



普通高等教育“十二五”规划教材

传感器原理与应用

主 编 钱显毅 钱爱玲 钱显忠



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

传感器原理与应用

主 编 钱显毅 钱爱玲 钱显忠

副主编 何一鸣 张刚兵 李青龙



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 摘 要

传感器是普通高等学校理、工、农、医等各专业重要专业基础课程,全书内容共有12章,简明扼要地介绍了主要的传感器基本结构原理与应用,突出了传感器的新知识的工程应用,培养读者的创新能力和工程实践能力,知识覆盖面广,符合教育部《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》的精神和“卓越工程师教育培养计划”的要求。

本书可作为普通高等学校的教材或参考书也可作为相关工程技术人员的参考用书,特别适合卓越工程师培养之用。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与应用 / 钱显毅, 钱爱玲, 钱显忠主编

— 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5170-0393-9

I. ①传… II. ①钱… ②钱… ③钱… III. ①传感器—高等学校—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第314184号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 传感器原理与应用
作 者	主编 钱显毅 钱爱玲 钱显忠
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 印	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.25印张 385千字
版 次	2013年2月第1版 2013年2月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

为了贯彻落实教育部《国家中长期教育改革和规划纲要》和《国家中长期人才发展规划纲要》的重大改革,根据教育部2011年5月发布的《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》,本着教材必须符合教育规律具有科学性、先进性、适用性,进一步完善具有中国特色的普通高等教育本科教材体系的精神和“卓越工程师教育培养计划”的具体要求,编写了本书。

本书具有以下特色:

(1) 符合教育部《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》的精神,具有时代性、先进性、创新性,为培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才和卓越工程师打下良好的专业基础。

(2) 特色鲜明,实用性强,方便读者自学。相关章节中安排有传感器的应用知识,方便学生自学,将每个知识点紧密结合到相关学科,可以提高学生学习兴趣,适应不同基础的学生自学。

(3) 重点突出,简明清晰,结论表述准确。对传感器的有关计算公式不求严格证明过程,但对传感器结构、原理表达清晰,结论准确,有利于帮助学生建立传感器的数理模型、培养学生的形象思维能力和解决实际工程的能力。

(4) 难易适中,适用面广,符合因材施教。适用不同的读者学习和参考,也有利于普通高校教学之用。

(5) 系统性强,强化应用,培养动手能力。本书在编写过程中,确保传感器知识系统性基础上,调研并参考了相关行业专家的意见,特别适用于卓越工程师培养,培养创新型、实用型人才。

(6) 使用方便,容易操作,便于考试考查。习题与思考题便于教师教学和学生自学。

本书共12章,绪论和附录由钱显毅编写,第1~5章由何一鸣编写,第6~8章由张刚兵编写,第9~12章由钱爱玲、钱显忠、钱显毅、李青龙共同编

写。全书由钱显毅负责统稿。

由于时间仓促，本书中的错误或不妥之处，恳请读者指正。

需要教学用 PPT 等教学资料的，请与 QQ634918683 或 QQ 群 236425612 联系。

编者

2012 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 传感器的基本概念与物理定律	1
1.1 传感器的概念	1
1.2 传感器的基本定律	1
1.3 传感器的构成法	2
1.4 传感器的分类及要求	4
1.5 传感器的地位和作用	4
1.6 传感器的发展趋势	6
习题与思考题	9
第 2 章 传感器技术基础	10
2.1 传感器的一般数学模型	10
2.2 传感器的特性与指标	12
2.3 改善传感器性能的技术途径	22
2.4 传感器的合理选用	26
2.5 传感器的标定与校准	29
习题与思考题	32
第 3 章 应变式传感器	33
3.1 电阻应变片的原理	33
3.2 金属应变片的主要特性	35
3.3 电阻应变片测量电路	38
3.4 应变式传感器测量电路	43
3.5 应变式传感器的应用	46
习题与思考题	52
第 4 章 电容式传感器	53
4.1 基本工作原理与分类	53
4.2 测量电路	57
4.3 电容式传感器的应用	59
习题与思考题	64

