

实用电子技术丛书

传感器 应用及其电路精选 (下册)

张福学 编著

電子工業出版社

73.852

实用电子技术丛书

传感器应用及其电路精选 (下册)

张福学 编著

电子工业出版社

9610158

(京)新登字 055 号

内 容 提 要

本书包括湿度和水份、生物、射线、电量、流速和流量、位置、超声、气象、浓度、粒度、硬度、机器人等传感器及其实用电路,传感器的信号处理,以及传感器在汽车电子学、家用电器、航空航天、环境污染、医学、节能、安全与防灾、农、牧、渔、林业中的应用。

本书可供从事传感器应用与研究生产传感器的科技人员,以及有关传感器专业的大专院校师生参考。

0055/21

实用电子技术丛书
传感器应用及其电路精选
(下册)

张福学 编著

责任编辑: 竞 力

电子工业出版社出版 (北京市万寿路)
电子工业出版社发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 11.75 插页: 3 字数: 269 千字

1992 年 6 月第 1 版 1995 年 5 月第 4 次印刷

印数: 30301—35300 册 定价: 11.50 元

ISBN 7-5053-1736-9/TN·480

4711100

目 录

第二十一章 湿度和水份传感器及其实用电路	1
§ 21.1 湿敏传感器的分类	1
§ 21.2 水分子亲和力型湿敏传感器	2
§ 21.3 非水分子亲和力型湿敏传感器	7
§ 21.4 绝对湿度传感器	9
§ 21.5 HPR 传感器检测电路	13
§ 21.6 温度传感器的湿度检测电路	14
§ 21.7 低湿度检测电路	16
§ 21.8 绝对湿度传感器和热敏电阻温度传感器电路	20
§ 21.9 露点传感器电路(1)	24
§ 21.10 露点传感器电路(2)	28
第二十二章 生物传感器及其应用	31
§ 22.1 生物传感器的原理	31
§ 22.2 电化学生物传感器	32
§ 22.3 生物电子传感器	34
§ 22.4 光生物传感器	35
§ 22.5 微生物传感器在食品生产中的应用	36
第二十三章 射线传感器及其应用	42
§ 23.1 半导体射线传感器及其应用	42
§ 23.2 透射式 X 射线厚度传感器	45
§ 23.3 衍射式 X 射线厚度传感器	48
§ 23.4 透射式 γ 射线厚度传感器	49
§ 23.5 背散射式 β 射线厚度传感器	50
§ 23.6 光纤射线传感器	51
§ 23.7 电离箱检测器及其电路	55
第二十四章 电量传感器及其实用电路	60

§ 24.1	电场传感器	60
§ 24.2	光纤电压和电流传感器	61
§ 24.3	停止振荡检测电路	66
§ 24.4	检测电流的传感器电路	69
§ 24.5	判别电阻值的电路	73
§ 24.6	数字限制器电路	77
§ 24.7	静电电容式传感器电路	80
第二十五章	流速和流量传感器及其实用电路.....	83
§ 25.1	萨沃纽斯 (Savonius) 流速传感器	83
§ 25.2	电阻式旋浆流速传感器	85
§ 25.3	光电式流速传感器	86
§ 25.4	电磁式流速传感器	87
§ 25.5	涡流流量计	89
§ 25.6	超声波相关流量计.....	91
§ 25.7	应用空间滤波器的流量计	94
§ 25.8	光纤速度和流速传感器	97
§ 25.9	超声波水平仪(流量线性输出)用折线近似电路	99
§ 25.10	超声流量计检测电路	100
§ 25.11	电磁流量计电路	104
§ 25.12	热线式呼吸流量计电路	107
§ 25.13	热气流控制装置的电路	109
§ 25.14	伺服容积型流量计电路	112
第二十六章	检测位置的实用传感器电路.....	115
§ 26.1	记录位置的射束检测电路	115
§ 26.2	连续传动磁带的偏移检测电路	117
§ 26.3	半导体位置检测元件的电路	119
§ 26.4	扭转检查修正装置和电路	122
§ 26.5	光学编码器电路	124
第二十七章	检测有无的实用传感器电路.....	129
§ 27.1	光电二极管的光电传感器电路	129
§ 27.2	光纤传感器的光输出/脉冲变换电路	133

