

大连工学院

# 敏感及传感技术论文集

大连工学院科研处编印

一九八六年五月

# 前 言

大连工学院是一所多科性理工科重点大学，从七十年代初电子、机械、材料、造船、水利、化工等系就开始从事敏感器件及传感器的研制、开发和应用工作，目前在该领域从事研究工作的副教授以上的高级研究人员 40 多人，讲师、工程师等技术人员 180 余人。已有 30 多项科研成果通过了技术鉴定，获国家部委级奖励的有 10 项，省级奖励的 3 项，一些项目取得了较大的经济效益，有的项目参加国际博览会，受到好评。目前我院正承担国家“七五”攻关力传感器攻关课题及有关部、省市及横向研究开发任务。

为适应八十年代传感器技术发展的需要，加强院内各系的横向联系，进一步推动我院传感器研究、开发及应用工作，我院于 86 年 1 月召开了首届传感器技术学术交流会，与会代表 100 多人，会上共交流近年来完成的论文 25 篇，其中综述性文章 4 篇，力学量传感器及应用 8 篇，温度传感器及应用 3 篇，光传感器及应用 5 篇，气氛传感器 1 篇，光纤传感器 2 篇，温度传感器及应用 1 篇，功能材料 1 篇。这些论文应与会代表要求，汇集成册，编印出版。

本书是由电子系牛德芳、何熙文老师，机械系孙宝元、张貽恭老师审稿，工程力学系芮又翘副教授与工程力学研究所邓可顺副教授编辑完成的，在此表示谢意。

本书在编印时，由于时间仓促，经验不足，不足之处，欢迎批评指正。

大连工学院科研处

一九八六年二月

# 目 录

半导体敏感器件及传感器的发展	牛德芳 ( 1 )
国外近年传感器发展与展望	孙宝元 ( 5 )
机器人中的传感器及其应用	孙耀明、薛 峰 ( 11 )
迅速发展中的光纤传感技术	吴 波等 ( 20 )
八角环三向测力传感器的研制	杨长霖、孙长德、屈福政 ( 26 )
压电三向传感器 xyl 晶体横向灵敏度变化规律的探讨	钱 敏、张贻恭 ( 32 )
压阻式血压计压力传感器的设计	牛德芳、周丽芳 ( 36 )
压阻式传感器硅弹性元件的力学分析	关东媛、程耿东 ( 40 )
高灵敏度小扭矩值测量台	岑乐观、高桂茹、戚元兰 ( 47 )
关于微力值测量的研究	何熙文、刘茂家 ( 51 )
多分量压电晶体生物力学测力平台的结构设计和动态特性研究	毕毓秀、李桂华等 ( 57 )
数字式压力显示调节仪	张裕民、赵世斌 ( 64 )
一种新型铂电阻数字测温电路	邵军哲、陈育斌、杨建成 ( 70 )
内燃机燃烧室表面瞬态温度的测试	沈胜强等 ( 76 )
用于流量测量的一种集成式热敏器件的研究	胡静山、李桂芳 ( 80 )
一种新式传感器——层栅激光测振装置	王宝成、卢杰持 ( 83 )
单周期层状位相光栅	俞建元、王锡昆、郁珊娟 ( 88 )
高灵敏度光电转换器	张齐彦、刘华毅、姜忠莲 ( 91 )
烟尘浊度连续监测仪	张齐彦、刘华毅、姜忠莲 ( 96 )
多点流速间接测量仪	赵甫立、张恩涛、邓肇豪 ( 101 )
SnO <sub>2</sub> 气敏元件研究	蒋国平等 ( 105 )
光纤电流传感器	王安波、吴 波、林钧岫 ( 110 )
新型敏感元件——光导纤维传感器	姚嘉陵 ( 113 )
电子干湿球温湿度传感器原理	王惠秋等 ( 121 )
形状记忆合金在传感器技术中的应用	魏中国、杨大智 ( 125 )

# 半导体敏感器件及传感器的发展

牛德芳

(电子工程系)

## 摘 要

本文通过大量事实论述发展传感器的重要性,并阐述高等学校在传感器开发中的地位,最后简要说明传感器发展值得观注的方向。

## 前 言

敏感器件是指能感知、检测信息的器件,由敏感器件构成的装置则称为传感器。也可以说能代替人类五官(视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉)甚至超出人类五官功能的装置。又根据感知,检测对象分为力学量敏感器件、光敏器件、温敏器件、气敏器件、湿敏器件、磁敏器件、离子敏器件、电压敏器件、射线敏器件、生物敏器件。

从前人们都是把传感技术作为测量技术的一部分。随着科学的发展,新的传感工程学则是以物理的效应、化学中的反应、生物学中的各种现象作为理论基础。特别是半导体敏感器件的问世,由于与集成电路技术相容,使传感技术领域发生了巨大变化,推动传感技术的发展,可视为是传感技术的一次革命。

## 一、国内外市场预测

自六十年代,伴随集成电路技术的发展,在美国产生一个崭新的技术——半导体敏感技术,开始是用在军事、空间技术领域。随着微处理机的不断发展又促进了传感技术的进步,近年来出现微机“假饱和”,症结在于传感技术落后于计算机的发展步伐,造成了“大脑发达,五官迟钝”的被动局面。所以六十年代末、七十年代初各工业国纷纷开始这方面的研究工作,至今出现了世界性的传感器热,从欧洲、美国、日本市场预测和西德的投资额可反映热的程度,见表1~4。

欧洲传感器销售额预测(单位:亿美元)

表1

类 别	1980 年	1990 年	1990 年/1980 年 增长率
温 湿 度	1.54	3.60	2.34
压 力	1.72	5.60	3.26
位 移	2.27	9.11	4.01
重 量/力	2.30	8.30	3.61
流 量	1.70	5.47	3.22
液 位	0.79	2.55	3.23
其 它	1.02	3.04	2.98
合 计	11.34	38.03	3.4

