

# 热敏电阻介绍

章 登 宏

(华中理工大学电子科学与技术系 武汉 430074)

热敏电阻是开发早、种类多、发展较成熟的敏感元器件。热敏电阻由半导体陶瓷材料组成,利用的原理是温度引起电阻变化。若电子和空穴的浓度分别为 $n$ 、 $p$ ,迁移率分别为 $\mu_n$ 、 $\mu_p$ ,则半导体的电导为:

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

因为 $n$ 、 $p$ 、 $\mu_n$ 、 $\mu_p$ 都是依赖温度 $T$ 的函数,所以电导是温度的函数,因此可由测量电导而推算出温度的高低,并能做出电阻-温度特性曲线。这就是半导体热敏电阻的工作原理。

热敏电阻包括正温度系数(PTC)和负温度系数(NTC)热敏电阻,以及临界温度热敏电阻(CTR)。它们的电阻-温度特性如图1所示。热

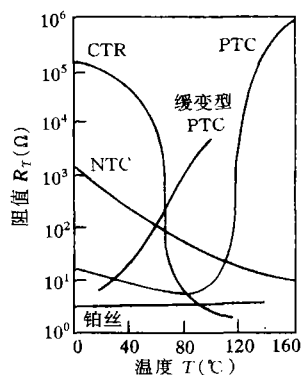


图1 几种热敏电阻阻温曲线

敏电阻的主要特点是:①灵敏度较高,其电阻温度系数要比金属大 $10\sim 100$ 倍以上,能检测出 $10^{-6}\text{°C}$ 的温度变化;②工作温度范围宽,常温器件适用于 $-55\text{°C}\sim 315\text{°C}$ ,高温器件适用温度高于 $315\text{°C}$ (目前最高可达到 $2000\text{°C}$ ),低温器件适用于 $-273\text{°C}\sim 55\text{°C}$ ;③体积小,能够测量其他温度计无法测量的空隙、腔体及生物体内血管的温度;④使用方便,电阻值可在 $0.1\sim 100\text{k}\Omega$ 间任意选择;⑤易加工成复杂的形状,可

大批量生产;⑥稳定性好、过载能力强。

由于半导体热敏电阻有独特的性能,所以在应用方面,它不仅可以作为测量元件(如测量温度、流量、液位等),还可以作为控制元件(如热敏开关、限流器)和电路补偿元件。热敏电阻广泛用于家用电器、电力工业、通讯、军事科学、宇航等各个领域,发展前景极其广阔。

## 一、PTC 热敏电阻

PTC (Positive Temperature Coefficient)是指在某一温度下电阻急剧增加、具有正温度系数的热敏电阻现象或材料,可专门用作恒定温度传感器。该材料是以 $\text{BaTiO}_3$ 或 $\text{SrTiO}_3$ 或 $\text{PbTiO}_3$ 为主要成分的烧结体,其中掺入微量的Nb、Ta、Bi、Sb、Y、La等氧化物进行原子价控制而使之半导化,常将这种半导体化的 $\text{BaTiO}_3$ 等材料简称为半导(体)瓷;同时还添加增大其正电阻温度系数的Mn、Fe、Cu、Cr的氧化物和起其他作用的添加物,采用一般陶瓷工艺成形、高温烧结而使钛酸钡等及其固溶体半导化,从而得到正特性的热敏电阻材料。其温度系数及居里点温度随组分及烧结条件(尤其是冷却温度)不同而变化。

钛酸钡晶体属于钙钛矿型结构,是一种铁电材料,纯钛酸钡是一种绝缘材料。在钛酸钡材料中加入微量稀土元素,进行适当热处理后,在居里温度附近,电阻率陡增几个数量级,产生PTC效应,此效应与 $\text{BaTiO}_3$ 晶体的铁电性及其在居里温度附近材料的相变有关。钛酸钡半导瓷是一种多晶材料,晶粒之间存在着晶粒间界面。该半导瓷当达到某一特定温度或电压,晶体粒界就发生变化,从而电阻急剧变化。

