

微细电子机械

MICRO ELECTRONIC MACHINERY

黄嘉华

1966年阿西穆夫（Asimov）在幻想小说“奇异的航行”中曾构思了一幅美丽的图画：一个比红血球还小的巡洋舰在人体血管迷宫中遨游。20年后的今天，科学家们已开始将这个理想付诸现实，一批活生生的微细电子机械已展示在人们面前。犹如30年前以装配电子管为主的电子行业孕育着将千百万只晶体管集成于小小的芯片上的集成电路一样，现在的机械行业也已和微电子学嫁接，孕育着崭新的集成微细电子机械，一场令人鼓舞的技术革命正在来临。

在这场革命中，以马勒（Muller）和怀特（White）教授为首的加州大学伯克利分校的传感器和执行器中心已走在微细电子机械技术研究的前沿。1986年下半年，他们已成功地制出了厚度仅2微米的微细齿轮、弹簧曲柄和滑块（图1），并在1988年5月制出了世界上最小的马达（图2），在一张邮票上就可放上10万个。这种微细马达摒弃了磁场功率驱动方式，而采用静电力驱动。由于静电力随着距离增大而迅速减小，所以在常规马达中静电力办不到的事，对于驱动这种微细马达却轻而易举，亿万只微细马达的耗电仅相当于一只电动削铅笔机的耗电量。美国目前至少有六个单位在从事微细电子马达的研究。美国电报电话公司的贝尔实验室制造的气动功率驱动微细马达能达到400~4000转/分，他们制成的传动齿轮仅1.2微米厚，直径400微米，齿槽尺寸如红血球大小。这种微细马达和齿轮滑块传动机构可以毫不觉察地被植入人体进行心内外科手术，切除伤疤和肿瘤，修补胃壁和神

经节，清除气、血管污垢和血栓，杀灭癌细胞和病毒。它也能对平面型电视屏幕上的每一点作微型快门控制，或者在远距离通讯中用以对准激光束，或制成微型冷冻泵去冷却超导计算机中的芯片和元件。

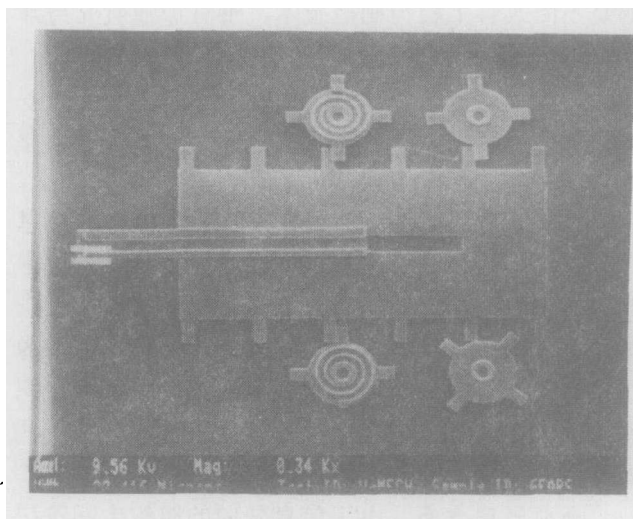


图1 由齿轮、弹簧和滑块组成的可动件，零件厚度仅2微米

人手被誉为生物中最灵活的工具，科学家们正竞相设计着多功能的人造手，而微细电子机械的应用极大地推动了人造手的发展。犹他大学的工程设计中心拥有世界上最先进的人造手，它由 32 个马达，19 个关节、500 个滑轮和几千米长的筋腱组成，具有肌肉组织，与人手的尺寸和强度相仿，但运动速度更快，例如 1 秒钟能打铃 70 次。可惜它的造价高达 10 万美元，尚未能进入市场。麻省理工学

院设计了一个四个手指的人造手作为研究工具，它拥有大量温度和压力传感器，使它能从许多物体中迅速抓出一支燃着的雪茄。为了使人造手具有触觉功能，哈佛大学的克拉克（Clark）博士根据材料接触物体时发生变形而导致磁场改变的现象，用微细电子机械制成磁场传感器采集数据，经微机处理后获取触觉图象。而麻省理工学院的霍伦巴克（Hollerbach）博士则配置了一个电容阵列，利用接触物体时引起的电容量改变来感觉所接触的方位、物体的形状和硬度。

