

实用电子技术丛书

# 传感器 应用及其电路精选 (上册)

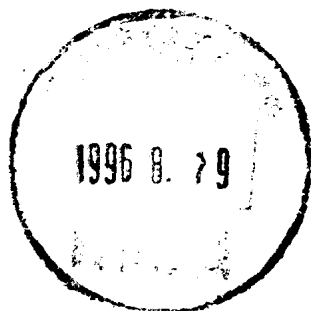
张福学 编著

電子工業出版社

实用电子技术丛书

# 传感器应用及其电路精选 (上册)

张福学 编著



电子工业出版社

9610157

(京)新登字 055 号

## 内 容 提 要

本书介绍了各类传感器的原理、性能、结构,精选了各类传感器的应用及其实用电路约 500 例,分上下册出版。书中详述了传感器的信号处理,以及传感器在汽车、家用电器、航空航天、环境保护、生物医学、节能系统、安全防灾、气象预报等领域的应用。下册书末附有全书各章所述传感器的国内外主要厂商名录,以便读者查阅。

本书是一部资料翔实、信息量大的实用性图书,可供从事传感器敏感元器件的应用、生产和研究的科技人员,以及有关专业的院校师生参考。

2033/20

## 实用电子技术丛书 传感器应用及其电路精选 (上册)

张福学 编著

责任编辑:竞 力

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 18.25 插页: 6 字数: 479 千字

1991 年 4 月第 1 版 1995 年 5 月第 4 次印刷

印数: 30301—35300 册 定价: 18.00 元

ISBN 7-5053-1683-6/TN·474

1995 年 5 月第 4 次印刷

## 作者简介



张福学 (1939—) 云南宣威人。1961 年云南大学物理系毕业。历任电子工业部四川压电与声光技术研究所副所长、高级工程师。北京信息工程学院传感器电子学研究所所长、教授。四川省委和省政府科技顾问, 北京市人民政府专业技术顾问。中国惯性技术学会第一、二届理事, 中国电子质量管理学会第四届理事, 中国电子学会和国际电气电子工程师学会 (IEEE) 高级会员。南京航空学院兼职教授, 北京中汇传感技术应用研究所和北京平谷金海高科技应用研究所名誉所长。全国总工会第九届候补执行委员和第十届执行委员。长期从事科学技术工作, 以他为首研制成功的压电晶体速率陀螺、压电射流速率传感器、气体摆式倾角传感器、气体线加速度传感器等惯性器件, 在航空、航天、舰船、兵器 and 机器人等技术领域广泛应用。对生物压电性进行了深入研究, 提出“人体由电偶极子组成, 在电场作用下电偶极子转向电场方向并沿电场方向移动, ……”的学术观点。根据这一观点发明的电场治疗仪能缩短骨折愈合期的  $1/3 \sim 1/2$ , 治疗陈旧性骨折、骨不连、软组织损伤、颈椎病、肩周炎、关节炎疗效显著, 被誉为“张氏治疗仪”, 产品出口到德国、瑞典、印度、意大利、加拿大、新加坡、美国、香港、台湾等国家和地区。先后获国家发明奖和科技进步奖五项, 部委级科技进步奖二十项, 中、英、美发明专利十项。在国内外 34 种刊物上发表文章 224 篇。主要著作十五本, 约 1200 万字, 其中《压电学》(上下册) 评选为全国优秀图书。1978 年全国科学大会授予“全国科技先进工作者”称号, 1979 年国务院授予“全国劳动模范”称号, 1984 年国家人事部授予国家级“中青年有突出贡献专家”称号, 1991 年获国务院的政府特殊津贴证书。先后被编入《中国科技人物辞典》、《中国工程师名人大全》、《中国人名词典》和《世界名人录》。

## 主 要 著 作

- 《压电晶体陀螺》
- 《压电晶体力和加速度传感器》
- 《压电学》(上下册)
- 《压电铁电应用》
- 《实用传感器手册》
- 《传感器电子学及其应用》
- 《传感器敏感元器件大全》
- 《传感器电子学》
- 《可靠性工学》
- 《传感器应用及其电路精选》(上下册)
- 《传感器实用电路》
- 《英日汉传感技术辞典》
- 《传感器敏感元器件实用指南》

