

微机械元件和仪器新进展*

邵培革

(大连理工大学机械系 大连 116024)

王立鼎 任延同

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 微机械元件和微机械仪器,适于大批量生产,具有成本低廉、性能优良和体积小及集成度高的特点,近十年来,研制、开发及市场扩大方面取得了巨大的进展,展现了美好的前景。

关键词 微机械 元件 仪器

1 引言

微电子技术的发展,为通讯、信息处理和生产、生活及办公自动化等领域带来了巨大的进步,使人类的生活方式、思维方式和社会的产业结构发生了巨大的变化,将人类带入了信息时代。

在电子技术深入发展的同时,一项新的技术——微机械技术悄然的诞生。微机械发展迅速,具有巨大的发展潜力和应用前景。许多科学家坚信,它将成为继微电子技术之后又一项推动社会迅速进步的革命性技术。

微机械的全称为微电子机械系统,是以微电子技术和微加工技术为基础的一项新技术。早在六十年代,微机械技术的概念就开始萌芽,一些富有创见的科学家开始探索用硅的微加工方法,制作传感器、执行器和控制器,并设想将它们集成在微小的几何空间,从而形成高度自动化、智能化、可以大批量生产、价格低廉的微电子机械系统。八十年代末,微机械压力传感器等技术的成熟并市场化,IC工艺制作的静电微电机的研制成功,标志着微机械技术已经发展成了一门独立的新兴学科。在科学家们的推动下,微机械技术受到了美国、德国、日本等发达国家

* 国家863计划、辽宁省博士启动基金、博士后基金资助项目

收稿日期:1998-11-10

收稿日期:1998-12-21

家的重视,投入了大量的人力物力,十余年间,微机械技术取得了众多新成果,微机械技术渗透到众多领域,产生了巨大的经济和社会效益,展现了美好的前景。

2 微机械元件

微机械元件既可以作为独立的器件,应用于宏观的机电系统中,又可以作为微机械集成系统的单元,是微机械迄今为止研究和开发的主要内容。

微机械的研究主要集中在硅基器件上,这与硅的良好的机械性能和与 IC 工艺的兼容性有关。早期研制成功并商品化的器件是结构简单的传感器——硅压力传感器,这种传感器性能优良,成本低廉,市场增长十分迅速,1995 年产量为 5 千万件,预计 2005 年产量将达 1 亿 2 千万件^[1]。1995 年全球传感器市场为 60 亿美元,其中约 4 分之 1 为微机械传感器,微机械传感器从起步至今仅十余年历程,发展如此迅速,表现出微机械技术的强大的生命力。

微机械传感器市场潜力仍非常大,不仅可以进一步替代传统传感器,由于其价格低廉,必将在更多领域得到应用,从而开辟更广阔的新兴市场。国际上许多著名的公司如, Rosemount、Analog Devices 和 Motorola 均有积极的微机械传感器市场发展计划。

2.1 微机械元件应用

微机械器件的优势在于大批量生产时成本低廉,产品的性能价格比明显优于传统器件。目前具有广阔市场和应用前景的器件包括:

(1) 多功能绝对压力传感器

石油危机和人们对环境保护的要求,使汽车制造商必须改进油料燃烧的经济性,提高汽车单位重量油料的行程,改善汽车尾气质量。基本的方法是严格控制燃料与空气的比例。这种控制系统的关键元件为多功能绝对压力传感器。1995 年这种传感器产量为二千五百万件。

(2) 医用压力传感器

在使用微机械传感器以前,测量血压用的是可靠性较低的普通压力传感器。这些传感器在使用前须稳定化和标定,测血压的费用较高。

汽车用多功能硅压力传感器研制成功,激励人们成功地开发出医用压力传感器,这种医用传感器使用前不需标定和稳定化,使用费用很低,在严重的疾病的诊断和治疗——如心脏手术等医疗中得到广泛应用,1995 年产量为一千八百万件^[2,3]。

