

生物医学工程导论

第十七章 MEMS技术在 生物医学工程中的应用

主要内容

- MEMS简介
- MEMS制造工艺
- MEMS的应用

MEMS简介

Wii 健身运动



游戏很好玩，
工作原理是什么？



Wii



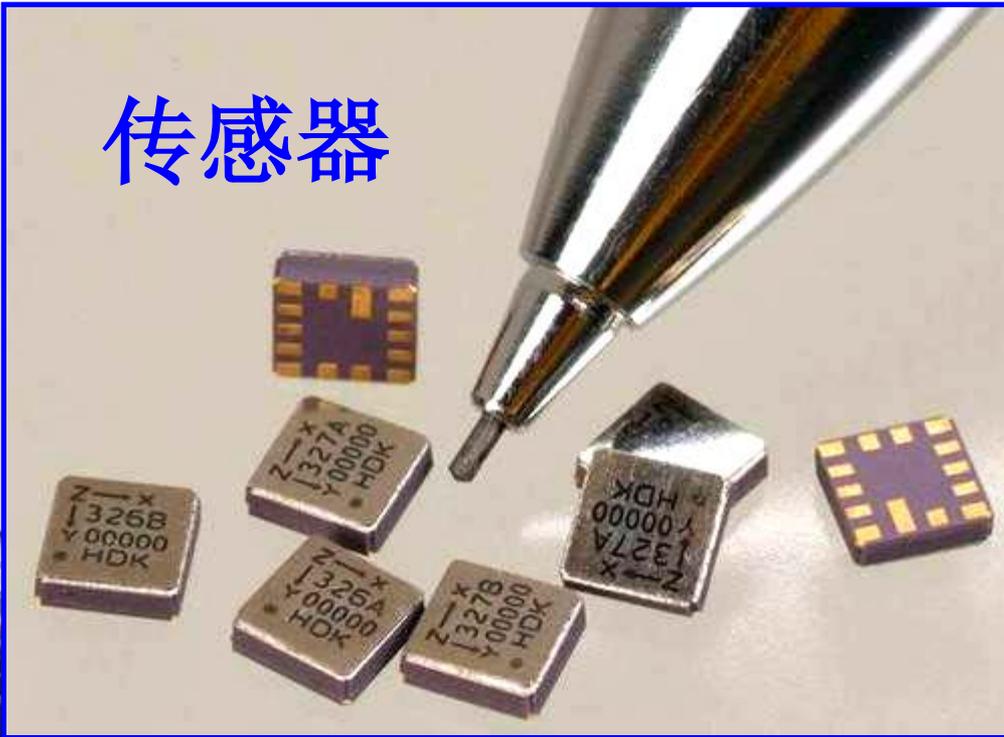
触摸屏是怎么感知的？



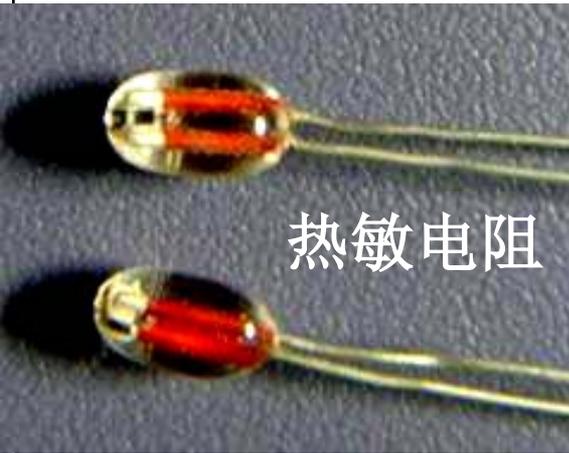
摇晃你的手机



传感器



身边的传感器



热敏电阻



CCD



温控器



传声器





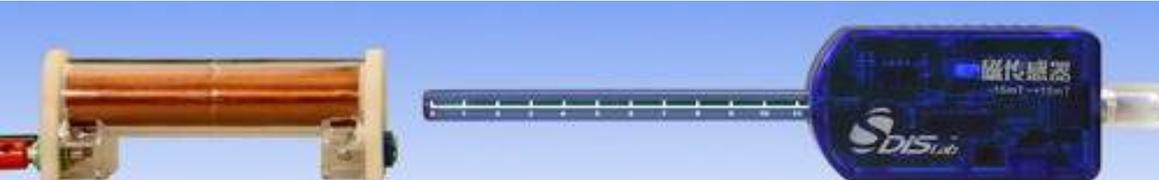
温度开关



力传感器



实验室的 传感器



传感器的微型化

人类社会的全面信息化，使得信息系统正朝着微型化、多功能化和智能化的方向迅速发展。

随着微电子技术的进步，微处理器、存储器等电子器件日益微型化，而传感器、执行器的微型化程度却远远落后，成了信息系统微型化的“瓶颈”。

将传感器、微处理器、执行器合为一体，构成微电子机械系统，是人们很久的愿望。

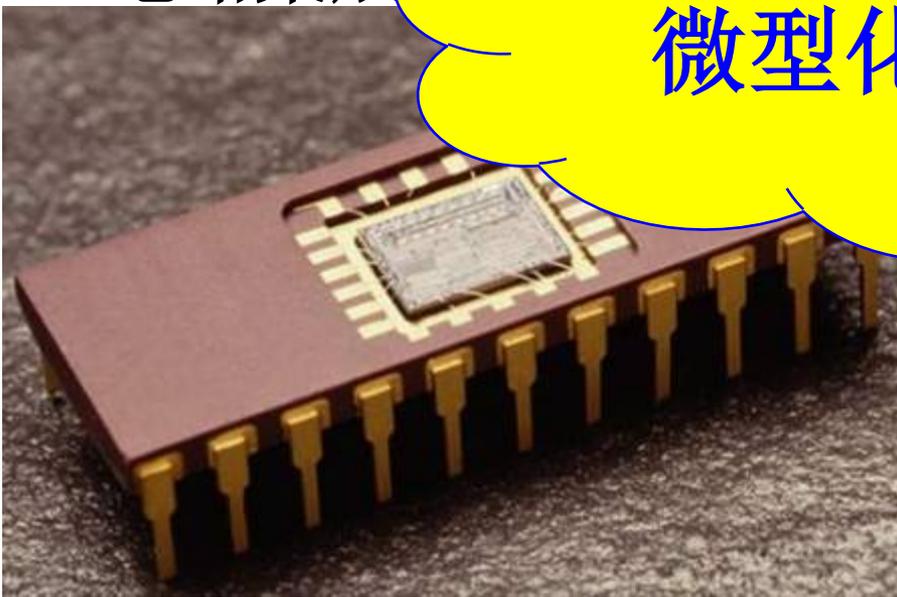
于是，“**MEMS** 技术”应运而生。

Micro Electro Mechanical System

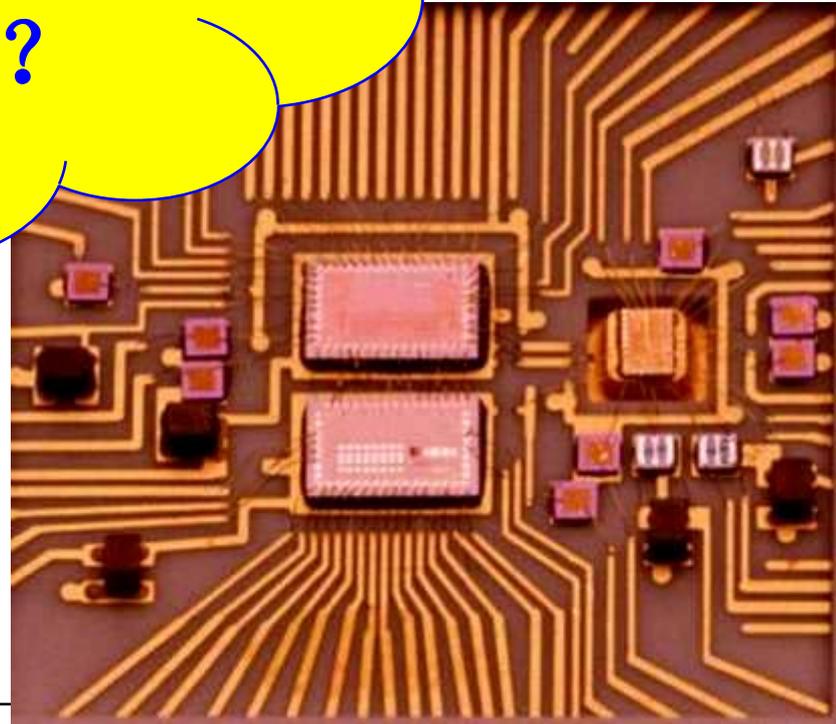
MEMS是“微机械电子系统”的英文缩写。

微机电系统是采用微加工技术，将微型传感器、微处理器、微执行器、微电路集成

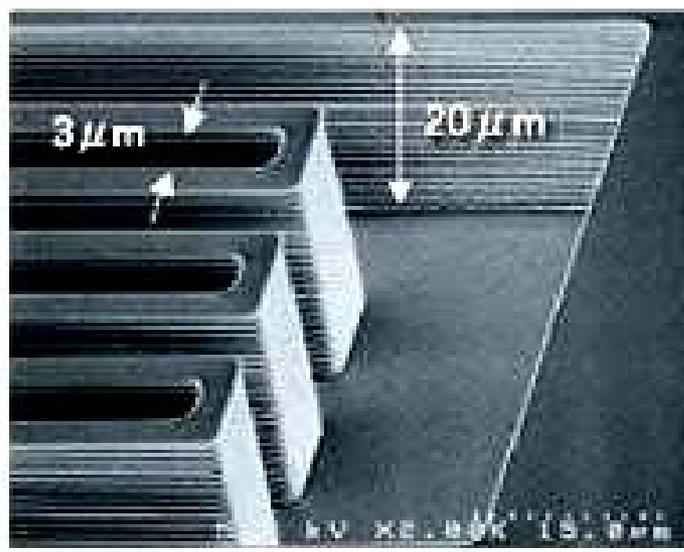
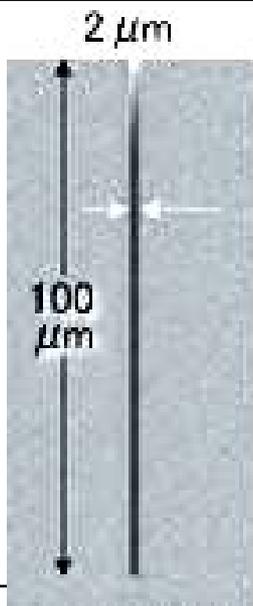
