

传感器技术入门

[日] 高橋 清 編著
顏杰先 石永富 译

国防工业出版社

73.862
441

传感器技术入门

〔日〕 高橋 清 编著

颜杰先

译

石永富



国防工业出版社

8510620

内 容 简 介

传感器是现代计算技术和自动控制与测量技术方面不可缺少的重要组成部分。

本书是一本关于传感器技术的入门性读物。全书分为三大部分，共计十七章。前三章是总论，主要阐述传感器同科学技术，特别是同遥感技术及微型计算机的关系；第四～九章为元件篇，详细介绍了光、磁、温度、力学量、气体以及湿度传感器等的工作原理、结构和特性；第十～十七章为应用篇，简要介绍了各种传感器在信息设备、测量与控制设备、交通管理、家用电器、飞行器、机器人以及环境保护设备等方面的应用。

本书可供广大工程技术人员、大专院校师生以及业余爱好者学习参考。

ヤンサ技術入門

高橋 清 編著

株式会社 工業調査会 1980年

*

传感器技术入门

〔日〕 高橋 清 編著

颜杰先

石永富 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张10¹/₄ 214千字

1985年8月第一版 1985年8月第一次印刷 印数：00,001—11,600册

统一书号：15034·2814 定价：1.90元

译者序

传感器是一种完整的测量装置，它能把自然界的光、声、色、压力、温度和气体等被测物理量转换成为相应的电量输出，以满足信息传输、处理、记录、显示和控制等要求。

传感器是自动检测和自动控制技术的重要环节。在计算机系统中，计算机犹如人的大脑，而传感器则像人的感觉器官，它为计算机提供各种信息，以便完成各种计算和控制功能。传感器必将在现代科学技术中发挥越来越大的作用。为了更好地普及传感器技术，我们翻译了这本《传感器技术入门》。原书共分十七章，分别由高橋 清等十七名日本传感器技术方面的专家撰写而成。原书曾分别于1978年9月、1979年8月和1980年3月在日本出版过三种版本。本书是根据1980年3月日本工业调查会出版的版本翻译而成的。本书内容丰富，涉及的技术面广泛，文字易懂，尽量避免复杂的数学推导而着重于物理概念的描述，因而它是一本较好的传感器技术方面的入门性书籍。

本书第二～九章由颜杰先翻译；第一章、第十～十七章由石永富翻译。对一些技术问题，曾征求过有关方面专家的意见。由于我们的水平有限，错误之处恳请广大读者批评指正。

原 序

第一次产业革命以动力代替并扩大了体力劳动的效果；而第二次产业革命则是发生于信息传输与控制技术方面，这种技术代替并扩大了脑力劳动的功能。第二次产业革命被称为信息革命。因此，现今的社会被认为是信息化时代。与之相对应，对科学技术方面的要求也就更加严格了。

不言而喻，促使这种信息化时代到来的最大动力在于，作为晶体管技术发展高峰的固体电子器件的迅速发展，以及电子计算机技术的进步。

若将这种信息化社会与人体相比拟，作为电子计算机心脏部分的电子电路就相当于人的大脑和视觉神经。因此，有必要考察一下人的大脑功能。大脑通过人的五种感觉（视、听、嗅、味和触觉），对外界刺激作出反应。当然，电子计算机犹如人脑一样，它受外界刺激后发出动作信息，而感受这种刺激的元件就是传感器。这就是说，传感器是与人的感觉器官相对应的元件。

从上述情况可以看出，传感器在现代科学技术领域中占据着极其重要的地位。顺便指出，可以毫不夸张地说，最近的发展趋势是“以晶体管技术为主要研究对象的全世界半导体研究人员都在注视着半导体传感器的发展”。

有关传感器专利的申请数量就能明确地表明这一点。从1959年至1974年期间，有关半导体传感器专利申请数量变化情况来看，在开始出现关于半导体传感器的专利的1959年

只不过6项。然而，在四年之后的1963年，就达到300项，而1974年则超过了1000项。

过去已经出版了一些关于传感器的优秀书籍。这些书的内容涉及到了大多数传感器。但是，当这些书籍出版之后，在迅速发展的传感器技术领域，又出现了基于某些新原理而发展起来的传感器（例如约瑟夫逊结传感器），并开拓了新的应用领域。本书就是应这种社会要求而编写的。

在接受出版社约请时，曾为采取什么结构形式的问题而犹豫不决。譬如，究竟是在某种程度上突出重点，使内容仅限于新型传感器呢？还是将元件部分的内容割爱，而仅从应用的角度着手编写更好呢？著名的MIT（麻省理工学院）莱翁（Lion）教授所著的“传感器及其应用”一书的序言给人以启发，不妨在此引用一部分，以供读者掌握本书的中心结构：

