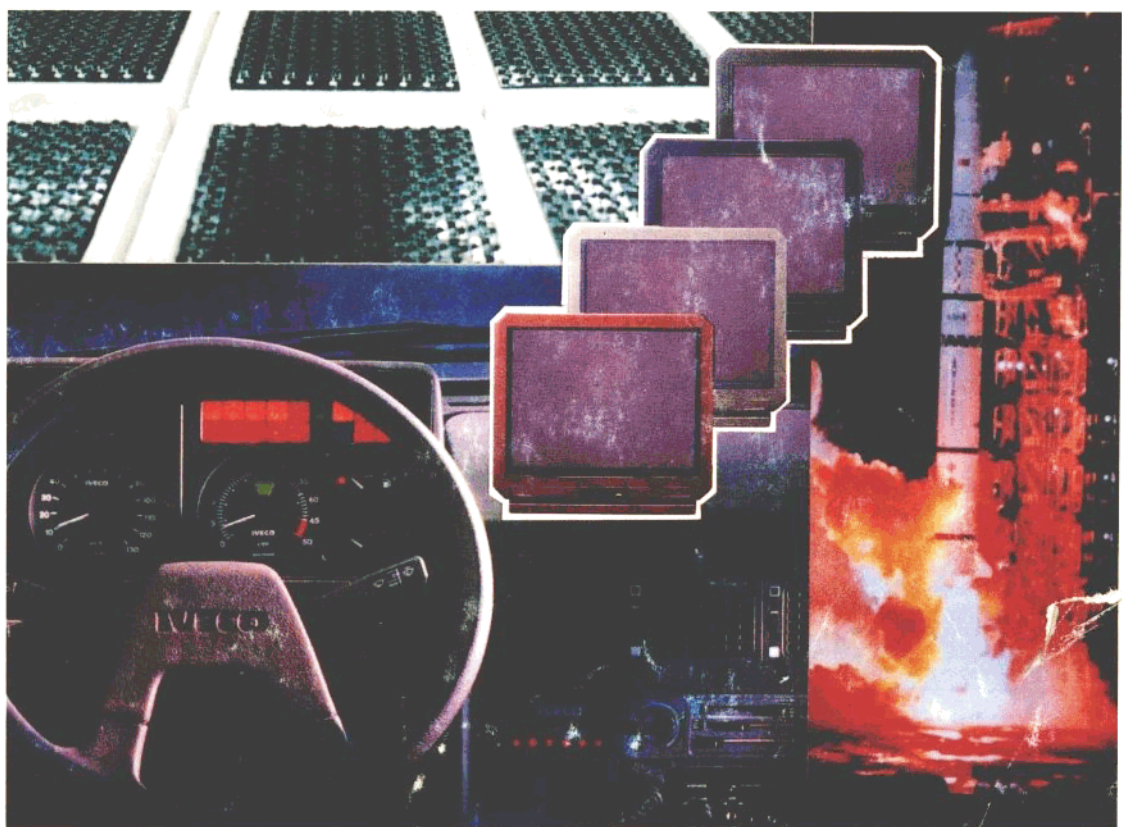


热敏电阻实用技术

(PTC 篇)

电子工业部电子陶瓷专业情报网
《电子天府》杂志社 编



成都科技大学出版社

沈阳金威热敏材料公司

沈阳金威热敏材料公司是中国科学院金属研究所和深圳金科特种材料有限公司合资兴办的大型 PTC 元器件生产企业。专门生产各种用途的系列化 PTC 元件和各种 PTC 组件,日产 PTC 元件 3 万只,PTC 组件 3 千套。

金威公司拥有大型 PTC 元器件生产线、完善的质检系统及高层次的技术队伍;使用中科院金属研究所的生产技术,已有多项科研成果通过鉴定;生产的产品多次获得各种奖励,并于 1991 年被国家计委列入国家级重大新产品试产计划。产品达到国内先进水平,其特点是三高,即电阻温度系数高,耐电压强度高,抗老化性能高。特别是在提高抗老化性能方面,技术上取得了突破性的进展。使得 PTC 加热元件的发热功率不会随着使用时间的延长而降低。

产 品 应 用 范 围

金威系列产品广泛应用于暖风机,干衣机,美容器,卷发器,被褥干燥机,干手器,驱蚊器,发卷,酸奶器,恒温箱,餐桌保温板,暖手器,热敷器,司机座垫,车务员脚垫,节能灯,电机保护,继电器保护,汽车化油器加热,电机启动以及各种过热、过流和过压保护等场合。

产 品 技 术 指 标

类 型	居里温度 ℃	常温电阻 Ω	耐电压 V	升阻比	阻温系数 %/℃	使用电压 V	发热功率 W/片	起始冲流 A/片	1000h 电阻老化 %	1000 h 功率老化 %
开关型元件	40~300	>1.5	500~700	3~7	20~35	6~240	—	—	3~20	—
加热型元件	40~300	>10	500~700	3~6	16~30	6~240	—	—	10~50	3~10
大功率组件	200~300	>100	500~700	3~6	16~30	110~220	80~110	0.8~1.2	10~50	3~10

注:元件外形尺寸可根据要求制作,有圆形、方形或环形。大功率组件所用元件尺寸为 24 mm×15 mm×3 mm。

金威信守用户至上原则

欢迎惠顾

金威公司:沈阳市于洪区昆明湖街沈阳开发区 电话:(024)5814082 邮政编码:110141(暂不通邮,来信请寄金属研究所)

中科院金属研究所:沈阳市文化路 72 号 电话:(024)3843531 转 646 或 778 邮政编码:110015

联系人:张喜哲、肖金泉 住宅电话:(024)3843531 转 415

序

自 1950 年荷兰菲利浦公司的海曼等人发现 BaTiO_3 系陶瓷半导化后可获得正温度系数(PTC)特性以来,人们对它的了解越来越深刻。与此同时,在其应用方面也正日益广泛,渗透到日常生活、工农业技术、军事科学、通讯、宇航等各个领域,且正处于上升时期,大有一发不可收拾之势。

