



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子信息与电气学科规划教材

传感器原理与应用

孟立凡 蓝金辉 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>



普通高等教育“十五”国家级规划教材

电子信息与电气学科规划教材

传感器原理与应用

孟立凡 蓝金辉 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统而全面地阐述了各类传感器的原理及应用,全书内容丰富,概念清楚,涉及面广。全书分三部分共18章。第1部分共两章,介绍传感器的一般特性、分析方法;第2部分为第3~15章,论述常见的、应用广泛的传感器以及新型传感器,如电阻应变式、电容式、电感式、压电式、压阻式、光电式、磁敏式、固态图像、射线、微波和光导纤维传感器等,分析了它们的基本原理、静态特性、测量电路和有关设计知识及应用。第3部分为第16~18章,主要介绍测量信号、记录与显示,以及虚拟仪器的开发。

本书可作为检测技术、仪器仪表、自动控制及各机电类专业的本科生和研究生的教材,也可供其他专业学生或有关工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与应用/孟立凡,蓝金辉主编. —北京:电子工业出版社,2007.8
普通高等教育“十一五”国家级规划教材,电子信息与电气学科规划教材
ISBN 978-7-121-04914-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第131488号

策划编辑:杨丽娟

责任编辑:杨丽娟 特约编辑:黄志瑜

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:21.25 字数:544千字

印 次:2007年8月第1次印刷

印 数:4000册 定价:32.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由中北大学和北京科技大学联合编写。

本教材的前身是由兵器工业总公司教育局组织兵工专业教学指导委员会编写的,并于2000年2月由兵器工业出版社出版发行的“九五”规划教材。2005年1月进行了修订。

根据近几年各校教学反馈意见和现代传感器的最新发展,我们在原有的基础上重新编写。在本书中,增加了虚拟仪器、数据显示等章节;其余各章的内容也有所增删,特别是增加了传感器应用实例;结构上也有所调整,以更适合宽口径、重基础的专业教学要求,更能反映传感器原理技术基础和最新成果。

本书首先介绍传感器的一般性原理,然后根据传感器的不同种类分别论述。一般性原理作为贯穿后续各部分的基础内容,叙述力求系统、详备。传感器分论则按照工作原理、特性、设计计算、测量电路及应用介绍的次序编写。工作原理部分叙述清晰、充分。特性部分叙述简单、明了、逻辑性强。测量电路典型、综合性强,启发学生的创造性。设计计算部分给出方法和过程,培养学生独立思考和解决问题的能力。传感器应用介绍注意其选择的多样性,以开阔眼界,为将来的应用做准备。

本书内容丰富、系统性强,具有一定的深度和广度。通过精选内容,以有限的篇幅取得较大的覆盖面。在不削弱传统的较为成熟的传感器基本内容的同时,新型传感器技术的内容占到35%以上,较全面地反映了近年来传感器技术的新成就。

全书分为三部共18章。第1部分共两章介绍传感器的一般特性、分析方法。第2部分为第3~15章,论述常见的、应用广泛的传感器以及新型传感器,如电阻应变式、电容式、电感式、压电式、压阻式、光电式、磁敏式、固态图像、射线、微波、光导纤维传感器等,分析了它们的基本原理、静态特性、测量电路和有关设计知识及应用。第3部分为第16~18章,主要介绍测量信号、记录与显示,以及虚拟仪器开发。

本书第1、2、7、8、11章由中北大学孟立凡编写;第12、15、16、18章由北京科技大学蓝金辉编写;第4、6章由郑宾编写;第3、13章由王凡编写;第14、17章由郝晓剑编写;第5章由刘新妹编写;第9章由杨述平编写;第10章由侯文编写。为了方便教学,本书另配有电子课件,向采纳本书作为教材的教师免费提供。(获取方式:登录电子工业出版社华信教育资源网 www.huaxin.edu.cn 或电话联系 010-88254537 获得。)