第 5 章 电感式传感器	65
5.1 自感式电感传感器	65
5.2 互感式电感传感器	70
5.3 电涡流式传感器	77
习题与思考题	81
第 6 章 压电式传感器	82
6.1 压电效应及材料	82
6.2 压电方程及压电常数	85
6.3 等效电路及测量电路	89
6.4 压电式传感器及其应用	94
习题与思考题	102
第 7 章 热电式传感器	103
7.1 各类热电阻传感器	103
7.2 热电偶传感器	107
7.3 热电式传感器的应用	111
习题与思考题	111
第 8 章 磁电式传感器	113
8.1 磁电感应式传感器(电动式)	113
8.2 霍尔式传感器	117
8.3 磁敏电阻传感器	125
习题与思考题	130
第 9 章 光电式传感器	132
9.1 概述	132
9.2 光源	133
9.3 常用光电器件	135
9.4 光敏器件	141
9.5 光电式传感器	150
9.6 太阳能电池	157
习题与思考题	166
第 10 章 光纤传感器	168
10.1 光纤传光原理及其特性	168
10.2 光纤传感器的类型	173
10.3 光强度调制光纤传感器	174
10.4 光相位调制光纤传感器	177
10.5 光频率调制光纤传感器	180
习题与思考题	181

第 11 章 检测电路	183
11.1 电压和电流放大电路	183
11.2 电桥及其放大电路	191
11.3 高输入阻抗放大器	193
11.4 低噪声放大电路	200
习题与思考题	209
第 12 章 汽车传感器	211
12.1 汽车传感器概述	211
12.2 汽车温度传感器	214
12.3 汽车压力传感器	235
12.4 汽车其他传感器简介	245
习题与思考题	248
参考文献	249

第 1 章 传感器的基本概念与物理定律

1.1 传感器的概念

什么是传感器 (Transducer Sensor)? 生物体的感官就是天然的传感器。如人的“五官”——眼、耳、鼻、舌、皮肤分别具有视、听、嗅、味、触觉。人们的大脑神经中枢通过五官的神经末梢(感受器)就能感知外界的信息。

也可以说,眼,具有视觉功能,相当于光学视频传感器;耳,具有听觉功能,相当于声学传感器;鼻,具有嗅觉功能,相当于生化传感器;舌,具有味觉功能,相当于化学传感器;皮肤,具有触觉功能,相当于压力传感器。

在工程科学与技术领域里,可以认为:传感器是人体“五官”的工程模拟物。国家标准《橡胶中铜含量的测定 二乙基二硫代氨基甲酸锌光度法》(GB/T 7765—87)把它定义为:能感受规定的被测量(包括物理量、化学量、生物量等)并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件(Sensing Element)和转换元件(Transduction Element)组成。

应当指出,这里所谓的“可用信号”是指便于处理、传输的信号。当今电信号最易于处理和便于传输,因此,可把传感器狭义地定义为:能把外界非电信息转换成电信号输出的器件或装置。可以预料,当人类跨入光子时代,光信息成为更便于快速、高效地处理与传输的可用信号时,传感器的概念将随之发展成为能把外界信息或能量转换成光信号或能量输出的器件或装置。

在此,引入传感器的广义定义:“凡是利用一定的物质(物理、化学、生物)法则、定理、定律、效应等进行能量转换与信息转换,并且输出与输入严格一一对应的器件或装置均可称为传感器。”因此,在工程技术的技术领域,传感器又被称作检测器、换能器、变换器等等。

随着信息科学与微电子技术,特别是微型计算机与通信技术的迅猛发展,近期传感器的发展走上了与微处理器、微型计算机和通信技术相结合的必经之路,传感器的概念因此而进一步扩充,如智能(化)传感器、传感器网络化等新概念应运而生。

传感器技术,是以传感器为核心论述其内涵、外延的学科;也是一门涉及测量技术、功能材料、微电子技术、精密与微细加工技术、信息处理技术和计算机技术等相互结合形成的密集型综合技术。

