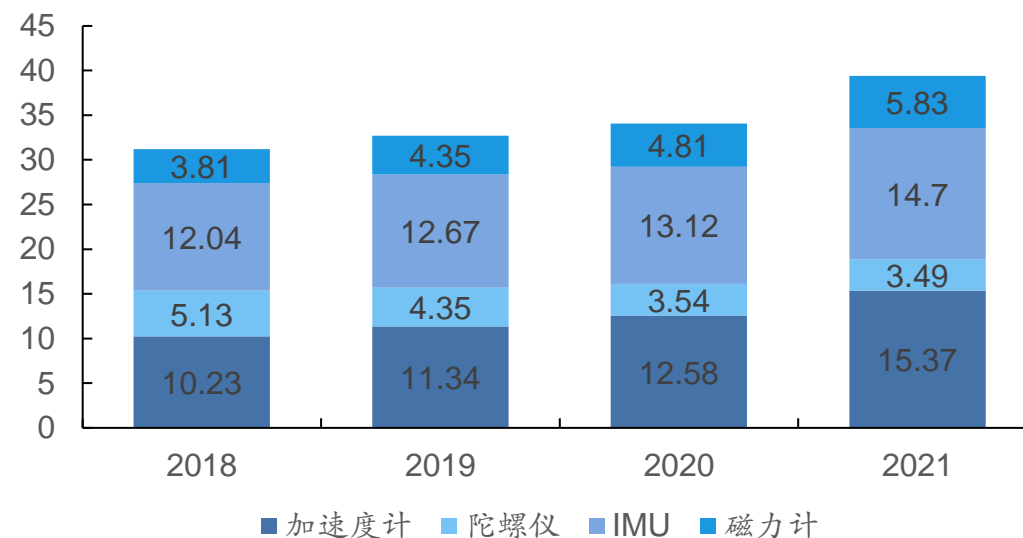
2.2.5 MEMS惯性传感器市场规模

- 根据 Yole Intelligence 的统计，全球MEMS惯性传感器的市场规模从2018年的28.31亿美元、31.21亿颗增长至2021年的35.09亿美元、39.39亿颗，预计该市场将于2027年增长至49.43亿美元、60.60亿颗，2018年至2027年销售额及销售量的复合增长率分别为6.39%和7.65%。
- 其中，全球MEMS加速度计的市场规模从2018年的9.14亿美元、10.23亿颗增长至2021年的12.19亿美元、15.37亿颗，预计该市场将于2027年增长至16.41亿美元、24.28亿颗，2018年至2027年销售额及销售量的复合增长率分别为6.72%和10.08%。