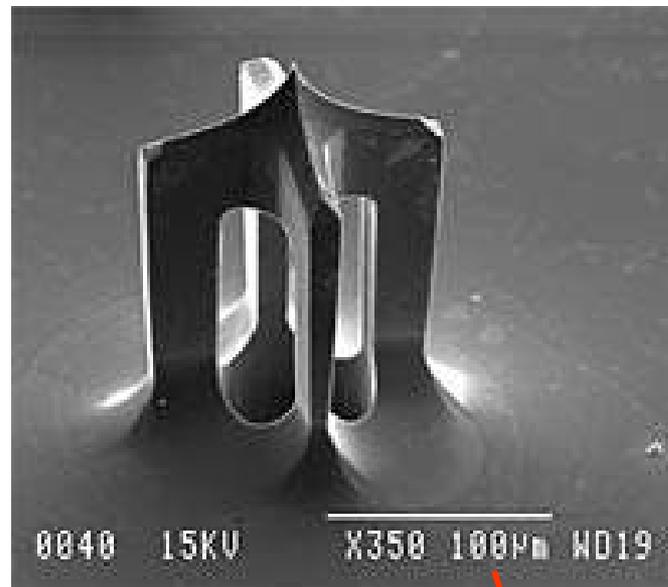
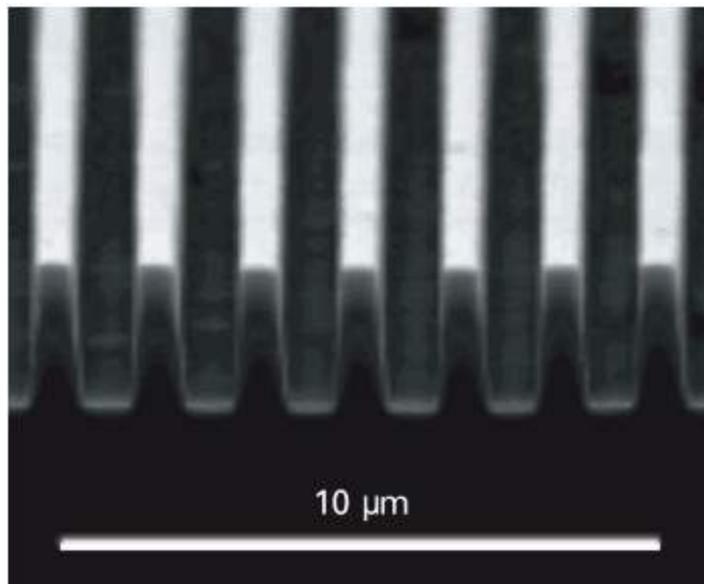
机械部分能够
微型化吗？



集成电路内部结构



MEMS “微米级” 加工技术



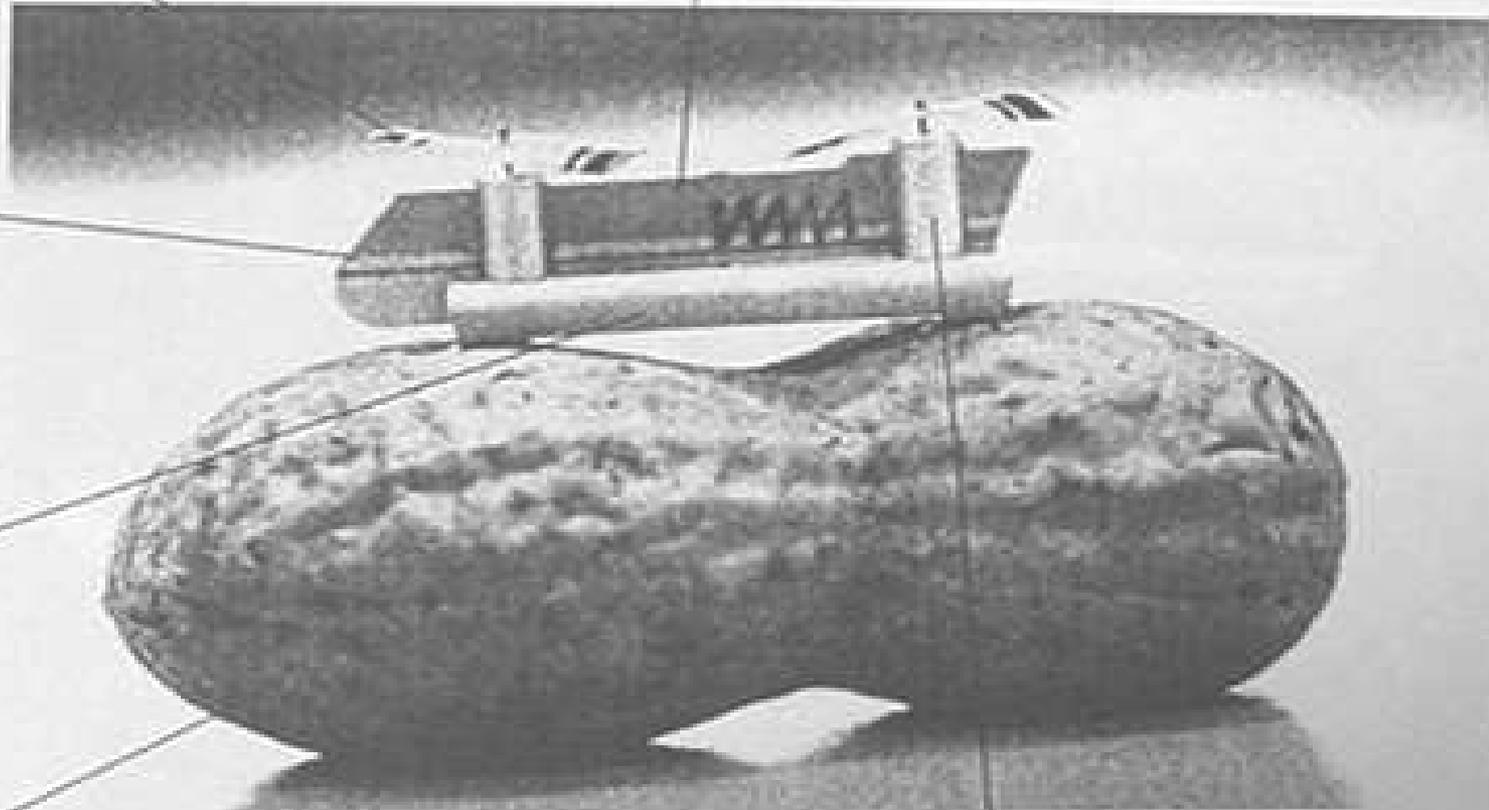
$100\ \mu\text{m}$

„Kleinster fliegender Hubschrauber der Welt“, reale Größe
24 mm lang, 8 mm hoch inkl. Rotoren

*“Smallest flying helicopter of the world”, real size:
length 24 mm, height 8 mm including rotors*

Rotor: lackiertes Papier, Durchmesser 13 mm
Rotor: painted paper, diameter 13 mm

Gewicht
ohne Erdnuß:
400 mg
*Weight
without peanut:
400 mg*



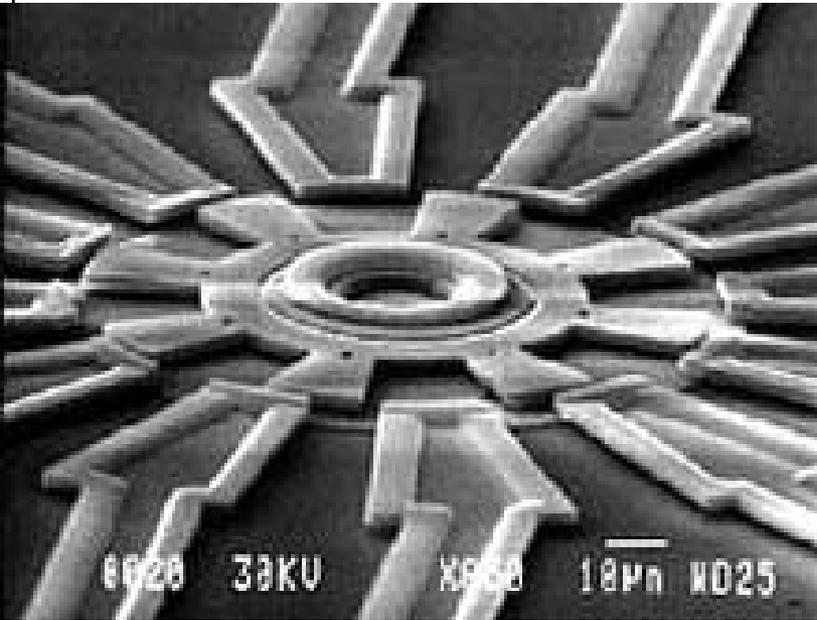
Gehäuse:
Aluminium
*Body:
aluminium*

Erdnuß, handelsüblich
Peanut, standard commercial size

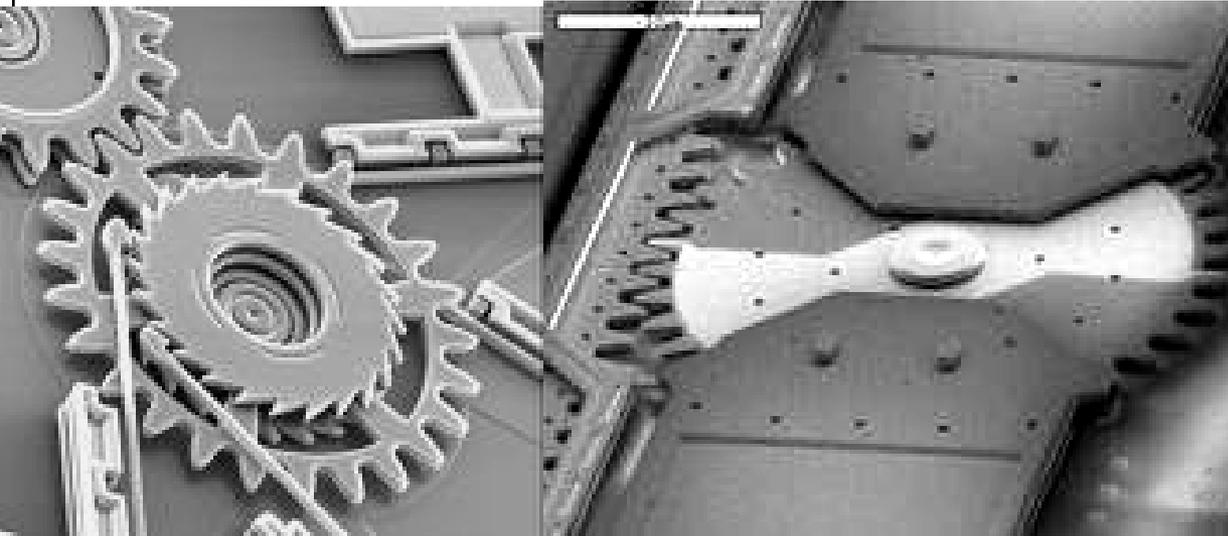
Motor: Länge 5 mm, Durchmesser 2,4 mm
Motor: length 5 mm, diameter 2,4 mm

