

* 学科发展 *

微电子机械前沿*

吕琼莹

(长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 本文从微机械学科的形成及应用两个方面,探讨了微机械与各相关学科之间的内在联系。从对该学科自身发展规律的认识和对以往研究经验的反思出发,分析了若干典型微机械技术的前沿研究与潜在应用,并评述了国内外微机械研究的主流和发展趋势;探讨了我国发展微机械学科的合理模式和运作规律。本文从宏观的角度为微机械学科与其它学科的交叉和融合寻找切入点,以期达到运用多学科知识解决同一问题的愿望。

关键词 微机械, 纳米技术

1 概述

微电子机械(以下简称微机械),在国际上称为 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems),亦即微电子机械系统。这个名词最早出现在 1987 年。

微机械技术的出现不是偶然的,它和微电子技术的发展有着密切的内在联系。大规模和超大规模集成电路技术的出现,标志着微米至亚微米级光刻微结构制作技术的成熟,以该技术为基础,有可能实现机械系统的微型化、集成化,甚至把机、电、光、热、化等多种功能单元组成的复杂系统集成到一体,并也能象集成电路一样大量复制、廉价生产。这就是微机械技术的原始设想。如果这一设想得以实现,则势必造成空前的产业革命。

事实上,长久以来,我们一直渴望着能站在微观的角度更直观、更真实地感知变幻的客观世界,从而弥补各种宏观手段的间接性和盲目性。微机械科学,正是人类向着这一梦想迈出的实质性的一步。

广义上讲,微机械是一种集成化了的自主微系统。它基本上由制动器、传感器、执行器、控制单元、分析处理单元和能源供给部件等多种子系统集合而成。

尺寸微小、功能集中是微机械的主要特征。所以不可以把微机械理解为常规机械的比例缩小,或机电单元间的简单组合。微机械的各要素单元之间,在功能上彼此独立,在结构上又相互统一,即在原理上,系统的各组成部分分工明确,机制各异;而在设计和工艺上,又都有着一致

的方法和手段。在这种意义上说,微机械是一个机、电、光、热、化和谐而统一的系统。

微机械一般采用批处理的方法加工,而且力图使整个系统在一个工艺过程中一次性制作完成,基本上不需再装配。这是微机械得以廉价生产的根本原因。在应用上,微机械通常是以分散集约的方式工作,一个微机械系统只完成一项工作,多个微机械系统之间按约定的规则协调作业,共同完成一个任务。如此分散而又协调的工作方式,不会因个别系统的失效而影响整个任务的完成,因而最大限度地提高了系统应用的可靠性。这对投资巨大并对可靠性要求极高的大系统,如星际探索、军事应用等,是极具诱惑力的。

2 微机械技术的实现与实施

从系统的层次来看,研究能量和运动在微小物体内部的传递和变化规律是微机械技术要解决的核心问题。依据这一推断,微系统的发展规律应该是由可动到可用最后达到实用,其中,可用必然是决定微系统能否继续发展的关键一环。构成微机械系统的要素技术的发展直接依赖于相关知识和技术的进步,因此,这种技术应该也可能独立于微机械系统而发展。它表现为要素技术的研究目标具有双重性。一方面为保证系统的可动和可用,要素技术至少应先行于系统做到可行和可靠;另一方面,在微机械技术达到实用化以后,要素技术必然作为微机械的基本内涵,向其它学科渗透,这就是要素技术的可变性。

由于微机械学科本身的理论和技术体系还很不成熟,所以只能通过实例分析和概括对该学科作直观描述。这种论述方法虽在一定程度上带有片面性,但对探寻学科发展、融合过程中的新的生长点,又有一定的参考价值。

微机械是一门诞生时间不长的新兴边缘学科,它所涉及的理论和技术甚为广泛。这里将通过微技术宏操作和宏技术微操作的实例来说明微机械在宏微之间的桥梁和纽带作用。

2.1 纳米卫星

在通常的概念里,卫星自然是一个造价昂贵的大系统,而要把这样一个重达几吨的人造物体送入轨道,则同样是耗费惊人。显然,如果能把卫星做小,则必将极大地降低卫星的制作和发射成本。事实上,今天的航天技术正在把这一设想变为现实,这就是将在 21 世纪出现的“纳米卫星”(nano-satellite)。

纳米卫星代表了卫星发展、构型和运行体系结构的一种新的尝试。利用微机械技术有可能把卫星的制导、导航、姿态控制、热控制、推进、能源和通讯系统等全部微型化和集成化,并廉价批量生产。当需要生产某种卫星时,可以从上述功能单元中选配合适的系统部件(可能是一块硅片),经过组合、堆砌构成所需的卫星应用系统,即“纳米卫星”。由若干个这样的“纳米卫星”组成的星座布设成的分布式航天体系结构,避免了因单个卫星失效而造成对整个航天体系的影响,从而增加了航天体系的可靠性和灵活性。

