

敏感元件专辑



电子工业科技委敏感元件咨询组
电子工业部一四四九所
电子工业部电子陶瓷情报网

序 言

“国外电子敏感元件与应用”是介绍近几年国外发展很快的电子敏感元件传感技术发展及其应用的书籍，是配合电子工业部科学技术委员会元件组技术咨询工作而组织编译出版的。

赵紫阳总理指出：“经济振兴必须依靠科学技术进步”“科技工作要面向经济建设”。电子敏感元件是有敏锐感知的新型功能转换（非电量转换为电量）元件，电子敏感和传感技术是发展很快的新兴边缘学科的行业，对科学技术进步有很好的促进作用。因为它能将光、热、力、磁、超声、气氛、射线等物理、化学和生物反映的信息量转换成电或其他信号，具有优越的能量转换功能，在工农业生产、能源和资源开发、医疗环保、气象和灾害预测、交通运输、自动控制检测、民用电器等方面有广泛用途，也是信息技术、电子计算技术实现智能

化各种参量输入不可缺少的功能转换元件，被誉为八十年代深入社会生产和生活领域最有代表性的大量生产的商品，受到世界各国的普遍重视。电子敏感元件传感技术在我国四化建设中将有极大的社会潜在需要，对农业、能源、交通、教育、科学五大战略重点是为不可少的新技术。因为电子敏感元件传感技术的应用，是提高科学技术和生产技术水平及经济效益的有效手段，在实现科学技术现代化和经济振兴中会起到很好的作用，电子敏感元件传感技术的重要地位会越来越突出。

本书的编译出版也是适应电子行业和其他行业的工程技术人员、管理人员、领导干部了解和借鉴国外先进技术，开发新产品新应用的参考。由于时间比较短，内容比较广泛，难免有不少缺点和错误，请广大读者批评指正。

陈克恭 1983年1月

参加编译、审校者及有关单位

陈克恭 胡文炯 巫智方 李远 莫以豪 黄得星 沈松源 周志刚 吴瑞林 周东祥
王德甲 方秀锋 连俊有 陈永常 潘主清 何爱莉 陈桦毅 张文保 张福学 钱锋
赵雪峰 王刚

国营七一八厂 江苏无线电研究所
1449所 哈尔滨通江晶体管厂
山东大学物理系电介质教研室 薪

目 录

第一章 电子敏感元件发展概述

§ 1-1 传感功能材料的现状及发展动向	(1)
§ 1-2 敏感元件工程的展望	(9)
§ 1-3 敏感元件技术进步及其应用范围	(10)
§ 1-4 从公开专利及学会论文来看敏感元件的研究开发方向	(11)
§ 1-5 研制超过人类智能的敏感元件	(14)
§ 1-6 电子敏感元件市场动向	(17)
§ 1-7 敏感材料和敏感元件的研究与发展	(18)

第二章 光敏元件与传感器

§ 2-1 光敏元器件	(24)
2-1.1 光敏电阻器	(24)
2-1.2 光电晶体管	(29)
2-1.3 光电倍增管	(32)
2-1.4 红外检测器	(35)
2-1.5 非晶半导体光敏元件及其应用	(40)
2-1.6 MOS、CCD 及其他固体摄像器件	(44)
2-1.7 其他光电器件	(46)
§ 2-2 光电传感器及其应用	(47)
2-2.1 光电开关	(47)
2-2.2 光纤光电开关	(51)
2-2.3 光耦合器	(56)
2-2.4 光电断续器	(56)
2-2.5 太阳能电池	(57)

第三章 热敏元件与应用

§ 3-1 PTC热敏电阻器	(58)
3-1.1 PTC热敏电阻器的制造方法	(58)
3-1.2 PTC热敏电阻器的改进	(58)
§ 3-2 NTC热敏电阻器	(65)
3-2.1 $\text{CdO-Sb}_2\text{O}_3\text{-WO}_3$ 和 $\text{CdO-SnO}_2\text{-WO}_3$ 系NTC 热敏电阻器	(65)

3-2.2	临界转变温度约为 140℃ 的热敏电阻器	(66)
3-2.3	用于NTC热敏电阻器的计算图	(68)
§ 3-3	高温热敏电阻器	(71)
3-3.1	PrFeO ₃ 系高温热敏电阻器	(71)
3-3.2	氧化铽—氧化钇高温热敏电阻器	(73)
3-3.3	MgAl ₂ O ₄ -MgCr ₂ O ₄ -LaCrO ₃ 或〔(LaSr)CrO ₃ 〕系高温热敏电阻器	(74)
3-3.4	高温传感器	(77)
§ 3-4	薄膜热敏电阻器	(79)
3-4.1	薄膜热敏电阻器的制造方法	(79)
3-4.2	新型热敏电阻器	(80)
3-4.3	硼热敏电阻器	(86)
§ 3-5	有机热敏电阻器	(88)
3-5.1	有机热敏半导体材料	(88)
3-5.2	有机热敏半导体材料的合成及其电阻—温度特性	(89)
3-5.3	有机热敏半导体材料作为定时元件的应用	(91)
3-5.4	热敏定时元件的制作及其应用	(92)
§ 3-6	锗半导体热敏电阻器	(95)
3-6.1	用本征锗制造的新型精密热敏电阻器	(95)
§ 3-7	热敏元件的应用	(98)
3-7.1	各类热敏电阻器的分类、检测性能和应用范围	(98)
3-7.2	接触型温度传感器	(98)
3-7.3	适用于多功能传感器的测温热敏电阻器	(101)
3-7.4	陶瓷PTC热敏电阻器的应用	(103)
3-7.5	NTC和PTC热敏电阻器的应用	(106)