第一台静电电动机

1988年美国科学家研制。
转子直径120微米，厚1微米。
在380V电压驱动下，
最大转速每分钟500转。

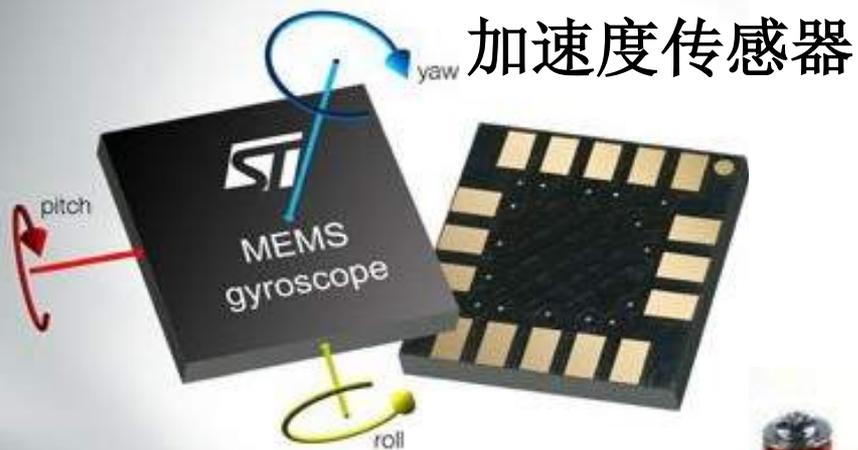


显微照片



MEMS 微型传感器

微传感器的尺寸大多为毫米级，甚至更小。例如：压力微传感器可以放在注射针头内，送入血管测量血液流动情况。

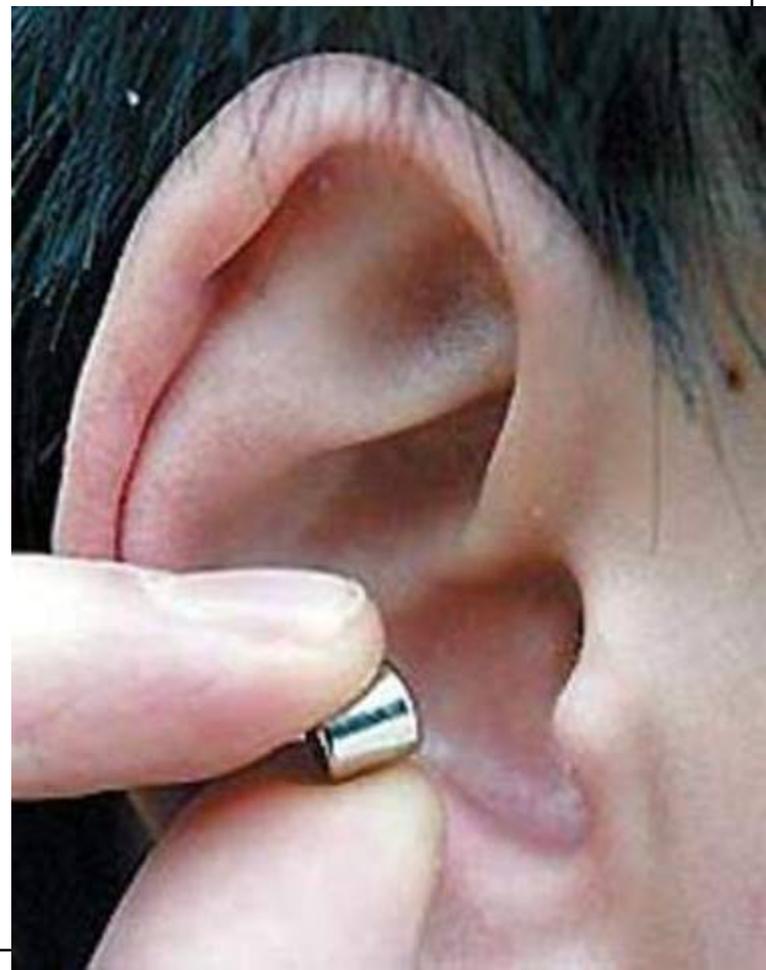
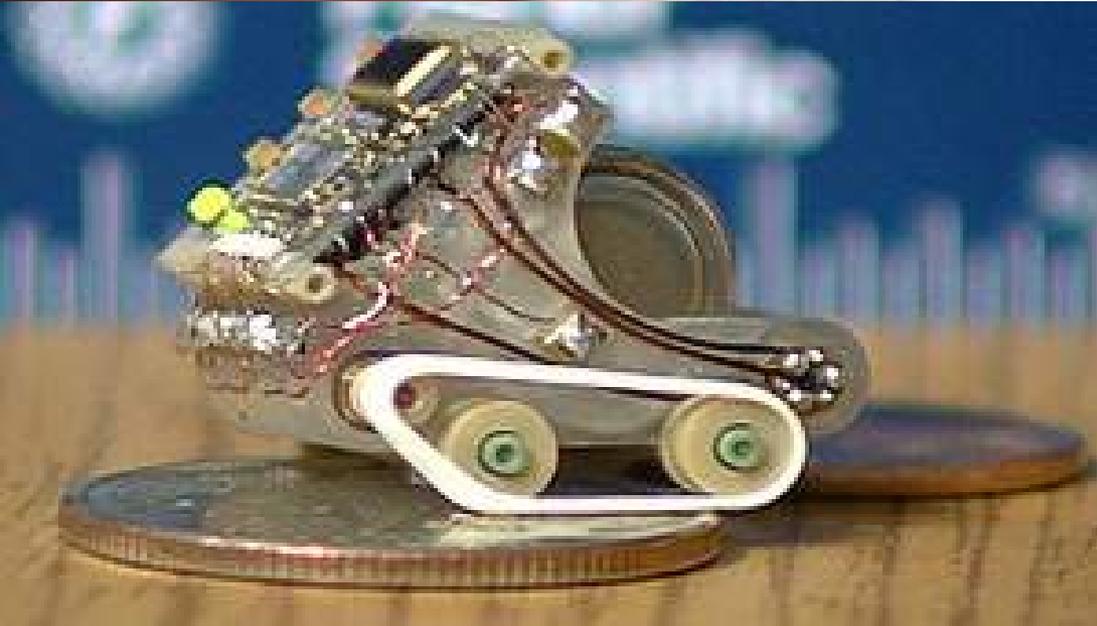


压力传感器



MEMS

微型执行器



MEMS定义

微电子机械系统是以微电子、微机械及材料科学为基础，研究、设计和制造具有特定功能的微型装置（包括微结构器件、微传感器、微执行器和微系统等方面）的一门科学。

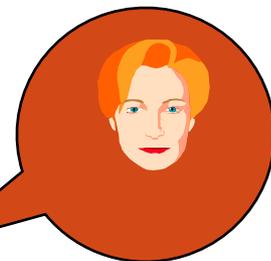
由于MEMS是微电子同微机械的结合，如果把微电子电路比作人的大脑，微机械比作人的五官（传感器）和手脚（执行器），两者的紧密结合，就是一个功能齐全而强大的微系统。

控制部分
电子学

微电子学

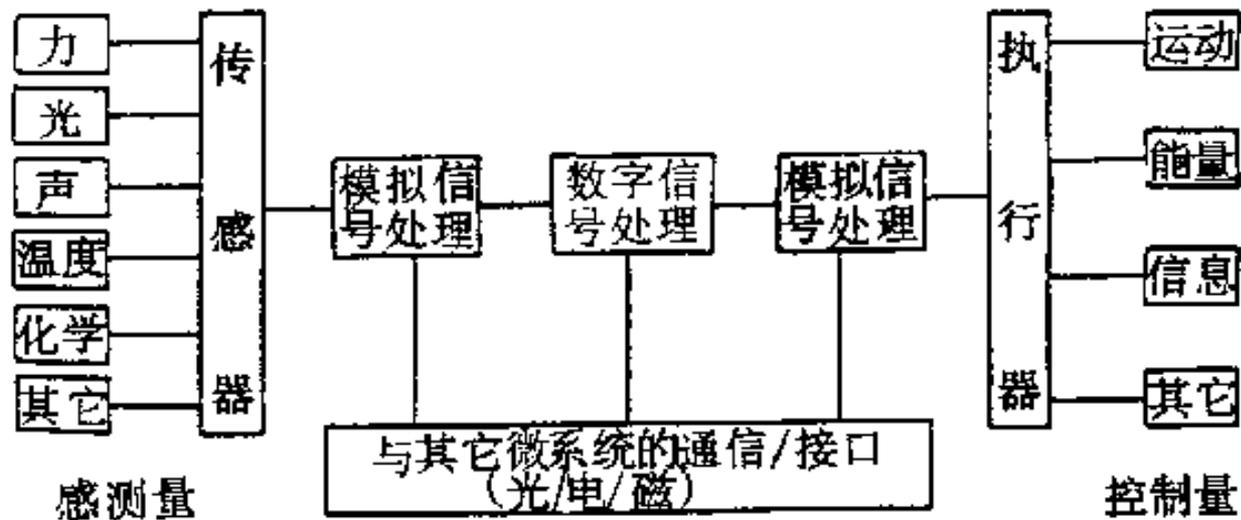
机械部分
传感
执行

MEMS



典型的MEMS示意图

- MEMS由传感器、信息处理单元、执行器和通讯/接口单元等组成。其输入是物理信号，通过传感器转换为电信号，经过信号处理（模拟的和/或数字的）后，由执行器与外界作用。每一个微系统可以采用数字或模拟信号（电、光、磁等物理量）与其它微系统进行通信



MEMS的发展过程

20世纪60年代：

采用将传感器和电子线路集成在一个芯片上的设计思想来制作集成传感器。

20世纪60年代后期：

硅刻蚀技术用于制作能将压力转换为电信号的应变薄膜结构。

20世纪70年代：

人们使用硅各向异性选择性腐蚀制作薄膜，掺杂以及基于电化学的腐蚀停刻技术也出现了，随之而来的是“体硅加工”技术。

MEMS的发展过程

20世纪80年代:

“表面微加工”技术在加速度计、压力传感器和其他微电子机械结构制作中得到了应用。

20世纪80年代后期:

MEMS在世界范围内受到了广泛重视，投入的研究资金和研究人员都以令人惊讶的速度在大幅增长。MEMS正在处于蓬勃发展的关键时期，不断地有新型器件和新型技术给予报道，人们见证了基于MEMS技术的喷墨打印头、压力传感器、流量计、加速度计、陀螺仪、非冷却红外成像仪和光学投影仪等设备的不断开发和产业化的进程。

1982年，K. Petersen的综述性论文

“Silicon as a mechanical materials”，概括了当时MEMS最高水平的微加工技术和微机械器件，被看作是MEMS研究进入系统化阶段的标志，开创了MEMS发展的纪元。