图表20：MEMS惯性传感器全球市场规模（亿元）



图表21：MEMS惯性传感器全球市场规模（亿颗）



2.3 MEMS其他传感器

- 按物理参数分，可分为力（加速度/压力/声）、热（热电偶/热阻）、光（光电类）、电磁（磁强计）、化学和生物医学（血糖/电容化学/化学机械）

图表22：智能手机中的传感器



资料来源：行行查，华安证券研究所整理

敬请参阅末页重要声明及评级说明



2.3 MEMS其他传感器

- 按传感机理分，可分为压阻、压电、隧道、电容、谐振、热对流。

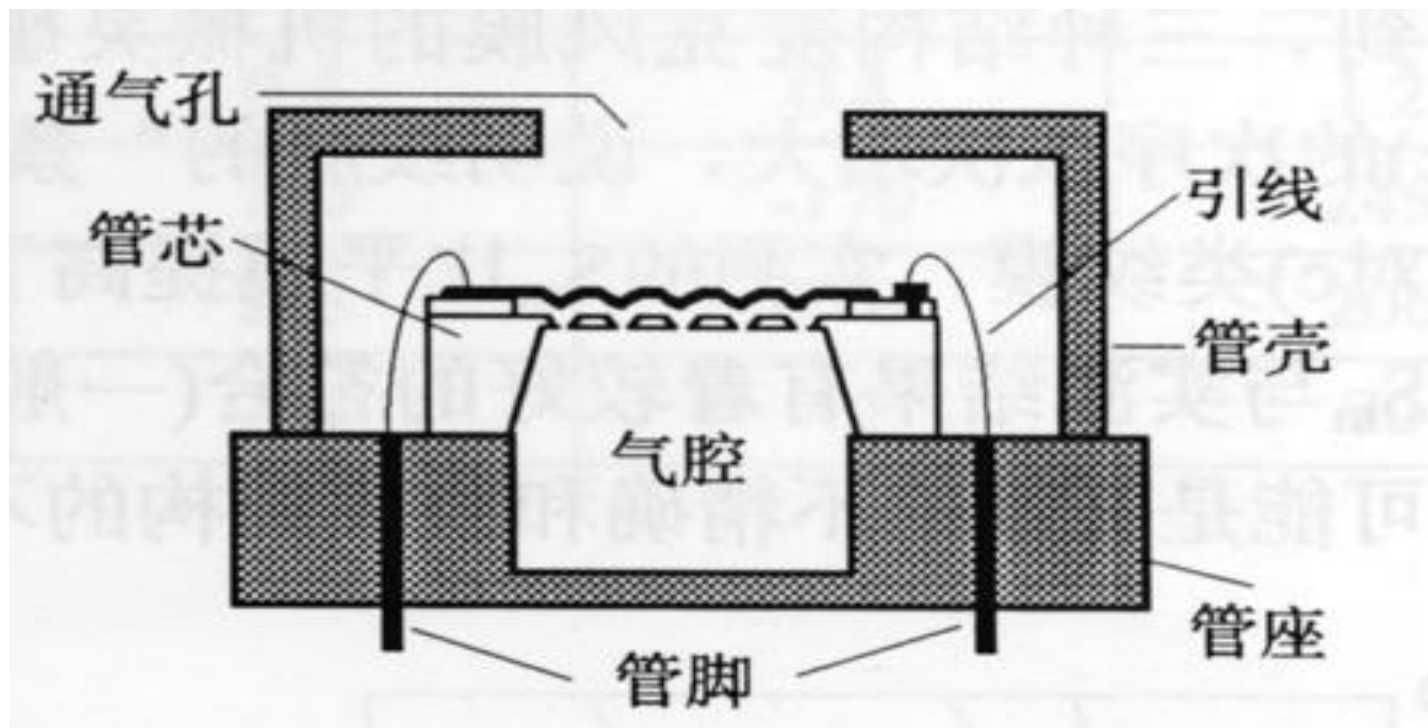
图表23：敏压原理特点比较

传感器类型	测量范围	精度	频响	线性度	信号处理电路	结构工艺	技术成熟性
压阻式	大	中	高	较好	简单电桥电路	简单	好
电容式	小	高	中	较好	高灵敏度的开关电容或电桥电路	复杂	差
谐振式	小	高	中	较好	宽频带闭环谐振回路	复杂	差
压电式	大	低	高	较好	电荷放大器	简单	好
隧道式	小	高	高	较差	高灵敏度电流检测电路	复杂	差
热对流式	大	中	低	一般	热敏电阻电桥	简单	差

2.3.1 MEMS麦克风

- 微型麦克风测量的是声压，要求灵敏度高，频带宽
- 清华微电子所研制的微型麦克风，表面工艺与体硅工艺结合制作，在单片硅片上实现了主要结构，采用纹膜结构提高灵敏度

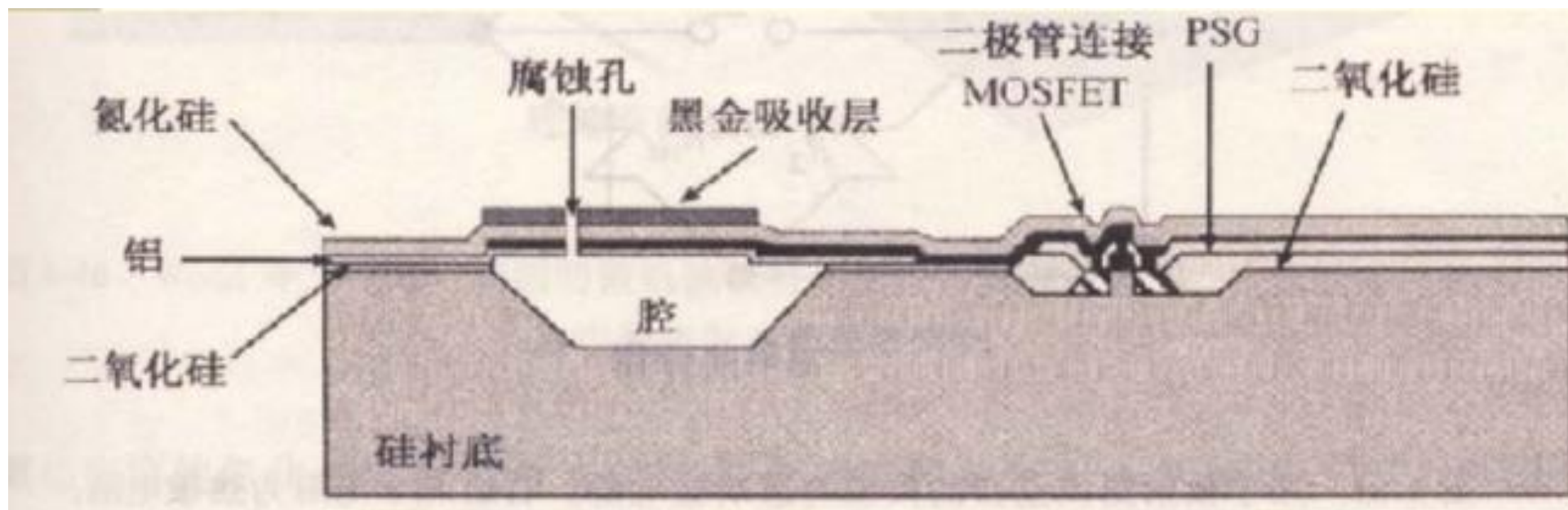
图表24：微型麦克风



2.3.2 MEMS光学传感器

- 原理：电子吸收光子，从而向高能级跃迁，当入射光光子的能量大于被照射材料的逸出功时，就有光电子发射，称为**外光电效应**。当物体受到光照射后，其内部原子释放出电子，但这些电子并不逸出物体表面仍留在内部，使物体的电阻率发生变化或产生光电动势的现象称为**内光电导效应**。前者称为光电导效应，后者称为**伏打效应**。
- 利用半导体光电导效应可制成**光敏电阻**。

