



牛德芳 主编

半导体 传感器原理及其应用

大连理工大学出版社

半导体传感器原理及其应用

牛德芳 主编

牛德芳 蒋国平 阎卫平 马灵芝 胡静山
李桂芳 唐祯安 周丽芳 高鑫 编 著

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

内容简介

本书是以半导体传感器为主的一本教材,全书共十五章,其中第一章到第三章是介绍传感器基础理论;第四章到第十三章全面系统的介绍光、温度、磁敏、力学量、流量、气敏、湿敏、离子、生物、光纤传感器的原理、结构、特性;第十四、十五两章介绍传感器的共性技术及其应用实例。

本书内容较全面,取材新颖,是检测技术及仪器、微电子专业的教材,可供电子、工业自动化、自动控制、物理、机械类研究生、大学本科高年级学生作教学参考书;同时对从事传感器研究、生产、应用的科技工作者和工程技术人员有较大的参考价值。

半导体传感器原理及其应用

Bandaoti Chuaganqi Yuanlijiyong

牛德芳 主编

大连理工大学出版社出版发行 (邮政编码:116024)
大连海运学院印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:20 % 字数:440 千字
1993年2月第1版 1993年2月第1次印刷
印数:1—3000册

责任编辑:王启太 封面设计:姜严军
责任校对:吴宪殿

ISBN 7-5611-0713-7/TN·10 定价:5.60 元

前 言

近年来,作者为大连理工大学电子工程系有关专业的研究生,无线电技术、自动控制、工业自动化专业的高年级学生开设了半导体传感器原理及其应用课程。同时编写了传感器原理及其应用讲义,本书是在此基础上编写而成。我们编写本书的目的,是为了把传感器的基础知识和技术,明确化、系统化和实用化。把传感器技术作为一门新的学科进行较为系统的讲述,并使其成为理想的教学用书。

书中相当多的内容是作者多年来从事半导体传感器科研实践的结晶,希望本书能成为从事传感器技术科研、科技开发、生产人员的良师益友。

本书主要讲述新型半导体传感器,但对那些用量大面广的热电耦、应变片、压电式传感器和新型的光纤传感器也做了详细的阐述。为了加速传感器的发展,书中也较为系统地介绍了传感器应用中的供电、放大、信号变换、补偿、线性化、数字化等知识,并列举各种传感器实际应用的典型电路,供读者参考,以便达到举一反三的目的。

由于传感器具有技术密集性,知识分散性的特点,所以特邀请多位作者参加编写工作,又考虑到选用对象的不同,各章的独立性较强,基本是一章介绍一种传感器。各章节之间力争做到连贯,呼应全书,具有较强的系统性。

全书共分十五章,第一章绪论、第三章传感器的特性、第七章力学量传感器、第八章流体量传感器由牛德芳编写;第二章半导体传感器的物理基础、第九章气敏传感器由蒋国平编写;第四章光传感器由阎卫平编写;第五章温度传感器由马灵芝编写;第六章磁敏传感器由胡静山编写;第十章湿度传感器由李桂芳编写;第十一章离子传感器、第十三章光纤传感器由唐祯安编写;第十二章生物传感器由周丽芳编写;第十四章传感器应用中的共性技术、第十五章传感器的应用由高鑫编写。附录由牛德芳提供。此书由牛德芳任主编。

由于书中内容涉及到半导体物理、力学、化学、生物、电子线路、机械等学科知识,加之编著者水平有限难免有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

作 者
于 1991 年 12 月

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 传感器及传感技术	1
1.2 传感器的作用	1
1.3 传感器的发展方向	2
1.4 传感器的分类	3
第二章 半导体传感器的物理基础	6
2.1 晶体结构	6
2.1.1 晶体内部结构的周期性	6
2.1.2 几种常用的晶体结构	6
2.1.3 晶列与晶面的取向	8
2.2 能带结构	9
2.2.1 半导体中电子状态和能带的形成	9
2.2.2 几种常用半导体材料的能带结构	10
2.3 杂质效应	14
2.3.1 载流子浓度	14
2.3.2 掺杂效应	16
2.4 载流子的迁移率与电导率	18
2.4.1 载流子的迁移率	18
2.4.2 电导率	21
2.5 P-n 结	22
2.5.1 平衡态的 P-n 结	22
2.5.2 P-n 结的电流-电压特性	23
第三章 传感器的特性	28
3.1 传感器的静态特性	28
3.1.1 传感器的输入输出特性	28
3.1.2 线性度	28
3.1.3 灵敏度	30
3.1.4 迟滞	31
3.1.5 重复性	31
3.1.6 稳定性	31
3.2 传感器的动态特性	32
3.2.1 传感器的数学模型	32
3.2.2 传递函数	33