本书在编写过程中,参阅了很多文献,在此向这些文献的作者表示谢意。中北大学的韩炎教授对本书的编写工作给予了大力帮助和支持,特向他表示谢意。北京航空航天大学路宏年、太原理工大学熊诗波教授审阅了部分书稿,提出许多建设性意见,特此致谢。

尽管全体编者都尽心尽力,但终因水平有限,书中难免有不足或错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 部分 传感器的一般特性、分析方法

第 1 章 传感器概述	(3)
1.1 传感器的定义及分类	(3)
1.1.1 传感器的定义	(3)
1.1.2 传感器的分类	(3)
1.2 传感器的作用与地位	(4)
1.3 传感器技术的发展动向	(4)
1.3.1 发现新现象	(4)
1.3.2 开发新材料	(5)
1.3.3 采用微细加工技术	(5)
1.3.4 传感器的智能化	(5)
1.3.5 仿生传感器	(5)
第 2 章 传感器的特性及标定	(6)
2.1 传感器的静态特性	(6)
2.1.1 线性度	(6)
2.1.2 灵敏度	(10)
2.1.3 迟滞	(10)
2.1.4 重复性	(10)
2.2 传感器的动态特性	(12)
2.2.1 传感器动态特性的数学模型	(12)
2.2.2 算子符号法与传递函数	(13)
2.2.3 频率响应函数	(13)
2.2.4 动态响应特性	(13)
2.3 传感器的标定	(20)
2.3.1 传感器的静态特性标定	(20)
2.3.2 传感器的动态标定	(22)

第 2 部分 常见传感器与新型传感器

第 3 章 传感器中的弹性敏感元件设计	(31)
3.1 弹性敏感元件的基本特性	(31)
3.1.1 弹性特性	(31)
3.1.2 弹性滞后	(32)
3.1.3 弹性后效	(32)

3.1.4	固有振动频率	(33)
3.2	弹性敏感元件的材料	(33)
3.3	弹性敏感元件的特性参数计算	(34)
3.3.1	弹性圆柱	(34)
3.3.2	悬臂梁	(35)
3.3.3	扭转棒	(37)
3.3.4	平膜片	(38)
3.3.5	波纹管	(39)
3.3.6	薄壁圆筒	(41)
3.3.7	双端固定梁	(42)
3.4	有限单元法简介	(42)
3.4.1	弹性力学	(42)
3.4.2	边界条件	(42)
3.4.3	最小势能原理	(43)
3.4.4	有限单元法	(43)
第4章	电阻应变式传感器	(45)
4.1	电阻应变片的工作原理(应变效应)	(45)
4.2	电阻应变片的结构、类型及参数	(46)
4.2.1	电阻应变片的基本结构	(46)
4.2.2	电阻应变片的种类及特点	(47)
4.2.3	金属应变片的参数	(48)
4.2.4	应变片的粘贴技术	(51)
4.3	应变片的动态响应特性	(51)
4.3.1	应变波的传播过程	(51)
4.3.2	应变片的极限工作频率估算	(52)
4.4	测量电路	(54)
4.4.1	直流电桥	(54)
4.4.2	交流电桥	(57)
4.5	电阻应变式传感器的温度误差及其补偿	(58)
4.5.1	温度误差及其产生原因	(58)
4.5.2	温度补偿方法	(59)
4.6	应变式传感器的结构设计及应用	(60)
4.6.1	应变式压力传感器	(61)
4.6.2	应变式加速度传感器	(64)
第5章	电容式传感器	(66)
5.1	电容式传感器	(66)
5.1.1	基本工作原理	(66)
5.1.2	电容式传感器的线性及灵敏度	(67)
5.2	电容式传感器的等效电路及输出电路	(73)
5.2.1	电容式传感器的等效电路	(73)