美国传感器销售额预测

表 2

应用领域	80 年效益	90 年效益	增长率
机械	2.87 亿美元	11.5 亿美元	4 倍
热冷加工及能源	0.57 亿美元	2.3 亿美元	4 倍
生产过程自控	0.79 亿美元	2.65 亿美元	3.3 倍
供水和环境	0.57 亿美元	2 亿	3.5 倍

日本传感器销售额预测 (单位: 亿美元)

表 3

项目	90 年销售量	项目	90 年
情报处理	1.11	可见光	1.39
家用电器	0.61	位移	1.40
科技仪表	1.10	压力	1.20
电机电话	0.55	红外	1.17
流通工具	1.43	压电	0.96
环境公害	1.11		
能量利用	1.80		
医疗	0.70	小计	14.59

西德近年传感器投资额 (单位: 亿马克)

表 4

电子工业投资额	传感器投资额
51	15

这种热浪也冲击到了我们国家, 我国 1985 年传感器预计销售额 2 千万元 (主要是力敏、热敏、光敏、磁敏、气敏), 从 1990 年市场预测看出我国敏感器件在飞速发展, 见表 5。

我国到 1990 年部分传感器市场预测 (万只)

表 5

力敏	260
热敏	130.6
磁敏	345
光敏	121
湿敏和气氛敏	56
其它	800

## 二、传感技术在国民经济发展中的作用

如果说第一次产业革命是以动力代替体力劳动, 则第二次产业革命是以信息传递和信息控制来代替和扩大脑力劳动, 被誉为信息革命。信息革命是以计算机作为标志, 计算机被称

为电脑，敏感器件则为电五官。实际传感器已经超出人类五官所能感知的功能，如：射敏感知红外线，磁敏能感和磁场的强弱，离子敏能检测出离子的含量，而人的五官是无能为力的。今天传感技术已渗透到国民经济各个领域，下面我们仅就几方面的应用加以说明：

### 1. 宇宙空间的开发

随着科学的发展人们在不断探索宇宙空间的奥秘，如果没有高水平的传感器，宇宙飞船无法飞向太空，月球探索也将是泡影，就拿制导系统的陀螺来说，机械式陀螺已无法满足当今飞速发展的宇宙事业的需要，各国科学家都在探索表面波旋转速率传感器，一个宇宙飞船可看作是一个高性能传感器的集合体。

### 2. 能源开发及节能

随着科学的进步，生产的发展，能量的消耗在不断增加，近代社会的进步是靠消耗能源来维持的。能源在不断耗尽，解决能源危机一是新能源的开发，二是节能。

新能源的开发，广泛利用太阳能、风能、海洋能，太阳能是取之不尽、用之不完的大能源，例如日本仁尾町建立了一个 1000kw 集光式太阳能发电站，就用了几百只传感器。

节能，就是能源的合理利用，节能技术就是最佳运行、最佳控制技术，当然也是靠传感器来实现的。汽车是以汽油为动力，是世界上能源最大消耗量之一，为了节能，防止污染，安全行驶，国外开展汽车电子化运动，其实也是靠传感器来实现的，日本一辆汽车需要40—60个传感器，美国则更多，高达 90 多只传感器。

### 3. 机电一体化

机器制造业中，数控技术就是靠传感器将非电量转变为电能，特别是以机器人为代表的智能机械的开发，代替人工作在人无法工作的恶劣、污染等环境，机器人的举动是靠传感器来实现的，一个机器人要用到大量各种高质量的传感器。如位移传感器、速度传感器、加速传感器、视觉传感器、听觉传感器、触觉传感器等，据日本报道机器人的成本 1/2 是用于高性能传感器上。

### 4. 环保与医疗卫生

环保在一定意义上来说是检测对人类、生物有害物质的计量，采取措施防止，限制有害物质的扩散，如煤气中毒、易燃、易爆的报警等，都需要通过传感器来获得信息。

另外，医疗设备电子化也离不开传感器，如温度的测量，温度是人类健康与否的第一个感知信息，温度也是近代疾病诊治中的重要手段之一，癌症的诊治与控制可利用温度来实现；压力信息可以告知人们血压、脑压、胃压、肛门压正常与否；离子敏可以检测出人们血液中钾、钠等离子的含量，有了传感器打破了传统的检测方法和手段，提高了效率，作到快速准确，所以说传感器和人类的生命也是休戚相关。

### 5. 家庭电器化

家庭电器化是把人们从繁忙的家务劳动中解放出来的必由之路，如电子灶、电冰箱、洗衣机、电熨斗都是靠敏感器件来实现自动化的。

从以上五方面的事实反映出传感器的开发应用是有着深远的意义。

## 三、高等学校是开发传感技术的生力军

由于传感技术是一门边缘学科，高等学校具备学科密集，技术密集，人才密集的特点，

有利传感技术的开发。表 6 是日本 1979 年统计有关传感器重大课题，承担完成情况：从表 6 可看出大学承担任务 1/2 还强。

1979 年日本传感器完成情况

表 6

部 门	承担项目数
大学研究部门	37
国家研究机关	15
企业研究单位	15
中 小 企 业	4

就拿我们大连工学院情况来说，先后开展了力学量传感器，温度传感器，气氛传感器，光传感器的研究工作，并取得一定的成绩。1983 年国家经委颁发了优秀新产品飞龙奖，我院共获得七块奖牌，其中传感技术占五块。从以上事实来看国家应重视高等学校的研究开发力量。

## 四、传感器发展中值得注意的方向

### 1. 力学量传感器

目前传感器多是模拟式，应优先发展数学式传感器，可以直接把信号输送给计算机。

小型化、集成化；由于半导体力敏器件与集成电路技术相容，可将力敏元件、激励电源，温度补偿、放大调整电路集成在一起，实现小型化、集成化。

耐高温，多功能：为扩展使用温度范围，人们在研究兰宝石压力传感器，为满足石油工业的需要研究即能显示压力又能反映温度的力-温度多功能传感器和在矿井下应用的，即能显示气氛又能指示湿度的气-湿传感器。