# 前 言

传感器应用是推动传感器发展的动力,为此,国内外各企事业单位的科技人员在研究传感器应用方面付出了辛勤的劳动。日本先后出版了《传感器与信号处理》、《传感器及其附属电路》,并在《センサ技術》上刊载了实用传感器电路。国内编译出版了《传感器应用 100 例》和《传感器应用 300 例》等。为了较全面系统地介绍传感器应用及其实用电路,受电子工业出版社的委托,我们编著了此书。书中第二、五章包括了作者及其合作者的新近研究成果,各章中的实用传感器电路根据日本的《センサ回路実例集》编译。书末附有每章所述传感器的国内外主要厂商名录,以便用户选用所需传感器。

利用一种物理效应或化学反应可设计制作出不同功能的传感器,而功能大同小异的同一类传感器可用于不同技术领域,故传感器有不同的分类法。本书从实用角度考虑,有的章按传感器工作原理分类,而更多的章按传感器功能应用领域分类。

本书各章中的大部分实用传感器电路是根据刘一声和李耀宗两位高级工程师提供的译文编写,国内外主要传感器厂商由李兴腾高级工程师提供。主要参与撰写和审校书稿的同志有:陈占先、罗亚华、阙文修、孙进喜、李代勇、陈建强、屈涛、肖航、管卫群、李擎、朱蔚彤、范茂彦、王丽坤、胡信裕、文葛平等。在此,向诸位表示衷心的感谢!

作者水平有限,书中谬误难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

1991 年 7 月 26 日于

北京信息工程学院

# 目 录

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>第一章 传感器的发展动向与对策</b> .....       | 1  |
| § 1.1 传感器的重要性.....                 | 1  |
| § 1.2 传感器的技术动向.....                | 1  |
| § 1.3 传感器的市场动向.....                | 4  |
| § 1.4 传感器的国外发展情况和对策.....           | 5  |
| <b>第二章 新型惯性角参数传感器及其实用电路</b> .....  | 8  |
| § 2.1 压电射流速率传感器.....               | 8  |
| § 2.2 三维压电射流姿态传感器.....             | 17 |
| § 2.3 压电射流姿态传感器在智能机器人惯导系统中的应用..... | 19 |
| § 2.4 振动式微机械速率陀螺.....              | 20 |
| § 2.5 光纤陀螺.....                    | 22 |
| § 2.6 气体速率传感器应用电路.....             | 26 |
| § 2.7 检测位移角的积分电路.....              | 30 |
| § 2.8 压电射流速率传感器的实用电路.....          | 33 |
| <b>第三章 角度和角位移传感器及其应用</b> .....     | 39 |
| § 3.1 电阻式角度和角位移传感器.....            | 39 |
| § 3.2 电感式角度和角位移传感器.....            | 47 |
| § 3.3 电容式角度和角位移传感器.....            | 49 |
| § 3.4 感应同步器式角度和角位移传感器.....         | 50 |
| § 3.5 发电机式转角计.....                 | 52 |
| § 3.6 应用霍尔元件的旋转传感器.....            | 53 |
| § 3.7 光栅式角度和角位移传感器.....            | 54 |
| § 3.8 编码盘式角位移传感器.....              | 55 |
| § 3.9 激光式角度传感器.....                | 58 |
| § 3.10 磁阻元件的位移传感器电路.....           | 59 |
| § 3.11 磁方位传感器电路.....               | 63 |
| <b>第四章 转速传感器及其实用电路</b> .....       | 68 |
| § 4.1 磁电式转速传感器.....                | 68 |

