



国防特色教材·仪器科学与技术

现代传感技术

XIANDAI CHUANGAN JISHU

○ 樊尚春 刘广玉 李 成 编著 ○

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材·仪器科学与技术

现代传感技术

樊尚春 刘广玉 李 成 编著

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社 西北工业大学出版社

内 容 简 介

主要围绕现代传感技术的数字化、微型化、智能化、集成化、网络化等重点讨论 3 部分内容: 先进传感器的基础效应和敏感原理; 基于先进传感基础效应与机理的先进传感器, 如集成式传感器、谐振式传感器、光电传感器、纳米传感器、智能化传感器等; 无线传感器网络以及现代传感技术的典型应用。

本书既重视理论分析, 又结合实际应用, 同时配有适量的思考题与习题, 以便于读者掌握和开展深入学习与研究。

本书可作为仪器科学与技术、控制科学与工程、机械工程等学科研究生的教材, 也可供相关学科的师生和有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代传感技术 / 樊尚春, 刘广玉, 李成编著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011. 1
ISBN 978-7-5124-0283-6

I. ①现… II. ①樊… ②刘… ③李… III. ①传感器—技术—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 242606 号

版权所有, 侵权必究。

现代传感技术

樊尚春 刘广玉 李 成 编著

责任编辑 崔肖娜 王艳花

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话: (010)82317024 传真: (010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话: (010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本: 787×960 1/16 印张: 13.5 字数: 302 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷 印数: 3 000 册

ISBN 978-7-5124-0283-6 定价: 29.00 元

前 言

本书根据“十一五”国防特色学科专业教材建设项目制定的教学大纲编写,主要用做仪器科学与技术、控制科学与工程、机械工程等学科的研究生教材,同时也适用于其他相关学科专业参考。

在当代科学技术领域,信息技术是最活跃、发展最快的技术领域之一。传感技术被公认为是信息技术的源头,是基础。传感技术集新型功能材料、先进加工工艺,并融合应用数学、力学、电子学以及信号处理技术、计算机技术、控制技术和通信技术等多学科专业领域理论与技术于一身,充分展示了向微型化、智能化、集成化、网络化发展的大趋势。

为了充分反映传感技术的发展趋势,特编写《现代传感技术》一书,有重点、有选择地讨论近年来出现的先进传感技术。

本教材充分体现传感器是当代信息技术中重要的技术基础之一的重要指导思想,依托于信息技术快速发展的大背景展开论述。本教材突出传感器中的敏感机理、模型与优化设计等方面的论述,同时突出传感技术近年来的最新成果,侧重于基于新材料、新工艺、新原理的传感器及其在国防工业领域和一般工业自动化领域中的应用。

全书共分8章。第1章绪论主要介绍传感技术的地位、发展趋势和现代传感技术的内涵。第2章集成式传感器主要介绍硅压阻式集成压力传感器、硅压阻式集成加速度传感器、硅电容式集成压力传感器和硅电容式集成加速度传感器。第3章谐振式传感器主要介绍谐振式传感器的基础理论及其典型应用,主要包括:谐振筒压力传感器、谐振式角速率传感器、谐振式直接质量流量传感器、谐振式硅微结构传感器。第4章光电传感器主要介绍光电传感器的基本检测原理、光电传感器的主要性能参数、CCD阵列传感器和红外传感器。第5章纳米传感器主要介绍电子隧道传感器的工作原理、隧道加速度传感器和原子力纳米结构传感器的检测原理和碳纳米管质量传感器。第6章智能化传感器主要介绍智能化传感器的发展背景与功能、智能化传感器的实现以及典型应用。第7章无线传感器网络主要介绍无线传感器和传感器网络、分布式传感器网络技术、多传感器信息融合技术、无线传感器网络的典型应用与发展趋势。第8章现代传感技术的应用主要介

绍传感器技术在油田测试系统、在现代汽车、在电子鼻技术中的应用,以及无线传感器网络在智能家居中的应用、基于蓝牙技术的无线传感器网络、无线传感器网络在环境监测中的应用和工程机械机群状态的智能化监测与故障诊断等。

与已出版的同类书籍相比,本书内容充实、编排新颖,并且增补了传感器的若干最新研究成果。不仅重理论,而且重应用。

本书由北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院测控与信息技术系樊尚春教授(主要完成第1、2、3、6章)、刘广玉教授(主要完成第4、5章)和李成博士(主要完成第7、8章)编著而成。