1.2 传感器的基本定律

传感器之所以具有能量信息转换的机能,在于它的工作机理是基于各种物理的、化学

的和生物的效应，并受相应的定律和法则所支配。了解这些定律和法则，有助于我们对传感器本质的理解和对新效应传感器的开发。在本书论述的范围内，作为传感器工作物理基础的基本定律和法则有以下四种类型：

(1) 守恒定律。包括能量、动量、电荷量等守恒定律。这些定律，是我们探索、研制新型传感器时或在分析、综合现有传感器时，都必须严格遵守的基本法则。

(2) 场的定律。包括运动场的运动定律，电磁场的感应定律等。其相互作用与物体在空间的位置及分布状态有关。一般可由物理方程给出，这些方程可作为许多传感器工作的数学模型。例如：利用静电场定律研制的电容式传感器；利用电磁感应定律研制的自感、互感、电涡流式传感器；利用运动定律与电磁感应定律研制的磁电式传感器等。利用场的定律构成的传感器，其形状、尺寸（结构）决定了传感器的量程、灵敏度等主要性能，故此类传感器可统称为“结构型传感器”。

(3) 物质定律。它是表示各种物质本身内在性质的定律（如胡克定律、欧姆定律等），通常以这种物质所固有的物理常数加以描述。因此，这些常数的大小决定着传感器的主要性能。如：利用半导体物质法则——压阻、热阻、磁阻、光阻、湿阻等效应，可分别做成压敏、热敏、磁敏、光敏、湿敏等传感器件；利用压电晶体物质法则——压电效应、可制成压电、声表面波、超声传感器等。这种基于物质定律的传感器，可统称为“物性型传感器”。这是当代传感器技术领域中具有广阔发展前景的传感器。

(4) 统计法则。它是把微观系统与宏观系统联系起来的物理法则。这些法则，常常与传感器的工作状态有关，它是分析某些传感器的理论基础。这方面的研究有待进一步深入。

1.3 传感器的构成法

由上已知，当今的传感器是一种能把非电输入信息转换成电信号输出的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。其典型的组成及功能框图如图 1-1 所示。其中敏感元件是构成传感器的核心。传感器主要敏感元件见图 1-1。