§ 27.3	人体检测用远红外传感器的构造和电路	136
§ 27.4	超声波振子电路	141
第二十八章	气象传感器及其实用电路	145
§ 28.1	电晕离子式风向和风速传感器	145
§ 28.2	射线离子式风向和风速传感器	148
§ 28.3	热敏电阻式风速传感器	149
§ 28.4	热线式风速传感器	152
§ 28.5	风杯式风速传感器	154
§ 28.6	氯化锂露点计	155
§ 28.7	石英露点计	157
第二十九章	检测浓度、粒度和硬度的实用传感器电路	159
§ 29.1	浮游物浓度计电路	159
§ 29.2	油浓度检测电路	161
§ 29.3	导热传感器气体浓度计电路	164
§ 29.4	排气气体浓度检测电路	168
§ 29.5	光传感器离心沉降式粒度分布检测电路	172
§ 29.6	超声波硬度计线性电路	175
第三十章	传感器的信号处理	179
§ 30.1	传感器信息处理系统	179
§ 30.2	传感器在检测技术中的信号处理	187
§ 30.3	智能传感器实例	190
§ 30.4	直流前置放大器的应变规放大电路	193
§ 30.5	桥式激励电源电路	197
第三十一章	机器人传感器及其应用	200
§ 31.1	视觉传感器	200
§ 31.2	听觉传感器	202
§ 31.3	触觉传感器	204
§ 31.4	工厂用触觉传感器的机器人	206
§ 31.5	机械加工用的触觉传感器	208
§ 31.6	压觉传感器	209
§ 31.7	力觉传感器	213

§ 31.8	滑觉传感器	215
§ 31.9	接近觉传感器	217
§ 31.10	光触觉传感器	219
第三十二章 传感器在汽车电子学中的应用		221
§ 32.1	汽车发动机控制用传感器	221
§ 32.2	非发动机用汽车传感器	235
§ 32.3	公路交通系统用传感器	236
第三十三章 传感器在家用电器中的应用		240
§ 33.1	电子炉灶	240
§ 33.2	自动炊饭锅	242
§ 33.3	吸尘器	244
§ 33.4	室内空调器	246
§ 33.5	电褥子	247
§ 33.6	风干器	248
§ 33.7	热风取暖装置	249
§ 33.8	煤气报警器	250
§ 33.9	电唱机	250
§ 33.10	盒式磁带录音座	253
§ 33.11	其他家用电器	254
第三十四章 传感器在航空航天中的应用		255
§ 34.1	二自由度陀螺仪	255
§ 34.2	陀螺平台与速率积分陀螺仪	255
§ 34.3	液浮摆式加速度传感器	256
§ 34.4	挠性加速度传感器	257
§ 34.5	振动加速度传感器	258
§ 34.6	转速传感器	259
§ 34.7	压力传感器	260
§ 34.8	高度传感器	261
§ 34.9	空速传感器	263
§ 34.10	迎角传感器	263
§ 34.11	热敏传感器	264

§ 34.12	流量传感器	265
§ 34.13	水平线传感器	267
§ 34.14	阳光传感器	267
§ 34.15	恒星传感器	268
第三十五章	传感器在检测环境污染和公害中的应用	270
§ 35.1	电化学分析式浓度计	270
§ 35.2	光分析式浓度计	273
§ 35.3	气体色谱浓度计	275
§ 35.4	放射线式浓度计	276
§ 35.5	磁式氧气浓度计	277
§ 35.6	检测振动污染和地震的传感器	277
§ 35.7	检测噪声污染的噪声计	278
§ 35.8	预防火山和地震的传感器技术	279
第三十六章	传感器在医学中的应用	281
§ 36.1	医用传感器的特点、作用、分类和动向	281
§ 36.2	传感器在检测循环系统中的作用	283
§ 36.3	电化学传感器的作用	286
§ 36.4	生物传感器在医学中的应用	288
§ 36.5	半导体血液传感器	292
第三十七章	传感器在节能系统中的应用	293
§ 37.1	小型锅炉的燃烧控制	295
§ 37.2	住宅温度控制	293
§ 37.3	热泵	295
§ 37.4	空调机	297
§ 37.5	大型建筑物空调的吸气控制	298
第三十八章	传感器在安全与防灾中的应用	299
§ 38.1	高压线接近传感器	299
§ 38.2	半导体煤气传感器	299
§ 38.3	接触燃烧式气敏传感器	301
§ 38.4	检测管道泄漏的渗透性同轴电缆传感器	302
§ 38.5	流量差检测泄漏法	303

