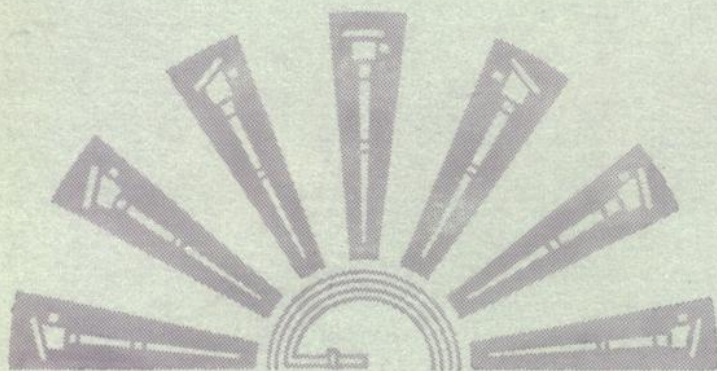




传感器新技术

何伟仁 王 恒 宋增福 编译



中国计量出版社

73.862
307

传感器新技术

何伟仁 王 恒 宋增福 编译

31527/31

中国计量出版社

内 容 提 要

本书介绍了日本及欧美等国 80 年代传感器开发应用情况。全书 39 个章节,有温度、湿度、流量、压力、电、光、磁、生物、气体、化学物质等多方面传感器的制造与应用新技术。对从事各种传感器研究、生产和使用人员有较大的参考价值。

传 感 器 新 技 术

何伟仁 王 恒 宋增福 编译

责任编辑 栾桂芬

—*

中国计量出版社出版

北京和平门内大街 11 区 7 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*

开本 787×1092/16 印张 15.75 字数 384 千字

1989 年 3 月第 1 版 1989 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—10 000

ISBN 7-5026-0169-4/TB·146

定价 6.80 元

编 译 者 序

在以电脑为主角的新技术革命中，传感器作为获取信息的“五官”起着十分重要的作用。由于大规模集成电路技术的飞速发展，电脑已相当发达，因此，只有研制生产出性能优良的传感器，解决各种物理量、化学量、生物医学量的传感问题，才能在自动测量和自动控制中充分发挥电脑思维、判断的能力。所以，包括我国在内的许多国家都把传感器列为重点科技发展项目之一。

传感器能满足多样化的社会需求。它能使工业生产合理化、高效化，从而增强产品竞争能力，能丰富和改善人们的生活，能充分利用资源，节省能源，能保护自然环境……。往往一种传感器新技术会给企业和社会带来巨大的经济效益。传感器具有诱人的魅力，目前国内外已形成了“传感器热”。

本书以日经电子学丛书“センサ”为基础进行编译，内容包括温度、湿度、流量流速、压力、电、光、磁、生物医学、气体、化学物质等多种传感器的制造与应用新技术。涉及的应用领域包括工业、国防、农林、计量仪器、环境保护、医疗卫生、海洋、气象、地质勘探、交通运输、防灾安全以及汽车、空调、家用电器等民用设备。

本书取材广泛、内容丰富、语言简练、实用性强。我们把它奉献给读者，不仅许多有益的实用传感器技术可供借鉴，而且从中可以触摸到日本及欧美等国80年代传感器技术发展的脉波。如它能对发展我国的传感器技术起到某些促进作用，我们将感到欣慰。

全书共39节。其中，磁传感器部分由宋增福同志翻译；非接触温度、化学、生物医学传感器部分由王恒同志翻译；其余部分及全书改编、定稿由何伟仁同志承担。

由于编者学识水平有限，错误及不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 译 者

一九八八年三月于北京

目 录

1. 微机普及促进了传感器技术的发展	(1)
2. 用铂电阻温度计做的 $1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 温差计	(10)
3. 用一只电阻补偿热敏电阻的非线性	(14)
4. 热敏电阻阻值-脉宽变换和非线性补偿	(22)
5 用一只四运放做的精密 PN 结温度计	(26)
6. 新型单片 IC 温度传感器	(28)
7. NQR 温度计	(34)
8. 红外线检测器	(49)
9. 新型二维红外线图象传感器	(64)
10. 热释电效应红外线光导摄像管	(78)
11. 带微处理器的干湿球湿度计	(85)
12. 集成湿度传感器	(94)
13. 自动识别露和霜的石英振子露点仪	(100)
14. 富有竞争力的 Si 膜压力传感器	(103)
15. 可测流动方向的硅流速传感器	(109)
16. 电容耦合位移传感器	(112)
17. 大面积光电二极管光斑位置传感器	(115)
18. 不受灰尘和温度变化影响的光电检测电路	(116)
19. 小型简便的半导体色传感器	(117)
20. 最新生体感应电极	(121)
21. 检测各种化学物质的生物传感器	(129)
22. 燃烧、排气控制用电化学氧传感器	(139)
23. ISFET pH 和 CO_2 传感器	(144)
24. 硅磁三极管	(147)
25. 高灵敏双极型 Si 磁传感器	(149)
26. 温度系数低于 $0.002/^{\circ}\text{C}$ 的 InSb 霍尔元件	(152)
27. 用霍尔探头和数字万用表测量磁通密度的电路	(155)
28. 组装、调整简单、分辨率高的角度检测器	(157)
29. 用于检测旋转的强磁性薄膜磁传感器	(160)
30. 磁应用装置用的新材料“维干德 (Wiegand) 丝”	(162)
31. 记忆、存储及相关应用中的薄膜磁敏电阻	(169)
32. 光导纤维传感器	(185)
33. GaP 半导体光纤温度传感器	(213)
34. 使用 BSO 单晶和光纤的电压/电场强度测量仪	(219)