各国对MEMS的研究

- MEMS自20世纪80年代中期发展至今一直受到世界各个国家的广泛重视，许多有影响的大专院校和研究机构纷纷投巨资建立实验室，投入到MEMS的研究开发中。

● 美国

在美国政府巨额经费的资助下，包括麻省理工大学、加州大学伯克利分校、斯坦福大学、IBM、

● 日本

1991年，日本成立了国家MEMS开发中心，并

● 德国

德国的卡尔斯鲁研究中心在1987年提出了LIGA工艺而闻名于世，该技术采用X射线曝光和精密电铸相结合，将光刻技术的基本原理二维加

● 其他

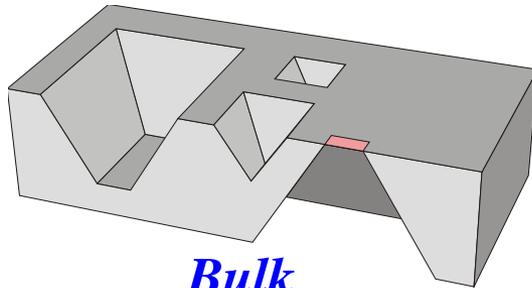
此外，如荷兰、英国、俄罗斯、新加坡、加拿大、以色列、韩国、台湾等国家和地区也取得了相当不错的研究成果。

MEMS理论基础

- 在当前MEMS所能达到的尺度下，宏观世界基本的物理规律仍然起作用，但由于尺寸缩小带来的影响（Scaling Effects），许多物理现象与宏观世界有很大区别，因此许多原来的理论基础都会发生变化，如力的尺寸效应、微结构的表面效应、微观摩擦机理等，因此有必要对微动力学、微流体力学、微热力学、微摩擦学、微光学和微结构学进行深入的研究。

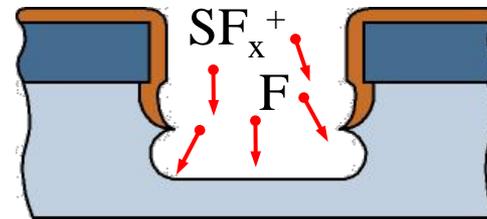
MEMS制造工艺

MEMS加工技术的种类



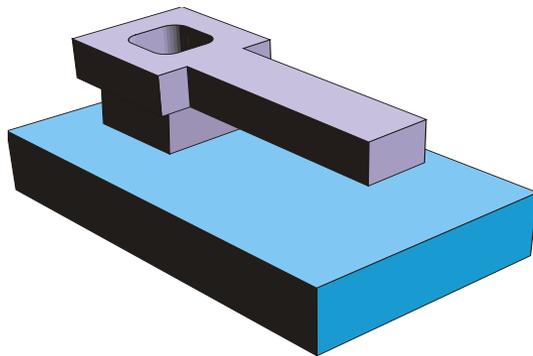
*Bulk
micromachining*

~1960



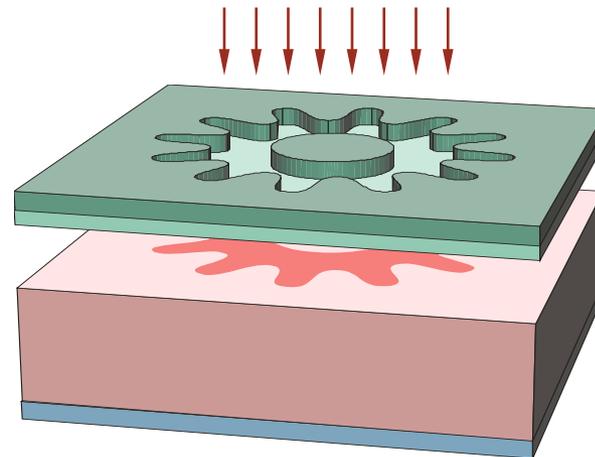
*Deep reactive-
ion etching*

~1995



*Surface
micromachining*

~1986



LIGA

~1978

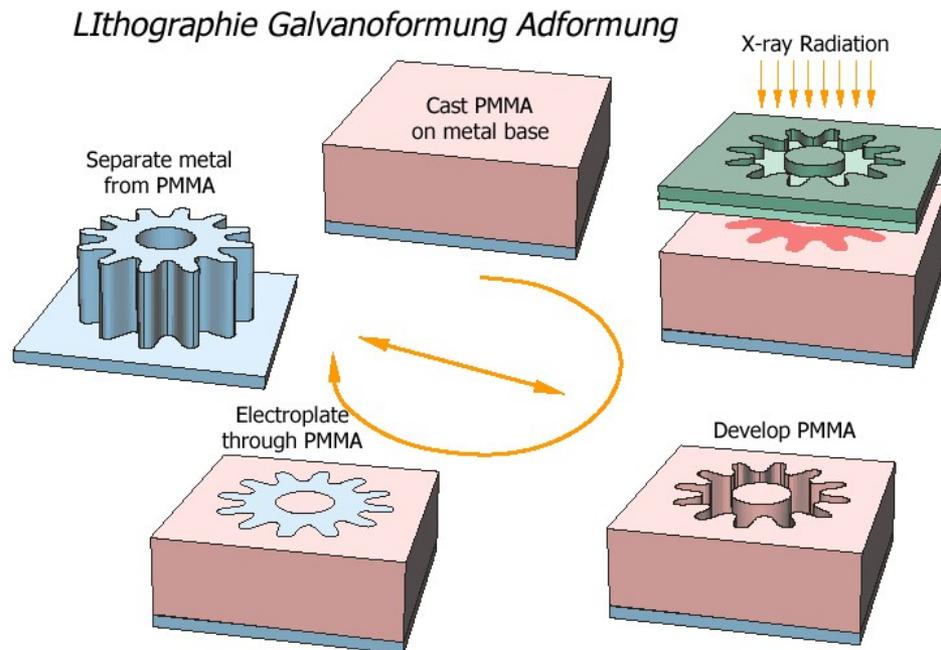
MEMS制造技术

- 大机械制造小机械，小机械制造微机械
 - 日本为代表与集成电路技术几乎无法兼容
- LIGA工艺
 - Lithographie(光刻)、Galvanoformung(电铸)
Abformung(塑铸)
 - 德国为代表
- 硅微机械加工工艺：体硅工艺和表面牺牲层工艺
 - 美国为代表

LIGA技术

LIGA技术是利用X光射线光刻，通过电铸成形和铸塑形成深层微结构方法。可以加工各种金属、塑料和陶瓷等材料，深度刻达1000微米。

LIGA Process



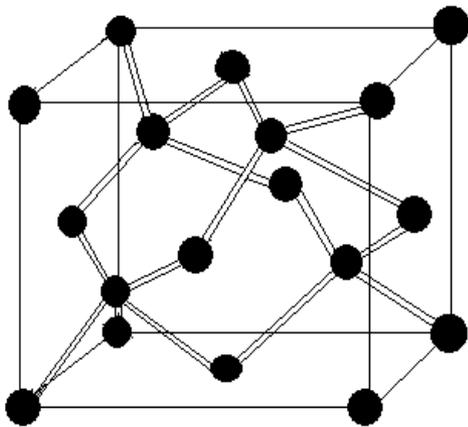
LIGA工艺对设备的要求较高，生产费用较昂贵，加工周期长，与集成电路兼容性差。

MEMS加工工艺

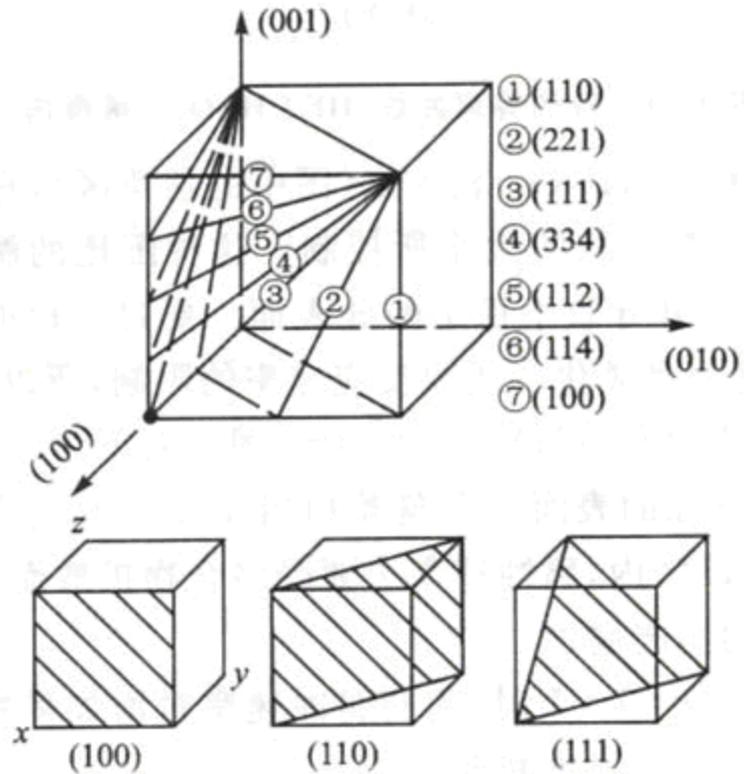
- MEMS与微电子系统比较，区别在于其包含有微传感器、微执行器、微作用器、微机械器件等的子系统，相对静态微器件的系统而言，MEMS的加工技术难度要高。
- MEMS加工技术是在硅平面技术的基础上发展起来的，从目前应用来看，其加工技术主要可分为硅基微机械加工技术和非硅基微机械加工技术。