当然,形成这种状况的原因,在于 PTC 热敏电阻具有其独特的电-热-物理性能。目前正处于:对 PTC 陶瓷性能的物理本性进一步认识、对 PTC 陶瓷材料性能的进一步优化和对 PTC 陶瓷元件应用的进一步推广,三者相互促进的阶段。在这个时期出版这本册子,除了便于读者理解、认识和推广应用 PTC 热敏电阻之外,还将对 PTC 陶瓷事业的发展起到一定的推动作用。

东莞南方电子有限公司 李标荣

前 言

热敏电阻按阻值温度系数分为正电阻温度系数(PTC)和负电阻温度系数(NTC)热敏电阻。本书主要论述 PTC 热敏电阻的实用技术。

PTC 是 Positive temperature Coefficient 的缩写,实为正的溫度系数之意,习惯上用于泛指正电阻温度系数很大的半导体材料或元器件等。

PTC 元件的实用化始于 60 年代初期。最早的商品是用于晶体管电路的温度补偿元件。随后,用于电机过热保安、彩电消磁线圈限流及恒温发热等场合的系列化产品相继商品化,并很快形成大生产规模。1991 年度世界总销售量超过 3 亿只,并正以 15%左右的年增长率继续发展。

我国对 PTC 元件的研制始于 1964 年,60 年代末期商品化,80 年代后期主要产品系列化并初具规模;1991 年度主要厂家的总销售量接近 0.3 亿只,不足世界总销售量的十分之一。可见我国在这方面起步虽不算太晚,但发展相对缓慢。其原因,除基础研究薄弱、生产技术装备落后、支撑产业发展不协调外,应用产品开发不力尤为突出。

PTC 元件的应用范围十分广泛,有待开发的应用产品极其丰富。这一点已为越来越多的行家所共识。

应广大读者要求,电子工业部电子陶瓷情报网和《电子天府》杂志社决定联合编著《热敏电阻实用技术》。本书借助常用电子电路,选择国内外被社会广为接受并具有普遍参考价值的各类应用实例,着重在工作原理及 PTC 选型方面加以介绍;旨在向从事 PTC 研究、生产及开发应用产品的工程技术人员、有关专业的大学生及其他 PTC 爱好者提供有关 PTC 的基本参数及特性,使读者在结合实际,开发新应用产品的构思中有所启示和实用价值。

本书共分五章,分别由在国内 PTC 理论与实用技术界有造诣有影响的专家、教授撰写。第一章基本理论由周东祥教授撰写。第二章 PTC 热敏电阻在电路控制及传感器中的应用主要由王鹏程高级工程师撰写,其中:2.12、2.13、2.23 及 2.24 节由李标荣教授撰写,2.14、2.15 节由李保国、贺铭标二位高级工程师撰写,2.17 节由程日青工程师撰写,2.25、2.27 节由魏道兴高级工程师撰写,2.26 节由邓国强高级工程师撰写。第三章 PTC 热敏电阻在电热器具中的应用主要由陈宏金副教授撰写,其中 3.2 节由程荣高高级工程师撰写,3.3 节由魏道兴高级工程师撰写,3.10 节由王鹏程高级工程师和胡忠谓教授撰写,3.4、3.22 及 3.25 节由曲远方副教授撰写。第四章 PTC 热敏电阻在汽车中的应用主要由李学文和龙超蜀两位高级工程师撰写,其中 4.7、4.8 节由王鹏程高级工程师撰写。第五章收编了有关国家标准、专业标准,并提供国内部分主要 PTC 元件生产单位的企业标准及产品介绍。其中标准部分由张梅芳高级工程师整理。

本书由于撰稿人较多且风格不一,编者水平有限,错误和遗漏在所难免,诚望各界读者批评指正。如果本书能为同行们在研究开发中有所启发,编著者们将感到十分欣慰。

最后,对在本书编写、出版过程中给予帮助和支持的友人表示衷心感谢。特别要感谢《电子天府》杂志社及其廖汇芳主编,在本书的出版工作中给予了大量的人力和财力支援;以及本书主审李标荣教授在百忙中为本书作序并为本书出版提出了不少宝贵意见。

编 者

1994 年 8 月

目 次

1 基本理论

1.1 BaTiO ₃ 半导体 PTC 效应的基本原理	1
1.1.1 BaTiO ₃ 半导体的 PTC 效应	1
1.1.2 PTC 效应的原理	2
1.1.2.1 海望模型	2
1.1.2.2 丹尼尔斯模型	2
1.2 PTC 热敏电阻的特性	4
1.2.1 电阻-温度特性	4
1.2.2 伏-安特性	6
1.2.3 电流-时间特性	6
1.2.4 与热效应有关的参数	7
1.2.4.1 耗散系数	7
1.2.4.2 热时间常数	10
1.2.4.3 热容量	11
1.3 PTC 元器件的选用与结构设计	11
1.3.1 电参数的确定	11
1.3.1.1 伏-安特性曲线的利用	11
1.3.1.2 居里温度(开关温度)的确定	12
1.3.2 电热参数的计算	12
1.3.2.1 限流元件有关参数计算	12
1.3.2.2 定温发热体参数计算	14
1.3.3 结构设计	17
1.3.3.1 设计步骤	17
1.3.3.2 发热体的结构设计	17
1.3.4 应用举例矩阵	21

2 PTC 热敏电阻在电路控制及传感器中的应用

2.1 晶体管温度补偿电路	24
2.1.1 原理电路	24
2.1.2 应用举例	25
2.1.2.1 晶体管放大电路	25
2.1.2.2 乙类推挽放大电路	25
2.2 测温控温电路	26
2.2.1 原理电路	26
2.2.2 主要元器件选择	27
2.2.3 安装与调试	28
2.3 过热保护电路	28
2.3.1 原理电路	28

