



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 敏感材料 与 传感器

Sensitive Materials  
and Sensors

蒋亚东 谢光忠 编著

Sensitive Materials  
and Sensors



电子科技大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 敏感材料 与传感器

Sensitive Materials  
and Sensors

蒋亚东 谢光忠 编著



电子科技大学出版社

1313021

## 图书在版编目(CIP)数据

敏感材料与传感器/蒋亚东, 谢光忠编著. —成都:  
电子科技大学出版社, 2008.4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-81114-760-5

I. 敏… II. ①蒋… ②谢… III. 传感器—高等学校  
—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 075655 号

## 内 容 简 介

本书介绍了现代传感器的工作原理、制备方法、特性及其在工程上的应用,同时也对与传感器密切相关的敏感材料的特性也进行了重点介绍。在结构上分为绪论、传感器的一般特性、金属敏感材料、陶瓷敏感材料、半导体材料、有机敏感材料、光电式传感器、温度传感器、红外传感器、光纤传感器、气体传感器、湿度传感器、生物传感器、机器人传感器及智能传感器。本书特色鲜明,内容新颖、实用,重点突出,原理分析清楚,语言简练,逻辑性强,可读性好。

本书可作为高等院校电子科学与技术、测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、计算机应用、生物医学工程、材料科学与技术等专业的本科生教材或研究生教材,也可作为从事功能材料、敏感材料、传感与信息检测相关领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员的参考用书。

## 敏 感 材 料 与 传 感 器

蒋亚东 谢光忠 编著

---

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)  
策划编辑: 周清芳  
责任编辑: 周清芳  
主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)  
电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)  
发 行: 新华书店经销  
印 刷: 电子科技大学出版社印刷厂  
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 19.5 字数 500 千字  
版 次: 2008 年 4 月第一版  
印 次: 2008 年 4 月第一次印刷  
书 号: ISBN 978-7-81114-760-5  
定 价: 38.00 元

---

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 若需课件, 请与作者联系。

在敏感信息材料基础上发展起来的传感器技术,是当今世界令人瞩目、迅猛发展的高新技术,正成为当代科学技术发展的重要标志之一。它与通信技术、计算机技术构成信息产业的三大支柱。随着微电子技术、计算机技术和信息处理技术的高速发展,传感器作为信息采集的前端元器件,其重要性已变得越来越明显。

各种传感器的研究与开发,充分利用了导体、半导体、电介质、磁介质以及金属、陶瓷、有机高分子材料等的功能特性。而各种功能材料的开发与进步,又反过来极大地推动了新型传感器的发展,成为传感器的重要基础。本书将直接应用于传感器中起传感功能作用的材料统称为敏感材料。可以看出,敏感材料与各种传感器之间有着十分密切的关系,二者互为因果、互相促进、共同发展。

当前,无论是敏感材料与传感器的研究与发展,还是传感器技术的科学进步与工程应用,以及敏感材料与传感器研发人才的培养,都迫切需要敏感材料与传感器相结合的教材或专著。因此,该书的出版将满足广大读者的需要。

在编著本书时,作者结合了多年的科研与教学经验,并总结了10多年在敏感材料与传感器方面的最新研究成果,同时参考了大量国内外有关专著和文献。本书全面系统地介绍了各类敏感材料的性质和各类现代传感器的基本理论、器件特性、检测技术以及应用范例;本书内容丰富、全面、新颖,吸纳了国内外文献资料的精华;本书以现代新型传感器的工作原理为纲,侧重于讲解基本概念和基本理论,以便读者能举一反三,触类旁通;本书语言流畅,注重知识的系统性,循序渐进,由浅入深,便于初学者理解和掌握;同时,为适应新世纪信息技术发展的需要,本书还特别介绍了各类新型敏感材料、智能传

