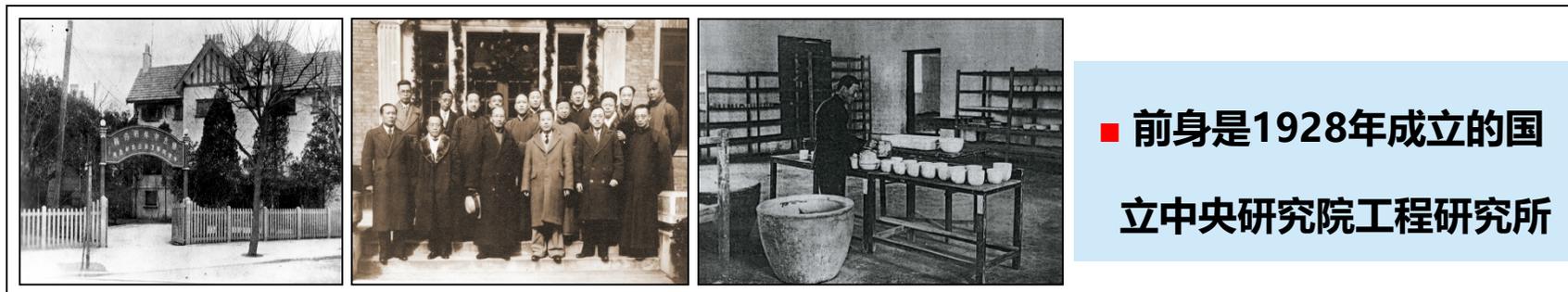


# 智能家居与电器用先进传感器

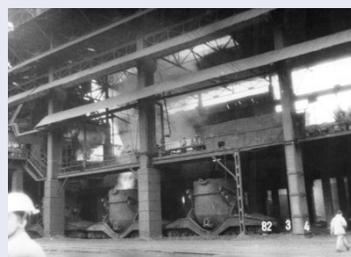
于海涛 研究员、李昕欣 研究员 副总工程师

中国科学院上海微系统与信息技术研究所  
传感技术国家重点实验室

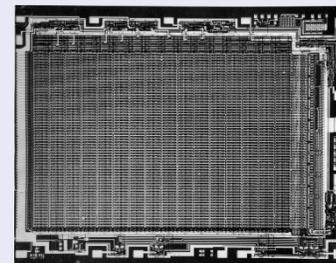
# 中科院上海微系统与信息技术研究所简介



**建所之初：**陶瓷、冶金、玻璃制造，实业救国



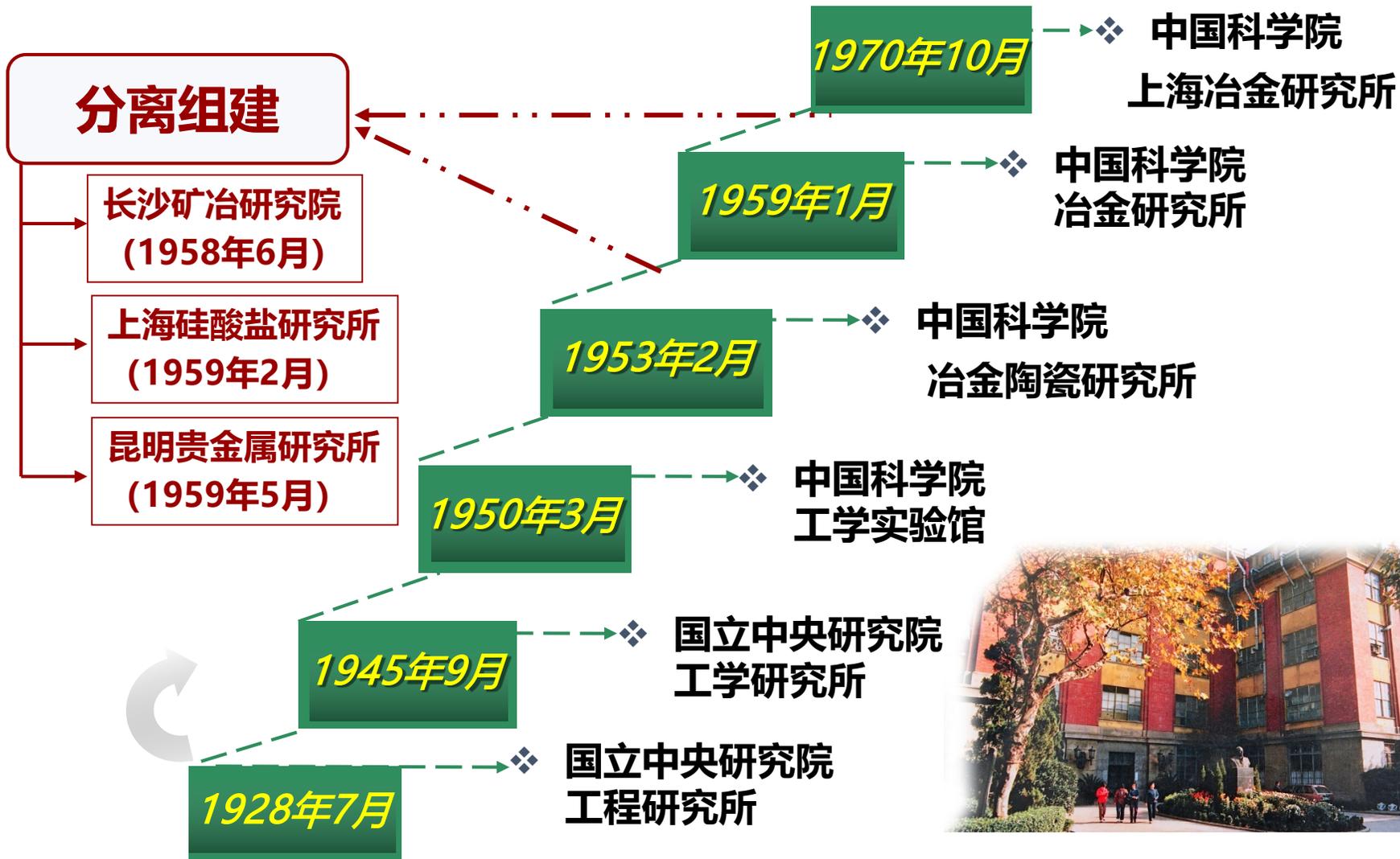
**五六十年代：**钢铁、有色金属、陶瓷、耐火材料



**七八十年代：**半导体、超导材料、磁性材料

**主题：**围绕国家经济建设，及时调整学科方向

# 名称的六次更迭



# 战略转型



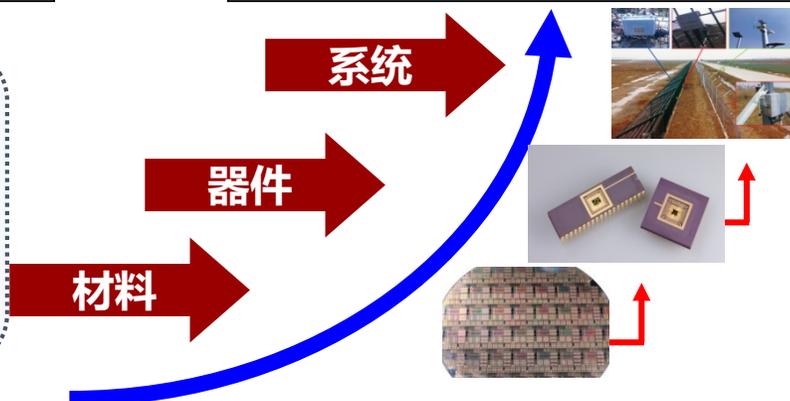
1997年，时任上海冶金所所长的江绵恒同志审时度势，与所领导班子一起，通过对国家战略需求的深入分析，结合多年积累的技术优势，实施了建所以来最大规模的一次学科方向调整。

微电子学、信息功能材料、腐蚀与防护研究



■ 电子科学与技术  
■ 信息与通信工程

2001年8月，由“中科院上海冶金研究所”第七次更名为“中科院上海微系统与信息技术研究所”



## 学科布局

### 八个研究室

传感技术、信息功能材料、太赫兹固态技术、微系统技术、宽带无线、新能源、超导、仿生视觉

### 一个卓越创新中心

超导电子学

### 三个国家级重点实验室

传感技术、信息功能材料、微系统技术

### 两个中科院重点实验室

无线传感网与通信、太赫兹固态技术

# 传感技术国家重点实验室



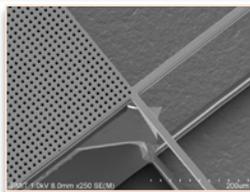
我国传感技术领域最早建立的国家重点实验室

主要研究以微电子技术和微纳加工技术为基础的微纳传感器及微系统

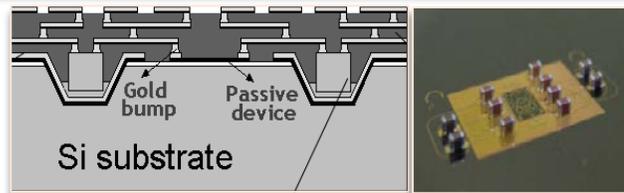
在传感技术领域具备国际影响力和国内引领作用

# 实验室技术平台

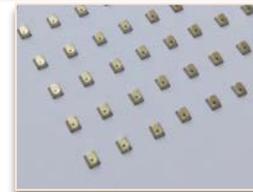
- ④ 拥有1200多平方米净化间、设备88台套、设备总值近1.5亿元
- ④ 集芯片加工、封装、测试完整能力于一体的平台，实力国际一流
- ④ 支撑了传感器专利技术向企业转让的全链条服务 “交钥匙工程”



