

21世纪

高等学校电子信息类系列教材

# 传感器原理 及应用技术

刘笃仁 韩保君 编著

Transducer

Transducer

Practise

Principle

西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

★ 21 世纪高等学校电子信息类系列教材

# 传感器原理及应用技术

刘笃仁 韩保君 编著

西安电子科技大学出版社

2003

## 内 容 简 介

全书共 12 章,较详细地叙述了各类常用传感器的基本概念、基本原理和基本特性;分析了传感器的测量电路、外围电路及应用电路;讨论了传感器应用的共性技术及传感器的选择与使用。

本书取材新颖,叙述由浅入深,循序渐进,将传感器原理与应用技术紧密结合,内容全面、系统。

本书既可作为高等院校电子类各专业的教学用书,也可作为有关工程技术人员的参考与自学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及应用技术/刘笃仁等编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2003.8

21 世纪高等学校电子信息类系列教材

ISBN 7-5606-1259-8

I. 传… II. 刘… III. 传感器—高等学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 047316 号

责任编辑 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8242885 8201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16.5

字 数 383 千字

印 数 1~4000 册

定 价 18.00 元

ISBN 7-5606-1259-8/TN·0229(课)

**XDUP 1530001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 序

第三次全国教育工作会议以来,我国高等教育得到空前规模的发展。经过高校布局和结构的调整,各个学校的新专业均有所增加,招生规模也迅速扩大。为了适应社会对“大专业、宽口径”人才的需求,各学校对专业进行了调整和合并,拓宽专业面,相应地教学计划、大纲也都有了较大的变化。特别是进入21世纪以来,信息产业发展迅速,技术更新加快。面对这样的发展形势,原有的计算机、信息工程两个专业的传统教材已很难适应高等教育的需要,作为教学改革的重要组成部分,教材的更新和建设迫在眉睫。为此,西安电子科技大学出版社聘请南京邮电学院、西安邮电学院、重庆邮电学院、吉林大学、杭州电子工业学院、桂林电子工业学院、北京信息工程学院、深圳大学、解放军电子工程学院等10余所国内电子信息类专业知名院校长期在教学科研第一线工作的专家教授,组成了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材编审专家委员会,并且面向全国进行系列教材编写招标。该委员会依据教育部有关文件及规定对这两大类的教学计划和课程大纲,目前本科教育的发展变化和相应系列教材应具有的特色和定位以及如何适应各类院校的教学需求等进行了反复研究、充分讨论,并对投标教材进行了认真评审,筛选并确定了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材的作者及审稿人,这套教材预计在2004年全部出齐。

审定并组织出版这套教材的基本指导思想是力求精品、力求创新、优中选优、以质取胜。教材内容要反映21世纪信息科学技术的发展,体现专业课内容更新快的要求;编写上要具有一定的弹性和可调性,以适合多数学校使用。体系上要有所创新,突出工程技术型人才培养的特点,面向国民经济对工程技术人才的需求,强调培养学生较系统地掌握本学科专业必需的基础知识和基本理论,有较强的本专业的基本技能、方法和相关知识,培养学生具有从事实际工程的研发能力。在作者的遴选上,强调作者应在教学、科研第一线长期工作,有较高的学术水平和丰富的教材编写经验;教材在体系和篇幅上符合各学校的教学计划要求。

相信这套精心策划、精心编审、精心出版的系列教材会成为精品教材,得到各院校的认可,对于新世纪高等学校教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会

2002年8月

# 高等学校计算机、信息工程类专业

## 系列教材编审专家委员会

主任：杨震（南京邮电学院副院长、教授）  
副主任：张德民（重庆邮电学院通信与信息工程学院院长、教授）  
韩俊刚（西安邮电学院计算机系主任、教授）  
李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑、教授）

### 计算机组

组长：韩俊刚（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

王小民（深圳大学信息工程学院计算机系主任、副教授）  
王小华（杭州电子工业学院计算机分院副院长、副教授）  
孙力娟（南京邮电学院计算机系副主任、副教授）  
李秉智（重庆邮电学院计算机学院院长、教授）  
孟庆昌（北京信息工程学院教授）  
周娅（桂林电子工业学院计算机系副主任、副教授）  
张长海（吉林大学计算机科学与技术学院副院长、教授）