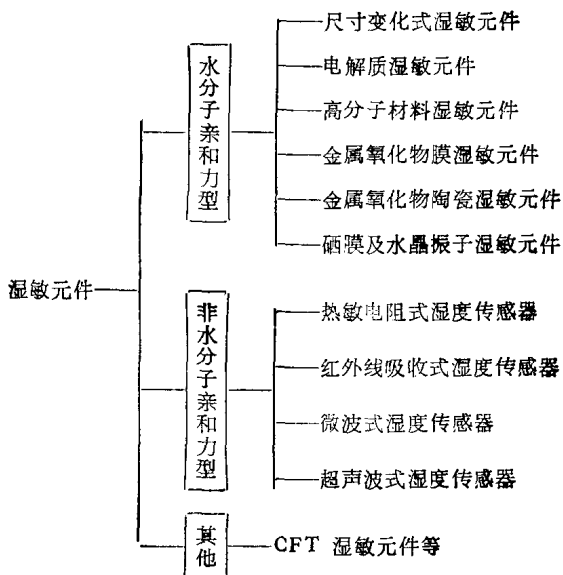
§ 38.6	漏电传感器	303
§ 38.7	检测温度型火灾传感器	305
§ 38.8	检测烟雾型火灾传感器	306
§ 38.9	安全用其他气敏传感器	307
§ 38.10	其他火灾传感器	313
§ 38.11	气体泄漏和火灾报警传感器系统实例	316
第三十九章	传感器在其他方面的应用	320
§ 39.1	畜牧业的自动化系统	320
§ 39.2	园艺设备	321
§ 39.3	果园的果实分选与储存	322
§ 39.4	农业自动化系统	323
§ 39.5	渔业生产检测系统	323
§ 39.6	食品流通检测系统	325
参考文献		327
附录	国内外传感器企事业名录	330

第二十一章 湿度和水份传感器 及其实用电路

§ 21.1 湿敏传感器的分类

水分子有较大的偶极矩，故其易于吸附在固体表面并渗透到固体内部。水分子的这种吸附和渗透特性称水分子亲和力，利用水分子这一特性制作的湿敏传感器称水分子亲和力型传感器。与水分子亲和力无关的传感器称非水分子亲和力型传感器。表 21.1 列出了湿敏传感器的分类。当前广泛使用的湿敏传感器是水分子亲和力型传感器。

表 21.1 湿敏元件的分类



水分子吸附在物体表面或渗入物体内部后, 物体的电气物理性能发生变化, 利用这种变化可构成多种水分子亲和型湿敏传感器。例如, 利用毛发受水分子作用发生长度变化构成毛发湿度计, 利用 LiCl 受水分子作用发生电阻变化构成电阻式湿敏传感器, 利用水分子作用后引起一些物体介电常数变化构成电容式湿敏传感器。

离子性结合的金属氧化物有很强的吸水性, 许多这种材料不仅有物理吸附, 而且还有化学吸附。但物体吸附水分子后, 其表面发生结构变化, 致使吸入的水分子不能完全脱出, 从而使湿敏元件的测湿重复性差或产生滞后, 当温度剧变导致结露或结霜时, 还会损坏敏感元件。这种传感器用于灰尘较多的恶劣环境时, 若清洗方法不恰当, 还会降低敏感元件的寿命。近年来出现的金属氧化物陶瓷有很好的物理和化学性能, 用其制作的湿敏元件可用加热清垢法消除上述缺点, 这是一种很有发展前途的湿敏功能材料。

水分子亲和型湿敏传感器的响应速度慢, 且可靠性差。因此, 人们研制了表 21.1 中非水分子亲和型湿敏传感器。显然, 开发非水分子亲和型湿敏传感器是发展方向之一。

§ 21.2 水分子亲和型湿敏传感器

21.2.1 陶瓷湿敏传感器

金属氧化物构成的多孔陶瓷吸收水分子后, 其电阻、电容等性能发生变化。利用多孔陶瓷构成的湿敏传感器有工作范围宽、响应速度快、耐环境能力强等特点, 它是当今湿敏传感器的发展方向, 当今 $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-V}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2\text{-V}_2\text{O}_5$ 、 ZnCr_2O_4 等陶瓷湿敏传感器已实用化。

1. $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 陶瓷湿敏传感器

$\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 传感器的结构如图 21.1 所示, RuO_2 电极和 Pt-In 引线固定在 $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 陶瓷片两表面, 放射状的加热