|            |                        |            |
|------------|------------------------|------------|
| § 4.2      | 电涡流式转速传感器              | 69         |
| § 4.3      | 磁性转速表                  | 70         |
| § 4.4      | 测速发电机                  | 70         |
| § 4.5      | 电容式转速传感器               | 71         |
| § 4.6      | 光电转速传感器                | 71         |
| § 4.7      | 示速器圆盘                  | 72         |
| § 4.8      | 离心式转速表                 | 73         |
| § 4.9      | 霍尔转速传感器                | 74         |
| § 4.10     | 直流伺服系统中旋转编码器应用电路       | 74         |
| § 4.11     | 反射型光传感器旋转电路            | 78         |
| § 4.12     | 集成光学断续器的传感器电路          | 81         |
| § 4.13     | 三相相转动方向检测电路            | 84         |
| § 4.14     | 光学编码器电路                | 86         |
| § 4.15     | 旋转编码器检测转动方向的电路         | 87         |
| § 4.16     | 编码器电路                  | 89         |
| § 4.17     | 光学轴编码器电路               | 91         |
| <b>第五章</b> | <b>惯性加速度与倾角传感器及其应用</b> | <b>95</b>  |
| § 5.1      | 微型硅加速度传感器              | 95         |
| § 5.2      | 压电加速度传感器               | 97         |
| § 5.3      | 石英挠性伺服加速度传感器           | 98         |
| § 5.4      | 哥氏惯性速度和加速度传感器          | 100        |
| § 5.5      | 参量式倾斜传感器               | 101        |
| § 5.6      | 振弦式倾斜传感器               | 104        |
| § 5.7      | 力平衡式倾斜传感器              | 105        |
| § 5.8      | 气体摆式倾角传感器              | 107        |
| § 5.9      | 气体线加速度传感器              | 108        |
| § 5.10     | 线性加速度电路                | 115        |
| § 5.11     | 伺服加速度计应用电路             | 117        |
| <b>第六章</b> | <b>振动加速度传感器及其实用电路</b>  | <b>122</b> |
| § 6.1      | 压电振动加速度传感器             | 122        |



|            |                    |            |
|------------|--------------------|------------|
| § 6.2      | 压阻式振动加速度传感器        | 124        |
| § 6.3      | 磁致伸缩式振动加速度传感器      | 125        |
| § 6.4      | 光纤振动传感器            | 126        |
| § 6.5      | 光纤加速度传感器           | 127        |
| § 6.6      | PVDF 心音脉搏传感器       | 132        |
| § 6.7      | 压电加速度传感器电路         | 135        |
| § 6.8      | 加速度计电路             | 137        |
| § 6.9      | 振动传感器电路            | 140        |
| § 6.10     | 检测微振动的压电加速度传感器电路   | 143        |
| § 6.11     | 砂流检测电路             | 147        |
| § 6.12     | 振动试验设备的电路          | 149        |
| <b>第七章</b> | <b>线速度传感器及其应用</b>  | <b>152</b> |
| § 7.1      | 电磁速度传感器            | 152        |
| § 7.2      | 电容式速度传感器           | 155        |
| § 7.3      | 多普勒效应测速            | 156        |
| § 7.4      | 相关测速               | 160        |
| § 7.5      | 空间滤波器测速            | 162        |
| § 7.6      | 差动变压器测速            | 164        |
| <b>第八章</b> | <b>线性位移传感器及其应用</b> | <b>167</b> |
| § 8.1      | 电阻式线性位移传感器         | 167        |
| § 8.2      | 电感式线性位移传感器         | 168        |
| § 8.3      | 电容式线性位移传感器         | 172        |
| § 8.4      | 振弦式线性位移传感器         | 173        |
| § 8.5      | 编码式线性位移传感器         | 174        |
| § 8.6      | 感应同步器式线性位移传感器      | 177        |
| § 8.7      | 光栅式线性位移传感器         | 178        |
| § 8.8      | 磁栅式线性位移传感器         | 179        |
| § 8.9      | 光电式线性位移传感器         | 180        |
| § 8.10     | 霍尔效应式线性位移传感器       | 182        |
| § 8.11     | 磁敏电阻式线性位移传感器       | 182        |
| § 8.12     | 喷射式线性位移传感器         | 183        |
| § 8.13     | 激光式线性位移传感器         | 184        |