第四章 力敏元件

§ 4-1	概述	(112)
§ 4-2	力敏元件的种类	(112)
§ 4-3	压力传感器的原理、结构与性能	(113)
4-3.1	压电式压力传感器	(113)
4-3.2	半导体压力传感器	(114)
4-3.3	电容式压力传感器	(119)
§ 4-4	加速度传感器的原理、结构与性能	(120)
4-4.1	压电式加速度传感器	(120)
4-4.2	半导体加速度传感器	(121)
4-4.3	电容式加速度传感器	(121)
§ 4-5	发展动向	(122)

§ 4-6 压电晶体压力传感器	(124)
4-6.1 电压输出式压力传感器	(124)
4-6.2 电压输出式压电硬币传感器	(125)
4-6.3 汽车点火和检测中冲击的电压输出式压力传感器	(126)
4-6.4 电压输出式高温加速度表和压力传感器	(129)
4-6.5 频率输出式压力传感器	(131)
4-6.6 频率输出式声表面波压力传感器	(131)

第五章 磁敏元件及应用

§ 5-1 磁电转换元件	(136)
5-1.1 Si霍耳集成电路	(136)
5-1.2 高性能的 GaAs 霍耳元件	(136)
5-1.3 InSb薄膜霍耳元件	(136)
5-1.4 InSb单晶霍耳元件	(136)
5-1.5 InSb磁阻元件	(137)
5-1.6 磁敏二极管	(137)
5-1.7 其他	(137)
§ 5-2 半导体磁传感器	(137)
5-2.1 霍耳元件	(138)
5-2.2 磁阻元件	(138)
5-2.3 单向磁传感器	(139)
5-2.4 磁敏晶体管	(140)
§ 5-3 飞跃发展的固体磁传感器	(141)
5-3.1 霍耳元件和磁阻元件的应用领域	(141)
5-3.2 霍耳元件在直接驱动电机、空调机、控制机器中的应用	(141)
5-3.3 GaAs 霍耳元件的进展	(142)
5-3.4 磁带录音机用霍耳集成电路	(143)
5-3.5 数字再生用磁阻元件的进展	(143)
5-3.6 检测旋转位置和角度的霍耳元件和磁阻元件	(144)
5-3.7 I/O 符号识别用磁阻元件	(145)
§ 5-4 日本霍耳元件业大幅度增产体制	(145)
§ 5-5 各种磁传感器的应用实例	(146)
5-5.1 MS-A 形的应用——字字识别传感器	(146)
5-5.2 MS-0501、1201 的应用实例——旋转检出传感器	(147)
5-5.3 MS-C 的应用实例——长度、旋转角度检测传感器	(148)
§ 5-6 半导体磁传感器功能一览表	(149)
§ 5-7 半导体磁电效应的应用	(149)
5-7.1 使用霍耳元件的高斯计	(150)

5-7.2 钳式电流表.....	(150)
------------------	---------

第六章 湿敏元件

§ 6-1 概述.....	(151)
6-1.1 湿敏元件的优点.....	(151)
6-1.2 应用领域.....	(151)
6-1.3 理想化的性能要求.....	(152)
§ 6-2 电解质(氯化物)湿敏元件.....	(152)
6-2.1 氯化锂湿敏元件.....	(152)
6-2.2 浸渗式氯化锂湿敏元件.....	(153)
6-2.3 自热式氯化锂湿敏元件.....	(154)
§ 6-3 胀缩物湿敏元件.....	(155)
6-3.1 羟乙基纤维-碳湿敏元件.....	(155)
6-3.2 结露敏感元件.....	(155)
§ 6-4 有机高分子膜湿敏元件.....	(158)
6-4.1 HMP—14UT 相对湿度探头.....	(158)
6-4.2 醋酸纤维有机膜湿敏元件.....	(158)
6-4.3 测量皮肤汗量用有机膜湿敏元件.....	(159)
6-4.4 三氧化二铁-聚乙二醇湿敏元件.....	(160)
6-4.5 具有加热器的高分子湿敏元件.....	(161)
6-4.6 有机高分子膜湿敏件的环境试验.....	(161)
§ 6-5 金属和金属氧化物湿敏元件.....	(162)
6-5.1 氧化铝湿敏元件.....	(162)
6-5.2 钽电容湿敏元件.....	(163)
6-5.3 四氧化三铁湿敏元件.....	(164)
§ 6-6 陶瓷湿敏元件.....	(164)
6-6.1 H104 型锌尖晶石陶瓷湿敏元件.....	(164)
6-6.2 铬酸镁-二氧化钛陶瓷湿敏元件.....	(166)
6-6.3 二氧化钛-二氧化锡陶瓷湿敏元件.....	(168)
6-6.4 氧化锌-三氧化二铬陶瓷湿敏元件.....	(170)
6-6.5 二氧化钛-五氧化二钒湿敏元件.....	(171)
6-6.6 铁铝酸镁湿敏元件.....	(172)
6-6.7 四氧化三钴-二氧化钛湿敏元件.....	(173)
6-6.8 三氧化二铁-氧化钾-三氧化二铝陶瓷湿敏元件.....	(174)
6-6.9 磷灰石湿敏元件.....	(175)
§ 6-7 其它类型湿敏元件.....	(176)
6-7.1 铌酸锂晶体湿敏元件.....	(176)
6-7.2 绝对湿度传感器.....	(177)