35. 表面弹性波传感器	(221)
36. 高精度非接触 SAW 温度传感器	(228)
37. SAW 器件耐高压电位计	(230)
38. 微波电子灶中的传感器	(233)
39. 汽车传感器及接口	(238)

微机普及促进了传感器技术的发展

“传感器”这个词，富有传奇的色彩，充满迷人的魅力。进入 20 世纪 80 年代以来，随着现代科学技术的飞速发展，特别是大规模集成电路技术的发展和微型计算机（电脑）的普及，传感器在技术革命中的地位和作用越来越突出。

传感器作为电脑的五官，就象人的眼、耳、鼻、舌、皮肤那样，可以搜集各种信息，这些信息送入电脑后，由电脑进行思维判断，并发出各种控制信号去控制执行机构，从而满足各种社会需要。因此，传感器的功能和作用是极其广泛的。在工业生产方面，它能实现生产合理化、自动化，提高质量、降低成本，增强产品的竞争能力；在家用电器和医疗卫生方面，它能丰富和改善人们的物质生活水平，协助诊断和预防各种疾病，提高人们的健康水平；在环保方面，它能监测、控制各种环境条件，改善人类赖以生存的自然环境。此外，在能源、自然资源、公安、保卫、交通运输等很多领域，它都能发挥重要作用。正因如此，传感器技术已受到世界各国的普遍重视。

(1) “传感器热”

世界上许多先进国家都很重视传感器的开发和应用，并为此成立了专门的研究与交流机构。很多学者认为：在世界范围内出现了“传感器热”。究其原因，可归纳为下面几点：

1) 落后于大脑的感觉器官

众所周知，组成微型计算机的 LSI 的性能价格比，几乎每年提高二倍，这是因为随着集成电路生产技术的进步，硅片的集成度和成品率都在不断提高的缘故。因此，微型计算机的功能提高，而价格却在不断下降。微型计算机不仅在工业生产、事务管理等方面迅速普及，而且已开始进入人们的家庭。相比之下，研制传感器并不是一件轻而易举的事情。就现状而言，在电脑应用过程中，传感器处于明显的落后地位。现有的大多数传感器不能满足现代信息处理系统对其准确度、速度和价格的要求。传感器技术已成为微型计算机应用中的“卡脖”技术，只有突破这一关键技术，才能真正显示出微型计算机的优越性。因此，很多有识之士正在为此目标而努力。

2) 良好的销售前景

表 1.1、表 1.2 按需要传感器的部门列出所需传感器的种类和数量。由表可以看出：传感器应用范围极其广泛，需求量也很大。所以说传感器市场是很有发展前途的。据报道，1982 年日本的传感器销售额为 1300 亿日元，年增长率为 30~40%，欧美各国也有同样的增长趋势。

3) 应用传感器具有明显的经济效益

应用传感器给人们带来了数不尽的好处，它不仅可以代替人们去完成许多工作，而且有时可以完成人们无法完成的工作。使用好传感器，可以产生显著的经济效益和社会效益。

从前日本新日本制铁公司，轧制冷轧宽幅带钢时，板厚和形状不能自动控制。他们自行研制出安装在冷轧宽幅带钢轧钢机上的高精度检测形状的电磁传感器，并于 1979 年秋装在