5.2.2	电容式传感器的输出电路	(74)
5.3	影响电容传感器精度的因素及提高精度的措施	(79)
5.3.1	边缘效应的影响	(79)
5.3.2	寄生电容的影响	(79)
5.3.3	温度的影响	(80)
5.4	电容式传感器的应用	(80)
5.4.1	电容式压力传感器	(80)
5.4.2	电容式加速度传感器	(80)
5.4.3	电容式荷重传感器	(81)
5.4.4	振动、位移测量仪	(81)
5.4.5	电容测厚传感器	(82)
第6章	电感式传感器	(83)
6.1	电感式传感器工作原理、结构与特性	(83)
6.1.1	电感式传感器的工作原理和等效电路	(83)
6.1.2	电感式传感器的结构类型及特性	(85)
6.1.3	电感式传感器的测量电路	(88)
6.2	差动变压器式电感传感器	(91)
6.2.1	工作原理	(91)
6.2.2	差动变压器式传感器的特性	(91)
6.3	电涡流式传感器	(93)
6.3.1	电涡流式传感器的工作原理及特性	(93)
6.3.2	电涡流式传感器结构形式及特点	(94)
6.3.3	影响电涡流式传感器灵敏度的因素	(96)
6.3.4	测量电路	(97)
6.4	电感式传感器的应用	(98)
6.4.1	电感式传感器的应用	(98)
6.4.2	电涡流式传感器的应用	(98)
第7章	压电式传感器	(100)
7.1	压电式传感器的工作原理	(100)
7.1.1	压电效应	(100)
7.1.2	压电效应的物理解释	(103)
7.2	压电元件常用结构形式	(104)
7.3	压电元件的等效电路及测量电路	(104)
7.3.1	等效电路	(104)
7.3.2	测量电路	(105)
7.4	压电式加速度传感器	(109)
7.4.1	工作原理及特性	(109)
7.4.2	压电式加速度传感器的典型结构	(111)
7.4.3	压电式加速度传感器的应用	(113)
7.5	压电式压力传感器	(114)

7.5.1	压电式压力传感器的工作原理及结构	(114)
7.5.2	压电式压力传感器的结构及应用	(115)
第8章	压阻式传感器	(117)
8.1	压阻式传感器的工作原理	(117)
8.2	晶向的表示方法	(118)
8.3	压阻系数	(119)
8.4	影响压阻系数的因素	(120)
8.5	压阻式传感器的结构与设计	(121)
8.5.1	压阻式压力传感器	(121)
8.5.2	压阻式加速度传感器	(124)
8.6	压阻式传感器的测量电路及补偿	(125)
8.6.1	恒压源供电	(125)
8.6.2	恒流源供电	(126)
8.6.3	减小在扩散工艺中的温度影响	(127)
8.7	压阻式传感器的应用	(128)
第9章	热电阻式传感器	(130)
9.1	热电偶	(130)
9.1.1	热电偶的工作原理	(130)
9.1.2	热电偶基本定律	(131)
9.1.3	常用热电偶	(131)
9.2	热电阻	(133)
9.2.1	铂电阻	(133)
9.2.2	铜电阻	(133)
9.3	热敏电阻	(134)
9.3.1	导电机理	(134)
9.3.2	电阻与温度的关系	(134)
9.3.3	耗散常数	(135)
9.3.4	热敏电阻的电流-电压特性	(135)
9.3.5	热敏电阻的应用	(136)
9.4	热释电型温度传感器	(136)
9.5	半导体集成温度传感器	(138)
第10章	光电式传感器	(139)
10.1	光电式传感器的工作原理及基本组成	(139)
10.2	光电式传感器中的敏感元件	(139)
10.2.1	外光电效应型光电器件	(140)
10.2.2	内光电效应型光电器件	(144)
10.3	光电式传感器的类型及设计	(153)
10.3.1	光电式传感器的类型	(153)
10.3.2	光电式传感器的计算	(154)
10.4	光电式传感器的应用	(156)