传感芯片



传感封装：三维高密度封装技术



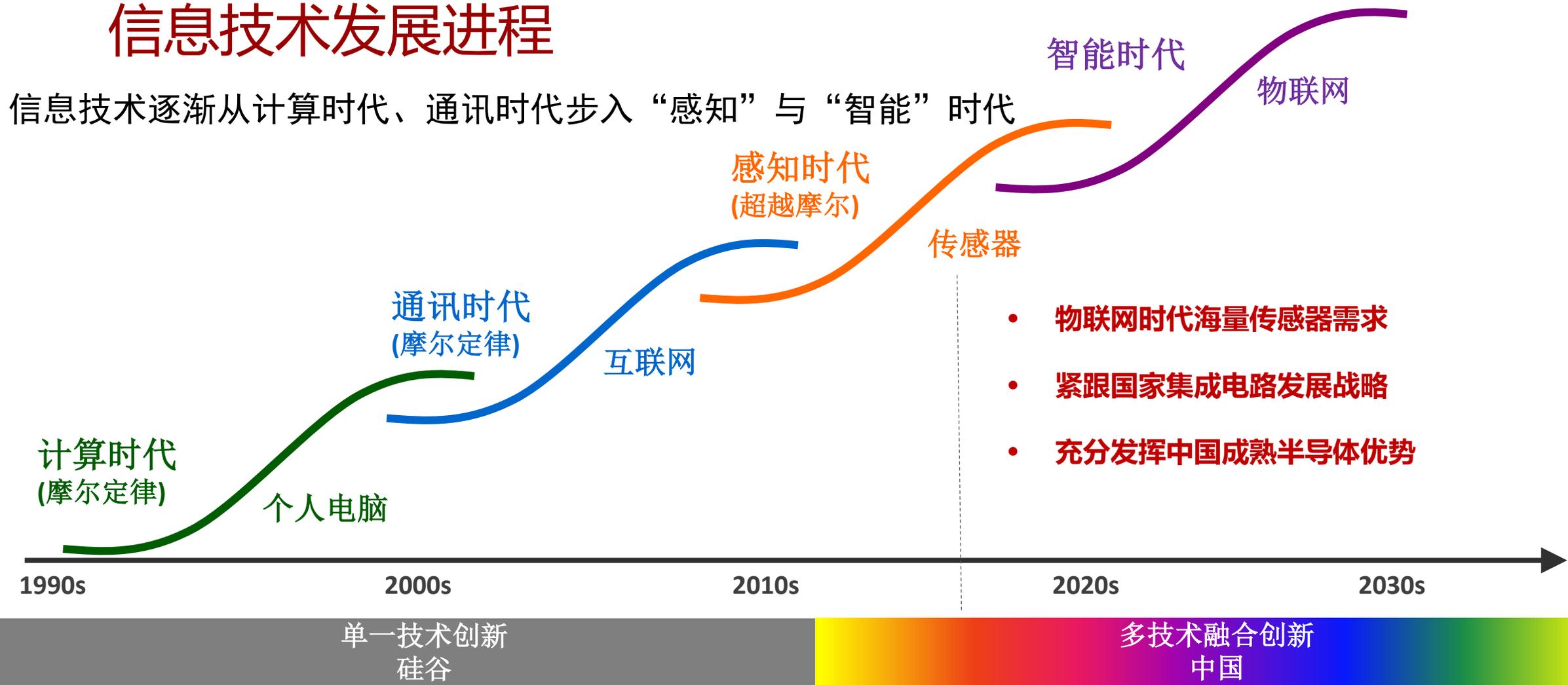
传感测试



# 传感器发展态势分析（国内外现状）

## 信息技术发展进程

信息技术逐渐从计算时代、通讯时代步入“感知”与“智能”时代



# 传感器市场巨大，机遇与挑战并存

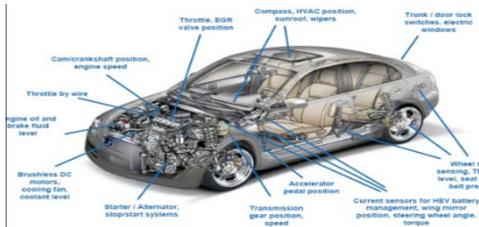
传感技术是基础性、关键性和战略性高新技术，在先进制造、航天国防、资源环境、健康医药、智慧地球和物联网等众多领域，**都有广泛的重大需求。**

千亿  
物联网

千万  
汽车

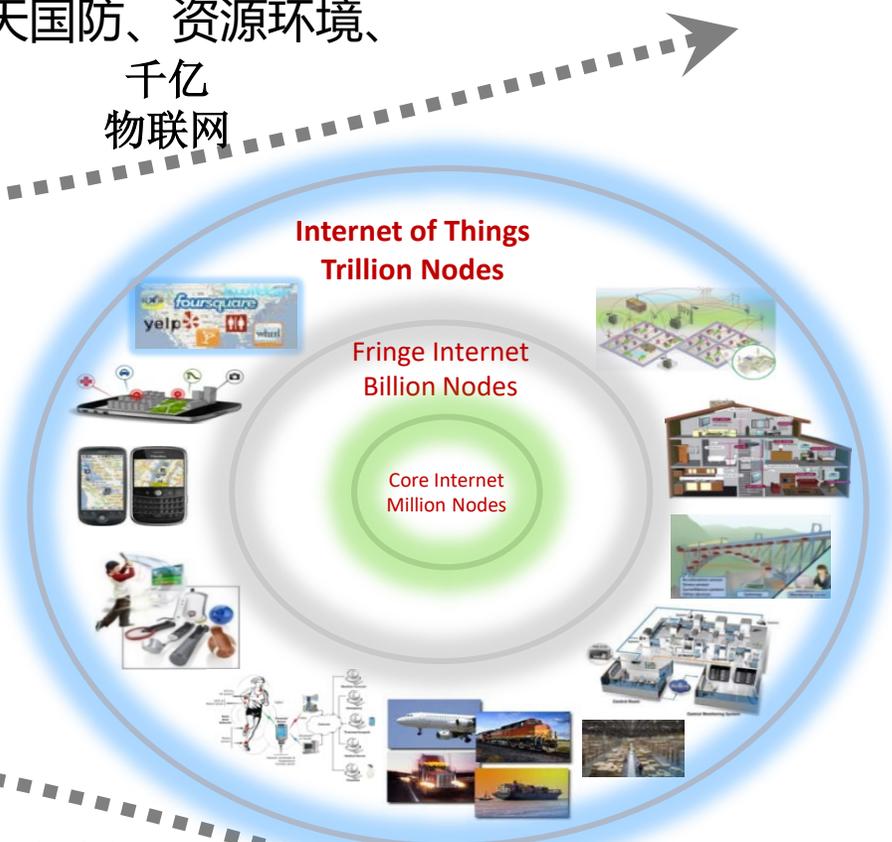
十亿  
手机

可穿戴



中国是全球最大的汽车和手机市场  
目前传感器产品主要依赖于进口

物联网的开始



智能家居  
智能医疗  
智能城市  
智能物流  
智能环保  
智能交通  
智能农业  
智能机器人

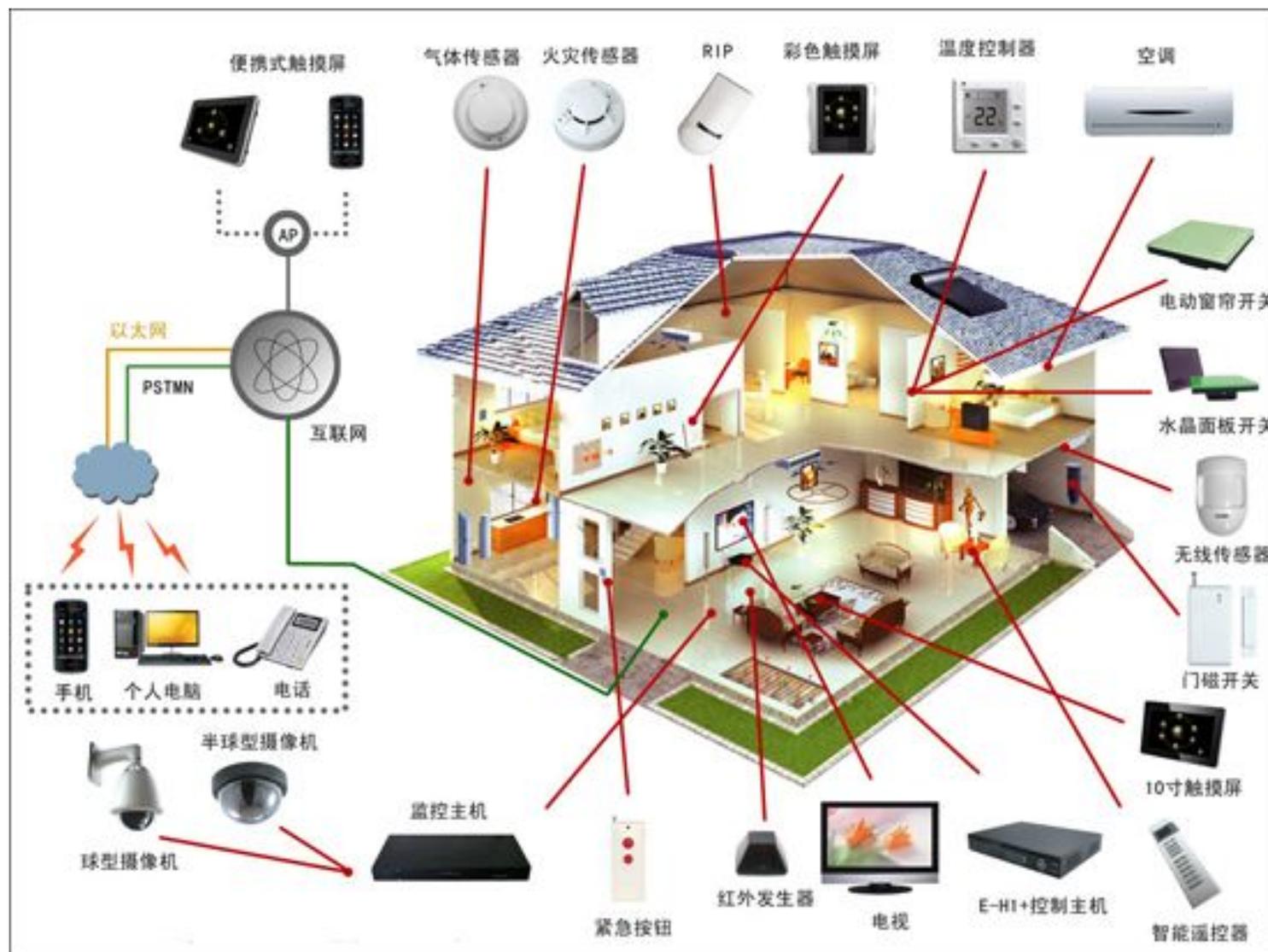
# 传感器

- 加速度计
- 陀螺仪
- 磁传感器
- 压力传感器
- 温湿度传感器
- 流体传感器
- 红外图像仪
- 微镜光机
- 氧传感器
- 爆震传感器
- 光传感器