感器方面的内容。

本书既可作为高等学校相关学科与专业的本科生教材或研究生教材,又可供从事敏感材料与传感器技术等相关领域的工程技术人员学习和参考。

中国工程院院士 涂铭旌

2008年3月10日于成都

自 20 世纪末人类进入信息社会以来,人们的一切活动都是以信息获取与信息交换为中心,作为信息技术的基础与三大支柱之一的传感器技术也进入高速发展的新时期。在各个学科领域中,特别是现代高新工程技术中,需要获取的信息量越来越多,对信息检测的精度和准确度要求越来越高,检测的难度也越来越大,因此对传感器提出了更高更新的要求,传统的传感器已经不能满足新形势的需求。

现在,“没有传感器技术就没有现代信息科学技术”的观点已为全世界所公认。因此,敏感材料与传感器技术备受各国特别是发达国家的重视。我国也将敏感材料与传感器技术列为重点发展的技术领域。目前,在世界范围内,利用现代科学技术,研究开发了一批又一批新型传感器和新型敏感功能材料;同时,由于在制造中引进了微细加工技术与微电子集成技术等先进工艺,使得传感器技术得到飞速发展,并取得了可喜的成就。

但是,目前系统、全面、深入地介绍敏感材料与传感器的书籍较少,远不能满足教学与科研发展的需要。为此,作者对多年来从事敏感材料与传感器的科研成果与教学成果进行整理,并参考了大量的 10 多年国内外传感器技术的新成果与新技术,撰写了本书,奉献给广大读者,以满足人们学习现代传感器技术的愿望。

全书以不同类别的敏感材料和不同类别的传感器分章编写。由于敏感材料与传感器的门类过于繁多,而本书所定篇幅有限,在内容的选定上,则只涉及理论相对成熟、当前应用最广的材料与传感器类型进行编写。又由于传感器特性在本质上取决于敏感材料,而传感器自身较少有重大或特殊的结构设计,因此,本书的特色在于,以不同功能类型的敏感材料为主线,重点介绍应用广泛和发展较快的传感器的基本原理、基本特性和应用实例。

全书共 15 章,分别论述了金属敏感材料、陶瓷敏感材料、有机敏感材料、半导体敏感材料以及光电式传感器、温度传感器、红外传感器、光纤传感器、气体传感器、湿度传感器、生物传感器、机器人传感器及

智能传感器等。内容新颖、先进、丰富，具有一定的深度与广度。本书可作为电子科学与技术、测试计量与仪器仪表、自动控制、电子应用技术、电子元件与材料以及自动化仪表专业及相关专业的本科教材，也可供有关专业的研究生选用，还可供相关专业工程技术人员参考。

本书第1章、第2章、第4章、第7章、第13章至第15章由电子科技大学蒋亚东教授编写，第3章、第5章、第6章、第8章至第12章由电子科技大学谢光忠教授编写。全书由电子科技大学杨邦朝教授统稿、审稿。

本书在编写过程中，参考了兄弟院校、院所的教材及文献资料，参阅了大量有关敏感材料与传感器方面的专著，在此表示衷心的感谢。在本书编辑与出版过程中，得到电子科技大学有关部门领导、电子科技大学出版社的热情支持与悉心帮助，在此谨深表感谢。感谢顾德恩博士、张杰、邓春宏、王然和匡艳同学为本书的文字和图表处理所做的有益工作。