表1.1 各种传感器的应用现状

应用部门 \ 传感器种类(被测物理量)	1 可见光	2 红外线	3 X射线	4 微波	5 磁	6 温度	7 压力	8 振动	9 转数	10 流量	11 流速	12 湿度
1. 微型机相关仪器	44	45	11	11	30	41	34	23	28	25	16	21
2. 广播通讯机	23	27	4	8	17	21	13	10	13	13	7	12
3. 测量仪器	38	37	13	16	31	52	45	29	23	33	26	26
4. 电力设备	10	12	1	4	12	16	13	8	9	10	6	11
5. 家用电器	13	13	2	5	14	19	9	6	7	8	4	11
6. 精密机械	15	14	2	3	8	10	7	6	4	4	3	4
7. 机械工业	10	10	3	3	12	14	9	12	10	9	3	4
8. 化学工业	9	7	6	3	4	11	7	2	6	5	5	5
9. 纤维	3	2	—	—	2	3	2	3	3	3	2	2
10. 运输机械	10	10	4	11	21	22	23	19	19	16	11	10
11. 医院病房	7	7	5	1	4	7	7	5	3	7	6	1
12. 学校、研究所	30	23	12	8	20	29	27	19	13	21	17	18
13. 钢铁、金属	6	5	1	2	4	5	4	2	2	2	2	2
14. 流通、运输	1	1	—	—	1	—	1	1	1	—	—	—
15. 情报服务	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—
16. 金融、保险	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	1	2
17. 农林、水产	1	1	2	—	—	1	1	—	—	—	—	—
18. 防灾、安全	10	9	2	6	7	10	8	5	3	5	3	7

注：根据日本电子工业振兴学会的“与敏感器件有关的调查研究报告书Ⅲ”的调查卡片整理，数字表示使用传感器的数目。

“新六重冷轧机”上，大幅度提高了钢板质量和生产效率，并节省了能源。

在称为“电子汽车”的新型汽车中，装有几个控制用微型计算机和40多个传感器。其中最核心的问题是利用传感器来决定空气和汽油的最佳混合比，以便达到既节省能源又符合排气标准的目的。

在石油、化工工厂、发电站、燃料库、锅炉供热、煤气、液化气系统中，气体检测报警器对防止爆炸、中毒事故发生，对提高燃烧效率起着不可估量的作用。

如此等等，这里不再一一列举。

表1.2 今后对传感器的需求量

应用部门 \ 传感器种类(被测物理量)	1 可见光	2 红外线	3 超声波	4 磁	5 温度	6 压力	7 位移	8 加速度	9 流速	10 气体成分	11 湿度	12 其它
1.微型机相关仪器	32	7	4	6	13	15	8	2	2	8	12	4
2.广播通讯机	19	6	2	6	10	7	4	—	2	6	5	—
3.测量仪器	20	9	2	7	20	22	10	1	2	11	12	10
4.电力设备	3	1	1	2	9	7	1	1	1	6	5	1
5.家用电器	4	2	1	3	8	5	4	2	2	8	8	—
6.精密机械	16	3	2	1	5	4	2	—	—	4	1	—
7.机械工业	5	—	1	2	5	4	5	1	2	2	2	3
8.化学工业	7	—	—	—	1	3	1	—	—	2	1	1
9.纤维	3	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—
10.运输机械	1	2	—	—	5	15	9	3	1	5	4	4
11.医院病房	4	—	3	—	1	5	4	2	—	2	—	1
12.学校、研究所	14	3	2	1	3	14	7	1	1	5	7	7
13.钢铁、金属	6	1	—	—	2	1	2	—	—	1	1	1
14.流通、运输	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—	—
15.情报服务	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2
16.农林、水产	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
17.防灾、安全	2	—	—	1	3	2	3	—	—	6	3	2
18.其它	4	1	1	1	1	3	4	—	—	1	3	4

注：根据日本电子工业振兴学会的“与敏感器件有关的调查研究报告Ⅳ”的调查卡片整理。

4) 产品竞争的有力武器

在企业开发新产品、降低成本的竞争中，有很多是以传感器技术为核心技术的。事实上，每一种新传感器的诞生，几乎都伴随着出现一系列应用该传感器的新产品。因此，象日本丰田汽车公司和松下电器公司等大型公司，都组织专门力量进行传感器开发。丰田中央研究所研制的检测汽车发动机汽缸压力的硅传感器，同时在心脏血流和血压测量中受到了好评。松下公司在电子灶中应用的湿度传感器，还广泛用于气体湿度测量。

美国早期的电子灶是借助插入食品的湿度探针掌握烹调情况的。采用这种方法，只能知道局部加热情况。松下公司用陶瓷湿度传感器代替探针，可以更准确地完成烹调过程。采用

这种方法的电子灶，不仅可以做大块的鱼、肉，也可以烹调切得很细的菜，从而打入美国市场，受到好评。

5) 企业创新的突破口

传感器的种类繁多。据日本科学技术厅调查，被测对象包括机械、电、磁、光、放射性、温度、湿度、化学、生物、医学等领域的近百种量。对同一种量，由于测量范围、精度等级、使用环境、应用对象及传感原理的不同，又有各式各样的传感元件。制造传感器的取材范围也相当广泛，包括金属、半导体、陶瓷、高分子材料等。因此，很多部门和企业可以发挥自己的长处，找到适合自己技术专长和设备能力的突破口，从而以“供方”资格加入传感器市场。