|             |                           |            |
|-------------|---------------------------|------------|
| § 8.14      | 复合式位移传感器 .....            | 185        |
| § 8.15      | 光纤位移传感器 .....             | 185        |
| § 8.16      | 电位计型位移传感器电路 .....         | 188        |
| § 8.17      | CCD 和激光位移计电路 .....        | 189        |
| <b>第九章</b>  | <b>长度和厚度传感器及其应用 .....</b> | <b>194</b> |
| § 9.1       | 电阻应变计式长度和厚度传感器 .....      | 194        |
| § 9.2       | 电涡流式厚度传感器 .....           | 194        |
| § 9.3       | 电容式厚度传感器 .....            | 195        |
| § 9.4       | 微波式厚度传感器 .....            | 196        |
| § 9.5       | 激光式厚度传感器 .....            | 198        |
| § 9.6       | 超声厚度传感器 .....             | 200        |
| § 9.7       | 激光量子干涉式长度传感器 .....        | 201        |
| § 9.8       | 激光全息显微式长度传感器 .....        | 202        |
| § 9.9       | 涡电流法的膜厚检测电路 .....         | 204        |
| <b>第十章</b>  | <b>物位传感器及其应用 .....</b>    | <b>208</b> |
| § 10.1      | 放射性同位素物位传感器 .....         | 208        |
| § 10.2      | 超声物位传感器 .....             | 209        |
| § 10.3      | 超声界面传感器 .....             | 210        |
| § 10.4      | 微波物位传感器 .....             | 211        |
| § 10.5      | 流量式液位传感器 .....            | 212        |
| § 10.6      | 玻璃管式液位计 .....             | 213        |
| § 10.7      | 浮子式液位传感器 .....            | 213        |
| § 10.8      | 光纤液面传感器 .....             | 214        |
| § 10.9      | 超声波水平仪接收电路 .....          | 218        |
| § 10.10     | 浸没式液面仪电路 .....            | 220        |
| § 10.11     | 超声波水平仪的构成及其电路 .....       | 223        |
| <b>第十一章</b> | <b>距离和接近传感器及其应用 .....</b> | <b>227</b> |
| § 11.1      | 激光调制法测距 .....             | 227        |
| § 11.2      | 激光雷达测距 .....              | 228        |
| § 11.3      | 接近传感器 .....               | 229        |
| § 11.4      | 测距装置的信号处理电路 .....         | 230        |

|             |                                |            |
|-------------|--------------------------------|------------|
| § 11.5      | 红外传感器电路 .....                  | 233        |
| § 11.6      | 接近传感器信号处理电路 .....              | 235        |
| <b>第十二章</b> | <b>表面缺陷、孔径和形状传感器及其电路 .....</b> | <b>238</b> |
| § 12.1      | 光电式表面传感器 .....                 | 238        |
| § 12.2      | 空气动力式孔径传感器 .....               | 244        |
| § 12.3      | 电容式孔径传感器 .....                 | 245        |
| § 12.4      | 光纤图像传感器 .....                  | 246        |
| § 12.5      | 检测孔中心位置的运算电路 .....             | 247        |
| § 12.6      | 微小斑点光位置检测电路 .....              | 249        |
| § 12.7      | 图像传感器的丝线缺陷检测电路 .....           | 253        |
| § 12.8      | 光纤传感器检测形状的电路 .....             | 258        |
| § 12.9      | 通用自动送料装置中检测零件的电路 .....         | 261        |
| § 12.10     | 超声波探伤和传感器电路 .....              | 264        |
| § 12.11     | 工业电视摄像机数字电路 .....              | 267        |
| § 12.12     | 接触传感器的尺寸检测 .....               | 269        |
| § 12.13     | 空间滤光器和边缘传感器电路 .....            | 271        |
| § 12.14     | 超声波传感器电路 .....                 | 274        |
| <b>第十三章</b> | <b>力敏传感器及其实用电路 .....</b>       | <b>278</b> |
| § 13.1      | 压力传感器 .....                    | 278        |
| § 13.2      | 转矩传感器 .....                    | 293        |
| § 13.3      | 应变片 .....                      | 295        |
| § 13.4      | 机器人触觉传感器 .....                 | 298        |
| § 13.5      | 光纤压力和振动传感器 .....               | 299        |
| § 13.6      | 光纤压力传感器 .....                  | 300        |
| § 13.7      | 金属电阻应变片电路 .....                | 302        |
| § 13.8      | 简易流体压强计电路 .....                | 308        |
| § 13.9      | 压力变换器信号的双线传输电路 .....           | 310        |
| § 13.10     | 半导体压力传感器电路 .....               | 313        |
| § 13.11     | 感压导电橡胶的开关电路 .....              | 316        |
| § 13.12     | 应变片式压力变换器的传感器电路 .....          | 319        |
| § 13.13     | 应变片的压力检测电路 .....               | 322        |

