

MEMS 技术最早由 Richard Feynman (1965 年获得诺贝尔物理奖)，在 1959 年提出设想。1962 年硅微型压力[传感器](#)问世。

1979 年 Roylance 和 Angell 开始压阻式微加速计的研制。1991 年 Cole 开始电容式微加速度计的研制。

惯性传感器包括加速度计（或加速度传感计）和角速度传感器（陀螺）以及它们的单、双、三轴组合 IMU（惯性测量单元），AHRS（包括磁传感器的姿态参考系统）。

MEMS 加速度计是利用传感质量的惯性力测量的传感器，一般由标准质量块（传感元件）和检测电路组成。根据传感原理不同，主要有压阻式、电容式、压电式、隧道电流式、谐振式、热电耦合式和电磁式等。

1998 年，美国 CSDL 设计研制了最早的 MEMS 陀螺。同年，Drapor 实验室研制了另一种形式的 MEMS 陀螺。

MEMS 陀螺是利用震动质量块被基座（壳体）带动旋转时的哥氏效应来传感角速度的原理制成。

主要形式有框架驱动式（内、外框架两种）梳状驱动式、电磁驱动式等。

IMU 由于是 MEMS 技术组合的微型惯性测量单元，所以很多地方称为 MIMU。主要由三个 MEMS 加速度传感器及三个陀螺及解算电路组成。

AHRS 则为包括三个磁传感器的 IMU，并且依据四元素法进行了解算，直接可输出一个运动体的俯仰角、横滚角和航向角。

低精度 MEMS 惯性传感器作为消费[电子](#)类产品主要用在手机、游戏机、音乐播放器、无线鼠标、数码相机、PD、硬盘[保护器](#)、智能[玩具](#)、计步器、防盗系统、GPS 导航等便携式。由于具有加速度测量、倾斜测量、振动测量甚至转动测量等基本测量功能，有待挖掘的消费电子应用会不断出现。

中级 MEMS 惯性传感器作为工业级及[汽车](#)级产品，则主要用于汽车电子稳定系统（ESP 或 ESC）GPS 辅助导航系统，汽车安全气囊、车辆姿态测量、精密农业、工业自动化、大型医疗设备、机器人、[仪器仪表](#)、工程机械等。

高精度的 MEMS 惯性传感器作为军用级和宇航级产品，主要要求高精度、全温区、抗冲击等指数。主要用于通讯卫星无线、导弹导引头、光学瞄准系统等稳定性应用；飞机/导弹飞行控制、姿态控制、偏航阻尼等控制应用、以及中程导弹制导、惯性 GPS 导航等制导应用、远程飞行器船舶仪器、战场机器人等。

用作消费电子类的 MEMS 惯性传感器，主要要求是单价低、尺寸小、温度范围窄、因而精度要求低，甚至是功能性产品。加速度传感器重量轻、功耗小、一般测量范围 1~10g~50g，分辨率 2mg~10mg，陀螺一般量程在 $\pm 300^\circ /s$ ，零偏

在 $500^{\circ}/h \sim 1000^{\circ}/h$ ，因此有些公司的产品不给出零偏指标或给出 $0.1^{\circ}/s \sim 0.5^{\circ}/s$ 。

