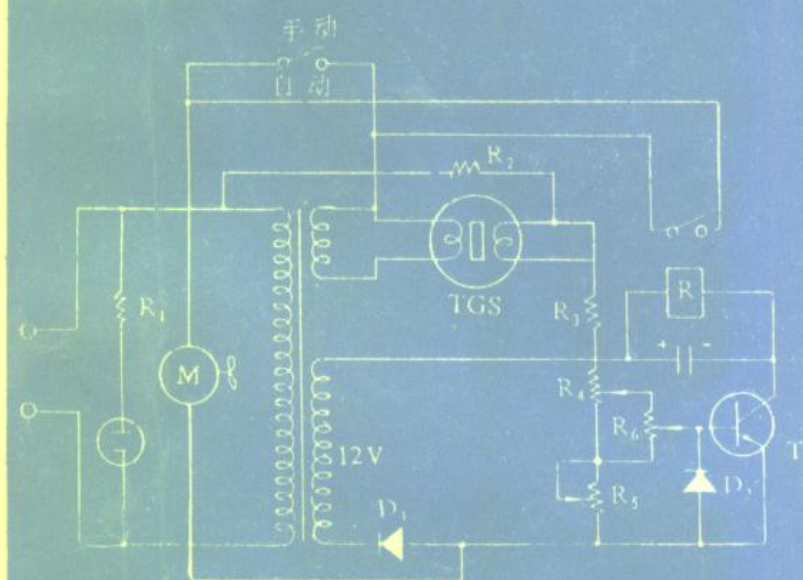


刘仲娥 张维新
宋文洋

敏感元器件与应用



青岛海洋大学出版社

鲁新登第15号

内 容 简 介

本书系统地论述了各种敏感元器件的基本原理、结构、特性及其应用,其中包括热敏、磁敏、光敏、力敏、气敏、湿敏和离子敏等新型敏感元器件。书中着重阐述了敏感元器件及其传感器在海洋技术领域中的应用,给出了具有重要参考价值的图表、曲线和有关技术参考资料。本书反映了近年来敏感技术的最新研究成果,具有较高的学术水平和实用价值。

本书可作为高等院校自动化技术、半导体器件、微电子学和海洋测量技术等专业的本科生或研究生的教材,也可供从事敏感技术研究和应用的科学技术人员参考。

敏感元器件与应用

刘仲娥 张维新 著
宋文洋

*

青岛海洋大学出版社出版发行

青岛市鱼山路5号

邮政编码266003

新华书店经销

青岛海洋大学出版社文字处理中心排版

日照市印刷厂印刷

*

1993年6月第1版 1993年6月第1次印刷

32开本(850×1168毫米) 14.25印张 375千字

印数 1—2000

ISBN 7—81026—415—X/O·32

定价: 10.80元

绪 论

随着现代科学技术的飞速发展,非电物理量的测试与控制技术,已广泛地应用于航天、航空、海洋、军事、船舶、交通运输、工农业生产、生物医学工程和自动检测系统等技术领域,而且也在逐步地引入人们的日常生活中。可以说检测技术与自动控制技术水平的高低,已经成为衡量科学技术水平高低的重要标志之一。

传感器是实现测试与自动控制的首要环节,如果没有传感器对原始信息进行准确可靠的捕获与转换,那么一切准确的测试与控制将无法实现。信息革命的两大重要支柱是信息的采集和处理,众所周知,信息的采集与转换主要依赖于各种类型敏感元件及传感器,而信息的处理则主要依赖于计算机。当前,电子技术和电子计算机为信息的处理提供了很完善的手段,计算机及智能仪器已在科学技术领域中发挥着重要作用,但如果没有各种类型的敏感元件及传感器去准确捕获并转换信息,现代化的智能仪器及计算机也无法发挥其应有的作用。