日本合成橡胶公司于一九七八年推出一种压电传感器，是在硅橡胶中掺入金属粒子。平时它是绝缘体。受压后，金属粒子互相接触，变成导体。广泛用于各种防犯报警装置的脚步开关、游泳池触板及各种娱乐、健身用品的计数开关。最近又在汉字输入装置、汉字字符处理装置中作输入键盘使用。

日本秧父水泥公司，应用水泥烧制技术在高温下处理金属氧化物，使其产生了各式各样的新功能。其中湿度变化引起阻抗变化的元件，就可作湿度传感器使用。此外，日本 Toray 公司把炭素纤维烧制技术与生产成套设备积累的其它技术相结合，研制出二氧化锆氧传感器，并生产出应用此传感器的测氧仪。在同类产品中，一举夺得销售量的冠军。

这三家公司在经营上存在共同的苦恼，即他们的主要产品橡胶、水泥、纤维的销售情况不佳，这就迫使他们寻找新的产业。他们为此动了不少脑筋，认为：“怎样才能打入具有发展前景的电子工业是经营上的一大课题”。上面的例子说明，对许多企业来说，传感器是转向电子工业的突破口。

(2) 研究传感器的方法

传感器种类不同，用途不同，要求也不一样，很难用统一的标准对它们进行比较。但总的来讲，对一只敏感元件大体有下述 10 个方面的要求：

- 1) 灵敏度或检测极限；
- 2) 准确度和精密度；
- 3) 选择性；
- 4) 动态范围及直线性；
- 5) 响应速度及滞后特性；
- 6) 使用环境及抗干扰性能；
- 7) 互换性；
- 8) 老化特性；
- 9) 正常工作和故障时的可靠性；
- 10) 价格。

工业测量用传感器，对 1)~6)、9) 要求较严，而价格、互换性、老化特性要求并不十分严格。相反，工业控制用传感器对互换性和老化特性要求就较高。在汽车、家用电器、医疗卫生中，一般来说，对准确度要求并不高，而对价格、抗干扰性、老化特性、可靠性要求较高。在气体、化学物质传感器中，检测极限和选择性又变得十分重要。因此，研制、选择传感器时，要有针对性的“对症下药”。

研究和改进传感器，通常有下述三种方法：

①研究传感器的外部电路，以便消除或部分消除传感器的性能限制，最大限度地发挥传感器的特长。例如，当温度或其它量对输出特性有影响时，可增加温度补偿电路、校正电路、平衡电路、反馈电路、辅助传感器等，补偿或校准传感器的输出特性；当传感器输出信号较小时，可增加放大电路、抗干扰电路等，提高信噪比和灵敏度；对输出特性非线性的传感器，可用分段折线逼近法或与传感器的非线性特性相反的传递函数使其线性化，也可用软件修正。

附加的传感器和电路的准确度不需很高。比如，对于5%的非线性误差，用误差为10%的线性化电路就可使非线性误差减至0.5%。同样，用误差10%的辅助温度传感器，可使原传感器的温度系数减少9/10。

②应用先进技术、先进工艺改善现有传感器的性能，或基于原有原理制造出新型传感器。

接触型温度传感器是用量最大，最为成熟的传感器，但它们的性能仍在不断改善。以前生产热电偶主要靠手工操作，无法实现大批量自动化生产。铠装热电偶是在热电偶丝和不锈钢保护管之间填充MgO等无机物质制成的，制作时，从保护管外侧挤压，实现了生产自动化。铠装热电偶外径细、可弯曲、响应快、耐振性好。热电偶丝也不再暴露在气体和高温中，延长了使用寿命。普通的铂电阻温度计是用高纯铂丝在骨架上人工绕制成的。厚膜铂电阻和薄膜铂电阻既能保持铂电阻的良好特性，又可批量生产，降低了成本。生产时用激光微调法调整阻值，阻值范围宽，分散性小，响应特性和抗冲击振动性能也得到改善。

此外，利用集成电路技术生产的IC温度传感器、硅膜压力传感器、磁阻效应传感器等，一方面利用Si本身的物理效应使其对被测量敏感，另一方面又能把外部电路集成在同一芯片上。