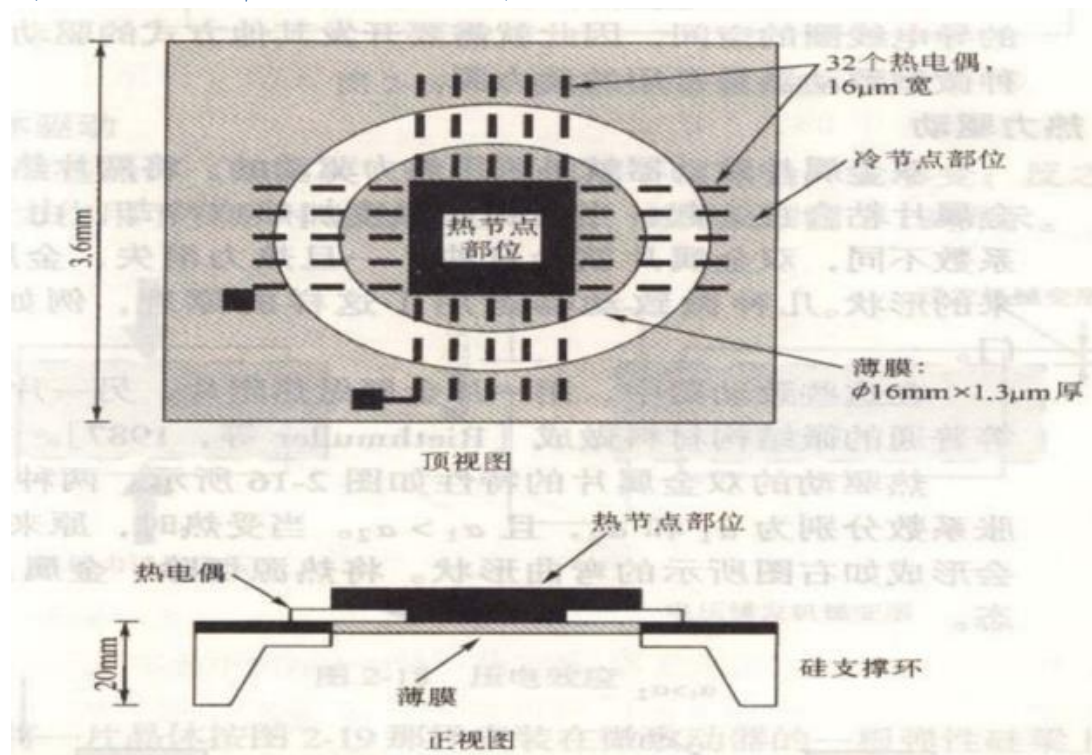
图表25：光学传感器截面图



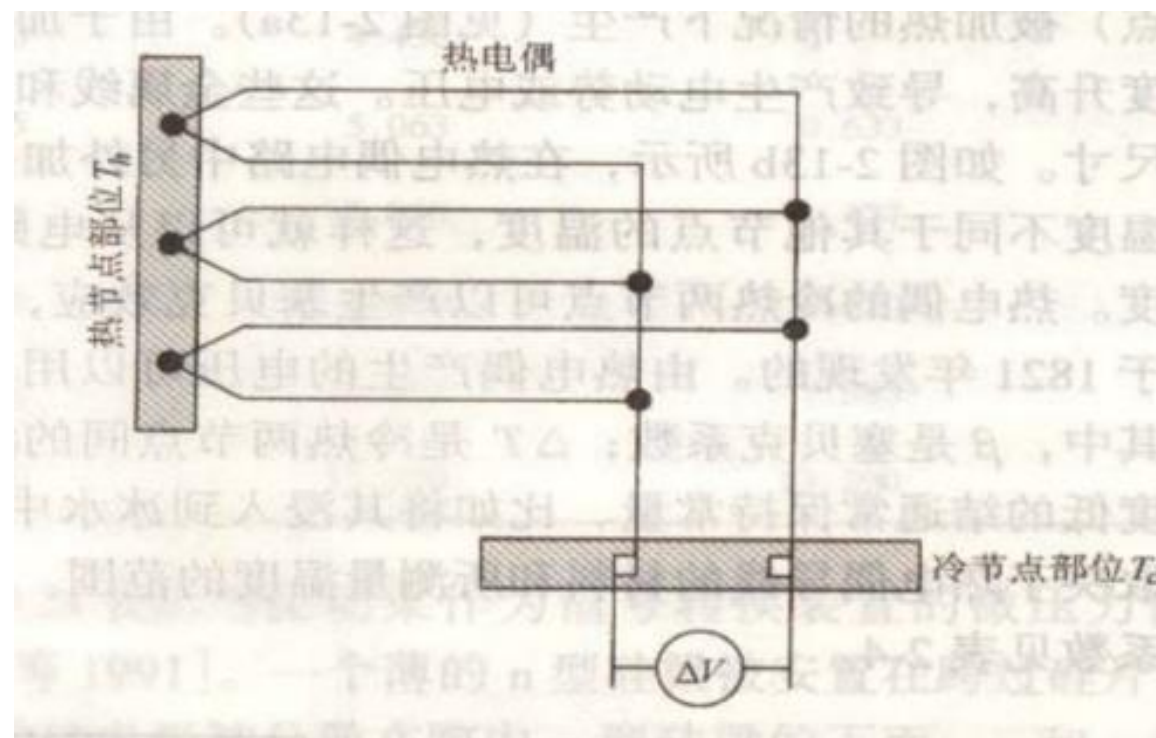
2.3.3 MEMS热学传感器

- 热电偶是最常用的传感器，依靠两个不同金属线的末端产生的电动势，电动势在两个导线的节点被加热的情况下产生。但有一个严重缺点就是，输出信号随着线和节点的尺寸的减小而降低。

