



中等专业学校
工科电子类

规划教材

敏感元件

刘 涛 陈 鸣

东南大学出版社

敏 感 元 件

江苏刘涛学院图书馆
藏书章

东南大学出版社

内 容 简 介

本书介绍敏感元件的基本概念、主要特征、分类、命名及其应用领域。阐述了热敏、压敏、气敏、湿敏、光敏、力敏、磁敏等七大类敏感元件的基本理论、特性参数、敏感机理、主要材料,并介绍了制造工艺、典型产品的结构与性能以及应用实例,同时还指出了敏感元件的发展前景。

本书为中专电子元件及材料专业的统编教材,也可作为相应专业的技工学校及职业培训教材,同时还可作为从事敏感元件生产的工程技术人员和工人的参考书,并可供各行业从事敏感元件应用和传感器技术工作的有关人员参考。

责任编辑 冉榴红

责任校对 王小宁

敏感元件

刘涛 陈鸣

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

南京邮电学院印刷厂印刷

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 9.625 字数 250 千

1995年12月第1版

1995年12月第1次印刷

印数:1—3000册

ISBN 7-81050-118-6/TN·13

定价:15.00元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定,我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师的共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978~1990年,已编审、出版了三个轮次教材,及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神,“以全面提高教材质量水平为中心,保证重点教材,保持教材相对稳定,适当扩大教材品种,逐步完善教材配套”,作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想,组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会,在总结前三轮教材工作的基础上,根据教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1991~1995年的“八五”(第四轮)教材编审出版规划。列入规划的,以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作,由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿,其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的;其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的;其三是经过质量调查在前几轮组织编写出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会(小组)、教学指导委员会和有关出版社,为保证教材的出版和提高教材的质量,做出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评和

前 言

本教材按原机械电子工业部的工科电子类专业教材 1991~1995 年编审出版规划,由机电部中专电子技术类专业教学指导委员会征稿并推荐出版。责任编委为邓忠华。

本教材由淮阴电子工业学校和南昌无线电工业学校合编,辽宁电子工业学校才玉林高级讲师担任主审。

本课程的参考教学时数为 60 学时,全书共分八章。第 1 章概述了敏感元件的基本概念、基本特征、分类及命名、材料及通用工艺,明确了所讨论的敏感元件的范围,简介其应用领域、发展前景;第 2 至 8 章以基本现象及基本理论、特性参数、主要材料及敏感机理、制造工艺、典型产品的结构与性能、应用实例为序分别讨论了热、压、气、湿、光、力、磁等七大类敏感元件。各章均配有适量的习题,以便于教学。

本教材由南昌无线电工业学校陈鸣编写第 3、4、6 章,淮阴电子工业学校刘涛编写第 1、2、5、7、8 章并负责全书统稿。在本教材的编写过程中,得到了许多同志的指导和帮助,淮阴电子工业学校的丁勤老师协助整理了第 7、8 章的部分书稿,南京无线电工业学校的朱余钊副教授审阅了大部分初稿并提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。在责任编委不幸病逝的情况下,承蒙专业指导委员会吴雪方副主任做了后期的协调与组织工作,才使该教材得以按计划出版,在此特别致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

1995 年 6 月

目 录

1	概论	1
1.1	敏感元件的概念及基本特征	1
1.1.1	敏感元件的概念	1
1.1.2	敏感元件的特征及要求	2
1.2	敏感元件的分类及命名	3
1.2.1	敏感元件的分类及本课程讨论范围	3
1.2.2	敏感元件的命名	4
1.3	敏感元件的材料及通用工艺	6
1.3.1	敏感元件与材料的关系	6
1.3.2	材料的分类	6
1.3.3	半导体陶瓷在敏感元件中的应用	7
1.3.4	敏感元件的通用工艺	8
1.4	敏感元件的应用概况及发展动向	10
1.4.1	敏感元件的应用概况	10
1.4.2	敏感元件的发展动向	10
	习题	11
2	热敏元件	12
2.1	热敏电阻器的材料	12
2.1.1	热敏电阻器概述	12
2.1.2	热敏电阻器的分类	12
2.1.3	热敏电阻器的发展概况	15
2.2	热敏电阻器的基本特性与主要参数	16
2.2.1	电阻-温度特性	16