3.2.3	频率响应	33
3.2.4	时间响应	34
3.2.5	实际传感器的动态特性	35
3.3	传感器的可靠性及噪声	38
3.3.1	传感器的可靠性	38
3.3.2	传感器的内噪声	38
3.3.3	传感器的外部噪声	39
第四章	光传感器	42
4.1	光电效应及光传感器的分类	42
4.1.1	光电效应	42
4.1.2	光传感器的分类	42
4.2	光电导效应型传感器	43
4.2.1	光电导器件工作原理及结构	43
4.2.2	光电导元件的特性	45
4.2.3	光电导式小型摄像管	50
4.3	光电效应型光传感器	51
4.3.1	硅光电二极管	51
4.3.2	Pin型硅光电二极管	54
4.3.3	雪崩式光电二极管	55
4.3.4	硅光电晶体三极管	57
4.3.5	半导体彩色传感器	58
4.3.6	光电闸流晶体管	59
4.4	光电子发射效应型传感器	60
4.4.1	光电子发射效应	60
4.4.2	光电管	61
4.4.3	光电倍增管	62
4.5	热释电效应型传感器	63
4.5.1	热释电效应	63
4.5.2	热释电探测器的结构和特点	64
4.6	电荷耦合成像器件(CCD)	65
4.6.1	CCD的MOS结构及工作原理	65
4.6.2	电极结构及工作原理	67
4.6.3	CCD摄像器件	69
4.7	光电耦合器件	71
4.7.1	光隔离器	71
4.7.2	光传感器	73
4.7.3	光电耦合器的特性和主要参数	74
第五章	温度传感器	78
5.1	热电效应及温度传感器的分类	78

5.1.1	半导体的热敏效应	78
5.1.2	温差电动势效应	78
5.1.3	温度传感器的分类	79
5.2	电阻式温度传感器	79
5.2.1	半导体陶瓷热敏电阻	79
5.2.2	金属电阻温度传感器	83
5.3	半导体温敏二极管	84
5.3.1	温敏二极管的工作原理	84
5.3.2	温敏二极管的基本特性	84
5.3.3	温敏二极管的测试	88
5.4	温敏晶体管	89
5.4.1	温敏晶体管原理	89
5.4.2	温敏晶体管的线性化	90
5.5	集成温度传感器	92
5.5.1	电流型集成温度传感器	92
5.5.2	电压型集成温度传感器	93
5.6	温敏闸流晶体管	94
5.6.1	温敏闸流晶体管的工作原理	94
5.6.2	温敏闸流晶体管的基本特性	97
5.7	电势式温度传感器	98
5.7.1	热电偶的测温原理	98
5.7.2	热电偶的主要特性参数	98
5.8	其它温度传感器	99
5.8.1	热辐射温度传感器	99
5.8.2	热敏电容	100
5.8.3	石英温度计	100
5.8.4	表面波温度传感器	101
5.8.5	超声波温度传感器	101
5.8.6	利用化学物质的色调变化的温度传感器	101
第六章	磁敏传感器	103
6.1	电流磁效应及磁敏传感器分类	103
6.1.1	霍尔效应	103
6.1.2	磁阻效应	103
6.1.3	形状效应	103
6.1.4	磁敏传感器的分类	105
6.2	霍尔元件	105
6.2.1	霍尔元件工作原理	105
6.2.2	霍尔元件的结构	106
6.3	霍尔元件的参数及其测试方法	107