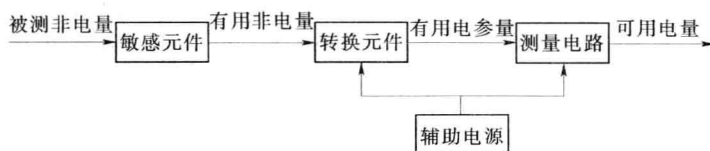


图 1-1 传感器典型组成及功能框图

图 1-1 的功能原理具体体现在结构型传感器中。

对物性型传感器而言，其敏感元件集敏感、转换功能于一身，即可实现“被测非电量—有用电量”的直接转换。

实际上，传感器的具体构成方法，视被测对象、转换原理、使用环境及性能要求等具体情况的不同而有很大差异。图 1-2 所示为典型的传感器构成方法。

(1) 自源型。为仅含有敏感元件的最简单、最基本的传感器构成形式。此形式的特点是无需外能源，故又称无源型；其敏感元件具有从被测对象直接吸取能量，并转换成电量

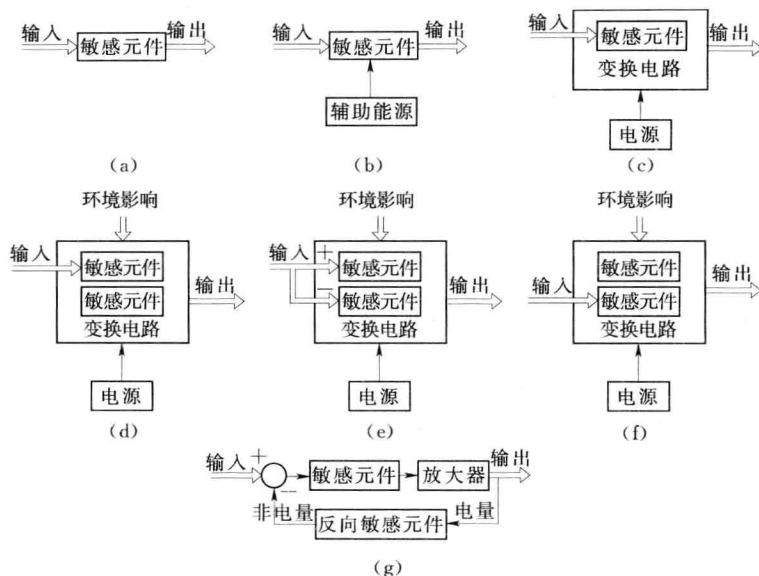


图 1-2 传感器的构成型式

的效应；但输出能量较弱，如热电偶、压电器件等。

(2) 辅助能源型。它是敏感元件外加辅助激励能源的构成形式。辅助能源可以是电源，也可以是磁源。传感器输出的能量由被测对象提供，因此是“能量转换型”结构。如光电 2 管、光敏二极管、磁电式和霍尔等电磁感应式传感器即属此型。特点是，不需要变换（测量）电路即可进行较大的电量输出。

(3) 外源型。它由能对被测量在现阻抗变换的敏感元件和带有外电源的变换（测量）电路构成。其输出能量由外电源提供，是属于“能量控制（调制）型”结构，如电阻应变式、电感、电容式位移传感器及气敏、湿敏、光敏、热敏等传感器均属于此。所谓“变换（测量）电路”，是指能把转换元件输出的电信号，调理成便于显示、记录、处理和控制的可用信号的电路，故又称“信号调理与转换电路”。常用的变换（测量）电路有电桥、放大器、振荡器、阻抗变换器和脉冲调宽电路等。

实用中，这种构成形式的传感器特性要受到使用环境变化的影响，图 1-2 (d)、(e)、(f) 是目前消除环境变化的干扰而广泛采用的线路补偿法构成型式。

(4) 相同敏感元件的补偿型。采用两个原理和特性完全相同的敏感元件，并置于同一环境中，其中一个接受输入信号和环境影响，另一个只接受环境影响，通过线路，使后者消除前者的环境干扰影响。这种构成法在应变式、固态压阻式等传感器中常被采用。

(5) 差动结构补偿型。它也采用了两个原理和特性完全相同的敏感元件，同时接收被测输入量，并置于同一环境中。巧妙的是，两个敏感元件对被测输入量作反向转换，对环境干扰量作同向转换，通过变换（测量）电路，使有用输出量相加，干扰量相消。如差动电阻式、差动电容式、差动电感式传感器等即属此型。

(6) 不同敏感元件的补偿型。采用两个原理和性质不相同的敏感元件，两者同样属于同一环境中。其中一个接受输入信号，并已知其受环境影响的特性；另一个接受环境影响

量,并通过电路向前者提供等效的抵消环境影响的补偿信号。如采用热敏元件的温度补偿,采用压电补偿片的温度和加速度干扰补偿等。

(7) 反馈型。这种构成法引入了反馈控制技术,用正向、反向两个敏感元件分别作测量和反馈元件,构成闭环系统,使传感器输入处于平衡状态。因此,亦称为闭环式传感器或平衡式传感器,如图1-2(g)所示。这种传感器系统具有高精度、高灵敏度、高稳定、高可靠性等特点,例如力平衡式压力、称重、加速度传感器等。

在此,再引入“传感器系统”的构成概念。

目前,人们已日益重视借助于各种先进技术和技术手段来实现传感器的系统化。例如利用自适应控制技术、微型计算机软硬件技术来实现传统传感器的多功能与高性能。这种由传感器技术和其他先进技术相结合,从结构与功能的扩展上构成了一个传感器系统。或者,可根据复杂对象监控的需要,将上述各种基本形式的传感器作为选择组合,构成一个复杂得多传感器系统,近年来也相应出现了多传感器信息融合技术、智能传感器等十分先进的传感器系统。

1.4 传感器的分类及要求

用于不同科技领域或行业的传感器种类繁多:一种被测量,可以用不同的传感器来测量;而同一原理的传感器,通常又可分别测量多种被测量。因此,分类的方法五花八门。了解传感器的分类,旨在从总体上加深理解,便于应用。

