

文章编号: 1001-2486 (2000) 02-0090-05

微机电系统技术的实际应用——微型仪器*

丁衡高,袁祖武

(总装备部 北京 100034)

摘要:微机电系统被普遍认为是一项面向 21 世纪的可以广泛应用的新兴技术,作为其实际应用的微型仪器,具有传统仪器无可比拟的优势。从微型仪器入手,分别介绍了其概念、特点和市场应用,并在最后阐述了对微型仪器的几点认识。

关键词:微机电系统;微型仪器

中国分类号:TH70 **文献标识码:**A

The Typical Application of MEMS—Micro-Instruments

DING Heng-gao, YUAN Zu-wu

(General Equipment Headquarters of PLA, Beijing 100034, China)

Abstract: MEMS is widely considered as one of booming new technologies, and as its typical application, micro-instruments have unparalleled advantage compared with traditional instruments, this article outlined the concept, characteristics and its application, some personal viewpoints about micro-instruments are forwarded.

Key words: MEMS (Micro Electronic Mechanical System); micro-instrument

1 微机电系统

一般说来,微机电系统(Micro Electronic Mechanical System, MEMS)是指可以用微电子等批量加工工艺制造的集微机械与微电子等部件于一体的部件或结构^[1],它可以分成多个独立的功能单元,输入的物理或化学信号由传感器转换为电信号,经过信号处理后,通过执行器与外界作用。我们习惯上把含有光学部件的装置也包括在 MEMS 内。这些部件结构单独或集成在一起,可以在微观层次感受、控制和作动物体,并产生类似宏观的作用效果。

MEMS 的特点和优点是显而易见的:体积小、重量轻、性能稳定;通过 IC 等工艺可批量生产、成本低,性能一致性好;功耗低;谐振频率高、响应时间短;综合集成度高、附加值高;具有多种能量转化、传输等功能的效应,包括力、热、声、磁及化学、生物能等。

鉴于上述特性和优点, MEMS 自 80 年代中末期发展至今一直受到世界各发达国家的广泛重视,被认为是一项面向 21 世纪可以广泛应用的新兴技术。目前 MEMS 已从实验室探索走向产业化轨道^[2],据美国 MCNC(北卡罗来纳微电子中心) MEMS 技术应用中心预测,当前 MEMS 业界的年增长率是 10%~20%,预期 2001 年将有高于 80 亿美元的 MEMS 潜在市场。而其中的大量产品主要包括汽车加速度计、压力、化学、流量传感器等,及微光谱仪、一次性血压计等微型仪器(micro-instrument)产品。

2 微型仪器

关于微型仪器,目前尚未见到有关对其概念的确切的定义和描述。可以认为,微型仪器实际上就是具有仪器化功能的 MEMS 产品,是 MEMS 技术的实际应用,它具有一般仪器具有的监测(monitors)、测量(measurement)、分析(analysis)、诊断(diagnostics)、控制(control)、作动(actuate)等功能,是一种新型的智能结构。其基本结构模式为微传感器+信号和数据处理电路(含控制软件)+外显示器或信号输出或微作动器等。随着微电子技术的发展,有些微型仪器的基本结构已经集成在芯片上,所以国外也开始将微型仪器称为芯片上的仪器(instrument on chip 或 chip-sized micro-

* 收稿日期:1999-12-28

作者简介:丁衡高(1931-),男,中国工程院院士。

instrument)。

从技术和工艺上来说,微型仪器技术涵盖了微小尺度的传感器和作动器的设计、材料合成、微型机械加工、装配、总成和封装及微专用集成电路等一系列微型工程技术,它是 MEMS 技术与微电子技术综合集成的产物。

下面我们举几个微型仪器的例子加以说明。

2.1 微光谱仪

德国 Karlsruhe 研究中心的微结构技术研究所和公司合作每年生产数千台微光谱分析仪,如图 1 所示,利用 LIGA 工艺制作,在 400~1100 nm 范围内的分辨率为 7 nm,用于传输、反射和荧光测量;用于微分析系统的微型泵尺寸为 7 mm×10 mm,用模铸和薄膜技术,热致动线圈厚 250 nm,功率为 100 mW。

