

## 学科发展

# 微系统进展

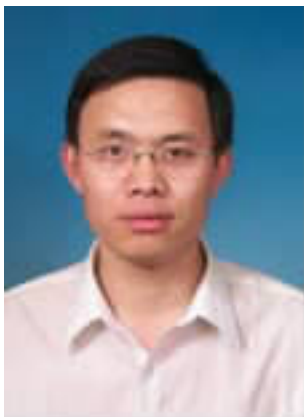
## 与我院微系统发展战略思考

封松林 王渭源 王跃林\*

(上海微系统与信息技术研究所 上海 200050)

**摘要** 微系统是指集成了微电子和微机械(或光学、化学、生物等方面的微元件)的系统。它以微米尺度理论为基础,用批量化的微电子技术和三维加工技术制造,用以完成信息获取、处理及执行的功能。阐述了国内外微系统技术及其产业发展的历程、现状和趋势,比较分析了我院微系统技术发展现状。基于以上分析讨论,提出了我院微系统发展战略。最后提出了对我院微系统产业发展的思考。

**关键词** 微系统, 进展, 产业化, 发展战略



### 1 微系统概述

现代信息系统或控制系统是由信息获取、信息存储、信息处理及信息执行等诸部分组成。在微电子技术推动下,现代信息处理和信息存储系统已高度集成化、微型化,构

成了集成微电子系统(集成电路,以下简称 IC)。它不仅使系统体积大大减小、功能大大提高,同时也使性能、可靠性大幅度上升,功耗和价格大幅度降低。IC 的成就把人类带上前所未有的高生产力,并推动人类社会迈向知识经济时代。

但是,一个完整的信息系统不仅需要作为信息处理和信息存储系统的 IC,还需要有相应的信息获取和信息执行系统,其中包含大量非电的机械、光学、化学和生物等元件,其微型化和集成化比较困

难,进程明显落后于 IC,已成为信息系统进一步发展的“瓶颈”。

本文所说的微系统是指集成了微电子和微机械的系统以及将微光学、化学、生物等其它微元件集成在一起的系统(集成微光机电生化系统)。微系统不是直接用传统的 IC 加工方式制造,而是以批量化的微电子制造技术为基础,加上特有的三维加工技术,并与 IC 集成在一起,组成一个可以完成信息获取、处理及执行功能的完整信息系统。这一思想的科学意义重大,并将带来显著的经济效益。微系统技术的诞生和发展为解决未来信息系统的微型化问题提供了一条有效途径。

微系统将信息获取、处理和执行融为一体,还会派生出多种新原理、新器件和新系统,将进一步促进产品微型化和智能化,并达到节能、节材以及大幅度提高产品附加值的目的。微系统及其相关技术在汽车、信息、工农业过程控制、通信、数据存储、仪器仪表、空间和国防等领域有广泛用途,也为物理学、生物医学、化学等基础学科的发展提供新技术。

\* 本文作者还有:刘海涛,祝向荣

收稿日期:2002 年 12 月 16 日

电子信息处理系统主要通过电子的运动来完成信息处理,其科学基础主要是电子在固体中的运动,理论体系已相当完整。微系统则是一个新领域,不仅与电子在固体中运动有关,而且还涉及到微尺度下材料的力学、热学、机械运动、光学以及流体运动、荷电粒子输运等基础问题,现有的宏观尺度理论较难解决微米尺度下的问题。

目前,微系统的理论体系有待建立,技术有待改进,产业有待发展(我国几乎没有)。这些问题的解决既可促进相关学科的发展,又能对国计民生产生重大实际影响。

## 2 国内外发展现状和趋势

20 世纪中叶开始,随着对半导体光敏、力敏和磁敏等性质的深入研究,利用这些性质的各种传感器相继出现。70 年代末,国外 Si 湿法深加工技术和 Si / 玻璃键合技术等微机械技术开始被突破,初级微系统的体 Si 压阻式压力传感器问世,几年后实现了规模生产(用于汽车和一次性医疗检测),从而开始了一个新的产业领域——微系统产业,并把 Si 不仅作为电学材料也作为机械材料考虑的历史<sup>[1]</sup>。80 年代中期,Si 表面微机械技术(如牺牲层技术等)、静电驱动和微马达技术得到了突破,导致 90 年代初 Si 加速度传感器和数字微镜器件相继规模生产(用于汽车安全气囊和数字显示系统),同时期微机械喷墨打印头和用于计算机微机械读 / 写头规模生产,并一跃成为微系统产业的最大支柱<sup>[2]</sup>。90 年代中期,对微米尺度 Si 材料等力学、微摩擦、传热学、微结构间粘附、流体输运等微系统基础性能开展了深入研究,推动了微系统的微米尺度理论的发展;并围绕微陀螺、生物微系统、微机械光开关和微机械 RF 开关以及精密读 / 写头等开展了大量研究,取得了一批有希望应用于汽车、生物检测、光通信和无线通信以及计算机设备的研究成果<sup>[3]</sup>。