第 11 章 固态图像传感器	(159)
11.1 电荷耦合图像传感器	(159)
11.1.1 CCD 的基本工作原理	(159)
11.1.2 线阵与面阵 CCD 图像传感器	(163)
11.1.3 CCD 图像传感器的特性参数	(165)
11.2 其他类型的图像传感器	(169)
11.2.1 电荷注入器件(CID)	(169)
11.2.2 MOS 型固体图像传感器	(170)
11.2.3 电荷引发器件(CPD)	(170)
11.2.4 叠层型固体传感器	(171)
11.3 固态图像传感器的应用	(171)
第 12 章 磁传感器	(174)
12.1 霍尔传感器	(174)
12.1.1 霍尔传感器的原理	(174)
12.1.2 霍尔元件的特性	(176)
12.1.3 测量电路	(178)
12.1.4 集成霍尔传感器	(182)
12.1.5 霍尔式传感器的应用	(184)
12.2 磁敏二极管和磁敏三极管	(186)
12.2.1 磁敏二极管和磁敏三极管的结构原理	(187)
12.2.2 磁敏二极管和磁敏三极管的性能指标	(189)
12.2.3 典型补偿电路	(189)
12.2.4 磁敏二极管和磁敏三极管的应用	(190)
12.3 磁通门磁力计	(192)
12.3.1 磁通门磁力计结构与工作原理	(192)
12.3.2 典型测量电路	(194)
12.3.3 磁通门应用	(195)
12.4 磁敏电阻传感器	(195)
12.4.1 磁阻效应原理	(195)
12.4.2 磁阻元件的主要特性	(199)
12.4.3 典型电路	(200)
12.4.4 应用	(201)
12.5 其他类型的磁传感器	(205)
12.5.1 韦根德磁敏器件	(205)
12.5.2 Z-元件	(207)
第 13 章 射线及微波检测传感器	(211)
13.1 核辐射传感器	(211)
13.1.1 核辐射检测的物理基础	(211)
13.1.2 核辐射传感器	(212)
13.1.3 核辐射检测技术的应用	(213)

13.2	超声检测	(215)
13.2.1	超声检测原理	(215)
13.2.2	压电式超声波换能器	(217)
13.2.3	超声波在检测技术中的应用	(218)
13.3	红外辐射传感器	(221)
13.3.1	红外辐射的基本定律	(221)
13.3.2	红外传感器的分类	(223)
13.3.3	红外辐射检测技术的应用	(223)
13.4	微波传感器	(224)
13.4.1	微波的基础知识	(224)
13.4.2	微波传感器	(225)
13.4.3	微波检测技术的应用	(225)
第14章	光导纤维传感器	(228)
14.1	光纤的特性	(228)
14.1.1	光纤的结构和类型	(228)
14.1.2	光纤传输特性	(232)
14.1.3	光在普通光纤内的传输	(233)
14.2	光纤传感器分类	(234)
14.2.1	强度调制光纤传感器	(234)
14.2.2	相位调制光纤传感器	(236)
14.2.3	偏振态调制光纤传感器	(236)
14.2.4	分布式光纤传感器	(237)
14.3	光纤传感器的应用	(240)
14.3.1	光纤温度传感器	(240)
14.3.2	光纤压力与振动传感器	(243)
14.3.3	光纤分光与光谱传感器	(247)
14.3.4	反射式光纤位移传感器	(248)
14.3.5	光纤图像传感器	(249)
第15章	MEMS 传感器	(252)
15.1	概述	(252)
15.2	MEMS 传感器分类	(253)
15.3	MEMS 加速度计	(253)
15.3.1	压阻式 MEMS 加速度计	(254)
15.3.2	电容式 MEMS 加速度计	(255)
15.3.3	静电力平衡式 MEMS 加速度计	(255)
15.3.4	石英振梁式 MEMS 加速度计	(256)
15.3.5	隧道效应 MEMS 加速度计	(257)
15.4	MEMS 陀螺	(258)
15.4.1	石英音叉 MEMS 振动陀螺仪	(259)
15.4.2	MEMS 硅双框架振动陀螺仪	(260)