6-7.3	湿球温度计	(178)
6-7.4	硅-氮化硅-有机高分子膜湿敏元件	(179)
6-7.5	MOS 型 氧化铝湿敏元件	(180)
6-7.6	温湿度传感器	(181)
§ 6-8	湿度检定方法和设备	(182)
6-8.1	湿度表示法	(182)
6-8.2	干湿球检定方法	(182)
6-8.3	饱和盐溶液检定方法	(182)
6-8.4	两个温度湿度发生设备	(183)
6-8.5	两个压力湿度发生设备	(184)

第七章 气敏元件与应用

§ 7-1	概述	(187)
§ 7-2	气敏元件的分类	(188)
7-2.1	乾式气敏元件	(188)
7-2.2	湿式气敏元件	(189)
§ 7-3	气敏元件的结构和特性	(190)
7-3.1	SnO_2 型气敏元件	(190)
7-3.2	ZnO 型气敏元件	(192)
7-3.3	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 型气敏元件	(193)
7-3.4	接触燃烧式气敏元件	(193)
7-3.5	薄膜型气敏元件	(195)
7-3.6	CFT 型气敏元件	(195)
§ 7-4	半导体式气敏元件的工作原理	(195)
§ 7-5	气敏材料与气体种类的识别关系	(196)
7-5.1	SnO_2 系材料	(197)
7-5.2	ZnO 系材料	(198)
7-5.3	Fe_2O_3 系材料	(199)
§ 7-6	气敏元件的测试方法	(199)
§ 7-7	气敏元件的应用和注意事项	(200)
7-7.1	使用特性	(200)
7-7.2	气敏元件的应用	(202)
7-7.3	使用注意事项	(204)
§ 7-8	气敏元件的发展方向	(206)
7-8.1	材料开发和性能的改进	(206)
7-8.2	今后展望	(208)

第八章 压敏电阻器

§ 8-1 压敏电阻器的主要特性	(210)
§ 8-2 压敏电阻器的种类	(211)
§ 8-3 氧化锌压敏电阻器	(217)
8-3.1 氧化锌压敏电阻器的导电机理	(217)
8-3.2 氧化锌压敏电阻器的材料	(217)
8-3.3 氧化锌压敏电阻器的制造工艺	(218)
8-3.4 氧化锌压敏电阻器的结构	(219)
8-3.5 氧化锌压敏电阻器的应用	(221)

第九章 其他电子敏感元件和传感器

§ 9-1 颜色传感器	(229)
§ 9-2 紫外线传感器	(230)
§ 9-3 触觉传感器	(231)
§ 9-4 利用光散射现象的传感器	(232)
§ 9-5 光纤声传感器	(233)
§ 9-6 酶传感器	(234)
§ 9-7 微生物传感器	(235)
§ 9-8 流速计—转速传感器	(238)
§ 9-9 降雨量传感器	(239)
§ 9-10 级配微粒吸附型传感器	(241)

第十章 医用敏感元件与传感器

§ 10-1 医用传感器	(244)
10-1.1 概述	(244)
10-1.2 生物电测定用传感器	(244)
10-1.3 血压测定用传感器	(245)
10-1.4 血流测定用传感	(246)
10-1.5 心博输血量测定用传感器	(247)
10-1.6 心博数测定用传感器	(247)
10-1.7 血中氧浓度(或氧饱和度)测定用传感器	(247)
10-1.8 体温测定用传感器	(247)
10-1.9 阵痛计	(248)
10-1.10 眼球运动测定计	(248)
10-1.11 人体水分蒸发测定仪	(248)

10-1.12	生物体磁测定仪	(249)
10-1.13	血液中的pH、PCO ₂ 的连续监测仪	(249)
10.1.14	多现象记录仪	(249)
10-1.15	医用测量装置中的传感元件	(249)
10-1.16	用于病人恢复期的控制运动量过度传感器	(250)
10-1.17	代触觉装置中的传感元件	(250)
10-1.18	医用敏感元件的将来	(251)
§ 10-2	医用检测固定化酶传感器	(251)
10-2.1	概述	(251)
10-2.2	酶传感器的原理	(251)
10-2.3	固定化酶传感器的结构	(252)
10-2.4	医疗检测用固定化酶敏感元件	(252)
10-2.5	采用固定化酶敏感元件的基质测定方法	(253)
10-2.6	全血式快速血糖分析装置	(253)
10-2.7	全血式尿酸分析装置	(254)
10-2.8	固定化酶敏感元件的进展	(256)
§ 10-3	在医疗技术中应用的压电力敏传感器	(257)
10-3.1	检测啮力的压电换能器	(257)
10-3.2	胎儿心音换能器	(259)
10-3.3	子宫收缩监视传感器	(259)
10-3.4	压电血压传感器	(259)
10-3.5	腰带式小儿呼吸监视器	(262)
10-3.6	插入式压电陶瓷助听器	(263)
10-3.7	听诊器	(264)
10-3.8	肺音检测装置	(264)
10-3.9	压电鞋	(265)
10-3.10	测量小生物心脏跳动的压电传感器	(266)

第一章 电子敏感元件发展概述

§ 1-1 传感功能材料的现状及发展动向

1-1.1 引言

第二次世界大战之后,我国引进了国外技术谋求经济的发展。但自1973年开始,世界上发生了“石油冲击”,因此从能源有限的观点出发,对技术的开发问题,有必要从根本上重新评价。

从1955年到“石油冲击”的1973年,此间经济增长率以每年约为10%的高速度增长,此后的几年稳定在每年5~6%之间。因此为适应社会的需要,在技术开发上也有必要进行革新。

最近,有关调查机关对今后十年的重要技术开发问题进行了调研。调研结果表明:第一位是传感器;第二位是大规模集成电路,其次是复合材料、陶瓷、光导纤维及超小型电池。从这个结果来看,与此有关的技术将会引起各界的极大关注,这一点是不难想象的。