近几年,Si 干法深加工技术日趋成熟,实现了多种键合封装,甚至芯片级的键合封装技术。

微系统产业方面,资料<sup>[2]</sup>显示,1996 年及其后几年的全球微系统销售总额为 16.75 亿—29.40 亿美元,主要产品包括:惯性微系统器件、微流量系统、压力测量器件、读 / 写头以及光学系统和 RF 微系

统等,其中用于汽车工业和信息产业的微系统居主导地位,占微系统市场销售总额的 82%—84%,并被几个大公司垄断:如 AD 公司的气囊加速度计,通用汽车公司等汽车厂商的汽车压力传感器,Nova 敏感器件公司的医疗压力传感器,HP 公司的喷墨打印头,IBM 公司的读 / 写头。近期资料表明<sup>[4]</sup>,到 2005 年微系统销售额可达 68 亿美元,年增长率 20%。

考虑到实际的投入产出比,特别是与 IC 比较,微系统产业发展仍显得滞后。虽然微系统研究成果很多,但规模化产品有限,产业规模较小。主要原因包括:有的微系统成果还不能规模生产,如微陀螺的技术指标能满足汽车实用要求,但价格却降不到可以规模生产的程度。有的成果目前只能小批量生产,如名片盒大小带扩增器的 DNA 探测芯片,8×8 阵列微机械光开关,插入损耗很低的光衰减器,模仿人嗅觉检查食物新鲜度和环境质量的电子鼻,蚕茧大小可在野外发送温度和湿度数据的敏感器,戴在糖尿病患者手腕上的血糖计测器等市场还未打开。有的成果暂时只能是样品,如 112×112 阵列微机械光开关,市场和技术成熟程度都还有问题<sup>[5]</sup>。此外,微系统涉及的学科多、交叉性强,需要不同学科研究人员协同作战,研究难度较大。另一方面,一个实用的微系统包括专用电路和相应的非电子部件,须进行微系统特有的三维加工,还要求与集成电路工艺相容,加工难度相当大。因此,目前大量成果还只是样品。这种局面亟待取得重大突破。

目前,国际上对微系统产业给予了高度重视,发达国家都有自己的发展规划。美国政府将微系统列为“在经济繁荣和国防安全两方面都至关重要的技术”,国家自然科学基金会和国防部先进研究计划署都有专门研究规划,并专门建设了好几条共享的微系统加工线。许多大企业如 IBM、朗讯等公司均对微系统投入了巨资。日本和欧洲国家也不例外。

国际上重视微系统的原因是因为它潜在的巨大经济价值和社会价值。虽然目前大量微系统成果还只是样品,但其发展潜力很大,一旦技术被突破,能形成批量生产,就会出现新产业。目前正在试制植入人眼窝内的微系统眼睛,一旦成功将能使盲人重见光明。近日 AD 公司宣布<sup>[6]</sup>他们已能规模化生

产用于汽车上的微机械陀螺,每只售价仅 10 美元,预言几年内产量可达上千万只,产值达上亿美元。

微系统还与武器装备密切相关。在海湾战争中,大显身手的美军“伦巴斯”战场侦察系统就装备有大量的微型传感器等微系统产品。1999 年科索沃战争中威力巨大的侵彻弹应用了高冲击加速度传感器。2001 年底美军在阿富汗反恐战争中使用的高科技武器包含许多微系统技术,如投下的灵巧炸弹中有 3 个微陀螺、3 个微加速度计和 1 个 GPS;用于山洞等特殊地形侦察的微型机动机器人;飞到阿富汗上空将侦察信息实时发回美国本土的无人驾驶飞机(高度 15 000 米,航行 24 小时)装备有红外和光电传感器以及微加速度计。“911”事件后,美国加紧研究战场空气和饮水质量检验的微系统,用以对付芥子气、沙林、炭疽等生化类武器。