• ▼ •

|             |                          |            |
|-------------|--------------------------|------------|
| § 13.14     | 振动式压力传感器的振荡电路·····       | 324        |
| § 13.15     | 6 轴力传感器的电路·····          | 327        |
| § 13.16     | 电子差压传送器电路·····           | 331        |
| § 13.17     | 扩散型半导体压力变换器的传感器电路·····   | 333        |
| § 13.18     | 图像传感器的张力检测电路·····        | 335        |
| <b>第十四章</b> | <b>声敏传感器及其实用电路·····</b>  | <b>339</b> |
| § 14.1      | 声敏传感器的分类·····            | 339        |
| § 14.2      | 碳粒送话器·····               | 340        |
| § 14.3      | 压电声敏传感器·····             | 340        |
| § 14.4      | 静电扬声器·····               | 341        |
| § 14.5      | 光纤声敏传感器·····             | 342        |
| § 14.6      | 前置放大器电路·····             | 345        |
| § 14.7      | 录音电平显示电路·····            | 350        |
| § 14.8      | 声发射传感器电路·····            | 353        |
| <b>第十五章</b> | <b>光敏传感器及其实用电路·····</b>  | <b>357</b> |
| § 15.1      | 内光电效应型光敏传感器·····         | 357        |
| § 15.2      | 外光电效应型光敏传感器·····         | 364        |
| § 15.3      | 热电型光敏传感器·····            | 365        |
| § 15.4      | 二维光敏传感器·····             | 366        |
| § 15.5      | 光纤形变传感器·····             | 374        |
| § 15.6      | 光纤分光传感器·····             | 377        |
| § 15.7      | 光纤折射率传感器·····            | 380        |
| § 15.8      | MOS 图像传感器电路·····         | 382        |
| § 15.9      | 照度计电路·····               | 385        |
| § 15.10     | 采用硅光电二极管的测光电路·····       | 389        |
| § 15.11     | 反射光强度的检测电路·····          | 393        |
| § 15.12     | 发光二极管工作电路·····           | 397        |
| § 15.13     | 热电探测器电路·····             | 401        |
| § 15.14     | CCD 图像传感器电路·····         | 403        |
| § 15.15     | 输出变换器内装型红外检测电路·····      | 407        |
| § 15.16     | 傅里叶变换型红外分光光度计中的检测电路····· | 411        |

|             |                     |            |
|-------------|---------------------|------------|
| § 15.17     | 紫外探测器电路             | 416        |
| § 15.18     | 荧光玻璃剂量计的荧光检测系统电路    | 418        |
| <b>第十六章</b> | <b>色敏传感器及其实用电路</b>  | <b>423</b> |
| § 16.1      | 半导体彩色传感器及其信号处理      | 423        |
| § 16.2      | 半导体彩色识别传感器电路        | 427        |
| § 16.3      | 非晶态彩色传感器及其电路        | 430        |
| § 16.4      | 彩色传感器电路             | 433        |
| <b>第十七章</b> | <b>遥感技术与实用光传播电路</b> | <b>440</b> |
| § 17.1      | 遥感类型与电子型遥感系统        | 440        |
| § 17.2      | 应用领域                | 442        |
| § 17.3      | 各种遥感器               | 443        |
| § 17.4      | 图像处理系统              | 447        |
| § 17.5      | 利用数据的技术             | 448        |
| § 17.6      | 遥控电路                | 451        |
| § 17.7      | 光纤和无线两用红外线遥控电路      | 451        |
| § 17.8      | 光纤用电路               | 456        |
| <b>第十八章</b> | <b>热敏传感器及其实用电路</b>  | <b>459</b> |
| § 18.1      | 热电式与电阻式温度计          | 459        |
| § 18.2      | 膨胀式温度计              | 460        |
| § 18.3      | 晶体管温度计              | 461        |
| § 18.4      | NQR温度计              | 463        |
| § 18.5      | 热辐射温度计              | 466        |
| § 18.6      | 热噪声温度计              | 468        |
| § 18.7      | 遥测温度计               | 470        |
| § 18.8      | 表面温度传感器             | 470        |
| § 18.9      | 光纤温度传感器             | 471        |
| § 18.10     | 热敏电阻温度-电压变换电路       | 474        |
| § 18.11     | 热敏电阻器电路             | 477        |
| § 18.12     | 铂测温电阻电路             | 480        |
| § 18.13     | 温度检测电路              | 484        |
| § 18.14     | IC 温度传感器的温度控制系统电路   | 488        |