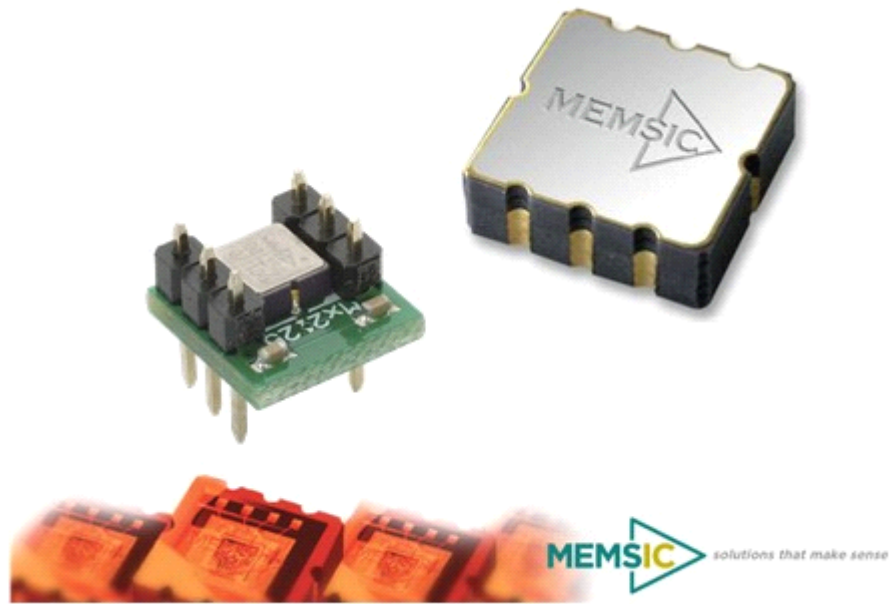
目前可以生产 MEMS 加速度传感器的公司比较多，大多数为半导体、如美国的 ADI、Invensense、ST、Freescale、Sensor Dynamics、MSI (ICSensor)、MEMSIC（生产地在中国无锡）欧洲的 VTI、Infine，生产 MEMS 陀螺的公司美国的 ADI、Knoix、ST，欧洲的 Infine、Methes，日本的 Murata、National、[冲电气](#)、富士通。12 月 3 日中国上海深迪半导体有限公司发布了消费类的 MEMS 陀螺，无锡一家公司也在研发中。



（意法半导体——ST）



（VTI）



(MEMSIC)

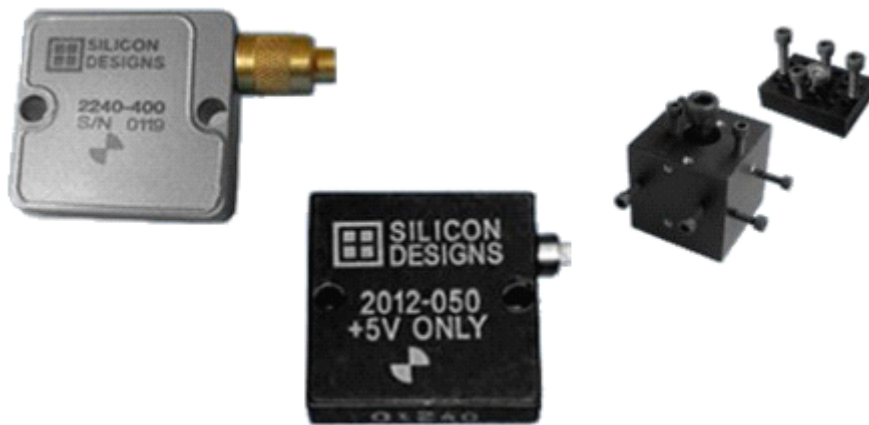
工业级的惯性传感器大多以模块形式出现，对于应用于工业级芯片级产品，还必须进行处理，包括软件和硬件电路，以及对不同工业环境的适应性，大多数要求价格适中，精度一定优于消费类应用加速度传感器的量程选择比较宽 1~500g，分辨率 1mg~3mg，陀螺量程大多 $250^{\circ}/s$ 以内，零偏在 $50^{\circ}/h \sim 200^{\circ}/h$ ，汽车级可作为一个工业应用的特殊产品，对其可靠性要求高，同时由于需求数量大，和一般工业要求不一样的是单价要低。生产这些产品的公司有美国的 BEI、ADI、Silicon design、Honeywell、Delphi、MSI、Crossbow、Microstrain、欧洲的 VTI、Colibry、Bosch、Sensoror，日本的北陆电气、SSS 公司，中国的西安中星测控。



(BEI)



(Crossbow)



(Silicon design)

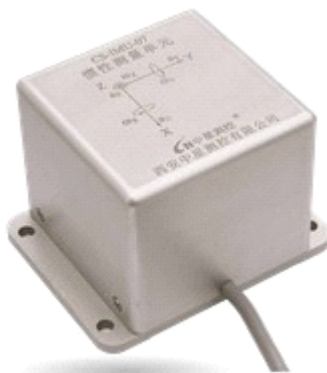


(中星测控)