人类文明生活用的各种“机具”,都是由各种各样的材料构成的。就拿我们身边的电话为例,每台电话机所使用的金属、高分子材料就有三十种之多。

与各种“机具”的情况一样,传感器也是由各种各样的材料构成的。

最近,人们正在尝试把传感技术作为一门独立的学科向着系统化方向发展。因此,传感工程学及功能材料工程学(敏感材料是功能材料的一种)之间的关系越来越密切了。

以前是把“传感技术”作为“测量技术”的一部分来处理的。但是,新的传感工程学是以物理中的“效应”“现象”,化学中的反应,以及生物学中的各种理论等作为理论基础的。

例如,它们是建立在生物感觉器官等的“生物学机理”之上。为了使其实用化,就必须引入并发展新的功能材料学科——传感工程学。这一点犹如车的两个轮子,缺一不可。而这种传感工程学也象核电站这样的综合技术分散处理很多学科分支一样,是由各学科组成的。

目前,与传感技术有关的学科,如粮食资源、能源、环保、灾害预报、医学等是十分广泛的。例如侦察犯人作案用的“跟踪器”,地震预报用的测试仪等各种传感器不胜枚举。但这种称为“传感”的复杂技术,与使用这一字眼“传感器”的人们的想象是有相当大的区别的,甚至有着千差万别。

这种传感工程是依赖于材料科学的进步而向前发展的。它的宗旨就是在今天复杂多变,不断更新的科学技术的基础上,为对事物的本来面目进行客观而精确的观察、检测提供各种先进的方法和手段。

本文将就传感工程学的重要作用以及传感功能材料的现状及动向进行研讨。

1-1.2 传感技术的定义

传感器之名已早为人所知,但其定义在此之前尚无定论。在此,笔者试给传感器定义为:能够感知、并检出被观测对象之信息的机器称为传感器”。

若将定义进一步具体表述,则传感器就是指能够代替人的五官(视、听、嗅、味、触)来完成某些功能的机器,同时即使人的五官不能感知的现象(例如红外线等电磁波,小能量的超声波等)也能感知,而且对于远远超出人

的五官所能感知的高能量现象也能够检出，这类机器均为传感器。

对于解决这些传感技术的传感工程学，依笔者之见，应该包括研究信息检测机理的某些物理现象、化学反应以及生物学中的生物反应等。并利用它们使各种材料达到实用化的目的，同时也要考虑使之在工程学中系统化。

不言而喻，这种传感工程学的研究成果无论是对自然科学还是社会科学都将产生极大的影响，而且这种协调某些分散技术的传感工程学也会随着新的社会需要，可望向着更高的水平发展。

例如，面临200海里领海主权的时代，对于被迫由捕鱼转向养鱼的水产界来说，为了高效率地繁殖，今后必然会出现所谓“鱼类诊断学”之类的新学科。在这种“鱼类诊断学”之中，早期发现鱼的异常现象，判别雌雄等传感技术都是其中的重要技术。因此，新的传感工程必须考虑形成新的学科体系。

这种传感工程学，在当今文明社会的各个领域中都正在形成不可缺少的新学科，从而可使今后信息社会中的情报处理工程、控制工程等都能有飞跃的发展。象这样的传感工程也可称为“信息预报工程”，也即情报检测工程。

因此，传感器的概念不象在最新的“JIS Z 8103 计测术语”（1978）中所定义的（传感器为互换器中既能计量又能传递信息的变换工具）那样狭义，而应是笔者提出的“能感知并检出检测对象之信息的机器”，是比较恰当的。

1-1.3 传感技术及材料技术

在研究传感技术的同时，有必要对一般的物理现象进行重新评价。

可以在传感器的传感元件中应用的，如压力敏效应、光电效应、磁电效应等许多物理现象，都可以看成是物质的能量变换状态（参看图1-1）。

作为图1-1(a)中所示之物质的例子，有人造单晶硅酸锂钙。这种单晶被紫外线照射即可发出橙色的萤光，因此可用其作为紫外线传感器材料。同样铌酸锂可作为图1-1(b)中之物质的例子。

使用作为A状态能量的超声波、B状态能量的白光加于某物质之上，即可产生干涉谱线。在这种情况下，铌酸锂可用做制造研究光谱图样用的敏感元件材料。

类似于这样的与材料技术有密切关系的新传感技术的研究应该考虑下面三种情况：

(1) 在原有的材料中发掘新的“效应”、“现象”或“反应”等，并把这些“现象”应用于传感技术，使之实用化。

(2) 依赖新发现的材料，利用老的“效应”、“现象”等研制新的传感元件，并使之实用化。

(3) 利用新材料、新效应于传感技术中，并使之实用化。

作为上述第三种情况的例子，如“约瑟夫逊效应”。这种效应即众所周知的超导态下的隧道效应。它就是由于超导材料的发现而发现的。目前，世界各国对此都在做应用方面的尝试。其中与传感技术有关的，在检测极微弱磁场的技术方面已经部分实用化。