智能化：使信息检测、诊断、控制一体化。

### 2. 温度传感器

为实现遥测，遥控应大力发展非接触频率式温度传感器。

### 3. 光敏器件

向图象化，光纤化方向发展，为满足纺织、印染自动化的需要应大力发展色传感器。

### 4. 磁传感器

由于模式识别技术的发展，文字识别是利用约瑟夫森效应制成文字识别传感器。利用约瑟夫森效应可以检测出血液中离子流动产生的磁场，根据人体磁场分布情况和变化，象使用心电图一样，又建立起新的心磁学诊断方法。

### 5. 气敏、湿敏、离子敏

开发品种、提高精度，向高可靠、集成化、实用化的方向发展。

## 结 束 语

敏感器件及传感器在当代科学发展中有举足轻重的作用，是科技进步的重要组成部分，是具有时代性产品之一，为加速我国传感技术的发展，应注意人才开发，加强基础研究，作好技术储备，吸收国外先进技术，看准方向集中投资迎头赶上。

# 国外近年传感器发展与展望\*

孙宝元

(机械工程系)

## 一、引 言

去年我曾参观了第十二届国际机床博览会、万国汽车博览会和全日计测与测器新技术展览会，还参观了日立精机、大隈铁工所等几家有名的企业和研究机关，系统地听了东京大学研究生院的“传感器特论”课，收集了一些有关传感器的文献资料，从而，对国外近年传感器的现状与概貌有一些初步认识。最深的感受是：当代传感器发展之迅速，涉及领域之广泛，真是令人惊叹。它不但能上知天文、下知地理，还能追溯到历史，展示未来。东京大学研制的一种卫星遥感传感器，通过它采集的信息，经过某种处理不但能把现实的地貌地物再现出来，而且还能把古河流、古河道、古森林、远古的地层变化等也能显示出来，并可预报地震与火山爆发等。在第十二届国际机床博览会上，展示了许多 NC，CNC，MC，FMS 等机床与系统上面用的切削力、系统颤振、工具磨损与破损、工具的自动转位状态、刀尖位置、尺寸精度、接触状态、机床功率等监测传感器。还有一个能操墨笔书写汉字的机器人，它能根据人们的要求及时地写出各种字形严整、笔锋秀丽的柳体汉字来，它为我写的“未来”两个大字，俨然出自书法家之手。真是“人”上有“人”，筑波国际科技博览会上的人形机器人，端坐在钢琴前，能眼看乐谱、手抚琴键、与真人乐队一起演奏雄伟壮丽的莫札特交响曲，等等。这无疑当代传感器技术信号处理技术的综合杰作。

1977 年日本科学技术厅对 2000 年进行了科学预测，每个领域中，选按重要性排列的前 10 个课题，列于表 1 中，由表可见传感器在重大科技领域中所占的重要地位了。难怪有人把它列为未来十年重大科学技术的第一项。

表 1

项 目	重 大 课 题 数	与传感器直接有关的课题数
宇 宙 开 发	10	9
海 洋 开 发	10	6
环 境 科 学	10	9
能 源	10	5
保 健 医 疗	10	6
安 全	10	9

随着社会与家庭的现代化、传感器也进入人们的日常生活中来，对人们的衣食住行和安全发挥着积极作用。例如一个现代化的家庭总少不了温度、湿度、煤气、烟尘、气味、防火、防盗、自动报警等多种传感器，仅以家用全自动洗衣机为例，它就装有水位、衣量、干

\* 本文曾在大连工学院首届传感器专题报告会和市 1986 年自动化学会年会，大会宣读。



湿度、时间、功率、温度等十多种传感器，通过微电脑对洗濯过程进行优化控制。至于各种交通工具，特别是汽车、飞机、轮船上的传感器更是不胜枚举，被称为自控系统的眼睛。

目前世界正处于传感器迅速发展的阶段有关传感器的书刊名目繁多，与日俱增。传感器技术已成为工程学中一个体系——传感器工程学，与其相关的还有传感器材料学、传感器电子学等，目前日本东京大学等高等学校，与计算机同样，“传感器工学”被列为大学生的必修科目，“传感器特论”则是机电类研究生的必修课。

作为信息社会的两大支柱之一的信息采集，即传感器技术，必将与计算机技术，信息处理与工程控制技术一起得到飞速发展。

## 二、传感器的发展动向

传感器总的发展趋势是：有机与无机敏感材料的功能化；传感器功能的多样化与复合化；结构的固体化与集成化；敏感元件与系统的智能化与生物机能(仿生)化；信号处理的实时、高速、多维化；以及应用的普及化。

### 1. 功能材料的新发展

功能材料是相对于结构材料而言的。通过对材料自身的成分、组织、结构、添加剂、制作工艺的变革，使其具有某种信息感受与变换的功能。它是对传感器的基础与根据，用不同的材料与不同的物理、化学效应相结合，便构成不同功能的敏感元件。特别是半导体材料、功能有机高分子聚合物、功能陶瓷等的出现与发展为传感器技术开辟了广阔的前景。

1) 半导体材料在传感器中越来越显示出它的重要地位

Si, Ge 等元素半导体在力敏、光敏、磁敏中具有广泛的用途。InSb, GaP,  $GaAs_xP_{1-x}$  等化合物半导体除能测力、光、磁等敏感元件外，还可以制成功能二极管, ZnS, Hg-Cd-Te 等化合物半导体则是红外敏、紫外敏的主要材料。特别是近年来随着微细加工技术、P-n 结合技术、离子注入、激光退火等表面处理技术以及超大规模集成化技术的进展，由半导体制成的传感器也就越来越多，体积越来越小，集成化的程度越来越高，质量也越来越稳定。如美国的 DPT-501 扩散硅数字压力表，其线性精度可达  $\pm 0.0016\%$ ，稳定性可达  $\pm 0.25\%F \cdot S / 6$  个月。