6.3.1	普通参数及其测试方法	107
6.3.2	专用参数及其测试方法	109
6.4	霍尔元件的补偿技术	110
6.4.1	霍尔元件的温度补偿	110
6.4.2	霍尔元件不等位电势的补偿	111
6.5	磁阻元件	112
6.5.1	长方形磁阻元件	112
6.5.2	科尔宾元件	113
6.5.3	平面电极元件	114
6.5.4	InSb-NiSb 共晶磁阻元件	114
6.5.5	曲折形磁阻元件	114
6.5.6	温度补偿	114
6.6	磁敏二极管	115
6.6.1	磁敏二极管的结构	115
6.6.2	磁敏二极管的工作原理	115
6.6.3	磁敏二极管的特性	116
6.6.4	磁敏二极管的补偿技术	118
6.7	磁敏三极管	119
6.7.1	磁敏三极管的结构	119
6.7.2	磁敏三极管的工作原理	119
6.7.3	磁敏三极管的特性	120
6.7.4	磁敏三极管的温度补偿技术	121
6.8	集成霍尔传感器	121
6.8.1	开关型集成霍尔传感器	122
6.8.2	线性霍尔传感器	122
第七章	力学量传感器	124
7.1	压阻效应和压电效应	124
7.1.1	压阻效应	124
7.1.2	压电效应	124
7.1.3	力学量传感器的分类	125
7.2	电阻应变计	125
7.2.1	电阻应变计的分类	125
7.2.2	金属电阻应变计的结构及工作原理	126
7.2.3	半导体应变片	128
7.3	加速度传感器	130
7.3.1	压阻式加速度传感器	130
7.3.2	微型加速度传感器	132
7.3.3	三维加速度传感器	133
7.3.4	压电晶体加速度传感器	134

7.4 荷重传感器	138
7.4.1 应变式荷重传感器	138
7.4.2 压电式力传感器	141
7.5 扭矩传感器	142
7.5.1 扭矩传感器的工作原理	142
7.5.2 扭矩传感器的典型结构	143
7.6 位移传感器	144
7.6.1 光栅传感器	144
7.6.2 磁敏式位移传感器	145
7.6.3 应变式位移传感器	145
第八章 流体量传感器	147
8.1 流体量传感器的分类	147
8.2 压阻式压力传感器	147
8.2.1 压力膜片的应力分析	147
8.2.2 膜上扩散电阻的位置分布	149
8.2.3 膜的形状及应力特性的比较	151
8.2.4 压力传感器工作原理及其结构	152
8.2.5 压力传感器的温漂及其补偿技术	154
8.3 集成压力传感器	159
8.3.1 带温度补偿的集成压力传感器	159
8.3.2 带放大器的单块集成压力传感器	160
8.3.3 混合集成压力传感器	161
8.4 差压传感器	162
8.4.1 EI膜和E形膜的应力分析	162
8.4.2 E形、EI形膜的非线性分析	163
8.4.3 E形膜EI膜扩散电阻的分布	164
8.4.4 差压传感器结构	164
8.5 电容式压力传感器	165
8.5.1 垂链式弹性膜及压力敏感电容	165
8.5.2 电容式集成压力传感器	166
8.5.3 频率输出型电容式集成压力传感器	166
8.6 流量传感器	167
8.6.1 差压流量传感器	167
8.6.2 边界层热线流量传感器	168
8.6.3 Si热线式流量传感器	168
8.7 压力传感器的标定	170
8.7.1 量程范围及压力灵敏度的测量方法	170
8.7.2 温度漂移系数及环境温度的测量方法	171
8.7.3 长时间漂移	172

8.7.4 传感器综合精度	172
第九章 气敏传感器	175
9.1 气敏传感器的分类	175
9.1.1 各种气敏传感器的分类	175
9.1.2 半导体气敏传感器的分类	175
9.2 表面电阻控制型气敏传感器	176
9.2.1 烧结型 SnO_2 气敏传感器.....	176
9.2.2 表面电阻控制型气敏传感器工作原理	177
9.2.3 薄厚膜表面控制型气敏传感器	178
9.2.4 SnO_2 气敏传感器基本特性与参数	179
9.2.5 ZnO 气敏传感器	181
9.3 体电阻控制型气敏传感器	182
9.3.1 体电阻控制型气敏传感器工作原理	182
9.3.2 体电阻控制型传感器特性	182
9.4 集成薄厚膜及复合型气敏传感器	186
9.4.1 多层薄膜气敏传感器	186
9.4.2 混合厚膜型气敏传感器	186
9.4.3 复合氧化物气敏传感器	187
9.5 固体电解质气敏传感器	188
9.5.1 ZrO_2 氧传感器	188
9.5.2 硫酸盐气敏传感器	189
9.6 二极管式气敏传感器	189
9.7 Pd-MOSFET 氢敏传感器	190
9.7.1 结构	190
9.7.2 工作原理	190
9.7.3 特性	190
9.7.4 器件特性测试	191
9.8 气敏传感器的标定	192
9.8.1 基本参数	192
9.8.2 气敏传感器测试的基本电路	193
9.8.3 测试条件及装置	193
第十章 湿度传感器	196
10.1 湿度及湿度传感器的分类.....	196
10.1.1 湿度的定义.....	196
10.1.2 湿度传感器的分类.....	196
10.2 陶瓷湿度传感器.....	197
10.2.1 陶瓷湿度传感器的感湿机理.....	197
10.2.2 MgCr_2O_4 系湿度传感器	198
10.2.3 $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ 系湿度传感器	200