- 3轴加速度计
- 3轴磁传感器
- 3轴陀螺仪
- 硅麦克风
- 近距离环境光
- 射频MEMS
- 压力传感器
- 超声传感器
- 红外夜视仪
- 微投影仪
- 生化/环境传感器

- 加速度计
- 陀螺仪
- 压力传感器
- 温湿度传感器
- 紫外线传感器
- 气体传感器
- 血压传感器
- 心电传感器
- 体温传感器
- 脑电波传感器

# 智能家居、家电市场对传感器有巨大需求



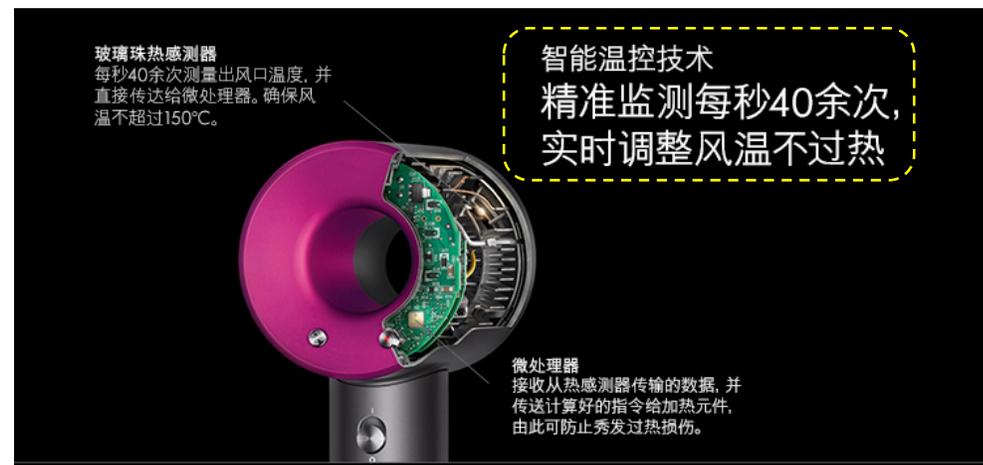
## 传感器对于智能家居与家电的重要性



普通电吹风  
售价：100 元



戴森电吹风  
售价：3000 元



智能化微型温度传感器

传感器扩展了商品的性能，提升了价值

# 传感器对于智能家居与家电的重要性

智能家居与家电上集成的智能化和微型化传感器种类和数量越来越多



# 智能家居/家电与传统家居/家电区别



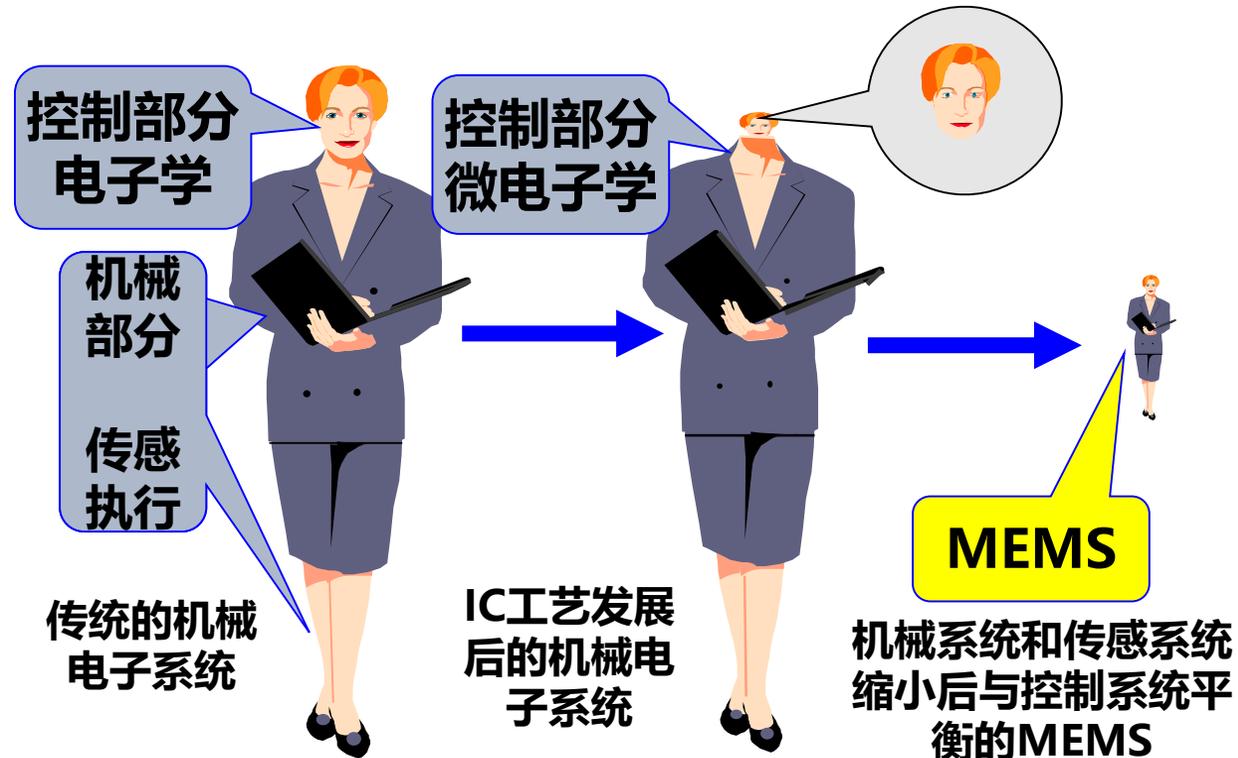
关键区别之一就是智能化和微型化的传感器

## 智能化和微型化的传感器从哪里来



# 什么是MEMS

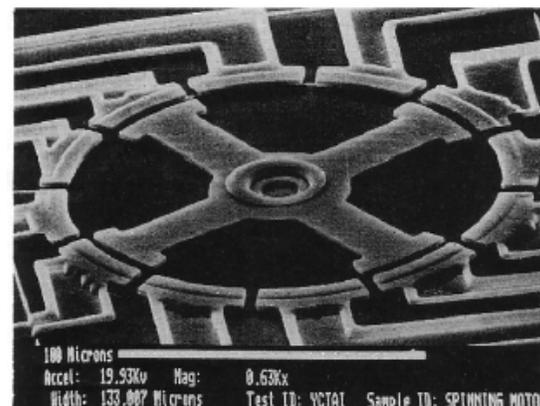
**MEMS (Micro Electro-Machanical System, 微机电系统)**是半导体制造技术为基础发展起来的一种先进的制造技术平台，是一种利用**传统的半导体IC工艺和材料**，用**微米技术**在芯片上制造**微型机械**，并将其**与对应电路集成为一个整体的技术**