微系统的一大发展趋势是具有复杂的信息获取和综合处理及执行能力的综合微系统,如皮卫星和微系统信息网等。皮卫星是重量仅在 1 公斤以下的微卫星,采用一体化设计和微系统技术实现高密度的器件集成,有效提高承载比例,能够完成空间立体成像、分布式空间测量等复杂任务。微系统信息网是以现代传感探测、通信及计算机等高科技为依托的综合目标监视系统,在国民经济领域有广阔的应用前景,蕴涵着巨大的商业价值。

我国微系统研究起步不算晚,主要的研究单位有中国科学院和若干重点高校。上世纪 80 年代,国家自然科学基金委员会、机械电子部等部署了相关重点项目,90 年代国家科技部先后组织了“攀登计划”“微电子机械系统”<sup>[6]</sup>和国家重点基础研究发展规划“集成微光机电系统研究”等重大微系统基础研究项目<sup>[7]</sup>。目前,我国在国家层面布署的微系统相关项目还有“863”重大专项等。

十几年来,国内有关研究单位在微系统方面取得了一批有特色的成果,但多数停留在基础技术,或仅做出未封装、没有配套电路、不能实用的芯片,少数如体 Si 压阻式压力传感器、薄膜电阻温度传感器等,由于需求不大(仅用于仪器仪表),只有小批量生产,微机械湿度、PH 传感器刚开始有产品。总体上说,我国至今还没有形成微系统产业。目前市场上销售的微系统产品基本上是国外产品或国外

芯片在国内封装。这是我国微系统领域与国外的最大差距,如何建立微系统产业是我国科技工作者的头等大事。

近几年来,国家有关部门在北京大学和上海交通大学建设了微米/纳米加工技术的国家级重点实验室,在中国科学院上海微系统与信息技术研究所(以下简称上海微系统所)投资建设了侧重于微系统封装组装的微系统技术国家级重点实验室,这是我国发展微系统的重大举措,旨在为国内提供较好的共享研究条件,除可对研究开发以至小批量生产的条件有很大改善外,还将起到稳定人才和吸引国内外优秀人才的作用。

微系统今后十年的重点仍然在信息和汽车产业。另外,通信、医疗、环保、国防和空间将成为其新的应用领域。必须从具体情况出发,加快发展微系统技术和相关产业。

### 3 我院微系统发展状况

中国科学院是国内较早开展微系统研究的主要科研机构之一,“八五”、“九五”期间,中国科学院所属有关研究单位在微系统领域内承担了国家“攀登计划”“微电子机械系统”、国家攻关传感器技术专题、国家自然科学基金以及地方基金等项目,取得了一些国内领先的研究成果:

(1) 微机械及传感技术:主要阶段性成果有上海微系统所的微加速度传感器、微流量传感器、微马达、压力传感器、生物芯片等;电子学研究所的气敏传感器等;合肥智能机械研究所的智能气体传感器等;声学研究所的微型声学传感器、声学微机电驱动技术,长春光学精密机械与物理研究所的微型电机、微操作平台等。

(2) 微光学技术:阶段性成果主要有成都光电技术研究所的用于红外焦平面探测器的衍射微透镜阵列器件等。

(3) 微加工技术:主要有上海微系统所、电子学研究所等单位的硅微加工技术,高能物理研究所的 LIGA 技术,长春光学精密机械与物理研究所、上海光学精密机械研究所等精密机械加工技术。

(4) 通信微系统:主要有上海微系统研究所的 MEMS 光开关,初步成果有 1×2 光开关等,微电子



中心的射频收发模块技术。

(5) 微系统基础理论:上海微系统所、长春光学精密机械与物理研究所等单位“九五”末期开始承担国家“973”项目“集成微光机电系统研究”,研究微系统中关键的基本单元中的运动机械、光学和射频元件及流体输运机构等微米尺度内的基础理论和基础技术问题。另外,兰州化学物理研究所开展了微系统润滑技术方面的基础工作,大连化学物理研究所开拓了与微系统相关的微型化工基础研究领域。物理研究所对新一代光子器件和光通信相关的光子晶体材料研究取得了一系列基础性成果。

虽然我院“八五”、“九五”期间在微系统方面取得了不少有意义的研究成果,但与国外同期水平相比,仍具有相当大的差距,从总体上看存在以下不足:首先,资金投入总量不大,研究力量分散,未能形成重点。其次,制作基础偏弱,特别是封装、测试等方面的基础十分薄弱,在关键技术方面缺乏自主创新的知识产权。再次,微系统产品具有多品种、小批量、专用性强的特点,其研究必须针对明确的需求提出问题、解决问题,保证研究成果尽快被用户采用。但过去的研究往往未瞄准需求,发展目标不明确。还有,微系统的研究需要宽广的知识、多学科交叉和多种技术融合,难度大,过去的研究队伍无论在质量和数量上均明显不能适应,同时,存在院内外单位相互学习、交流与合作不够的问题。