图表26：1896年研制的微热电堆



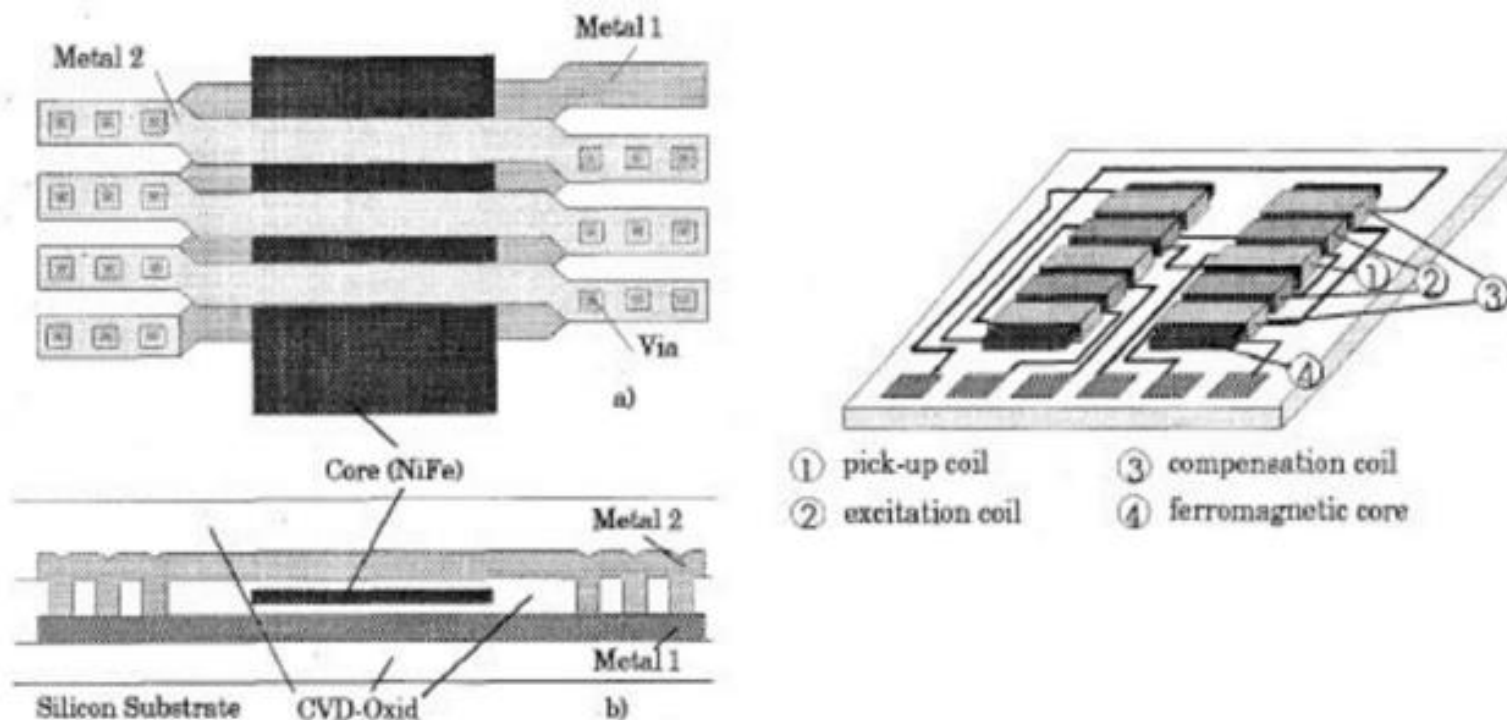
图表27：热电偶排列原理图



2.3.4 MEMS 电磁传感器

- 微型磁强计是利用MEMS技术制作的，把磁场强度和方向信号转换为电信号输出的器件。按工作原理可分为电磁效应式和机械式。
- 应用：安全领域可用于安全监测、交通车辆检测；医疗领域可用于核磁共振仪器、导管定位测量；工业可用于机器人位置测量、转速编码器；国防可用于探雷、导航、战场侦查；还可以用于地质勘探。