由于作者学识水平及掌握的资料有限，编辑出版时间仓促，书中的缺点、错误在所难免。敬请广大读者对书中不妥之处批评指正，作者将不胜感激。

作 者

2008 年月 3 月



# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 绪论.....               | 1  |
| 1.1 敏感材料概述.....             | 1  |
| 1.2 传感器的基本概念.....           | 2  |
| 1.2.1 传感器的地位和作用.....        | 2  |
| 1.2.2 基本概念.....             | 2  |
| 1.2.3 传感器的构成.....           | 5  |
| 1.2.4 传感器的分类.....           | 6  |
| 1.3 传感器的技术动向.....           | 7  |
| 1.3.1 传感器的技术特点.....         | 7  |
| 1.3.2 传感器的发展动向.....         | 8  |
| 思考题.....                    | 9  |
| 第 2 章 传感器的一般特性.....         | 10 |
| 2.1 概述.....                 | 10 |
| 2.1.1 对测试装置的基本要求.....       | 10 |
| 2.1.2 线性系统及其主要性质.....       | 11 |
| 2.2 传感器的静态特性.....           | 12 |
| 2.3 传感器的动态特性.....           | 17 |
| 2.3.1 动态参数测试的特殊问题.....      | 17 |
| 2.3.2 传递函数.....             | 18 |
| 2.3.3 频率响应函数.....           | 20 |
| 2.3.4 脉冲响应函数.....           | 21 |
| 2.4 传感器动态特性分析.....          | 22 |
| 2.4.1 一阶传感器的传递函数及其频率响应..... | 22 |
| 2.4.2 二阶传感器的传递函数及其频率响应..... | 24 |
| 2.5 实现不失真测试的条件.....         | 25 |
| 思考题.....                    | 26 |
| 第 3 章 金属敏感材料.....           | 27 |
| 3.1 磁敏金属材料.....             | 27 |
| 3.2 温敏金属材料.....             | 31 |
| 3.2.1 物理量变换方式.....          | 31 |
| 3.2.2 双金属 (Bimetal) .....   | 31 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 3.2.3 金属薄膜温度敏感元件 .....        | 32 |
| 3.3 形变金属材料 .....              | 33 |
| 3.3.1 形变规 .....               | 33 |
| 3.3.2 磁形变敏感元件 .....           | 34 |
| 3.4 超导敏感材料 .....              | 34 |
| 3.4.1 超导敏感材料 .....            | 34 |
| 3.4.2 敏感元件用超导材料 .....         | 36 |
| 3.5 形状记忆材料 .....              | 36 |
| 3.5.1 形状记忆现象的机制 .....         | 37 |
| 3.5.2 形状记忆合金的种类 .....         | 39 |
| 3.5.3 形状记忆合金的应用 .....         | 39 |
| 思考题 .....                     | 40 |
| 第4章 陶瓷敏感材料 .....              | 41 |
| 4.1 陶瓷材料的定义 .....             | 41 |
| 4.2 陶瓷材料的物理、化学性质 .....        | 42 |
| 4.2.1 陶瓷材料的离子导电性 .....        | 48 |
| 4.2.2 金属氧化物材料的半导体性质 .....     | 51 |
| 4.3 化学敏感元件用陶瓷材料 .....         | 53 |
| 4.3.1 多孔陶瓷与物理吸附、毛细管凝结 .....   | 55 |
| 4.3.2 氧化物表面物性与化学吸附、化学反应 ..... | 58 |
| 4.4 物理敏感元件用陶瓷材料 .....         | 61 |
| 4.4.1 陶瓷材料的温度特性及温敏元件材料 .....  | 61 |
| 4.4.2 压电材料 .....              | 65 |
| 4.4.3 压电材料参数 .....            | 66 |
| 4.4.4 热释电材料 .....             | 70 |
| 思考题 .....                     | 74 |
| 第5章 半导体材料 .....               | 75 |
| 5.1 半导体材料的分类 .....            | 75 |
| 5.1.1 元素半导体 .....             | 75 |
| 5.1.2 化合物半导体 .....            | 76 |
| 5.2 半导体的基础物性 .....            | 77 |
| 5.2.1 半导体内的电子特性 .....         | 77 |
| 5.2.2 决定电导、载流子密度、迁移率的机制 ..... | 79 |
| 5.2.3 电学性质的温度依赖关系 .....       | 80 |
| 5.2.4 影响半导体物性的外场效应 .....      | 83 |
| 5.3 半导体的压阻效应 .....            | 83 |
| 5.4 半导体的光电效应 .....            | 84 |