除去分类法外,还有按与某种高技术、新技术相结合而得名的,如集成传感器、智能传感器、机器人传感器、仿生传感器等,不胜枚举。

无论何种传感器,作为测量与控制系统的首要环节,通常都必须满足快速、准确、可靠而又经济地实现信息转换的基本要求,即:

- (1) 足够的容量。传感器的工作范围或量程足够大;具有一定过载能力。
- (2) 灵敏度高,精度适当。即要求其输出信号与被测输入信号成确定关系(通常为线性),且比值要大;传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求。
- (3) 响应速度快,工作稳定、可靠性好。
- (4) 适用性和适应性强。体积小,重量轻,动作能量小,对被测对象的状态影响小;内部噪声小而又不易受外界干扰的影响;其输出力要求采用通用或标准形式,以便与系统对接。
- (5) 使用经济。成本低,寿命长,且便于使用、维修和校准。

当然,能完全满足上述性能要求的传感器是很少有的。应根据应用的目的、使用环境、被测对象状况、精度要求和信息处理等具体条件作全面综合考虑。综合考虑的具体原则、方法、性能及指标要求,将在第1章中详细讨论。

1.5 传感器的地位和作用

从科学技术发展的角度看,人类社会已经或正在经历着手工化—机械化—自动化—信

息化……的发展历程。当今的社会信息化靠的是现代信息技术——传感器技术、通信技术和计算机技术三大支柱的支撑，由此可见，传感器技术在国防、国家工业化和社会信息化的进程中有着突出的地位和作用。

众所周知，科技进步是社会发展的强大推动力。科技进步的重要作用在于不断用机（仪）器来代替和扩展人的体力劳动和脑力劳动，以大大提高社会生产力。为此目的，人们在不懈地探索着机器与人之间的功能模拟——人工智能，并不断地创制出拟人的装置——自动化机械，乃至智能机器人。

由图 1-3 所示的人与机器的功能对应关系可见，作为模拟人体感官的“电五官”（传感器），是系统对外界猎取信息的“窗口”，如果对象亦视为系统，从广义上讲传感器是系统之间实现信息交流的“接口”，它为系统提供着赖以进行处理和决策所必需的对象信息，它是高度自动化系统乃至现代尖端技术必不可少的关键组成部分。

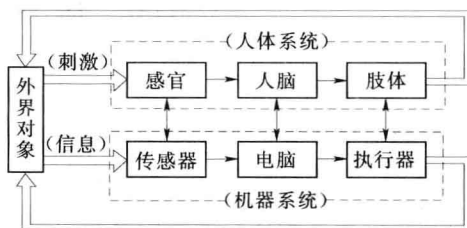


图 1-3 人与机器的功能对应关系

略举数例：仪器仪表是科学研究和工业技术的“耳目”。在基础学科和尖端技术的研究中，大到上千光年的茫茫宇宙，小到 10^{-13} cm 的粒子世界；长到数十亿年的天体演化，短到 10^{-24} s 的瞬间反应；高达 $5 \times 10^4 \sim 5 \times 10^8$ °C 的超高温，或 3×10^8 Pa 的超高压，低到 10^{-6} °C 的超低温，或 10^{-13} Pa 的超真空；强到 25T 以上的超强磁场，弱到 10^{-13} T 的超弱磁场……要测量如此极端细微的信息，单靠人的感官或一般电子设备远已无能为力，必须借助于配备有相应传感器的高精度测试仪器或大型测试系统才能奏效。因此，某些传感器的发展，是一些边缘科学研究和高、新技术外发的先驱。

在工业与国防领域，传感器更有它用武之地。在以高技术对抗和信息战为主要特征的现代战争中，在高度自动化的工厂、设备、装置或系统中，可以说是传感器的大集合地。例如：工厂自动化中的柔性制造系统（FMS），计算机集成制造系统（CIMS），几十万千瓦的大型发电机组，连续生产的轧钢生产线，无人驾驶的自动化汽车，大型基础设施工程（如大桥、隧道、水库、大坝等），多功能武装攻击指挥系统，直到航天飞机、宇宙飞船或星际、海洋探测器等，均需要配置大量的、数以千计的传感器，用以检测各种各样的工况参数或对象信息，以达到识别目标和运行监控的目的。

