

半导体热敏电阻 譯文集



國防工業出版社

73.
132

半 导 体 热 敏 电 阻

譯 文 集

无綫电元件及材料編輯部編譯

34985/59



國所1965.第2卷.第2期

1965.

內 容 簡 介

本譯文集共收集文章12篇，主要內容有半导体热敏电阻的基本理論、性能、制造工艺、測量和应用等。前4篇是綜述性的报导，后8篇具体介紹了各种热敏电阻。

本书可供有关专业的研究单位和工厂的技术人員，以及高等院校半导体器件专业的师生参考。

半导体热敏电阻譯文集

无线电元件及材料編輯部編譯

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 7 $\frac{1}{8}$ 152千字

1965年8月第一版 1965年8月第一次印刷 印数：0,001—3,200册

統一书号：15034·940 定价：(科七) 0.90元

前 言

半导体热敏电阻是一种新型的非线性电路元件，自第二次世界大战以来，发展极为迅速。目前，在无线电技术测量和控制系统中，已获得日益显著的地位。

国外研制的热敏电阻品种繁多，不少产品已经定型并逐步完整和系列化；通用热敏电阻的稳定性及参数控制问题也基本解决，质量有很大提高。近年来，随着无线电技术日益发展的需要，各国都很重视热敏电阻材料和新品种的研究。例如，苏联对铜、锰、钴和镍、钛、钒等材料进行了长期的研究，用它们制成各种测温、控温、微波功率和热辐射测量及旁热式和稳压用的热敏电阻。在新品种方面，近年来美国研制用钛酸钡材料制成正温度系数热敏电阻，日本利用玻璃半导体制成玻璃热敏电阻。此外，各国还在研制高温和低温的热敏电阻。

本译文集共收集文章 12 篇，第 1~4 篇均系综述性的报导，以下各篇基本上是每篇介绍一种热敏电阻。

由于编者的水平所限，在选题和编译方面，一定有不少的缺点和错误，敬希读者指正。

编 者

目 录

前言.....	3
热敏电阻的性能和应用.....	5
热敏电阻的理論、制造和应用.....	50
热敏电阻及其应用范围.....	82
热敏电阻及其在綫路中的应用.....	114
旁热式半导体热敏电阻.....	141
特高频半导体热敏电阻.....	160
热敏电阻在甚低频时之电抗效应.....	169
耐高温半导体热敏电阻的研究.....	174
超低温热敏电阻的设计数据.....	185
正温度系数热敏电阻的特性与应用.....	193
半导体玻璃和玻璃热敏电阻.....	204
铁氧化物热敏电阻的动态特性.....	214



73.
132

半 导 体 热 敏 电 阻

譯 文 集

无綫电元件及材料編輯部編譯

34985/59



中国科学院出版社

1965

內 容 簡 介

本譯文集共收集文章12篇，主要內容有半导体热敏电阻的基本理論、性能、制造工艺、測量和应用等。前4篇是綜述性的报导，后8篇具体介紹了各种热敏电阻。

本书可供有关专业的研究单位和工厂的技术人員，以及高等院校半导体器件专业的师生参考。

半导体热敏电阻譯文集

无线电元件及材料編輯部編譯

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 7 $\frac{1}{8}$ 152千字

1965年8月第一版 1965年8月第一次印刷 印数：0,001—3,200册

統一书号：15034·940 定价：(科七) 0.90元

前 言

半导体热敏电阻是一种新型的非线性电路元件，自第二次世界大战以来，发展极为迅速。目前，在无线电技术测量和控制系统中，已获得日益显著的地位。

国外研制的热敏电阻品种繁多，不少产品已经定型并逐步完整和系列化；通用热敏电阻的稳定性及参数控制问题也基本解决，质量有很大提高。近年来，随着无线电技术日益发展的需要，各国都很重视热敏电阻材料和新品种的研究。例如，苏联对铜、锰、钴和镍、钛、钒等材料进行了长期的研究，用它们制成各种测温、控温、微波功率和热辐射测量及旁热式和稳压用的热敏电阻。在新品种方面，近年来美国研制用钛酸钡材料制成正温度系数热敏电阻，日本利用玻璃半导体制成玻璃热敏电阻。此外，各国还在研制高温和低温的热敏电阻。