传感器是一种将自然界中的非电量信号转换成便于检测的电信号的装置。它代替人类五官感觉(视、听、嗅、味、触)检测到人类五官不能感觉的信息,如红外线、超声波等。随着现代科学技术的飞速发展,传感器技术也得到了迅速发展。比如,一辆先进的汽车,需要十几种敏感元件,而一架飞机则需要三十多种力敏元件及传感器。据某冷藏库统计,用热敏元件来做冷库的自动控制,可节电10~40%,并且大大缩短冷冻时间。此外用敏感元件代替人的感官对生物和人体的生态信息进行诊断,是新兴生物医疗学的核心,目前已得到了广泛的应用。如中医的切脉是临床诊断的重要手段,过去一直靠医生手感切脉,而采用了力敏元件与生理记录仪配合,切脉既快又准确。

传感器按其工作原理和结构可分为结构型和物性型两类。早期使用的传感器以结构型为主,目前这类传感器在实际应用中仍占有重要地位。物性型传感器由于具有灵敏度高、响应速度快、体积小、造价低、输出电信号易于处理等优点,近年来发展比较迅速,在一些应用领域中逐渐代替了结构型传感器。本书主要介绍物性型传感器。根据其检测功能可分为:热敏、光敏、力敏、磁敏、气敏、湿敏、离子敏等,对它们的基本原理、主要特性及其应用作概括介绍。

由于近几年来对热敏电阻器的稳定性理论和研究有了新的突破,一些高稳定性材料相继出现和采用了提高稳定性的新工艺,热敏电阻器的性能有了很大提高。热敏电阻具有灵敏度高(它与简单的二次仪表配合,能检测出 $1 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}$ 的温度变化),工作温度范围宽(从 $-55 \sim +315^{\circ}\text{C}$,低温热敏电阻工作温度可低于 -273°C)并可根据不同的要求,将热敏电阻器制成各种不同形状,如分立、集成、厚膜、薄膜等热敏电阻器。热敏电阻稳定性能好,过载能力强,寿命长。

光敏元器件能在光源的配合下识别物体,为自动化设备、电子计算机和智能机器人提供信息,是目前所有敏感元件中应用最广泛,销售量最多的敏感器件。它发展迅速,品种繁多,常见的有光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光电耦合器、硅光电池和光控晶闸管等。目前光敏电阻可分为三种类型:第一类为可见光光敏电阻器,如硫化镉、硒化镉等;第二类为红外光光敏电阻器,如硫化铅、硒化铅、碲化铟等;第三类为紫外光光敏电阻器,如硫化锌,硫化镉等。

光敏二极管又称半导体光电二极管,也是常用的光敏元件之一,可用于光电液位控制器,低功耗路灯控制器,光电式风速仪等。光敏三极管是在光敏二极管基础上发展起来的光敏器件,本身具有放大功能,因而使用方便。它可用于船舶桅灯自控开关,窗帘自

动开闭电路,煤气炉熄灭报警器等。光电池又叫太阳能电池,它是一种把光能直接转换成电能的半导体敏感器件。当光线照于光电池上,它能产生一定的电势,将单片光电池经串联,并联后可将太阳能转换成电能,如与镍镉蓄电池配合,可作为一切低电压、小电流用电设备的电源。

随着科学技术和生产的发展,对力的测量和控制,越来越受到人们的重视,研制出多种力敏元件及传感器。本书介绍的半导体压阻式力敏元件及传感器是力敏元件中应用最广泛的一种。力敏传感器是将被测的力学量转换成与其呈函数关系的电信号的转换器件,它至少包括感力部分和力——电信号转换两部分。它可用来测量压力、拉力、荷重、扭矩、位移、压差、负压和加速度等物理量,也可用于测量血压、脑压、心音、脉相等生物量。它与电子计算机配合用于各种力学量测量和控制中,如用于地动仪、防盗器、血压检测器等各种装置中。

本书介绍的磁敏元器件,包括霍尔器件、磁敏电阻、磁敏二极管和磁敏三极管等。磁敏器件在工作时不需要特殊的能源,利用一片永磁体便能很方便地得到磁场。利用光电器件也可非接触地检测许多物理量,但它需要光源,而光源必须依靠电源,因此光电系统结构就比较复杂,相比之下,永磁体就简便得多。