湿法腐蚀

硅的晶体结构



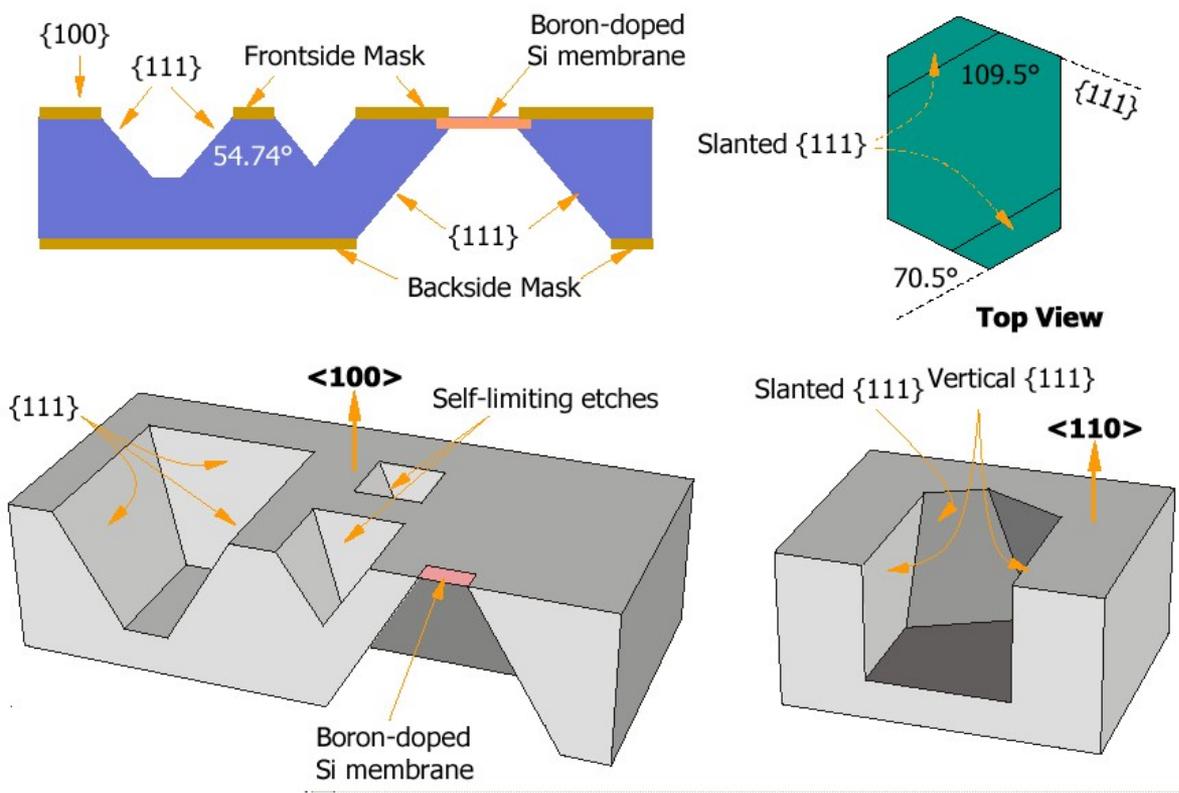
硅晶体结构



硅晶体中主要晶面

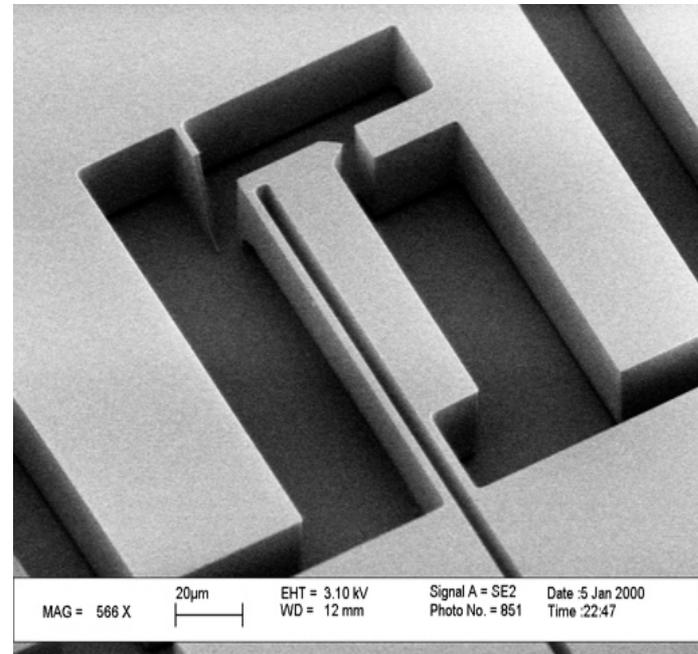
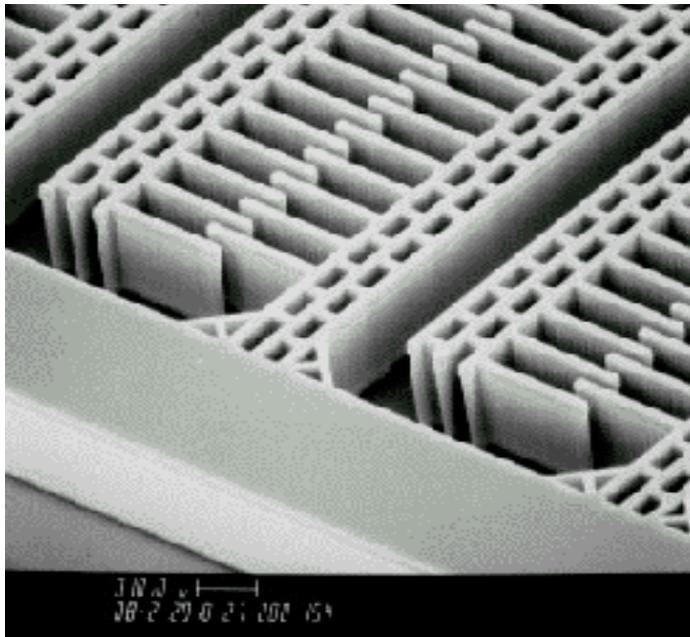
硅的各向异性腐蚀

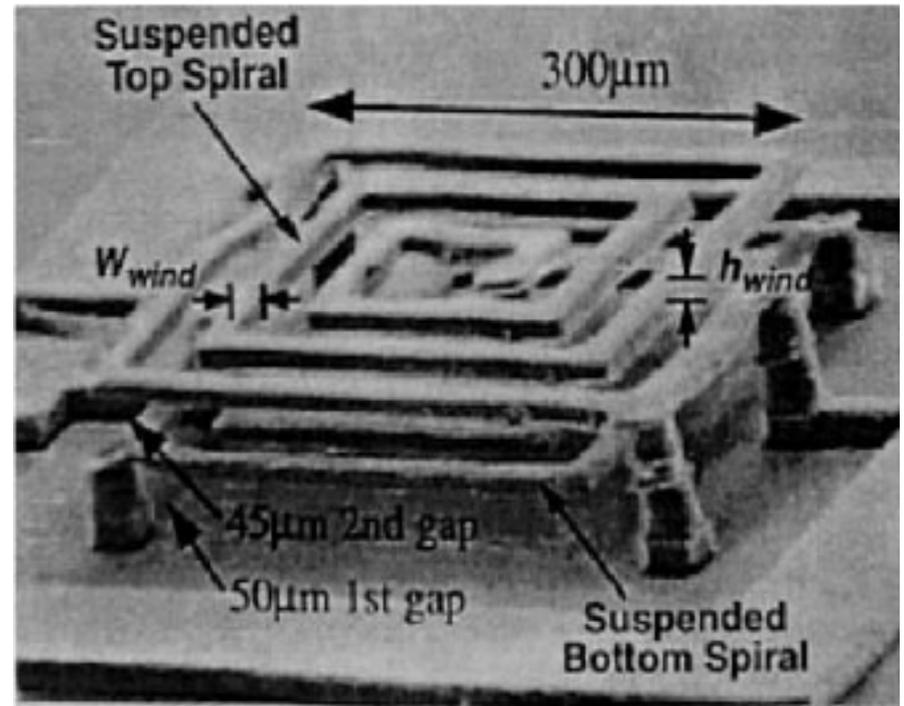
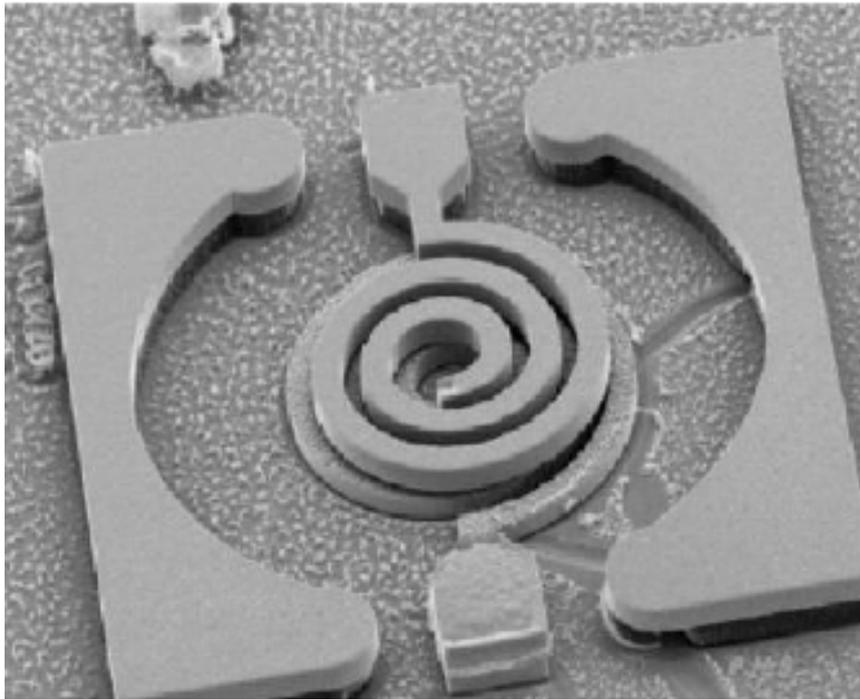
Anisotropic Wet Etching of Silicon



干法刻蚀

- 反应离子刻蚀 (RIE)
- 深反应离子刻蚀(DRIE)
- 耦合等离子体刻蚀(ICP)





MEMS 螺旋形电感和多层电感

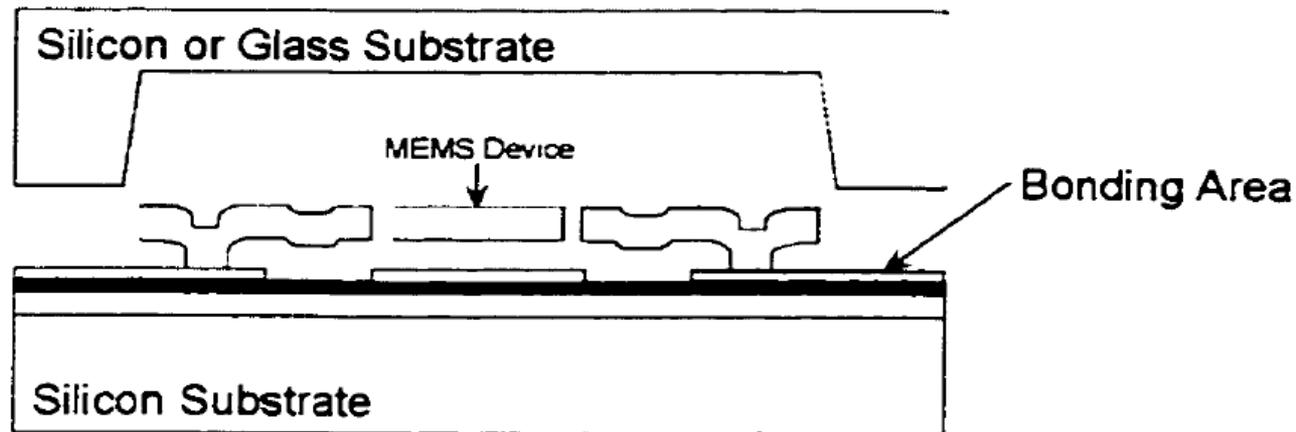
MEMS封装

封装是利用某种材料将芯片保护起来，并与外界隔离的方式和加工方法。

封装的作用

1. 具有保护和隔离作用
2. 为芯片提供合适的外引线结构
3. 为芯片提供散热和电磁屏蔽条件
4. 提高芯片的机械强度和抗外界冲击的能力

Cross Sectional View



MEMS封装

- 虽然MEMS封装的基本技术都是和微电子封装密切相关的，但是由于MEMS使用的广泛性，特殊性和复杂性，它的封装形状和微电子封装有着很大的差别。
- 对于微电来说，封装的功能是对芯片和引线等内部结构提供支持和保护，使之不受外部环境的干扰和腐蚀破坏；而对于MEMS封装来说，除了要具备以上功能以外，更重要的是MEMS器件要和测试环境之间形成一个接触界面而获取非电信号。