为使类似于这样的传感技术得以有较大的发展，把传感技术作为一种专门的传感工程学科来研究是很有必要的。

这种传感工程，正如上面所说的是与材料技术有很大的依赖关系的。现在，我们把传感功能与材料的关系用三维坐标来讨论：x轴代

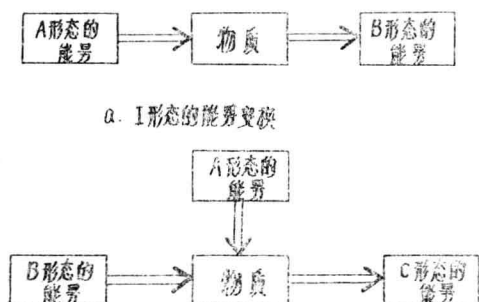


图1-1 电子物理现象的能量变换形态

表1-1 “效应”一览表

分类	效应	变换
光系	塞曼效应 斯塔克效应 多普勒效应 布里渊效应 非线性效应 光参量效应	光→磁 光→电 声·光→f 光→光 λ=λ ₁ +λ ₂
声学系	声电效应 声磁效应 碰撞、阻力效应 △E 效应 屏蔽效应 衍射效应 グレイビッチ效应	声→电 声→磁 声→金属 声→力 声→声 声→温度 电→声
半导体关系	隧道效应 阿基效应 霍奇效应 齐纳效应 电子雪崩效应 自身偏压截止效应 电场效应 电子枪效应 斜沉淀场效应 阴影效应 约瑟夫逊效应	电>1nm 电·半 电·半 " " " 电·淀积 电·电波 淀 "
金属关系	集肤效应 アズベルツキ・カナー效应 体积效应 伏打效应 カルゼツキ・オネススライ效应	f→电·磁 温→电 金属→电 物→电 金粉
分类	效应	变换
磁系	麦斯南效应 巴克好森效应 磁热效应	温→磁 温→声 磁→热
热系	塞贝克效应 珀耳兹效应 汤姆逊效应 热电效应	温→电 电→土 温→土 热→土 热→电
光电系	光传导效应 光电子发射效应 登巴效应 光电磁效应 贝克福耳效应 ポツケルズ效应	光→R 光→电 光→电子 光→磁 光→电 光→电 光→光
光电系	克尔效应 ゲッラントリオ效应 デストロイオ效应 クロゼン效应	电·光→n 光·电→光 电→光 电→光
磁电系	霍尔效应 磁阻效应 平面霍尔效应 苏尔效应 艾廷豪森效应	磁·电→电 电·磁→R 电→电 电·磁→f 电·磁→温度
磁光系	法拉第效应 振动性磁光效应 科登—穆登效应	磁→偏光 磁→f 光磁→n
热磁系	能斯脱效应 リーギ・ルクワット效应	热磁→电 磁→温
磁致伸系	焦耳效应 维拉利效应 维德曼效应	磁→畸变 磁力→磁 磁→畸变
分类	效应	变换
压电系	压电效应 反压电效应 压阻效应	压→电 电→畸变 压→R
电子发射系	爱迪生效应 热电子效应 散射线效应 闪烁效应 のロツト效应 克拉曼效应 胃腺基效应 空间电荷效应	热→电子 热→电 电→噪声 电→噪声 电→音 温度→电子 物·电→电子 电场→电荷
铁电体效应	中肯效应 サツワク效应 滞后效应 ゾヨシ效应 约翰逊—拉贝克效应	物→f 电→液 电·磁→力 光→铁电 电·半→力
放电机系	贝宁效应 马尔特效效应 周边效应 ラムザウア・タウソゼント效应 尖聚效应	物(气体)→电 物→电子 电→放电 电子(2.98V) 磁的聚焦
放射能系	アウガー效应 康普登效应 穆斯保尔效应	X射线→电子 X线→物→X线 γ线发出吸收
化学系	利登效应 中性盐效应 饱和效应 直流效应	偏 R→n 离子浓度 电磁波吸收 电 DC→

表物理学中的“效应”或者化学中的“反应”等；y轴代表材料；z轴代表传感功能。例如：x轴上的威德曼效应（Wiedemann）与y轴上的磁性材料组合，就可以在z轴上得出所谓“产生脉冲电压”的功能。同样，x轴上的“约瑟夫逊效应”与y轴上的超导材料结合，就可以产生“超微弱磁场检出”的功能。这种功能可用于与人的“心电图”相对应的“心磁图”的检测技术上。

因此，传感技术或叫“传感工程学”是与材料技术或曰材料科学是有很深的依赖关系的。

表1-1所示是以物理学中的效应为主的例子。把这些效应与不同的材料组合，就会得出各种各样的功能。

特别是目前材料的概念也与原有的概念大不相同。现在的材料多指以高性能为目标的“结构材料”和以多功能为目标的“功能材料”。可以预料，后者将会给传感工程以极大的影响。

所谓“功能材料”的概念，可以说是与“结构材料”相对应的，而可被应用的材料的统称。具体的意义是：通过改变材料的组分、结构、添加剂及其制造工艺等，赋以材料以有用的机能。由此而得到的具有特殊价值的高性能的集合材料，即为功能材料。

再有依本人之见，构造材料与功能材料的关系如图1-2所示。当然，与上面的分法不同

的是，若把材料分为无源型及活动型的话，则前者即为“结构材料”；而后者即为“功能材料”。在这种情况下也有介于“结构材料”与“功能材料”之间的材料。而且材料本身也可能具有一种以上的功能。由于材料向着多功能化发展，那么从目前的观点来看，是“结构材料”的，5~6年后可能会成为功能材料。相反，现在为功能材料的，5~6年之后，当然也有可能被看作单纯的结构材料，

这就是说，同一种材料的意义随着时间的变迁也可能有所变化。

1-1.4 传感功能材料的种类及其开发手段

传感功能材料从大的方面分，可分为有机传感功能材料，无机传感功能材料和金属传感功能材料。但是，各种功能材料的开发都是通过控制原子、分子的排列，使材料更加薄膜化、小型化、纤维化、气孔化、复合化等手段进行的。采用这些方法，就是使其电磁传感功能更加显著，或使之光导传感更加显著等。