当传感器技术在工业自动化、军事国防和以宇宙开发、海洋开发为代表的尖端科学与工程等重要领域广泛应用的同时，它正以自己的巨大潜力，向着与人们生活密切相关的方面渗透；生物工程、医疗卫生、环境保护、安全防范、家用电器、网络家居等方面的传感器已层出不穷，并在日新月异地发展。据新近国外有一家技术市场调查公司预测：未来五年，用嵌入大量微传感器的电脑芯片做成的服装、饰物将风行世界市场。

可见，从茫茫太空，到浩瀚海洋；从各种复杂的工程系统，到日常生活的衣食住行，几乎每一项现代化内容都离不开各种各样的传感器。有专家感言：“没有传感器……，支撑现代文明的科学技术就不可能发展。”日本业界更声称：“支配了传感器技术就能够支配新时代！”

为此,日本把传感器技术列为国家重点发展的十大技术之首。美国早在20世纪80年代就宣称:世界已进入传感器时代!在涉及国家经济繁荣和国家安全至关重要的22项重大技术中,传感器技术就有6项;而涉及保护美国武器系统质量优势至关重要的关键技术中,有8项为无源传感器。可以毫不夸张地说,21世纪的社会,必将是传感器的世界!

1.6 传感器的发展趋势

1. 发现新效应,开发新材料、新功能

传感器的工作原理是基于各种物理的、化学的、生物的效应和现象;具有这种功能材料谓之“功能材料”或“敏感材料”。显而易见,新的效应和现象的发现,是新的敏感材料开发的重要途径;而新的敏感材料的开发,是新型传感器问世的重要基础。

例如,约瑟夫逊(Josephson)效应——一种超导体超导电流的量子干涉效应的发现,导致多种超性能敏感器件的开发:利用直流约瑟夫逊效应研制成超导量子干涉器(SQUID),可用于测量诸如人体心脏和脑活动所产生的微磁场变化,分辨力高于 10^{-13} T;利用交流约瑟夫逊效应研制的电压—频率(V—F)变换器,其精确度可达 10^{-8} ,且稳定性极高,不受环境温度、振动干扰,无漂移和老化;利用约瑟夫逊效应的热噪声研制的温度传感器,可测量 10^{-6} K的超低温。

又如电流变(Electrorheologic, ER)效应——一种电流变材料(常态为液体,ERF)在外电场控制下能瞬间(μ s、ms级)产生可逆性“液态—固态”突变,致使其黏度、阻尼、剪切强度等力学性能快速响应的现象。之后,利用这种ER效应开发的“电—机特件”转换元件,因其具有低能耗、快速响应、可逆性、无级柔性变换、无磨损、低噪声、长寿命等特点,并能将高速计算机的电指令直接转换成机械动作的操作过程,被誉为“有潜力成为电气—机械转换中能效最高的一种产品”。美国科学家称:“ER将会产生一场较当年半导体材料影响更大的技术革命”和“一系列的工业技术革命”。可见,电流变效应的研究和电流变材料的应用,具有十分巨大的发展潜力和十分诱人、令人鼓舞的前景。

还需指出,探索已知材料的新功能与开发新材料,对研制新型传感器来说同样重要。有些已知材料,在特定的配料组方和制备工艺条件下,会呈现出全新的敏感功能特性。例如,用以研制湿敏传感器的 Al_2O_3 基湿敏陶瓷早已为人们所知;近年来,我国学者又成功地研制出以 Al_2O_3 为基材的氢气敏、酒精敏、甲烷敏三种类型的气敏元件。与同类型的 SnO_2 , Fe_2O_3 , ZnO 基气敏器件相比,具有更好的选择性、低工作温度和较强的抗温、抗湿能力。这种开发已知材料新功能或多功能的成果绝非仅有,值得关注。