钛酸钡半导瓷的PTC效应起因于粒界(晶粒间界)。对于导电电子来说,晶粒间界面相当

于一个势垒。当温度低时,由于钛酸钡内电场的作用,导致电子极容易越过势垒,则电阻值较小。当温度升高到居里点温度(即临界温度)附近时,内电场受到破坏,它不能帮助导电电子越过势垒。这相当于势垒升高,电阻值突然增大,产生 PTC 效应。钛酸钡半导瓷的 PTC 效应的物理模型有海望表面势垒模型、丹尼尔斯等人的钡缺陷模型和叠加势垒模型,它们分别从不同方面对 PTC 效应作出了合理解释。

实验表明,在工作温度范围内,PTC 热敏电阻的电阻-温度特性可近似用实验公式表示:

$$R_T = R_{T_0} \exp B_p (T - T_0)$$

式中  $R_T$ 、 $R_{T_0}$  表示温度为  $T$ 、 $T_0$  时电阻值,  $B_p$  为该种材料的材料常数。

PTC 效应起源于陶瓷的粒界和粒界间析出相的性质,并随杂质种类、浓度、烧结条件等而产生显著变化。最近,进入实用化的热敏电阻中有利用硅片的硅温度敏感元件,这是体型且精度高的 PTC 热敏电阻,由  $n$  型硅构成,因其中的杂质产生的电子散射随温度上升而增加,从而电阻增加。

PTC 热敏电阻于 1950 年出现,随后 1954 年出现了以钛酸钡为主要材料的 PTC 热敏电阻。PTC 热敏电阻在工业上可用作温度的测量与控制,也用于汽车某部位的温度检测与调节,还大量用于民用设备,如控制瞬间开水器的水温、空调器与冷库的温度,利用本身加热作气体分析和风速机等方面。下面简介一例对加热器、马达、变压器、大功率晶体管等电器的加热和过热保护方面的应用。

PTC 热敏电阻除用作加热元件外,同时还能起到“开关”的作用,兼有敏感元件、加热器和开关三种功能,称之为“热敏开关”,如图 2 和 3 所示。电流通过元件后引起温度升高,即发热体的温度上升,当超过居里点温度后,电阻增加,从而限制电流增加,于是电流的下降导致元件温度降低,电阻值的减小又使电路电流增加,元件温度升高,周而复始,因此具有使温度保持在特定范围的功能,又起到开关作用。利用这种阻温特性做成加热源,作为加热元件应用的有

暖风器、电烙铁、烘衣柜、空调等,还可对电器起到过热保护作用。

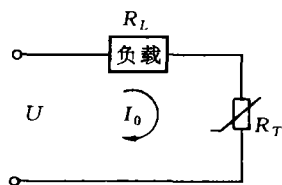


图2 直接保护原理图

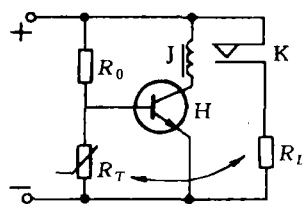


图3 间接保护原理图(箭头表示热耦合)

## 二、NTC 热敏电阻

NTC (Negative Temperature Coefficient) 是指随温度上升电阻呈指数关系减小、具有负温度系数的热敏电阻现象和材料。该材料是利用锰、铜、硅、钴、铁、镍、锌等两种或两种以上的金属氧化物进行充分混合、成型、烧结等工艺而成的半导体陶瓷,可制成具有负温度系数 (NTC) 的热敏电阻。其电阻率和材料常数随材料成分比例、烧结气氛、烧结温度和结构状态不同而变化。现在还出现了以碳化硅、硒化锡、氮化钼等为代表的非氧化物系 NTC 热敏电阻材料。

NTC 热敏半导瓷大多是尖晶石结构或其他结构的氧化物陶瓷,具有负的温度系数,电阻值可近似表示为:

$$R_T = R_{T_0} \exp B_n \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

式中  $R_T$ 、 $R_{T_0}$  分别为温度  $T$ 、 $T_0$  时的电阻值,  $B_n$  为材料常数。陶瓷晶粒本身由于温度变化而使电阻率发生变化,这是由半导体特性决定的。

NTC 热敏电阻器的发展经历了漫长的阶段。1834 年,科学家首次发现了硫化银有负温度系数的特性。1930 年,科学家发现氧化亚铜-氧化铜也具有负温度系数的性能,并将之成功地运用在航空仪器的温度补偿电路中。随后,

由于晶体管技术的不断发展,热敏电阻器的研究取得重大进展.1960年研制出了NTC热敏电阻器.NTC热敏电阻器广泛用于测温、控温、温度补偿等方面.下面介绍一个温度测量的应用实例,NTC热敏电阻测温用原理如图4所示.