MEMS封装

- 外部环境对灵敏度极高的MEMS敏感元件来说都是非常苛刻的，它要有承受各方面环境影响的能力，比如机械（应力，摆动，冲击等）、化学（气体，温度，腐蚀介质等）、物理（温度压力，加速度等）等；
- 并且大部分MEMS器件都包含有可活动的元件；同时，由于MEMS器件体积小，因此都必须采用特殊的技术和封装。
- MEMS封装的难度和成本，成了MEMS封装技术发展的瓶颈，严重制约着MEMS的迅速发展和广泛应用。一般的MEMS封装比集成电路封装昂贵得多，仅封装成本就占总成本的70%甚至以上。

MEMS的应用

MEMS的应用领域

由于MEMS器件和系统具有体积小、重量轻、功耗小、成本低、可靠性高、性能优异、功能强大、可以批量生产等传统传感器无法比拟的优点，因此在航空、航天、汽车、生物医学、环境监测、军事以及几乎人们接触到的所有领域中都有着十分广阔的应用前景。

MEMS的应用领域

- 1、MEMS在空间科学上的应用
- 2、MEMS在军事国防上的应用
- 3、MEMS在汽车工业上的应用
- 4、MEMS在医疗和生物技术上的应用
- 5、MEMS在环境科学上的应用
- 6、MEMS在信息技术领域中的应用

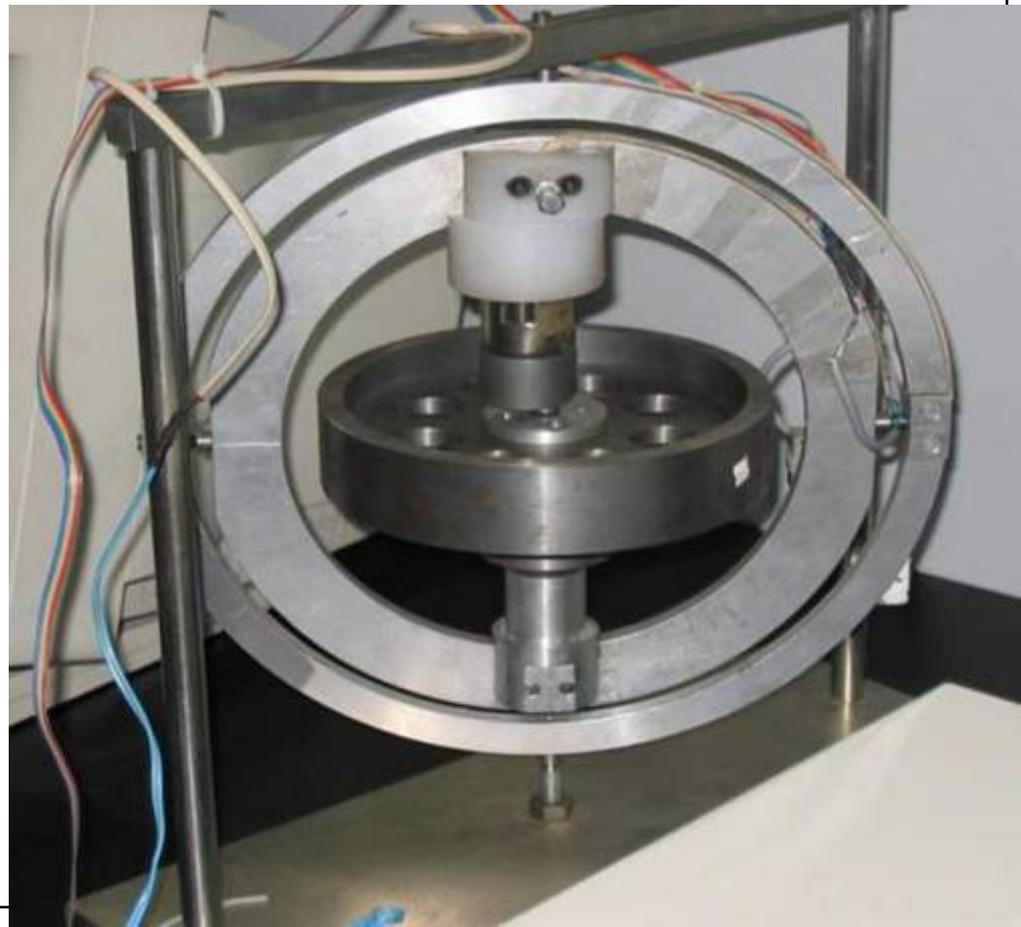
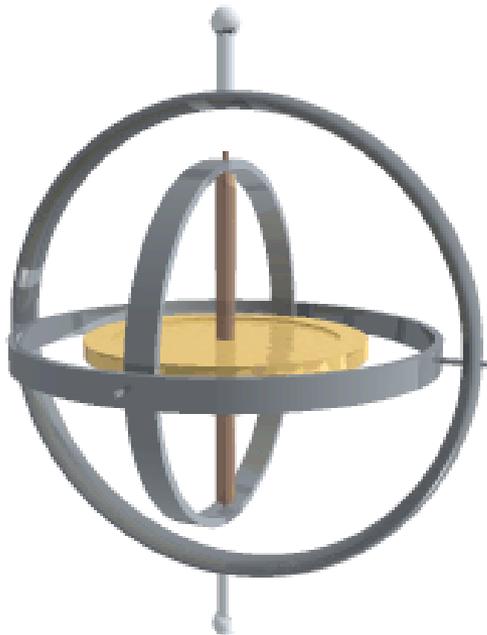
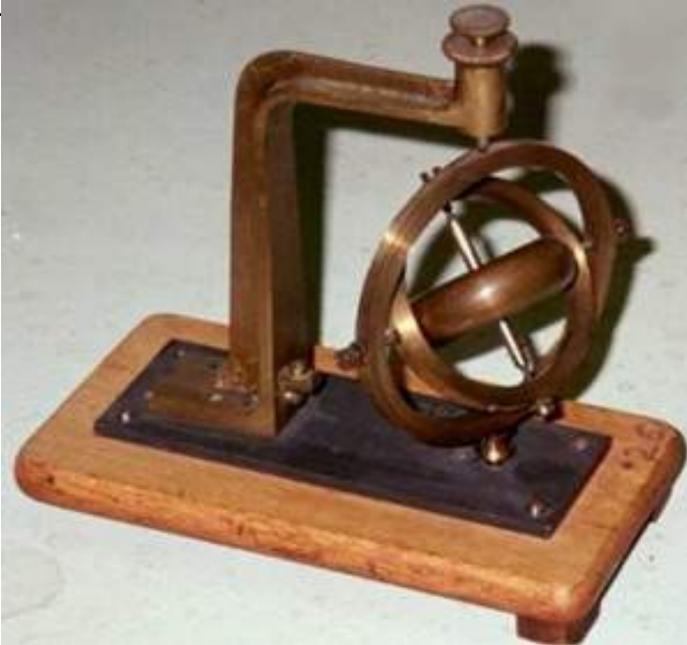
MEMS在导航、飞行器设计和微型卫星等方面有着重要应用。如：基于航空领域用的小卫星

采用体微加工技术制作的各种微泵、微阀、微镊子、微沟槽和微流量计等器件适合于操作

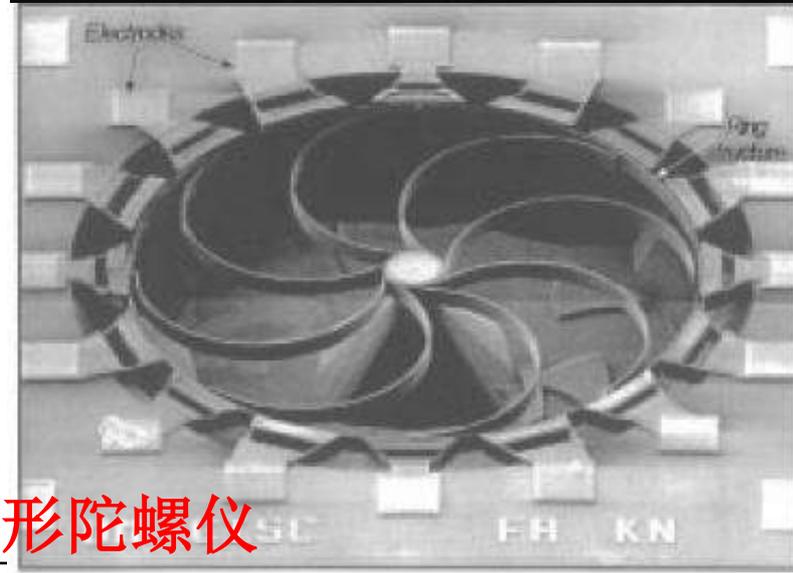
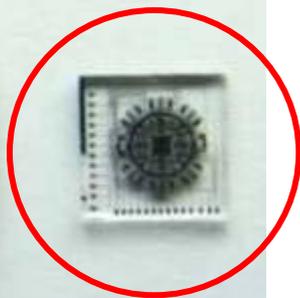
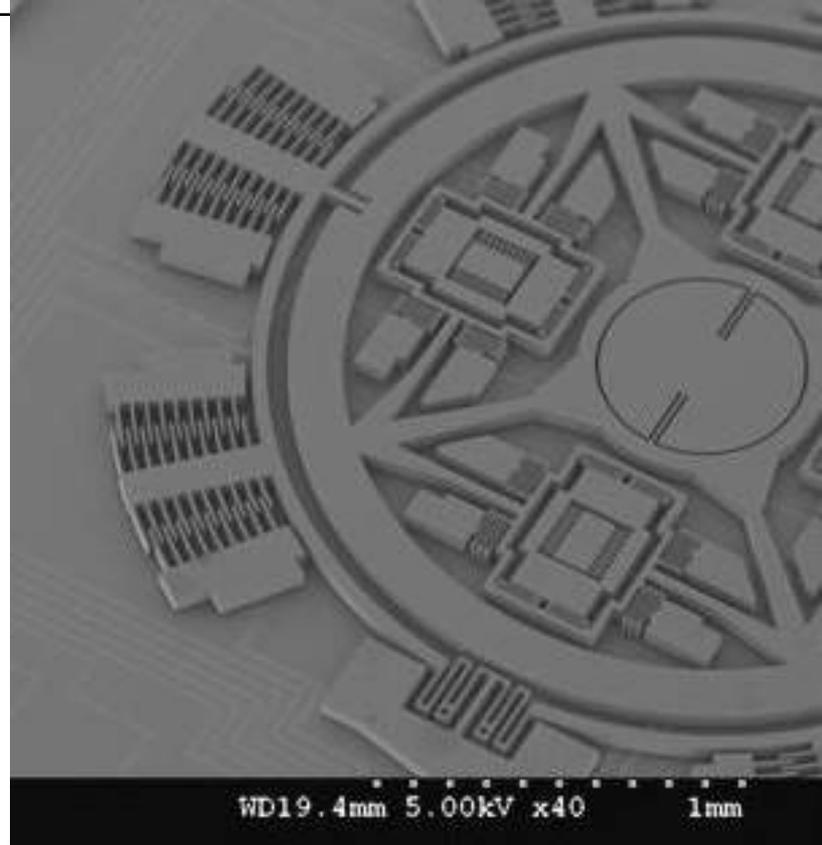
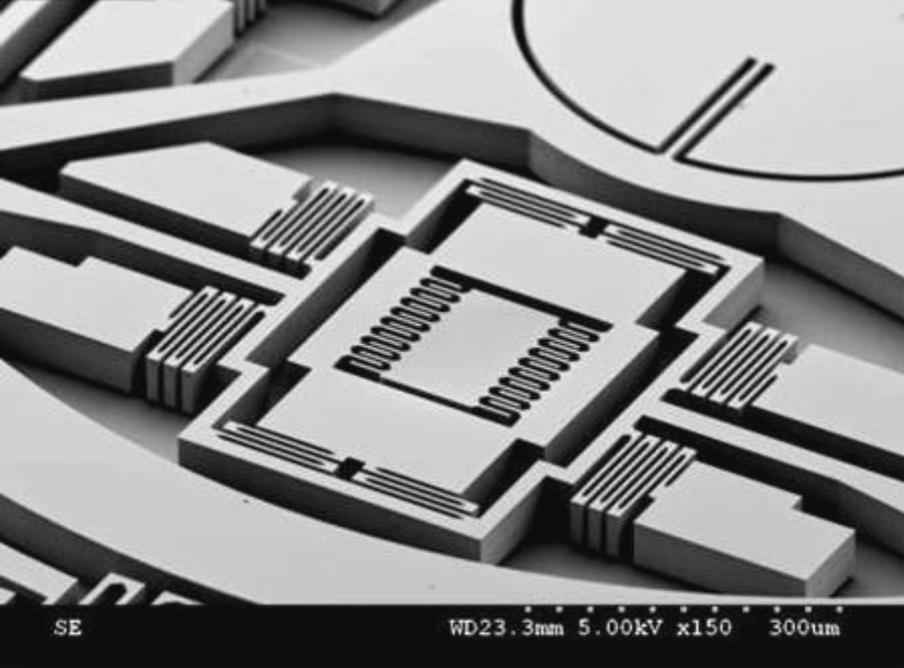
利用MEMS技术制造的微型仪器在环境检测、分析和处理方