2.2.2	热性能	20
2.2.3	伏-安特性	22
2.2.4	功率特性	27
2.2.5	动态特性	29
2.2.6	老化特性	29
2.3	负温度系数热敏电阻器	30
2.3.1	NTC 热敏半导瓷材料	30
2.3.2	NTC 热敏电阻器的敏感机理	33
2.3.3	NTC 热敏电阻器的制造工艺	34
2.3.4	NTC 热敏电阻器典型产品的结构和性能	45
2.4	正温度系数热敏电阻器	46
2.4.1	PTC 热敏电阻器材料	46
2.4.2	BaTiO_3 热敏半导瓷的导电机理	51
2.4.3	PTC 热敏电阻器制造工艺	53
2.4.4	PTC 热敏电阻器典型产品的结构和性能	55
2.5	其它热敏元件	56
2.5.1	半导体单晶热敏电阻器	56
2.5.2	薄膜热敏电阻器	58
2.5.3	厚膜热敏电阻器	59
2.5.4	两种传统的热敏元件	61
2.5.5	硅集成化温度传感器	75
2.6	热敏元件的应用	78
2.6.1	温度测量	78
2.6.2	温度补偿	79
2.6.3	温度控制	80
2.6.4	稳压	81
2.6.5	彩色电视机消磁	81
2.6.6	PTC 热敏电阻器作为加热器的应用	82

习题	84
3 压敏元件	86
3.1 概述	86
3.2 压敏电阻器的基本特性与参数	88
3.2.1 伏安特性及其参数	88
3.2.2 标称压敏电压	91
3.2.3 耐浪涌能力	91
3.2.4 漏电流与电阻特性	92
3.2.5 功率特性	93
3.2.6 温度特性	94
3.2.7 固有电容	94
3.3 氧化锌压敏电阻器	95
3.3.1 ZnO 的晶体结构及其导电性	95
3.3.2 ZnO 压敏半导瓷的微观结构与导电机理	96
3.3.3 ZnO 压敏电阻器生产工艺简介	105
3.4 其它压敏电阻器	111
3.4.1 硅压敏电阻器	111
3.4.2 碳化硅压敏电阻器	112
3.4.3 TiO_2 压敏电阻器	113
3.4.4 SrTiO_3 复合功能陶瓷压敏电阻器	114
3.5 压敏电阻器的应用	116
3.5.1 过压保护	116
3.5.2 稳压	124
习题	126
4 气敏元件	127
4.1 概述	127
4.2 气敏元件的结构与特性	129
4.2.1 气敏元件的结构	129

4.2.2	气敏元件的基本特性与参数	131
4.3	氧化锡气敏电阻器	134
4.3.1	氧化锡气敏材料的基本特性	134
4.3.2	氧化锡气敏材料的显微结构与气敏特性	135
4.3.3	氧化锡气敏材料的吸附特性	139
4.3.4	催化剂的作用与影响	140
4.3.5	氧化锡气敏电阻器的制作及结构特点	143
4.4	氧化铁系气敏元件	147
4.4.1	烧结型 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 气敏元件	147
4.4.2	厚膜型 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 气敏元件	149
4.5	其它气敏元件	150
4.5.1	氧化锌气敏电阻器	150
4.5.2	氧化锆气敏元件	152
4.6	气敏元件的应用	153
	习题	156
5	湿敏元件	157
5.1	概述	157
5.1.1	湿度及其表示法	157
5.1.2	湿度测量概论	158
5.1.3	湿度的标定及标准湿度发生器	160
5.1.4	湿敏元件的分类	163
5.1.5	湿敏元件的特点及其性能要求	163
5.2	湿敏电阻器的基本特性及主要参数	164
5.2.1	电阻-湿度特性	164
5.2.2	时间常数	165
5.2.3	湿滞效应	166
5.2.4	感湿温度系数	166
5.2.5	老化效应	166