所谓“纳米卫星”不是说卫星的尺寸为纳米,而是指由于卫星总体尺寸的减小,构成卫星的各个功能部件的某些结构尺寸将达到纳米量级,这样的微结构当然不是通常意义下的机械加工所能做到的,而只有依靠微机械加工技术才有可能实现。

预计,在 21 世纪将有 0.1Kg 重的卫星群在轨道上运行,卫星科技将进入“纳米卫星”的时代。“纳米卫星”并不代表微机械,但它的实现显然离不开微机械技术的参与,微机械技术在航

天系统中的应用,需要材料、微电子、微机械和航天器各分系统(结构、推进、温度、导航、动力、通讯等)不同领域专家的密切合作。

2.2 细胞精细操作

在生物工程、医疗保健等生命科学研究中,人们往往要与构成生命的基本单位——细胞打交道。通过对细胞的分析与处理,我们能够解释衰老的起因,寻找到攻克癌症、艾滋病的良方,甚至可以构造新的物种。

现在对细胞的研究一般采用批处理的统计学方法。直观地理解,这种方法容易造成鱼目混珠和人为误差,经验性因素起主导作用,难以得到定量的实验结果。细胞学研究者迫切希望有一种更精确的科学手段来改变现况,使细胞学研究进入更先进的定量化阶段。这就要求能对单个细胞作精细的定量操作。如果真能做到这一点,则将意味着生命科学的一场革命,并将由此产生巨大的社会和经济效益。

目前,在微机械学家和生物学家的共同努力下,我们已经感到了细胞精细操作的神奇和威力。一系列有别于传统机械意义下的微机械装置已经在实验室水平下开展了对细胞的输送、定位和操作,并已开始尝试将两个不同种类的细胞融合成为一个新的细胞。这些新型微机械手段的应用将建立起全新概念下的精细细胞学研究。

3 微机械前沿课题透视和发展趋势分析

3.1 微机械电机

理论上讲,微机械电机目前所达到的性能指标还远不及它的理论极限。微机械电机性能的进一步提高,一方面受到了制作工艺和封装技术的限制;但在另一方面,我们还必须承认,微机械电机在设计上仍然受传统电机模式的束缚。现在的关键在于,如何从元件的功能设计出发,发展全新概念下的微机械电机,而不是单纯减小其结构尺寸;同时,应用问题也是困扰微机械电机单元技术持续发展的关键因素。既然目前还不能构造出可以直接进入人体实施治疗的智能微机器人系统,因此也就不能指望微机械电机在这样一类遥远的微机械应用目标中尽快发挥作用。在这种情况下,把微电机作为微机械领域中独立的单元技术,探讨其在微机械系统以外的应用显得尤为重要。从微机械整体技术进步趋势推测,微机械电机单元技术在保持了一段高速发展之后,有可能进入一段发展速度相对缓慢的技术积累期,在此之后,该技术将首先在某些方面发挥特殊作用,并得到认可,而后才能被更多的用户所接受,并逐渐走向成熟。预计今后微电机的发展将呈现出两种趋势:作为动力源,将从提高输出力矩的角度考虑,发展低速大扭矩电机;作为控制器和传感器,将进一步提高转速,并延长寿命,研制超高转速的针状或薄膜电机,它可用于微陀螺一类的传感元件。

3.2 集成传感器

集成传感器的研究始于60年代,它沿用了IC工艺的理论和技术基础,今天它已形成了一门独立的学科。70年代末,出现了混合基底受控刻蚀技术,使硅传感器进入了大规模工业化生产阶段,并推动了自动化工业的发展。80年代出现了采用表面微加工技术的各种新型谐振式传感器,并与集成电路制作在一起,由此发展了各种流量、流速和加速度传感器的商品器件。近

年来,微机械三维制作技术和系统集成思想的出现,给集成传感器的发展注入了新的活力。目前的关键问题是找到它们在微机械系统中的重要应用。如果成功的话,那么,10年内我们将看到一个由机、电、热、甚至化学单元组成的大系统。这将彻底改变目前仪器和控制技术的面貌,并将在众多的民用产品中起主导作用,也将为兄弟的电子工业找到新的市场。

3.3 有源导管

日本在确定微机械发展战略时,侧重于微机器人的研究,其核心内容是建立一种称为有源导管的微机器人系统。这项为期10年(1990—2000年)的研究计划总投资250亿日元,以期在21世纪初研究出能进入人体内的微机器人。该计划的近期目标是研制微电子机械系统的各组成单元的要素技术,比如传感器、驱动器、执行器等;中期目标是将各种传感器、驱动器、执行器装于有源导管的前端,进入人体或系统内部执行微操作,在这方面已有各种低损伤的检查、治疗设备用于临床,但还谈不上是真正微机械意义上的有源导管;远期目标是把能源和控制单元也微型化,形成无线遥控或全智能的微系统,摆脱导管束缚,在人体内自由穿行,执行检查和治疗任务。