15.4.3	MEMS 硅梳状驱动振动陀螺仪	(261)
15.4.4	MEMS 静电陀螺仪	(262)
15.5	MEMS 传感器的信号调理	(262)
15.5.1	MEMS 压阻式传感器的信号调理	(263)
15.5.2	MEMS 电容式传感器的信号调理	(266)
15.5.3	MEMS 谐振式传感器的信号调理	(268)



第 3 部分 测量信号、记录、显示及虚拟仪器开发

第 16 章	测量信号的调理	(273)
16.1	概述	(273)
16.2	调制与解调	(274)
16.2.1	幅值调制	(275)
16.2.2	幅值调制的解调	(276)
16.3	滤波	(277)
16.3.1	滤波器的一般特性	(278)
16.3.2	典型的滤波器电路	(279)
16.4	模/数转换技术	(281)
16.4.1	逐次逼近式模/数转换原理	(282)
16.4.2	增量调整型模/数转换原理	(283)
16.5	电压/电流/频率变换技术	(283)
16.5.1	电压/频率转换技术	(283)
16.5.2	电压/电流转换技术	(284)
16.6	电压和电流放大变换技术	(285)
16.6.1	同相放大器	(285)
16.6.2	反相放大器	(286)
16.6.3	差动放大器	(286)
16.6.4	对数放大器	(287)
16.6.5	反对数放大器	(287)
16.6.6	仪表放大器	(288)
16.7	信号调理中的干扰与补偿	(288)
16.7.1	干扰类型	(288)
16.7.2	接地问题	(291)
16.7.3	隔离放大器	(293)
第 17 章	测量信号的采集与显示	(294)
17.1	数据采集技术	(294)
17.1.1	数据采集系统的主要功能	(294)
17.1.2	数据采集系统的结构及原理	(294)
17.2	数据的显示	(297)
17.2.1	辉光数码管	(298)

17.2.2	荧光数码管	(298)
17.2.3	LED 数码管	(299)
17.2.4	LCD 显示器	(302)
17.2.5	DVM 显示器	(303)
17.2.6	CRT 显示器	(303)
17.2.7	数字存储示波器	(304)
第 18 章	虚拟仪器	(305)
18.1	虚拟仪器技术概述	(305)
18.2	虚拟仪器的发展与应用	(305)
18.3	虚拟仪器的原理及组成	(306)
18.3.1	虚拟仪器的硬件平台	(306)
18.3.2	虚拟仪器的软件平台	(308)
18.4	虚拟仪器的特点	(310)
18.5	虚拟仪器应用实例	(312)
18.5.1	虚拟数字示波器的前面板	(312)
18.5.2	虚拟数字示波器程序实现过程	(313)
18.5.3	电源和程序的停止控制	(313)
18.5.4	颜色的动态控制	(314)
18.5.5	显示功能	(314)
18.5.6	游标功能	(314)
18.5.7	测量功能	(315)
18.5.8	采集功能	(318)
18.5.9	滤波功能	(318)
18.5.10	帮助和打印	(319)
18.5.11	垂直灵敏度和时基	(320)
18.5.12	文件保存和调出	(320)
18.5.13	通道选择	(321)
18.5.14	数学功能	(321)
18.5.15	基波分析功能	(322)
18.5.16	李萨如图功能	(323)
18.5.17	退出程序功能	(323)
18.5.18	前面板的装饰和程序框图的完善	(324)
参考文献	(325)

第1部分

传感器的一般特性、分析方法

-  第1章 传感器概述
-  第2章 传感器的特性及标定

第 1 章 传感器概述

1.1 传感器的定义及分类

1.1.1 传感器的定义

为了研究自然现象和制造劳动工具,人类必须了解外界各类信息。了解外界信息的最初通道是大自然赋予人体的生物体感官,如五官、皮肤等。随着人类实践的发展,仅靠感官获取外界信息是远远不够的,人们必须利用已掌握的知识和技术制造一类器件或装置,以补充或替代人体感官的功能,于是出现了传感器。