教材中的一部分内容是几位作者近年来在国家自然科学基金“谐振式直接质量流量传感器结构优化及系统实现(69674029)”、“科氏质量流量计若干干扰因素影响机理与抑制(60274039)”、“谐振式硅微结构压力传感器优化设计与闭环系统实现(50275009)”、“谐振式硅微结构传感器综合测试分析仪器(60927005)”、“底部钻柱随钻信息的声传输机理及检测方法研究(50905095)”等资助下取得的阶段性研究结果,在此向国家自然科学基金委员会表示衷心感谢。

在教材编写过程中,参考并引用了许多专家学者的教材与论著;清华大学丁天怀教授、北京理工大学张建民教授审阅了全稿并提出了许多宝贵的意见与建议,在此一并表示衷心感谢。

现代传感技术领域内容广泛且发展迅速,加之作者学识、水平有限,书中内容难免有疏漏与不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者
2010年6月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 传感技术的地位	1
1.2 传感技术的发展趋势	2
思考题与习题.....	6
第 2 章 集成式传感器	7
2.1 概 述	7
2.2 硅压阻式集成压力传感器	7
2.2.1 圆平膜片几何结构参数的设计	7
2.2.2 圆平膜片上压敏电阻位置的设计.....	10
2.2.3 电桥输出电路.....	13
2.2.4 硅压阻式集成压力传感器温度漂移的补偿.....	14
2.3 硅压阻式集成加速度传感器.....	16
2.3.1 敏感结构与压敏电阻设计.....	16
2.3.2 敏感结构参数设计准则.....	18
2.3.3 动态特性分析.....	18
2.3.4 设计实例.....	19
2.4 硅电容式集成压力传感器.....	21
2.4.1 原理结构.....	21
2.4.2 敏感特性.....	21
2.4.3 开关-电容接口电路	25
2.4.4 电容-频率接口变换电路	31
2.5 硅电容式集成加速度传感器.....	33
2.5.1 零位平衡式电容式加速度传感器.....	33
2.5.2 基于组合梁的电容式加速度传感器.....	33
2.5.3 3 轴加速度传感器	34
思考题与习题	36

第 3 章 谐振式传感器	38
3.1 概 述	38
3.2 谐振式传感器的基础理论	38
3.2.1 基本结构	38
3.2.2 闭环自激系统的实现条件	39
3.2.3 敏感机理实现	40
3.2.4 谐振子的机械品质因数	41
3.2.5 特征和优势	45
3.3 谐振式传感器的典型应用	45
3.3.1 谐振筒压力传感器	45
3.3.2 谐振式角速率传感器	52
3.3.3 谐振式直接质量流量传感器	62
3.3.4 谐振式硅微结构传感器	70
思考题与习题	76
第 4 章 光电传感器	78
4.1 概 述	78
4.2 光电传感器的基本检测原理	80
4.2.1 光的传播	80
4.2.2 PN 结半导体光源	80
4.2.3 光电效应型光探测器	82
4.2.4 光导效应型探测器	85
4.3 光电传感器的主要性能参数	86
4.3.1 灵敏度(响应度,响应率)	86
4.3.2 检测限	87
4.3.3 光谱灵敏度特性	88
4.3.4 时间响应特性	89
4.3.5 内部阻抗	90
4.3.6 信噪比与动态范围	90
4.3.7 暗电流	90
4.3.8 分辨率	90
4.4 CCD 阵列传感器	92
4.4.1 CCD 基本结构与 MOS 电容器	92

4.4.2	CCD 成像传感器举例	98
4.4.3	微光 CCD 成像传感器	102
4.5	红外传感器	103
4.5.1	光导型红外探测器	104
4.5.2	光电型红外探测器	107
4.5.3	红外焦平面阵列探测器	108
	思考题与习题	111
第 5 章	纳米传感器	112
5.1	概 述	112
5.2	电子隧道传感器的工作原理	113
5.3	隧道加速度传感器	115
5.3.1	结构和制造	115
5.3.2	反馈控制电路	117
5.3.3	噪声源分析	118
5.3.4	隧道加速度计的特性测试	119
5.3.5	隧道加速度计的性能验证	122
5.4	原子力纳米结构传感器的检测原理	123
5.4.1	工作原理和结构	124
5.4.2	实验测试	126
5.5	碳纳米管质量传感器	127
5.5.1	碳纳米管的物理性质	127
5.5.2	谐振式碳纳米管质量传感器	128
	思考题与习题	130
第 6 章	智能化传感器	132
6.1	概 述	132
6.2	智能化传感器的实现	133
6.2.1	基本结构组成	133
6.2.2	基本传感器	135
6.2.3	常用的软件技术	136
6.3	智能化传感器的典型应用	137
6.3.1	光电式智能化压力传感器	137
6.3.2	智能化差压传感器	139