10.2.4	湿度传感器的温度补偿及线性化	201
10.3	膜状湿度传感器	203
10.3.1	结构	203
10.3.2	等效电路	203
10.3.3	特性及主要技术指标	203
10.4	氧化铝湿度传感器	204
10.4.1	涂膜状 Al_2O_3 湿度传感器	204
10.4.2	多孔 Al_2O_3 湿度传感器	205
10.4.3	硅 MOS 型 Al_2O_3 湿度传感器	206
10.5	元素半导体湿度传感器	207
10.5.1	Ge 薄膜湿度传感器	207
10.5.2	Se 薄膜湿度传感器	207
10.5.3	Si 烧结型湿度传感器	207
10.6	化学感湿膜湿度传感器	208
10.6.1	LiCl 电解质湿度传感器	208
10.6.2	炭膜湿度传感器	208
10.6.3	高分子电解质薄膜湿度传感器	209
10.7	湿度传感器的特性参数及标定	210
10.7.1	湿度传感器的特性参数	210
10.7.2	湿度传感器的标定	212
第十一章	离子传感器	214
11.1	离子传感器及其分类	214
11.2	离子选择电极 (ISE)	214
11.2.1	离子选择电极的结构	214
11.2.2	工作原理	215
11.2.3	常用的离子选择电极	215
11.3	金属-氧化物-半导体场效应晶体管 (MOSFET)	217
11.3.1	MOS 结构的性质	217
11.3.2	MOSFET 的工作原理	218
11.4	离子选择场效应晶体管 (ISFET)	221
11.4.1	ISFET 的结构与性能	222
11.4.2	ISFET 的特性参数	225
11.4.3	ISFET 的性能参数	227
11.4.4	ISFET 的等效电路	230
11.4.5	温度对 ISFET 的影响	231
11.4.6	固态参比电极	232
第十二章	生物传感器	233
12.1	生物传感器及其分类	233
12.1.1	生物传感器的研究对象	233

12.1.2	生物传感器的分类	233
12.1.3	生物传感器的结构及敏感物质固定方法	233
12.2	酶传感器	235
12.2.1	酶传感器信号变换方式	235
12.2.2	固定化酶传感器的结构	236
12.3	葡萄糖传感器	237
12.3.1	葡萄糖传感器工作原理	237
12.3.2	葡萄糖传感器结构	237
12.4	微生物传感器	238
12.4.1	微生物传感器的分类	238
12.4.2	微生物传感器结构	238
12.4.3	微生物固定方式及工作原理	239
12.4.4	微生物传感器的特点	239
12.5	免疫传感器	240
12.5.1	抗原与抗体	240
12.5.2	免疫传感器工作原理	240
12.5.3	梅毒抗体传感器	240
12.6	半导体生物传感器	241
12.6.1	酶 FET	241
12.6.2	青霉素 FET	241
12.6.3	尿素酶 FET	242
12.6.4	免疫 FET	244
第十三章	光纤传感器	246
13.1	光纤传感器及其分类	246
13.2	纤维光学基础理论	247
13.2.1	光学纤维	247
13.2.2	光线理论	249
13.2.3	模式理论	251
13.3	光纤传感器的光源和光电探测器	251
13.3.1	光源	252
13.3.2	光耦合	252
13.3.3	光电探测器	253
13.4	常用的光纤传感器	255
13.4.1	光纤压力传感器	256
13.4.2	光纤温度传感器	257
13.4.3	光纤电流传感器	260
13.4.4	光纤血流传感器	262
13.5	光纤传感器阵列	264
第十四章	传感器应用中的共性技术	266