|             |                         |            |
|-------------|-------------------------|------------|
| § 18.15     | LED发光输出的温度补偿电路·····     | 491        |
| § 18.16     | 三种热电偶的电子式冷端补偿器电路·····   | 493        |
| § 18.17     | 红外线传感器的温度检测电路·····      | 494        |
| § 18.18     | 石英传感器和应用电路·····         | 497        |
| § 18.19     | 红外线温度计控制电路·····         | 501        |
| <b>第十九章</b> | <b>磁敏传感器及其实用电路·····</b> | <b>508</b> |
| § 19.1      | 磁敏传感器的种类及其检测极限·····     | 508        |
| § 19.2      | 霍尔器件·····               | 509        |
| § 19.3      | 磁阻器件·····               | 510        |
| § 19.4      | 超导量子干涉器件·····           | 512        |
| § 19.5      | 光纤磁传感器·····             | 514        |
| § 19.6      | 光纤电磁场传感器·····           | 518        |
| § 19.7      | 磁阻元件的磁带末端检测电路·····      | 523        |
| § 19.8      | 霍尔器件检测物体的电路·····        | 525        |
| § 19.9      | 半导体磁性传感器的识别传感器电路·····   | 529        |
| <b>第二十章</b> | <b>气敏传感器及其实用电路·····</b> | <b>532</b> |
| § 20.1      | 半导体气敏传感器·····           | 532        |
| § 20.2      | 固体电解质气敏传感器·····         | 536        |
| § 20.3      | 真空度传感器·····             | 537        |
| § 20.4      | 气体成分传感器·····            | 538        |
| § 20.5      | 高频式成分传感器·····           | 539        |
| § 20.6      | 光学式成分传感器·····           | 539        |
| § 20.7      | 气体传感器自动通风扇电路·····       | 541        |
| § 20.8      | 红外线分析计高炉气体检测电路·····     | 542        |
| § 20.9      | 热线式热传导率气体传感器应用电路·····   | 547        |
| § 20.10     | 热敏电阻应用电路·····           | 549        |
| § 20.11     | 热线型半导体传感器的应用电路·····     | 551        |
| § 20.12     | 气体传感器应用电路·····          | 556        |
| § 20.13     | 气体泄漏检测电路·····           | 559        |
| § 20.14     | 毒性气体传感器应用电路·····        | 561        |
| § 20.15     | 便携式缺氧监控器电路·····         | 564        |
| § 20.16     | 医用氧气计电路·····            | 566        |

# 第一章 传感器的发展动向与对策

## § 1.1 传感器的重要性

在检测和自动控制系统中,传感器的作用相当于人的五官。显然,自动化的程度愈高,系统对传感器的依赖性越大,传感器对系统的功能起决定性作用。因此,国内外都将传感器列为尖端技术,在美、日等发达国家,传感器倍受重视,常有人说:“征服了传感器,就几乎等于征服了科学技术。”

现代信息技术的三大基础是信息的采集、传输和处理技术,即传感器技术、通讯技术和计算机技术,它们分别构成了信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”。信息采集系统的首要部件是传感器,且置于系统的最前端,仅此而言,传感器也称得上尖端技术。

最近十年,发达国家对传感器在信息社会中的作用有了新的认识和评价。美国把 80 年代看作传感器时代,日本把传感器技术列为十大技术之首,苏联的《军事航天》计划将传感器技术列为重点。我国的“八五”规划也将传感器技术列为重点发展技术。