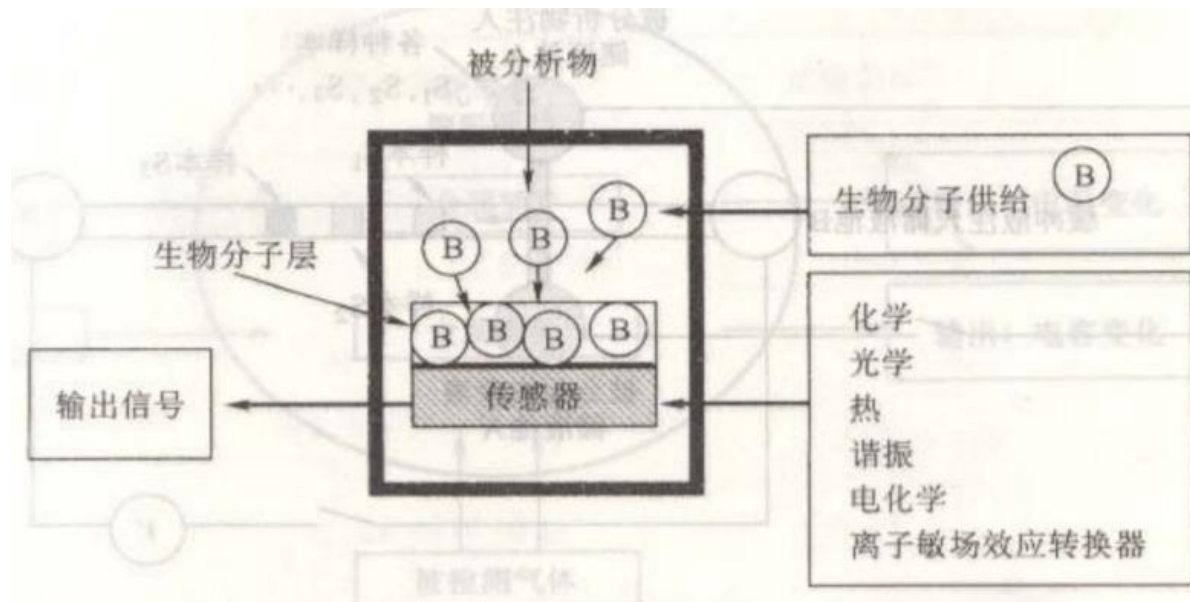
图表28：德国1995年研制的微型磁通门磁强计

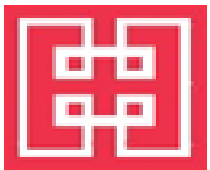


2.3.5 MEMS 生物医学传感器

- 微传感器是构成任何生物MEMS产品最基本的组元，在生物医学中，常用的两类传感器是生物医学传感器和生物传感器。
- 生物医学传感器可以分成用于测量生物学物质的生物医学仪器和用以医学诊断为目的的仪器，他们通常只需要小量的样本，大大加快分析速度。
- 生物传感器的工作原理基于待检测分析物与生物学方法产生的生物分子的相互作用，这些分子包括某种形式的酶、抗体和其他形式的蛋白。这些生物分子附着在传感单元上，当它们和被分析物相互作用时可以改变传感器的输出信号。

图表29：生物传感器原理图

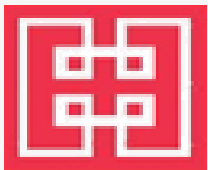




目录

- 1 乘风智能制造，MEMS传感器工艺逐渐成熟
- 2 夯实科技强国基础，MEMS传感器无处不在
- 3 着眼未来，重视MEMS传感器国产替代机遇
- 4 建议关注公司
- 5 风险提示





华安证券
HUAAN SECURITIES

04/2023



03 着眼未来，重视MEMS传感器国产替代机遇



3.1 不同MEMS传感器的比较

- 由于MEMS传感器测量的外部信号不同，不同类型的MEMS传感器技术差异较大。
- **MEMS惯性传感器**主要检测物体的运动，需要将传感器安装在载体上用于检测载体的运动，因此**多为封闭式封装**。而**压力/光学/声学传感器**需要通过直接接触被测量，所以**多为开放式封装**，同时需要结合使用环境设计有利于检测信号的传感器敏感单元表面结构。
- MEMS惯性传感器相对于压力传感器、声学传感器等其他类型的传感器应用领域较广，在高可靠领域及其他工业、消费领域均具备丰富的应用场景，不同应用场景对于性能、成本、功耗、体积的要求差异较大。相对于在工业及消费领域应用较广的声学传感器、环境传感器等，**高性能MEMS惯性传感器多应用于高可靠领域**，复杂环境下对于产品性能要求高，因此对产品可靠性提出了更严格的需求，存在较高的技术门槛。
- **MEMS压力传感器**主要是压阻式和电容式，使用广泛，成本低；部分高端压力传感器采用谐振式原理，精度高，售价高，**多用于仪表校验等对精度要求高的领域**。
- **MEMS声学传感器和光学传感器**主要应用于消费类电子，例如智能手机中的MEMS麦克风和接近传感器，产品具有体积小、成本低、功耗低的特点，对产品绝对性能要求相对不高，行业内厂商竞争相对激烈。