## MEMS的开端

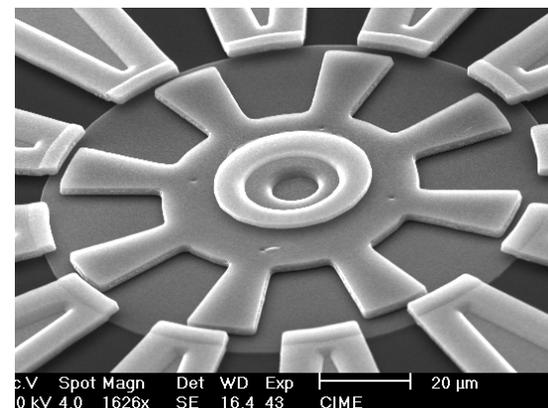
**1987年，微机电研究真正兴起**

**标志：加州大学伯克利分校研制成功了直径为 $10\mu\text{m}$ 的硅微马达**



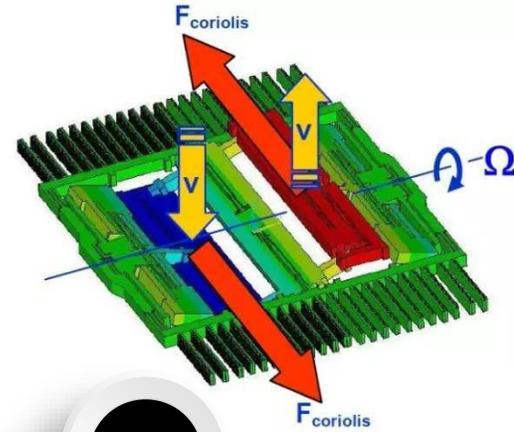
**第一台静电微马达**

**1988年，伯克利分校科研人员为直径约 $120\mu\text{m}$ 的静电马达通电并成功使其运转**



**世界上第一个微电机 (1988)  
12个固定电极、8个转子电极**

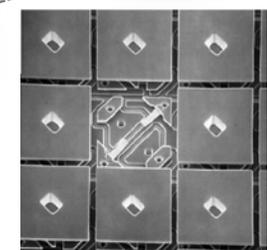
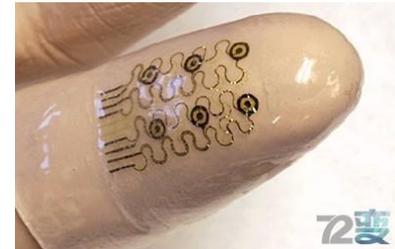
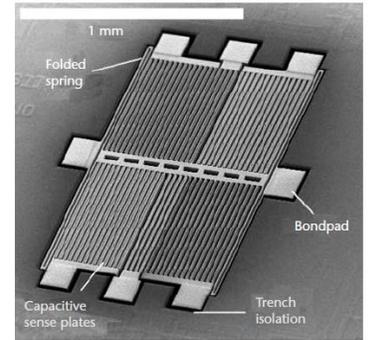
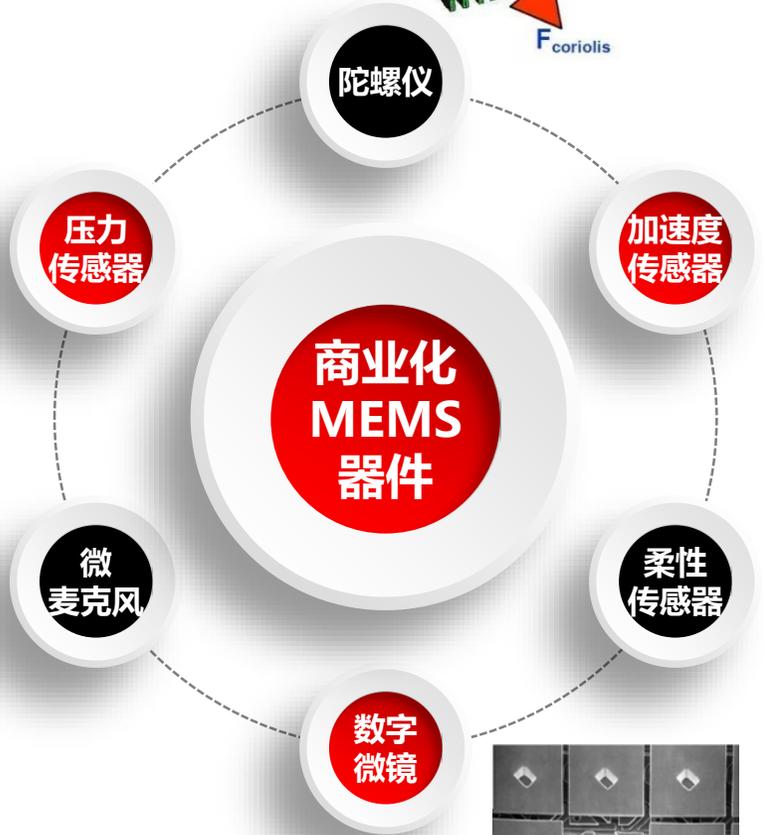
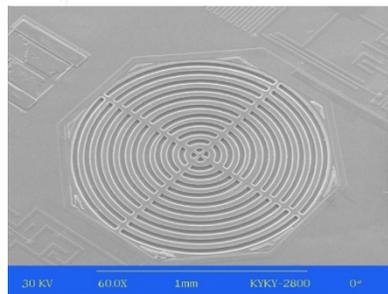
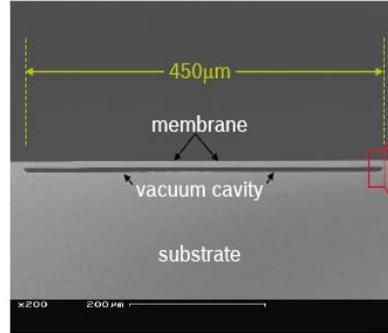
# 典型MEMS器件



传感器

执行器

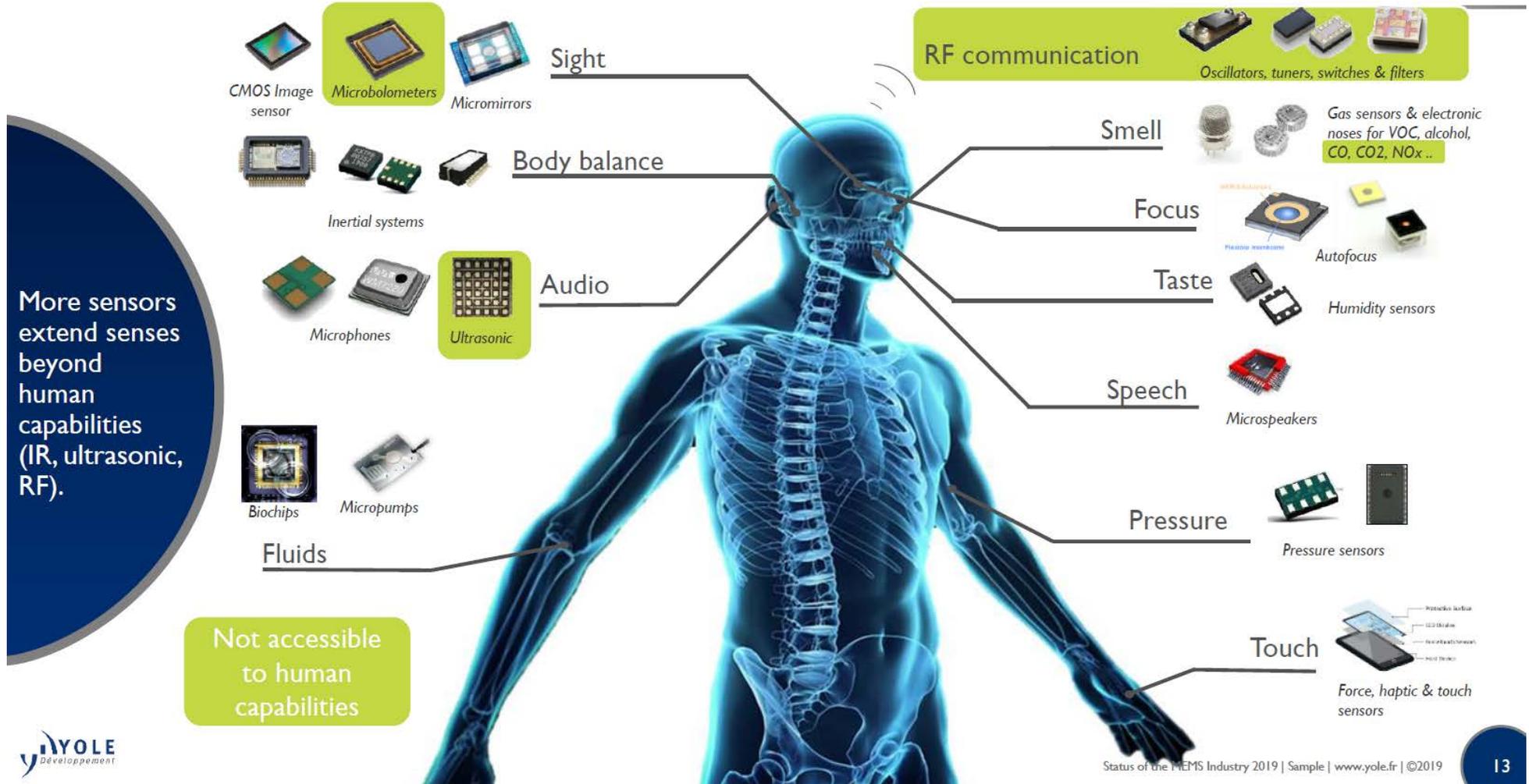
- MEMS 物理传感器
  - MEMS 力学传感器
    - MEMS 加速度计
    - MEMS 角速度计 (陀螺仪)
    - MEMS 惯性测量组合
    - MEMS 压力传感器
    - MEMS 流量传感器
    - MEMS 位移传感器
    - MEMS 电场传感器
  - MEMS 电学传感器
    - MEMS 电场强度传感器
    - MEMS 电流传感器
    - MEMS 磁通传感器
    - MEMS 磁通强度传感器
  - MEMS 磁学传感器
    - MEMS 温度传感器
  - MEMS 热学传感器
    - MEMS 热流传感器
    - MEMS 热导率传感器
  - MEMS 光学传感器
    - MEMS 红外传感器
    - MEMS 可见光传感器
    - MEMS 激光传感器
    - MEMS 噪声传感器
  - MEMS 声学传感器
    - MEMS 声表面波传感器
    - MEMS 超声波传感器
- MEMS 化学传感器
  - MEMS 气体传感器
    - 可燃性气体传感器
    - 毒性气体传感器
    - 大气污染气体传感器
    - 汽车用传感器
  - MEMS 湿度传感器
  - MEMS 离子传感器
    - MEMS pH 传感器
    - MEMS 离子浓度传感器
- MEMS 生物传感器
  - MEMS 生理量传感
    - MEMS 生物浓度传感器
    - MEMS 血糖传感器
  - MEMS 生化量传感



MEMS传感器种类繁多

# 典型MEMS器件

## MEMS SENSORS & ACTUATORS: THE 5 SENSES AND MANY MORE



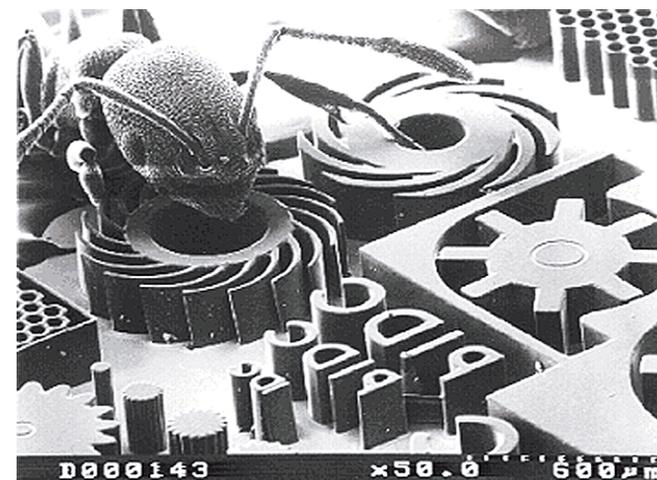
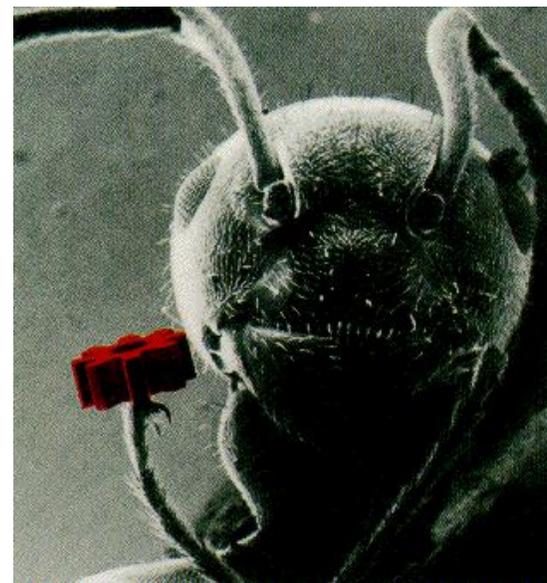
MEMS传感器已可以实现包括人类的五感在内的各种感知，且能力远超人类