2.3.2	主要元器件选择	28
2.3.3	安装与调试	29
2.4	孵育箱调控温电路	29
2.4.1	原理电路	29
2.4.2	主要元器件选择	31
2.4.3	安装与调试	31
2.5	电风扇自然风自控电路	31
2.5.1	原理电路	31
2.5.2	主要元器件选择	32
2.5.3	安装与调试	32
2.6	电扇自动开关电路	32
2.6.1	原理电路	32
2.6.2	主要元器件选择	33
2.7	彩色胶卷冲洗液恒温器用调温电路	33
2.7.1	原理电路	33
2.7.2	主要元器件选择	34
2.8	开水壶报警电路	34
2.8.1	原理电路	34
2.8.2	主要元器件选择	35
2.8.3	安装与调试	35
2.9	电热水器调温用自控电路	35
2.9.1	原理电路	35
2.9.2	主要元器件选择	36
2.9.3	安装与调试	36
2.10	轴温过热保护电路	36
2.10.1	原理电路	37
2.10.2	主要元器件选择	37
2.10.3	安装与调试	38
2.11	电热毯控温电路	38
2.11.1	原理电路	38
2.11.2	主要元器件选择	38
2.11.3	安装与调试	39
2.12	日光灯和节能灯电子镇流器	39
2.12.1	原理电路	39
2.12.2	主要元器件选择	40
2.13	低压电源及电池充电电路保护	40
2.13.1	原理	40
2.13.2	主要元器件选择	40
2.14	家用电热膜炊具温度控制器	41
2.14.1	原理电路	41
2.14.2	元器件选择与安装	42
2.15	变压器绕组温度监测用多温控制箱	42
2.15.1	工作原理	42
2.15.2	结构及运行方式	43

2.16	旁热式 PTC 断水、超温控制电路	44
2.16.1	原理电路	44
2.16.2	主要元器件选择	45
2.16.3	安装与调试	45
2.17	取暖器用温控器	45
2.17.1	原理电路及结构	45
2.17.2	特性	46
2.18	延迟器及其应用	46
2.18.1	原理电路	46
2.18.2	应用举例	47
2.18.2.1	冰箱停电保安器	47
2.18.2.2	OCL、OTL 功放延迟电路	48
2.18.2.3	显象管高压延迟电路	49
2.18.3	主要元器件选择与调试	49
2.19	压缩机启动电路	50
2.19.1	分相式启动电路	50
2.19.2	电容式启动电路	51
2.19.3	主要元器件选择	51
2.20	彩电消磁电路	52
2.20.1	自动消磁电路	52
2.20.2	兼有抑制浪涌电流功能的自动消磁电路	53
2.21	过流保安电路	53
2.21.1	原理电路	53
2.21.2	主要元器件选择	54
2.21.3	应用举例	55
2.21.3.1	电源回路过流保安电路	55
2.21.3.2	继电器触头的保安电路	55
2.21.3.3	晶体管保安自控电路	56
2.22	液位控制电路	56
2.22.1	原理电路	56
2.22.2	主要元器件选择	57
2.22.3	安装与调试	57
2.23	电子镇流器过流保护电路	57
2.23.1	原理电路	58
2.23.2	主要元器件选择	58
2.24	程控交换机配线架保安单元	58
2.24.1	原理电路	58
2.24.2	主要元器件选择	59
2.25	程控交换机雷电浪涌保护电路	59
2.26	小型变压器过载和短路保护电路	59
2.27	电子元器件老化台保护电路	60

3 PTC 热敏电阻在电热器具中的应用

3.1	PTC 加热器分类	61
-----	-----------------	----

3.1.1 按传热方式分	61
3.1.2 按应用特点分	61
3.1.3 按发热体结构特点分	61
3.2 PTC 暖风机的设计	65
3.2.1 PTC 元件选择	65
3.2.2 PTC 发热体结构设计	66
3.2.3 风源选择及设计要点	67
3.2.4 其他问题	68
3.2.5 PTC 发热体质量评价	68
3.3 暖房机	69
3.3.1 结构类型	69
3.3.2 原理电路	69
3.4 被褥兼服装温风干燥机	70
3.4.1 结构原理	70
3.4.2 设计要点	71
3.4.3 应用举例	71
3.5 滚筒式干衣机	72
3.5.1 结构原理	72
3.5.2 设计要点	72
3.6 恒温衣物干燥柜	73
3.6.1 结构原理	73
3.6.2 设计要点	73
3.7 恒温型热风整发器和吹风机	74
3.7.1 结构原理	74
3.7.2 设计要点	74
3.8 自动喷水洗手干手器	74
3.9 温风暖足器	75
3.10 小型精密恒温加热器具	75
3.10.1 特性	75
3.10.2 结构原理	76
3.10.3 主要元器件选择	77
3.10.4 应用举例	78
3.10.4.1 集成电路块用恒温加热器	78
3.10.4.2 晶体振荡器用精密恒温加热器	79
3.10.4.3 P-876 型自控恒温加热器	79
3.11 板状加热器具	81
3.11.1 结构原理	82
3.11.2 主要元器件选择	83
3.11.3 水中加热器	83
3.12 恒温保温煲、保温饭盒	83
3.12.1 结构原理	83
3.12.2 主要元器件选择	84
3.13 电热药片和电热药液驱蚊器	84
3.13.1 结构原理	84

3.13.2 主要元器件选择	84
3.13.3 设计要点	85
3.14 卷发器、烫发铁	85
3.14.1 结构原理	85
3.14.2 主要元器件选择	85
3.15 恒温蒸汽美容器	86
3.16 药剂热汽喷雾器	87
3.17 热敷理疗腰带	87
3.18 红外线辐射理疗器	88
3.18.1 导热式红外辐射理疗器	88
3.18.2 热风式红外辐射理疗器	88
3.18.3 远红外温灸、药灸器	88
3.19 暖手器	89
3.19.1 结构类型	89
3.19.2 主要元器件选择	90
3.20 电暖拖鞋和暖脚踏板	90
3.20.1 结构原理	90
3.20.2 主要元器件选择	90
3.21 恒温干鞋器	91
3.21.1 结构原理	91
3.21.2 主要元器件选择	91
3.22 高压锅	92
3.22.1 双面电极加热体式高压锅	92
3.22.2 叉指电极加热体式高压锅	92
3.23 餐具加热干燥消毒柜	93
3.23.1 结构原理	93
3.23.2 主要元器件选择	93
3.24 煤油气化炉	94
3.24.1 结构原理	94
3.24.2 主要元器件选择	94
3.25 恒温电熨斗	95
3.25.1 结构原理	95
3.25.2 主要元器件选择	96
3.26 电烙铁	96
3.26.1 结构类型	96
3.26.2 主要元器件选择	98
3.27 恒温热熔塑料焊枪	98
3.28 热熔塑膜粘合机(封口机)	98