本论文集共收集文章 12 篇，第 1~4 篇均系综述性的报导，以下各篇基本上是每篇介绍一种热敏电阻。

由于编者的水平所限，在选题和编译方面，一定有不少的缺点和错误，敬希读者指正。

编 者

目 录

前言.....	3
热敏电阻的性能和应用.....	5
热敏电阻的理論、制造和应用.....	50
热敏电阻及其应用范围.....	82
热敏电阻及其在綫路中的应用.....	114
旁热式半导体热敏电阻.....	141
特高频半导体热敏电阻.....	160
热敏电阻在甚低频时之电抗效应.....	169
耐高温半导体热敏电阻的研究.....	174
超低温热敏电阻的設計数据.....	185
正温度系数热敏电阻的特性与应用.....	193
半导体玻璃和玻璃热敏电阻.....	204
铁氧化物热敏电阻的动态特性.....	214

热敏电阻的性能和应用●

热敏电阻是一种新的电路元件和控制器件，是用具有电阻 $-4\%/1^{\circ}\text{C}$ 的固体半导体材料作成的。它給許多专业設計师和工程师提供了有利的条件，使他們能够更簡便、更經濟地完成任務，而效果比用現有器件更好。本文第一部分討論了半导体的导电机理和用它們制成有用的电路元件的范例。对热敏电阻的基本物理性能、結構、靜态和动态特性，以及一般工作原理也都有所論述。本文第二部分叙述热敏电阻的应用，包括：灵敏溫度計和溫度控制元件，簡單的溫度补偿元件，超高频功率計，傳輸系統用的自动增益控制器，电压調节器，音量限制器，压缩器和扩张器，气压計和流量計，液体导热計和无接点時間延迟設備。時間常数小的热敏电阻曾用作灵敏的測幅射热計，作为簡單、結实的音频振蕩器、調制器和放大器也頗有发展前途。

一、热敏电阻的性能

引 言

热敏电阻是用电阻随溫度迅速变化的固体材料制成的器件。虽然它的出現才不过 15 年，但由于它簡單、体积小、結实、寿命长、不难維護以及其他优良性能，而作为新的电路元件广泛应用于通訊、无綫电、电工和热工仪器、物理、化

-
- J. A. Becker, C. B. Green and G. L. Pearson, Properties and Uses of Thermistors-Thermally Sensitive Resistors, Electrical Engineering, Nov. 1946, pp. 711~725.

学和生物学研究，以及軍事技术等方面，例如用作時間延迟器、保护装置、电压調节器、載波系統調制器、音量限制器、超高频測試設備、非常小的輻射功率的探測元件等。本文在第二部分討論热敏电阻的特殊用途，其中包括：

1. 简单、灵敏和反应快的溫度計、溫度补偿器以及溫度控制設備。

2. 无动接点的特殊开关。

3. 音量限制器或調节器。

4. 压力計、流量計以及简单的气体和液体导热計。

5. 時間迟延和浪涌抑制器。

6. 用于較低頻率的特种振蕩器、調制器和放大器。

在詳細討論这些用途以前，有必要先談談决定热敏电阻性能的物理原理。热敏电阻之所以到近几年才得到应用，是因为它是用半导体作成的，它的电阻值因微量杂质添加量、热处理、接触方法以及使用期間处理的方法不同，而发生成千倍或成百万倍的变化。从外观看来，用完全相同的工艺过程作出的两个或两个以上的元件，性能差别很大，甚至同一元件暴露在适度的溫度下或通过电流，其阻值变化也达 2 倍到 10 倍。因此，在认真考虑半导体的工业应用之前，必須进行大量的工作，研究半导体中导电率的性质、杂质、热处理对导电率的影响，以及在半导体上作成永久可靠的接触的方法。虽然法拉第早已发现硫化銀的电阻随溫度迅速变化，而且在成千种其它半导体中也已发现电阻有大的負溫度系数，但工程界在得到这个新元件前仍然在物理和化学方面用了約一个世紀的时间进行研究，这种新元件的影响可能和真空管的影响相似，并可在許多場合下代替真空管。