### 信息工程组

组长：张德民（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

方强（西安邮电学院电信系主任、教授）  
王晖（深圳大学信息工程学院电子工程系主任、副教授）  
胡建萍（杭州电子工业学院电子信息分院副院长、副教授）  
徐祎（解放军电子工程学院电子技术教研室主任、副教授）  
唐宁（桂林电子工业学院通信与信息工程系副主任、副教授）  
章坚武（杭州电子工业学院通信工程分院副院长、教授）  
康健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）  
蒋国平（南京邮电学院电子工程系副主任、副教授）

总策划：梁家新

策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

# 前 言

本书是作者结合多年来从事传感器技术教学和科研的实践与体会，学习、吸收了国内外文献资料的精华撰写而成的。

全书共 12 章，较详细地叙述了各类常用传感器的基本概念、基本原理和基本特性；分析了传感器的测量电路、外围电路及应用电路；讨论了传感器应用的共性技术及传感器的选择与使用。

刘笃仁编写了本书绪论、第 1~2 章、第 4~6 章、第 9~12 章及附录，韩保君编写了第 3 章、第 7~8 章。

本书取材新颖，叙述由浅入深，循序渐进，将传感器原理与应用技术紧密结合，内容全面、系统。

本书既可作为高等院校电子类各专业的教学用书，也可作为有关工程技术人员的参考及自学用书。

在本书的编写过程中，西安电子科技大学博士生导师杨银堂教授给予了热情的指导和帮助。本书的出版得到西安电子科技大学电子工程学院、机电工程学院等学院领导及同事们的大力支持。西安电子科技大学出版社编辑云立实同志为该书的出版做了大量的工作。对于这一切，作者表示衷心的感谢。

作者对学习、写作过程中参考过的文献资料的作者深表感谢。

由于作者水平有限，书中难免有欠妥和错误之处，恳请读者批评、指正。

作者

2003 年 5 月 1 日

于西安电子科技大学

# 目 录

绪论 .....	1
第 1 章 传感器的特性 .....	5
1.1 传感器的组成及分类 .....	5
1.1.1 传感器的组成 .....	5
1.1.2 传感器的分类 .....	6
1.2 传感器的基本特性 .....	7
1.2.1 静态特性 .....	7
1.2.2 动态特性 .....	14
思考题与习题 .....	16
第 2 章 热电传感器 .....	17
2.1 热电势式测温传感器 .....	17
2.1.1 工作原理 .....	17
2.1.2 热电偶中引入第三导体 .....	19
2.1.3 标准热电极 .....	20
2.1.4 热电偶冷端温度误差及其补偿 .....	20
2.1.5 常用热电偶的特性 .....	23
2.1.6 热电偶的测量电路 .....	23
2.2 热电阻式温度传感器 .....	28
2.2.1 金属测温电阻器 .....	28
2.2.2 半导体热敏电阻器 .....	32
2.3 PN 结型测温传感器 .....	35
2.3.1 温敏二极管及其应用 .....	35
2.3.2 温敏晶体管及其应用 .....	38
2.4 集成电路温度传感器 .....	40
2.4.1 基本原理及 PTAT 核心电路 .....	40
2.4.2 电压输出型 .....	42
2.4.3 电流输出型 .....	45
2.5 热释电式传感器 .....	47
2.5.1 热释电效应及其机理 .....	47
2.5.2 热释电红外传感器 .....	47
2.5.3 热释电探测模块 .....	49
2.5.4 典型应用 .....	50
2.6 热电传感器应用实例 .....	51
思考题与习题 .....	54
第 3 章 应变传感器 .....	55
3.1 电阻应变式传感器 .....	55