③采用新原理或新材料研制新型传感器。

制作传感器，在原理上，依据各式各样的物理、化学效应。据不完全统计，它包括光、电、磁、金属、半导体、热电、光电、磁电、磁光、压电、磁致伸缩、放射性、化学等方面的近百种效应。但并不是说这方面没有什么余地了。随着科学的发展，还会找到制作传感器可依据的新原理。在这方面，近年来发展起来的光纤传感器和表面弹性波传感器，取得了长足的进步，本书后面将专门论述，这里不再赘述。另外，由于材料科学的进步，将会开发出新的传感材料。精细陶瓷、非晶半导体、形状记忆合金等是很有希望的传感器材料，尤其是记忆合金，当它复原时产生相当大的力，因而它有可能作为敏感元件和执行元件的集合体，在自动化系统中显示独特的作用。把酶或活体组织的一部分作为敏感元件的功能材料，也是很有发展前途的。它对特定的化学物质具有高度的选择性，不仅可测量各种分子量和结构的化学物质，而且有可能测量食品的生熟程度和新鲜度。随着（敏感膜）固定化技术的发展和遗传工程学的进步，适用于敏感元件的材料会越来越多。

(3) 传感器开发和应用中的几个动向

①工业传感器向代替和扩大人的五官功能方向发展。

回顾传感器的发展历史可知：传感器是从最初在工业中的应用发展起来的。但过去工业中应用传感器多为完成一个量或几个量的检测和控制。毫无疑问，传感器在提高产品质量、降低生产成本、提高自动化程度方面起着重要作用。但相对来讲，这还是传感器应用的初级

阶段。现在，产业机器人已经问世，并开始在各种作业中应用，它工作认真，不知疲倦，并能在有毒、有害等恶劣环境下完成许多人类难以完成的作业，因此具有广泛的前景。由于大规模集成电路技术的进步，机器人的“大脑”已经相当发达。所以，机器人能完成的任务在很大程度上取决于传感器技术的进步。机器人中的传感器分为两类：控制自身移动的“内部敏感元件”；了解对象、完成任务的“外部敏感元件”。无论哪一类都与人的五官功能有关，这方面有很多待开发的领域。视觉包括物体形状、颜色和距离。听觉包括声波和超声波。这里即有传感元件问题，也有信息处理技术问题，即所谓图象识别、物体识别、语音识别等问题。触觉包括接触觉、压觉、力觉、滑动觉、温度、湿度等。在化学工业中嗅觉是必要的，因而需要各种选择性良好的气体传感器。在食品工业中还需要味觉，但味觉敏感元件现在仍属未开发的领域。

②家电传感器用量大、课题多。

近年来，随着家用电器的发展和普及，家电传感器用量越来越大，这是家电控制电子化的必然结果。表 1.3 列出各种家用电器中使用传感器的情况。家电控制用的电子器件也从分立元件发展到集成电路和大规模集成电路。微型计算机（电脑）装入家电产品也屡见不鲜。但目前家电中安装的电脑的任务多数还局限于定时或按事先写好的程序进行控制。然而，许多家电制造厂想让电脑完成更多，更复杂的任务，以便完成包括判断、预测在内的精细控制。这样就需要相应的传感器。比如在全自动洗衣机中，检测洗净度可以节水节电节省洗涤剂。知道漂洗情况也可节水节电。另外，在电冰箱中，所谓自动除霜，仅是在冷却一定时间或开门若干次后加热除霜，如能找到一种适用的霜传感器，就可提高电冰箱的效率。

家电传感器前景十分广阔。但是，家电传感器必须性能稳定、不需维修、价格也要十分低廉，这一点是家电的特殊性决定的。目前状况是：家电厂家使用着许多传感器，同时，各厂家又提出了种种待开发的传感器，形成了课题如山的局面。

③集成敏感元件

在传感器技术发展过程中，各种半导体材料受到人们的关注。其中，尤以硅传感器发展十分迅速。硅传感器是利用 Si 本身的物理效应或把硅平面技术与其它物理效应相结合制成的。这类传感器具有两大特点：

1) 利用过去二十年来积累的光刻、腐蚀、扩散、外延、离子注入、化学气相沉积等一整套平面 IC 加工工艺，对硅进行“超微细加工”，使传感器生产实现机械化、自动化，从而可以进行大批量生产，有利于降低成本。传感器的售价最终将取决于销售量的多少，只要批量大，价格就可以相当便宜。这一点，对于汽车、家电等民用品是十分重要的。另外，由于传感器尺寸小，不仅减少了对被测环境的干扰，提高了响应性能，而且也扩大了使用范围。

2) 在大多数情况下，传感元件可以和外部电路一起集成化，形成“集成敏感元件”。集成传感器对传感器输出信号进行放大，阻抗变换，信号形式变换、温度补偿、线性化等，使传感器用户节省了研究、组装、调试外电路的时间，减少了系统部件数目，降低了成本。另外，集成传感器易于与微型计算机接口，明显地提高了系统性能。