通过象这样对传感功能材料的研究，依靠改变材料的形态，使之附加如光学、电磁、音响、热、分离、吸收、力学、输运、载体、化学、生物等新的功能是完全可能的。

例如，铁磁性体的铁氧体材料微小型化即可使其变为顺磁体。在这种微小型化了的粒子中，加入作为界面活性剂的有机薄膜，并在硅油中使其分散为胶体状即可形成磁性流体。利用这种磁性流体的特殊功能，就可对功能材料的新的应用进行研究。另外，使有机高分子材料薄膜化，可以在物质分离中用做过滤器材料及用作传感功能材料。这方面已有部分在实际使用。

另外，在材料中施加某些物理能量，例如热能，则可能使材料中放出其他物理能量，例如红外线等。据此可以制成新的敏感元件。

这样，施加不同的物理量，就可能使材料得到不同的功能。表1-2所示，为改变无机材料的形态而提高功能的例子。表1-3为对

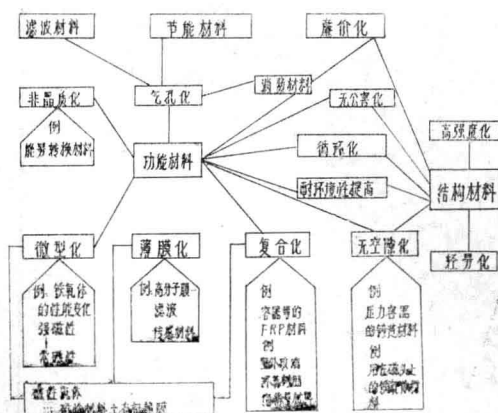


图1-2 结构材料与功能材料的关系

无机材料中施加不同能量而改变功能的例子。

【表 1-2 无机材料的形态与功能的关系

形态	薄膜化	微小化	纖維化	气孔化	复合化	无孔化	其 它
功能	选择吸收膜	玻璃小珠	光学纖維	二次电子倍增管	表面拆出	透光体激光台	电容器
光学	透明电极	磁性粉末	BN 陶瓷	热电子发射材料	热电子发射材料	热电子发射材料	热电子发射材料
电磁	透明电极	磁性粉末	BN 陶瓷	热电子发射材料	热电子发射材料	热电子发射材料	热电子发射材料
音响	超声波元件	吸音材料	吸音材料	隔音材料	隔音材料	隔音材料	隔音材料
热	滤波材料	高强度材料	强化材料	FRC 金属陶瓷	耐磨损材料	粘附材料	粘附材料
分离吸收	表面硬化材料	高强度材料	强化材料	FRC 金属陶瓷	耐磨损材料	粘附材料	粘附材料
力学	表面硬化材料	高强度材料	强化材料	FRC 金属陶瓷	耐磨损材料	粘附材料	粘附材料
输送载体	表面硬化材料	高强度材料	强化材料	FRC 金属陶瓷	耐磨损材料	粘附材料	粘附材料
化学	表面硬化材料	高强度材料	强化材料	FRC 金属陶瓷	耐磨损材料	粘附材料	粘附材料
生物体	表面硬化材料	高强度材料	强化材料	FRC 金属陶瓷	耐磨损材料	粘附材料	粘附材料

正如两表所示，功能材料与传感器之间是有很深的关系的。把这些功能材料用于传感装置就有可能提高其性能。

其次，从材料科学系统中功能材料的开发

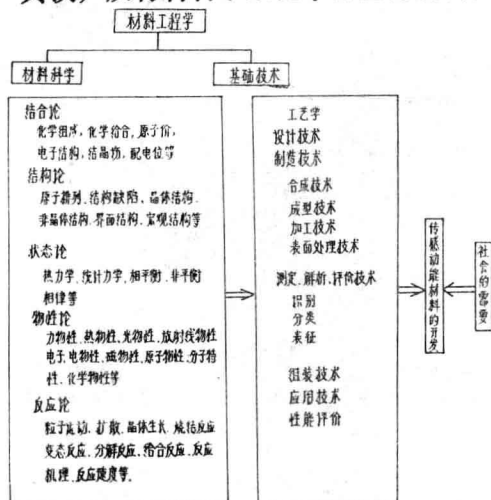


图 1—3 从材料工程学体系出发对传感器功能材料开发的探讨

表 1-3 无机功能材料与传感技术

输入	机械能	热	光	放射线	声	化学	电	磁
输出	机械能	热	光	放射线	声	化学	电	磁
机械能		隔热材料蓄热体	选择吸收膜	线量计	声光元件	化学发光体	压电元件	磁致伸缩元件
热		红外发射体	萤光体(激光玻璃)偏光元件透明体反射体	反射材料吸收材料减光材料	吸音材料	催化剂	发热材料	发热体
光							红外线发射体	磁光元件
放射线							发光体	
声							发光体	
化学							发光体	
电							发光体	
磁							发光体	