14.1	传感器的合理应用	266
14.1.1	系统的条件	266
14.1.2	传感器的参数	266
14.1.3	信号处理电路与结构设计	266
14.2	传输信号的标准	266
14.2.1	标准信号	266
14.2.2	变送器电源与信号的传输线	269
14.3	直流电源稳定技术	270
14.3.1	概述	270
14.3.2	稳定电源调节原理	271
14.3.3	提高电源性能指标的措施	273
14.3.4	基准电压源	273
14.3.5	稳压电源电路	275
14.3.6	恒流源	278
14.4	电压放大器	281
14.4.1	基本反相放大器	281
14.4.2	基本同相放大器	282
14.4.3	基本差动放大器	282
14.4.4	仪用放大器	283
14.4.5	隔离放大器	284
14.5	信号变换器	286
14.5.1	电压-电流变换器	286
14.5.2	电流-电压变换器	287
14.5.3	电压-频率变换器	288
14.5.4	电压-脉宽变换器	290
第十五章	传感器的应用	294
15.1	压力传感器的应用	294
15.1.1	简易压力计电路	294
15.1.2	用一只四运放构成的压力变换电路	295
15.1.3	一种两线制压力传感器变换电路	296
15.2	温度传感器的应用	297
15.2.1	用集成温度传感器 LM35 制作的数字温度计	297
15.2.2	使用集成温度传感器组成的温度控制系统	298
15.3	光学传感器应用	299
15.3.1	玻璃瓶计数器	299
15.3.2	反射光强测量电路	299
15.4	磁敏传感器的应用	301
15.4.1	磁场测量	301
15.4.2	电流测量	301

15.4.3	无触点开关	301
15.4.4	位移传感器	301
15.4.5	转速传感器	301
15.4.6	位置传感器	302
15.4.7	速度传感器	302
15.4.8	性能优异的汽车霍尔点火器	302
15.5	气敏传感器的应用	304
15.5.1	煤气和液化石油气报警器	304
15.5.2	废气浓度检测电路	304
15.6	湿度传感器的应用	305
15.6.1	湿度传感器的湿度检测电路	305
15.6.2	低湿度检测电路	307
15.7	离子敏器件的应用	309
15.7.1	场效应离子敏基本测量电路	309
15.7.2	$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{PH}$ 计电路	309
	参考文献	311
	附录1 方向余弦及纵向、横向压阻系数的计算方法	314
	附录2 应力引起电阻值的相对变化量与压阻系数、应力的关系	315

第一章 绪 论

1.1 传感器及传感技术

传感器是将某种信号,按一定规律转换成相应的另一种有用信号的器件或装置。传感技术是获取信息的工具。传感技术是一项迅速发展的高技术,是构成现代信息技术的主要技术之一,信息的采集是传感器技术,信息的处理是计算机技术,信息的传输是通信技术。传感与控制技术、通信技术、计算机技术是信息技术的三大支柱。

传感器技术与计算机技术相比是毫不逊色的一项新技术,是未来信息社会的基础技术。信息革命是以计算机为前导的。计算机被称为电脑,传感器则被誉为电五官,实际上传感器已经超出人类五官所能感知的信息的功能。如磁敏能感知磁场的强弱、离子敏能检测出各种离子的含量等等,而人类五官是无法感觉到的。

80年代出现了世界性的“传感器热”。这种热潮在某种程度上是对“重计算机、轻传感器”思潮的一次示威。美国学术界称传感器技术为“80年代技术”;日本产业界把传感器列入影响未来发展的六项核心技术之一;西欧各国也都把传感器技术列为发展的重点技术。所以世界传感器技术取得长足的发展,品种已达两万多种。应用范围已遍及国民经济各个部门。

1.2 传感器的作用

传感器技术在80年代得到了世界各国的重视,是和传感器的重要作用分不开的。国防现代化、工业生产过程自动化、家庭电器化都与传感器的发展休戚相关。今天的传感器技术已渗透到国民经济的各个领域。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,宇宙飞船无法飞向天空,月球探索也将是泡影,就拿制导系统的核心陀螺来说,机械式陀螺已无法满足当今飞速发展的宇航事业的需要,各国科学家都在探索表面波旋转速率传感器,一个宇宙飞船可看成是一个高性能传感器的集合体。

2. 国防现代化

利用传感器和计算机发展新的一代战略武器—智能化电子武器。加快武器装备的反应速度,提高命中率都和新型传感器的发现与发展分不开的。传感器是决定军用武器的性能和实战能力的重要因素。

3. 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者之一,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。