正因如此，许多传感器都向硅集成传感器方向发展。它的应用范围从汽车、家电、生物、医学、乃至航天技术，几乎无所不包。

制作硅集成传感器，包括敏感元件本身、信号传输技术、元件封装三方面的问题。对于

表1.3 各种家用电器中使用的传感器

传感器 家用电器	温 度							光		磁	压 力		气 体		湿 度							
	压力式	双金属片	热电偶	热敏电阻	PTC	感温铁氧体	有机感温体	红外检测器	CDS	光电三极管	光电二极管	霍尔元件	其它	膜盒	薄膜	半导体	氧化物半导体	接触燃烧式	尼龙	炭粒子	陶瓷	有机物
电子灶				■																	■	
电烤箱	□	■		■																		
气体烤箱	□	■	■																			
烤箱电子灶	□	■		■				□									□				■	
电饭煲		□		■	■	■																
电热板		■		□																		
面包炉		■				□																
咖啡器		■																				
房间空调器	■	■		■	□									□					□			
石油暖风机		■		□																		□
电暖风机		■			■																	
换气扇				□													□					
电暖炉		■		■	□																	
电热毯		□					■															
电冰箱	■	□		■		□								□								
餐具清洗机		■																				
气体开水器	■		■																			
气漏报警器																	■	■				
火灾报警器	■	■		□						□	■						□	□				
洗衣机										□					■							
衣物烘干机	□	■			■																	
被褥烘干机					■																	
干燥机	■			□																		
电熨斗		■																				
吹风机				□	■																	
电子驱蚊器					■																	
电视									□	□	□											
录像机																				■		
立体声音响				□						□		□										
录音机																						

图例：■ 大量使用 ■ 正在使用 □ 部分使用

敏感元件本身，主要是改善元件的加工技术，如利用激光微调技术改善失调，变更灵敏度，改善膜厚控制技术克服压力传感器的分散性等。改善传输技术主要是解决温度相关性和长期稳定性。在元件中封入温度补偿电路、或在外部通过信号处理系统和软件可以减小或消除温度变化带来的影响。元件的长期稳定性和元件的制造和封装工艺有关，但也可通过缓冲放大、脉宽调制、频率调制等方法来解决。在封装工艺上，集成传感器和集成电路不同。为了抵御外部环境对电路性能的影响，集成电路都封装在封闭的陶瓷、金属、塑料外壳中。而集成传感器，为了对被测量作出响应，必须直接暴露在被测环境中。因此，如何使元件尽可能对被测量敏感，对应力、气体、湿度等其它量不敏感，并能保证其中的集成电路能正常工作是很关键的问题。

④化学传感器受到重视

提起传感器，人们会立即想到检测温度、压力、流量、振动、场强等物理量的传感器。但近年来，检测各种化学物质和化学量的化学传感器发展相当迅速，受到人们的普遍重视。现在人们已经认识到：在人类的生产和生活活动中，检测水蒸气或水分的含量，与检测温度一样，是十分重要的。在电子元件生产厂、纺织厂、食品厂、烟草厂以及办公室、家庭、仓库的空调等方面，都需要性能良好的湿度传感器。但与温度传感器相比，湿度传感器还相当不成熟。近年来出现的半导体陶瓷、无机质薄膜和有机高分子薄膜等湿度传感器，使湿度传感器有了很大进步。但由于湿度测量范围宽（0~100%）、对象复杂，目前还难于满足各方面的需要。

由于由易燃气体和有毒气体引起的爆炸和中毒事故不断发生，在石油化工厂、燃料库和家庭等一切生产、储运、使用这些气体的场所，都应安装气体泄漏报警器。此外，检测氧对于实现燃烧自动控制、检测CO对于发现不完全燃烧和火灾初起、检测酒精含量对于发现司机酒后开车等都是很有价值的。因此，以 SnO_2 半导体烧结体的家用液化气泄漏报警器和以二氧化锆氧传感器为代表的气体传感器发展十分迅速。此外，利用气体吸附效应改变表面电位的原理制造的气敏场效应管，也取得了较好的效果。这种元件不仅灵敏度高（与FET一样，有放大作用），选择性也较好。用它可检测 Cl_2 、 H_2S 、 NH_3 、苯、酚等多种气体。

此外，在化学物质的成分，pH值、粘度、粒度、浊度、气味以及生物和医学方面的血压成分、激素、血中蛋白等方面，也需要大量的传感器。因而出现了离子敏感场效应晶体管（ISFET）pH传感器、酶传感器、利用微生物膜的微生物传感器及利用抗原抗体的免疫传感器。