除污用康塔尔加热丝设置在陶瓷片周围。这种陶瓷的气孔率为 25%~30%,孔径小于 $1\mu\text{m}$ 。和致密陶瓷相比,多孔陶瓷的表面积显著增大,故其吸湿性强。多孔陶瓷的表面积大,将其厚度变薄即可在较短时间内达到吸湿、脱湿的平衡状态。这种传感器敏感湿度的下限约 1%RH,可用于控制整个相对湿度的范围。

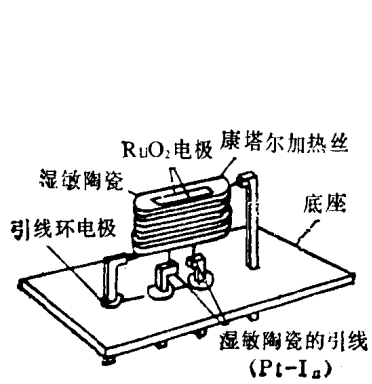


图 21.1 $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 陶瓷湿敏传感器的结构

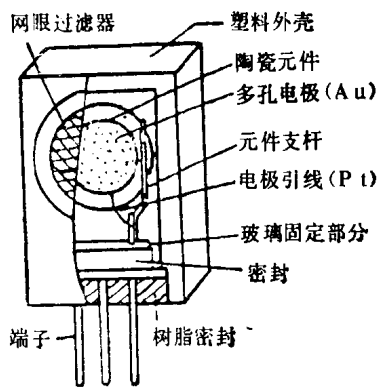


图 21.2 $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ 陶瓷湿敏传感器的结构

2. $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ 陶瓷湿敏传感器

$\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ 传感器的结构如图 21.2 所示,多孔材料的电极烧结在多孔陶瓷圆片的两表面上,并焊上 Pt 引线。敏感元件装入有网眼过滤器的方型塑料盒中,用树脂固定。

$\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ 传感器能稳定地连续检测湿度,不需要通过加热丝加热除污。该传感器还有功耗低(0.5W)、体积小($\phi 8 \times 2\text{mm}$)和成本低等优点。

3. Fe_3O_4 湿敏元件

Fe_3O_4 胶体膜湿敏元件的构造如图 21.3 所示,在滑石块或氧化铝基片上设置一对梳状金电极,然后涂布约厚 $30\mu\text{m}$ 的 Fe_3O_4 胶体膜。 Fe_3O_4 吸湿后极间电阻降低,脱湿后电阻升高。其脱湿时间

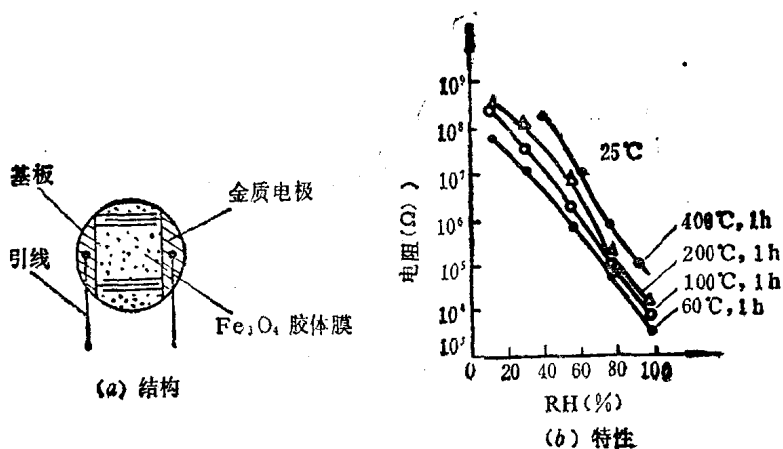


图 21.3 Fe_3O_4 湿敏元件的构造

大于吸湿时间,前者 5~7min.(98 → 12%RH),后者 2min.(60 → 98%RH)。

Fe_3O_4 湿敏元件具有如下特点: (1)元件固有电阻低; (2)感湿体是氧化物,长期置于大气环境其表面不起变化; (3) Fe_3O_4 胶体的极细微颗粒构成单磁畴,故各颗粒相互吸引而构成牢固的膜。因此, Fe_3O_4 湿敏元件已广泛用于湿度检测和控制。其缺点是湿度的响应速度慢,湿敏特性随时间变化。