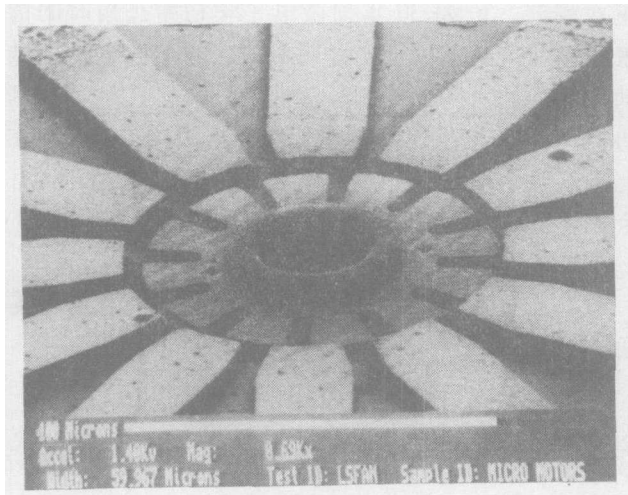


图2 静电驱动的微细电子马达，其直径为70微米。

微细电子机械的发展使人们摆脱了老式笨重的机器人的概念，进而开发了机器人——这是一种芯片式的机器人，只有昆虫大小，能自己感觉环境，并对环境现象作出反应而决定下一步活动。麻省理工学院人工智能实验室的设计方针是尽量采用无源传感器和高效功率源，并选用能感觉多种环境现象或能兼作执行器的传感器，这样一来就极大地减小了机器人体的体积和重量。这种机器人能飞入空中、潜入水里或蠕动在地面上，它们身上装满传感器，具有各种感觉，例如发现核电站放射性元素泄漏点，感知航天飞机上密封环的密封度，或者爬进气管、水管内检查裂缝，利用前、后腿测量电导，一旦电导异常，即发现裂缝时，就勇敢地“牺牲自己”，将自身熔焊填补好裂缝。麻省理工学院制作的昆虫级大小的智能机器人能运动自如，自行搜索物品。现在他们正拟将智能系统装入127毫米长，80毫克重的微型飞机中，让他们翱翔空中。这种智能飞机能逃脱雷达的探测，潜入敌方刺探军情，甚至摧毁目标，具有很高的军事价值。

在约翰斯·霍普金斯（Johns Hopkins）大学的智能丸研究工作中已引入了大量微细电子机械，

将来某种可吞咽的智能丸进入人体后，丸上大量的传感器记录或传输出心率、温度、酸度等信息，而丸上的微细执行机构则根据所采集的信息释放出药量。例如将包含有一个胰岛素库的智能丸植入糖尿病人体内，智能丸根据自身所检测的病人的糖份量指令微阀提供适量的胰岛素以控制病情。这种自测自馈的智能药丸将导致医药界的一场革命。

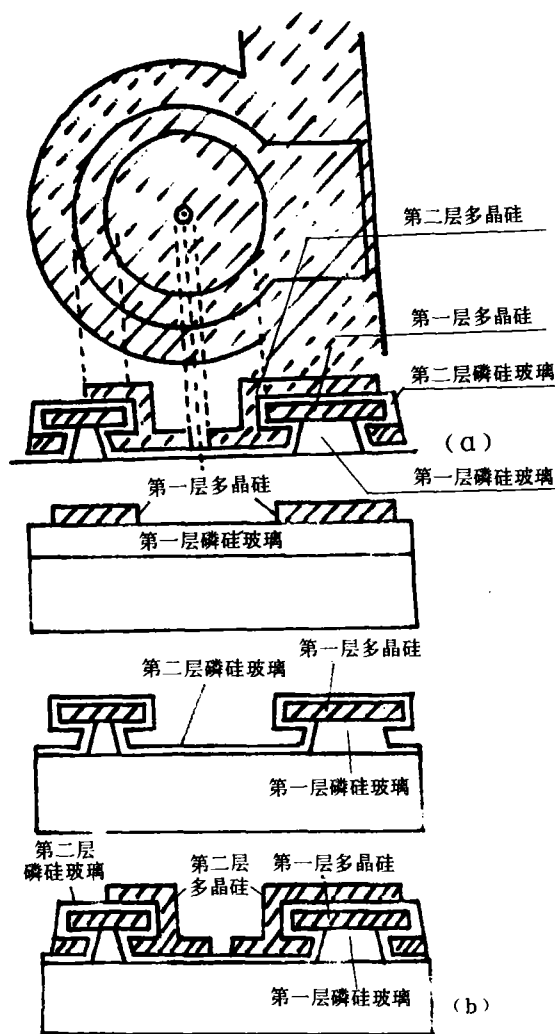


图3 双层多晶硅微细肘关节
(a) 剖面图；(b) 加工示意图

由于硅材料具有良好的机械特性，能承受大的变形，所以被列为微细电子机械所用材料之首。加州大学伯克利分校的豪（Howe）教授1983年开发了一种表面微细机械加工技术——用二氧化硅作衬垫层，用光刻工艺将淀积在衬垫层上的多晶硅加工出各种不同形状后，再用氢氟酸溶液腐蚀掉二氧化硅衬垫层，从而形成各种悬空的或活动的部件。悬空的薄膜在压力下弯曲变形，由周围的集成电路测