3.1.1	应变片的结构和类型 .....	55
3.1.2	电阻应变式传感器的工作原理 .....	56
3.1.3	电阻应变式传感器的主要特性及参数 .....	57
3.2	薄膜应变电阻及传感器 .....	60
3.2.1	薄膜分类 .....	60
3.2.2	薄膜工作原理 .....	60
3.2.3	薄膜应变传感器的特点 .....	61
	<b>思考题与习题</b> .....	63
<b>第4章</b>	<b>磁敏传感器</b> .....	64
4.1	磁敏传感器的物理基础——霍尔、磁阻、形状效应 .....	64
4.1.1	基础知识 .....	64
4.1.2	霍尔效应 .....	64
4.1.3	磁阻效应 .....	65
4.1.4	形状效应 .....	65
4.2	霍尔元件 .....	65
4.2.1	霍尔元件工作原理 .....	65
4.2.2	霍尔元件结构 .....	66
4.2.3	基本电路 .....	67
4.2.4	电磁特性 .....	69
4.2.5	误差分析及误差补偿 .....	70
4.3	磁阻元件 .....	73
4.3.1	长方形磁阻元件 .....	73
4.3.2	科尔宾元件 .....	74
4.3.3	平面电极元件 .....	74
4.3.4	InSb - NiSb 共晶磁阻元件 .....	75
4.3.5	曲折形磁阻元件 .....	75
4.3.6	磁阻元件的温度补偿 .....	76
4.4	磁敏二极管 .....	76
4.4.1	磁敏二极管的结构 .....	76
4.4.2	磁敏二极管的工作原理 .....	77
4.4.3	磁敏二极管的特性 .....	78
4.4.4	磁敏二极管的补偿技术 .....	80
4.5	磁敏三极管 .....	81
4.5.1	磁敏三极管的结构 .....	81
4.5.2	磁敏三极管的工作原理 .....	82
4.5.3	磁敏三极管的特性 .....	82
4.5.4	温度补偿技术 .....	84
4.6	磁敏传感器的应用 .....	84
4.6.1	霍尔元件的应用 .....	84
4.6.2	磁阻元件的应用 .....	92
	<b>思考题与习题</b> .....	97



<b>第 5 章 压电传感器</b> .....	98
5.1 压电效应 .....	98
5.1.1 石英晶体的压电效应 .....	98
5.1.2 压电常数 .....	100
5.1.3 压电陶瓷的压电效应 .....	101
5.2 压电材料 .....	102
5.2.1 压电晶体 .....	102
5.2.2 压电陶瓷 .....	103
5.2.3 新型压电材料 .....	104
5.3 等效电路与测量电路 .....	105
5.3.1 等效电路 .....	105
5.3.2 测量电路 .....	106
5.4 压电传感器及其应用 .....	109
5.4.1 压电传感器中压电片的连接 .....	109
5.4.2 压电式力传感器 .....	110
5.4.3 压电式压力传感器 .....	112
5.4.4 压电式加速度传感器 .....	113
5.4.5 应用实例 .....	117
<b>思考题与习题</b> .....	120
<b>第 6 章 光纤传感器</b> .....	121
6.1 基础知识 .....	121
6.1.1 光纤的结构 .....	121
6.1.2 光纤的种类 .....	121
6.1.3 光纤的传光原理 .....	122
6.1.4 光纤的特性 .....	124
6.1.5 光纤的耦合 .....	126
6.2 光纤传感器的分类及构成 .....	127
6.2.1 分类 .....	127
6.2.2 构成部件 .....	129
6.3 功能型光纤传感器举例 .....	132
6.3.1 相位调制型光纤传感器 .....	132
6.3.2 光强调制型光纤传感器 .....	134
6.3.3 偏振态调制型光纤传感器 .....	135
6.4 非功能型光纤传感器举例 .....	136
6.4.1 传输光强调制型光纤传感器 .....	136
6.4.2 反射光强调制型光纤传感器 .....	137
6.4.3 频率调制型光纤传感器 .....	139
6.4.4 光纤液位传感器 .....	141
<b>思考题与习题</b> .....	141
<b>第 7 章 光栅传感器</b> .....	144
7.1 光栅基础 .....	144