4. Fe_2O_3 湿敏元件

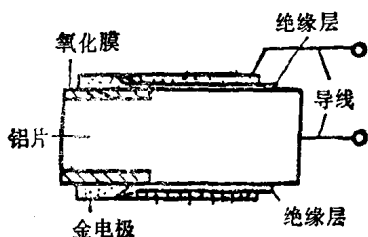
$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 中添加 13% (mol) K_2CO_3 后在 1300°C 焙烧,烧结块粉碎成平均粒径小于 $\phi 1\mu\text{m}$ 的颗粒后加入有机粘合剂,并调成糊状,然后印刷在有梳状电极的基片上,最后再加热烘烤。这样构成的湿敏元件,当湿度低于 50%RH 时,在 20~100°C 其湿敏特性几乎不变。

Fe_2O_3 湿敏元件的稳定性好,在 80°C, 5% ⇌ 80%RH 的环境中,重复检测 10^4 次,重复误差为 $\pm 5\%$ 。元件耐恶劣环境的能力强。这种元件在低湿度高温条件下性能良好,故称其为低湿度高

湿敏元件。

5. 多孔氧化铝湿敏元件

铝片置于酸性电解液中氧化，这样即可得到湿敏性能良好的多孔氧化膜。由这种氧化膜构成的湿敏元件如图 21.4 所示。其优点是互换性好，低湿范围响应速度快，滞后误差也小。缺点是元件的长期稳定性差。



6. 金属氧化物涂布膜湿敏元件

Cr_2O_3 、 Fe_2O_3 、 M_2O_3 、 Al_2O_3 、 ZnO 及 TiO_2 等金属氧化物细粉，它们吸附水分后具有极快的速干特性，利用这种现象先后开发了多种金属氧化物涂布膜湿敏元件。它们的湿敏特性和制法大致相同，在绝缘基片上设置梳状电极，将用水调制好的金属氧化物的糊状物涂布或喷射在基片及电极上，自然干燥后加湿到 100°C 左右使之固化成膜。这类元件检测湿度的范围在 $50\sim 100\% \text{RH}$ 。

7. $\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}\text{O}_4$ 湿敏元件

在铁氧体(也称黑瓷)中， Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 共存于副晶格中，故电子交换较容易。若假定铁氧体的导电机理是由于 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的原子价交换，则可认为 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的电子移动会在晶格内产生空穴。根据这一原理，人们开发了 $\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}\text{O}_4$ 湿敏元件。

这种湿敏元件具有性能重复性好和受温度影响小等优点，但存在成品率低和互换性差等许多问题，故至今还没有实用化。

21.2.2 电解质湿敏元件

电解质湿敏元件的代表是 LiCl 湿敏元件，它既可以敏感湿度，亦可以敏感露点。顿蒙式 LiCl 湿敏元件的多个元件配合使用，可检测 $20\sim 90\% \text{RH}$ 的湿度。

LiCl 湿敏元件的优点：滞后小；不受测试环境风速影响；不影响和破坏被检测湿度的环境；检测精度高达 $\pm 5\%$ 。其缺点：耐热性差；不能用于露点以下；用作露点敏感元件时，必须三个月左右清洗一次和涂敷 LiCl，故维护麻烦。

21.2.3 高分子湿敏传感器

1. 电容式湿敏元件

高分子薄膜电容式湿敏元件的结构如图 21.5 所示。当高分子介质吸湿后，电容发生变化。由于高分子薄膜可以做得很薄，故元件能迅速吸湿和脱湿，所以元件有滞后小和响应速度快等特点。

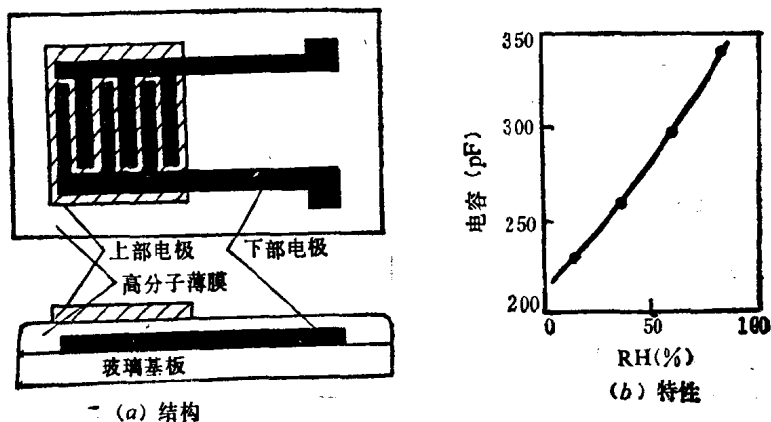


图 21.5 高分子介质电容式湿敏元件的结构

2. 电阻式湿敏元件

将石墨粉加入吸湿性树脂中，从而形成导电性物质，或把可导电的高分子作为湿敏层，检测高分子介质的电阻随湿度变化，这就是高分子介质电阻式湿敏元件。这种元件的制作工艺重复性好，滞后也小。