要使热敏电阻普遍应用于工业方面，則必須滿足下列条件：

1. 能制作重复性好的元件。
2. 使用时性能稳定，接触牢靠，有化学惰性。
3. 机械性能结实耐用。
4. 在工艺上材料应能作成不同的形状和大小。
5. 必須有寬广的阻值、溫度系数和功率消散范围。

热敏电阻可用任何一种方法作成，只要能將半导体按一定尺寸成形并加上接触就行，这些方法包括：

1. 熔化半导体、冷却、凝固、切成一定尺寸和形状。
2. 蒸发。

3. 將压缩半导体粉末加热到一定溫度，使之燒結成坚固密致的整块，然后燒上金屬粉末作接触。

虽然三种方法都曾用过，但第三种方法最宜于大量生产。这种方法与陶瓷工艺和粉末冶金工艺相似。在燒結溫度下，粉末进行重結晶，而体积按控制量收縮。这种磨粉工艺可使两种或两种以上的半导体氧化物按不同比例混合，以得到均匀的固体。于是就可能在同一氧化物系列中取得較大的比电阻和电阻溫度系数范围。磨粉工艺还可使热敏电阻作成多种不同的形状和尺寸并具有較大的电阻范围和功率范围。

图 1 所示为作成珠式、杆式、圓片式、垫圈式和薄片式的热敏电阻。珠式热敏电阻的制法是用珠將两个平行的鉑合金絲串在一起，兩絲間距約为絲徑的 5 到 10 倍，在絲上塗上一点混合氧化物，表面張力使它拉成珠状。沿平行綫可以平均地排列 10 到 20 个这样的小珠。待小珠干燥后加热处理，使它們具有足够的强度，就可处理珠串。使它們再通过燒結炉，

氧化物收縮在鉑金絲上，形成可靠耐久的電接觸。然後切斷鉑絲將小珠分開。所用絲徑為 0.0025 到 0.015 厘米，小珠直徑為 0.015 到 0.15 厘米。

杆式熱敏電阻是這樣做成的：加入有機粘合劑和溶劑混合氧化物，模壓成型，陰干，切成一定長度，加熱去掉粘合劑，在高溫下燒結；在杆之末端塗上陶瓷工藝所用的銀、金、鉑漿，在適當溫度下加熱或熔燒。杆徑通常為 0.08 到 0.64 厘米，長度為 0.15 到 5 厘米。

圓片式和墊圈式都是用粘結的粉末模壓成型的。可能作成的圓片直徑為 0.15 到 3 或 5 厘米，厚度為 0.08 到 0.64 厘米。

薄片式熱敏電阻是這樣作成的：加入適當的粘合劑和溶劑混合氧化物，使之成為均勻的乳狀物，然後，在光滑的玻璃面敷上一層薄膜，待膜干後，剝下並切成所需尺寸和形狀，再在燒結溫度下，在光滑的瓷體表面上把薄片燒結。加

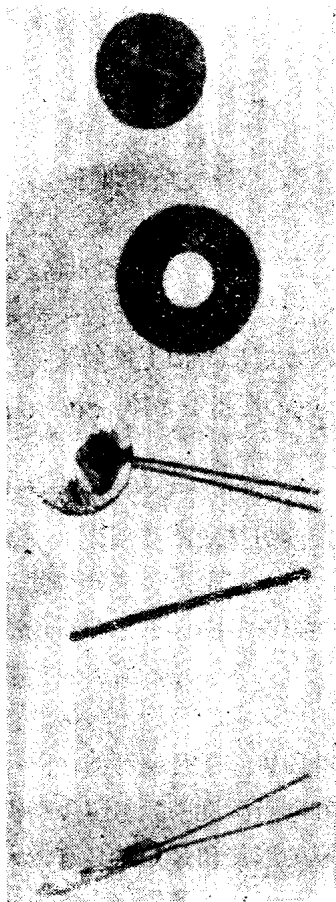


圖 1 從下至上為珠式、杆式、圓片式、墊圈式和薄片式的热敏电阻器。

接触的方法亦如上述。其尺寸是：厚 0.001 到 0.004 厘米，长 0.1 到 1.0 厘米，寬 0.02 到 0.1 厘米。

上述所有形式中的任一种，其引綫都是焊接上或将稠金屬漿燒滲上去的。所談极限尺寸是易于达到的。

在設計特种应用的热敏电阻时，必須考虑下列性能：

1. 包括基体在內的几何尺寸。

2. 制备材料和性能，这是指比电阻及其随溫度变化的情况、比热、密度和膨胀系数。

3. 消散常数和功率灵敏度。消散常数是热敏电阻所消耗的瓦数除以高于环境溫度的溫升 ($^{\circ}\text{C}$)。功率灵敏度是阻值降低 1% 所需的瓦数。这些常数决定于表面积和表面性质，周圍的媒质，基体的热导率等。