6.3.3 智能化流量传感器系统	140
6.4 智能化传感器的发展前景	141
思考题与习题	142
第7章 无线传感器网络	144
7.1 概 述	144
7.2 无线传感器和传感器网络	147
7.2.1 无线传感器网络架构和设计	147
7.2.2 无线传感器网络的体系结构	150
7.2.3 无线集成网络传感器	153
7.2.4 无线传感器网络的安全技术	154
7.3 分布式传感器网络技术	156
7.3.1 分布式传感器网络的特点	156
7.3.2 分布式传感器网络的体系结构	159
7.4 多传感器信息融合技术	161
7.4.1 多传感器信息融合技术的发展	161
7.4.2 多传感器信息融合的结构形式	163
7.4.3 多传感器信息融合的算法	166
7.4.4 多传感器信息融合的新技术	169
7.5 无线传感器网络的典型应用	172
7.5.1 无线传感器网络在单兵生命体征监测中的应用	172
7.5.2 无线传感器网络在健康监护中的应用	173
7.5.3 无线传感监测网络在煤矿安全监测中的应用	175
7.6 无线传感器网络的发展趋势	177
思考题与习题	178
第8章 现代传感技术的应用	179
8.1 概 述	179
8.2 传感技术在油田测试系统中的应用	179
8.2.1 井下压力的测量	179
8.2.2 分布式光纤温度测量	181
8.2.3 光纤多相流流量测量	182
8.3 传感技术在现代汽车中的应用	183
8.3.1 汽车传感器的应用	183

8.3.2 现代汽车传感器的发展前景	185
8.4 传感技术在电子鼻技术中的应用	186
8.4.1 电子鼻技术的研究现状	186
8.4.2 电子鼻技术的应用	187
8.5 无线传感器网络在智能家居中的应用	189
8.5.1 智能家居的研究现状	189
8.5.2 智能家居无线传感器网络的应用	190
8.5.3 智能家居的发展前景	192
8.6 基于蓝牙技术的无线传感网络	192
8.6.1 蓝牙传感器网络	192
8.6.2 蓝牙技术在医疗生理参数监测中的应用	194
8.7 无线传感器网络在环境监测中的应用	195
8.7.1 建筑光环境的无线分布式网络监测	195
8.7.2 流域水环境的无线分布式网络监测	196
8.7.3 森林环境防火的无线网络监控	198
8.8 工程机械机群状态的智能化监测与故障诊断	200
8.8.1 工程机械的监测与故障诊断技术分析	200
8.8.2 无线传感器网络在机群状态监测中的应用	202
思考题与习题	203
参考文献	204

第1章 绪论

1.1 传感技术的地位

现代信息技术的三大技术基础是信息的获取、传输和处理,即传感技术、通信技术和计算机技术,它们分别构成了信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”。传感器是信息获取系统的首要部件,因此,传感技术已不再被视为制造产业的一个附属技术,而被公认为是现代信息技术的源头,是信息社会的重要基础技术。

20世纪70年代以来,由于微电子技术的迅速发展与进步,显著地促进了通信技术与计算机技术的快速发展。与此形成鲜明对比的是,传感技术发展相对缓慢,制约了信息的整体发展,即出现了技术发展的瓶颈。这种发展不协调的状况以及由此带来的负面影响在近几年科学技术的快速发展过程中表现得尤为突出,个别领域甚至出现了由于传感技术发展滞后而反过来影响、制约其他相关方面的发展与进步的情况。因此,许多国家都把传感技术列为优先发展的关键技术之一。例如,美国早在20世纪80年代初就成立了国家技术小组,帮助政府组织和领导各大公司与国家企事业部门的传感技术开发工作,在国家长期安全和经济繁荣至关重要的22项技术中,有6项与传感技术直接相关。美国空军2000年提出的15项有助于提高21世纪美国空军作战能力的关键技术中,传感技术位居第二。代表欧洲国家在高新技术领域整体研究趋向的计划中有29个项目直接与传感技术相关。欧盟已经把传感技术作为带动各领域技术水平提升的关键性技术来看待,而且在传感技术的研究中非常重视传感技术与其他高新技术的交叉研究。日本把开发和利用传感技术列为国家重点发展的6大核心技术之一。日本文部科学省制定的20世纪90年代重点科研项目中有70个重点课题,其中有18项与传感技术密切相关。