2.2 MEMS 显示器

美国的 Texas Instruments 公司从 80 年代初就着手研究用于投影显示装置的数字驱动微镜阵列芯片(DMD: Digital Micromirror Device),已成功地演示了利用 768×576 像素的 DMD 芯片的彩色电视投影机,并研制出 2048×1152 像素的 DMD 芯片样机。所研制的 DMD 芯片利用硅表面微加工工艺制作,其部分放大扫描电镜相片如图 2 所示,一个微镜的尺寸仅 16μm×16μm。图中有九个微镜,中间的一个去掉了最上层的反射镜,可看见下面的支撑机构。微镜通过支撑柱和扭曲梁悬于基片上,每个微镜下面都有驱动电极,在下电极与微镜间加一定的电压,静电引力使微镜倾斜,入射光线被反射到镜头上、投影到屏幕上,未加电压的微镜处的光线反射到镜头外,高速驱动微镜使每点产生明暗,投影出图像。

2.3 微型化学传感器及微型黏度计

我们介绍伯克利微仪器公司(BMI)设计并推向市场的成熟的微型仪器产品^[3],包括测量空气中化学浓度的化学气体传感器 BMC200(图 3)及测量流体密度和黏度的微型黏度计 BMV 105(图 4)。

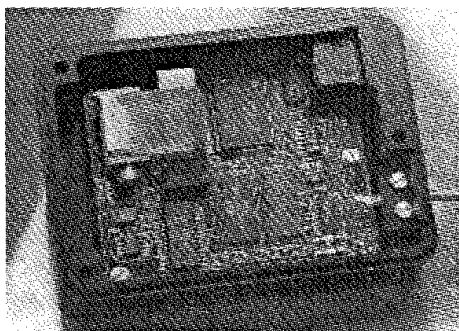


图 1 微光谱分析仪

Fig. 1 Micro spectrum analyzer

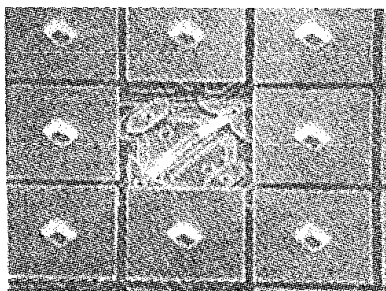


图 2 DMD 芯片部分 SEM 相片

Fig. 2 SEM pictures of DMD chip

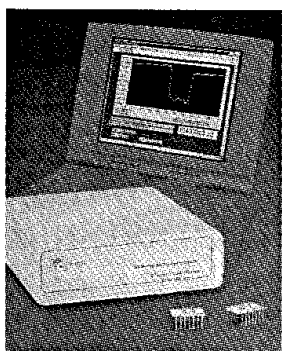


图 3 化学气体传感器 BMC200

Fig. 3 Chemical vapor sensor model BMC2000

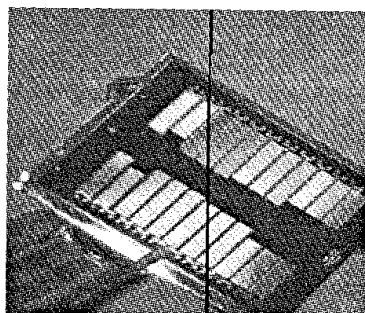


图 4 微型黏度计 BMV105

Fig. 4 Micro-viscometer model BMV 105

BMC200 和 BMV105 均采用了一个独特的获得专利的称为 FPW (Flexural-plate-wave) 的硅微机械传感器技术(原理见图 5)。包括一个微硅的 MEMS 芯片(尺寸为 $3.5\text{ mm} \times 7.6\text{ mm}$), 芯片上有一个约 0.5 mm 宽、 6 mm 长、 $3\text{ }\mu\text{m}$ 厚的微机械薄膜, 该薄膜由氮化硅层、金属层与压电氧化锌层构成。薄膜上