|       |                                   |     |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 5.5   | 射线敏感元件.....                       | 84  |
| 5.6   | 半导体温度传感器.....                     | 86  |
| 5.7   | 电场、磁场敏感元件.....                    | 86  |
| 5.7.1 | 电场敏感元件.....                       | 86  |
| 5.7.2 | 磁场敏感元件.....                       | 86  |
| 5.8   | 化学敏感元件.....                       | 88  |
| 5.8.1 | ISFET (离子敏场效应晶体管) .....           | 88  |
| 5.8.2 | 共振微桥敏感元件.....                     | 89  |
| 5.8.3 | 半导体气相色谱法.....                     | 89  |
| 5.8.4 | 半导体化学集成电路.....                    | 90  |
| 5.8.5 | 气敏元件.....                         | 91  |
|       | 思考题.....                          | 91  |
| 第 6 章 | 有机敏感材料.....                       | 92  |
| 6.1   | 高分子材料基础.....                      | 92  |
| 6.1.1 | 高分子材料的特点与分类.....                  | 93  |
| 6.1.2 | 高分子材料的结构及理化性能.....                | 94  |
| 6.2   | 有机敏感材料的种类和特性.....                 | 101 |
| 6.2.1 | 有机敏感材料的种类.....                    | 101 |
| 6.2.2 | 有机敏感材料的信息转换功能.....                | 101 |
| 6.2.3 | 导电性高分子材料.....                     | 102 |
| 6.2.4 | 光电导性 (Optoelectronics) 高分子材料..... | 104 |
| 6.2.5 | 压电性、热释电性高分子材料.....                | 106 |
| 6.2.6 | 感光性高分子材料.....                     | 108 |
|       | 思考题.....                          | 110 |
| 第 7 章 | 光电式传感器.....                       | 111 |
| 7.1   | 光电管.....                          | 111 |
| 7.2   | 光电倍增管.....                        | 112 |
| 7.3   | 光敏电阻.....                         | 113 |
| 7.3.1 | 光敏电阻的工作原理.....                    | 113 |
| 7.3.2 | 光敏电阻的结构.....                      | 113 |
| 7.3.3 | 光敏电阻的主要参数.....                    | 114 |
| 7.3.4 | 光敏电阻的基本特性.....                    | 114 |
| 7.4   | 光敏二极管和光敏晶体管.....                  | 116 |
| 7.4.1 | 工作原理.....                         | 116 |
| 7.4.2 | 基本特性.....                         | 117 |
| 7.5   | 光电池.....                          | 119 |
| 7.5.1 | 工作原理.....                         | 119 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 7.5.2 基本特性.....           | 120        |
| 7.6 光电式传感器的应用.....        | 122        |
| 7.6.1 模拟式光电传感器的应用.....    | 122        |
| 7.6.2 脉冲式光电传感器的应用.....    | 124        |
| 思考题.....                  | 124        |
| <b>第8章 温度传感器.....</b>     | <b>125</b> |
| 8.1 热电偶.....              | 125        |
| 8.1.1 热电偶的基本原理.....       | 125        |
| 8.1.2 热电偶的类型及结构.....      | 128        |
| 8.1.3 热电偶的传热误差和动态误差.....  | 133        |
| 8.2 热电阻.....              | 135        |
| 8.2.1 金属热电阻.....          | 136        |
| 8.2.2 半导体热敏电阻.....        | 139        |
| 8.3 集成温度传感器.....          | 142        |
| 8.3.1 概述.....             | 142        |
| 8.3.2 工作原理.....           | 142        |
| 思考题.....                  | 145        |
| <b>第9章 红外传感器.....</b>     | <b>146</b> |
| 9.1 红外辐射的基本知识.....        | 146        |
| 9.1.1 红外辐射.....           | 146        |
| 9.1.2 红外辐射术语.....         | 147        |
| 9.1.3 红外辐射源.....          | 147        |
| 9.2 红外探测器.....            | 149        |
| 9.2.1 常见红外探测器.....        | 149        |
| 9.2.2 红外探测器的性能参数.....     | 151        |
| 9.2.3 红外探测器使用中应注意的问题..... | 153        |
| 9.3 红外测温.....             | 154        |
| 9.3.1 红外测温的特点.....        | 154        |
| 9.3.2 红外测温原理.....         | 154        |
| 9.3.3 红外测温仪.....          | 154        |
| 9.4 红外成像.....             | 156        |
| 9.4.1 红外成像原理.....         | 156        |
| 9.4.2 红外成像仪.....          | 157        |
| 9.5 红外分析仪.....            | 158        |
| 9.6 红外无损检测.....           | 159        |
| 9.6.1 焊接缺陷的无损检测.....      | 159        |
| 9.6.2 铸件内部缺陷探测.....       | 160        |