早期对气体的检测主要采用电化学或光学方法,其检测速度慢,设备复杂,成本高,使用不方便。七十年代初采用半导体材料硅制成 P_n 栅MOS场效应晶体管气敏元件,以后又发展了几种不同类型的催化金属栅MOS结构的气敏元件用来探测含氢元素的气体分子,得到较满意的效果。本书主要介绍物性型气敏元器件。

书中对湿度、湿敏元件及几种湿度传感器做了较概括的介绍。随着现代科学技术的发展,在日常生活和工、农业生产各领域中都提出了对湿度进行检测和自动控制的要求。本书分别介绍了氯化锂湿敏元件,高分子材料湿敏元件,红外湿敏元件及性能优异的半

· 导体陶瓷湿敏元件,它们各有不同特点,分别用于不同场合中。半导体陶瓷湿敏元件可用加热法清除表面污垢的极大优越性,对于提高元件使用寿命和保持元件物性如一等方面意义重大。因此有理由推断,在未来的一段时间内,它有可能成为工程上主要的湿敏元件之一。

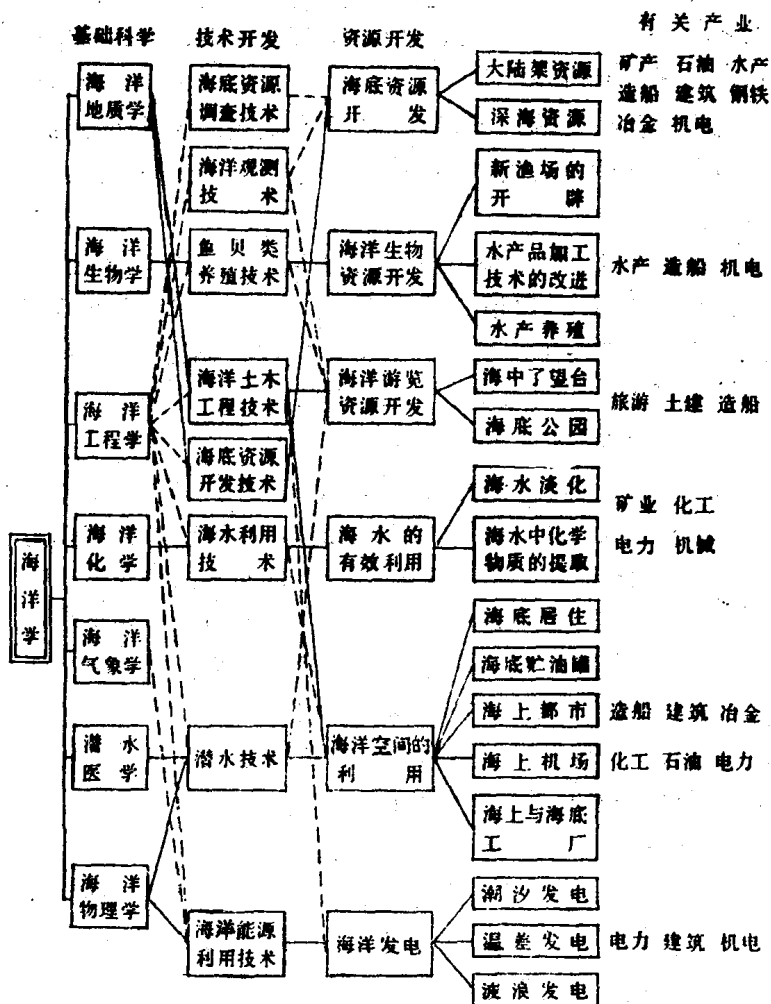
离子敏感技术对于液体中化学成份进行分析和探测非常重要,在生物学、医学、化学、环境保护和海洋等领域中有着广泛的应用。70年代发展起来的离子敏场效应晶体管(ISFET),具有体积小,灵敏度高,使用方便,成本低等优点。目前,利用这种敏感器件制成的离子敏传感器,已经实用化,应用于生物学、医学等各个领域。