“十五”期间,中国科学院加大了在微系统领域的投入,微系统技术被列入院重点发展的关键技术。除了积极支持所属单位承担“973”、“863”等国家级重大重点项目之外,中国科学院还通过顶层设计,在院层面部署了微系统器件与共性技术的重大项目、生物芯片重大项目以及微系统前沿技术等重要方向性项目,直接投入的研究经费达到数千万元。在微系统技术平台建设方面,为微系统技术国家级实验室的建设投入了大量的配套资金。

为进一步推进微系统技术研究与发展,使我院微系统研究进一步瞄准国家战略需求和技术发展趋势,中国科学院于 2001 年组建了院微系统技术研究发展中心(以下简称微系统中心),成立了微系统发展战略委员会。“微系统中心”的主要任务是:围绕先进传感器及模块、光通信器件及模块、无线

通信系统、生物芯片等微系统技术进行研发;建设开放的研发平台;开展广泛的国内外学术交流,并与社会力量共建孵化器,共同推进微系统技术发展和成果的产业化。

以上投入和举措大大加快了我院微系统技术的发展步伐。目前,上海微系统所、声学研究所、半导体研究所、电子学研究所、沈阳自动化研究所、中国科技大学等单位在微系统信息网技术、皮卫星技术、微惯性传感器、微型声传感器、电场传感器、通信微系统器件、微机器人技术、生物芯片技术、微系统封装工艺等方面的关键技术取得了重要突破,为全面完成“十五”目标打下了良好基础。

#### 4 我院微系统发展战略

为推动我院微系统技术不断发展,并使之在国内外占有重要地位,应首先明确我院微系统发展的指导思想,即努力做好院内重大项目和国家相关项目的衔接,互相促进,使我院微系统技术研究成果在产业化前期发挥重要作用;联合国内高校和工业部门研究机构,建立开放的、工程化的微系统技术平台;优先发展符合国家急需并能在较短时间内取得关键突破的微系统技术;重点推动若干具有重要产业化前景、促进国民经济发展的关键微系统技术研究;鼓励微系统关键基础研究,推进原始创新。

其次,应明确我院微系统发展的中长期发展战略目标,即突破和掌握微系统关键制造技术,重点发展专用微系统器件、通信微系统器件及模块、生化芯片系统;掌握微系统信息网、皮卫星等综合微系统技术,促进微系统技术集成创新;在微系统技术的研究和产业化方面达到国内领先水平,某些方面达到国际先进水平;使我院的微系统加工平台成为一流的、在世界上有一定地位的微系统加工中心;培养一支高素质的微系统研究、开发和应用队伍,保障我院微系统技术的可持续发展。

为实现我院微系统发展战略目标,具体任务可分两步实施:

第一步:近阶段,即在“十五”期间,以微系统中心为依托,部署重点研究领域,在微惯性器件、生化微系统、通信微系统器件等重点微系统技术领域内取得突破,获得自主知识产权成果;推动生化芯片

等有特色成果的产业化;建设先进微系统技术平台;培养高素质微系统人才队伍,建立我院微系统技术创新体系。

第二步:中长期阶段,通过持续发展,实现多功能高集成度的微系统,使“微系统中心”成为国际上有影响的研发中心,使我院微系统技术的研究和产业化达到国内领先,某些方面达到国际先进水平。

## 5 关于我院发展微系统产业的思考

微系统是高科技产品,根据目前我们的认识,要达到规模化生产,有四个方面的关键问题:微米尺度理论,微机械关键技术,典型产品开发定型,推广应用。只有完成这一研发、企业、用户链,才能形成产业化。

从表面上看,微系统是宏观物体缩小到微米尺度但不到微观量级的物体,是用微机械技术制备的一个具体东西,看得见,摸得到,但实际上,随着体积缩小、物体表面积增加,导致物体性质不仅受温度、压力等可定量的参数影响,而且受不少由于表面性质引起、目前还不可定量的参数的影响,其理论既不能用宏观也不能用微观描述。研究这些理论对微系统的设计和优化有重要参考作用。

微机械关键技术包括加工技术、信号处理技术和微封装技术等。加工技术的特点是准三维微机械加工,越深越难;信号处理技术的特点是既有模拟电路又有数字电路,而且信号很弱;微封装技术的特点是要面对凹凸不平的表面进行封装,在光通信微系统中还需要无损耗耦合。为了保证做出、做好微系统,必须研究和熟练掌握这套关键技术。