|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 9.6.3 疲劳裂纹探测.....             | 160        |
| 9.7 红外探测技术在军事上的应用.....        | 160        |
| 9.7.1 红外侦察.....               | 161        |
| 9.7.2 红外雷达.....               | 161        |
| 思考题.....                      | 161        |
| <b>第 10 章 光纤传感器.....</b>      | <b>162</b> |
| 10.1 引言.....                  | 162        |
| 10.1.1 光纤传感器技术的特点.....        | 162        |
| 10.1.2 光纤传感器的组成与分类.....       | 162        |
| 10.2 光导纤维及光的传输.....           | 163        |
| 10.2.1 光导纤维及其传光原理.....        | 163        |
| 10.2.2 光在普通光导纤维内的传输.....      | 164        |
| 10.2.3 光在特殊光导纤维内的传输.....      | 165        |
| 10.3 光纤传感器的光源.....            | 166        |
| 10.3.1 光纤传感器对光源的要求.....       | 166        |
| 10.3.2 光源的种类.....             | 167        |
| 10.4 光纤传感器中的光探测器.....         | 169        |
| 10.4.1 光纤传感器对光探测器的要求.....     | 169        |
| 10.4.2 光纤传感器中常用的光探测器.....     | 169        |
| 10.5 光调制技术.....               | 170        |
| 10.5.1 相位调制与干涉测量.....         | 170        |
| 10.5.2 频率调制.....              | 171        |
| 10.6 光纤位移传感器.....             | 172        |
| 10.6.1 光纤开关与定位装置.....         | 173        |
| 10.6.2 传光型光纤位移传感器.....        | 174        |
| 10.7 光纤速度、加速度传感器.....         | 175        |
| 10.7.1 光纤激光渡越速度计.....         | 176        |
| 10.7.2 利用马赫—泽德干涉仪的光纤加速度计..... | 176        |
| 10.8 光纤振动传感器.....             | 177        |
| 10.9 光纤温度传感器.....             | 178        |
| 思考题.....                      | 180        |
| <b>第 11 章 气体传感器.....</b>      | <b>181</b> |
| 11.1 概述.....                  | 181        |
| 11.2 半导体气体传感器.....            | 182        |
| 11.2.1 半导体气体传感器及其分类.....      | 182        |
| 11.2.2 气敏机理.....              | 183        |
| 11.2.3 半导体气体传感器的主要特性.....     | 185        |