2. 传感器的多功能集成化和微型化

所谓集成化,就是在同一芯片上,或将众多同类型的单个传感器件集成为一维、二维或三维阵列型传感器;或将传感器件与调理、补偿等处理电路集成一体化。前一种集成化使传感器的检测参数实现“点—线—面—体”多维图像化,甚至能加上时序控制等软件,变单参数检测为多参数检测,例如将多种气敏元件,用厚膜制造工艺集成制作在同一基片上,制成能检测氧、氨、乙醇、乙烯四种气体浓度的多功能气体传感器;后一种集成化使

传感器由单一的信号转换功能,扩展为兼有放大、运算、补偿等多功能。高度集成化的传感器,将是两者有机地融合,以实现多信息与多功能集成一体化的传感器系统。

微米/纳米技术的问世,微机械加工技术的出现,使三维工艺日趋完善,这为微型传感器的研制铺平了道路。微型传感器的显著特征是体积微小、重量很轻(体积、重量仅为传统传感器的几十分之一甚至几百分之一)。其敏感元件的尺寸一般为微米级。它是由微加工技术(光刻、蚀刻、淀积、键合等工艺)制作而成。如今,传感器的发展有一股强劲的气势,这就是正在摆脱传统的结构与生产,而转向优先选用硅材料,以微机械加工技术为基础,以仿真程序为工具的微结构设计,来研制各种敏感机理的集成化、阵列化、智能化硅微传感器。这一现代传感器技术国外称之为“专用集成微型传感器技术”ASIM(Application Specific Integrated Microtransducer)。这种硅微传感器一旦付诸实用,将对众多高科技领域——特别是航空航天、遥感遥测、环境保护、生物医学和工业自动化领域有着重大的影响。美国尼古拉斯·尼葛洛庞帝预言:微型化电脑将在10年后变得无所不在,人们的日常生活中可能嵌满这种电脑芯片。届时,人们甚至可以将一种含有微电脑的微型传感器,像服药丸一样“吞”下,从而在体内进行各种检测,以帮助医生诊断。目前日本已研制出尺寸为 $2.5\text{mm}\times 0.5\text{mm}$ 的微型传感器,可用导管直接送入心脏,可同时检测Na、K和H相离子浓度。微传感器的实现和应用,最引起关注的还是在航空航天领域。如国外某金星探测器共使用了8000余个传感器。若采用微传感器及其阵列集成,不仅对减轻重量、节省空间和能耗有重要意义,而且可大大提高飞行监控系统的可靠性。正因为如此,最近美国在《新世纪展望 21世纪的空军和太空力量》的研究报告中,特别强调了微传感器对各种飞行器的重要性,并把它列入突出发展的计划付诸实施。我国在这方面正在迎头赶上。

3. 传感器的数字化、智能化和网络化

数字技术是信息技术的基础。传感器的数字化,不仅是提高传感器本身多种性能的需要,而且是传感器向智能化、网络化更高层次发展的前提。

近年来,传感器的智能化和智能传感器的研究、开发正在世界众多国家蓬勃开展。智能传感器的定义也在逐步形成和完善之中。目前较为一致的看法是:凡是具有一种或多种敏感功能,不仅能实现信息的探测、处理、逻辑判断和双向通信,而且具有自检测、自校正、自补偿、自诊断等多功能的器件或装置,可称为“智能传感器”(Intelligent Sensor)。按构成模式,智能式传感器有分立模块式和集成一体式之分。

目前国内外已较多出现一种组合一体化结构传感器。它把传统的传感器与其配套的调理电路、微处理器、输出接口与显示电路等模块组装在同一壳体内。因而,体积缩小,线路简化,结构更紧凑,可靠性和抗干扰性能大大提高。在今后一段时间内,它将是传统传感器实现小型化和智能化而引人注目的发展途径。

有人预计未来的10年,传感器智能化将首先发展成由硅微传感器、微处理器、微执行器和接口电路等多片模块组成的闭环传感器系统。如果通过集成技术进一步将上述多片相关模块全部制作在一个芯片上形成单片集成,就可形成更高级的智能传感器。