(3) 加速度传感器

九十年代初,硅加速度传感器已由实验研究转入实际应用,应用于汽车车祸传感和刹车及安全气囊释放控制系统。1995 年年产量逾五百万件^[4]。在过去的二十中,虽然美国由于汽车数量增加车祸的数量增加了 75%,而车祸死亡率却减少了 50%。这与微机械加速度传感器在汽车中的应用有很大的关系。

2.2 市场预测

十年前,微机械器件仅有硅压力传感器具有较大市场应用,而如今,加速度传感器已在几年的时间中产量由 20 万件增加到近 2 千万件,而许多其它微机械器件也逐步商业化,市场价值达数十亿美元。现在,非传感器类微机械器件的市场还非常小,但有理由预测,在今后十年,非传感器类微机械器件将会有明显增长。

近期有较好市场前景的微机械器件有:

(1) 压力传感器

微机械硅基压力传感器将进一步增长,应用于汽车和智能化网络输出等方面^[5]。汽车传感器的应用包括:燃油汽化、高压喷油、发动机的多功能压力传感器、电子刹车等。

(2) 惯性传感器

惯性传感器发展十分迅速,包括加速度计、转速计和陀螺仪等,主要应用于汽车稳定性控制和驾驶控制及虚拟现实控制器等方面,以汽车安全气囊释放为目标的加速度传感器已经开发成功,尺寸仅为 $3\text{mm} \times 3\text{mm}$,量程为 5g ,预计价格为每件 15 美元^[6]。惯性传感器可作为智能惯性导航的核心器件,应用于汽车、飞机和航天器件的驾驶和控制,

(3) 流体控制器

流体器件,如压力阀,将逐步商品化并有较快的增长。但目前微机械流体器件由于操作温度范围较窄,压力和流量控制范围较小,与流体的相容性有限,还不能很好满足传统商业领域的需要^[7]。

(4) 数据存贮

复杂软件和影相技术对大量信息存贮的需求,促进了高密度存贮技术的研究,多项高密度存贮技术正在开发之中,在微机械技术领域,有良好商业前景的存贮技术的研究包括:

a. 用芯片上的伺服电机驱动硬盘磁头,可以实现 $0.1\mu\text{m}$ 精密定位,存贮密度可达 $100\text{GB}/\text{in}^2$ ^[7]。

b. IBM 开发了一种塑性存贮盘读写技术,用微机械技术制作“笔尖”,在“写”时,在塑性盘上形成凹坑,而读时,与早期的唱片机读的方法一样。用该方法已实现存贮密度达 $20\text{GB}/\text{in}^2$ ^[8]。

(5) 显示器芯片

德州仪器开发微转镜显示芯片技术已愈十五年,现在已经开始少量生产种芯片^[9]。还有其它硅谷公司也在开发该项技术。微机械显示芯片将最终实现市场化,可望在巨大的显示器市场占有一定份额。

(6) 微机械通讯器件

正在开发中的光纤微机械反射调制器,有希望实现居民实时影相通讯,有希望得到迅速发展^[10]。

(7) CMOS 热电堆传感器

用氧化物/氮化物支撑的 n 型多晶硅/p 型多晶硅红外传感和电功率传感元件可以用 CMOS IC 工艺制作,绝热是通过在 CMOS 热氧化物下面的体硅腐蚀工艺实现的。硅的氧化物和氮化物对 8 至 14 微米的波长敏感,可用来监测房间的异常侵入。温升(几 mK)用热电堆来检测^[11]。预计该元件在民用、工业和军事上都有广阔的应用前景。

(8) CMOS 热压力传感器

利用压力对空气热传导性能有影响,可以制成测量气体压力的 CMOS 压力传感器。目前研制的器件,可用来测量 10^2Pa 至 10^6Pa 空气压力^[12]。

(9) CMOS 热、通风和空气调节(HVAC)多功能传感器

热、通风和空气的调节须测试温度、气流和空气的湿度。将热电堆、热压力传感和测量湿度

的指状电容利用 CMOS 技术集成一体, 便构成了 HVAC 传感器^[13]。这种传感器将在人类高质量生活环境的控制中发挥重要作用。

3 微机械仪器

由于微机械技术能够以较低成本制造出尺寸微小的机械结构, 并且可以将传感器、执行器、控制器集成了一体, 因此在测试仪器等方面表现出了巨大的优越性。

(1) 微机械电泳仪

在细长的毛细管两端加上直流电压, 管中注入离子导电液体, 将发生电泳运动, 将分析的样品注入毛细管一端, 不同分子量的集团将以不同速度运动, 从而形成按分子质量的分布排列, 在毛细管的侧面用放射线或荧光可以测定试样的组成。如某一组 DNA 的组成。

用微机械方法制作的电泳仪比传统电泳仪有很大优越性, 不仅价格低, 而尺寸小, 仅为传统电泳仪尺寸的 10 分之一, 速度快也提高 10 倍, 而且测试结果更加准确^[14]。

(2) 微机械质谱仪

电泳仪可用来分析试样的分子组成, 而质谱仪是用来分析试样的原子组成的。在质谱仪中, 首先将试样气化, 然而在真空中电离, 再用电场使离子高速运动, 并在磁场中将不同质量的离子分离到不同的运动轨道, 用探测器检测, 即可分析原子组成。用微机械方法制作这种质谱仪正在开发之中, 预计可以将尺寸缩成掌上型大小^[15]。

(3) 微机械细胞计

通过将细胞悬浮在液体中, 注入装有透明液体的试管。注入时, 细胞悬浮液在试管透明液中形成很细的一条液柱, 液柱非常细, 可以从试管侧面测定单个细胞的形状、尺寸、光学特性, 进行统计学研究。这对医学研究非常有益。现在这种仪器十分昂贵, 而用微机械方法制作细胞仪的中的微结构十分便利的, 微机械细胞计将能用来确定含量仅 0.1% 的血细胞^[16]。

(4) 微机械染色体链式反应仪

现有技术尚无法测量数量非常少的 DNA 的结构, 只能通过复制 DNA 的染色体, 使数量增多之后才能测定。利用加热时 DNA 双螺旋蛋白质分子的融解, 分解成两条单链, 冷却时, 在适当的反应试剂中, 试剂分子与每一单链相互组合, 形成两条双链 DNA。重复上述过程, 将使 DNA 分子大量增殖^[17]。

用微机械方法制作的链式反应仪, 可以在几分钟内完成 DNA 的样品复制, 比传统仪器快 5 至 10 倍, 而且, 可以节约价格昂贵的反应试剂。随着医疗对 DNA 测试需求增加, 成本低、性能优良的微机械链式反应仪将会有较大市场。

(5) 微机械重金属探测仪

用微机械方法可以制成阳极溶解式重金属探测仪, 利用重金属特征电位和电离电量来检测样品中重金属含量, 微机械方法可以制作出尺寸较小的便携式重金属探测仪, 可以在现场监测重金属污染^[18]。

(6) 微机械血液测试仪

以微机械生物化学传感器为基础的血液手持型测试仪, 可以快速测试血液中的 CO_2 、 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、葡萄糖、尿素、pH 值等多种指标^[19]。这种血液分析仪的开发成功预示着化学分析仪

进入一个崭新天地。

4 结 论

短短的十余年时间,微机械从诞生至今,从原理研究,器件开发到仪器研制,已经积累了众多成果,形成了一个对人类社会众多领域都将发生重大影响的丰富多彩的新学科。目前在微机械传感器表现出了强大的生命力,在传感器市场占有已达 1/4 以上,并且开拓出汽车安全气囊释放控制系统等高经济附加值,高社会价值的新型产品,而在微机械陀螺仪、生物和化学传感器等方面的研究成果,表明微机械在众多领域将发挥巨大的作用,产生巨大的经济价值,将对人类社会生活带来巨大的进步。

微机械仪器的开发和研究成果表明,人类已经有能力开发出品种众多、成本低廉的便携式或掌上型仪器,测试速度快,测试结果更加精密,这将使越来越多的人得到高质量的医疗、保健,更多的人有条件从事高层次的科学研究。