我国在20世纪80年代将“敏感元件与传感器”列入国家攻关计划,1987年制定了《传感器技术发展政策》白皮书,1991年《中共中央关于制定国民经济和社会发展十年规划和“八五”计划建议》中明确要求“大力加强传感器的开发和在国民经济中普遍应用”。进入21世纪,国家自然科学基金委员会和科技部都部署了与传感技术相关的研究课题。显著提高了我国在传感技术领域的自主创新能力,促进了传感技术的快速发展。可见,传感技术已成为一项与现代技术密切相关的尖端技术,国内外都给予了高度重视。

1.2 传感技术的发展趋势

传感技术涉及传感器机理研究与分析、设计与研制、性能评估与应用等,是一门多学科交叉的现代科学技术。大规模集成电路、微纳加工、网络等技术的发展,为传感技术的发展奠定了基础。微电子、光电子、生物化学、信息处理等各学科、各种新技术的互相渗透和综合利用,为研制出一批新颖、先进的传感器提供了技术支撑。传感器领域的主要技术将在现有基础上予以延伸和提高,并加速新一代传感器的开发和产业化。随着生产自动化程度的不断提高,人们生活水平的不断改善,对传感器的需求也不断增加。技术推动和需求牵引共同决定了现代传感技术的发展趋势。

1. 开发新型传感器

传感器的工作机理基于各种物理(化学或生物)效应和定律,启发人们进一步探索具有新效应的敏感功能材料,并以此研制具有新原理的新型传感器。这是发展高性能、多功能、低成本和小型化传感器的重要途径。

生物传感器是新型传感器中的一类,该类传感器在食品工业、环境监测、发酵工业、医学等方面得到高度重视和广泛应用。生物传感器可以检测食品成分、食品添加剂、有害毒物及食品鲜度等。在环境污染物的连续、快速、在线监测方面,需要测量形成酸雨酸雾的二氧化硫,利用传统检测方法很复杂,而由亚细胞类脂类固定在醋酸纤维膜上,和氧电极制成安培型生物传感器,可以实现对酸雨酸雾样品溶液进行检测。在各种生物传感器中,微生物传感器具有成本低、制作设备简单、不受发酵液混浊程度的限制、能消除发酵过程中干扰物质的干扰等优点。因此,在发酵工业中广泛采用微生物传感器作为一种有效的检测工具。例如,利用电化学微生物的细胞数传感器可以实现菌体浓度连续、在线测定。生物传感器技术也为基础医学研究及临床诊断提供了一种快速简便的新型方法,利用具有不同生物特性的微生物代替酶,可制成微生物传感器,用于临床医学。酶电极是最早研制并且应用最多的一种传感器,因为其选择性好、灵敏度高、响应快等特点,也用于军事医学方面。通过及时快速检测细菌、病毒及其毒素等,实现生物武器的有效防御。目前,生物传感器价格较高,性能也比较低。但随着技术的发展,低成本、高灵敏度、高稳定性和高寿命的生物传感器技术将会加速生物传感器市场化、商品化的进程。

利用量子力学中的有关效应,为设计、研制先进的新型传感器提供了理论基础。利用量子效应研制具有敏感某种被测量的量子敏感器件,像共振隧道二极管、量子阱激光器和量子干涉部件等,具有高速(比电子敏感器件速度提高 1 000 倍)、低耗(比电子敏感器件能耗降低 1 000 倍)、高效、高集成度、经济可靠等优点。我们相信,纳米电子学的发展,将会在传感技术领域中引起一次新的技术革命,从而把传感技术推向更高的发展阶段。