⑤传感器向多维化发展

一个敏感元件大多只能获取一个点的信息。如若获取空间宽范围的信息，可以利用机械扫描的办法。但这种扫描系统往往比较复杂。解决办法之一是把多个传感单元作在一起，利用电子扫描方法获取空间信息。这样就可掌握空间和复杂物体的状态，使传统的“量值的计量”发展成为“状态的识别”。X射线CT就是多维传感的实例，现在正在开发的NMRICT，使信号处理从二维发展到三维。此外，一种新型的半导体器件——固体图象传感器，正在取代摄像管，成为生产线上的视觉。它具有体积小、重量轻、寿命长、分辨率高、功耗低、残留图象少、图象不变形、不易受电磁场干扰、易电子聚焦、信号易处理等一系列优点。纺织品质量检查、印刷板及大规模集成电路图形检查、集成电路焊线质量检查等已开始使用固体图象传感器。家用彩色电视摄像机、航空和卫星遥感装置也开始使用这种传感器。

⑥智能传感器

在一个测量电路中，尽管传感器是十分重要的，但它仍不过是电路的一个组成部分。要想从传感器的原始信号中准确地取出所要求的测量值，必须进行预处理，然后才能进入微型计算机。这一过程包括解调、滤波、放大、数字化、特性曲线线性化等，由此可见，普通测量系统是相当复杂的，为了减小复杂性和降低费用，因而出现了带有部分预处理电路的集成传感器。但它的功能往往是有限的。因此人们提出了把不具备智能的敏感元件和计算机智能结合起来，这样就产生了新一代的传感器——智能传感器。目前的微电子技术可以实现这一点。智能传感器不仅把传感和信号预处理合为一体，使之与后处理的微型计算机兼容，而且为利用现代信号处理方法提高对测量信号的判断能力和开辟新的应用领域创造了条件。

智能传感器实际上就是带微机的仪器，它不仅完成传感和信号处理任务，而且还带有自诊断、自恢复功能。敏感元件和微处理器的存储器有机地结合在一起，就能创造出许多新的功能。智能传感器不存在非线性的缺点，相反，当传感器具有较宽的动态范围或在某一区域具有较高灵敏度时，这种非线性不仅无关紧要，而且可能变成有利的因素。另外，智能传感器可以在两次测量的参数间进行补偿，从而给传感器设计带来根本变化，用一片低位微处理器就可以很好的补偿失调、温度变化等因素对输出的影响，用 EPROM 作补偿，也降低了传感器的成本。这也使传感器设计者受益不浅。

可以预期，不久的将来，将会出现许多这种智能传感器和其它新型、新原理的传感器。反过来，这些产品，又刺激电子工业及其他工业的增长和发展，传感器拖后腿的现象将会逐步获得解决。美国、日本及欧洲各国等许多国家对传感器怀有浓厚的兴趣，并且正在积极进取。

2. 用铂电阻温度计做的 $1 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 温差计

当使用测温范围 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的温度计时，连 5°C 温差都不能准确地测量出来。比如，温度计的准确度是 $\pm 0.5\%$ ，在测温差时，精度就变成 $\sqrt{(0.5\%)^2 + (0.5\%)^2} \approx 0.7\%$ 。这就是说，用 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的温度计测温差，准确度就变为 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 。然而，若有一个直接指示 5°C 温差的温度计，即使误差是 $\pm 1\%$ ，其误差也只不过在 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 之内。

在作温差计使用的温度传感器中，热电偶的灵敏度低，但它可用于很宽的温度范围。热敏电阻尽管测温范围较窄，但灵敏度高，适合作微小温差测量元件。可是，当测温要求介于两者之间时，就谁都不合适了。最近，虽有廉价的、高灵敏的 IC 温度传感器出售，但由于它的偏差较大，高精度测量时需要经常校准。铂电阻温度计制造时偏差小、精度最高、灵敏度也较高，因此，用它作温差计是比较合适的。这里，介绍一种用铂电阻温度计制作的既简单、精度又高的温差传感器，用它可以准确地测量两处的温度差。

图 2.1 示出用铂电阻温度计直接测量温差的电桥电路。

$$V_{\text{out}} = \frac{I}{2} \cdot \frac{2R}{2R + R_{T_1} + R_{T_2}} (R_{T_1} - R_{T_2})$$

若 $R \gg R_{T_1}, R_{T_2}$ ，则

$$V_{\text{out}} = \frac{I}{2} (R_{T_1} - R_{T_2})$$

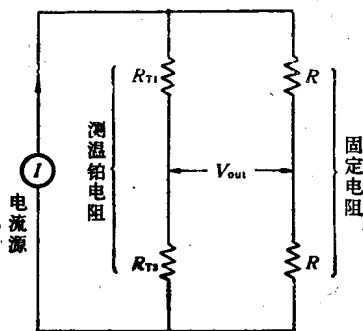


图 2.1 铂电阻温差计原理图，由二个铂电阻和二个固定电阻构成电桥

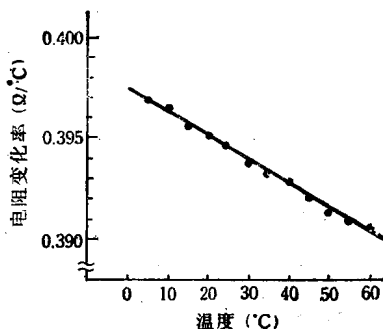


图 2.2 铂电阻温度计的阻值-温度关系， $0^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 基本为一直线