|        |                   |     |
|--------|-------------------|-----|
| 11.2.4 | 表面控制型电阻式传感器       | 187 |
| 11.2.5 | 体控制型电阻式传感器        | 192 |
| 11.2.6 | 非电阻式半导体气体传感器      | 194 |
| 11.2.7 | 半导体气体传感器的应用       | 196 |
| 11.3   | 电子聚合物二氧化氮气体传感器及阵列 | 196 |
| 11.3.1 | 电阻式电子聚合物二氧化氮气体传感器 | 196 |
| 11.3.2 | 电子聚合物二氧化氮气体传感器阵列  | 201 |
| 11.4   | 红外吸收式气体传感器        | 203 |
| 11.5   | 接触燃烧式气体传感器        | 204 |
| 11.6   | 热导率变化式气体传感器       | 205 |
| 11.7   | 湿式气体传感器           | 206 |
|        | 思考题               | 207 |
| 第 12 章 | 湿度传感器             | 208 |
| 12.1   | 湿度传感器的特性参数与分类     | 209 |
| 12.1.1 | 湿度及其表示方法          | 209 |
| 12.1.2 | 湿度传感器的主要特性参数      | 209 |
| 12.1.3 | 湿度传感器的分类          | 211 |
| 12.2   | 电解质系湿度传感器         | 211 |
| 12.2.1 | 无机电解质湿敏元件         | 211 |
| 12.2.2 | 高分子电解质湿敏元件        | 213 |
| 12.3   | 半导体及陶瓷湿度传感器       | 215 |
| 12.3.1 | 涂覆膜型              | 215 |
| 12.3.2 | 烧结体型              | 216 |
| 12.3.3 | 薄膜型               | 218 |
| 12.3.4 | MOSFET 湿度传感器      | 218 |
| 12.3.5 | 二氧化锡湿敏二极管         | 219 |
| 12.4   | 高分子聚合物湿度传感器       | 219 |
| 12.4.1 | 胀缩性有机物湿敏元件        | 219 |
| 12.4.2 | 高分子聚合物薄膜电容式湿敏元件   | 221 |
| 12.4.3 | 电子聚合物复合薄膜非线性湿度传感器 | 224 |
| 12.5   | 湿度传感器的应用及发展动向     | 226 |
|        | 思考题               | 227 |
| 第 13 章 | 生物传感器             | 228 |
| 13.1   | 概述                | 228 |
| 13.1.1 | 生物传感器的基本构成和工作原理   | 228 |
| 13.1.2 | 生物传感器的分类          | 230 |
| 13.1.3 | 生物传感器的特点          | 231 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 13.2 酶传感器.....                  | 231 |
| 13.2.1 酶的催化特性.....              | 231 |
| 13.2.2 酶传感器的结构与分类.....          | 232 |
| 13.2.3 酶传感器的新进展.....            | 235 |
| 13.3 微生物传感器.....                | 235 |
| 13.3.1 微生物传感器的结构和分类.....        | 236 |
| 13.3.2 微生物传感器实例(葡萄糖微生物传感器)..... | 239 |
| 13.3.3 微生物传感器的新进展.....          | 240 |
| 13.4 电化学免疫传感器.....              | 241 |
| 13.4.1 电化学免疫传感器的结构.....         | 241 |
| 13.4.2 电化学免疫传感器的分类和测定原理.....    | 242 |
| 13.4.3 免疫传感器实例——hCG 免疫传感器.....  | 243 |
| 13.4.4 免疫传感器的新进展.....           | 244 |
| 13.5 场效应晶体管型生物传感器.....          | 244 |
| 13.5.1 酶场效应晶体管.....             | 245 |
| 13.5.2 免疫场效应晶体管.....            | 246 |
| 13.5.3 FET 型生物传感器的新进展.....      | 247 |
| 13.6 测热及测光型生物传感器.....           | 248 |
| 13.6.1 酶热敏电阻.....               | 248 |
| 13.6.2 发光型生物传感器.....            | 250 |
| 13.7 生物芯片.....                  | 252 |
| 13.7.1 概述.....                  | 252 |
| 13.7.2 生物芯片的分类.....             | 252 |
| 13.7.3 基因芯片.....                | 253 |
| 13.7.4 蛋白质芯片.....               | 255 |
| 13.7.5 组织芯片.....                | 257 |
| 13.8 生物传感器的应用.....              | 257 |
| 13.8.1 临床诊断用生物传感器和测定仪.....      | 257 |
| 13.8.2 生物传感器在发酵工业中的应用.....      | 258 |
| 13.8.3 生物传感器在环境监测中的应用.....      | 258 |
| 13.8.4 生物传感器在食品领域中的应用.....      | 258 |
| 思考题.....                        | 259 |