4. 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量,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、加速度传感器、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。传感器是机电一体化的结合部。

5. 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。

6. 家庭电器化是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。

从以上各方面的事实反映出传感器的开发应用是有着深远的意义。

1.3 传感器的发展方向

1. 新材料的开发

今后开发传感器的功能最有希望的材料是陶瓷材料、有机材料。近年来功能陶瓷材料发展的很快,在气敏、热敏、光敏传感器中得到广泛的应用;有机材料也是制造力敏、气敏、湿敏、光敏、离子敏传感器的重要材料。光导纤维被制成压力、温度等传感器,以光信号传输代替电信号,具有耐高温、防爆抗干扰远传、等长足优点,这是由其它材料制成的传感器不能比拟的。另外引人注目的生物传感器,是由生物体材料构成的。今后应注重新效应材料的研究和开发工作,因为它们是制造新型传感器的基础。

2. 集成化、多功能化

将敏感元件和放大电路、运算电路、温度、线性补偿电路等利用 IC 技术制做在同一芯片上或制成混合式的传感器。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。同一个传感器不只能检测一种信号,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。

3. 智能化

智能化传感器使信息采集、信息的记忆、存储、综合、处理一体化。也可以说传感器与微型

计算机一体化。以 Si 为中心的集成技术正在加速发展,传感器、计算机集成在同一芯片上,实现单片智能传感器。见图 1-1。

4. 加工技术微精细化

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,利用不同刻蚀液,去刻蚀不同晶向材料,便形成各种各样适于敏感元件要求的穴槽,图 1-2 所示为硅片上的不同的 SiO₂ 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。

此外还有静电封接、全固态封接技术应用到传感器中,减小体积、提高传感器性能。

5. 指标高精度化

对于一般常用的检测来说,如果传感器的精度为 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,就必需寻找其固有性质不随各种环境条件而变化的物质,量子效应能达到这一要求。

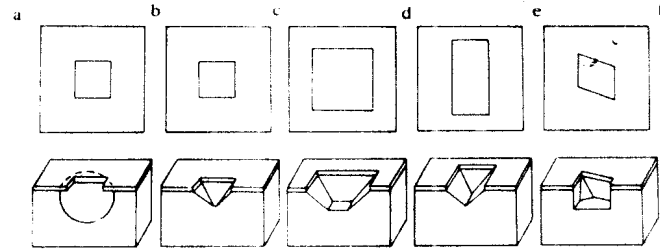


图 1-2 Si 蚀刻法各种形状的微细加工

电子作杂乱而无规则的运动,但是超导中,电子则作规则运动。当将一个非常薄的绝缘膜夹在两超导体之间,根据隧道效应,超导电流将通过绝缘薄膜,这种现象就是约瑟夫逊效应。用约瑟夫逊效应可制成超精密的传感器(SQUID),不仅能测量磁而且对温度、电压、重力进行超精密测量,磁传感器可以进行 Φ_0 的 1/10000 的测量。

另外利用核四极共振现象,当某种原子核(通常为 KClO₃ 的 ³⁵Cl)遇到电磁波时,由于电四极矩引起核共振(NQR)现象,根据这种现象会吸收某种特定的频率,这种 NQR 频率与温度有关,而由于它与其它物理量无关,所以测量精度分辨率可达 0.001K。

6. 性能要高稳定和可靠

因为传感器处于信息系统的输入端,其性能和质量决定着整个信息系统的性能和质量。另外传感器又是工作在自然环境和工业现场,受温度、湿度、腐蚀、振动、电磁场等恶劣条件的影响和干扰,所以要求传感器要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生命线。对于指标低稳定可靠,成本低的传感器也应大力发展。

另外数字化,非接触式传感器也是传感器发展值得关注的方向。

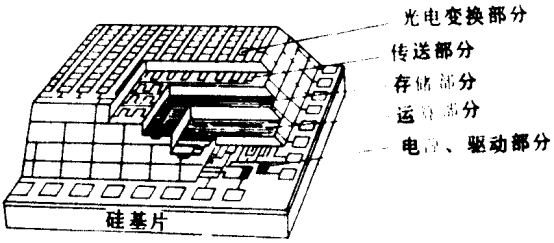


图 1-1 未来的单片智能传感器

1.4 传感器的分类

由于传感器本身种类繁多,原理各异,分类十分困难,基本按以下三种方法来分类: