

# MEMS 和微流体分析系统的发展

鞠 挥, 吴一辉

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

**摘要:**微机电系统(MEMS)是在微电子及微机械等学科基础上发展起来的新兴多学科交叉研究领域,是当今科学技术最具潜力的发展方向之一,而微型流体分析系统是这一研究领域中的热点。本文综述了 MEMS 技术以及作为 MEMS 技术一个重要研究方向的微型流体分析系统的起源及其广阔的市场应用前景,并对 MEMS 产品的市场化存在的问题进行了讨论。MEMS 技术及微型流体分析系统的诞生必将对今后的化学、医学及生物学等领域的研究工作产生重大影响。

MEMS 技术的发展令世人瞩目,不仅中国国内的许多高校和科研院所对其进行研究,而且世界各国也对这一领域投入了大量的人力和物力。微型流体分析系统作为 MEMS 技术研究的一个主要方向,向人们展示了其广阔的市场应用前景。

## 1 MEMS 及微制造技术的发展

随着微加工技术的愈益成熟, MEMS 及其他微制造技术显示出巨大的发展潜力。美国物理学家 Richard P. Feynman 于 1959 年 12 月 29 日在加州理工学院举行的美国物理协会的年度会议上发表了题目为 *There's Plenty of Room at the Bottom* 的演讲,并发表在 1960 年 2 月的 *Caltech's Engineering and Science* 上。其中描述道:“我将要介绍的是另外一个方向,在这一方向可以进行微小的研究,但可以做很多事。这一领域和其他的领域相比有很大的不同,不同点在于它无法给我们更多的基本物理,但它更像固体物理,可以发现在复杂情况下的奇怪现象;另外,最重要的一点是由此产生许多技术应用。我要讲的问题就是在微小尺度下操作和控制物质。”

事实上,在 Feynman 演讲之前,科学家们已成功地研制出指甲盖大小的电机;然而, Feynman 认为,这些研究成果在小型化的道路上还很原始、粗糙,尚处于幼年时期。他的结论是:“在这以后还有更加令人震惊的微小世界”,他设想可以将整个 24 卷大英百科全书写在针尖上,要做到这件事只需要将尺寸缩小 1/25000 即可。Feynman 坚信存在微小化的可能性,因为在生物中有众多丰富的写信息微小化的例子。“对于生物学家来说,在一个极其微小的空间可以携带巨量信息是一个事实,我们要解决的问题是揭开在微小的细胞中一个复杂的生物体,就像我们自己的全部信息是如何存储的。”人的细胞是活性的能够完成各种物质的制造、移动和信息存储。基于这一点,他设想一种微小但可以活动的机器(就是人们现在所说的 MEMS),可以在量子尺度进行计算,排列单个原子,甚至有一天可以在人体内不执行外科手术。历史证实了 Feynman 的远见卓识,纳米科技、MEMS 及量子计算和分子自组装等领域向人们展示了微小世界的巨大潜力。

从量的角度看,微小本身是一个很含混的概念。人们认为,最基本的一点是微技术或者说

MEMS 技术的最小实施单位应该是微米,它与直接操作原子或分子的纳米技术显然是有区别的。MEMS 在欧洲被称为 Microsystem 或 MST;在亚洲部分地区也有称之为 Micromachine 的,但在公开发行的文献或互联网上这些称谓均被大家接受,其实质都是一件事情。小的概念与微是紧密相关的,但尺度上肯定是有差别的,在微型化的道路上小型化必然是微的先驱,微与小的最终目的都是在满足人类的物理分辨极限条件下使人类自身受益。不难想像,由 MEMS 技术制作的器件应该具有如下优点:(1)体积小、功能强,如美国能源部所属的桑迪亚国家实验室开发的微型齿轮的轮齿只有一个红血球细胞那样大,如此小的部件运动起来非常快,其体积、引力和惯性几乎不产生任何作用;(2)小而结实;(3)易于制造,科学家可以轻而易举地在一块很小的硅片上制造数十万个微型部件。在进行适当的改进后,以硅为基础材料的结构在制作工艺上与 IC 工艺兼容,能大批量生产,大幅度降低成本,从而可为仪器仪表实现集成化和智能化提供支持。王大珩先生曾这样认为:“仪器仪表在微小化、集成化方面的发展是迅速和必然的,是仪器仪表的共性问题,它的发展将会对 21 世纪的仪器仪表产生极其深远的影响。”

## 2 MEMS 及微制造技术 产品的市场前景

现在较为成功的 MEMS 市场主要包括压力传感器、加速度计、微陀螺仪、喷墨头以及硬盘驱动头,这些器件的绝大多数用户分布在 IT(喷墨头、硬盘驱动头)和汽车(压力传感器、加速度计、微陀螺仪)领域。德国 MicroParts 公司的 Reiner Wechsung 博士对全球微系统市场分析进行了分析,1996 年约为 130 亿美元,1997 年约为 140 亿美元,1998 年约为 170 亿美元,1999 年约为 200 亿美元,2000 年约为 240 亿美元,2001 年约为 280

亿美元,2002 年约为 350 亿美元。预计到 2003 年,微小系统的市场将达到 400 亿美元,其发展潜力和市场前景巨大。

全世界有 600 多家企业、大学、研究机构目前正在从事 MEMS/MST 的研究,主要开发重点:(1)生化 MEMS 的开发,如药物开发、DNA 分析及化学;(2)成像领域,如显示和光纤开关;(3) MEMS/MST 开关和用于射频及自动测试仪器的继电器。

我国从 20 世纪 90 年代初期开始 MEMS 的研究工作,国家自然科学基金、攀登计划、重点基础研究项目均对此进行了资助。最新的“863”计划对该领域投入上亿元的资金,同时微型全分析系统也已列为国家自然科学基金重大项目。

## 3 微型流体分析系统

微流体芯片亦被称为微型全分析系统(Micro Total Analysis Systems,  $\mu$ TAS)或芯片实验室(Lab-on-chip),它是基于 MEMS 技术,通过分析化学、计算机、电子学、材料科学、生物学及医学的交叉实现化学分析系统从试样处理到检测的整体微型化、自动化、集成化和便携化。为了方便分类,当前国际学术界基本倾向于把芯片型  $\mu$ TAS 分为两类,即微流控(体)芯片(Microfluidic chips)与微阵列芯片(Microarray chips,或称为生物芯片 Biochips);而事实上微流控芯片与生物芯片涉及的是 2 个完全不同的学科技术领域,并且各自经历了独立的发展过程。因为生物芯片的应用对象主要是 DNA 分析,所以早期也称之为基因(DNA)芯片,其发展契机主要来自于现代遗传学的一些重要发现,并直接受益于该领域的某些重要研究成果,如在载体上固定寡核苷酸的基础上以杂交法测序的技术。这类芯片在前几年发展较快,在国外已实现深度产业化;而微流体芯片则是在分析化学领域内发展起来的,它以分析化学为

基础,以微加工技术为依托,以微管道网络为结构特征,以生命科学为目前主要应用对象,是当前 $\mu$ TAS的发展重点。应该说 MEMS 技术的飞速发展打开了人们的想像空间,科学家正是在 MEMS 技术的基础上设法利用半导体工艺在玻璃、塑料或硅材料的表面上刻蚀出“微流体化学实验室”芯片。借助这种芯片,科学家可以在很短的时间内,以高于现有任何方法的精度进行生物化学分析。科学家无需再摆弄烧杯、试管、本生灯,而只要把少量样品注入包含有微化学芯片的装置内,等几分钟即可在计算机显示屏上看到生化分析结果。甚至有人设想,家庭化学实验室的实现也指日可待。

美国 Nanogan 生物技术公司的研究人员认为,微化学芯片可以提高分析的精度,因为传统的化学实验室是一个开放系统,对于一个复杂的分析流程,虽然某些步骤可以实现自动化,但在若干环节上必须有人介入,通常需要将样品从一个容器移入另一个容器。当样品移动时不仅会发生损失,而且开放系统还有产生污染的危险;与此相反,如果将样品加入到微芯片中,那么分析工作就会完全在芯片内进行。

最近的发展表明,20 世纪 90 年代初由 Manz 等人提出的以多学科交叉为重要特征的  $\mu$ TAS,预计在未来 10 年内将对分析科学乃至整个科学技术的发展发挥类似的作用。

该种微流体芯片不仅封装坚固、操作简便,且成本低廉,可广泛用于军事应用中,进行生物检测、毒物鉴定、DNA 分析、细胞分析、药物准备和药物输送。MEMS 技术与生物和化学领域的接口是集成生物流体微控制芯片,这种芯片具有自主重构和调节的反馈控制功能。集成微流体芯片可以控制物理和化学参数,在芯片上可以同时进行分析。与这类由不同材料和不同加工方法得到的多功能集成微流体元件(结构、传感器和执行器)相兼容的微制造技术正在开发中。MEMS

技术将用于制作带有可动态控制表面特性的传感器的集成微流体输运元件,并且将开发芯片尺度器件中的“样品对结果”的完整解决方案。这些生物流体芯片能够通过连续对战士体液取样的方法非常方便地监测其身体状况。最终, MEMS 技术将诊断、快速检测和注射治疗药物集成于同一个芯片上。通过类似的技术可以实现对微流体芯片的革新,将微流体芯片制成如手表一样的产品分配给每一个战士。指挥官将可以实时监测进入战斗状态的军队从药物使用到生物试剂感染的全部情况。这种芯片还能够用于战斗中的紧急治疗方案选择。在执行紧急战斗任务时,也能够用 MEMS 生物流体芯片以提高军队的战斗力。未来的军事演习将从“身体到硬件”的整个系统,这样模拟可以反映真正的“战斗情景”。i-STAT 公司曾在市场上推出过一种手持式全化学分析系统。尽管在系统中只有生物传感器是由硅制作的,但是这一系统向人们展示了基于硅传感和微机械技术的微化学分析系统的巨大潜力。在宇航任务中,集成化学分析系统受尺寸和电源的限制,解决的最好办法就是利用微系统技术。

目前微分析仪器的概念已经得到普及,将微电子技术移植到分析仪器的设计、开发中,研发出尺度微小、可脱离传统实验室工作类型的完整新颖分析仪器是其第一层含义。为适应现代化科技发展的需求,设计、开发出只需要微量(nl-pl)样品就可完成准确分析的检验要求、或可插入单个细胞、或可对基因进行分析检测的分析仪器,是微分析仪器的另外一层含义。现代科技发展迫切需要具有这两种含义的微小型分析仪器。市场前景宏大的家用、个人用分析仪器,也要求发展小型化设计思想,设计开发出尺寸小、重量轻、需样量小,且无磨损(无活动件)、耐振甚至零故障的新颖分析仪器。

基于以上论述,可以得出这样一些结论: MEMS 技术是一个多学科交叉的新兴领域,有着

巨大的发展潜力,而其发展潜力是基于这种新型的技术可以给人们带来巨大的市场效益,这种市场效益的前景使得大量的资金、人力、物力等资源投向了这一新兴领域,同时带动了与之相关的传统学科,为这些传统学科的发展注入了活力。但事实上,从发展的角度看,MEMS 技术还有许多问题尚待解决,甚至没有独立完整的理论体系,微小化所带来的尺度效应实际上早就存在于各个传统学科自身发展的体系中,而其预期市场的发展也不会一帆风顺。

在微流体分析系统中,结构微小化后,在芯片内与样品的体积相比,反应室室壁所占空间很大,因此室壁会对样品产生化学作用,芯片内的分子或生物细胞过于频繁地与包容它们材料相碰撞,就会发生不希望的化学反应。玻璃最不容易与样品发生反应,但玻璃材料无法与微加工工艺兼容。塑料是一种廉价的材料,适于制作一次性芯片,但它有较多的表面反应,也不像其他材料那样经久耐用。硅材料比玻璃的散热性能好,克服了温度不稳定的缺点。温度起伏会将细胞推到它们不应该去的地方。为了抑制硅的表面反应,研究人员已开发了多种减少反应室室壁作用的方法。美国宾夕法尼亚大学医学院的 P. 怀尔丁采用二氧化硅来钝化硅表面。怀尔丁已致力于化学芯片的研究达 10 年之久,Nanogen 公司的科学家将凝胶积在反应室室壁上,使硅材料不与样品直接接触。

而 MEMS 产品市场化、商业化的瓶颈之一是信息共享问题。对于一种产品而言,产品的设计过程从一开始就应该以满足终端用户的需要为最终目的;而了解究竟谁是用户,将会使生产商理解哪一种产品或是方案需要开发。如果 MEMS 的生产商愿意与他们的基本元件和技术的供应商分享这些信息,作为回报,这些供应商会向生产商提供支持产业发展方面的丰富资料;但是在 MEMS 领域,更多情况下是被某些企业或个人独自占有,

而不是共同分享。MEMS 商业化的另一个障碍是行业内缺乏将一种新的方案带入市场的能力。现在行业内已经将重点放在如何生产更新和更奇特的元件以替代过去的产品,但是重磅级的产品少之又少。1997 年模拟加速度计的市场销售量为 1800 万美元,侵入式血压传感器为 1600~1800 万美元,喷墨打印头为 1.4 亿美元,硬盘驱动头为 6 亿美元。此外,MEMS 行业已无余力去做其他的事情。MEMS 商业化的障碍之三是基础技术薄弱。自 MEMS 问世以来,用于 OEM 的产品迅速增多,已经从最早的压力传感器和加速度计发展到更多的富有挑战性的速度传感器、显示器及微型喷嘴。但由于这些新型 MEMS 元件极端复杂和尖端,而与商品化过程配套的设计工作、材料及测试和生产方面的技术发展却未能及时跟上,因此尚需更多的生产厂家加入才能形成一种产业规模,以达到最终实现 MEMS 商品化的目的。另外,如果 MEMS 产品想真正投入市场,还需要包含有各学科相关知识,并使之拥有一致性的设计、开发和测试方法。MEMS 产品与大多数半导体元件不同。MEMS 容易受周围环境的影响(如压力传感器必须工作在热机油和散热液中),这就关系到产品的外封装和相互兼容性问题,直接影响系统性能和成本。英国 Smiths Industries Aerospace 的 Geoff Beardmore 教授在关于微型器件封装的综述报告中提出,器件的成本 80% 用于封装,而产品出问题有 80% 是由于封装所致。MEMS 器件与微电子器件的封装有所不同,大多数 MEMS 器件工作时与外部世界直接接触,而微电子器件一般只是通过电信号与外界接触;因此,微电子器件除电极引线外,其他部分可以完全密封。

据业内人士预测,在未来 5 年内微机电系统(MEMS)的销量将有可能迅速增长,但有一定难度。尽管现已建立了完善的 MEMS 生产线,如气囊加速度计、汽车引擎的各种绝对压力传感器、血

压传感器以及热喷墨打印机的喷墨头等,但可以利用像压力传感装置等一些成熟的生产线生产的新产品尚未面市,因此市场只会有适度的增长;相反,已有器件如经过改进可用于一些新的应用领域。

综上所述,我们必须承认 MEMS 的研究热潮有其历史及发展的必然性,而仍需强调的是这并没有否认传统科学技术的重要性。传统科学技术还将继续发展,只是其加速度不可能像从前那样大,但是作为微技术发展的基石,其作用是不可替代的, MEMS 和其他微技术也不可能是脱离传统科技的空中楼阁,它必然是以传统科技为基础,协同相关科技进行发展。显而易见,微技术的研究工作也应该是在某一传统研究领域的基础上进行

的,国外的成功经验无不显示其研究工作的针对性及对市场的敏锐洞察力和预见力。

目前国内有很多单位从事 MEMS 的研究工作。由于 MEMS 是一个由微小化带来的新概念,而其内涵却几乎可以覆盖所有的学科领域,所以大多数从事 MEMS 研究的机构都是在自己原有的工作基础上进行微小化研究。国内在微流体领域的研究单位主要有清华大学、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所等单位。清华大学早已研发出了压电致动微型流体泵,目前主要从事与生物医学生化分析等相关的微型流体分析系统方面的研究工作,在微型流体混合、微型流体的光学探测方法以及微型流体的定量输运等方面均展开了深入的研究。(No. 6)

## LD 手动调芯及 YAG 焊接系统

**功能:**实现 TO—CAN 型 LD/PD

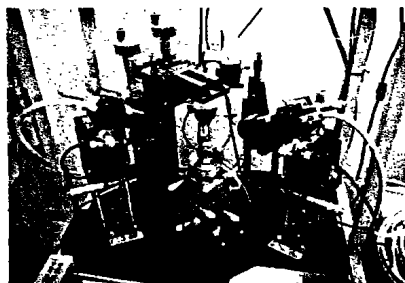
及同轴型模块的封装。

**特点:**(1)低成本的 LD/PD 模块封装;

(2)更容易的更换夹具;

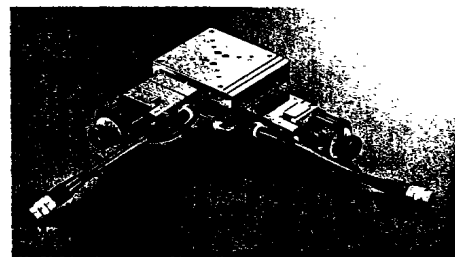
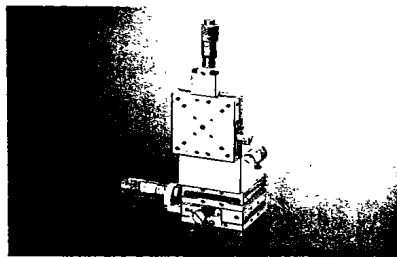
(3)3 点 YAG 焊接;

(4)对准单元可按需要更换。



### 手动和电动 不锈钢微调架

采用线性导轨与底板一体化的先进结构。承载能力高,刚性大,价格低。



### 长春骏河精机有限公司

Changchun Suruga Seiki Co., Ltd.

地址:长春市经济技术开发区光电子产业园区营口路 18 号 邮编:130031

销售电话:0431—6176389, 6176635, 4665443

传真:0431—4665445, 6176378

主页:www.cc-suruga.com

深圳办事处电话:0755—26619190, 0755—26619156

传真:0755—26619157

上海办事处电话:021—62870630

传真:021—62870639