## 第 14 章 机器人传感器.....260

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 14.1 概述.....          | 260 |
| 14.1.1 机器人与传感器.....   | 260 |
| 14.1.2 机器人传感器的分类..... | 260 |
| 14.2 机器人触觉传感器.....    | 262 |

|               |                    |            |
|---------------|--------------------|------------|
| 14.2.1        | 触觉传感器.....         | 262        |
| 14.2.2        | 压觉传感器.....         | 264        |
| 14.2.3        | 力觉传感器.....         | 267        |
| 14.2.4        | 滑觉传感器.....         | 269        |
| 14.3          | 接近觉传感器.....        | 272        |
| 14.3.1        | 电磁感应式.....         | 272        |
| 14.3.2        | 电容式.....           | 272        |
| 14.3.3        | 超声波式、红外线式、光电式..... | 273        |
| 14.4          | 机器人视觉传感器.....      | 273        |
| 14.4.1        | 视觉检测.....          | 274        |
| 14.4.2        | 视觉图像的分析.....       | 277        |
| 14.4.3        | 绘制技术.....          | 277        |
| 14.4.4        | 识别技术.....          | 278        |
| 14.5          | 机器人听觉传感器.....      | 279        |
|               | 思考题.....           | 283        |
| <b>第 15 章</b> | <b>智能传感器.....</b>  | <b>284</b> |
| 15.1          | 概述.....            | 284        |
| 15.1.1        | 智能传感器的分类.....      | 285        |
| 15.1.2        | 智能传感器的构成.....      | 285        |
| 15.1.3        | 智能传感器的功能.....      | 286        |
| 15.1.4        | 智能传感器的特点.....      | 286        |
| 15.2          | 实现传感器智能化的途径.....   | 288        |
| 15.2.1        | 非集成化实现.....        | 288        |
| 15.2.2        | 集成化实现.....         | 289        |
| 15.2.3        | 混合实现.....          | 290        |
| 15.3          | 智能传感器的发展趋势.....    | 291        |
|               | 思考题.....           | 295        |
|               | 参考文献.....          | 296        |

# 第1章 绪论

传感器是自动化系统和信息系统的关键性基础器件,其技术水平直接影响到自动化系统和信息系统的水平,自动化技术水平越高,对传感器技术依赖程度越大。在信息社会中,为了推动社会生产力的发展,需要用传感器来检测许多非电量信息,如力、压力、流量、速度、温度、湿度以及生物体成分等等。

21 世纪是人类全面进入信息电子化的时代,随着人类探知领域和空间的拓展,人们需要获得的电子信息种类日益增加,需要信息传递的速度加快,信息处理能力增强,因此要求与此相对应的信息采集技术——传感器技术必须跟上信息化发展的需要。

作为现代信息技术的三大核心技术之一的传感器技术(如图 1-1 所示),是人类探知自然界信息的触觉,它为人们认识和控制相应的对象提供条件和依据,已成为 21 世纪世界各国在高新技术发展方面争夺的一个重要领域。

传感器技术以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容,已经发展成为一门完整的技术学科,在促进生产力发展和科技进步的广阔领域内发挥着重要作用。

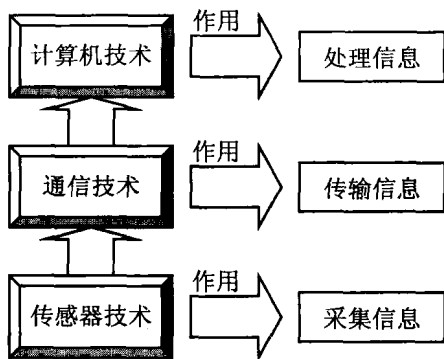


图 1-1 信息技术三大支柱及其作用

## 1.1 敏感材料概述

敏感材料是构成传感器的核心部分。一般而言,敏感材料应具有以下基本特性:

- (1) 敏感性——灵敏度高、响应速度快、检测范围宽、检测精度高、选择性好。
- (2) 可靠性——耐热、耐磨损、耐腐蚀、耐振动、耐过载。
- (3) 可加工性——易成形、尺寸稳定、互换性好。
- (4) 经济性——成本低、成品率高、性价比高。