能够把特定的被测量信息(如物理量、化学量、生物量等)按一定规律转换成某种可用信号的器件或装置,称为传感器。传感器是生物体感官的工程模拟物;反之,生物体的感官则可以看作是天然的传感器。

所谓“可用信号”,是指便于传输、便于处理的信号。就目前而言,电信号最为满足便于传输、便于处理的要求。因此,也可以把传感器狭义地定义为:能把外界非电量信息转换成电信号输出的器件或装置。目前只要谈到传感器,指的几乎都是以电为输出的传感器。除电信号以外,人们在不断探索和利用新的信号媒介。可以预料,当人类跨入光子时代,光信号能够更为快速、高效传输与处理时,一大批以光信号为输出的器件和装置将加入到传感器的家族里来。

1.1.2 传感器的分类

现已发展起来的传感器用途纷繁,原理各异,形式多样,就其分类方法也有多种,其中有两种分类法最为常用:一是按外界输入信号转换至电信号过程中所利用的效应来分类,如利用物理效应进行转换的为物理传感器;利用化学反应进行转换的为化学传感器;利用生物效应进行转换的为生物传感器等。表 1.1 列出了与五官对应的几种传感器及其效应。二是按输入量分类,如输入信号是用来表征压力大小的,就称为压力传感器。这种分类法可将传感器分为位移(线位移和角位移)、速度、角速度、力、力矩、压力、流速、液面、温度、湿度、光、热、电压、电流、气体成分、浓度和黏度传感器等。用户和生产厂家所关心的各种待测信息的种类,正好与这种分类方法相对应。

表 1.1 与五官对应的几种传感器及其效应

感 觉	传 感 器	效 应
视觉(眼)	光敏传感器	物理效应
听觉(耳)	压力敏、磁敏传感器	物理效应
触觉(皮肤)	压力敏、热敏传感器	物理效应
嗅觉(鼻)	气敏、热敏传感器	化学效应、生物效应
味觉(舌)	味敏传感器	化学效应、生物效应

1.2 传感器的作用与地位

今天,信息技术对社会发展、科学进步起到了决定性的作用。现代信息技术的基础包括信息采集、信息传输与信息处理。信息采集离不开传感器技术。传感器位于信息采集系统之首、检测与控制之前,是感知、获取与检测的最前端。科学研究与自动化生产过程中所要获取的各类信息,都须通过传感器获取并转换成为电信号。没有传感器技术的发展,整个信息技术的发展就成为一句空话。若将计算机比喻为大脑,那么传感器则可比喻为感觉器官。可以设想,没有功能正常而完善的感觉器官来迅速、准确地采集与转换外界信息,纵使有再好的大脑也无法发挥其应有的效能。科学技术越发达,自动化程度越高,工业生产和科学研究对传感器的依赖性越大。20世纪80年代以来,世界各国相继将传感器技术列为重点发展的技术领域。

传感器广泛应用于各个学科领域。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 $5 \times 10^4 \sim 1 \times 10^8$ 度的超高温,低到 10^{-6} K以下的超低温;从25T超强磁场,到 10^{-11} T的超弱磁场……要完成如此极巨和极微信息的测量,单靠人的感官和一般电子设备早已无能为力,必须凭借配备有专门传感器的高精度测试仪器或大型测试系统的帮助。传感器技术的发展,正在把人类感知、认识物质世界的能力推向一个新的高度。

在工业领域与国防领域,高度自动化的装置、系统、工厂和设备是传感器的大集合地。从工业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、无人驾驶汽车、多功能武器指挥系统,直至宇宙飞船或星际、海洋探测器等,无不装置数以千计的传感器,昼夜发送各种各样的工况参数,以达到监控运行的目的,成为运行精度、生产速度、产品质量和设备安全的重要保障。