2. 向高精度发展

随着自动化生产程度的不断提高,对传感器的要求也在不断提高,必须研制出具有精确度高、灵敏度高、响应速度快、互换性好的传感器以确保自动化系统的可靠性。目前能生产精度优于万分之一的传感器厂家为数不多,其产量也远远不能满足需求。

例如,一种高性能小型石英绝对压力传感器,具有 ± 10 Pa高精度与0.1 Pa高分辨力,其体积为12.5 ml、质量为15 g。该压力传感器的敏感单元为音叉型晶体单元,可以得到稳定度很高的细致频率,从而实现具有高精度及高分辨力的石英晶体压力传感器。

一种精度达百万分之一级的非接触式SAW扭矩传感器,尺寸为 $4\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ 。该传感器不仅十分精确,而且转轴与外壳间无直接接触。为测量转轴的扭矩,两个SAW传感器与轴呈 45° 角固定,连接成“半桥”结构;当轴受到扭矩时,一个受压一个受拉,综合两个传感器的频率可产生“差分”和“叠加”信号以得出扭矩和温度信号。

利用全功能性的碳纳米管装置,成功建造一个可以给金原子称重的纳机电系统。使用此装置测得的金原子质量为 3.25×10^{-25} kg。这种新式纳机电系统质量传感器由单个碳纳米管组成,其一端可自由活动,另一端则连接在一个电极上,与距离相对的电极相当近。来自电池或太阳能电池上的直流电源与这对电极相连,导致它以某种谐振频率振动。当一个原子或分子被存放在此碳纳米管上时,碳纳米管的谐振频率就会因原子或分子的质量而改变,从而测得原子或分子的质量。

一种能够检测出 5.5×10^{-15} g物质的硅微机械传感器,其敏感单元是只有 $2\text{ }\mu\text{m}$ 长、50 nm厚的硅悬臂梁。通过在悬臂梁上涂上对蛋白质、细胞或痕量化学物质,研究人员认为这类传感器在理论上可以像气相色谱仪一样识别多种物质。

3. 向微型化发展

自动化设备的功能越来越强大,要求传感器本身的体积也是越小越好,这就要求发展新的材料及加工技术。目前,利用硅材料、石英晶体材料和陶瓷材料,使用光刻、腐蚀、淀积、键合和封装等工艺以及各种微细加工技术制成的微结构传感器,其体积非常小,动态特性好,互换性与可靠性都较好。

微结构传感器的敏感元件尺寸一般为 μm 级,可以是可活动的膜片、悬臂梁、桥以及凹槽、孔隙、锥体等。这些微结构与特殊用途的薄膜和高性能的集成电路相结合,已成功地用于制造各种微传感器以及多功能的敏感元阵列(如光电探测器等),实现了诸如压力、力、加速度、角速率、应力、应变、温度、流量、成像、磁场、湿度、pH值、气体成分、离子和分子浓度以及生物传感器等。

例如,一种可安装在蜻蜓等昆虫的翅膀上分析翅膀动作的微型风速传感器,在 $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 的芯片上设置了2个传感器,每个传感器的尺寸约为 $1.5\text{ mm} \times 3\text{ mm}$,厚度约为1 mm。

传感器采用在带电极的 SOI 底板上形成长约 0.5 mm、厚 1 μm 以下的悬臂梁压电的结构。悬臂梁部分的质量仅为 0.1 μg ，能够实现 $-2\sim 2$ m/s 风速的测量。这种传感器具有较好的抗干扰性，同时，传感器的最低阶固有频率在 10 Hz 以上，能够满足几 Hz 的翅膀振动测量。

一种微型超敏感触觉传感器，在约 0.1 mm^3 的合成树脂中埋入了直径 1~101 μm 、长 300~5 001 μm ，像弹簧一样的螺旋状微细碳线圈元件。碳线圈接触物体之后，能感受微小压力和温度的变化；同时还可以感知“拧”、“摩擦”等动作，在医疗器械领域应用前景很广泛。