传感器网络化技术是随着传感器、计算机和通信技术相结合而发展起来的新技术,进入21世纪以来已崭露头角。传感器网络是一种由众多随机分布的一组同类或异类传感器

节点与网关节点构成的无线网络。每个微型化和智能化的传感器节点，都集成了传感、处理、通信、电源等功能模块，可实现目标数据与环境信息的采集和处理，可在节点与节点之间、节点与外界之间进行通信。这种具有强大集散功能的传感器网络，可以根据需要密布于目标对象的监测部位，进行分散式巡视、测量和集中监视。下一代传感器网络产品，将可能是浏览器技术与以太网相互融合，以实现 smart 传感器和执行器的集成。未来的传感器网络将引入不久将面世的“光学集成系统”（微型集成光路），其功能和速度会更加高超。

在此，还将引入利用智能化材料制造出的智能化传感器。

智能材料的概念首先由美国学者 C. A. Rogers 提出。1989 年，日本学者高木后直进而提出了“将信息科学融入材料的物性和功能”的智能材料构想。此后，日本、美国、西欧地区和世界各国争先恐后地开展了这方面的研究工作。关于智能材料定义，国外最为流行的说法是 Petroki 提出的：“将生命功能注入非生命或人工材料（或制品）构成的集成化体系称为智能材料，其中包括感知（Sensing）、驱动（Actuating）和控制（Controlling）材料或部件”。我国材料科学家师昌绪院士则提出了如下表达式： $\text{Sensing} + \text{lg} + \text{Actuating} = \text{Smart}$ （灵巧）， $\text{Smart} + \text{Controlling} = \text{Intelligent}$ ；其中包括三种功能：①感知功能——能自身探测和监控外界环境或条件变化；②处理功能——能评估已测信息，并利用已存储资料作出判断和协调反应；③执行功能——能依据上述结果提交驱动或调节器实施。

目前，初步具有这种自监测、自诊断、自适应功能的智能材料与结构，已被应用于桥梁、隧道、大坝等土建结构的智能化“神经”系统中；也有被埋设于飞机及航天装置的机身、机翼和发动机等要害部件，使之具有如人体“神经与肌肉组织”般的智能结构，监视自身的“健康状态”。如美国，在 F15 战斗机机翼设置的自诊断光纤干涉传感器网络，就是成功一例。可以预料未来的智能工程结构将广泛采用智能材料与结构，其应用前景十分广阔。

4. 研究生物感官，开发仿生化传感器

大自然是生物传感器的优秀设计师。生物界进化到今天，人类凭借发达的智力，无需依靠强大的感官能力就能生存；而物竞天择的动物界，能拥有特殊的感应能力，即功能奇特、性能高超的生物传感器才是生存的本领。许多动物，因为具有非凡的感应次声波信号的能力，而使它们能够逃避诸如火山爆发、地震、海啸之类的灭顶之灾。其他如狗的嗅觉（灵敏阈为人的 10^6 倍）；鸟的视觉（视力为人的 8~50 倍）；蝙蝠、飞蛾、海豚的听觉（主动型生物雷达——超声波传感器）；蛇的接近觉（分辨力达 0.001°C 的红外测温传感器）等。这些动物的感官性能，是当今传感器技术所企及的目标。利用仿生学、生物遗传工程和生物电子学技术来研究它们的机理，研发仿生传感器，也是十分引人注目的方向。

综上所述不难看出，当代科学技术发展的一个显著特征是，各学科之间在其前沿边缘上相互渗透，互相融合，从而催生出新兴的学科或新的技术。传感器技术也不例外，它正不断融入其他相关学科的高科技，逐步形成自己的发展方向，孕育自己的新技术。所以，传感器的发展，传感器新技术的发展，必须走与高科技相结合之路。

习 题 与 思 考 题

1-1 综述传感器概念。

1-2 一个可供实用的传感器由哪几部分构成？各部分的功用是什么？试用框图示出传感器系统。

1-3 如果家用小车采用超声波雷达，需要哪几部分组成？请画出方框图。

1-4 就传感器技术在未来社会中的地位、作用及其发展方向，谈谈自己的看法。