“……是进行范围广泛的论述呢？还是采用诸如物理、生物、技术领域等分门别类的方式加以论述呢？从多年来对学生和各方面的实验人员讲课情况来看，采用独特的方式其价值将是狭窄的。如果研究方法仅限于某一方面，则会招致徒劳的重复。涉及整个领域的广泛性知识，对于有经验的研究者尤为需要……”

这种思想对于本书也是完全适用的。考虑到本书的读者非常广泛，本书采用了涉及整个领域而不是偏重于某一局部范围的方式。因此，本书打算在前半部分中，从元件的角度来进行论述；而在后半部分中，将从应用角度来进行讨论。本书各章的内容是分别由各部门的专家执笔撰写的。

本书的内容曾在《电子材料》杂志上，自1976年5月开始连载过十四期。本书是在连载原稿的基础上经过加工补

充写成的。本书若能在传感器技术界产生一点影响，我们就感到欣慰了。

在此谨向那些尽管业务繁忙而仍然承担本书执笔任务的作者们，以及在编辑工作中给予大力协助的工业调查会的志村幸雄先生和内堀隆夫先生深表谢意。

目 录

总 论

第一章 科学技术与传感器	1
1.1 科学技术中传感器的地位及研究对象	1
1.2 传感器的种类	4
1.3 传感器的新动向	7
1.4 对传感器的新需要	9
1.5 传感器存在的问题	11
第二章 遥感技术	12
2.1 遥感方式	13
2.2 各种遥感器	15
1. 照相方式	15
2. 扫描器 (机械扫描方式)	17
3. 光导摄像管照相机 (电子束扫描方式)	18
4. 固体扫描方式	24
5. 微波雷达	25
6. 激光雷达	28
2.3 数据利用技术	29
1. 可见光-近红外区数据的利用	29
2. 热红外数据的利用	31
3. 微波数据的利用	32
第三章 微型计算机与传感器技术	34
3.1 自校正功能	35
3.2 传感器特性的转换功能	38
3.3 多元函数处理功能	40
1. 相关分析方面的应用	41

2. 变动参数的校正	42
3.4 微分和积分处理功能	43
3.5 自动量程设定功能	44
3.6 自诊断功能	45

元 件 篇

第四章 光传感器	47
4.1 前言	47
4.2 光探测器	47
1. 光探测器的分类	47
2. 内光电效应	49
3. 外光电效应型光探测器	57
4. 其他光传感器	58
4.3 二维光传感器	59
1. 摄像管原理	61
2. 固体摄像器件	62
3. 红外区的二维传感器	69
第五章 磁性传感器	75
5.1 古典式变换	77
5.2 古典变换——电磁效应与热磁效应	79
5.3 利用复合作用的电流磁效应	81
5.4 等离子体与磁场的关系	83
5.5 量子变换——磁共振	85
5.6 量子变换——约瑟夫逊器件	87
5.7 磁性材料的研究	90
第六章 温度传感器	94
6.1 利用物体热膨胀效应制作的温度传感器	94
1. 玻璃温度计	96
2. 双金属温度传感器	97
3. 压力式温度传感器	98
6.2 利用电阻值变化制作的温度传感器	99

1. 铂金测温电阻器·····	100
2. 热敏半导体·····	102
6.3 利用热电动势原理制作的温度传感器·····	110
6.4 利用磁特性制作的温度传感器·····	115
6.5 利用电容量变化效应的温度传感器·····	118
6.6 利用晶体管特性制作的温度传感器·····	120
6.7 利用弹性原理制作的温度传感器·····	121
6.8 利用物质的颜色和形变制作的温度传感器·····	123
6.9 利用热噪声、NQR 制作成的温度传感器·····	126
6.10 检测热或光辐射的温度传感器·····	127
6.11 温度传感器的使用注意事项·····	128
第七章 力学量传感器·····	134
7.1 测量力、转矩等的传感器·····	135
1. 金属电阻型应变计·····	135
2. 半导体型应变计·····	137
3. 磁性·压电应变计·····	138
4. 利用弦振动原理制作的传感器·····	139
5. 转矩传感器·····	140
7.2 速度、振动以及转数等传感器·····	141
1. 速度传感器·····	141
2. 振动频率传感器·····	142
3. 转数传感器·····	146
第八章 气体传感器·····	143
8.1 半导体气体传感器·····	151
1. 气体识别能力·····	156
2. 材料的研制与改进·····	160
3. 灵敏度的提高与稳定性的改善·····	165
4. 新的制备方法与器件结构·····	166
8.2 气体检测机理·····	168
1. 体原子价控制·····	169
2. 表面电荷层·····	170
3. 接触晶粒之间的势垒·····	172