4 PTC 热敏电阻在汽车中的应用

4.1 应用概况	100
4.2 汽车电器过载保护装置	101
4.2.1 原理电路	101
4.2.2 主要元器件选择	101

4.2.3 鼓风机电机的过流保护	102
4.3 汽车用混合气加热器	102
4.3.1 结构及低温启动特性	102
4.3.2 安装与调试	103
4.4 低温启动用两种 PTC 陶瓷加热器	103
4.4.1 结构	103
4.4.2 主要元器件选择	104
4.5 汽车用燃料加热器	104
4.5.1 主要元器件选择	104
4.5.2 工作原理	105
4.6 汽车用蜂窝状 PTC 陶瓷加热器	105
4.6.1 特性及设计要点	105
4.6.2 应用举例	106
4.6.2.1 游览车冷温藏室加热器	107
4.6.2.2 驾驶盘把柄加热器	107
4.7 新型燃油液位指示器	107
4.7.1 原理电路	107
4.7.2 摩托车用汽油液位报警器	108
4.7.3 汽车用燃油液位指示器	108
4.7.4 主要元器件选择	109
4.7.5 安装与调试	109
4.8 机动车发动机冷却水温度检测表	109
4.8.1 原理电路	109
4.8.2 主要元器件选择	110
4.8.3 调试与标定	111

5 标准目录及产品介绍

5.1 标准目录	112
国内部分主要厂家主要产品介绍	

1 基本理论

PTC 热敏电阻的宏观特性主要体现在它的电阻-温度特性、伏-安特性和电流-时间特性三个主要方面,其中电阻-温度特性为最基本的特性,也是衡量 PTC 材料性能好坏的最重要的特性。因此,大多数应用产品的设计都是从阻-温特性出发的。本章主要介绍 PTC 热敏电阻的这些主要特性以及应用中的一些技术问题。

1.1 BaTiO_3 半导瓷 PTC 效应的基本原理

1.1.1 BaTiO_3 半导瓷的 PTC 效应

BaTiO_3 陶瓷是一种典型的铁电材料。常温下其电阻率大于 $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, 相对介电常数可高达 10^4 , 是一种优良的陶瓷电容器材料。在这种陶瓷材料中引入微量稀土元素, 如 La、Y、Sm、Ga 等, 可使其电阻率下降到 $10 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下, 成为良好的半导体陶瓷材料。这种材料具有很大的正电阻温度系数, 在居里温度以上几十度的温度范围内, 其电阻率可增大 4~10 个数量级, 即产生所谓 PTC 效应。见图 1.1。具有该性质的材料通常称为 PTC 材料。

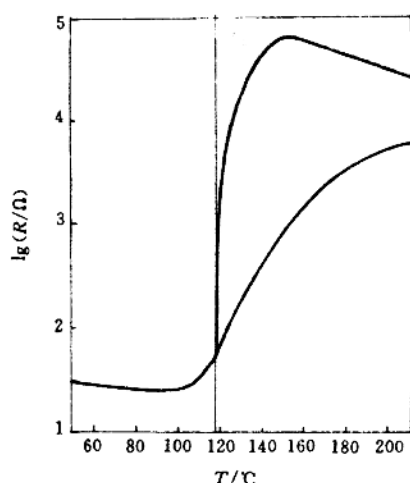
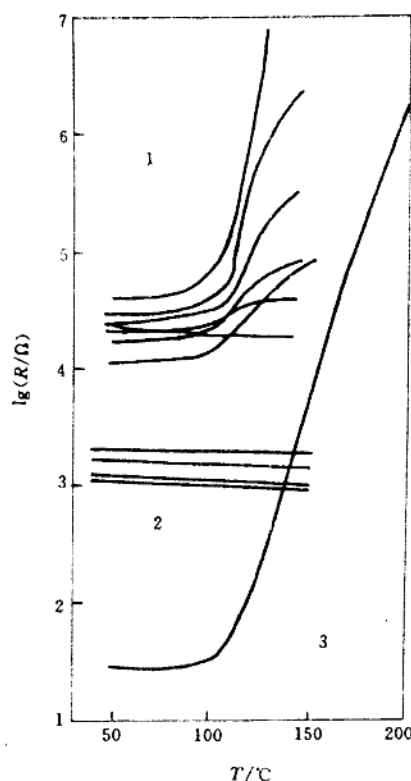


图 1.1 BaTiO_3 半导瓷的阻-温特性曲线

BaTiO_3 半导瓷的这种 PTC 效应, 是一种晶界效应, 即只有多晶 BaTiO_3 陶瓷材料才具有这种特性, 而且只有在施主掺杂的情况下, 材料才呈现 PTC 效应。利用双探针测微器可以直接观察晶粒和晶界的电阻-温度特性, 从而证实了上述理论。参看图 1.2。

PTC 效应与晶格结构、组分、杂质浓度和种类及制备工艺等因素有关, 在材料制备过程中须严格控制工艺条件。此外在元器件的使用过程中也须注意使用条件, 以便达到物尽其用的目的。



1—单个晶界; 2—单个晶粒; 3—陶瓷
图 1.2 单个晶粒和晶界的阻-温特性

1.1.2 PTC 效应的原理

对于 BaTiO_3 半导体的这种 PTC 效应,有多种理论模型予以解释,但目前较为成熟并为多数研究者承认的有海望(Heywang)提出的表面势垒模型和丹尼尔斯(Daniels)等人提出的钡缺陷模型。下面简单予以介绍。