2) 功能复合材料的崛起

复合材料所涉及的范围相当广泛，这里主要指功能有机高分子聚合物。它是由许多重复单元组成的高分子。有导电高分子、压电高分子、光电高分子、热电高分子及离子交换高分子等，可以作成力敏、热敏、气敏、声敏、光敏、离子敏、生物敏等多种传感元件。例如将碳黑加入到橡胶或树脂中便构成导电型高分子复合材料，只要在其基体内加入百分之几的碳黑就可以使导电率产生几百倍乃至几千倍的变化，利用这种从绝缘体向导体转化时所引起的种种特性，可以作成气体、红外放射性等检测器、机械变形和压力传感器以及记忆元件等。压电高分子材料，如 PVDF/PZT，可以作成压力分布传感器，如图 1 所示。用它可形象地(定性、定量)测出物体间的接触压力分布图形。此外新型感压复合材料是人工皮肤及机器人触觉传感器的重要材料。

3) 功能陶瓷材料有了更广泛的应用

功能陶瓷是指具有物理效应的并能进行功能转换的由粉末冶金制成的微晶陶瓷材料。分

为半导体陶瓷、压电陶瓷、热电陶瓷、导电陶瓷、光敏陶瓷等。例如用半导体陶瓷作成的瓦斯防爆报警器、有毒气体检测器，由光敏陶瓷作成的火灾报警器，由压电陶瓷作成的瓦斯打火机，由湿敏陶瓷作成的空调系统等都已广泛地应用在现代化的家庭和企事业中。此外热敏陶瓷多用于喷气机、燃气轮机排气口、锅炉、炼钢炉、汽车排气等处的温度测试上。压电陶瓷则在动态测试及勘探上用得较多。

4) 光导纤维材料、石英晶体材料、功能金属材料也有很大发展

光导纤维材料与其传感器发展相当快，1983年在伦敦召开首次国际会议以来，此后每年一次。仅1983年世界各国用在这方面的科研经费达2.5亿美元（美国占一半），1979—1988年日本预算为7亿美元。功能金属材料可利用磁阻效应、约瑟夫森效应和形状记忆效应制成力敏、热敏、超导量子等敏感元件。图2为通过光导纤维把红外线射到记忆合金元件上，使其加热，从而使操纵杆产生较大的推压力，当记忆合金元件冷却时，操纵杆又被拉回。

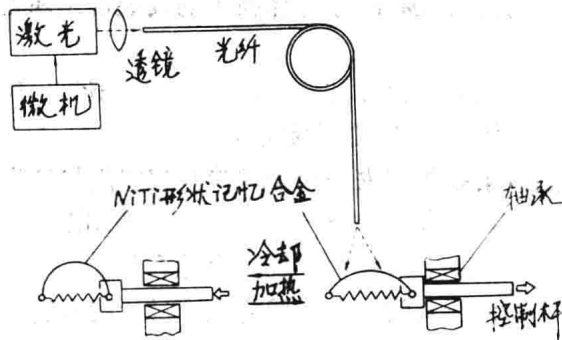


图2 光纤与记忆合金传感器

出现了用于紧急血液分析的复合离子传感器(见图3)，它可在15秒钟内由通过的数 $\mu\text{l}$ 的

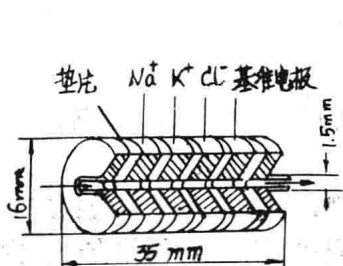


图3 复合离子传感器结构

血液中检测出 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 等多种离子。图4所示为由各种功能高分子制成的压力与弯曲复合应力传感器。

3. 传感器的固体化与集成化 所谓固体化或集成化，就是将信息感受与信息处理的各种功

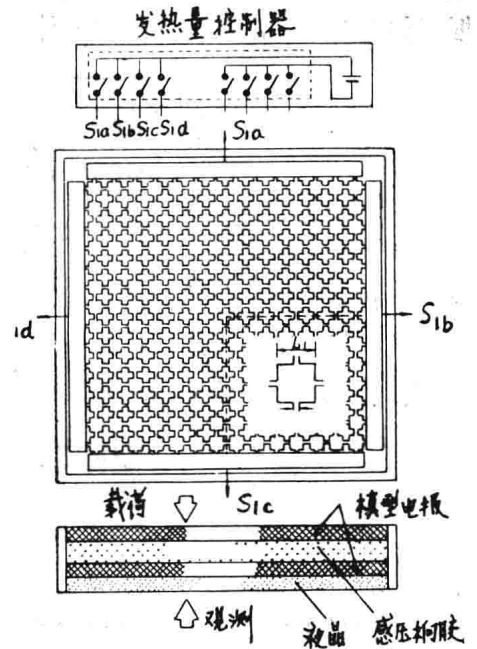


图1 压力分布传感器

杆又被拉回。

2. 传感器的多功能与复合化 这是传感器发展的总的趋向之一。正如人的手指不单具有执行机能，而且也具有触觉、形状觉、力觉、热觉、痛觉等多种传感机能一样，目前的传感器也逐渐由单功能向多功能发展。如先后出现了 $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 和 $\text{ZnO}$ 的“气敏-湿敏”， $\text{BaTiO}_3\text{-SrTiO}_3$ 的“湿敏-热敏”等多功能传感器，最近又

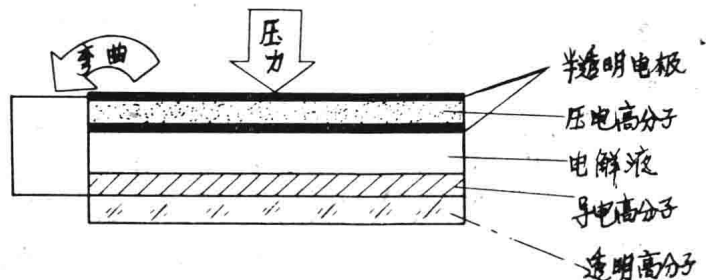


图4 压弯复合传感器

能电路制作在同一基片上,构成一个相对独立而完整的测试单元。一个理想的集成传感器的逻辑框图如图 5 所示。从而为传感元件的小型化、提高质量、延长寿命、减少能耗和降低成本