5.2.6 量程	167
5.3 湿敏半导瓷的典型特性与湿敏机理	167
5.3.1 湿敏半导瓷的三大类型及其典型特性	167
5.3.2 湿敏半导瓷的湿敏机理	168
5.4 典型陶瓷湿敏元件	171
5.4.1 烧结体型湿敏电阻器	171
5.4.2 厚膜型湿敏电阻器	174
5.4.3 瓷粉膜型湿敏电阻器	175
5.5 其它湿敏元件	178
5.5.1 氯化锂湿敏电阻器	178
5.5.2 碳湿敏电阻器	180
5.5.3 高分子膜湿敏元件	182
5.6 湿敏元件的应用	183
习题	184
6 光敏元件	186
6.1 光敏元件的物理基础	187
6.1.1 光电效应	187
6.1.2 光谱特性	190
6.2 光敏电阻器	191
6.2.1 光敏电阻器的分类	191
6.2.2 光敏电阻器的基本结构与工作原理	192
6.2.3 光敏材料的光电导	194
6.2.4 光敏电阻器的主要参数和特性	199
6.2.5 可见光敏电阻器	205
6.2.6 红外光敏电阻器	210
6.3 光电池	213
6.3.1 $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ 陶瓷光电池的结构与工作原理	213
6.3.2 光电池的主要特性与参数	215

6.3.3	$\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ 陶瓷太阳能电池的制造工艺	219
6.4	其它光敏器件	221
6.4.1	光敏二极管与光敏三极管	221
6.4.2	热释电型红外光敏元件	224
6.5	光敏元件的应用	226
6.5.1	光敏元件的应用类型	226
6.5.2	光敏元件应用举例	227
6.5.3	红外光敏元件应用举例	230
	习题	234
7	力敏元件	235
7.1	力电转换的物理效应	235
7.1.1	金属导线的应变效应	235
7.1.2	半导体材料的压阻效应	237
7.1.3	压电材料的压电效应	239
7.2	金属应变计式力敏元件	242
7.2.1	结构	242
7.2.2	主要材料	244
7.2.3	主要参数	245
7.2.4	主要生产过程	248
7.3	半导体应变计力敏元件	248
7.3.1	结构	249
7.3.2	材料	250
7.3.3	主要参数	250
7.3.4	性能特点	251
7.3.5	生产工艺	252
7.3.6	典型产品的性能参数	255
7.4	其它力敏元件	256
7.5	力敏元件的应用	260

习题.....	264
8 磁敏元件	265
8.1 霍尔元件	265
8.1.1 霍尔效应	265
8.1.2 霍尔元件的结构、分类及基本工作电路	268
8.1.3 霍尔元件的主要参数	270
8.1.4 霍尔元件的材料	271
8.1.5 霍尔元件的制造工艺	272
8.1.6 实用霍尔元件的典型特性	274
8.2 磁敏电阻器	274
8.2.1 磁阻效应	274
8.2.2 形状效应	276
8.2.3 磁敏电阻器的基本特性和主要参数	277
8.2.4 磁敏电阻器的材料、结构及制造工艺	280
8.3 其它磁敏元件	284
8.3.1 磁敏二极管	284
8.3.2 磁敏三极管	286
8.3.3 强磁性金属磁敏元件	287
8.4 磁敏元件的应用	291
8.4.1 无接点开关	291
8.4.2 绝缘耦合	291
8.4.3 霍尔式钳型电流表	291
习题.....	293
参考文献.....	294

1 概 论

当前,电子计算机的普及,促使工业化社会向信息化社会转变。信息化社会的主要标志之一就是敏感元件与计算机的结合。敏感元件犹如计算机的“电五官”,是计算机与物质世界的接点,是信息获取的重要手段。敏感元件及其技术作为新技术革命的重要分支,已被许多国家列为重点研究项目之一,也是我国四化建设中必不可少且急待发展的新技术。

1.1 敏感元件的概念及基本特征

1.1.1 敏感元件的概念

人们对周围环境的感受,是因为在人体中有各种相应的感觉器官。但是,人类不可能对所有的自然现象都很敏感。相反,某些动物却在这方面具有奇特的本领。例如,猫能在夜间捕捉老鼠,蝙蝠虽然视力很差,却能在夜晚自由飞行。人们通过对动物的某些功能的研究,对自然界的认识逐渐深入,并模仿生物的本领为人类服务,于是出现了仿生学。仿生学主要研究生物的各种优异特征。例如,在漆黑的夜晚,响尾蛇能迅速而准确的捕食小动物,是因为在它的头部有一对探测红外线的热敏器官,可以辨别出千分之一度的温度变化并能准确地定向。人类借鉴响尾蛇的这一特殊功能研制出了红外线探测器并用来跟踪导弹。