1.1.2.1 海望模型

简略地讲,海望模型把产生 PTC 效应的原因归结为,在多晶 BaTiO_3 半导体材料的晶粒边界,存在一个由受主表面态引起的势垒层,参看图 1.3。势垒高度 ϕ_0 与材料的相对介电常数 ϵ_r 成反比,见式(1.1)。

$$\phi_0 = \frac{e^2 n_s^2}{2\epsilon_r n_D} \quad (1.1)$$

式中 n_s ——表面受主浓度;

n_D ——有效施主浓度;

ϵ_r ——材料的相对介电常数。

在居里点以上,介电常数 ϵ_r 按居里-外斯定律下降。

$$\epsilon_r = \frac{C}{T - T_c} \quad (1.2)$$

式中,居里常数 $C = 1.2 \times 10^5 \text{K}$,居里温度 $T_c = 380 \text{K}$ 。由式(1.1)及式(1.2)可知, ϕ_0 随温度上升而增大,由于材料的电阻率是由晶粒体电阻与晶粒表面态势垒两部分构成,因此材料的有效电阻率可表示为:

$$\rho_{\text{eff}} = \rho_v + \rho_s = \rho_v (1 + \alpha e^{\phi_0/(4T)}) \quad (1.3)$$

式中 ρ_v ——晶粒体电阻率, $\rho_v = \rho_0 e^{E_D/(2kT)}$;

ρ_s ——表面势垒电阻率;

α ——与晶粒尺寸有关的几何因子。

由式(1.3)可见,在居里温度以上,随温度上升,材料的有效电阻率将出现几个数量级的变化。

1.1.2.2 丹尼尔斯模型

利用海望模型可以解释许多与 PTC 效应有关的实验现象。多年来一直被认为是该领域内具有权威性的理论。但仍有许多实验现象无法解释。为此不少研究者对该模型进行了修正,其中较有代表性的有焦克(Jonker)等人的铁电补偿理论,丹尼尔斯的钡缺陷理论等。

海望模型的主要缺陷在于对以下实验事实无法作出解答:

(1) PTC 效应只出现在施主掺杂的 BaTiO_3 n 型半导体中,而用还原法制备的 n 型半导体则不存在 PTC 效应。

(2) PTC 效应受制备过程中的冷却方式影响极大。

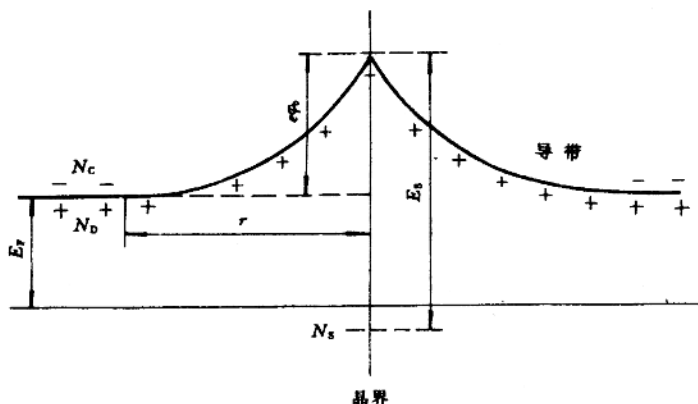
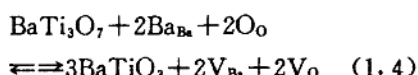


图 1.3 晶界表面势垒能带图

(3)对图 1.4 所示的材料电导率与施主掺杂量的关系曲线(半导化曲线)应作何解释。

针对上述问题,丹尼尔斯等人利用缺陷化学理论在研究了 BaTiO_3 半导体缺陷模型的基础上,提出了晶粒边界及表面钡缺位高阻层模型。

研究表明,施主掺杂 BaTiO_3 在烧成的降温过程中,晶界中的富钛相 BaTi_3O_7 将析出 BaTiO_3 与此同时钡缺位形成。该过程可用 (1.4) 式描述:



式中 $\text{Ba}_{\text{Ba}}, \text{O}_0$ ——分别表示处在正常 Ba 位上的 Ba 离子和处在正常氧位上的氧离子;

$\text{V}_{\text{Ba}}, \text{V}_0$ ——分别表示钡缺位和氧缺位。

上述过程由于氧缺位有较大的扩散系数,可以通过扩散以及空气中的氧分子溶入来达到新的平衡。其结果将在晶界附近形成钡缺位。在冷却过程中,由于缺陷浓度的不平衡,将不断向晶粒体中扩散,由于钡缺位的扩散系数较之氧缺位的扩散系数小得多,随着温度的进一步下降,在一定温度下钡缺位的扩散被冻结,结果使晶粒表面与内部的钡缺位分布不均匀,即在晶界上形成了由钡缺位作为受主杂质构成的势垒层(高电阻层)。与海望模型一样,这种势垒受到铁电极化的补偿而产生 PTC 效应。由泊松方程可得:

$$\frac{d\psi^2}{dx^2} = -\frac{1}{\epsilon_0}(\rho - \frac{dP}{dx}) \quad (1.5)$$

式中 ψ ——表面势垒($\psi = e\varphi$);

P ——电极化强度;

ρ ——空间电荷密度。

在居里温度以下,电极化强度的变化率(一般认为仅限于其分量的变化率 dP/dx)会全部或部分抵消空间电荷,使晶界势垒消失或降低。居里点以上由于铁电性的消失而使势垒大幅度提高。

由于还原法制备的 BaTiO_3 半导体不存在钡缺位,因而不呈现 PTC 现象。由于钡缺位是在降温过程中形成的,因此 PTC 效应与降温速率关系极大。对于图 1.4 的半导化曲线,峰点左侧为电子补偿占优,右侧为钡缺位补偿占优。此外由于随施主含量的提高晶粒尺寸减小进而使电导率下降,也是原因之一,见图 1.5。