来看（如图 1—3 所示），显见传感功能材料的开发乃是以材料科学为基础的，也是物理学中的“效应”，化学中的“反应”等的应用与社会需要相结合的结果。

由此可见，在传感工程中，材料工程是占据相当大的比重的。

1-1.5 传感功能材料的应用实例

如前节所述，某些有机物系列开发为传感功能材料的方法有两种，即依赖改变材料的形态及在材料中施加某种能量，根据能量的变化而感知信息。

这里，后一种依靠能量变换的方法，使某些有机物成为传感材料是可能的，如表 1-4 所示。可见，有机物是可以作为传感材料的。这里限于篇幅，仅就下面二、三例加以说明。

表 1-4 中，如机械的压力转变为电能的例子。目前，常用于这方面的材料，众所周知

的有石英、罗息尔盐类及 PZT 等。

作为有机物压电体,虽然有很多报告说,许多高分子材料都具有压电性,但压电性都很小。其中,乙烯基重聚物有可能得以实用化。把这些乙烯基重聚物在高电压下进行热处理(还原处理),可使之成为驻极体。但与无机物相比,其压电效应仍然较小。但高分子具有优良的加工性能,可以大面积薄膜化,弯曲化,特别是它可以在膜的特定部分使之压电体化。利用这些优点,目前已经半实用化了。

其次,是具有热能—电能变换的热电性。作为温度传感器,很早就在使用。已经发现,经多重聚合的某些乙烯基有机物驻极体,也具有热电性。他们的热电性与无机物热电体相比虽然较差,但可利用其大面积薄膜化的优点,正在红外传感器方面试用。

其他能量转换的例子,如光电变换,半导体高分子材料。以往,高分子材料总是作为绝缘体来使用的,但经高温热处理之后的某些高分子却呈现出导电性。有关电导性高分子材料,目前正在研究之中,将有可能被用来作为传感材料使用。

再有,无机传感材料同有机传感材料一样,可应用能量变换的原理,把信息检测出来。无机材料适用和可能适用的传感功能,如表 1—5 所示。可见,无机材料适用的传感功能很多。为篇幅所限,这里也仅举如下二、三例说明之。

作为输入热能,输出电能变换材料的例子,如在 ZrO_2 中添加 CaO 烧成稳定的烧结体即可。这种烧结体为保持电中性,会产生氧缺位,而形成氧离子电导。利用这种特性可以做成高温热敏电阻。

除以 ZrO_2 系列为代表的氧离子导电体外, Al_2O_3 、 MgO 及具有迁移氧化物的尖晶石结构和以 $BaTiO_3$ 为主体的钙钛矿结构的电子导体等都可以用做高温热敏电阻。

其次,作为热磁变换材料的例子,有 $Mn-Zn$ 及 $Ni-Zn$ 系列等铁氧体材料。这些材料由于在居里点附近导磁率及磁饱和密度都会发

表 1-4 有机功能材料与传感技术

输入/输出	机械能	热	光	放射线	声	化学	电
机械能	振动衰减(防振橡皮)	存储	光伸缩				压电薄膜
热	绝热膨胀压缩(氟里昂等)	蓄热	光异性化引起的储热			燃烧	发热
光	感压发色(感压片液晶)	热色发色(液晶)	光色波长选择吸收荧光、磷光发色	发光(葱)		化学发光	液晶电色
放射线							
声					吸音(发泡体)		压电滤波
化学		磨蚀	光抗蚀剂光合成光分解光存储	X射线抗蚀剂射线抗蚀剂		酶	
电	感压(驻极体、橡胶)	热电(PVDF)热敏电阻温度开关	光感应电力光电导(电子照像)		驻极体(P-VDF)	生物化学电池(微生物电池酶电池)	蓄电(续流)Q 开关

表1-5 无机功能材料与传感技术

输入/输出	机械能	热	光	放射能	声	化学	电	磁
机械能							压电元件	磁致伸缩元件
热		隔热体蓄热体	选择吸收膜				发热材料	发热体
光		红外线发射体	萤光体(激光、萤光玻璃)偏光元件透明体反射体光色	线量计闪光器	声光元件	化学发光体	红外发射体萤光半导体激光	磁光元件
放射线				反射材料吸收材料减速材料				
声					吸音材料			
化学			感光玻璃光化学效应			催化剂		
电	压电元件变阻元件	固体电解质材料热电元件	电光效应光电导性材料太阳能电池	传感材料	传感材料	传感材料固体电解质	延迟元件绝缘材料磁泡铁氧体	传感材料
磁	磁致伸缩元件					传感材料		磁屏蔽

生急剧的变化，因此可用这个原理作为温度传感器用。

此外，还有光—光变换的无机激光材料，光—电变换的无机红外传感材料等。

光电导是由于光的照射，使载流子浓度增加，从而使物质的电导增大的现象。最常用的材料为CaS，此外Ⅱ—Ⅳ族、Ⅲ—Ⅴ族等元素也有这种特性。

光电导效应、光释电效应除用于红外传感器之外，尚可用于测辐射热计，热释电元件，热敏电阻以及红外指示器等。

在使用上述无机材料的传感器中，尚有使用热敏材料的温度传感器、使用氧化物半导体陶瓷材料的气体传感器、使用压电陶瓷的压力传感器、以及振动传感器等。

这些传感器都是利用了半导瓷的独特性质，如：晶粒边界、表面态等。特别是在材料的检验技术中正在使用的AE法，其中AE传感器也是使用压电陶瓷。

下面再介绍金属系传感功能材料。与有机、无机材料一样，都是使用能量转换的原理来检出各种信息的。应用金属功能材料的例子，如表6所示。同样可见，这方面的材料很多，这里也仅举二三例说明之。

作为输入机械能输出电能的材料的例子，有加压导电橡皮。

所谓加压导电橡皮，就是使绝缘的高分子材料半导化。当温度或压力变化时，其相当的电阻也发生变化。这种导电橡皮是通过把金属或碳黑等导电粒子掺入高分子材料当中做成的复合材料。加压导电橡皮可作为压力传感器，也可作为控制电源的开关元件。