军工级或宇航级的 MEMS 惯性传感器精度要求高、工作温度范围宽（ $-45^{\circ} \sim 125^{\circ}$ ），某些兵器产品要求抗冲击能力强（ $10000g \sim 20000g$ ）尺寸要比光纤和机械类产品要小。加速度传感器量程范围宽 $1g \sim 5000g$ ，分辨率要 $0.1 \sim 1mg$ ，甚至更高。陀螺量程要求范围宽 $20^{\circ}/s \sim 1000^{\circ}/s$ ，频响高， $50Hz \sim 1000Hz$ ，零偏稳定性为 $1^{\circ}/h \sim 50^{\circ}/h$ 。目前制造商有美国 BEI、Crossbow、Silicon design、Honeywell、Drapor，，欧洲公司有 Xsens、Sorsonor、Colibry、BAE，日本有 SSS 公司，中国有西安中星测控、电子 26 所、航天 704 所。



(BEI)



(中星测控)

最近六、七年以来，国内对 MEMS 惯性传感器的研发热度很高，尤其是 2005 年~2008 年，而且大多集中在国内的顶尖研究机构。据初步了解，研发加速度传感器的机构有：哈尔滨工业大学、浙江大学、东南大学、西安交通大学、中北大学、哈尔滨电子 49 所、石家庄电子 13 所、航天 704 所、重庆电子 26 所、重庆电子 24 所、西安航空 618 所、西安航天 771 所、中科院上海微系统所、绵阳中国工物院。研发陀螺及组合的机构有清华大学、北京大学、西北工业大学、东南大学、南京理工大学、北京信息工程大学、长沙国防科技大学、上海交通大学、重庆电子 26 所、航天 704 所。

MEMS 惯性传感器研发、制造商一览表

	加速度传感器	陀螺、IMU、AHRS、VG
消费级	ADI、Invensense、ST、Freescale、Sensor Dynamics、MSI(ICSensor)、MEMSIC、VTI、Inflin。	ADI、Knoix、ST、Infine、Methes、Murata、National 上海深迪。
工业级 汽车级	ADI、Silicon design、Honeywell、MSI、VTI、Colibry、北陆电气、中星测控。	BEI、Microstrain、Crossbow、Sensoror、SSS、Bosch、Delphi、Honeywell、ADI。
军工级 宇航级	Honeywell、Silicon design、Drapor、Colibry、电子 26 所、航天 704 所、九院。	BEI、Drapor、Honeywell、Xsens、Sorsonor、SSS、中星测控、电子 26 所、航天 704 所。
国内研发机构	哈尔滨工业大学、浙江大学、东南大学、西安交通大学、中北大学、哈尔滨电子 49 所、石家庄电子 13 所、航天 704 所、重庆电子 26 所、重庆电子 24 所、西安航空 618 所、西安航天 771 所、中科院上海微系统所、绵阳中国工物院。	清华大学、北京大学、西北工业大学、东南大学、南京理工大学、北京信息工程大学、长沙国防科技大学、上海交通大学、重庆电子 26 所、航天 704 所。

过去三年，全球 MEMS 惯性传感器的发展趋势正向两级化发展，一方面消费电子类应用、应用领域不断拓展、需求迅速提高，引来制造商不断增加，竞争加剧，单价不断下降；另一方面，军用级应用，精度不断提高，单价上升很快。

MEMS 惯性传感器的发展现状是消费类产品向大规模生产发展、单价越来越低，量产后，仅售不足一美元，而军用与宇航级产品向高精度发展，一个单轴陀螺售价可在 3~4 千美元。而工业级、汽车级产品更追求高品质和高可靠性，同时兼顾售价。

展望未来，MEMS 惯性传感器的发展趋势主要有以下几个方面：

技术方面：精度将不断提高，以陀螺为例，有替代低精度光纤陀螺的趋势。对消费类应用，更寻求进一步简化制造工艺，降低成本的趋势。同时，集成化也是未来发展的趋势，不仅模块制造商走软件、硬件集成的路子，越来越多的上游芯片厂家也走集成块的技术路线。因而不断有双轴、三轴加计、陀螺芯片问世。

竞争力方面：消费类将竞争最为惨烈，新厂家将不断涌进，比投资、比规模将是必然趋势。上下游相互倾轧、收购、重组将会上演。

合作方面：由于产品细分的缘故全球竞争与合作必然结果。上游厂家希望找到下游客户，下游希望寻找合适的供应商，因而产业联盟可能出现。

应用方面：无疑无论是消费类应用，工业级军工级应用，市场会急骤扩大，应用会越来越广泛。