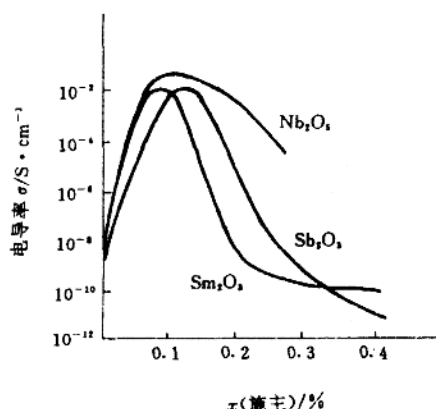


图 1.4 BaTiO_3 半导体的室温电导率与施主含量的关系

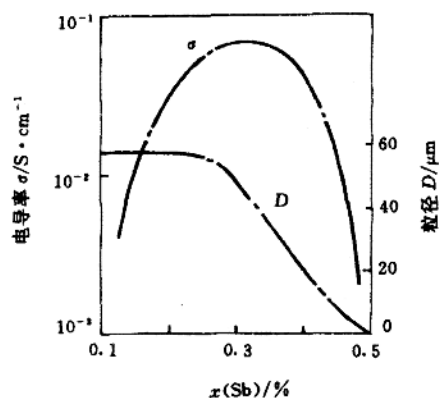


图 1.5 电导率、晶粒尺寸与施主含量的关系

1.2 PTC 热敏电阻的特性

从应用的角度出发,通常把 PTC 材料的基本特性分为,电阻-温度特性,电流-时间特性,伏-安特性和热特性等几个方面来讨论。

1.2.1 电阻-温度特性

电阻-温度特性常简称为阻-温特性,指在规定电压下热敏电阻的零功率电阻值与电阻体温度之间的关系。零功率电阻是在某一规定的温度下测量 PTC 热敏电阻器电阻值,测量时应保证其功耗低到因功耗引起的电阻值的变化可以忽略的程度。

阻-温特性曲线通常绘制在单对数坐标中,线性横坐标表示温度;对数纵坐标表示电阻值,见图 1.6。

图中 R_{25} 为常温电阻,指 25°C 下的零功率电阻值。 $R_{\min}$ 为最小零功率电阻值,相应温度为 $T_{\min}$ 。 R_b 为开关电阻,指 2 倍室温电阻值时的零功率电阻值,相应温度 T_b 为开关温度。开关温度是 PTC 热敏电阻的重要参数之一,指电阻值产生阶跃增大时的温度,是与物理参数居里点温度相对应的。 R_p 表示平衡点电阻值,指在 25°C 的静止空气中,对 PTC 热敏电阻器施加最大工作电压 $U_{\max}$ (热敏电阻器能够长期稳定工作在开关状态下的最大电压),当电阻体温度平衡时所具有电阻值,注意该电阻为非零功率电阻,是以电压、电流法计算而得,严格讲应为曲线上的 R_p' 。 $R_{\max}$ 为最大零功率电阻,相应温度为最高温度 $T_{\max}$ 。最大电阻与最小电阻的比值 $\eta = R_{\max}/R_{\min}$ 称为升阻比,是表征 PTC 效应的重要参数。 $T = T_{\max} - T_{\min}$ 是与材料相变有关的参数, T 越小说明相应温区越窄,电阻随温度变化也越陡峭,PTC 特性也就越好。

表征阻-温特性好坏的另一重要参数是温度系数,其定义为:

$$\alpha_T = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} \quad (1.6)$$

PTC 热敏电阻的电阻-温度特性在居里温度以上部分也可近似表示为:

$$R = ae^{BT} \quad (1.7)$$

两边取对数有:

$$\lg R = BT + a \quad (1.8)$$

式中 a 为常数,显见在单对数坐标中, $\lg R$ 与 T 成线性关系,对 T 微分有:

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} \lg e = B \quad (1.9)$$

即:

$$\alpha_T = \frac{B}{\lg e} = \frac{1}{\lg e} \frac{\lg R_2 - \lg R_1}{T_2 - T_1} \quad (1.10)$$

式中, R_1 、 R_2 均为零功率电阻值,其相应温度为 T_1 、 T_2 ,实际测量中一般取 $T_1 = T_b$; $\{T_2\}_c = \{T_b\}_c + 50$; 或者, $\{T_1\}_c = \{T_b\}_c + 15$, $\{T_2\}_c = \{T_b\}_c + 25$ 等。

图 1.6 中曲线 2 为高电压(例如最大工作电压 $U_{\max}$)下测量的零功率阻-温特性曲线,为了测

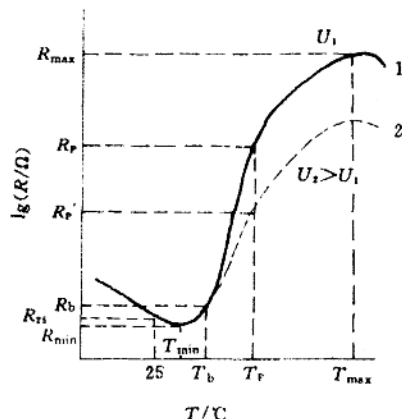


图 1.6 PTC 热敏电阻的阻-温特性曲线

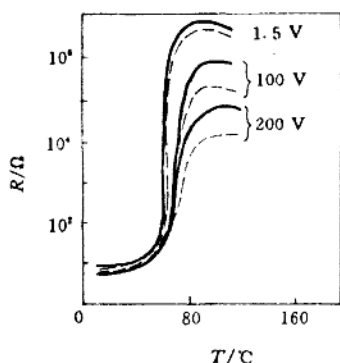


图 1.7 不同电压下的阻-温特性曲线

电压效应与材料的晶粒尺寸和势垒层的厚度有关。表现了材料的一种固有特性。对于应用而言,这种特性直接影响元器件的特性参数和使用寿命,因为电压效应过大的材料,其有效 PTC 效应小,相应的元器件的性能差,使用寿命也短。