3. 石英振动式湿敏元件

在石英振子的电极表面涂敷聚脂胺高分子膜，当膜吸湿时，由

于膜的重量变化而使石英振子共振频率变化,这样即可检测湿度。在 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$,元件的检测范围是 $0\sim 100\% \text{RH}$,误差为 $\pm 5\% \text{RH}$ 。

当石英振子表面结露时,振子的共振频率会发生变化,同时共振阻抗增加。利用石英振子的这种性能即可构成检测露点的湿敏元件。

4. 碳膜式湿敏元件

涂布碳粉微粒的树脂吸湿后发生膨胀,由于体积增加而使碳粉的密度降低,从而引起电阻增加,利用涂布树脂的这种性能可检测湿度。这种湿敏元件在 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 检测 $\pm 2\% \text{RH}$ 不需要温度补偿,在低湿度下响应特性好,故被用于气象气球的湿敏元件。

21.2.4 尺寸变化式湿敏元件

1. 毛发湿度计

毛发受潮后尺寸发生变化,因此可用毛发作湿敏元件。毛发湿度计具有结构简单,使用方便和可检测相对湿度等优点,故由 18 世纪沿用至今。

2. 其他长度变化式湿敏元件

尼龙带、乌鱼皮膜、印壳膜或竹质纸等经泡制后,其受潮后的伸缩性能可超过优质毛发。因此,用这些材料亦可制作湿敏元件。

21.2.5 干湿球温度计

干湿球温度计是人所共知的在过程控制中广泛使用的湿度计。这种湿度计可检测空气的相对湿度,但一般不用它直接控制空气湿度。

§ 21.3 非水分子亲和力和型湿敏传感器

21.3.1 微波湿敏传感器

微波在含水蒸气的空气中传播时,由于水蒸气吸收微波而使

微波产生一定的损耗,损耗大小随波长而异。利用这一特性可构成微波湿敏传感器。

微波湿敏传感器的优点:(1)在露点温度以下,传感器性能不变;(2)在高温、高湿下能长期工作;(3)使用温度范围宽;(4)有互换性;(5)可通过加热清洗,且坚固耐用。缺点是当微波增益变化大时,微波损失也随之变化。

21.3.2 红外湿敏传感器

水蒸气能吸收特定波长的红外线,利用这种现象可构成红外湿敏传感器。

红外湿敏传感器的优点:(1)能检测高湿、密封、大风速和通风孔道等场所的气体湿度;(2)动态范围宽。其缺点:(1)光学系统的温度稳定性差;(2)结构复杂,难于普及。

21.3.3 热敏电阻湿敏传感器

热敏电阻湿敏传感器的原理和结构如图 21.6 所示。传感器的输出电压与绝对湿度成比例,故可用其测量大气绝对湿度。

热敏电阻湿敏传感器可用于空调机,自动控制湿度,还可作便携式绝对湿度表、直读露点计、相对湿度表、水分表、绝对湿度自动

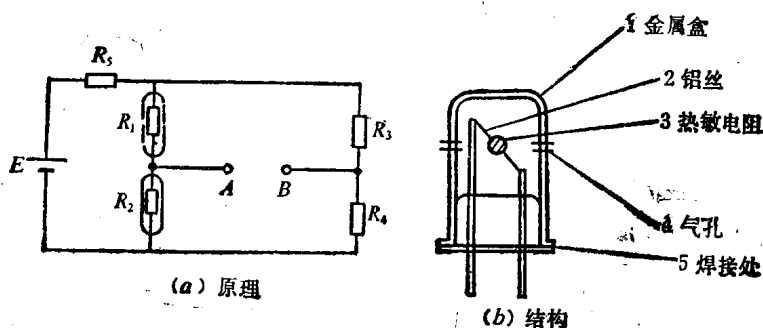


图 21.6 热敏电阻湿敏传感器的原理和结构