# MEMS的特点

## 1. 微型化

MEMS器件体积小、重量轻、能耗低、灵敏度高、响应时间短。

- 因为惯性质量小，小的系统比大的系统**移动更迅速**
- 小器件的小尺寸所面临的**热变形**和**振动问题**会更小
- 小系统具有**更精确的性能**



# MEMS的特点

## 2. 制造材料性能稳定

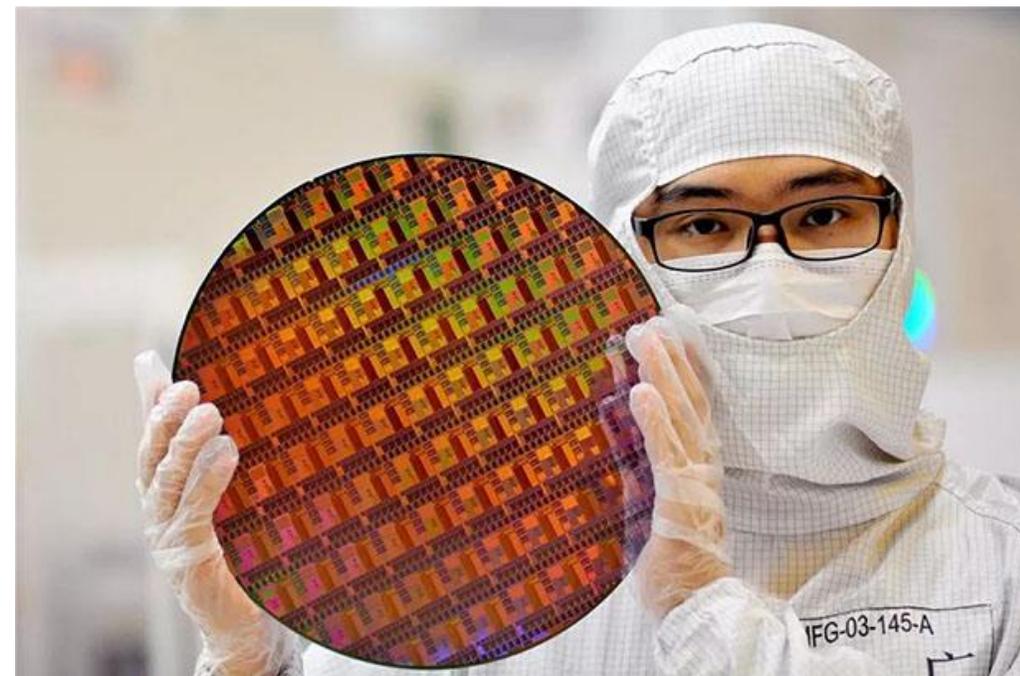
**主要材料：硅**

**优点：纯度高：99.9999999%以上**  
**强度、硬度、杨氏模量：与铁相当**  
**密度：近似铝**

**其他材料：石英，砷化镓——基底材料**

**玻璃、塑料和金属——封装材料**

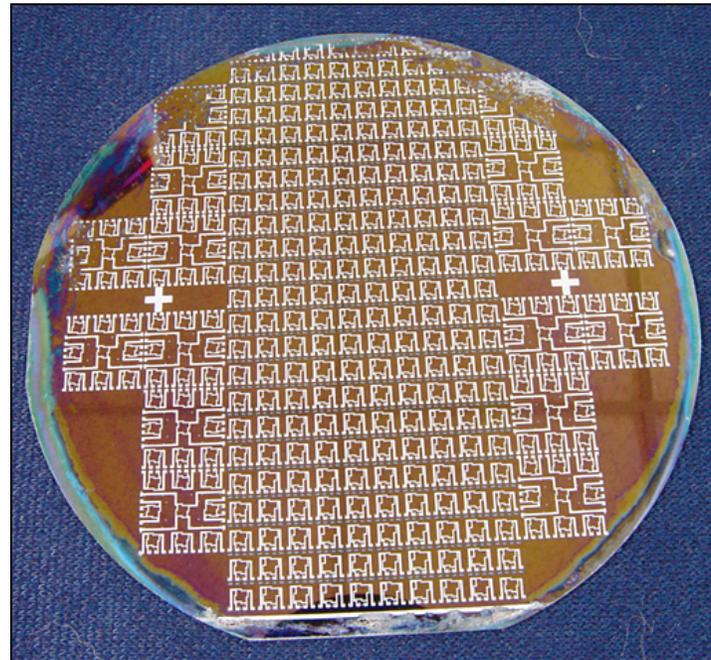
**聚合物、金属材料——微系统制作**



## MEMS的特点

### 3. 批量化生产

用硅微加工工艺在一片硅片上可同时制造成百上千个MEMS元器件，批量生产可大大降低生产成本。



在一片硅圆片上可以制作成百上千个传感元件

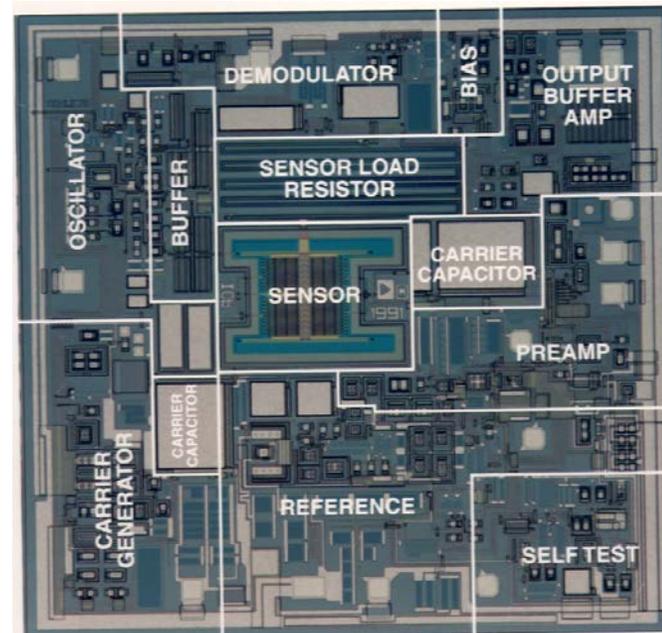
## MEMS的特点

### 4. 集成化程度高

不同功能、敏感方向、致动方向的多个传感器或执行器可以集成于一体，CMOS电路也可同芯片集成，单芯片形成复杂的微系统。

集成了传感器、缓冲器、振荡器、解调器、信号发生器、载波电容器等。

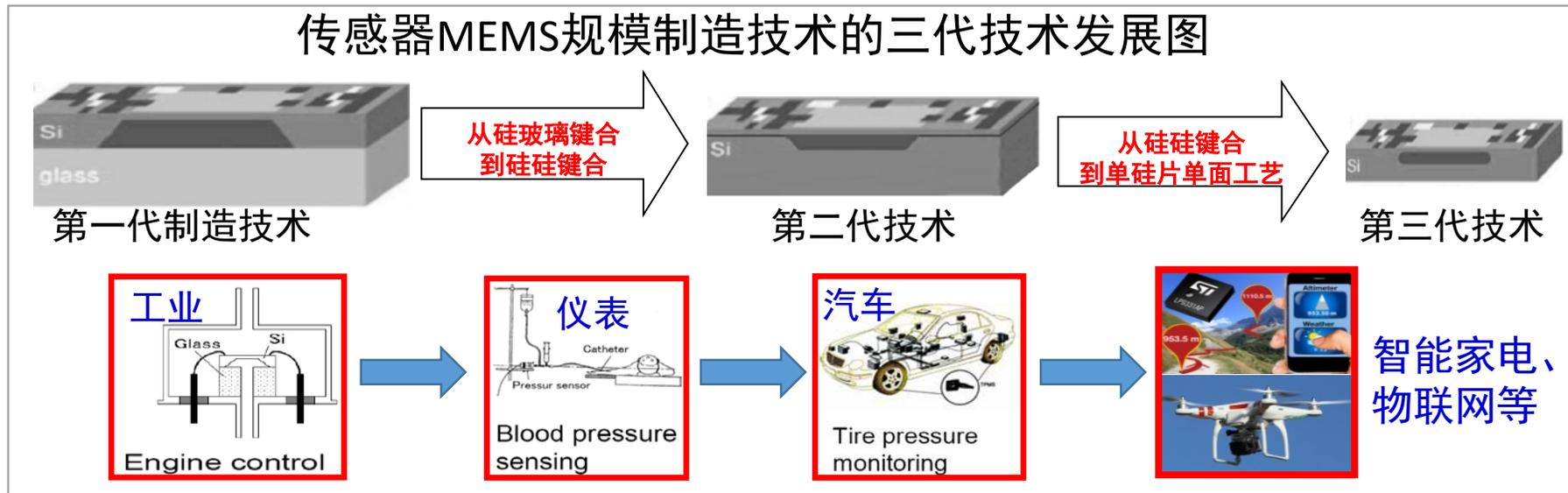
MEMS传感器的这些特点契合智能家居、家电对传感器智能化微型化的要求，同时在成本、性能方面与传统传感器相比具备优势，但MEMS传感器在智能家居家电领域的应用亟待开发