阻-温特性是 PTC 材料最基本的特性,一般情况下 PTC 元件的特征参数均可直接或间接地从阻-温特性曲线上求得,而 PTC 特性的好坏也可以十分直观地从曲线上看出。因此对于应用于任何场合和要求的 PTC 元件而言,阻-温特性都是十分重要的。例如,阻-温特性好的即温度系数大和升阻比高的元件,对消磁电阻而言残余电流必然小;对电动机启动器而言则启动时间特性和恢复特性均好;对限流元件而言则响应时间快;对发热体则自动恒温作用好。而且升阻比高则耐压特性好,这一点对任何 PTC 元件来说都是适用的。

因此,为正确使用元器件和对元器件进行优化选择,以及整机设计时,都必须明了该元器件的电阻-温度特性。

电阻-温度特性的测量,一般有人工测量和自动测量两种方式。人工测量,通常是在恒温箱中进行,电阻的测量有电桥法,分压法,欧姆表法等。人工测量十分耗时,而且误差也比较大。自动测量一般使用计算机自动化测试系统,用这种方法测量,不仅测量快捷,且精度高,同时还可以自动作图、自动数据处理等。详细测量方法可参阅有关文献。

量时确保零功率,通常使用脉冲电压测量。测量该曲线可以了解 PTC 元件的电压效应,即可了解在工作电压下的有效 PTC 效应,例如,温度系数、升阻比等。由于 PTC 效应是一种晶界效应,即在晶界之中存在势垒,在外电场的作用下,由于势垒的倾斜而造成电压效应,这种电压效应使材料的 PTC 效应随电场强度的提高而下降,如图 1.7。

一般情况下,热敏电阻器可用两只并联电阻来等效(图 1.8)。其中 R_1 是电压的函数,其关系符合 $U = cI^\beta$; R_2 是温度的函数。当 $R_1 \gg R_2$ 时,相当于测量采用低电压的情况,此时等效电阻主要由 R_2 决定;若 R_1 和 R_2 接近,总电阻则是它的并联等效的结果,阻值下降显著,即电阻表现出较大的电压效应。其测量结果如图 1.9 所示。

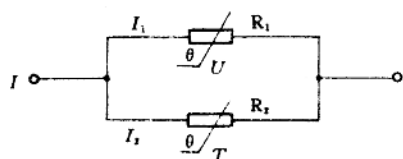
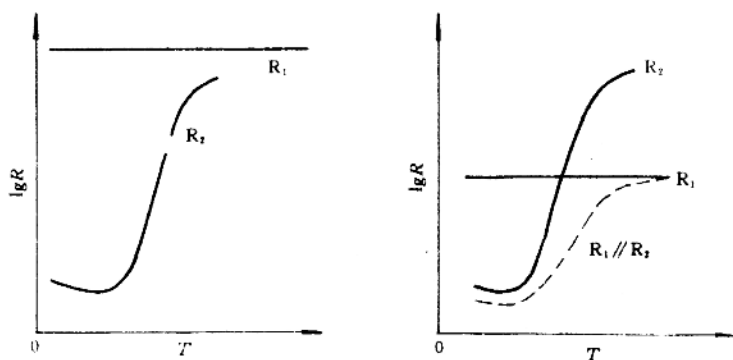


图 1.8 PTC 热敏电阻等效电路



(a) 低电压下 $R_1 \gg R_2$ 时;

(b) 高电压下 $R_1 \approx R_2$ 时

图 1.9 不同测量电压的阻-温特性比较

1.2.2 伏-安特性

伏-安特性一般是指在 25℃ 的静止空气中,加在热敏电阻器两引出端的电压与达到热平衡的稳态条件下的电流之间的关系,即 PTC 元器件在实际工作状态下的电压-电流特性,参看图 1.10。

PTC 热敏电阻器的伏-安特性,大致可分为三个区域,如图 1.10 所示。(I)区为线性区,此间的电流与电压的关系基本符合欧姆定律,即不产生明显的非线性变化,故也称等阻区域或不动作区。(II)区为跃变区,此时由于电阻器的自热升温,电阻值产生跃变,至使电流随电压的上升而下降,因此此区也称 PTC 元件的动作区。(III)区电流随电压的上升而上升,由于此间对应元件阻-温特性中之 NTC(负温度系数)段,电阻值随温度上升呈指数型下降,由功率 $W=U^2/R$ 可知电阻下降,功率上升,功率上升又导致温度上升,电阻进一步下降……如此循环往返,很快导致元件的热击穿。因此(III)区也称击穿区,B 点对应的电压 U_{max} 称为击穿电压。A 点对应电压 U_A 称为最大不动作电压,对应电流 I_{max} 称为最大不动作电流也称最大安全电流。显然, U_{max} 、 U_A 及 I_{max} 均与温度有关。因此测量不同温度下的伏-安特性十分重要。不同温度下的伏-安特性如图 1.11 所示。随温度上升, U_{max} 、 U_A 及 I_{max} 均有所下降。

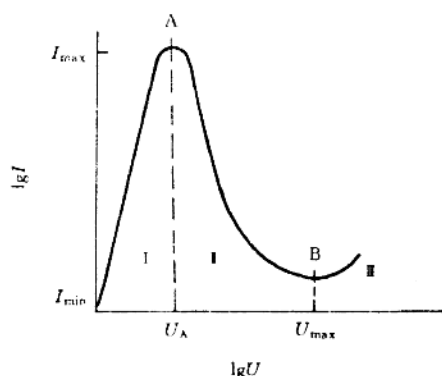


图 1.10 PTC 热敏电阻器伏-安特性

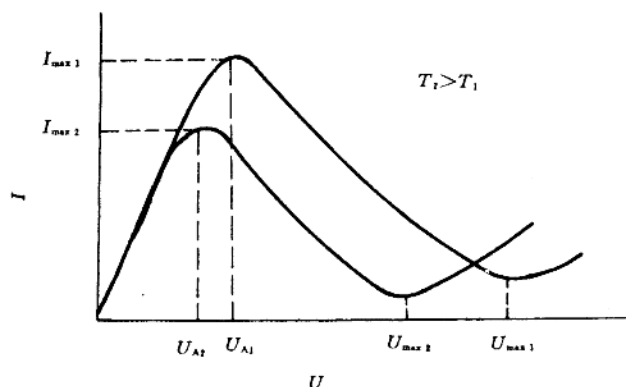


图 1.11 不同温度下的伏-安特性

伏-安特性对于 PTC 元件的应用也十分重要。首先从伏-安特性上可以获得元件在非破坏情况下的最大电压(击穿电压),因此可以合理的确定元件的工作电压,这一点对任何用途的 PTC 元件来讲都是适用的。其次,元件的动作与不动作电流也能从伏-安特性上反映出来,这对于正确设计和使用过电流保护元件,自然是相当重要的。此外对于定