与微型计算机相似,微机械器件的优势在于大批量生产带来的价格优势,因此,现在取得商业成功的主要是那些有巨大市场的项目,如力学传感器,但随着各种模块式器件开发,可以期望组合成种类众多的仪器和系统,实现微机械产品的多样化。

参 考 文 献

- 1 Bryzek J. Impact of MEMS technology on society. *Sensors and Actuators*, 1996, A56: 1~9
- 2 Bryzek J. New generation of disposable blood pressure sensors, *Proc. Sensors Expro*, Detroit, MI, USA, 1987
- 3 Bryzek J et c. Silicon sensors and micro structures in health care industry. *Proc Sensors Expro*, Detroit MI USA, 1987
- 4 Kuchuel W. A surface machined silicon accelerometer with on-chip detection circuitry, *Sensory and Actuators*, 1994, A45: 7~16
- 5 BIS Strategic Decision: Automotive components forecast II: Sensors market study. 1993
- 6 Chan K H L, et c. An integrated force-balanced capacitive accelerometer for low-g application. *Sensors and Actuator*, 1996, A52: 472
- 7 Zdeblick M. Micro-fabricated thermopneumatic actuator for use in fluid regulation systems and other integrated elector-fluidic circuits. ARPA Report, Redwood Micro-system, Menlo Park, CA, 1995.
- 8 M amin J. Compact, high capacity data storage wiring proximal probes. ARPA report, IBM Almaden Center, San Jose. CA. . 1995
- 9 Sampesll J B. The digital micro-mirror device and its application to project displays, *Tech Digest*, 7th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators(Transducers'93), Yokohama, Japan, 7~10 June, 1993
- 10 Hiroyuki F. Future of actuators and micro-systems. *Sensors and Actuaries*, 1996, A56: 105
- 11 Jaeggi D, et c. Overall system analysis of a CMOS thermal converter. *Tech Digest*, 9th Int Conf Solid-State Sensors and Actuators/Euroensors IX, Stockholm, Sweden, 25~29 June, , 1995
- 12 Paul O, Baltes H. Novel fully CMOS compatible vacuum sensor, *Sensors and Actuators A*, 46~47 (1995) : 143
- 13 Malcovati P. Combined air humidity and flow CMOS microsensor with on-chi sigma-delta A/D inter-

- facem. Tech. Digest, Symp VLSI Circuits, Kyoto, Japan, 8~10 June, 1995
- 14 Harris D J. Chemical analysis and electrophoresis systems integrated on glass and silicon chips. Proc IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head, SC, USA, June 1992
- 15 Nathanson H C. Novel functionality using micro-gaseous devices. Proc IEEE Conf MEMS, Amsterdam, Netherlands, Jan 1995
- 16 Sobek D, etc. Micro-fabricated fused silica flow chambers for flow cytometry. Proc IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head, SC, USA, June 1994
- 17 Northrop M A, etc. DNA amplification in a micro-fabricated reaction chamber, Proc. 7th Int Conf. Solid-State Sensor and (Transducer'93), Yokohama, Japan, 7~10, June, 1993
- 18 Reay R J, etc. Micro-fabricated electro-chemical analysis system for heavy metal detection. Tech Digest, 8th Int Conf Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'95) / Euro-sensors IX, Stockholm, Sweden, 25~29 June, 1995
- 19 Yee G, etc. Proc Solid-State Sensor and Actuator Workshop. Hilton Head, SC, USA, June, 1996

New Progress of MEMS Component and Instrument

SHAO Pei-Ge

(*Dept. of Mechanics, Dalian University of Science and Technology, Dalian 116024*)

WANG Li-Ding, REN Yan-Tong

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

MEMS component and instrument are suitable for batch manufacture and have the advantage of low price, high reliability, smaller volume and large-scale integration. In this decade a great progress has been made in the research, development and marketing of this field, which suggests a bright future.

Key words: MEMS, Components, Instruments

邵培革 男, 1964年生人, 1996年于哈尔滨工业大学获博士学位, 现为大连理工大学机械系博士后, 已发表学术论文十余篇。