在生物工程、医疗卫生、环境保护、安全防范、家用电器等与人们生活密切相关的方面,传感器的应用也已层出不穷。可以肯定地说,未来的社会将是充满传感器的世界。

1.3 传感器技术的发展动向

传感器技术所涉及的知识非常广泛,涵盖各个学科领域。但是它们的共性是利用物质的物理、化学和生物等特性,将非电量转换成电量。所以,采用新技术、新工艺、新材料以及探索新理论,以达到高质量的转换效能,是总的发展途径。当前,传感器技术的主要发展动向,一是传感器本身的基础研究;二是和微处理器组合在一起的传感器系统的研究。前者是研究新的传感器材料和工艺,发现新现象;后者是研究如何将检测功能与信号处理技术相结合,向传感器的智能化、集成化发展。

1.3.1 发现新现象

传感器的工作机理是基于各种效应、反应和物理现象的。重新认识如压电效应、热释电现象、磁阻效应等已发现的物理现象以及各种化学反应和生物效应,并充分利用这些现象与效应设计制造各种用途的传感器,是传感器技术领域的重要工作。同时还要开展基础研究,以求发现新的物理现象、化学反应和生物效应。各种新现象、反应和效应的发现可极大地扩大传感器的检测极限和应用领域。例如,利用核磁共振吸收的磁传感器能检测 10^{-7} T的地球磁场强

度,利用约瑟夫逊效应的磁传感器(SQUID)能检测 10^{-11} T 的极弱磁场强度;又如利用约瑟夫逊效应热噪声温度计,能检测 10^{-6} K 的超低温。值得一提的是,检测极微弱信号传感器技术的开发,不仅能促进传感器技术本身的发展,甚至能导致一些新的学科诞生,意义十分重大。

1.3.2 开发新材料

随着物理学和材料科学的发展,人们已经在很大程度上能够根据对材料功能的要求来设计材料的组分,并通过对生产过程的控制,制造出各种所需材料。目前最为成熟、先进的材料技术是以硅加工为主的半导体制造技术。例如,人们利用该项技术设计制造的多功能精密陶瓷气敏传感器有很高的工作温度,弥补了硅(或锗)半导体传感器温度上限低的缺点,可用于汽车发动机空燃比控制系统,大大扩展了传统陶瓷传感器的使用范围。有机材料、光导纤维等材料在传感器上的应用,也已成为传感器材料领域的重大突破,引起国内外学者的极大关注。

1.3.3 采用微细加工技术

将硅集成电路技术加以移植并发展,形成了传感器的微细加工技术。这种技术能将电路尺寸加工到光波长数量级,并能形成低成本超小型传感器的批量生产。

微细加工技术除全面继承氧化、光刻、扩散、淀积等微电子技术外,还发展了平面电子工艺技术、各向异性腐蚀、固相键合工艺和机械切断技术。利用这些技术对硅材料进行三维形状的加工,能制造出各式各样的新型传感器。例如,利用光刻、扩散工艺已制造出压阻式传感器,利用薄膜工艺已制造出快速响应的气敏、湿敏传感器等。日本横河公司综合利用微细加工技术,在硅片上构成孔、沟、棱锥、半球等各种形状的微型机械元件,并制作出了全硅谐振式压力传感器。

1.3.4 传感器的智能化

“电五官”与“电脑”的结合,就是传感器的智能化。智能化传感器不仅具有信号检测、转换功能,而且还具有记忆、存储、解析、统计处理及自诊断、自校准、自适应等功能。

1.3.5 仿生传感器

传感器相当于人的五官,且在许多方面超过人体,但在检测多维复合量方面,传感器的水平则远不如人体。尤其是那些与人体生物酶反应相当的嗅觉、味觉等化学传感器,还远未达到人体感觉器官那样高的选择性。实际上,人体感觉器官由非常复杂的细胞组成并与人脑连接紧密,配合协调。工程传感器要完全替代人的五官,则须具备相应复杂细密的结构和相应高度的智能化,这一点目前看来还是不可能的。但是,研究人体感觉器官,开发能够模仿人体嗅觉、味觉、触觉等感觉的仿生传感器,使其功能尽量向人自身的功能逼近,已成为传感器发展的重要课题。