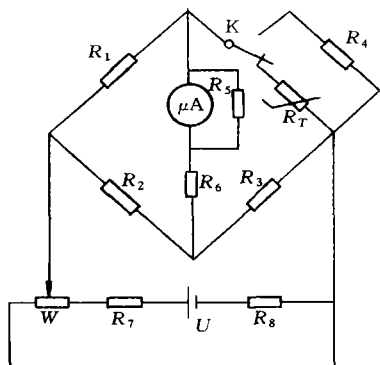


图4 热敏电阻温度计电路

它的测量范围一般为 $-10\sim +300^{\circ}\text{C}$ ,也可做到 $-200\sim +10^{\circ}\text{C}$ ,甚至可用于 $+300\sim +1200^{\circ}\text{C}$ 环境中作测温用. $R_T$ 为NTC热敏电阻器; $R_2$ 和 $R_3$ 是电桥平衡电阻; $R_1$ 为起始电阻; $R_4$ 为满刻度电阻,校验表头,也称校验电阻; $R_5$ 、 $R_6$ 和 $W$ 为分压电阻,为电桥提供一个稳定的直流电源. $R_6$ 与表头(微安表)串联,起修正表头刻度和限制流经表头的电流的作用. $R_5$ 与表头并联,起保护作用.在不平衡电桥臂(即 $R_1$ 、 $R_T$ )接入一只热敏元件 $R_T$ 作温度传感探头.由于热敏电阻器的阻值随温度的变化而变化,因而

使接在电桥对角线间的表头指示也相应变化.这就是热敏电阻器温度计的工作原理.

热敏电阻器温度计的精度可以达到 $0.1^{\circ}\text{C}$ ,感温时间可少至10秒以下.它不仅适用于粮仓测温仪,同时也可应用于食品储存、医药卫生、科学种田、海洋、深井、高空、冰川等方面的温度测量.

### 三、CTR热敏电阻

临界温度热敏电阻CTR(Critical Temperature Resistor)具有负电阻突变特性,在某一温度下,电阻值随温度的增加急剧减小,具有很大的负温度系数.构成材料是钒、钡、锶、磷等元素氧化物的混合烧结体,是半玻璃状的半导体,也称CTR为玻璃态热敏电阻.骤变温度随添加锆、钨、钼等的氧化物而变.这是由于不同杂质的掺入,使氧化钒的晶格间隔不同造成的.若在适当的还原气氛中五氧化二钒变成二氧化钒,则电阻急变温度变大;若进一步还原为三氧化二钒,则急变消失.产生电阻急变的温度对应于半玻璃半导体物性急变的位置,因此产生半导体-金属相移.CTR能够作为控温报警等应用.

热敏电阻的理论研究和应用开发已取得了引人注目的成果.随着高、精、尖科技的应用,对热敏电阻的导电机理和应用的更深层次的探索,以及对性能优良的新材料的深入研究,将会取得迅速发展.

## 向您推荐《现代物理知识》

《现代物理知识》创刊于1989年元月,是一份中、高级科普杂志.该刊侧重于介绍现代物理知识、物理学前沿的最新成果与发展动态,以及有关物理学的新技术及其应用.

《现代物理知识》由中国科学院主管,中国科学院高能物理研究所主办,科学出版社出版,国内外发行,各地邮局均可订阅.1999年的报刊征订工作即将开始,欢迎广大读者及时订阅《现代物理知识》.1999年全年6期邮局订价为

18元,每期3元.

本编辑部出售的杂志种类和价格为:1992年合订本,18元/本;1993年合订本,18元/本;1995年合订本,22元/本;1996年合订本,26元/本;1993年所庆增刊,8元/本;1994年增刊,8元/本;1996年增刊,22元/本;1997年合订本,36元/本;1999年全年6期共20元.

欲邮购杂志的读者,请汇款至:北京918信箱《现代物理知识》,邮编为100039.收款人姓名栏请填写:“现编部”.另外,汇款人地址、姓名、邮编请书写清楚、完整.