因发现巨磁电阻(Giant Magnetic Resistance, GMR)效应获得 2007 年诺贝尔物理学奖的法国科学家阿尔贝·费尔和德国科学家彼得·格林贝格尔，不仅对“数据”存储具有重要意义，使得“数据硬盘体积不断变小，容量不断变大”成为现实；借助巨磁电阻效应，更为微小型传感器的研制提供了一种重要的技术支持。所谓巨磁电阻效应是一种磁致电阻效应，主要是指在纳米尺度的磁性多层薄膜材料中，当磁场作用于磁性多层薄膜中自旋导电电子时，导致薄膜电阻发生很大的变化，这种变化可以通过测量电阻或以电压方式反映出来。其测量原理与磁阻传感器一样，都是组成惠斯通电桥结构。利用巨磁电阻效应的传感器具有许多优点，如灵敏度高、响应快、无磁滞、热稳定性好等，最重要的是由于 GMR 磁电阻变化率高(相对于磁电阻效应大一个数量级以上)，使它更适合检测微弱磁场以及改变微弱磁场的被测量。

4. 向低功耗及无源化发展

传感器多为非电量向电量的转化，工作时离不开电源，在野外现场或远离电网的地方，往往需要电池供电或使用太阳能等供电。研制低功耗的传感器及无源传感器是必然的发展方向，这样既可以节省能源又可以提高系统寿命。

例如，一种新型流量传感器，能把所通过的流体(液体或气体)的能量自行转换成电力，实现自行“发电”，这大大方便了系统的设计和维护。解决了以往传感器费用高和维护保养难的问题。

一种无需电池即可驱动的无线传感器终端，配有可将振动转换为能量的微型发电机和电双层电容器；可将安装地点的振动作为能量使用，发电剩余的电力可储存在电双层电容器中。该终端具有广阔的应用前景。

5. 向多传感器融合与智能化发展

随着现代化的发展，传感器的功能形成突破。由于单传感器不可避免地存在不确定或偶然不确定性，缺乏全面性、鲁棒性，所以偶然的故障就会导致系统失效。多传感器集成与融合技术正是解决这些问题的好办法。多个传感器不仅可以描述同一环境特征的多个冗余信息，而且可以描述不同的环境特征。它的特点是冗余性、互补性、及时性和低成本性。

多传感器的集成与融合技术已经成为智能机器与系统领域的一个重要研究方向，它涉及信息科学的多个领域，是新一代智能信息技术的核心基础之一。从 20 世纪 80 年代初以军事

领域的研究为开端,多传感器的集成与融合技术迅速扩展到军事和非军事的各个应用领域,如自动目标识别、自主车辆导航、遥感、生产过程监控、机器人、医疗应用等。

所谓智能化传感器就是将传感器获取信息的基本功能与专用的微处理器的信息分析、处理功能紧密结合在一起,并且具有诊断、数字双向通信等新功能的传感器。由于微处理器具有强大的计算和逻辑判断功能,故可方便地对数据进行滤波、变换、校正补偿、存储记忆、输出标准化等;同时实现必要的自诊断、自检测、自校验以及通信与控制等功能。技术发展表明,数字信号处理器 DSP(Digital Signal Processor)将推动众多新型下一代产品的发展,其中包括带有模拟-AI(人工智能)能力的智能传感器。

智能化传感器将由多个模块组成,包括微传感器、微处理器、微执行器和接口电路,它们构成一个闭环微系统,有数字接口与更高一级的计算机控制相连,通过利用专家系统中得到的算法对微传感器提供更好的校正与补偿。这样智能化传感器功能会更多,精度和可靠性会更高,优点会更突出,应用会更广泛。

例如,一种具有自动监视并对树叶状物体燃烧发出警告的微小电子传感器网络,被称为“智能尘埃”的试验性机器。这种设备不仅微小,而且能够测量温度、湿度、光等信息。该智能设备来自于嵌入式微处理器、软件代码和无线通信系统设备。智能尘埃传感器将通过飞机或以其他的喷洒方法越过整个森林进行喷洒。一旦喷洒到树上,尘埃的每个小点将会对附近尘埃进行定位并建立无线连接。当尘埃传感器检测到可能的异常时,它将碰触附近尘埃大小一样的装置来决定其获取的信息,并且能从多重来源获取多重信息,然后传感器就能确定在被洒树上是否有危险。一旦被确定有危险,触发的传感器组将通过其无线连接发送消息给林地工人,对传感器的网络进行监视。

6. 向高可靠性发展

传感器的可靠性直接影响到自动化系统的工作性能,研制高可靠性、宽温度范围的传感器是永恒的主题。提高温度使用范围历来是传感器的工作重点,大部分传感器其工作温度都在 $-20\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,军用系统中要求基本工作温度在 $-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。一些特殊场合要求传感器的温度更高,因此,发展新兴材料(如陶瓷)的传感器尤为重要。