MEMS技术的发展对信息技术产生了深远的影响。近年来，MEMS又逐渐向光通讯领域渗透，形成了由微光学、微电子学、微机械学和材料科学相结合的全新研究领域，即微光电子机械系统（MOEMS）。

传统的陀螺仪

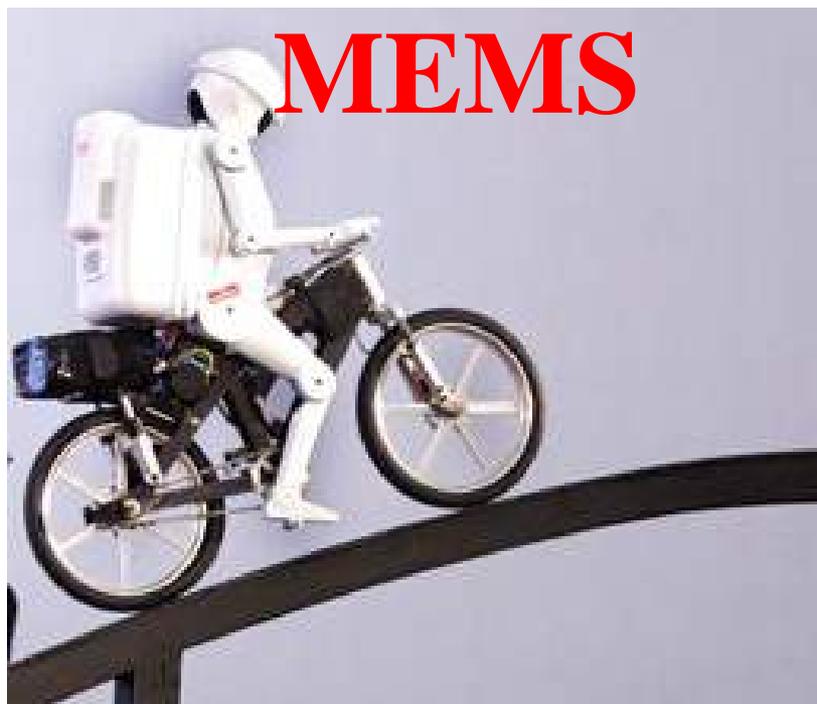


MEMS 陀螺仪



环形陀螺仪

陀螺仪的作用



独轮车上的陀螺仪

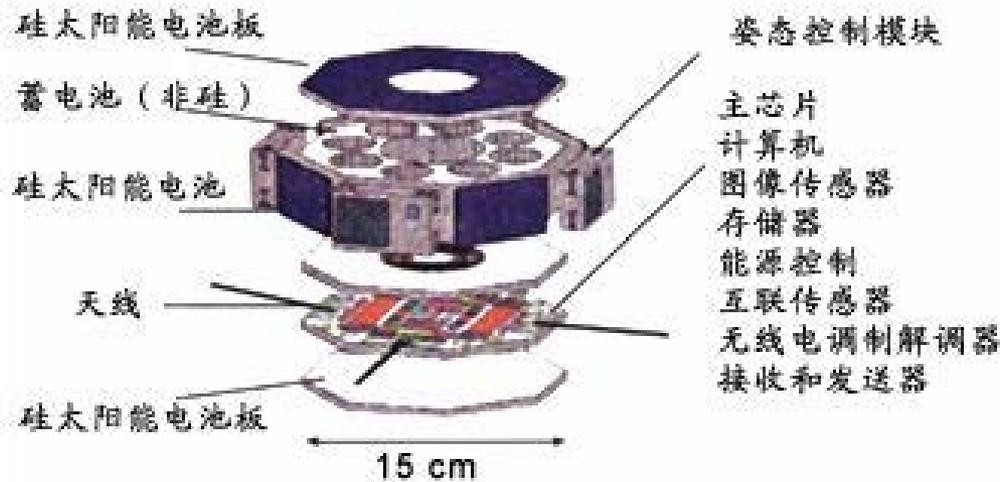


MEMS



航空航天中的应用

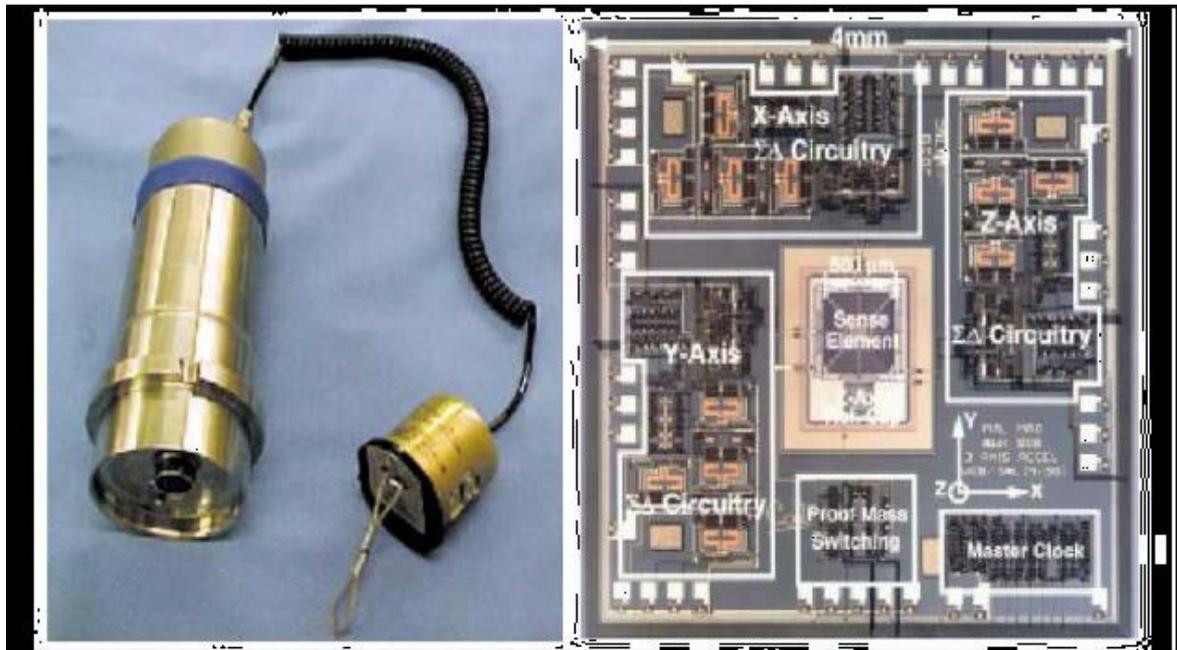
在 1995 年的国际会议上已有人正式提出研制全硅卫星的概念。即整个卫星由硅太阳能电池板、硅导航模块、硅通信模块等组合而成,这样可使整个卫星的质量缩小到以 kg 计算,从而使卫星的成本大幅度降低。