7.1.1	光栅分类及结构	144
7.1.2	莫尔条纹原理	145
7.1.3	莫尔条纹特点	146
7.2	光栅传感器的工作原理	147
7.2.1	光电转换原理	147
7.2.2	莫尔条纹测量位移原理	147
7.2.3	辨向原理	148
7.3	莫尔条纹细分技术	149
7.3.1	细分方法	149
7.3.2	光电元件直接细分	149
7.3.3	CCD直接细分	150
7.3.4	光栅传感器的误差	151
7.4	常用光学系统	152
7.4.1	透射直读式光路	152
7.4.2	反射直读式光路	152
7.4.3	反射积分式光路	152
	思考题与习题	153
<b>第8章</b>	<b>光电传感器</b>	<b>154</b>
8.1	光电传感器的基本效应	154
8.1.1	半导体的粒子特性	154
8.1.2	光电效应	155
8.2	外光电效应光电元件	155
8.2.1	光电管	155
8.2.2	光电倍增管	156
8.3	光电导效应及光电元件	157
8.3.1	光敏电阻结构及原理	157
8.3.2	光敏电阻的特性	157
8.4	光伏特效应及光电元件	159
8.4.1	光电导结型的光电元件	159
8.4.2	光伏特型光电元件	160
8.5	CCD图像传感器	162
8.6	应用光路	166
8.6.1	反射式	166
8.6.2	透射式	166
8.6.3	线纹瞄准用光电传感器	167
8.6.4	脉冲式光电传感器	167
	思考题与习题	168
<b>第9章</b>	<b>气、湿敏传感器</b>	<b>169</b>
9.1	气敏传感器	169
9.1.1	半导体气敏元件的分类及必备条件	169
9.1.2	表面控制型电阻式半导体气敏元件	170

9.1.3	基于 MEMS 的新型微结构气敏传感器 .....	174
9.1.4	应用举例 .....	177
9.2	湿敏传感器 .....	178
9.2.1	湿度及其表示 .....	179
9.2.2	对湿敏传感器的基本要求 .....	179
9.2.3	电阻式湿敏传感器 .....	180
9.2.4	陶瓷湿敏传感器 .....	181
9.2.5	电容式湿敏传感器 .....	182
9.2.6	电介质式湿敏传感器 .....	183
9.2.7	应用范围及应用实例 .....	183
	思考题与习题 .....	187
<b>第 10 章</b>	<b>智能传感器</b> .....	<b>188</b>
10.1	智能传感器结构框图 .....	189
10.1.1	$\mu$ P 主机模板 .....	189
10.1.2	模拟量输入模板 .....	191
10.1.3	IEEE - 488 标准总线模板 .....	191
10.1.4	接口模板 .....	192
10.2	信号处理与 $\mu$ P 接口技术 .....	192
10.2.1	传感器输出信号的类型 .....	192
10.2.2	传感器输出的模拟信号的处理 .....	193
10.3	智能传感器中的数据处理 .....	200
10.3.1	查表与搜索 .....	201
10.3.2	分段插值法 .....	202
10.3.3	曲线拟合修正法 .....	203
10.3.4	数字滤波 .....	203
10.4	智能传感器的设计 .....	204
10.4.1	智能压力传感器的设计思路 .....	204
10.4.2	简单智能温度传感器设计实例 .....	207
	思考题与习题 .....	214
<b>第 11 章</b>	<b>传感器应用技术</b> .....	<b>215</b>
11.1	信号变换 .....	215
11.1.1	电流-电压( $I-U$ )变换器 .....	215
11.1.2	电压-电流( $U-I$ )变换器 .....	217
11.1.3	交流电压-直流电压( $u-U$ )变换器和交流电流-直流电压( $i-U$ )变换器 .....	219
11.1.4	电阻-电压( $R-U$ 或 $\Omega-U$ )变换器 .....	221
11.1.5	电容-电压( $C-U$ )变换器 .....	222
11.1.6	电压-频率( $U-f$ )变换器(简称 VFC)和频率-电压( $f-U$ )变换器 (简称 FVC) .....	222
11.1.7	电压-脉宽( $U-H$ )变换器 .....	226
11.2	驱动电路分析及外围电路器件选择 .....	228
11.2.1	驱动电路分析 .....	228

11.2.2 外围电路器件选择 .....	235
思考题与习题 .....	236
<b>第 12 章 传感器的选择与使用 .....</b>	<b>237</b>
12.1 传感器的正确选择 .....	237
12.2 传感器的合理使用 .....	238
思考题与习题 .....	246
<b>附录 国际单位制(SI)的主要单位及其换算 .....</b>	<b>247</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>252</b>

# 绪 论

传感器(Sensor 或 Transducer)是一种装置或器件。国家标准 GB7665—87 给传感器的定义是：“能够感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成”。

应当指出，这里所说的“可用输出信号”是指便于加工处理、便于传输利用的信号。现在电信号是最易于处理和便于传输的信号，因此，可以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。目前，光信息技术已经异军突起，可以预料，当人类跨入光子时代，光信息成为便于快速、高效地处理与传输的可用信号时，传感器的概念也许将随之发展成为：能把外界信息转换成光信号输出的器件。

当今的社会，是信息化的社会。信息化的社会离不开科技的发展。高科技的发展伴随着电脑、各类智能仪器、机器人的越来越广泛的应用。然而，智能仪器、电脑、机器人并不能直接感受及识别外界的信息，它们都需要必不可少的感觉器官。而充当它们感觉器官的就是传感器。传感器很像人体的五官，能感受外界的各种“刺激”，并做出及时的反映。因此，传感器又被人们称作“电五官”。实际上，目前一些传感器已经具有超出人类五官所能感知信息的功能。

## 一、传感器的重要性

### 1. 传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节

如果没有传感器对原始的各种参数进行精确可靠的测量，无论是信息转换、信息处理，还是最佳数据的显示与控制，都将成为一句空话。可以毫不夸张地说，如果没有精确可靠的传感器，就没有精确可靠的自动检测和控制系统。近代微电子技术和计算机技术为信息的转换与处理提供了极其完善的手段，现代检测与控制系统正经历着重大的变革。但是，如果没有各种传感器去检测大量原始数据并提供信息，那么，电子计算机也无法充分发挥其应有的作用。

### 2. 传感器是航天、航海事业中不可缺少的器件

随着科学技术的发展，人类在不断探索宇宙空间的奥秘，不断进行海洋资源的开发利用。在现代飞行器上，装备着繁多的显示与控制系统，以确保各种飞行任务的顺利完成。而在这些系统中，传感器首当其冲地对反映飞行器的参数、姿态、工作状态的各个物理量加以检测，并显示在各类显示设备上，以便控制者及时控制和正确操纵。航天飞机的机翼上仅温度传感器就多达几十个。

### 3. 传感器是机器人的重要组成部件

在工业机器人的控制系统中，要完成检测功能、操作与驱动功能、比较与判断功能，

就必须借助于两大类传感器：一类是检测机器人内部各部分状态的传感器，另一类是检测机器人与所操作的对象物体的关系和检测机器人与工作现场之间的状态的传感器。为了使机器人能从事更高级的作业，必须为机器人开发更精良的“电五官”——传感器。

#### 4. 能源开发和能源合理利用离不开传感器

科学的进步，生产的发展，使能源的消耗在不断增加，解决能源危机将成为当务之急。解决能源危机所采取的对策是开发新能源与合理利用能源。太阳能、风能、海洋能等，是取之不尽、用之不竭的能源，要开发它们，就少不了传感器。例如，日本仁尾町建立的一个1000 kW 集光式太阳能发电站，就用了几百个传感器。合理利用能源就是如何节约能源。节能技术是最佳运行、最佳控制技术，当然也是靠传感器来实现的。汽车以汽油为动力，是世界上能源最大消耗者之一。为了节能、防止污染、安全行驶掀起的汽车电子化运动，其实也是靠传感器来实现的。日本一辆高档汽车需要40~60个传感器，美国则更多，多达90多个传感器。

#### 5. 传感器是产品定型、汽车试车、飞机试飞等的必要器件

某些产品的定型、汽车试车、飞机试飞等都需要大量的传感器。例如，飞机试飞就要用到静压传感器、总压传感器、俯仰角传感器、滚转角传感器、偏航角传感器、三向角速度传感器、三向过载传感器、振动加速度传感器、大气总温传感器、环控压力传感器、环控温度传感器、液冷流量传感器、液冷温度传感器、压差传感器、环境温度传感器、表面温度传感器、大气露点温度传感器、操纵力传感器、发动机压力传感器、油门杆角度传感器、滑油温度传感器、发动机振动速度传感器、刹车压力传感器、脚踏力传感器、油耗传感器、线位移传感器等几十种传感器。

#### 6. 传感器在生物医学和医疗器械工程等方面的应用前景广阔

传感器将人体各种生理信息转换成工程上容易测定的量(一般都是将非电量转换成易于测量、处理的电量)，从而正确地显示出人体生理信息。如体温的测量与控制、癌症的诊治与控制都可借助传感器来完成。

#### 7. 传感器已渗透到人们的日常生活之中

家庭电器化将把人们从繁忙的家务劳动中解放出来。诸如电子灶、电冰箱、洗衣机、电视机、电风扇、电熨斗等都是靠敏感器件来实现自动化的，煤气、液化气泄漏报警装置等都离不开传感器。