ADI公司生产的微加速度计MEMS芯片

# “微创手术” 工艺

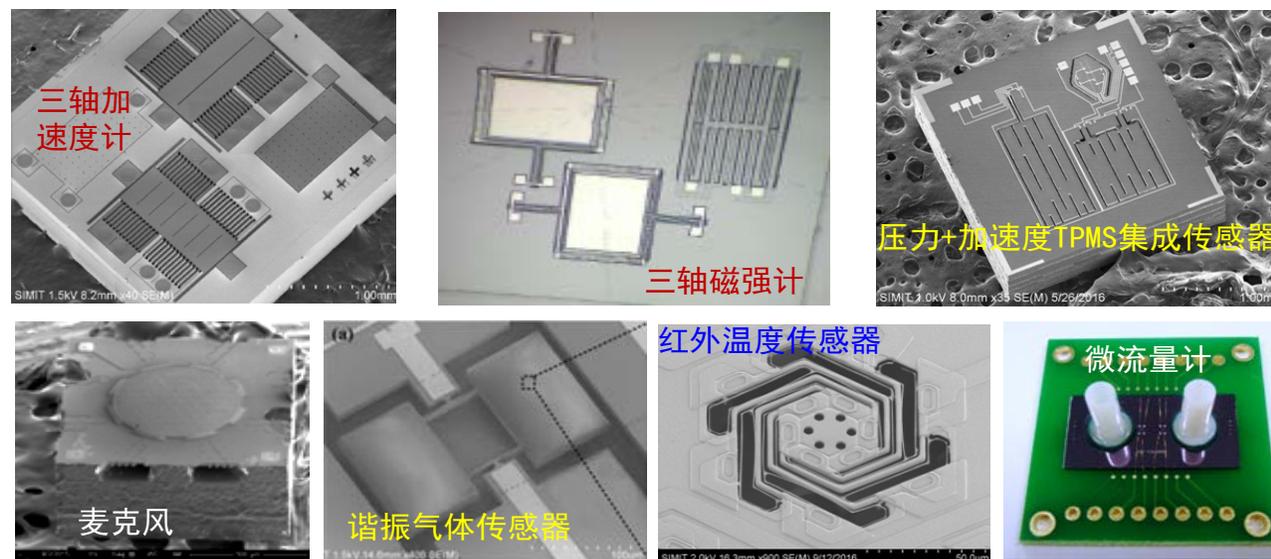
MEMS制造是先进传感器核心基础技术，决定传感器产业水平



- 基于（111）硅片，发明了单硅片单面加工的MIS工艺方法，与IC foundry制造方式兼容，与国际先进企业追求的第三代MEMS技术不谋而合
- 解决了我国独立自主产权的第三代工艺“有无”问题
- 利用该工艺可以制备多种传感器件

## 基于“微创手术”工艺的系列传感器

系列专利转让给高科技传感器企业，成果向产业界转化落地

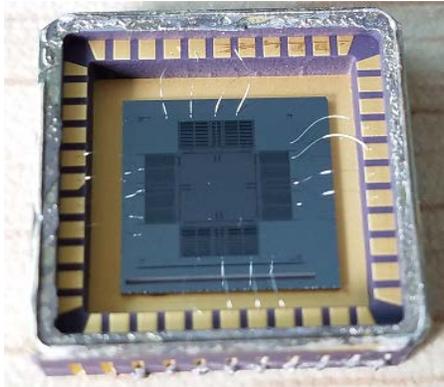


1. **X/Z 双轴加速度与压力传感单片**集成为新一代汽车TPMS 传感器，面向车联网应用；
2. **高度计气压传感器**经用户测试，与iPhone 用Bosch 的BMP-280 产品品质相同，但性价比优势显著；
3. 新研制超微型单晶硅**红外热堆传感器**响应率比国际平均水平高约一个量级且尺寸减小数倍；
4. 新研制单面加工**微麦克风**无需传统背面刻蚀，显著降低成本；
5. 新研制**超微型压力传感器**芯片尺寸0.4mm×0.4mm，国际独步；
6. 新研制基于p+Si/metal的热电堆式**气体质量流量传感器**，灵敏度国际领先。

## 高精度数字式MEMS惯性传感器

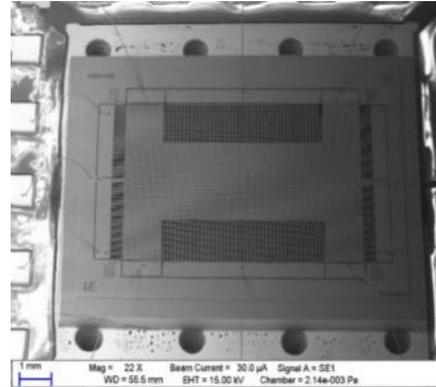
- 基于全数字式闭环接口电路开发了高精度数字式惯性传感器，在精度、可靠性、温度等方面取得了技术突破，并开展重要应用。
- 增加研制了无磁性材料的磁强计，下一步将推出集成的9轴Combo。
- 可用于扫地机、手机、无人机、可穿戴设备等。

MEMS陀螺 (数字式)



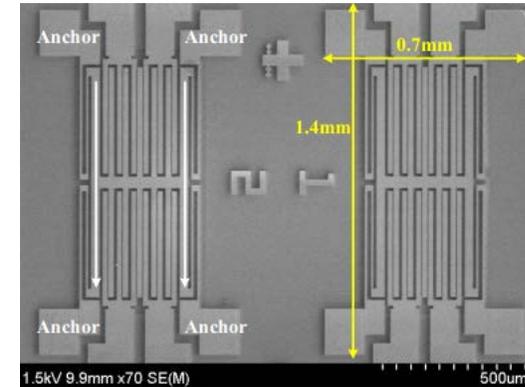
- 量程600 °/s;
- 零偏漂移1.3 °/h (导航级);
- 非线性度0.046%;
- 分辨率: 3.1 m °/s/√Hz
- 温度范围: [-20 °C, 80 °C]

MEMS加速度计 (数字式)



- 量程± 20 g
- 零偏漂移0.5 mg
- 全温零偏重复性4 mg
- 分辨率:0.1 mg
- 温度范围: [-20 °C, 80 °C]

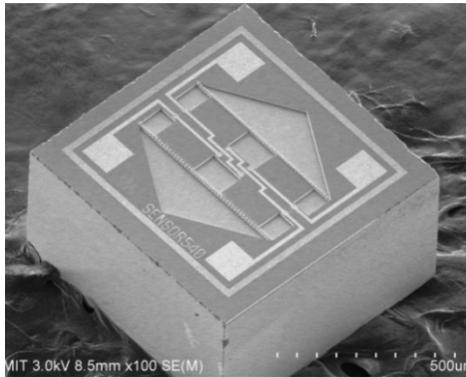
MEMS磁强计 (数字式)



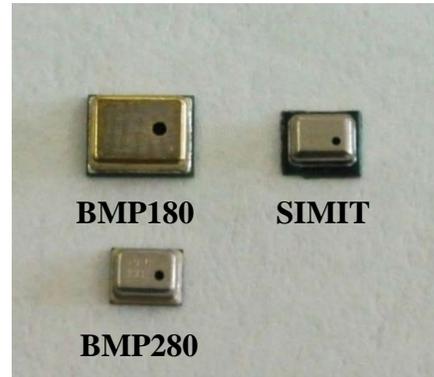
- 量程400 mT
- 零偏漂移0.6 mT
- 启动稳定时间: <1s
- 方位指向分辨率: 1°
- 带宽: 80 Hz

## 高精度微型气压传感器

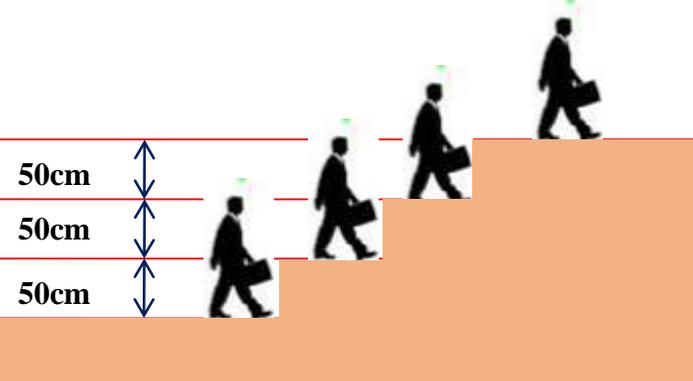
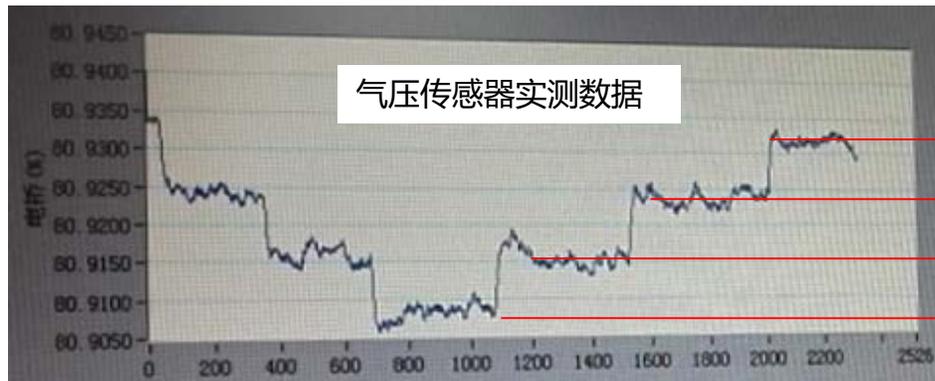
- 采用MIS工艺研制出一款单芯片微型气压传感器芯片，整个芯片尺寸仅为0.6 mm×0.6 mm，灵敏度优于1.2 mV/kPa，输出非线性优于0.1%FS，综合精度优于±0.2%。
- 该传感器可分辨30 cm高度气压变化。
- 可用于空调出风口气压监测等应用。