美国提出的硅固态卫星的概念图,这个卫星除了蓄电池外,全由硅片构成,直径仅15cm。

在军事上的应用

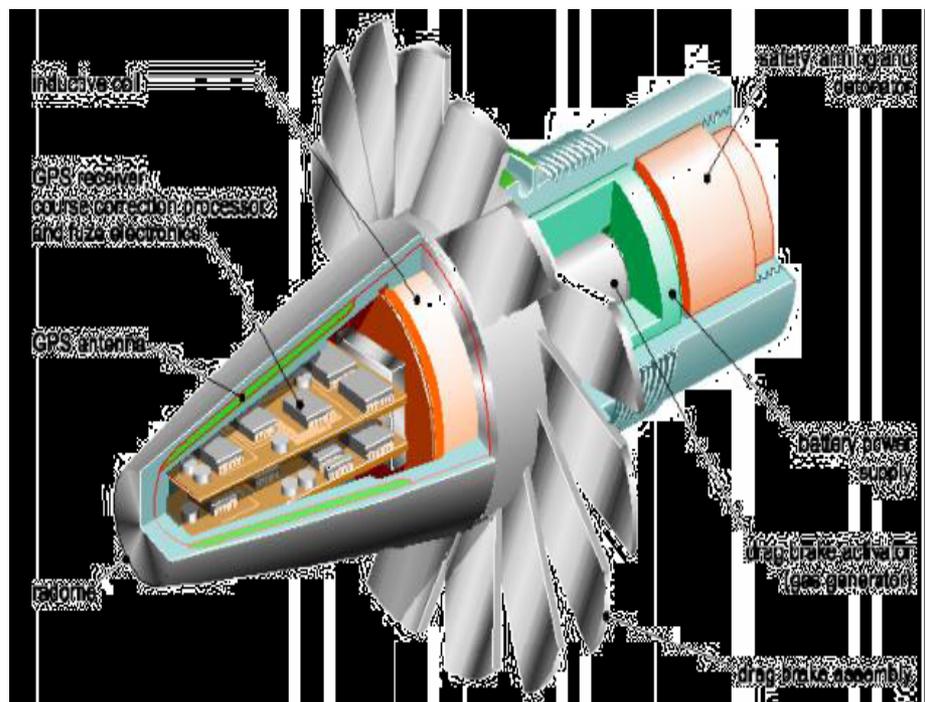
MEMS 技术在精确打击弹药引信中的应用



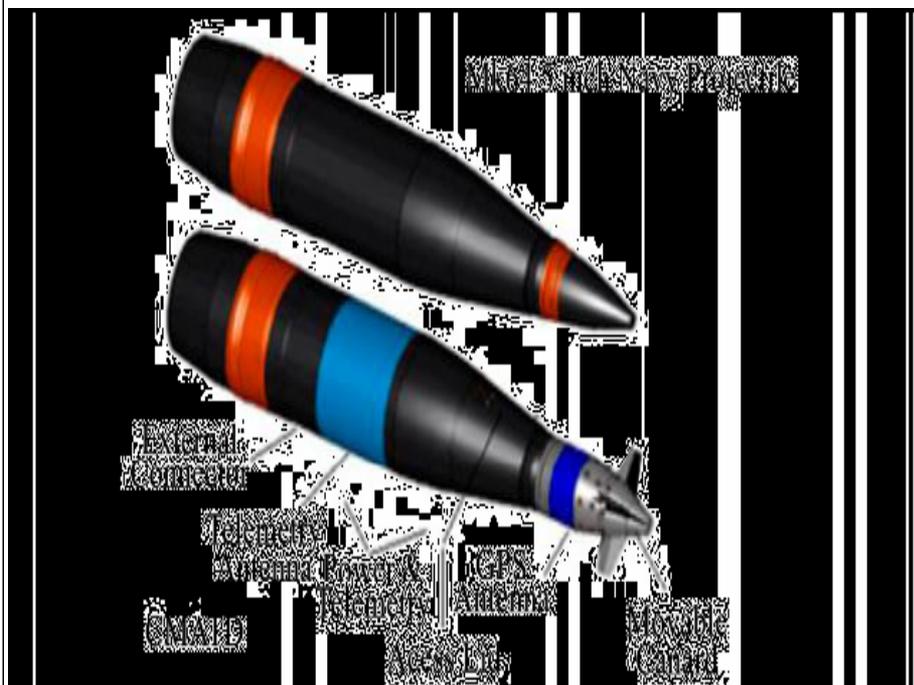
美国FMU2159/ B 硬目标侵彻灵巧引信及加速度计

在军事上的应用

MEMS 技术在灵巧弹药引信中的应用

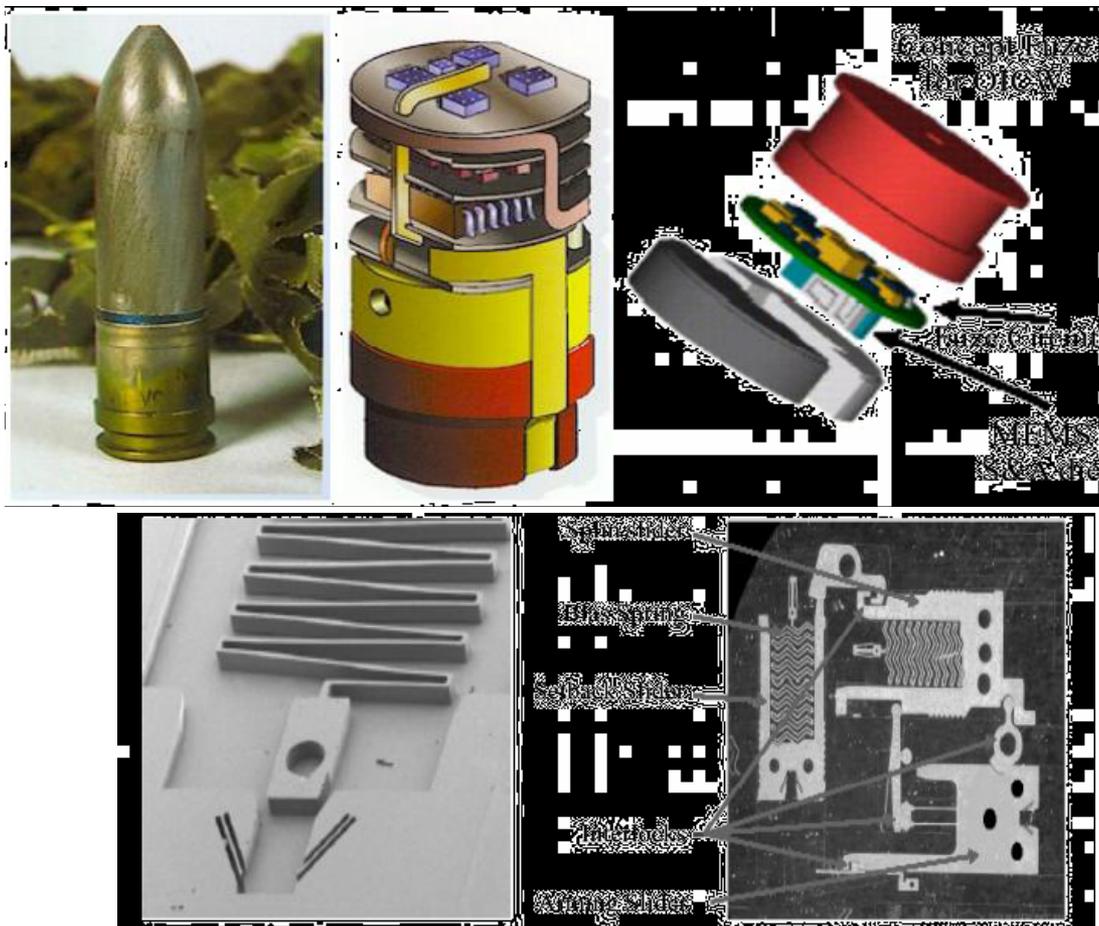


采用MEMS 技术的弹道修正引信



装有弹道修正引信的MK64 制导炮弹

MEMS 技术在轻武器面杀伤弹药引信中的应用



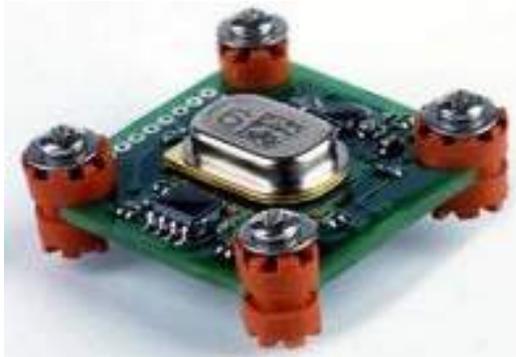
单兵20mm 高爆榴弹
微机电引信

MEMS 与“精确打击”

自海湾战争以来，美军越来越多地使用精确制导武器，实行战场上的精确打击。

为了提高命中精度，将惯性导航系统（陀螺仪）和GPS复合后作为制导技术。

GPS提供时间和定位数据，并校准陀螺仪；而陀螺仪提供飞行参数，在GPS信号中断期间进行导航。二者取长补短，提高导航精度。



MEMS

微型陀螺仪

制导炸弹



导弹采用GPS定位和**微型陀螺仪**制导，导弹发射后无需人工干预，可以自主飞行，具有多目标攻击能力。这是第四代制导炸弹优于激光制导炸弹的显著特点。

在汽车上的应用

MEMS传感器及其组成的微型惯性测量组合在汽车自动驾驶、汽车防撞气囊、汽车防抱死系统（ABS）、减震系统、防盗系统等。

- * 在汽车里作为加速表来控制碰撞时安全气囊防护系统的施用
- * 在汽车里作为陀螺来测定汽车倾斜，控制动态稳定控制系统
- * 在轮胎里作为压力传感器

GPS卫星导航

MEMS



因建筑物和植被等原因，GPS信号会出现中断。此时，由**微型陀螺仪**提供移动角度，结合车辆移动的时间及速度，可计算出方向和距离，以此检查移动车辆的行进路线，作为GPS的辅助导航，直到GPS信号恢复正常。



MEMS陀螺仪

生物医疗和医学上的应用

微机械技术在生物医疗中的应用尤其令人惊叹。

- 将微型传感器用口服或皮下注射法送入人体,就可对体内的五脏六腑进行直接有效的监测。
- 将特制的微型机器人送入人体,可刮去导致心脏病的油脂沉积物,除去体内的胆固醇,可探测和清除人体内的癌细胞。
- 进行视网膜开刀时,大夫可将遥控机器人放入眼球内。
- MEMS在细胞操作、细胞融合、精细外科、血管、肠道内自动送药等方面应用甚广。

生物医疗和医学上的应用

- MEMS的微小（可进入很小的器官和组织）和智能（能自动地进行细微精确的操作）的特点,可大大提高介入治疗的精度,直接进入相应病变地进行工作,降低手术风险。
- 可进行基因分析和遗传诊断。
- 利用微加工技术制造各种微泵、微阀、微摄子、微沟槽、微器皿和微流量计的器件适合于操作生物细胞和生物大分子。
- 微机械在现代医疗技术中的应用潜力巨大,为人类最后征服各种绝症延长寿命带来了希望。

OMOM智能胶囊消化道内窥镜系统（简称“胶囊内镜”）

● 金山科技集团研制的胶囊内镜

“胶囊内镜”是集图像处理、信息通讯、光电工程、生物医学等多学科技术为一体的典型的微机电系统（MEMS）高科技产品，由智能胶囊、图像记录仪、手持无线监视仪、影像分析处理软件等组成。

操作简单
安全卫生
扩展视野
方便自如

工作时间：8小时左右
视角度：140度
视距：3cm
分辨力：0.1mm
体积：13mm × 27.9mm
重量：<6g
外壳：无毒耐酸耐碱高分子材料



图象记录仪



微射流MEMS技术应用于糖尿病治疗

一次性胰岛素注射泵融合了Debiotech的胰岛素输注系统技术和微射流MEMS芯片的量产能力。

纳米泵的尺寸只有现有胰岛素泵的四分之一。

微射流技术还能更好地控制胰岛素液的注射量，更精确地模仿胰岛自然分泌胰岛素的过程，同时还能检测泵可能发生的故障，更好地保护患者的安全，成本非常低廉。

胰岛素注射泵疗法或者连续皮下注射胰岛素（CSII）可以替代一天必须输注几次的单次胰岛素注射法。



监测室内环境（温度、湿度、光照度、悬浮物、有害气体）

方法三：100元的**多功能智能传感器** × 1件



由众多低成本、低功耗的微型传感器组成传感器网络，全方位地进行监测。

“无线传感器网络” 由此孕育而生



无线传感器网络

传感技术

MEMS

通信技术