书中着重阐述了现代海洋测量系统及其在海洋开发中的应用。海洋开发是一个复杂繁浩的领域,需要把海洋学、地质学、地球物理、地球化学、气象学、水产学、生物学、心理学、医学等基础科学和工程技术有机地结合起来,海洋开发内容见表0—1。

60年代以来,海洋开发、海洋环境监测与预报和海洋环境保护等海洋技术得到迅速发展。海洋技术的重点是研究海洋开发和利用所需的监测装置与系统。随着敏感技术的飞速发展,海洋传感器也得到前所未有的发展和利用。近代海洋技术的发展与电子计算机技术、激光技术、水声技术、遥感技术、深潜技术、空间技术等方面密切相关。

海洋传感器的信息处理技术是海洋传感器发展的新领域。应用微处理机技术可实现传感器的自动调零、自动修正以及相应的信号处理工作。组成IC传感器将是海洋传感器重要的研究工作。传感器的微处理技术将会改变目前传感器的面貌,是加速海洋传感器技术开发的有效途径。

表 0—1 海洋开发的内容



注：实线为直接关系，虚线为间接关系。资料来源：竹中一雄《海洋开发产业》

海洋光学在研究海洋光能、海洋光辐射以及海洋参数的探测中均有重要作用。现代航空光学遥感技术在海洋渔业开发、海岸环境调查、海洋石油污染监测等方面也已显示出它的巨大作用。应用激光技术测量波浪、内波、海流等也已经取得了可喜成果。因此光学传感器尤其是光纤技术的开发也应受到重视。如采用光纤化学传感器技术能稳定、可靠、准确地实时现场进行海洋化学参数的测量。由此可知,开发和应用新的敏感元件及其传感器,设计新型的适合于各种环境使用的传感器,是当前迫切的任务。

近代敏感元件及其传感器的开发方向,可分以下四个方面。

1、扩大检测量限 如用核磁共振吸收式磁传感器可测量 10^7T 的地球磁场强度,用约瑟夫逊效应式热噪声温度计,则可测量 10^{-7}K 的超低温。这种具有能够检测出极其微弱信号的技术,便可促使新技术的进一步发展。

2、集成化、多功能化 传感器技术方面引用了半导体集成电路技术,从点到一维、二维、三维空间图象的检出,不断地扩展信号的感受空间,向包含时间的四维空间发展,并且向多功能化发展。

3、向未开发领域挑战 目前大力研究、发展的多为物理型传感器。今后应积极开发和研究化学传感器及生物型传感器并扩大它的应用领域,尤其是在海洋监测技术领域的应用。

4、开发智能型传感器 开发智能型传感器也是传感器重要的发展方向。它包括开发具有判断能力的敏感元件,开发具有学习能力的敏感元器件和具有创造能力的敏感元器件。

总之,随着科学技术的进步和生产的发展,未来敏感元件及传感器的功能向人类自身的机体逼近到什么程度是难以预测的,它的开发应用可促使高新技术的进一步发展和一些新学科的诞生。

本书的第一章热敏元器件,第三章光敏元器件,第五章气敏元器件及第七章离子敏元器件由张维新副教授负责编写。绪论,第二章压阻式力敏元器件,第四章磁敏元器件及第六章湿敏元器件由

刘仲娥副教授负责编写。绪论,第八章现代海洋观测系统,第九章海洋测量仪器及第十章海洋环境污染监测由宋文洋教授·高级工程师负责编写。

本书经天津大学精仪系王明时教授审校并提出很多宝贵意见,书中法定计量单位由国家海洋计量站青岛分站宋波工程师审校,在此予以致谢。由于时间仓促和水平所限,难免有失误之处,敬请专家和广大读者批评指正。