温发热体也是一样,其工作点应该选择在跃变中比较陡峭的那一段。

伏-安特性的测量必须注意加压的间隔和速度,特别是在线性区,加压间隔一定要小,平衡时间一定要足够长,否则将会造成较大的误差。采用伏-安特性计算机自动化测试系统,可以方便快速地把该特性测量出来。

1.2.3 电流-时间特性

电流-时间特性是指热敏电阻器在施加电压过程中,电流随时间变化的特性。开始加电压瞬间的电流 I_0 称为起始冲流,通电后 1~3 s 的电流称为阻尼电流。平衡时的电流 I_P 称为残余电流。实测电流-时间特性如图 1.12 所示。

电流-时间特性是消磁电阻器、电动机启动器和过电流保护器件等应用产品的重要特性。此

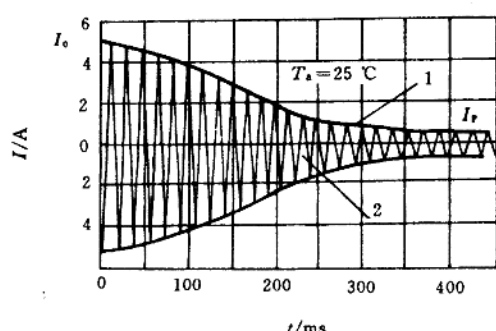


图 1.12 电流-时间特性(曲线 1:直流测量 曲线 2:交流测量)

器进行测量,基本电路如图 1.14 所示,电流信号由标准电阻 R_s 上取得,一般取 $R_s = 1 \Omega$,因此示波器所表示的幅值即为电流峰值,标准规定测量在无风状态下进行。

R_0 为限流电阻,不同门类的 PTC 元件由于工作状态不同,可通过调整 R_0 来调整起始电流或启动时间。

对于稳定元件中参数的测量,可选用专用测试仪表进行测量,例如电流特性测试仪,启动时间测试仪等。为全面了解材料的电流特性,也可采用计算机自动化测试系统,该系统不仅可以方便地描绘出各种曲线,同时可自动进行数据处理并打印出各种特征参数。

1.2.4 与热效应有关的参数

1.2.4.1 耗散系数

热敏电阻器中功率耗散的变化量与元件相应温度变化量之比称为耗散系数,其单位为 $\text{mW}/^\circ\text{C}$ 。

耗散系数是表征 PTC 热敏电阻器与周围媒介进行热交换能力的一个参数,也是 PTC 元件应用中十分重要的参数之一。在材料配方、工艺一定的前提下,元器件瓷体本身的居里点(开关温度)、升阻比等均基本不变,但其他性能参数则由元件的结构、外壳以及散热条件等决定。耗散系数则是这些条件的综合表征。因此 PTC 元件的动作时间、恢复特性等均与耗散系数有关。对于大功率发热体而言,耗散系数则更加重要,它直接影响到发热体的功率输出。

当 PTC 热敏电阻器两端加上电压时,由于功耗,电阻体温度逐渐升高,同时向周围媒质耗散热量直至电阻体的温度达到稳定,此时消耗的功率已全部扩散到媒质中。实验表明,电阻器的功

类产品的主要特征参数均可从曲线上查出,例如消磁电阻的起始冲流、残余电流;电动机启动器和过电流保护器的启动时间等。下面以电动机启动器的启动时间为例简单说明之。如图 1.13 所示,启动器的启动时间规定为,当电流下降到起始冲流的 $1/2$ 时所用的时间,因此从图中查出 $\frac{1}{2}I_0$ 所对应的时间即为启动时间。

电流-时间特性通常采用记忆示波

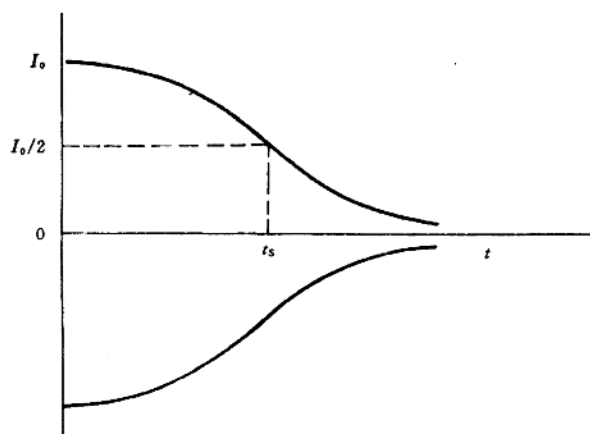


图 1.13 电动机启动器的启动时间

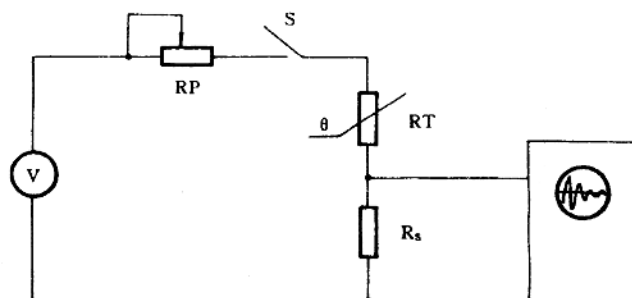


图 1.14 电流-时间特性测量原理