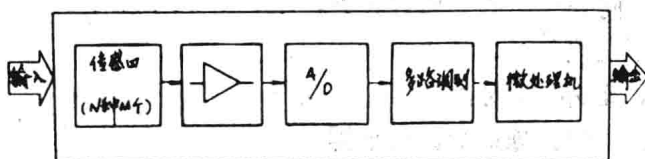


图 5 集成传感器框图

开辟一条新的途径。传感器的集成化大致可分为两种类型,一是直接利用半导体器件的特性制成的单片集成电路传感器;另一种是将分立的小型传感元件和功能电路制在硅片上,构成混合集成式传感器。图 6 就是集成化超微粒气体传感器的一例。图 7 是集成化压力传感器。

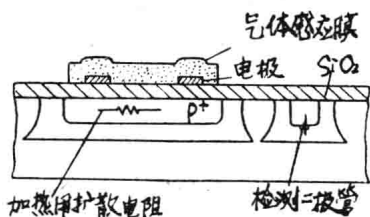


图 6 集成化超微粒气体传感器

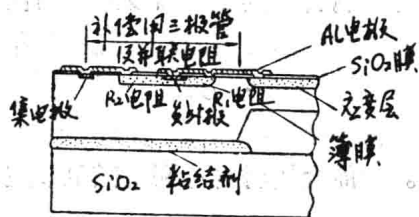


图 7 IC 型压力传感器

此外还有湿度、温度、红外、磁等等集成化传感器。由于这种传感器多是采用较为成熟的半导体集成电路工艺,所以尽管还处在初期阶段,但肯定会随着半导体技术的发展而迅速发展起来。此外由于测试环境、测试条件以及动态性能等要求,在集成化的同时还要求传感元件微型化、薄膜化。美国斯坦福大学研制的人的 心脏动脉血流加速计,像一个微型乒乓球拍一样,其体积只有  $2 \times 2 \times 0.2 \text{mm}$ ,装入人的心脏中不会产生过大影响。

**4. 传感器的智能化与生体机能(仿生)化** 传感器集成化的进一步推进就是智能化与仿生化,在这个领域处在领先地位的是美国俄亥俄州 Case Western Reserve 大学的电子研究中心,他们将 VLSI 技术应用在传感器上,使信息采集、信息处理及信息综合与反馈一体化,从而达到智能化的目的。智能化的目的有三:①代行人的器官;②为生产过程的自适应控制服务;③辅助人脑工作,减轻人脑负担。智能化模块一般所应具备的机能为\*

1) 信号改善机能:通过阻抗变换和放大等减少周围环境的噪声与干扰的影响,改善系统的 S/N 比。

2) 前置处理机能:对温度、电源、零点变动的补偿,非线性的补偿,用以提高系统的精度。

3) 信号处理机能:改善信号传输中的 S/N 比,进行信号调制、入机前数字化等。

4) 逻辑电路机能:对多路信号的相关处理、计算、分辨、对比与识别。

5) 系统参数的综合与反馈机能:为了实现对被测系统的管理,必须对表示系统状态的各项参数加以综合和实时处理,然后回输到系统的控制端,以达适应控制目的。例如有一种内燃机采用智能传感器系统,通过对其温度、压力、转速、排气等参数的综合与反馈,实现了对内燃机的自动控制与调节。

6) 自律机能:能对系统状态进行自我校正、自我诊断及自动补偿等,保证系统的精度

\* 以下的“机能”也可改为“功能”。

与稳定性。其中5)与6)两项是智能化传感器区别于其他类型传感器的特有机能。

图8为人工手指与人工皮肤作成的智能机械手，它可以控制握物的力量，使物体不至从手中滑掉。如果人同它握手时，你用力它也用力，配合默契。

智能化的另一途径是使传感器通过接口与微处理机相连，单个或多个传感器的信息，按照规定的程序由微处理机进行调节和控制。由上可知智能系统是带有反馈的闭环控制系统。

仿生传感器、仿生模块与仿生计算机这是传感技术发展又一新的动向。这种传感器再不是简单的信息采集元件，而是具有与生物(包括人)感觉器官那样的敏锐而有效的机能。例如图9为人工视觉传感器(人造眼)模型，这是一种三维图象信号采集与处理系统，它就是

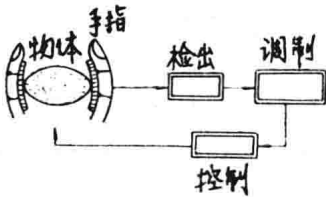


图8 带有人工皮肤的智能机械手

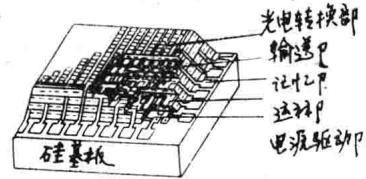


图9 三维图象传感器(人造眼)

仿照人眼的视网膜的结构(见图10)而设计的。这是一个三维电路、LSI的多层次化，分为感光部(CCD电荷耦合敏感元件)，记忆部与信息处理部等。

未来，借助仿生传感器和仿生模块可将人脑与外界计算机(普通计算机或仿生计算机)连接起来，这样就有可能实现梦寐以求的用人脑的思维直接控制外部器械的愿望了。同时，反过来，也可以直接研究人的思维的活动规律了。

### 5. 传感器制造工艺的精密化与微细化 除用

机械加工法使传感器的制造精密化外，主要是将半导体的精密加工技术应用到传感器制造上，传感器的基体若采用单晶硅时，由于单晶硅具有一定的晶向，使刻蚀液与不同的晶向相结合便形成各种各样适于敏感元件要求的穴槽，图11所示为在硅片上的不同的SiO<sub>2</sub>窗口形状与不同晶向经过刻蚀微细加工所形成的穴槽形状。