目 录

第一章 热敏元器件

§ 1—1 PTC 热敏电阻器	1
一、PTC 热敏电阻器的工作原理	1
二、PTC 热敏电阻器的特性	5
三、PTC 热敏电阻器的应用	8
§ 1—2 NTC 热敏电阻器	10
一、NTC 热效应的机理	10
二、NTC 热敏电阻的特性	12
三、NTC 热敏电阻器的应用	14
§ 1—3 CTR 热敏电阻器	17
一、CTR 效应的机理	17
二、CTR 热敏电阻器的特性	18
三、CTR 的制备	19
§ 1—4 硅温敏电阻	22
一、硅温敏电阻的工作原理	22
二、硅温敏电阻的结构	25
三、硅温敏电阻的特性	26
四、硅温敏电阻的应用	28
§ 1—5 温敏二极管	29
一、温敏二极管的工作原理	29
二、温敏二极管的特性	31
三、温敏二极管的应用	32
§ 1—6 温敏晶体管	34
一、温敏晶体管的工作原理	34

二、温敏晶体管的特性	37
三、温敏晶体管的应用	39
§ 1—7 集成温度传感器	40
一、集成温度传感器的工作原理	40
二、集成温度传感器的特性	44
三、集成温度传感器的应用	45

第二章 半导体压阻式力敏元器件

§ 2—1 半导体压阻式力敏元器件的工作原理	50
一、压阻效应	50
二、压阻系数	52
§ 2—2 半导体应变片	58
一、半导体应变片的灵敏度系数	59
二、半导体应变片的种类和特性	60
§ 2—3 力敏器件的扩散型硅压力膜片上的应力分布	66
一、硅压力膜片上的应力分布	66
二、硅膜片的设计考虑	69
§ 2—4 硅压阻式力敏器件的测量线路	71
一、恒压源供电电桥	72
二、恒流源供电电桥	73
§ 2—5 压阻式力敏器件的温度漂移与补偿	74
一、压阻式力敏器件的温度漂移	74
二、压阻式力敏器件的零点误差及其补偿	75
§ 2—6 压阻式力敏器件及传感器的主要应用	81
一、医疗领域	82
二、航海与军事领域	84
三、测试方面	84

第三章 光敏元器件

§ 3—1 光电效应	87
一、光谱和能量的关系	87
二、光电导效应	89
三、光界面效应	92
四、光电容效应	93
§ 3—2 光敏电阻	95
一、CdS 光敏电阻	95
二、硅光敏电阻	100
三、光敏电阻的应用	104
§ 3—3 光敏二极管	105
一、光敏二极管的工作原理	106
二、光敏二极管的特性	108
三、光敏二极管的分类	113
四、光敏二极管的应用	117
§ 3—4 光敏晶体管	119
一、光敏晶体管的结构与原理	119
二、光敏晶体管的特性	120
三、波长可选光敏晶体管	124
四、光敏晶体管的应用	128
§ 3—5 光控晶闸管	131
一、光控晶闸管的工作原理	131
二、光控晶闸管的特性	132
三、光控晶闸管的应用	134
§ 3—6 红外探测器	135
一、HgCdTe 的基本特性	135
二、HgCdTe 光导体	137
三、HgCdTe 结型光敏二极管	142

四、金属—绝缘体—半导体红外探测器	149
-------------------------	-----

第四章 半导体磁敏元器件

§ 4—1 磁电转化效应的基本原理	153
一、霍尔效应	153
二、磁阻效应	156
三、磁敏器件所用材料	159
§ 4—2 霍尔元件	160
一、概述	160
二、霍尔元件的基本特性	161
三、霍尔元件的误差与补偿	170
四、霍尔零件的应用	177
§ 4—3 磁阻元件	180
一、概述	180
二、几种磁阻元件的特性	181
三、磁阻元件的频率特性	190
四、磁阻元件的温度特性及其补偿	191
五、磁阻元件及传感器的主要应用	194
§ 4—4 磁敏二极管和三极管	200
一、磁敏二极管	200
二、磁敏三极管	205

第五章 气敏元器件

§ 5—1 接触燃烧气敏元件	220
一、接触燃烧气敏元件的工作原理	220
二、接触燃烧气敏元件的特性	222
§ 5—2 电导控制型气敏元件	223
一、电导控制气敏元件的气敏机理	224