此外，还有作为热电变换的测温元件。

测温电阻材料常用于电阻温度计中。其原理，是利用电阻与温度间的关系。电阻温度计常有金属及半导体两种类型。前者为正温度系数，后者为负温度系数。

此外，还可作为热电偶。热电偶是利用了两种金属接触时的塞贝克效应，即可用两种金属

导体构成热电偶。不同的金属构成多种多样的热电偶。

还有可以用作放射线及电能转换的放射性传感器。这方面的材料有Si、Ge、GaAs、GaTe、HgI₂等。

还有磁能—光能转换的磁光材料。在磁光材料中，尚有“法拉第效应”材料等。

其他金属功能材料中与传感技术有关的尚有磁力传感器。其中，包括磁头材料、磁致伸缩材料以及感温磁性材料等。

表1-6 金属功能材料与传感技术

输入 输出	机械能	热	光	放射线	声	化学	电	磁
机械能	· 双金属材料 · 存储材料							· 磁致伸缩材料 · 磁吸引反材料
热		· 发热材料	· 聚热(光)材料				· 热电(冷却)材料	· 磁热效应(隔热消磁)材料
光			· 偏光变频材料 · 反射材料 · 感光材料			· 发光材料	· 发光(灯丝)材料	· 磁光材料
放射线				· 遮蔽材料 · 传感材料			· X射线靶材料	
声								· 磁致伸缩材料
化学						· 氢分材料 · 金属催化剂		
电	· 压电材料 · 形变电阻材料 · 转换材料	· 测温材料 · 热电材料 · 热电子发射材料	· 发电材料 · 光电变换材料 · 光导材料	· 放射线感材料		· 一次电池材料	· 接触材料 · 电子倍增材料 · 超导材料	· 磁电转换材料 · 磁阻效应材料
磁		· 测温材料						屏蔽材料
其它								· 转换材料 · 磁密封材料

1-1.6 传感技术的展望

以上几节介绍了传感技术及传感材料等。本节将对传感技术的展望作一叙述。传感技术是随着社会的发展而发展的。目前,我国国民对廿一世纪最为关心事情就是能源和粮食问题。

关于能源,假定廿一世纪后半世纪可以实现核燃料化的话,那么到那时前五十年之内自还必须依靠其他别的各种各样的能源。例如太阳、风、地热、生物资源、中小型水电站等然能源,以及煤的液化、气化,工业废热等。下面就举其中的二三例。

核燃料炉满足罗森(ローリン)条件的状态,如等离子体的温度为一亿度,持续时间为一秒,离子浓度为 $5 \times 10^{13}/\text{cm}^3$,才能与石油发电相当。但实践证明,若要做到这一点,还必须克服许多的困难。

这些新能源与传感技术的关系,即使仅限于JT-60中的主体部分,从安全出发而需要检查的信息就有温度、流量、压力、变位、振动、应力等很多方面。

另外,对于太阳能发电所用的“宝日镜”,也必须有检出太阳光的传感器。因此,对于新能源的开发来说,传感技术也是相当重要的。

另外,从粮食资源来看,随着人口的增长保障粮食供应也是一个十分重要的课题。为此,必须研究有关贮藏、加工、流通等方面的新技术。在这些方面传感技术也是相当重要的。

其次,再就传感技术的机理方面作一展望。

一般来说,传感功能大致化可分为:代替人的五官功能、检出人的五官无法感知的现象,以及感知超越人的五官能力之外的高能状态等三个方面。

到目前为止的传感器中,有代替人的五官的视听、触三觉;及检出超越人五官的高能状态的如高温、高压等的大部分传感器;还有许多与可见光、红外温度等有关的传感器。但即

使与视、触、听有关,其中与生物体有关的传感功能还很不理想。

因此,今后必须对视、听、触三觉有关的传感器作为进一步的研究。而且也要研究代替五官中的味、嗅二觉,同时也要研究检出人的五官无法感知的微小及微量信息的传感器。此外超越五官功能的第六感功能也要研究用传感器来代替。

总之,新的传感器是依据新的需要,新的理论进展而产生的,而新的理论进展与新材料有很大的关系。

生产这种新材料的新产业或叫功能材料工业,是与传感器工业、仿生工业一样,是尖端工业。因此,功能材料的发展是指可日望的。

其次,作为可望传感技术大发展的另一个基础,就是“生物机理”的揭示。例如,生物化学传感器就是其中的一例。这种生物化学传感器之一,就是离子传感器,目前,在离子检出方面所用的方法有:根据叶红素晶体电导率的

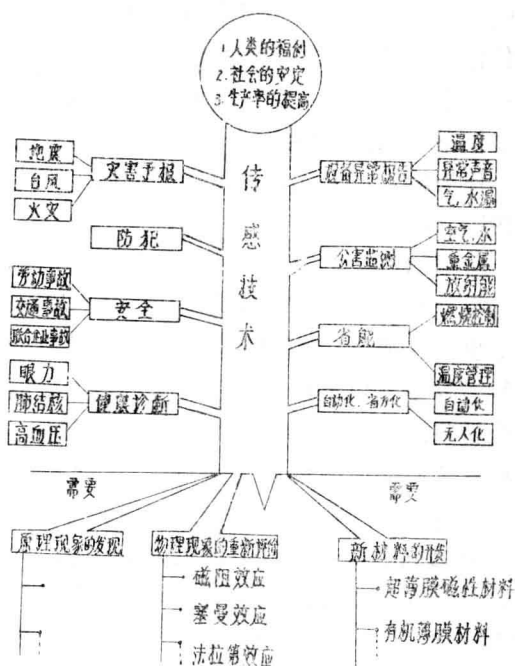


图1-4 传感技术的理论发展与需要的关系