3.4 微机械微操作系统

在微机械的发展中,人们已经经历了从元件到部件到系统的全面尝试。研究经验表明,要真正把机械零部件和电子线路集成为完整的微电子机械系统是十分困难的,需要经过长期的努力和探索,为此,人们称它为21世纪工程。微操作系统可以认为是联系宏系统与微系统的桥梁和纽带,也可以认为是宏系统向微系统过渡的一个中间环节。一般意义上讲,微操作系统的控制单元是大的,而其执行单元和传感单元却是微的。因此,在技术上它可充分利用现有的宏、微技术的研究成果,具有良好的可行性;而在理论上却给人们了解和感知微观世界提供了理想的手段,所以又是必要和必须的。

3.5 微机械的军事应用

核武器的出现源于原子能的开发与利用,同样,微机械在军事领域中也表现出了巨大的潜力。目前,它作为一项潜在的关键军事技术,已引起了军界的高度重视。某公司在一份研究报告中曾提出了MEMS五个方面潜在的军事应用:①单兵有害化学战剂报警传感器;②敌我识别装置(IFF);③灵巧表面(或蒙皮);④分布式战场传感器网络;⑤微机器人电子失能系统(MEDS)。报告中分析了这些系统的作用及其实现的可能性。以上信息提醒我们,MEMS的军事应用作为微机械发展的一个重要趋向,必须引起我国政府部门和研究人员的足够重视。今天,核武器已越来越受到全世界的抵制,在权衡核战争的得失之后,军事家和政治家有可能更希望在必要的时刻采取不造成巨大物质损失的软战争,微机械技术显然是实现这一想法的原动力。另外,如何应付利用微机械技术制造恐怖活动的微机械反恐怖研究亦同样重要。

4 建立微机械研究与应用的良性循环

早在1988年,国家自然科学基金委就开始了微机械研究项目的资助。1990年前后,国内开始了微机械的系统调研与论证工作,投资逐渐加强。目前在国家自然科学基金委、中科院、

国家科委和国防科工委等部门的资助下,国内已经设立了若干项大型微机械研究项目,开展了从基础到应用、从理论到工艺的全方位、多层次的系统研究。

我国在基础理论与基础技术方面的总体实力与国外差距较大。通过近年来的研究积累,取得了一些阶段性研究成果,尤其在微机械设计理论和单元器件制作方面取得了一系列重要研究成果,发展势头较为明显。目前已经研制出毫米至亚毫米尺寸的静电电机、压电电机、电磁电机、微型泵和阀以及微传感器等多种形式的单元器件。

微机械这一新兴边缘学科在较短时间内得到迅速发展和壮大,为许多学科展示了极具诱惑力的宏伟前景。然而,必须警惕,如果理想超出了实际,则要走向非理性的误区。

4.1 加强具体研究与典型应用的结合,警惕发展的盲目性

基础性应用研究结果如不能很快进入实际应用,则很难继续发展下去。我们注意到,现在看起来似乎很先进的微机械技术,例如微机械电机、泵和阀,其原理可能倒退了 10 年甚至更远,有时人们似乎不大关心它们可以在什么样的装置或系统上应用,而更关心它们的尺寸和制作工艺。所以,不得不提醒大家注意研究目标的盲目性和盲从性。结合我国微机械的技术、理论、学科以及应用领域,制订具有本国特点和典型而实用的微机械研究的中、长期发展战略,将决定我国能否在 21 世纪跻身微机械国际前沿。

4.2 鼓励多学科交叉与融合,组织跨学科、跨行业、跨部门的专业化研究队伍

微机械是一门应用性很强的基础性研究,如何协调好基础和应用研究是微机械发展的关键。强调多学科知识的综合运用及学科之间的密切协作是非常重要的。

我国微机械学科目前正处在发展的关键时期,提高有限资金的利用效率、合理组织研究力量是我国微机械战略决策的紧要问题。为此建议:建立跨学科、跨行业的专业化研究队伍,并选择有可能产生重大突破的研究目标集体攻关。

我国微机械的研究力量主要集中在几个重点院校和研究所,目前还谈不上多学科的实质性参与和合作。微机械研究单位专业雷同,研究工作重复的现象较为普遍,这在一定程度上造成了专业闭锁和投资分散的弊端,不利于该学科的正常发展。作为一项关系到国计民生的关键技术,尽快组织一支多学科的、协调一致的专业化研究队伍势在必行。

微机械已被多数国家认为是关系到国家安全与经济繁荣的关键技术,它将在 21 世纪全面进入我们的社会和经济生活几乎是可以肯定的事实。如果我们现在能够及时有效地在这一新兴领域中占有一席之地,就有可能使它成为我们在 21 世纪输出而不是引进的技术。