二、电导控制型气敏元件的特性	226
三、电导控制型气敏元件的分类	235
§ 5—3 MOS 型气敏元件	240
一、Pd 栅 MOS 氢气敏器件	241
二、Pd 栅 MOS 一氧化碳气敏器件	246
三、催化金属栅 MOS 氨气敏器件	250
§ 5—4 气敏元件的应用	253
一、气敏元件使用中存在的问题	253
二、气敏元件应用电路	254

第六章 湿敏元件及湿度传感器

§ 6—1 湿度的基本概念及其检测方法	259
一、湿度的基本概念	259
二、湿度的测量方法	261
§ 6—2 湿敏元件及湿度传感器	266
一、毛发湿度计	266
二、LiCl 电解质湿敏元件	266
三、高分子材料湿敏特性	270
四、金属氧化物陶瓷湿度传感器	273
五、红外湿敏元件	282
六、热敏电阻湿度传感器	283
§ 6—3 湿敏元件应用实例	286

第七章 离子敏元器件

§ 7—1 离子敏的电化学基础	289
一、电化学电池	289
二、电极电位与离子浓度的关系	292
三、参比电路	294

四、活度与活度系数	296
五、膜电势	298
§ 7—2 离子选择电极	299
一、pH 计	299
二、其他离子电极	301
三、氧电极	305
§ 7—3 MOS 场效应晶体管	306
一、MOS 晶体管的结构和基本原理	307
二、MOS 晶体管的特性	310
§ 7—4 离子敏场效应器件	313
一、ISFET 的结构	313
二、ISFET 的工作原理	315
三、ISFET 的特性	317
四、ISFET 的分类	320
§ 7—5 离子敏元器件的应用	324
一、生物学方面的应用	324
二、环境保护中的应用	325

第八章 现代海洋观测系统

§ 8—1 现代海洋观测系统及其应用	327
§ 8—2 海洋遥感技术	328
一、概述	328
二、遥感系统	331
三、海洋航空遥感	332
四、海洋航天遥感	334
五、图像处理系统	340
六、结束语	341
§ 8—3 海洋遥测浮标系统	342

一、概述	342
二、锚泊浮标	343
三、漂流浮标	346
四、949、956 型遥控测波系统	349
五、海洋浮标监测网	354
六、结束语	357
§ 8—4 拖曳式潜水器	358
一、概述	359
二、拖曳式潜水器的分类、特点及其应用	359
三、直接拖曳方式“锯齿形剖面”轨迹的拖曳系统	363
四、动力平衡微调方法	367
五、结束语	369

第九章 海洋测量仪器

§ 9—1 海洋测量用传感器	372
一、概述	372
二、海洋测量用传感器的要求与现状	372
§ 9—2 海洋测量用光纤传感器	377
一、概述	377
二、光纤温度传感器	379
三、光纤水听器	380
四、光纤压力传感器	381
五、海洋监测光纤传感器	382
§ 9—3 温度、盐度、深度的测量	384
一、概述	384
二、深度测量	385
三、海洋温度传感器及其动态特性	386
四、CTD 系统	389

§ 9—4 海流测量·····	391
一、概述·····	391
二、SLC9—2 型直读式海流计·····	393
三、SLY3—1 型自容式海流计·····	397
§ 9—5 海洋地热流测量·····	399
一、概述·····	399
二、井下海洋热流测量技术·····	401
§ 9—6 海水溶解氧测量仪·····	402
一、概述·····	402
二、SY—I 海水溶解氧测定仪·····	403
三、HYY2—1 型现场溶解氧、温度测量仪·····	405
§ 9—7 现场 pH 测量仪·····	407
一、概述·····	407
二、HSY1—1 型现场 pH、温度测量仪·····	408

第十章 海洋环境污染监测技术

§ 10—1 海洋环境污染监测技术·····	413
一、概述·····	413
二、生物监测技术·····	414
三、沉积物污染监测技术·····	415
§ 10—2 现场自动监测系统·····	416
一、概述·····	416
二、水质监测系统·····	418
三、赤潮预测自动观测系统·····	418
四、近底层水质观测仪·····	419
五、集成式环境监测系统·····	420
六、现场自动综合监测系统·····	422
§ 10—3 海洋污染航空遥感监测系统·····	424