传感器在整个科学技术及人类生活中的重要性已越来越被更多的人所认识。据瑞士巴塞爾 PROGNOSAG 公司对日本、美国、西欧等国家和地区的传感器发展情况进行调查之后发表的报告表明，目前，非军用传感器的世界市场发展迅速，每年将以9.1%的速度增长，到2002年市场规模已达500亿美元。对某些发达国家的调查说明，今后几年最引人注目的几项技术发展中，传感器技术名列前茅。

我国传感器的发展已有了一个好的势头。目前研制传感器的企业、研究所、大专院校计有近上千家，遍及全国各个省、市、自治区。但系列品种发展不均衡，推广应用的深度和广度还不够。可以相信，在党的领导下，有优越的改革、开放的政治、经济环境，只要我们进一步统筹规划，突出重点，加强基础，扩大应用，我国的传感器技术必将获得迅猛发展，在不久的将来我国会有大量的传感器产品赶上和超过世界先进水平。

## 二、传感器的发展方向

### 1. 新材料将不断被开发

一种新的效应的发现，一种新的材料的开发，将伴随着新的传感器的设计和诞生。今后开发传感器的最有希望的材料是陶瓷材料、有机材料、纳米材料等。近年来，功能型陶瓷材料发展很快，在气敏、热敏、光敏传感器中得到广泛的应用。有机材料是制造力敏、气敏、湿敏、光敏、离子敏等传感器的重要材料；光纤被制成压力、温度等传感器，这类传感器以光信号传输代替电信号传输，具有耐高温、防爆、抗干扰等优点，这是由其它材料制成的传感器所不能比拟的。纳米技术是一门在纳米空间(0.1~100 nm)内研究电子、原子和分子运动规律及特性，通过操作单原子、分子和原子团、分子团，以制造具有特定功能的材料或器件为最终目的的一门技术。纳米材料有两大效应。一是粒子尺寸降到小于电子平均自由程时，能级分裂显著，这就是量子尺寸效应。另一个显著效应是表面效应，颗粒细化到一定的程度(100 nm 以内)后，粒子表面上的原子所占的比例急剧增大，也即表面体积比增大，当这些表面原子数量增加到一定程度后，材料的性能更多地由表面原子，而不是由材料的内部晶格中的原子决定，使之氧化还原能力增强，自身的催化活性更加活泼。大量存在晶粒界面缺陷，对材料性质有决定性作用。而且，粒子进一步细化，而使粒子内部发生位错和滑移，所以纳米材料的性能多由晶粒界面和位错等表面缺陷所控制，从而产生材料表面异常活性。因此，纳米材料是研制某些半导体传感器的良好材料。

另外，引人注目的生物传感器，是由生物材料构成的。今后人们将注重新效应材料的研究和开发，因为它们是制造新型传感器的基础。

### 2. 集成化、多功能

利用先进的 IC 技术和工艺，将敏感元件和放大电路、运算电路、温度补偿电路、线性补偿电路等制作在同一芯片上或制成混合式的传感器、阵列式的传感器。从点到一维、二维、三维空间图像的检出，而且正向着包含时间系列的四维空间发展。同一个传感器具有几种功能，不仅能检测一种信号，而且可以检测两种以上的信号，如压力—温度、温度—气体、温度—湿度等等。

### 3. 智能化

智能化传感器使信息采集与信息的记忆、存储、综合、处理一体化。简言之，是传感器与外围电路、微机一体化。把微处理机技术引入传感器，可以使传感器实现过去实现不了的功能，具有智能本领，这就是新一代的传感器——智能传感器。以 Si 为中心的集成技术正在加速发展，把传感器、微处理机集成在同一芯片上，就可实现单片智能传感器。

### 4. 充分利用微加工技术和新工艺

除利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和新工艺应用到传感器制造上。传感器的基体若采用单晶硅时，利用单晶硅具有各向异性的特性，利用不同的刻蚀液，去刻蚀不同的晶向材料，便形成了各种各样适于敏感元件要求的穴槽。

微机电系统(MEMS, Micro-electro-mechanical Systems)技术的应用为传感器注入了新的活力。在微电子技术基础上发展起来的硅和硅基 MEMS 技术，由于受到强大的集成