4. 能级的产生	172
第九章 湿度传感器	176
9.1 电阻式湿度计的湿度传感器的原理、结构和性能	177
1. 氯化锂湿度传感器的结构与性能	178
2. 碳膜湿度传感器的结构与性能	180
3. 硒蒸发膜湿度传感器的结构与性能	182
4. 多孔氧化铝湿度传感器的结构与性能	182
5. 磁胶体湿度传感器的结构与性能	183
6. 镍铁氧体湿度传感器的原理、结构和性能	184
7. 陶瓷湿度传感器的结构与性能	186
8. 氧化锡和氧化钛湿度传感器	187
9. 微波湿度传感器	188
9.2 湿度传感器的应用	189

应 用 篇

第十章 信息设备	191
10.1 用作信息处理输入装置的光传感器及其特点	192
10.2 光读出元件	196
10.3 非实时图象检测和实时图象检测	200
1. 由单个光传感器进行的图象组成	200
2. 采用线阵传感器的图象结构	203
3. 采用面阵光传感器的图象检测	204
4. 信号处理技术与特征取样	206
第十一章 测量与控制设备	215
11.1 半导体电磁效应的应用	215
11.2 用晶体管作传感器的温度计	218
11.3 NQR温度计	221
1. 原理 (Cl^{35} 的NQR)	222
2. 谐振频率 ν_T 的检测方法与温度计的结构	223
11.4 辐射计	224
11.5 半导体压阻效应的应用	225
1. 集成电路化压力传感器	225

第十二章 汽车与汽车交通	229
12.1 汽车交通中的计量信息	229
12.2 汽车与传感器	231
1. 电子防滑控制装置与传感器	231
2. 电子燃料喷射装置与传感器	234
12.3 交通量传感器的概况	235
12.4 典型的交通量传感器	237
1. 压力感应型传感器	237
2. 金属感应型传感器	238
3. 形状感应型传感器	240
4. 噪声感应型传感器	242
12.5 未来的汽车交通传感器	242
第十三章 家用电器	244
13.1 家用电器电子化的目的	245
13.2 家用电器电子化的最新课题	246
13.3 对家用电器传感器的要求	247
13.4 各种传感器的现状与存在问题	253
1. 温度传感器	253
2. 压力传感器	255
3. 气体传感器	255
4. 烟雾传感器	256
5. 湿度传感器	256
6. 接触式传感器	256
7. 其他传感器	257
13.5 有待研制的传感器	257
第十四章 飞机与航天飞行器	259
14.1 陀螺仪	260
14.2 加速度计和速度计	262
14.3 红外水平线传感器	263
14.4 阳光传感器	264
14.5 星光传感器	266

14.6 地磁传感器	267
第十五章 机器人	271
15.1 触觉	273
15.2 压觉	277
15.3 力觉	279
15.4 滑动感觉	284
15.5 重量感觉	286
15.6 触觉的研究	286
第十六章 医疗与生物体设备	290
16.1 对传感器技术的要求	290
16.2 生物体现象的测量	290
16.3 生物体测量的特点	291
1. 生物的物理特性	291
2. 测量引起的刺激	294
3. 信息处理的作用	294
16.4 几个实例	295
1. 远距离测量	295
2. 身体表面与探针测量	298
3. 体内测量	299
4. 检验物的测量	300
16.5 仿生学	301
第十七章 公害与环境测量仪器	302
17.1 测量水质的传感器	302
1. 电导率	302
2. pH 值	302
3. 溶解氧	303
4. 新的传感器——离子电极	305
17.2 测定大气用的传感器	313
1. 对大气中有毒气体敏感的传感器	313
2. 测定缺氧用的传感器	315

总 论

第一章 科学技术与传感器

1.1 科学技术中传感器的地位及研究对象

科学技术可说是由测量开始到测量结束。其测量目的是要获得关于研究对象（或工艺过程）的物理或化学性质的信息，以便根据所得的信息来控制研究对象（或工艺过程）。完成这一功能的器件是传感器。可以说，传感器的好坏，决定着整个系统的性能。

近来，在测量或控制方面，测量对象显著增加，它们都要求迅速获得正确的信息。表 1.1 示出了被测量的分类⁽¹⁾。可以看出，其增长量是很大的。在这么庞大的物理量或被测量中，究竟哪一种在现代科学技术中占主要地位呢？这可从 1975 年日本电子工业振兴协会进行的调查结果中看出。图 1.1 所示调查结果⁽²⁾表明：对温度传感器的需求量最大，其次是位移与可见光传感器。对后两者的需求程度大致相同。

表 1.1 测量量的分类

分 类	测 定 量
机 械	长度、厚度、位移、液面、速度、加速度、旋转角、旋转数、质量、重量、力、压力、真空度、力矩、旋转力、风速、流速、流量、振动
音 响	声压、噪声
频 率	频率、时间