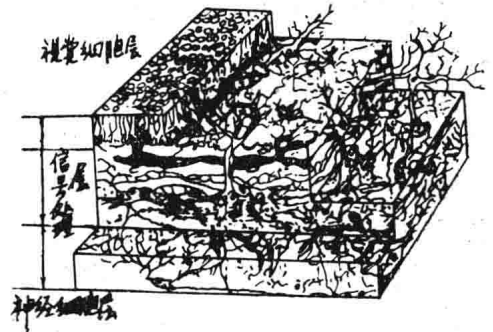


图10 视网膜构造

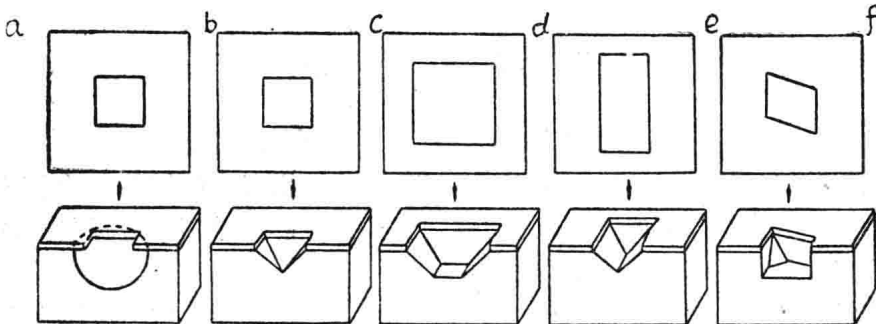


图11. Si 蚀刻法各种形状的微细加工

此外还有晶格级(数十原子厚)的超薄加工技术、氮化、喷涂、蒸镀、溅射等被膜工艺

也都先后应用到传感器的微细工艺中。

### 三、美欧日传感器的技术特色

**1. 美国** 传感器技术主要用于国防和宇宙开发上,激光、红外与遥感技术是传感器的代表技术。采用 VLSI 技术对传感器进行集成化、智能化与仿生化的研究是未来传感器的主攻方向。从 1962 年美国海军 L. Pruitt, 第一次使用遥感这个词以来,时经 20 年,遥感技术有了巨大发展,1972 年—1978 年间美国发射的海洋观测卫星与资源调查卫星均装有微波遥感装置(微波发射器、微波衍射仪、微波高度计以及微波映象雷达等),所观测的项目从海面到海底,从地表到地球深处,非常之广,同时又很精确。美国在传感器开发研究上所花费的资金和人力在世界上也是惊人的。

**2. 欧洲** 整个欧洲传感器技术发展历史悠久,已形成各自的传统与特色。对传感器新技术态度比较冷静、不盲目追求时髦。它们往往以小小传感器的局部的技术优势与美国和日本对抗,并使后者无可奈何。

德国以航空研究所为中心对传感器在模型识别与图象处理上的应用研究非常活跃,特别教育用机器人和焊接用机器人技术已很成熟。以阿亨工业大学为首的对监测切削加工的传感器(如压电动态切削测力仪)的开发性研究起步最早,而且持久,已获得许多有价值的成果。

法国,以 LAAS(自动控制研究所)为首,对触觉传感器或人工皮肤的研究独具特色,现已研制出 20 多种人工皮肤,应用在智能机械系统上。

丹麦的 B&K 公司生产的测振仪器及测振传感器世界驰名。瑞士 Kistler 公司生产的压电石英力、压力、加速度、阻抗头等传感器及切削动态测力仪几乎垄断了国际市场。

荷兰堪称欧洲的半导体研究中心,首先研制出集成化的露点温度计、变位计。迪尔夫特大学传感器理论研究很活跃,学生的毕业设计和论文,半导体传感器是选择的主要课题。

**3. 日本** 日本的传感器研究是国家资助、以民用为主,分散经营。近年来由于官方强调发展空间产业,所以政府在红外遥测遥感技术的开发加强了。日本产业机器人的研究居世界领先地位,因此与之相应的视觉、听觉、触觉、嗅觉的传感器开发与研究非常活跃,但味觉传感器由于难度较大,目前尚无突破性成果。此外日本对衣食住行、环境及安全方面的传感器研究及应用很重视,所以发展很快。与其他技术一样,日本也非常重视传感器技术的普及教育。

### 四、结 语

研究国外、是为了国内。通过以上调研,初步有以下几点感想:

1) 国家对传感器技术发展应引起重视、应有个全面而长久的规划。“七五”计划(草案)将其列为专项并拨款 2000 万元以资开发,完全必要。不单要注重研究机关,更要注重全国高校的力量。