4. 由密度、面积和比热决定的热容量。

5. 時間常数，它决定热敏电阻加热或冷却的速度。当热敏电阻加热至高于其周圍溫度，隨即冷却时，开始时溫度下降較快，以后变慢，直至最后达到环境溫度。時間常数就是环境溫度下降 63% 所需的時間。時間常数以秒为单位，它等于热容量 (焦耳/ $^{\circ}\text{C}$) 除以消散常数 (瓦/ $^{\circ}\text{C}$)。

6. 最大允許耗散功率，在連續使用和耐受浪涌时，与良好的稳定性和长的寿命相一致。这可由消散常数和最大允許溫升中計算出来。最大允許耗散功率和电阻与溫度的关系决定了阻值的最大下降值。

半导体的性能

由于大多数热敏电阻都是用半导体制成的，因而討論半导体的性能便很重要。所謂半导体，就是在室溫或接近于室溫时其电导率比典型金屬低很多，而比絕緣体又大很多的物

质。半导体与导体之間并无明显的界限，但可以說，它在室溫时具有 0.1 到 10^9 欧姆·厘米的比电阻。半导体通常都有大的负电阻温度系数。若温度由 0°C 增加至 300°C ，則阻值减少到千分之一。上述同一温度范围内，典型金属（如铂）之阻值則增加 1 倍。图 2 表示三种典型的半导体和铂的比电阻 ρ 的对数和温度 T ($^\circ\text{C}$) 的关系。

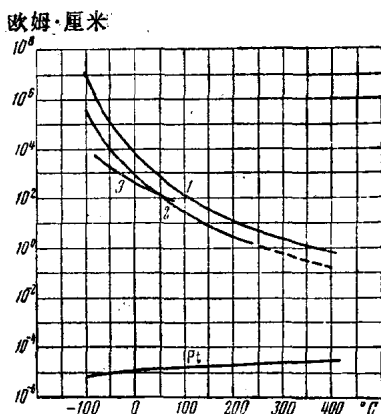


图 2 三种热敏电阻材料和铂的比电阻对数同温度的关系。

曲线 1 和 2 代表“材料 1”和“材料 2”。这些材料近来得到广泛应用。“材料 1”是锰镍氧化物配成的；“材料 2”是锰镍钴氧化物配成的。曲线 2 的虚线部分表明，在该区域内的电阻温度关系不像在较低温度时了解得那样清楚。曲线 3 是由铁锌氧化物以一定比例混合成锌铁氧体的实验曲线。从图 2 可以明显看出，阻值 R 和 $\lg R$ 与温度 T 都不是直线关系。

图 3 表示“材料 1”和“材料 2”的 $\lg \rho$ 与 $\frac{1}{T}$ 的关系曲线。它们近似为直线。因此

$$\rho = \rho_{\infty} e^{B/T} \quad \text{或者} \quad \rho = \rho_0 e^{(B/T - B/T_0)}, \quad (1)$$

式中 T ——温度 ($^\circ\text{K}$)；

ρ_{∞} —— $T = \infty$ (或 $\frac{1}{T} = 0$ 时) 的 ρ 值；

ρ_0 —— $T = T_0$ 时的 ρ 值。

e 为内氏基数 $= 2.718$ ； B 是常数，为图 3 中直线斜率

的 2.303 倍。 B ($^{\circ}\text{K}$ 或 $^{\circ}\text{C}$) 在方程 (1) 中的作用和功函数在热发射的李查生方程中的作用相同。“材料 1” 的 $B = 3920^{\circ}\text{C}$ ，这相当于 $3920/11600$ (或 0.34) 伏的电子能量。