经过研究,人们终于发现了一些固体,特别是一些半导体材料

对周围环境的物理、化学或生物作用具有敏感的特征。根据这种特性,研制出的能感知被测量(物理、化学或生物的等等),并将其转化为有电信号(或光信号)的电子元件就称为敏感元件。敏感元件和其它必要的辅助电源、处理电路和结构件就组成了实际应用中的传感器。可见,敏感元件是传感器的“敏感器”或“感觉器”,是传感器的核心部分。例如,压力传感器就是一种结构复杂的装置,其敏感元件是应变计。由于电信号的放大、反馈、滤波、储存、遥控和传输都十分方便,所以敏感元件和传感器一般都将被测量转化为电信号,这就是人们也常常把敏感元件和传感器统称为电子敏感元件的原因。此外,还应该注意区别敏感元件与换能器的不同。前者是以信号转换为目的,一般都要求转换的保真性;而后者是以能量转换为目的,一般只要求提高转换效率。

敏感元件不同于一般的元件,它在工作机理及特性方面比一般元件要复杂得多,掌握这些工作机理和特性对有效地利用它十分有益。然而目前对有些敏感元件(特别是半导体陶瓷类敏感元件)的工作机理的认识还不够成熟。本课程对于较为成熟的予以讨论,对于不太成熟的仅作定性简介,但对其所表现出的特性则一一加以讨论。

1.1.2 敏感元件的特征及要求

与其它电子元件相比,敏感元件具有学科的边缘性、设计的综合性、工艺的复杂性、功能的多样性及潜在性、应用的广泛性及生产的分散性特征。尽管对各种不同类型的敏感元件具体特性要求各异,但如下一些总的要求却是共同的:

(1) 高性能。主要指高灵敏度、高线性、高精度、高重复性、高稳定性、高响应速度、迟滞小,互换性、选择性好,抗干扰能力强,易校正、测量范围大等。

(2) 高可靠。主要指长寿命、低老化、耐环境变化、低污染或无

污染等。

(3) 经济性。主要指低价格、小型、轻型、坚固、操作简便、保养维修方便、批量生产、低能耗等。

(4) 其它如多功能、与计算机及微处理机接口、数字化等。

1.2 敏感元件的分类及命名

1.2.1 敏感元件的分类及本课程讨论范围

敏感元件的种类非常庞杂,分类方法多种多样。最常用的分类方法是按照所对应的敏感量不同,分为热敏、压敏、气敏、湿敏、光敏、力敏、磁敏、声敏、色敏、射线敏、酶敏、生物敏、离子敏等。目前研究较为成熟且应用较多的是前面七种。按照教学大纲的要求,本课程正是以这七种敏感元件为介绍对象。需要指出的是,对于某一类敏感元件,不同原理、结构、工艺的产品往往也很多。本课程主要围绕其中的电阻型敏感元件进行讨论。

按能感应的敏感量的多少,敏感元件还可以分为单功能和多功能(又称复合功能)两类。单功能是检测一种量,多功能是同时检测几个量。

按对应敏感量的属性,敏感元件也可以分为物理敏、化学敏、生物敏、物理化学敏等四类。

敏感元件所使用的材料极为繁多,按照材料的特性、结构、结晶状态和形态可分别进行分类,例如按材料的特性可分为半导体、介电体、导电体、铁磁体等,目前使用最多的材料是半导体。

敏感元件还可以按其结构分为分立式、集成式、厚膜式、薄膜式、超微粒薄膜式、多孔式等。

1.2.2 敏感元件的命名

由于敏感元件的分类方法很多,由此所产生的敏感元件的名称也就很多。一般来说,人们习惯于用材料和检测功能(即对应的敏感量)来称呼敏感元件,如半导体力敏元件,陶瓷湿敏元件,硫化镉光敏元件等。

对于常用的热敏电阻器、压敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器、光敏电阻器、磁敏元件和力敏元件的名称,原第四机械工业部标准 SJ1155—82《敏感元件型号命名方法》进行了统一规定。

产品型号由四部分组成:

- 第一部分:主称(用字母表示)。M——敏感元件。
- 第二部分:类别(用字母表示)。各字母的具体含义见表 1.1。

表 1.1 敏感元件的类别代号及其意义

代号	F	Z	G	Y	S	C	L	Q
意义	负温度系数热敏	正温度系数热敏	光敏	压敏	湿敏	磁敏	力敏	气敏

第三部分:用途或特征(用数字或字母表示)。各数字、字母具体含义见表 1.2。

第四部分:序号(用数字表示)。

举例如下:

MF51——测温用负温度系数热敏电阻器