2) 有目的有重点发展半导体等传感器,特别集成化、仿生化应尽快加快步伐,同时要注意开发量大面广的传感元件。不要只攻一点不顾其余。

3) 应该重视功能材料和基础技术的研究。传感器无论先进程度如何,稳定可靠总是第

一位重要的，要踏踏实实持之以恒一点一滴积累技术经验。不顺风倒，不赶时髦。各部门力争形成自己的特色，同时要树立用户至上思想。

## 参 考 文 献

- 〔 1 〕石玉祥译，传感器的技术发展及其应用范围，振动与动态测试，1983，No. 1.
- 〔 2 〕李凤祥、徐清发，从多国仪器仪表展览会看国外传感器技术的发展，传感器技术，1983，No. 3.
- 〔 3 〕周志刚，敏感材料和敏感元件的研究与发展，传感器技术，1983，No. 1—2.
- 〔 4 〕山崎弘郎，センサの知能化。
- 〔 5 〕藤井義也，機械加工におけるセンサ技術の動向と展望，機械技術，32 卷 5.
- 〔 6 〕片岡照榮，アメリカにおけるセンサ事情，センサ技術，1985，1.
- 〔 7 〕山崎弘郎，欧洲におけるセンサ開発の現状与動向，センサ技術，1985，1.
- 〔 8 〕桑野幸徳等，最新センサデバイスの開発動向，自動化技術，1984，第 16 卷 6 号.
- 〔 9 〕山添昇，半導体ガスセンサの最新の動向，センサ技術，1984，2.
- 〔 10 〕ミート状圧力分布センサ，センサ技術，1984，11.
- 〔 11 〕瀬尾巖，高分子感圧センサとその応用，1982，6.
- 〔 12 〕大森豊明，センサ工學，1981，10.
- 〔 13 〕下条誠等、清水正信，光ファイバと形状記憶合金を用いたアクチュエータ，センサ技術，1983，11.
- 〔 14 〕藤井義也，機械加工におけるセンサ技術の動向と展望.
- 〔 15 〕Holmes, L., *Electronics & Power*, **28** (1982), 180.
- 〔 16 〕Niedrach, L. W., *Electrochem. Soc.*, **127** (1980), 2122.
- 〔 17 〕和田守叶，センサ開発の技術マクロトレンド，センサ技術，1984，4.
- 〔 18 〕吉野勝美，ハイブリッド材料と光機能性おすびセンサへの応用，やこサ技術，1984，4.
- 〔 19 〕岡本謙一，マイクロ波にするリモートセンシング，センサ技術，1982，2.

## 机器人中的传感器及其应用

孙耀明 薛 峯

(电子工程系)

### 摘 要

本文对机器人传感器进行了综述。指出了机器人传感器的作用和特点，给出了一种机器人传感器的分类方法。着重对机器人触觉传感器和视觉传感器进行原理性地介绍。

建立在精密机械技术、计算机技术及控制理论基础之上的机器人学，近十年来无论在理论上还是在实际应用上都得到飞速发展。从一般用的产业机器人到智能机器人，已经进入智能机器人时代。本文拟对智能机器人最重要的问题——机器人传感器技术做一些探讨。

# 一、机器人传感器

**1. 机器人传感器的作用及其分类** 没有传感器的机器人仅能按固定的程序工作，在机器人与外界相互作用过程中，对外界和本身的变化不给机器人提供任何反馈信息。在智能机器人时代，传感器技术起着重要作用，主要点为：

- 检测机器人的状态
- 检测对象物的状态
- 识别对象物

表 1 给出了一种机器人用传感器的分类方法

机器人用传感器的分类

表 1

A. 内部传感器	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 位移传感器</li> <li>2. 速度传感器</li> <li>3. 加速度传感器</li> <li>4. 力传感器</li> <li>5. 平衡传感器</li> <li>6. 温度传感器</li> </ol>
B. 外部传感器	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 视觉传感器</li> <li>2. 测距传感器</li> <li>3. 接近觉传感器</li> <li>4. 接触觉传感器</li> <li>5. 压力觉传感器</li> <li>6. 滑动觉传感器</li> <li>7. 应力觉传感器</li> <li>8. 听力觉传感器</li> </ol>

} 触觉传感器

**2. 机器人传感器的特点** 机器人传感器除具有一般传感器的特点外还应有如下特点：

- 必须大量高速地在线处理数据（特别是在识别物体中）
- 必须具有实时采集信息（data and information）的能力。
- 必须充分考虑合理地配置安装机器人传感器
- 希望机器人传感器密度更高，体积更小
- 希望机器人用传感器为分布型的
- 机器人传感器具备鲁棒（robust）性

实际上这种传感器的实现，无论是在材料上还是在处理上，在目前的情况下，将会遇到许多困难，因而在实际使用中往往预先安排机器人的工作环境，几种传感器互补使用（Complementary application）等。

由于机器人传感器种类繁多，本文仅对触觉和视觉传感器做一些探讨。

## 二、机器人触觉传感器

众所周知，机器人的作业主要是靠其“手”来完成的，毫无疑问“手”上的传感器应当是最基本的传感器了。通常把机器人中直接承担作业的“手”称为末端效果器（以下简称效果器）。一个简单却比较典型的机器人效果器如图 1 所示。表 2 给出机器人效果器上的各种

实用传感器分类和应用。

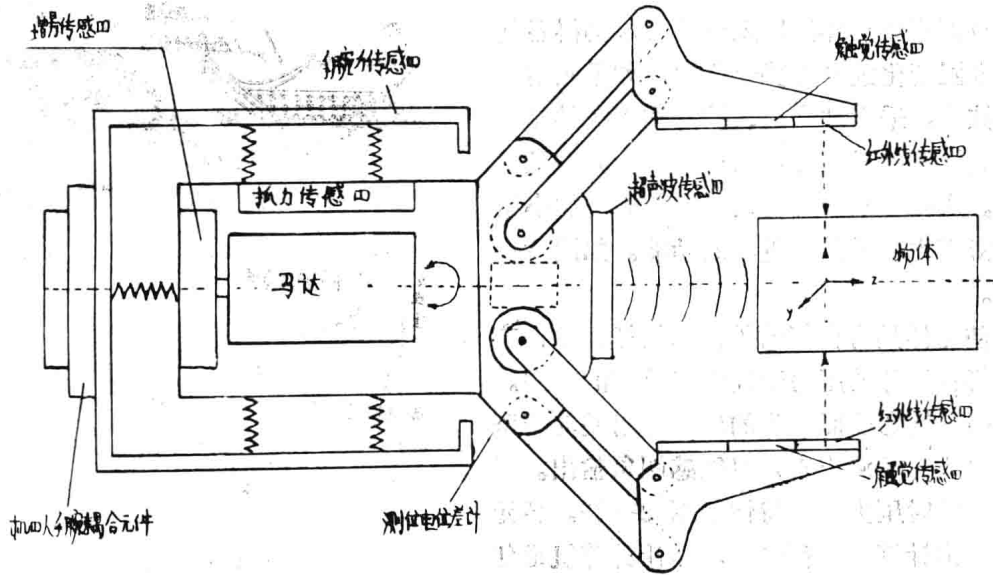


图1 一个简单却比较典型的机器人效果器

**1. 多维触觉传感器** 多维触觉可分为检出三维接触或压力图象的触觉及检出三维力或力矩的触觉，前者是感知分布压力，后者是感知多维力（包括力矩），分布压力触觉传感器是检出来自所接触物体的压力分布及其变化的传感器，通过信号处理可获得如下信息。