出变形量而作为压力传感器、加速度传感器和声音传感器等。这些传感器已大量应用于血压测量,汽车引擎点火系统,助听器和语言识别系统,还可用于汽车的气垫系统,以平息汽车的剧烈颠簸和冲撞,及时保护乘客安全。如加上特殊的薄膜(如氧化锡,聚酰亚胺薄膜),还可用来检测各种气体。用该技术制造的活动元件现已成了微细机械中的基本零件,经过巧妙的设计,配以精密的加工工艺,就可以制造出极精密零件的同时,无须另加装配就能获取平动,转动或滚动部件及机械。该校研究生范龙生采用表面微细机械加工技术制成了能灵活运动的双层多晶硅微细肘关节(图3)和马达。

联邦德国科学家 Ehrfeld 等发展了一种称为 LIGA (Lithographie, Galvanoformung, Abformung) 的微结构加工新方法。这种方法采用深蚀刻 X 射线光刻、电成型和模压成型技术,可加工出横向尺寸仅 1 微米左右而高度达几百微米的结构。用该法制成的超微喷嘴具有微小曲率半径,形状陡峭,当气体分子通过时会发出弯折。鉴于轻气体分子比重者更容易弯折,故可以利用它来分离出轻

铀。

微细电子机械尚有许多未解之谜有待探索:如怎么解决只有 1 微米间隙的活动元件的摩擦问题,(在如此小的间隙内,连空气分子也大得足以引起严重的摩擦);只有红血球大小的关节如何去润滑;怎样封装和保持清洁度才能使微细电子机械具有实用功能;如何检测微细结构及检测装置如何制造等等。摩擦、磨损、润滑、变形、疲劳等在宏大机械中必须考虑的问题在微细电子机械中也都存在,且情况更为复杂。为此,一个新的学科——微动力学正在崛起。恰如 30 年前微电子学初露头角时的情景,当前,科学家们正踌躇满志,雄心勃勃地在微动力学领域里开始新的长途跋涉。我国传感器技术协会已提出申请 1993 年国际传感器和执行器大会在北京召开,届时世界各国科学家云集北京,必将有令人振奋的新型微细电子机械奉献给人类。

本文作者黄嘉华(Huang Jiahua)系我国赴美国加州大学伯克利分校访问学者。

(上接 51 页)

路,台湾于 1986 年 7 月将电脑软件列入了专利保护就超过 1 亿美元。在零部件方面,台湾自己无法生产的中央处理机(CPU)及动态随机存取存储器(DRAM),也数度发生来源不继,价格暴涨的情况。这些都暴露了台湾信息产业的危机——没有自主技术,整个产业受制于人。

台湾许多有识之士认为,要想使台湾产品畅通无阻地行销世界各地,必须发展自主技术。自主技术开发的产品不一定是一项绝对的发明或完全不用别人的专利,只要自己有足够的基本专利能牵制他人,和他人相互授权就可以不受制于人而行销各国。自主技术决不是以能制造生产各种产品为满足,也不是以能创造发明为目标,而是以取得知识产权为志向。发明与专利不同,专利是对发明的保护。专利制度主要是改变过去以保密的方式来保护发明的观念。祖传秘方影响科技进步。没有专利权的发明人人可以任意自由使用。而对有专利权的发明,未经权利人的同意擅自使用,就是仿冒,就侵害了他人的知识产权。此外,专利又是评估公司技术或资产的最重要指标之一,也是衡量科技发展的重要指标之一。

早在 40 年代国民党政府就制定了专利法、商标法和版权法,但直到最近几年被国外指控仿冒后,社会民众才知道有知识产权的存在,有些甚至迄今仍不知道如何利用这些法律来保护其研究成果。这就是近年来一方面美国人骂台湾是海盗、窃贼,另一方面台湾自己有许多发明因不知申请专利,任凭外国人随意使用而毫无酬谢及愧疚的原因。有人分析,知识产权观念长期淡薄是因为:没有一套鼓励发明创新的制度;缺少完整齐备的专利资料;对专利工程师的培训不够;研究人员没有作笔记、看专利、写构想与守秘密的习惯(美国是以构思和完成之先后定谁取得专利,而构思和完成之先后又是以符合法定形式的笔记为证的)。要改变这种状况,必须在以上各方面大大改进。在建立知识产权的同时,产业技术必须突破目前制造生产技术有余,设计开发能力不足的困境,致力提高发明力,鼓励厂商积极取得专利,这是避免台湾被诬称为“海盗王国”最有效、最积极的方法。

(朱世南整理)