3.1 不同MEMS传感器的比较

图表30: MEMS传感器的典型应用

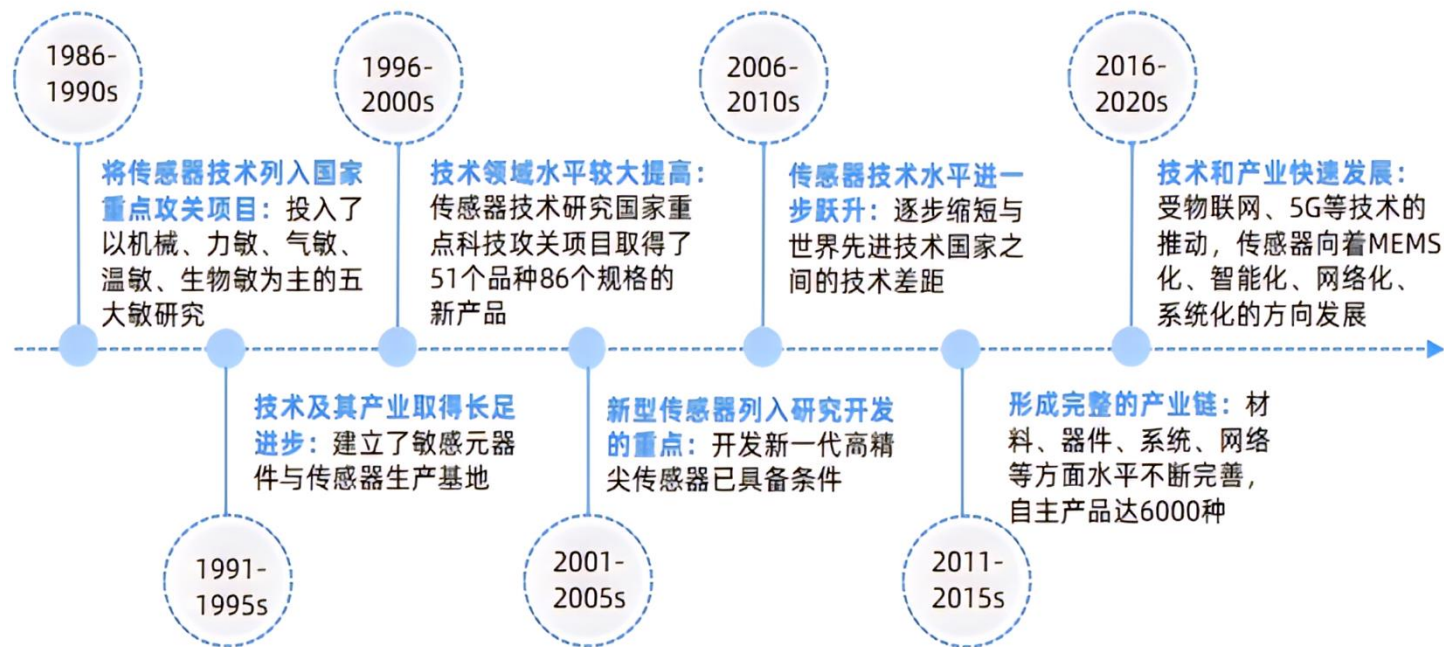
典型应用	设计传感器类型	具体介绍
可穿戴设备应用	MEMS 加速度计、陀螺仪、MEMS 麦克风和脉冲传感器	智能穿戴设备的两大功能项是量化自我和便携式环境安全监测。MEMS元件在可穿戴设备中的应用要求是使系统实现小型化、低功耗、高性能和多功能集成。健身和健康监测是MEMS传感器在智能可穿戴设备中的代表性应用。监视器显示用户已采取的步数和速度，以及身体运动过程中燃烧的卡路里。
无人机应用	MEMS加速度计和陀螺仪	在无人机飞行姿态控制技术方面，MEMS传感器还有发挥空间，结合加速度计和陀螺仪，可以计算出角度变化，确定位置和飞行姿态。MEMS传感器可以在各种恶劣条件下工作，同时获得高精度输出。
车联网应用	MEMS加速度传感器、角速度传感器、MEMS麦克风	语音将成为人与智能汽车的重要交互方式，MEMS麦克风将迎来新的发展机遇。MEMS传感器在汽车领域也有很多应用，包括安全气囊（正面碰撞安全气囊的高加速度传感器和侧面安全气囊的压力传感器）、汽车发动机（用于检测进气量的进气歧管）绝对压力传感器和流量传感器）等。
自动驾驶应用	MEMS压力传感器、加速度计、陀螺仪和流量传感器	在高端汽车中，大约使用25到40个MEMS传感器，汽车越好，使用的MEMS就越多。BMW740i中有70多个MEMS。MEMS传感器可以满足恶劣的汽车环境、高可靠性、准确度和低成本的要求。
工业应用	MEMS温湿度传感器、MEMS加速度计和陀螺仪	MEMS温湿度传感器可用于检测环境条件，MEMS加速度计可用于监测工业设备的振动和转速。高精度MEMS加速度计和陀螺仪可以为工业机器人的导航和旋转提供精确的位置信息。
航天设备应用	航空航天传感器主要分为状态传感器和环境传感器	1、提供航天器的工作信息，起到故障诊断的作用；2、判断各子系统之间工作的协调性，验证设计方案；3、提供全系统自检 4. 提供各子系统及整机的内部测试参数，验证设计的正确性。5、监测飞行器内外环境，为飞行员和航天员提供必要的生活条件，保证飞行参数正常。

资料来源：广州工控传感科技公司，华安证券研究所整理

3.2 MEMS传感器发展困境

- 相较于美国、日本等科技大国，国内对于MEMS技术的研究稍显落后，在20世纪80年代末才开始成为国家重点研究项目之一。经过近三十年的发展，国产MEMS在技术方面有了实质性的进展，在市场应用方面逐步实现了长效积累。例如在MEMS麦克风市场，全球四大公司占据市场话语权，其中两家来自中国，歌尔股份和瑞声科技，他们还正在挑战楼氏电子的领袖地位，势头凶猛。
- 伴随着消费电子、汽车电子、工业、医疗等领域的快速发展，市场对MEMS产品的需求变得十分迫切，MEMS市场如同空池一般急需更多水源流入。