电路工业的有力支持以及微电子技术本身的强大生命力,近年来发展十分迅速,它们在 MEMS 压力传感器、加速度计等领域已显示了强大的威力。用它们来制作气敏传感器容易满足人们对气敏传感器集成化、智能化、多功能等的要求。我们知道,许多气敏传感器的敏感性能和工作温度密切相关,因而一般要同时制作加热元件和温度探测元件,以探测和监控温度。利用 MEMS 技术很容易将气敏元件和加热元件、温度探测元件制作在一起,保证了气敏传感器的优良性能。

此外,把静电封接、全固态封接技术应用到传感器中,可以使传感器体积减小,性能增强。

### 5. 不断向高稳定性、高可靠性、高精度发展

传感器处于信息系统的输入端,其性能和质量往往决定着整个信息系统的性能和质量。另外,传感器又工作在自然环境和工业现场,受温度、湿度、腐蚀、振动、电磁场等的影响和干扰,因此要求传感器具有良好的环境适应性。高稳定性、高可靠性是今后传感器发展的核心。

此外,高精度也是传感器发展的重要方面。对于一般常规的检测来说,传感器的精度为 0.1%~1%,但对于那些高精度测量的场合,则需要测量精度达到  $10^{-6}$  以上。若想达到这样高的精度,就必须寻找其固有性质不随各种环境条件变化的物质。利用 MEMS 技术、NEMS 技术及量子效应等制做的传感器能达到高精度的要求。这一方面传感器的开发将随之兴起。

本书较详细地叙述了各类常用传感器的基本原理、特性;分析了传感器测量电路;讨论了传感器的一些典型应用。作者希望读者通过对本书的阅读和有关资料的学习,能受到一些启发,对科学研究中或工程设计中有关传感器技术的问题,提出合理的探讨和解决方案;对各类传感器能够进行合理的选择;对传感器进行正确的使用。

由于传感器属于交叉学科,涉及的知识面较广,其原理主要基于各种物理、化学现象和物理、化学效应,而测量电路、信号处理电路是以模拟电路、数字电路为基础的。智能传感器还需要微机和汇编程序设计的知识。如果要进行一些传感器的设计与制造,还应掌握仪电材料、工艺、误差理论等方面的知识。因此,扎实的理论基础和多学科的综合知识,是学习和研究传感器的保证。



# 第 1 章 传感器的特性

## 1.1 传感器的组成及分类

### 1.1.1 传感器的组成

传感器的作用主要是感受和响应规定的被测量,并按一定规律将其转换成有用输出,特别是完成非电量到电量的转换。传感器的组成,并无严格的规定。一般说来,可以把传感器看作由敏感元件(有时又称为预变换器)和变换元件(有时又称为变换器)两部分组成,见图 1.1。

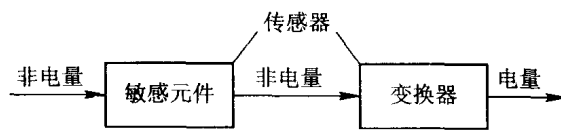


图 1.1 传感器的一般组成

#### 1. 敏感元件

在具体实现非电量到电量间的变换时,并非所有的非电量都能利用现有的技术手段直接变换为电量,而必须进行预变换,即先将待测的非电量变为易于转换成电量的另一种非电量。这种能完成预变换的器件称之为敏感元件。

#### 2. 变换器

能将感受到的非电量变换为电量的器件称为变换器。例如,可以将位移量直接变换为电容、电阻及电感的电容变换器、电阻及电感变换器;能直接把温度变换为电势的热电偶变换器。显然,变换器是传感器不可缺少的重要组成部分。

在实际情况中,由于有一些敏感元件直接就可以输出变换后的电信号,而一些传感器又不包括敏感元件在内,故常常无法将敏感元件与变换器严格加以区别。

如果把传感器看作一个二端口网络,则其输入信号主要是被测的物理量(如长度、力)等时,必然还会有一些难以避免的干扰信号(如温度、电磁信号)等混入。严格地说,传感器的输出信号可能为上述各种输入信号的复杂函数。就传感器设计来说,希望尽可能做到输出信号仅仅是(或分别是)某一被测信号的确定性单值函数,且最好呈线性关系。对使用者来说,则要选择合适的传感器及相应的电路,保证整个测量设备的输出信号能惟一、正确地反映某一被测量的大小,而对其它干扰信号能加以抑制或对不良影响能设法加以