敏感材料种类繁多,其分类方法有也有多种。根据其工作原理,敏感材料可分为结构型、物性型和复合型三类;根据其功能类型的不同,敏感材料又可分为温度敏感材料、湿度敏感材料、压力敏感材料、位移敏感材料、照度敏感材料等;根据材料科学的一般分类方法,敏感材料还可分为金属敏感材料、陶瓷敏感材料、有机敏感材料、半导体敏感材料等。本书将按照第三种分类方法对敏感材料进行简单的介绍。

金属材料在大量用于结构材料的同时,其功能特性在电子元器件领域也得到了广泛的应用。利用其功能特性,金属材料在温度敏感元件、磁敏元件、位移敏感元件、超导敏感元件等敏感元件中常常用作敏感材料。

从元件的稳定性、可靠性出发,敏感材料应该具有高的化学稳定性,而陶瓷材料就具有

优良的化学稳定性。利用其化学和物理敏感特性，陶瓷材料可大量用于制备气敏、湿敏等化学传感器以及温敏等物理传感器的敏感元件。陶瓷敏感材料在敏感元件方面的研究和开发正向着高精度、小型化、薄膜化、集成化和多功能化方向发展。

传感器技术的发展主要以无机敏感材料为中心展开。但是，由于有机敏感材料有许多优点，近年来有机敏感材料在传感器技术中的应用也受到人们的重视。有机敏感材料具有的优点是：

(1) 高分子材料具有容易加工、容易做成均匀大面积材料的优点；

(2) 设计、合成构成分子的自由度大，从而带来了敏感材料的多样性；

(3) 可实现在无机敏感材料中难以达到的识别功能（这是化学敏感元件材料必需的构成要素）。

因此，有机敏感材料被广泛用于制备化学传感器和生物传感器等敏感元件。此外，有机敏感材料在有机热敏电阻、红外敏感元件、超声波敏感元件等方面也开始获得应用。

基于半导体材料独特的电子结构和性质，具有半导体性质的元素、化合物如氧化物、硫化物等材料也被广泛用做敏感材料。半导体敏感材料在传感器技术中具有较大的技术优势，在今后相当长的时间内仍占主导地位。对采用半导体材料的敏感元件按测量对象进行分类，主要有光、温度、磁、形变、湿度、气体、生物等类敏感元件，且多数正积极利用半导体微细加工技术向微型化、集成化、多功能化及智能化方向迈进。

## 1.2 传感器的基本概念

在历次产业革命中，感受、处理外部信息的传感器技术一直扮演着一个重要角色。从 18 世纪产业革命以来，特别是在 20 世纪信息革命中，传感器技术越来越多地由传感器来实现。

### 1.2.1 传感器的地位和作用

人的行动受大脑的支配，而大脑发出各种行动指令的依据，则是人的五官，即眼（视觉）、耳（听觉）、鼻（嗅觉）、舌（味觉）、身（触觉）等感知和接收的外界信号。可以设想，没有功能正常而完美的感觉器官，就不能迅速而准确地采集与转换欲获得的外界信息，高度发达的大脑将毫无用武之地。若将计算机比喻为人的大脑，那么传感器则可以比喻为人的感觉器官。目前人类社会已经进入信息时代，一切科学研究与自动化生产过程要获取的信息，都要通过传感器这个感觉器官来获取，并通过它转换为容易传输与处理的电信号或光信号，因此传感器的作用与地位特别重要。

传感器的重要性还体现在它已经广泛地应用于各个学科领域。例如，工业自动化、农业现代化、军事工程、航天技术、资源探测、海洋开发、环境监测、安全保卫、医疗诊断、家用电器等领域都与传感器有密切关系，而且传感器的发展还会对其他学科发展产生影响。目前，各国都将传感器技术列为重点发展的高新技术之一。

### 1.2.2 基本概念

传感器是能感受被测量并按照一定规律将其转换成可用信号（如电信号、光信号）的器