## § 1.2 传感器的技术动向

当今,传感器技术的主要发展动向,一是开展基础研究,重点研究传感器的新材料和新工艺,二是实现传感器的智能化。

### 1.2.1 发现和应用新现象

利用物理现象、化学反应和生物效应设计制作各种用途的传感器,这是传感器技术的重要基础工作。因此,发现和应用新的现

象、反应或效应,其意义极为深远。例如,日本夏普公司利用超导技术研制成功高温超导磁传感器。该传感器是在稳定的氧化锆上制作  $5\mu\text{m}$  厚的  $\text{Y-Ba}_2\text{CuO}_7$  薄膜(YBCO),面积  $5 \times 20\text{mm}$ ,四个接点采用钛金属。这种超导材料在  $80\text{K}$  时呈全超导状态。超导磁传感器的出现是传感器技术的重大突破,其灵敏度比霍尔器件高,仅低于超导量子干涉器件,而其制造工艺远比超导量子干涉器件的简单,可用于磁成像技术。

### 1.2.2 开发新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础,随着物理学和材料科学的进步,人们已有可能自由地控制能制造出来的材料成分,从而设计制造出用于各种传感器的材料。当今,以硅材料为主的半导体传感器材料已成熟,人们设计制造的陶瓷传感器材料可用于高温,从而弥补了半导体传感器材料上限工作温度低的缺点。目前,陶瓷和有机传感器材料的研究受到国内外学者的高度重视。

### 1.2.3 发展微机械加工技术

微机械加工技术除全面继承氧化、光刻、扩散、沉积等微电子技术外,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分断技术。

当今平面电子工艺技术中引人注目的是利用薄膜制作快速响应传感器,其中用于检测  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{S}$  的快速响应传感器已较成熟。

利用各向异性腐蚀技术,可进行高精度的三维加工,在硅片上构成孔、沟、棱锥、半球等各种形状的微型机械元件。日本横河公司采用微机械加工技术制作全硅谐振式压力传感器,其  $Q$  值达  $5 \times 10^5$ ,稳定度为  $1\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ,产品一致性好。

固相键合工艺是将两个硅片直接键合在一起,即不用中间粘接剂,也不加电场,只需表面活化处理,在室温下两个热氧化硅片



面对面接触,经一定温变退火即可使两个硅片键合在一起。利用该工艺,美国诺瓦公司(Nova Corp.)制作了 $0.40 \times 0.90 \times 0.15$  mm 的微型压力传感器。键合工艺制作的传感器有高的工作温度(可达 $400^{\circ}\text{C}$ )。

#### 1.2.4 发展多功能传感器

1989年第五届国际固态传感器会议上,日本丰田研究所开发实验室报导了同时检测 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 和 $\text{H}^+$ 的多离子传感器。这种传感器的芯片尺寸为 $2.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$ ,仅需一滴液体,如一滴血液即可同时快速检测出其中 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 和 $\text{H}^+$ 的浓度,对临床十分有用。

催化金属栅与MOSFET相结合的气敏传感器,已广泛用于检测氢、氧、氨、乙醇、乙烯和一氧化碳等。在钨MOS传感器侧面设置Pt丝作为附加催化剂构成的多膜传感器,通过改变Pt丝温度可检测多种混合气体的气氛。

#### 1.2.5 智能化传感器

智能化传感器的代表是美国霍尼韦尔公司的ST-3000型智能传感器,它是一种带有微处理器的兼有检测和信息处理功能的传感器,其芯片尺寸为 $3 \times 4 \times 0.2 \text{ mm}$ 。用离子注入等半导体工艺在同一芯片上制作差压、静压和温度等三种敏感元件,每个芯片都有一个专用EPROM,用于存储其特性数据,作三维补偿用。这种传感器的特点:(1)量程比普通传感器高数百倍,可覆盖多台传感器量程;(2)精度高达 $0.1\%$ (最高可达 $0.07\%$ ),稳定性好;(3)温度静压特性好,当工作温度为 $-40 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 时,静压为 $0 \sim 2.1 \times 10^7 \text{ Pa}$ ;(4)可远距离设定和调整量程、阻尼常数、选择检测单位;(5)能自诊断和自动选定合适的量程,可用于压力波动大的场合。