图表31：中国传感器行业发展历程



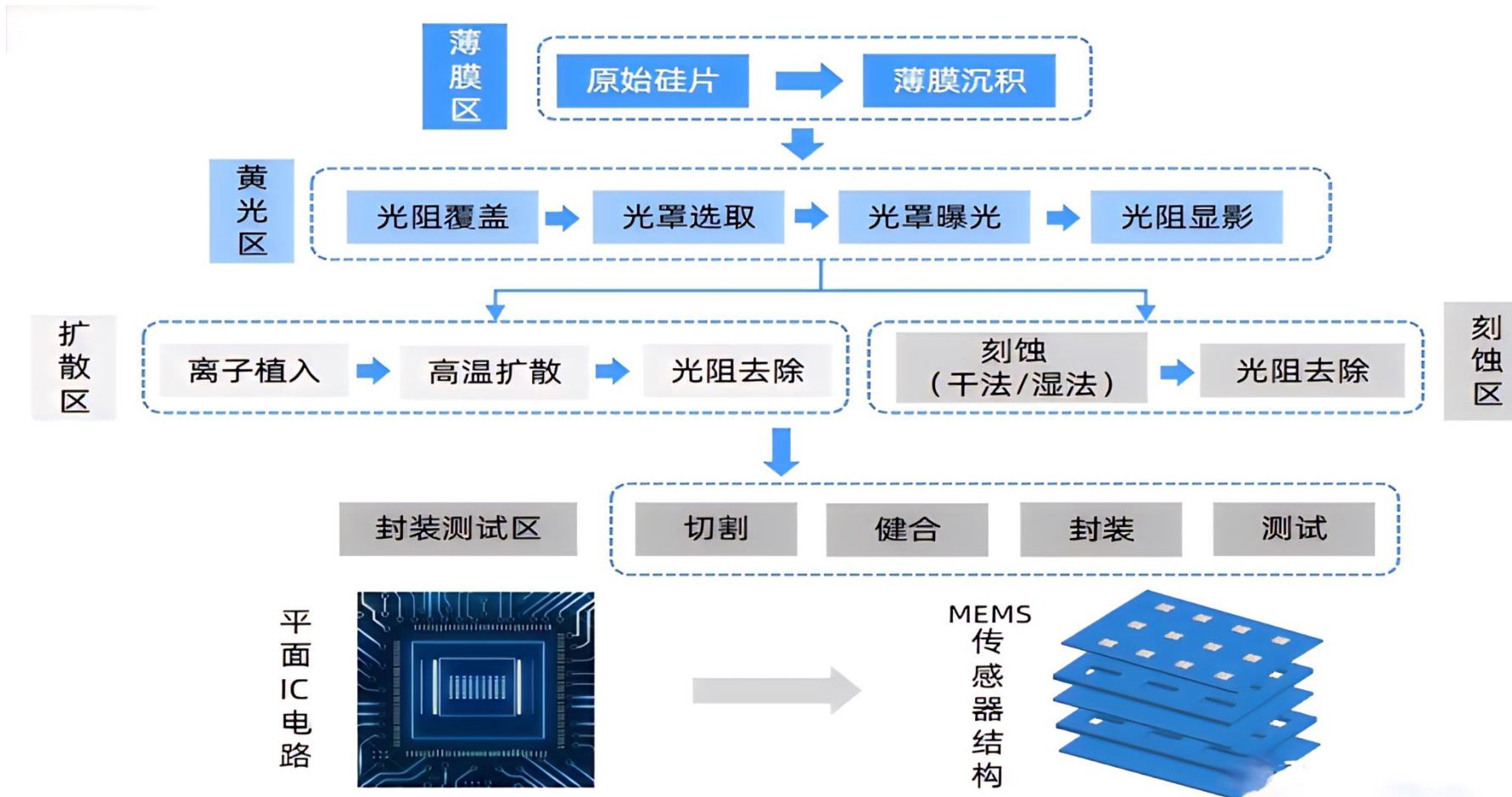


3.2 MEMS传感器发展困境

- 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器件。但目前，我国大部分MEMS传感器仍依赖进口。国内MEMS传感器也仍以中低端为主，技术相对落后。
- 中国MEMS厂商面临的挑战非常多。首先，MEMS传感器商业化应用周期长，MEMS传感器研发时间更长，这对MEMS企业的耐心、远见是一个很大挑战。
- 另一方面，中国MEMS产业链在竞争方面，力量还较薄弱，没有产生在国际市场上具有领导地位的企业。MEMS传感器和IC芯片一样，具有很强的规模效应，例如前端流片等环节加工能力薄弱，一致性、生产重复性都不能满足设计加工工艺要求。因此，整个MEMS产业链均处于投入阶段，盈利比较困难，产生了恶性循环。
- 此外，价格下滑导致MEMS厂商盈利困难。MEMS传感器产品的价格，并非与产品的重要性或开发难度成正比。例如，据统计数据显示，从应用广泛和竞争激烈的陀螺仪和加速度传感器市场来看，系统厂商对于MEMS产品需求量很大，但是它们也已经把价格杀到MEMS厂商难以为继的地步。

3.2 MEMS传感器发展困境

图表32：MEMS工艺流程





3.2 MEMS传感器发展困境

- 制造MEMS器件不仅需要成熟且丰富的工艺技术，还要有足够多的产线保证产能。目前，国内提供专业MEMS代工服务的有中芯国际、无锡华润上华、上海先进等。除了以上企业能够满足代工产能和良率要求之外，其他大多数国内MEMS代工企业还未积累起足够的工艺技术储备和大规模市场验证反馈的经验，并且在加工工艺的一致性、可重复性也都不能满足设计需要，产品的良率和可靠性更是无法达到规模生产要求。在这样的情况之下，设计公司也只能选择与国外成熟代工厂合作，才能保证产品的质量。而在后端的封装测试环节，情况则较为乐观，南通富士通、晶方半导体、华天科技、长电科技、通富微电等企业能够满足产品质量和数量的要求。



3.2 MEMS传感器发展困境

图表33：MEMS芯片与集成电路芯片的比较

	MEMS芯片	集成电路
制造工艺	立体机械结构，采用三维制造工艺、双面加工	平面的电学器件，使用二维制造工艺。
封装	根据器件功能不同高度个性化	封装工艺高度标准化
测试	针对电子机械系统的校准和精度提高，设计多物理场测试	检测方法标准化、自动化程度较高。
总结	根据不同用途传感器采用不同的MEMS结构，在制造、封装、测试等各个环节均有个性化工艺，考验从设计到生产整个产业链的支持程度	标准CMOS制造流程