图 3 中曲线虽近似直线，但仔细研究后可以看出，温度上升时，斜率线性增大。因而 ρ 的更为严格的公式为：

$$\rho = AT^{-c}e^{D/T}$$

$$\text{或} \quad \lg \rho = \lg A - c \lg T + \frac{D}{2.303T}, \quad (2)$$

c 是常数，可为小的正值或负值，或为零。对“材料 1”而言， $\lg A = 5.563$ ， $c = 2.73$ ，而 $D = 3100$ 。“材料 2”的一种特殊形式的 $\lg A = 11.514$ ， $c = 4.83$ ，而 $D = 2064$ 。

如果我们用下式说明电阻温度系数：

$$\alpha = \left(\frac{1}{R} \right) \left(\frac{dR}{dT} \right), \quad (3)$$

从 (1) 式则可得出

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}. \quad (4)$$

对“材料 1”而言， $T = 300^{\circ}\text{K}$ 时， $\alpha = -\frac{3920}{90000} =$

-0.044 ；对铂而言， $\alpha = +0.0037$ ，或者为半导体的 $\frac{1}{10}$ ，而符号相反。从 (2) 式则可得出

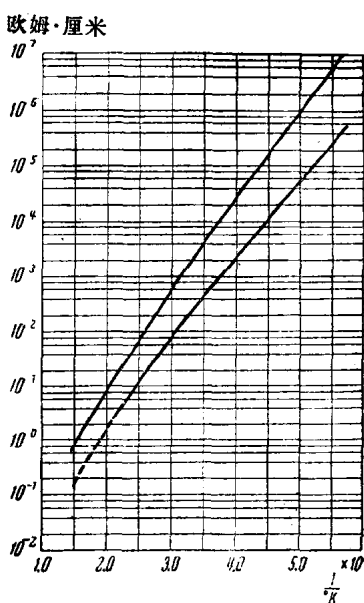


图 3 两种热敏电阻材料的比热对数和绝对温度倒数的函数关系 (见式 1)。

$$\alpha = -\left(\frac{D}{T^2}\right) - \left(\frac{C}{T}\right) \quad (5)$$

从 (3) 式可得出

$$\alpha = \left(-\frac{1}{2.303}\right) \left(-\frac{d \lg R}{dT}\right) \quad (6)$$

討論半导体的导电性质时，考虑电导率 σ 比考虑电阻率 ρ 来得簡便。

$$\sigma = 1/\rho \quad \text{和} \quad \lg \sigma = -\lg \rho. \quad (7)$$

若在相当寬的溫度範圍內給出半导体电导率或电导率的对数与 $\frac{1}{T}$ 的函数关系，則其性能就会更清楚地反映出来。图

4 就是杂质含量漸增的几种硅样品的曲綫。在高温时，所有样品的电导率几乎相同。这就是所謂本征电导率，因为它似乎是硅的固有特性。在低温下，各个样品的电导率有很大差別。在此範圍中，硅可以說是一种含杂质的半导体。高純度硅的电导率只是本征电导率，其电阻率服从式 (1)。当某种杂质的濃度增加时，电导率增大，而杂质电导率在較高溫时仍占优势。某些杂质比其他杂质对电导率增大

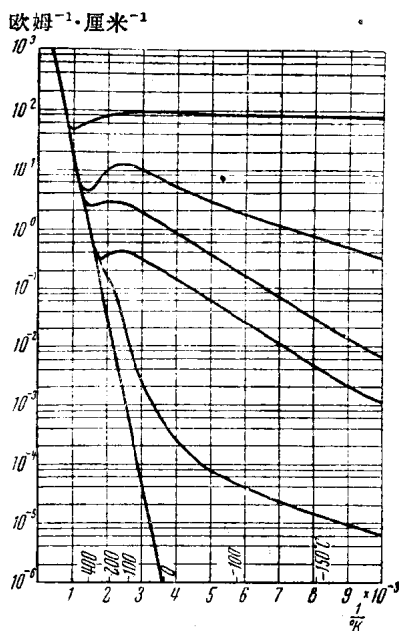


图 4 不同硅样品电导率的对数与绝对温度倒数的函数关系 (电导率随杂质濃度而增加)。