气压传感器实物图片

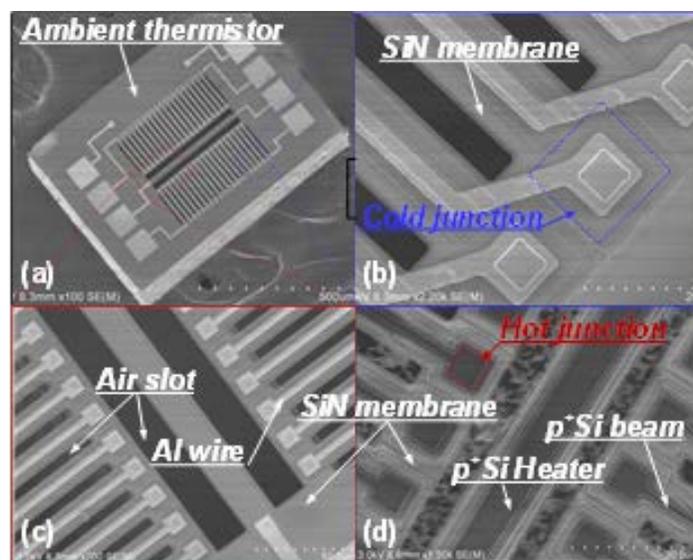


气压传感器与Bosch传感器对比

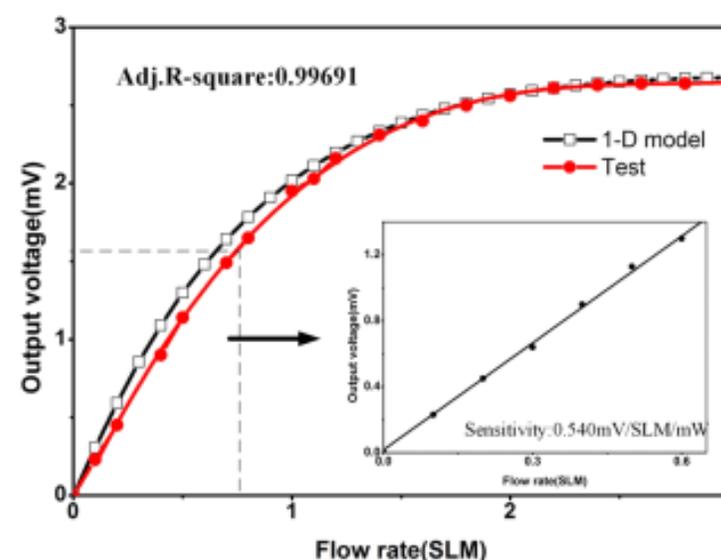


# MEMS气体质量流量传感器

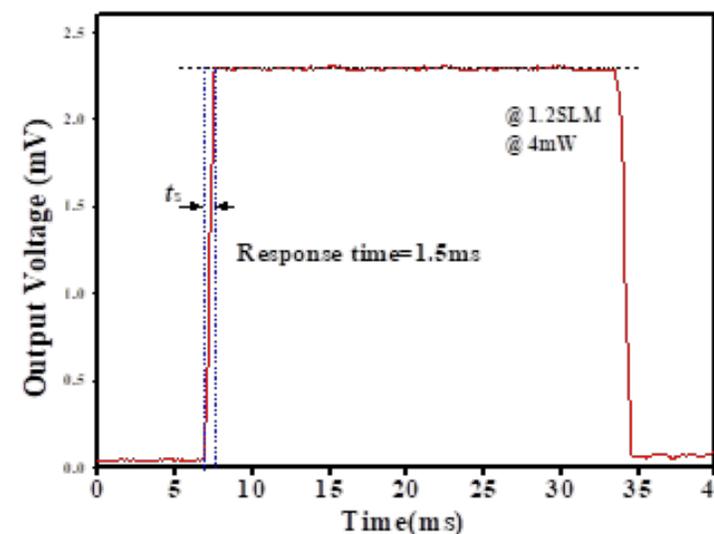
- 基于p+Si/metal热电堆式气体质量流量传感器，整个芯片尺寸仅为0.5 mm×0.7 mm，传感器灵敏度达到540mV/SLM/W（输出无放大处理），比相关文献报道高出22倍，相应时间1.5 ms。
- 可用于空调、油烟机等。



流量传感器SEM图片



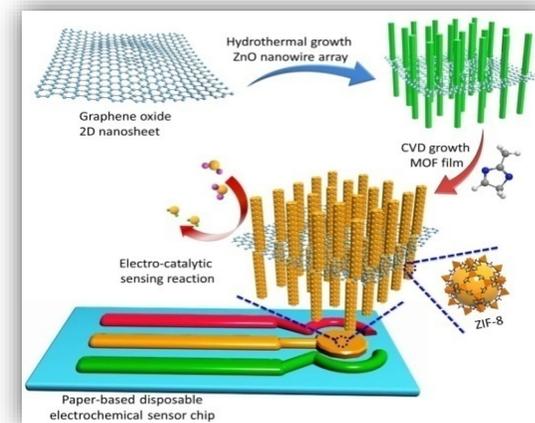
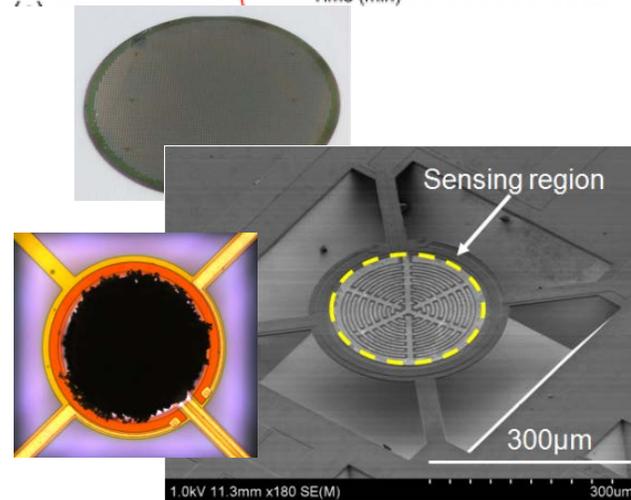
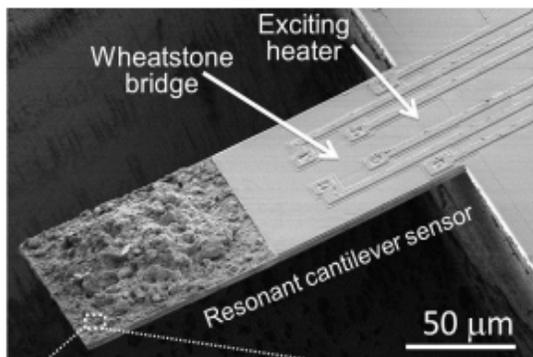
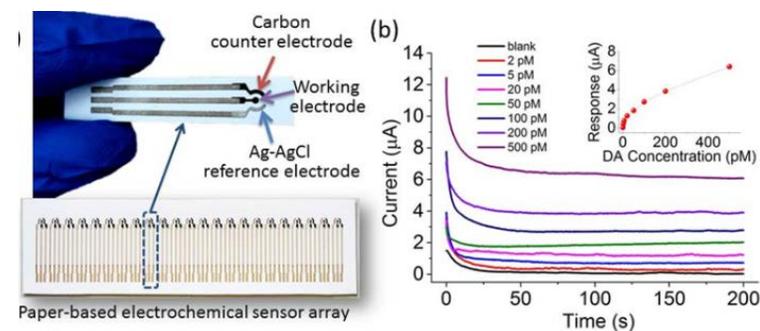
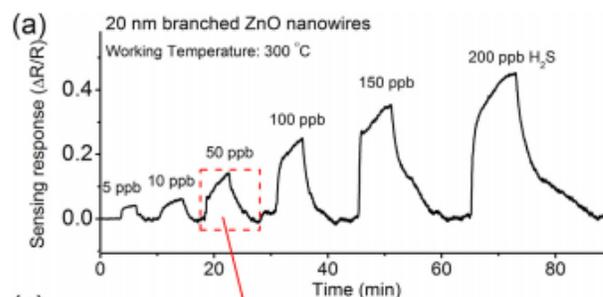
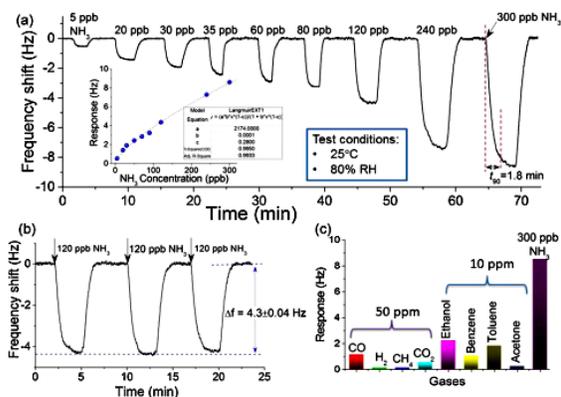
输出电压与流量关系曲线