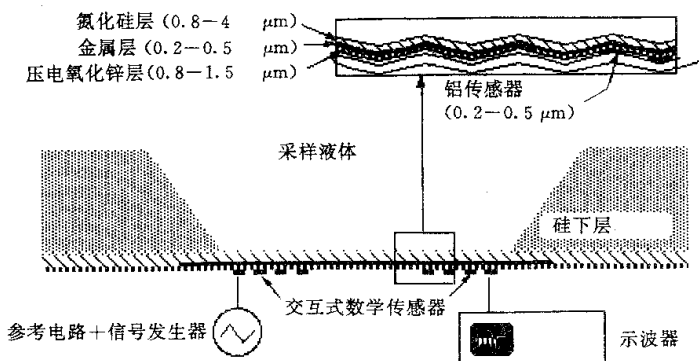


图 5 FPW 微硅机械微传感器原理示意图

Fig. 5 Illustration of FPW sensor

集成了两个用来发射和接收超声波的交互数字式传感器。通过测量薄膜之间传递的声波的波速和振幅, 微型黏度计 BMV105 则可确定液体的黏度和密度。对化学浓度传感器 BMC200 来说, 当传感器放在化学气体中时, 一些化学成份被聚合薄膜吸收, 增加了薄膜的体积, 降低了波速, 从而测出化学浓度。

与传统的类似的仪器相比, 这些微型仪器的优势是无可争议的: 体积更小、重量更轻、效率更高、价格更低, 可以提供高精度的实时测量信息。这些信息可以用来有效地进行过程控制、调整、报警, 或其他自动监测和控制设备提供前馈或反馈, 微型仪器既可以单独作为工作单元实现独立的功能, 又可以作为在线的过程控制单元。

3 微型仪器的应用

从市场应用需求来看, 微型仪器的市场大体可以分为以下几类:

(1) 环境科学

微型仪器在环境监测、分析和处理方面大有作为。它们主要是由化学传感器、生物传感器和数据处理系统组成的微型测量和分析设备。这些微型仪器可用来检测气体和液体的化学成份, 检测核、生物、化学物质和有毒物品, 其优势在于体积小, 价格低, 低功耗, 易携带, 市场前景广阔。

(2) 航天及星球探索

美国宇航局(NASA)目前正制订一项雄心勃勃的微型仪器技术开发计划, 主要目的是发展适合 21 世纪的小型、低价、高性能航天器, 利用 MEMS 技术对航天器有效载荷和某些机电部件进行微型化, 极大地缩小各种科学仪器和传感器的体积和重量, 其结果是提高了功能密度, 因此 JPL 称这些微型仪器将是新的微型实验室的心脏。它们主要包括: 火星微登陆器、微加速度计、微磁强计、微湿度计、微气象站、微地震仪、微集成相机、微成像光谱仪、微推进器等等。

(3) 生物医疗

生物医疗领域是微型仪器比较活跃的领域之一, 目前已研制的微型仪器包括:

- 一次性血压计, 1995 年 Motorola 与 IC Sensor 销出了 2000 万只;
- “灵巧药丸”(Smart Pill), 实际上是包含传感器、储药囊和微压力泵的微型仪器, 可注入人体, 并在人体内部的精确部位施放精确剂量的药物;
- 监测皮肤温度的集成无线微型仪器, 它可用来远程监测皮肤温度, 并将监测的信息以 350 Hz 的

载波频率传送到接收器,在尺寸为 $4.6\text{ mm}\times 6.8\text{ mm}$ 的芯片上集成了传感器的电子线路和微天线;

此外,用于医疗手术的微型仪器还有诸如用于修补血管,可替代心脏旁路手术的导管、假体单元、人造器官以及研制中的可清除血管壁沉淀物、攻击癌细胞的血管纳米机等。

(4) 汽车工业

现代汽车的电子技术含量以每年10%的比例增长,而传感器的含量则以每年20%的比例增长,其中主要包括微加速度传感计及微压力传感器等微型仪器。将微型压力传感器置于轮胎中,可用来保持轮胎适当压力,避免充气过量或不足,仅此一项就可节油10%。利用微加速度计传感器可监控撞车,并为防撞气囊提供紧急充气信号,减少车内人员伤害。据美国系统规划公司估计,1998将有1500万辆汽车要装备防撞气囊,加上压力传感器的需要,将形成巨大的市场需求。鉴于此,世界上各传感器公司纷纷加大投入,美国Lucas NovaSensor公司建成了一条年生产600万个加速度传感器的生产线,Rosemount公司的压力传感器的装货量达4亿美元,MOTOROLA公司则宣称将建立投资达10亿美元的汽车传感器产业。