Honeywell公司推出的LG1237是一种智能型绝对压力传感器,该产品可在压力范围 $0.5\sim 1\ 000\text{ psia}$ 内进行精确、稳定的测量,其使用寿命为25年或100 000小时。该产品在 $-55\sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间使用时准确率优于 $\pm 0.03\% \text{ FS}$,同时具有承受高量级加速度、振动的特点,适用于喷气飞机引擎、飞行测试、气象中的压力校准。

7. 向传感器网络技术发展

无线传感器网络是由大量无处不在的、有无线通信与计算能力的微小传感器节点构成的自组织分布式网络系统,能根据环境自主完成指定任务的“智能”系统。它是涉及微传感器与

微机械、通信、自动控制、人工智能等多学科的综合技术,大量传感器通过网络构成分布式、智能化信息处理系统,以协同的方式工作,能够从多种视角、以多种感知模式对事件、现象和环境进行观察和分析,获得丰富的、高分辨率的信息,极大地增强了传感器的探测能力,是近几年来新的发展方向。其应用已由军事领域扩展到反恐、防爆、环境监测、医疗保健、家居、商业、工业等众多领域,有着广泛的应用前景。

随着通信技术、嵌入式计算技术和传感技术的飞速发展和日益成熟,无线传感器网络更是得到快速发展,引起人们的极大关注。例如,传感器网络可以向正在准备进行登陆作战的部队指挥官报告敌方岸滩的翔实特征信息,如丛林地带的地面坚硬度、干湿湿度等,为制定作战方案提供可靠的信息。传感器网络可以使人们在任何时间、地点和任何环境条件下获取大量翔实而可靠的信息。因此,这种网络系统可以被广泛地应用于国防军事、国家安全、环境监测、交通管理、医疗卫生、制造业、反恐抗灾等领域。

思考题与习题

1. 在现代信息技术中,传感器起着怎样的作用?
2. 简要说明传感技术的发展趋势。
3. 查阅相关文献,简述量子力学对现代传感技术发展的推动作用。
4. 查阅相关文献,说明巨磁电阻效应在新型传感器中的应用。
5. 查阅相关文献,简述生物传感器技术的发展趋势。

第 2 章 集成式传感器

2.1 概 述

通常,传感器的敏感结构与调理电路是相互独立的,但随着硅传感器的出现,使得传感器可以有机地将上述两部分集成在同一个芯片上,构成集成式传感器,实现传感器系统的 SOC (System On Chip)。

目前,集成式传感器主要有硅压阻式和硅电容式两种形式。由于二者的敏感机理不同,硅电容式传感器的许多性能指标优于硅压阻式传感器。当敏感结构参数与测量范围选择合适时,相同条件下,硅电容式传感器的灵敏度高于硅压阻式传感器。而且硅电容式传感器的敏感机理很好地避开了硅压阻式传感器的温度效应,故硅电容式传感器的输出比硅压阻式传感器的输出在随温度变化方面要小很多。基于此,硅电容式传感器输出的重复性和长期稳定性也明显优于硅压阻式传感器。尽管硅电容式传感器的输出特性为非线性,但非常容易采用微处理器以软件方式进行补偿。虽然过去非常希望传感器的输出为线性特性,但现在利用微处理器的信号处理功能,对传感器敏感元件的线性特性要求就不必要了;而对敏感元件的重复性和稳定性的要求日益突出,只要敏感元件具有好的重复性和稳定性,就可以实现高性能的传感器。

2.2 硅压阻式集成压力传感器

图 2-1 为一种常用的硅压阻式集成压力传感器结构示意图。敏感元件圆平膜片采用单晶硅来制作。基于单晶硅材料的压阻效应,利用微电子加工中的扩散工艺在硅膜片上制造所期望的压敏电阻。

2.2.1 圆平膜片几何结构参数的设计

对于硅压阻式集成压力传感器,在传感器敏感结构的参数设计上,应重点考虑两方面因素:一方面是圆平膜片的半径 R 和厚度 H ;另一方面是圆平膜片的边界隔离部分,即参数 H_1 和 H_2 。

考虑传感器感受最大被测压力差 p_{\max} 时的情况,有以下结论:

- ① 在圆平膜片的中心($r=0$),其法向位移最大,为