动态响应测试图

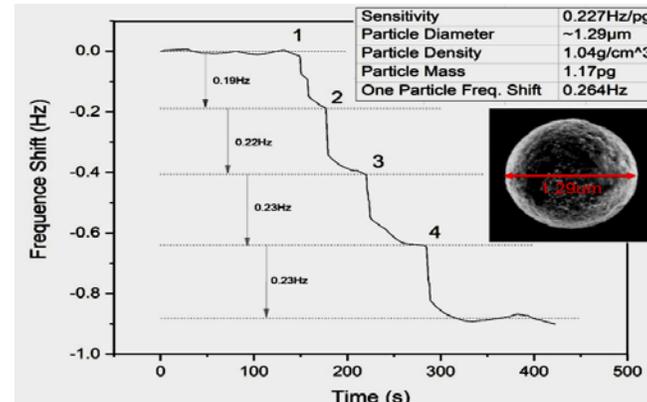
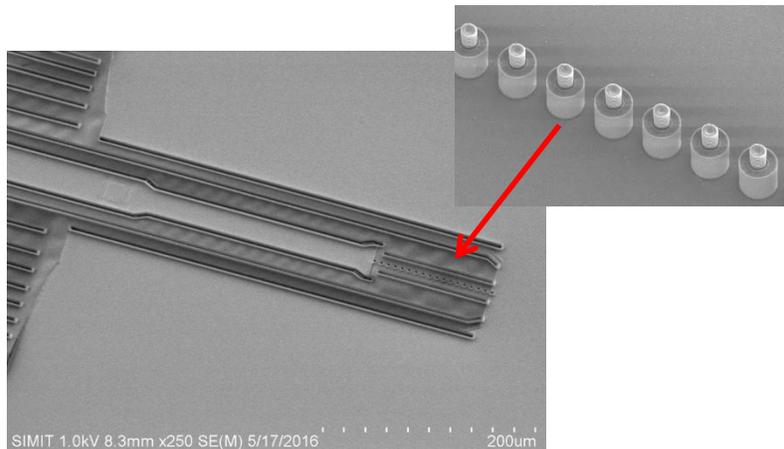
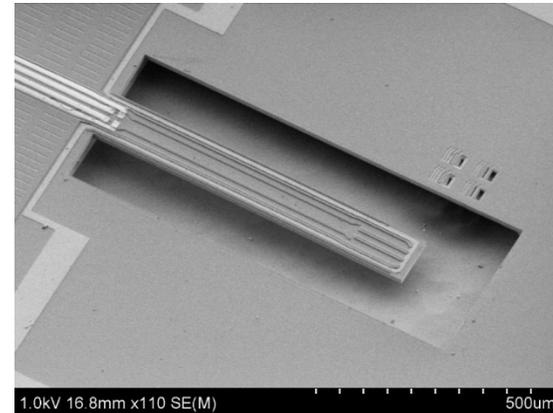
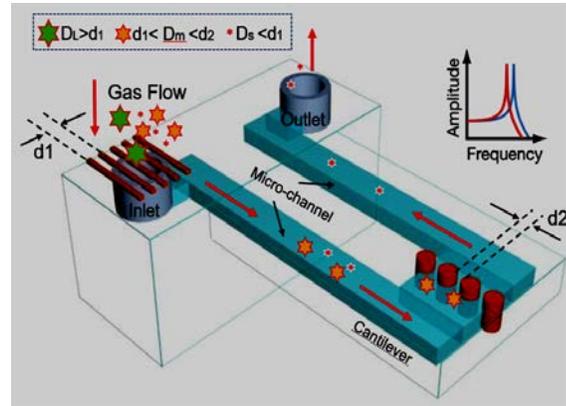
# 基于MEMS结构的人工嗅觉传感器

- 基于MEMS结构的人工嗅觉传感器，已形成“谐振悬臂梁”和“悬浮微加热盘电极”两类技术路线。
- 利用前者开发了苯胺、CO、CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>等传感器，用后者开发了氟利昂、H<sub>2</sub>S、H<sub>2</sub>等传感器，痕量浓度检测水平都达到了国际领先。
- 可用于燃气类产品、冰箱、空调等家电。



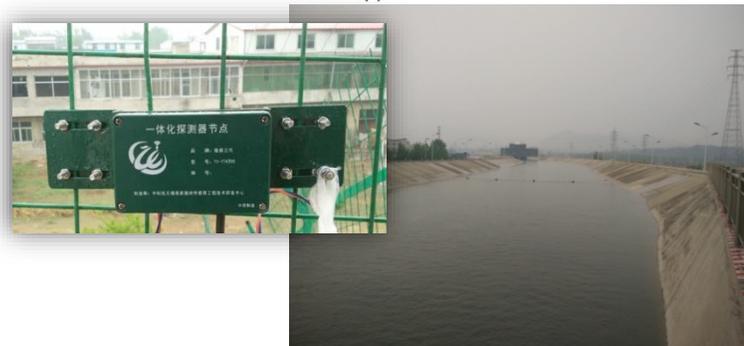
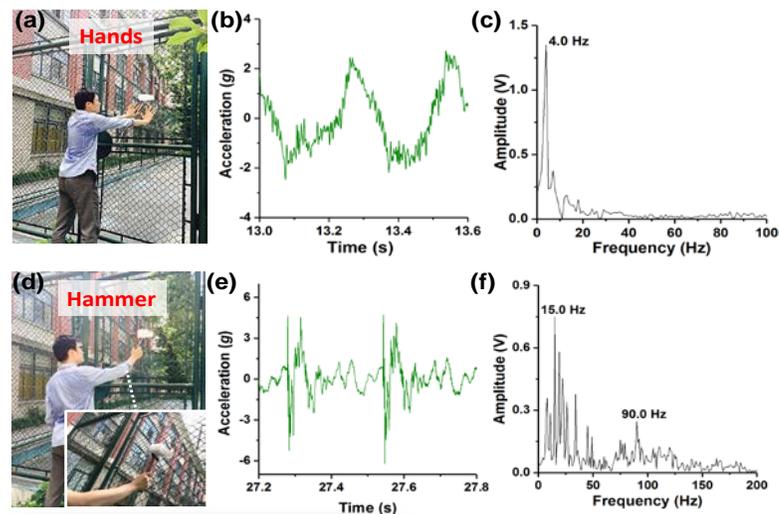
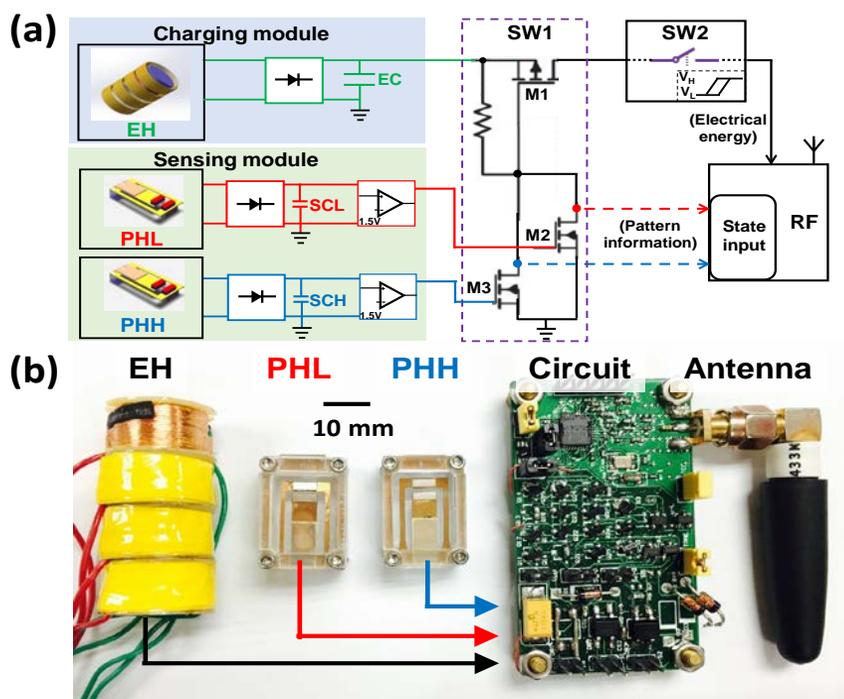
# 基于MEMS结构的PM2.5传感器

- 在谐振硅微悬臂梁中集成了微沟道和尺度选择过滤栅栏，首次按照PM2.5的原始定义实现了PM2.5粒子的称量，可在小于5分钟时间内检测到单个PM2.5颗粒。该种传感器可解决市场上现有光学检测原理传感器不能区分雾和霾的虚假测量问题。
- 可用于环境监测类家电。



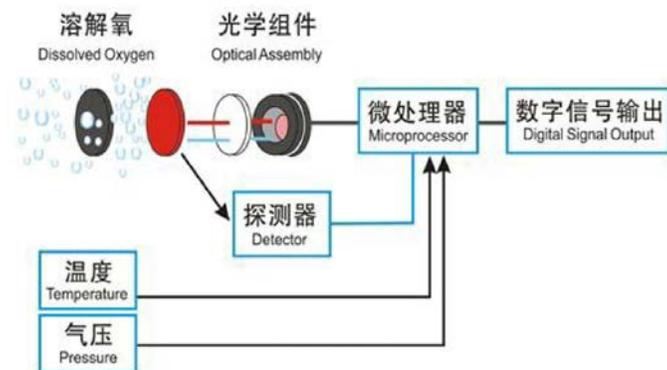
# MEMS无源能量采集器

- 开发功能独特的阈值触发能量采集器，通过阵列逻辑组合，研制出无需供电的zero-power sensor，实现了对监测的环境振动模式能自主识别和报警的功能。
- 该零供电传感网节点能够自主模式识别区分出晃动和敲击等多种事件，并分类自主无线报警。
- 适用于小区智能围栏等应用。



## 水质监测传感器及微系统

- 开发了基于光谱解析的实时在线水质监测传感器，可监测水的浊度、溶解氧、化学需氧量（COD）等关键参数。
- 适用于自来水、生活用水等水质监测应用。



### 水中总磷现场快速检测

#### (电化学消解、电化学检测)

- 完成甘油磷酸钠（质控样品）、乙酰甲胺磷、草甘膦的电化学消解条件摸索
- 利用电化学消解法（0.5h）克服了传统高温消解法（3h）时间长的缺点
- 保证了消解效率保持在90%以上正在进行消解后的总磷电化学检测研究

## 总结

- 我们已经进入了智能时代，并且马不停蹄的向着万物互联的方向发展，家居与家电必然要实现智能化；
- 家居、家电的智能化需要海量的智能微传感器，而提供这些微传感器离不开MEMS；
- MEMS已经在手机、汽车等领域证明了自己的价值，未来也必将在智能家居家电领域发挥巨大的作用；
- 中科院上海微系统所愿意与所有家居家电厂商合作，共同为“智慧中国”贡献力量。

**谢谢!**