- 接触图象信息（接触（on）未接触（off）区域）
- 压力分布信息（平面各位置的的压力值）
- 滑动信息（接触区域的变动）

效果器传感器的分类

表2

传感器	检测信息	检测元件	传感器的应用
一维触觉	接触 握力 载重	开关、各种接点 应变仪、半导体感压元件 负荷传感器（位置偏差）	动作程序控制、紧急制动 握力控制、测定弹性特性 检测负荷及偏差
多维触觉	分布压力	导电橡胶，高分子感压膜弹簧及空穴元件、差动变压器	感知把握物体的姿势和形状、控制握力及滑动
	滑动多元力	回转检测器（滚珠空穴）应变仪、变位仪、电流检测器	动作程序控制、滑动控制、装配力控制、协调控制、双向伺服控制
接近觉	接近状态 间隔 倾斜	光电开关，针状传感器 电磁线圈超声波传感器	动作程序控制，紧急制动 轨迹控制，跟踪， 寻迹，回避障碍物

使用机器人分布压觉传感器最主要的优点是柔软性高，其次是能够高密度地进行检测，图2所示为典型的分布压触觉传感器的结构。图2-①是把柔软性感压体放置在接点上，感压体一般使用导电性硅橡胶、高分子感压膜（PVF<sub>2</sub>）等。在硅橡胶中加入导电剂的导电性橡胶，如图2-②所示，其电阻值随压力增大而减少，其变化范围为数MΩ到数百Ω，PVF<sub>2</sub>高分子材料，具有因压力而产生极化现象的压电特性。用于分布压触觉传感器上的材料具有如下特性：杨氏模量： $2.5 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ，压电常数  $10^{-12} \text{ C/N}$ ， $d_{31}=21$ ， $d_{32}=2.3$ ，



$d_{33} = -31$ .

接点配置成点阵形，无疑是可以测得各接点间的电阻变化或电动势变化的，如果应用集成电路技术，采用硅光刻、扩散技术在其接点下，组成计算单元，就可以使之进行沪波及传输处理。这样一来就可使该种传感器更加小型化，高密度化，并具有更高的功能。如图 2—②所示。

为使元件具有良好的柔性和机械强度，亦可采用将各元件的压力变成位移检测的方法。金属销因弹簧弯曲而产生的位移可用差动变压器或空穴元件检测出来，以压感图象输出。采用空穴元件时压力检出特性如图 2—C。各元件的偏差由计算机进行修正，即让计算机记住无负荷和均匀负荷时的输出图象进行修正。

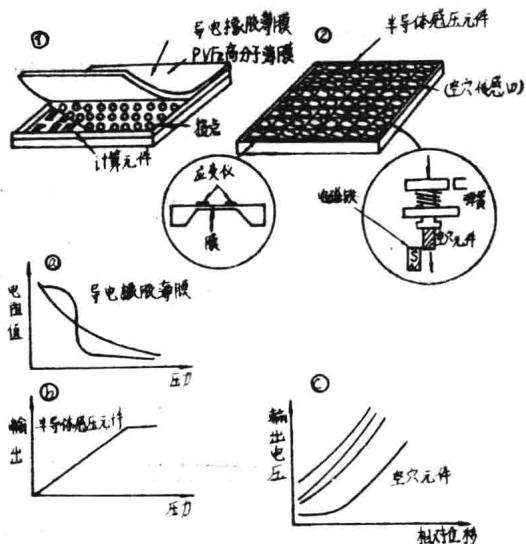


图 2 分布压觉传感器的结构及其特性

那么这些压感图象信息怎样才能更好地为机器人所使用呢？一般的图象处理技术是为了从平面图象数据中抽出各种信息而进行的。压感图象信息也可依此进行。图 3 所示为由压感图象所得的信息及依此而完成的控制系统。若假设压感图象信息作为  $f(x, y)$  ( $x, y$  为平面坐标) 则可获得负荷、接触面积、最大压力、最大压力作用点、物体边缘滑动位移及其方向的初级信息，进而进行运算处理，即可由平均压力（即握力）手指开度及压力分布等信息获得物体三维形状。

这些信息通过如图 3 所示的结构，而应用于握力控制，滑动控制及限制最大压力等。此时，平均压力作为握力的反馈信号，附加在目标值上的滑动信号只有当方向信号（与手臂的动作方向相反）为向上时为（-），其他情况下均为（+）。为保护物体，压力峰值作为确

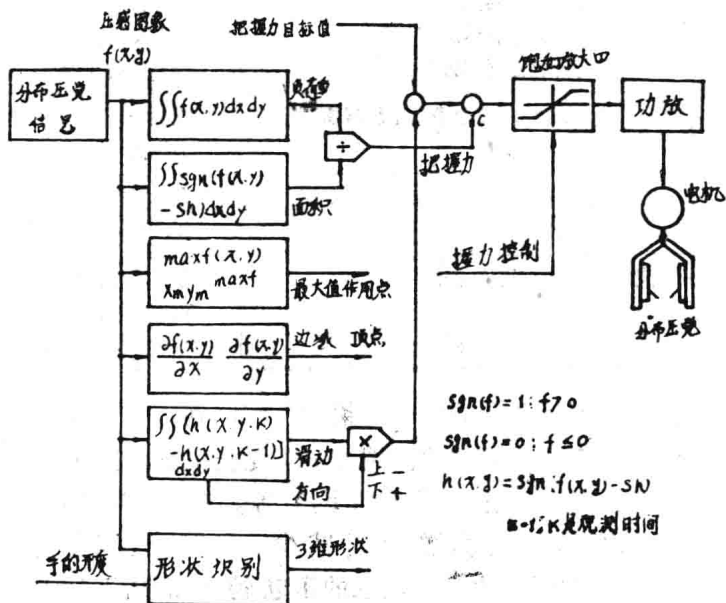


图 3 分布压觉传感器信息及其控制