这就是说，当选择的 R 值比测温电阻阻值 (R_{T_1}, R_{T_2}) 大很多时，输出电压 V_{out} 就与温度差 ($R_{T_1} - R_{T_2}$) 成正比。因此，当用数字电压表测量 V_{out} 时，就可将示值 (mV) 直接变成温度读数。

图 2.2 给出铂电阻温度计的电阻变化率与温度的关系曲线。随着温度的上升, 铂电阻的温度系数线性地减小 ($0\sim 60^{\circ}\text{C}$ 约减小 2%)。根据这一感温特性和 (1) 式, 当流过铂电阻的电流为 5 mA 时, 可知该电路将成为 $1\text{ mV}=1^{\circ}\text{C}$ 的温差计。图 2.3 是 $R=4.64\text{ k}\Omega$ 时, 不同温度下电流源应供给的电流值。由于铂电阻温度计的感温特性从 -200°C 起大体是线性变化的, 因此, 横轴取二点间的平均温度就可以了。

如图 2.2 所示, 因为电阻变化率随温度变化很小, 若测量值允许 1% 误差时, 即使平均温度变化 $\pm 30^{\circ}\text{C}$, 电流 I 也可以不变 (误差认为是零)。如不知二个测温点的确切温度, 不妨采用估计值。

当测温电阻流过 5 mA 电流时, 自热功率在 4 mW 以下。如与被测物体热接触良好的话, 自热温升仅为 0.01°C 。另外, 由于二个测温电阻的发热程度相同, 影响互相抵消, 误差就更小了。

为评价此温差计的性能, 做了下面二个实验。第一个实验的目的是确认温度系数的偏差。在装有加热器的油槽 (图 2.4) 中, 插入本文所述的温差计 (测量电路见图 2.5) 和双通道石英晶体温度计探头, 一面改变油槽温度一面测量温差。

实验结果如图 2.6 所示。温差值本来应该等于 0, 但实测的最大值约为 0.005°C 。用该

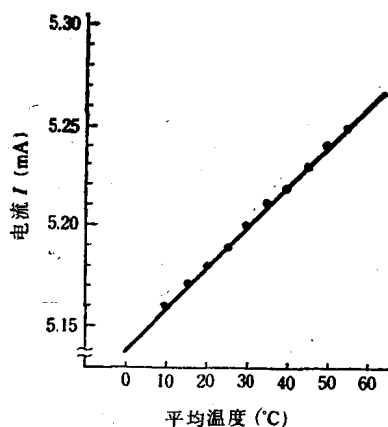


图 2.3 1 mV 代表 1°C 的温差计所需的电流值 ($R_{t_0}=100\Omega$)

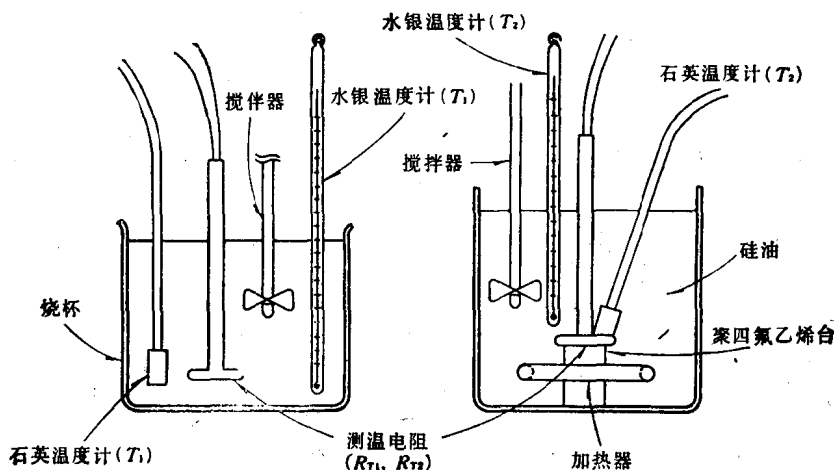


图 2.4 评价温差计性能的实验

温差计测出的温差值比石英晶体温度计测出的温差值小一些。

实测值比想象的要大一些, 这可能是由于油槽加热控制是简单的开关控制, 槽温波动较大造成的。从图 2.6 结果推出: 测温电阻的离散性小于 0.005°C 。