8510620

(续)

分 类	测 定 量
电气	电流、电压、电位、功率、电荷、阻抗、电阻、电容、电感、电磁波
磁性	磁通、磁场
温度	温度、热量、比热
光	照度、光度、彩色、紫外线、红外线、光位移
射线	辐照量、剂量
湿度	湿度、水分
化学	纯度、浓度、成分、pH值、粘度、密度、比重、气·液·固体分析
生理	心音、血压、血流、脉电波、血流冲击、血液氧饱和度、血液气体分压、气流量、速度、体温、心电图、脑电波、肌肉电图、网膜电图、心磁图
信息	模拟、数字量、运算、传递、相关值

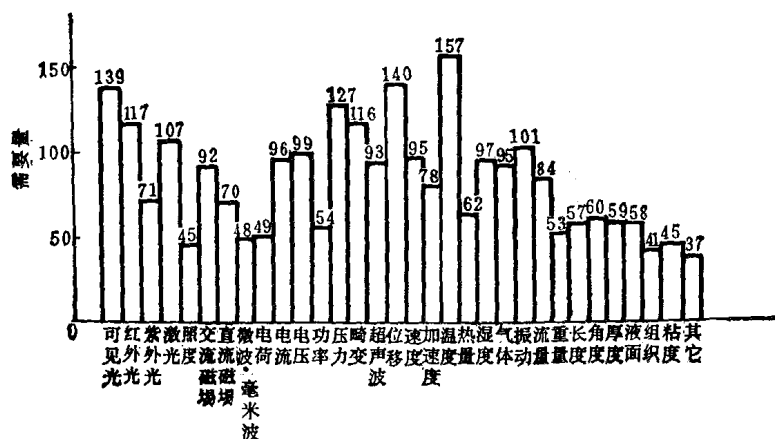


图1.1 有关的物理量或状态

可是,为了测量和控制涉及面如此广泛的对象的物理量,就必须将这些对象的物理量以尽可能简单的方式输出。尽管有各种输出信号,但是最能满足这些要求的是电信号。电信号的优点在于其测量方法最优越,能简单地处理信号放大、反馈、滤波、微分、存储及远距离操作等所获得的结果。因此,许多传感器往往都是把研究的物理量变换成电信号。实际上,美国测量协会把传感器定义为“对应于特定被测量提供有效电信号输出的器件”。但在某些情况下,变换成电信号也不一定是最理想的。

除叫传感器(sensor)外,也有叫换能器(transducer)的,两者难以明确区分。如下节所述,能量转换型就称作换能器;而能量控制型则称为传感器。这样分类也未必得当。而且,在前者的能量转换型中,仅以能量转换作为主要目的(如硅太阳能电池等)时,其转换效率是最重要的性能,但此时却叫作转换器(converter)。传感器(sensor)或换能器(transducer)与转换器(converter)不同,前者,信号变换是它的主要目的。信号变换时,一般要求变换特性具有保真性。本书不涉及用于能量变换的转换器,主要讨论作为传感器的信号变换器。讨论时,传感器与换能器不加区别。以往,传感器一词,往往与工业测量联系在一起,故含义不免有些狭窄。本书是从广义角度来考虑的。它指的是一切电子设备的输入和输出部分所用的传感器。因此,所要求的特性,在输入与输出间不一定呈线性关系。数字信号用的传感器,尚能保持其线性关系。这里所讲的传感器还包括与输入变换器相连接,实现信号调制、传递、放大等功能的二次变换器,以及实现显示功能的输出变换器等。

1.2 传感器的种类

将表 1.1 所列的众多物理量作为电信号进行探测的方法按原理分类,大致可分成:

(1) 能量控制型;

(2) 能量转换型。

能量控制型的例子有光电效应等。射入物体的光,仅仅使得产生电子与空穴而使物体导电,而其能量则是由偏压电源供给的。更为明显的例子是磁场与压力传感器。例如,下文所述的半导体电阻值是随磁场与电压而变化的,而磁场与电压并不给电子系统以能量。其能量是由专门接于传感器的电源供给的,只是信号的形态发生了变化。后一种能量变换型是所谓能量变换元件,利用光电动势效应的硅 pn 结就是其中一例。

表 1.2 按能量控制型与转换型对传感器的物理效应进行

表1.2 用于传感器的典型物理效应

能 量 控 制 型	能 量 转 换 型
电阻 } 电感 } 几何尺寸的控制 电容 }	压电效应
应变电阻效应	磁致伸缩效应
磁阻效应	热电效应
热阻效应	光电动势效应
光电效应	光电放射效应
磁致伸缩效应	热电效应
霍耳效应	光子滞后效应
电离效应	热磁效应
约瑟夫逊效应	热电磁效应