3.2 MEMS传感器发展困境

图表34: MEMS传感器工艺研发问题概述

工艺问题	简介
不精确的MEMS传感器结构层厚	许多工艺方法(如物理气相沉积法、化学气相沉积法或电镀法)都会依赖沉积材料来构建机械结构或电子元件,而光学显微镜看不到的材料层的厚度对于性能影响相当重要。
边墙形貌(sidewall profile)不佳	微结构的边墙对器件性能有很大程度上的影响。通过光学显微镜看结构,所看到的边墙不是很好。特别是,刻蚀不足和沟槽通常是看不见的。然而,这些几何形变会明显改变弹簧和柔性板的机械性能。
粘附力问题	MEMS传感器结构内层与层之间的粘附力可能很微小,光学显微镜也许会看到分层迹象,但微小的粘结层是观察不到的。
内应力和应力梯度	内部应力是使用薄膜常见的问题。在生产过程中产生的应力会导致器件良率和性能降低,以及淀积膜的分层和开裂。
裂纹	大多数裂纹都可以在光学显微镜下看到,但是,在某些情况下,由于分辨率的局限性,细的“发际线”裂缝是不可见的。
失败的释放工艺	通常是为了形成MEMS器件中可动的机械部分,通过对连接机械部分到基底的材料进行不完全刻蚀来实现。当释放失败时,重要的是找到大部分释放结构释放成功而锚点没有释放好的区域。
粘滞作用	像悬臂梁、薄膜、梭形阀这些机械结构可能由于结构的释放会和底层基板粘连,导致器件永久性失效。如果MEMS传感器结构和衬底之间的距离非常小,那么通过显微镜观察曲率是不可见的。
不精确的材料特性	薄膜材料比本体材料更能展示出不同的特性。尤其使用聚合物时,如杨氏模量、线性度、磁滞现象等机械性能严重依赖于工艺参数。不精确或者是不理想的材料特性可能会降低器件性能,甚至导致器件失效。

资料来源: 传感器专家网, 华安证券研究所整理



3.3 MEMS传感器相关政策

图表35：近年MEMS传感器相关政策

年份	发布部门	政策名称	重点内容
2018	工信部	《智能传感器产业三年行动指南(2017-2019)》	推动智能传感器数据融合、数据预处理等专用集成电路，研发高深宽比干法体硅加工晶圆级键合技术，集成电路与传感器的系统级封装(SIP)技术。
2019	发改委	《产业结构调整指导目录》	将具有无线通信功能的低功耗各类智能传感器，智能汽车车载传感器，传感器封装(MEMS)等类别列入鼓励类目录
2020	工信部	《工业强基重点产品、工艺“一条龙”应用计划示范企业和示范项目》	兼顾MEMS等技术，锁定各类型传感器，以产业链上下游供需能力为基础，应用为导向，针对关键环节重点基础产品，推动相关点项目建设和技术突破
2021	工信部	《基础电子元器件产业发展行动计划(2021-2023年)》	重点发展小型化、低功耗、集成化、高灵敏度的敏感元件，温度、气体、位移、速度、光电、生化等各类别的高端传感器，新型MEMS传感器和智能传感器微型化、智能化的电声器件

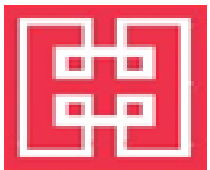
资料来源：前瞻产业研究院，华安证券研究所整理

敬请参阅末页重要声明及评级说明



3.3 MEMS传感器发展前景

- 随着国产MEMS传感器产业逐渐完善，MEMS将传感器“芯片化”的能力得到了广泛的认可，因此很多人在谈论国产传感器发展趋势时，除了过往的集成化、小型化和智能化等，有时也会加上“MEMS化”。
- 设备小型化、低能耗化未来，不断缩小产品尺寸、降低产品成本是MEMS传感器行业的重要发展趋势之一。随着人工智能和物联网技术的发展，MEMS传感器的应用场景将更加多元。MEMS传感器是人工智能重要的底层硬件之一，传感器收集的数据越丰富和精准，人工智能的功能才会越完善。未来，智能家居、工业互联网、车联网、智能城市、机器人等新产业领域都将为MEMS传感器行业带来广阔的市场空间。
- 展望未来，技术水平的不断提高，使市场对“小而智能”的传感器需求越来越大，特别是在物联网等应用的推动下，MEMS传感器的应用空间也愈发广阔。



目录

1 1 乘风智能制造，MEMS传感器工艺逐渐成熟

2 2 夯实科技强国基础，MEMS传感器无处不在

3 3 着眼未来，重视MEMS传感器国产替代机遇

4 4 建议关注公司

5 5 风险提示

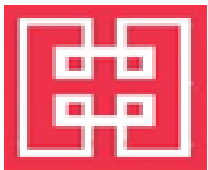




4 MEMS传感器建议关注的公司

图表36：建议关注公司（截止至2023.07.18收盘）

分类	公司	代码	股价（元）	EPS（元）				PE（倍）				投资评级	
				2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E		
芯片	敏芯股份	688286.SH	58.24	-1.03	0.47	1.10	1.63	-57	123	53	36	未评级	
	纳芯微	688052.SH	165.33	1.76	2.89	4.98	6.92	94	57	33	24	未评级	
MEMS传感器	士兰微	600460.SH	30.87	0.74	0.89	1.16	1.38	42	35	27	22	未评级	
	芯动联科	688582.SH	42.70	0.29	0.40	0.58	0.79	146	107	74	54	未评级	
	康斯特	300445.SZ	17.22	0.36	0.46	0.67	0.87	48	37	26	20	未评级	
	高华科技	688539.SH	41.35	0.61	0.91	1.18	1.47	68	45	35	28	未评级	
	明皜传感	暂未上市											未评级
	长光辰芯	暂未上市											未评级



目录

- 1 乘风智能制造，MEMS传感器工艺逐渐成熟
- 2 夯实科技强国基础，MEMS传感器无处不在
- 3 着眼未来，重视MEMS传感器国产替代机遇
- 4 建议关注公司
- 5 风险提示





风险提示

1. 政策变动风险，核电安全等相关政策的变动对于行业的影响巨大；
2. 相关半导体技术等核心技术卡脖子的风险；
3. 原材料大幅波动的风险；
4. 测算市场空间的误差风险；
5. 研究依据的信息更新不及时，未能充分反映公司最新状况的风险。



重要声明及评级说明

重要声明

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。



谢谢!

欢迎关注华安机械团队