(5) 军事应用

微型仪器在军事上的应用具有深远意义,它或许就是未来战场的明星。如将袖珍式质谱仪作为有害化学战剂报警传感器安装在微型车辆或无人驾驶机上,就能在战地搜寻化学武器。利用各种微型传感器做成的草杆、树叶,上面装有微型电子侦察仪、微照相机等,将它们大量撒向战场后,在空中、地面、水上就能随时随地搜集情报。将传感器和灵巧武器散布在战场上,形成危险区,阻挠敌方步兵和坦克。

在武器平台的蒙皮中植入传感元件、作动元件和微处理控制系统构成智能蒙皮,可用于预警、隐身和通信。美国弹道导弹防御局正在为导弹预警卫星和天基防御系统平台研制含有多种传感器的智能蒙皮。美国空军莱特实验室正在进行结构化天线的研究。演示实验表明,这种天线在气动特性、信息传输、结构重量与体积方面,都优于同样功能的普通天线。美海军则重点研究舰艇用智能蒙皮,以提高舰艇的减噪和隐身性能。

目前,世界上一些国家正在对蟑螂、蜜蜂、蚕蛾等昆虫进行试验,利用昆虫的生理结构和特性,进行人造昆虫的研制,这可算是一种特别的生物微型仪器,如人造光控甲壳虫,其底面积比一枚直径为25mm的硬币还小。将光电池分别放在人造甲壳虫的身上,当光电池吸收外部的光能时,通过光电转换产生电流,驱动甲壳虫运动。所有这些精巧的微型武器,由于设计新颖,制作简便,造价低廉,可上至天空,下至地缝,无处不在,无处不入,能完成大型武器不能完成的多种任务,因此受到各国军方的极大关注。

除了上述的领域外,微型仪器还在工业控制、工业检测,玩具、服装等行业具有较强的需求背景,这里不再一一赘述。

4 对微型仪器的几点认识

通过对微型仪器的性能、特点和应用情况进行分析,我们有以下几点认识:

(1) 微型仪器是MEMS技术的实际应用,是MEMS技术与微电子技术综合集成成果之一,它具有一般MEMS器件或MEMS系统特有的优点和性能,更为主要的是大大提高了仪器的功能密度和性能价格比。

(2) 微型仪器技术中的核心技术之一是微型传感器技术,采用各种新原理、新概念的各类微型传感器,是实现微型仪器的关键,也是我们实现仪器小型化微型化的必要条件。此外,由于有的微型仪器上既有固定的部件又有活动的部件,而且采用诸如生物或化学活化剂之类的特殊材料,因此还需要认真重视微装配、微封装、微能源等问题。

(3) 从广义上看,微型仪器还是一种新型的智能结构。目前国际上对智能结构的研究尚处在基础研究和实验阶段,今后的研究方向将包括:(a)研制低能耗、大应变、高稳定和长寿命的作动器材料;(b)研制耐高温、低成本、易与基体材料融合的光传感器;(c)研制可植入基体材料中的高性能微电子器件;(d)新的结构控制技术;(e)开发智能结构的设计、制造技术等等。

(4) 微型仪器具有广阔的市场应用前景,并且新产品层出不穷,我们应密切跟踪国外发展动态,在研究和开发上采取联合攻关,成果共享的方式,加快研制进度,在 21 世纪 MEMS 产业化的道路上迈出我们自己坚实的步伐。

参考文献:

- [1] 丁衡高. 微机电系统的科学研究与技术开发[J]. 清华大学学报,1997,37(9).
- [2] The 5th World Micromachine Summit'99 [C], Glasgow.
- [3] <http://www.berkeleymicro.com>; <http://www.mcnc.org>; <http://trimmer.net>.