典型产品开发定型包括成品率、可靠性等问题。一个规模化生产的产品,没有高成品率和高可靠性是不可想象的,这也是检验能否规模生产的重要条件。

推广应用和市场认可需要时间,如数字显示和摄像花了 10 年才迎来部分代替 CRT 和传统胶片照相机,根据近年的市场经验,新产品打开市场至少需要 5 年。但也要考虑到市场不能等待,切不可不抓紧而错失良机。

发展我院微系统产业的当务之急是应该抓住机遇。机遇和挑战并存,但机遇大于挑战。近几年我

国和我院对微系统投入增加,各方面条件有较大改善。目前国内外都有大量实验室成果还没有实用化,都期望技术和应用有重大突破,这是潜力;和 IC 不同,微系统除几种产品为几家大公司垄断外,还有很多小批量、多品种的产品,适合中小公司生产,有新产业的机遇。然而,国外每一个新产品的问世都意味着我们失去一分机遇。所以时不我待,应尽快出成果。

充分发挥“微系统中心”的功能,真正做到为国内外服务。作为院内外一流的微系统加工基地,“微系统中心”除了为微系统的研究提供技术支持外,还应发挥“专业孵化器”功能,为企业或创业者的项目提供孵化条件,孵化成熟后再由企业或风险基金投入创办高科技企业,实现产业化。

进一步加强对微系统发展的支持和领导。主管领导部门要制定有利于产业化的方针政策,鼓励和挑选对创业有激情的科技人员带成果去办创业公司,给予创业人员在创业阶段留薪留职、停薪留职等优惠条件。要精心组织科技人员统一思想、凝练目标、集中力量、有所为有所不为、协作攻关。

国际上微系统产业的形成是近 20 年的事,已推出的微系统大多专用性较强,今后一段时间可能仍以专用微系统为主,品种将呈现多样化,任何一个国家难以像对 CPU 那样全面垄断。我国在这方面已有一定基础,现在正是加速推动这一领域的合适时机。经过努力,结合中国特色和需求,我们一定会在不久的将来有自己的微系统产业。

### 主要参考文献

- 1 Petersen K E. Silicon as a mechanical material. Proc. IEEE, 1982, 70:420-457.
- 2 Bill D. MEMS 1999 Emerging Applications and Markets. System Planning Corporation. wdetlefs@sysplan.com., 1999.
- 3 集成微光机电系统研究研讨会论文集(内部资料). 1998.
- 4 Valerie T. Network of Excellence in Multifunctional Microsystems. Small Times, April 8, 2002.
- 5 MEMS for everyman analog gyro puts a new spin on price, Small Times, 2002, 10-18.
- 6 Weiyuan Wang. Achievements of China National Climbing Project MEMS. the 5th International Conf. on Solid-State

and Integrated Circuit Technology Proc. Beijing, China. 1998, 870.

7 Songlin Feng, Yuelin Wang, Weiyuan Wang. Bring MEMS commercialization in China. the 7th International Conf. On the Commercialization of Micro and Nano Systems COMS 2002. Ypsilanti, MI, USA. 2002, 219-222.

Microsystem’s Evolution and Develop Strategy of Microsystem of Chinese Academy of Sciences

Feng Songlin Wang Wei yuan Wang Yuelin *et al.*

(Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, CAS, 200050 Shanghai)

Microsystem is defined as the system integrated with IC and micromachine or optics, chemistry and biology types of micro-units. The microsystem, which has the ability of both picking up, managing and executing of information, is based on micron scale theory, manufactured with the technique of IC and 3D processing. In this paper, the domestic and oversea develop course, evolution condition and trend of mircosystem technology and its industrialization was described in detail. Furthermore, the develop condition of the micorsystem technology of Chinese Academy of Sciences (CAS) was also discussed. Based on above description and discussion, the authors brought forward develop strategy of microsystem of CAS. Especially, in this paper the authors deeply analyzed the approach to the realization of microsystem technology's industrialization in CAS.

**Key words** microsystem, evolution, industrialization, develop strategy

**封松林** 上海微系统与信息技术研究所所长,研究员,博士生导师,中国科学院微系统技术研究发展中心主任、理事会成员,“十五”“863”计划主题和专项专家等。1964 年出生。1990 年获法国巴黎第七大学博士学位。研究领域为低维半导体材料、器件及物理。