

低温锗电阻温度计温度—电阻特性曲线拟合

宋伟荣 白红宇 毕延芳

(中国科学院等离子体物理研究所, 合肥, 230031)

摘要: 锗电阻温度计是低温温度测量的常用温度计之一。文中的主要内容是通过选用正确的温度—电阻特性经验公式, 将离散的锗电阻温度计实验数据点拟合成连续的数学函数曲线, 以便在温度测量中可借助于计算机直接显示温度值。同时文章还对该特性拟合曲线的误差进行了分析。

关键词: 锗电阻温度计 曲线拟合 温度测量

1 引言

锗电阻温度计是由掺杂锗单晶制成的。为了使锗电阻元件具有所期望的电阻特性, 要求锗单晶尽可能纯。然而, 高纯锗的低温电阻很高, 必须掺适量的杂质(如砷、镓、铋或锌)才能用作温度材料。

各种类型的锗电阻温度计的使用范围虽已覆盖了从 0.015K 到 100K 的温区, 但 10K 以下灵敏度很高, 30~40K 以上较低, 30K 以上一般仍使用金属电阻温度计。性能良好的锗电阻温度计的稳定性在 $\pm 1\text{mK}$ 以内^[1]。锗电阻温度计在低温下往往阻值变化很大, 进行精密测量时测量仪器必须更换量程, 调整工作电流, 以避免自热影响测量精度。

总之, 锗电阻温度计具有低温灵敏度高、复现性好和体积小的优点, 但电阻与温度的关系较复杂。

2 锗电阻温度计经验公式的选用

我们现有几个低温锗电阻温度计, 在锗电阻标定实验中, 我们得到这些锗电阻温度计在 3.5K~30K 温区内的数据点共 251 个。然而, 我们从俄罗斯生产商提供的温度—电阻测定结果中发现, 对于温度间距很小的两个不同温度, 它们对应的电阻值会相差很大, 这种情况在 10K 以下的温区表现得更为明显。这样就造成了在使用该锗电阻温度计对测量到的电阻值必须通过内插法或者其他的方法才能得到对应的温度值, 在工程应用时这就显得很不方便。因此, 我们希望能够找到合适的经验公式来对这些实验数据进行温度—电阻特性曲线的拟合。

对于实用锗电阻温度计, 我们选用了以下一些经验公式^[2,3,5]:

$$\log R = \sum_{i=0}^n A_i (\log T)^i \quad (1) \quad \log T = \sum_{i=0}^n B_i (\log R)^i \quad (2)$$

$$T = \sum_{i=0}^n C_i (\log R)^i \quad (3) \quad T^{-1} = \sum_{i=0}^n D_i (\log R)^i \quad (4)$$

• 国家九五重大科学工程(合肥 HT-7U 超导托卡马克装置)支持。

本文于 2001 年 10 月 10 日收到。

$$\log T = \sum_{i=0}^n E_i (\log R)^{-i} \quad (5) \quad T = \sum_{i=0}^n F_i (\log R)^{-i} \quad (6)$$

$$(\log R/T)^{1/2} = \sum_{i=0}^n G_i (\log R)^i \quad (7) \quad T^{1/4} \log R = \sum_{i=0}^n H_i (\log R)^i \quad (8)$$

其中 A, B, \dots, H_i 等为待定系数。

3 温度—电阻特性拟合

为了保证一定的拟合精度,对于以上经验公式,我们令 $i=5$,即选用六个数据点。为此,我们以锗电阻 No. 35T-37 为例,在 3.5K~30K 之间平均的选取了 6 个数据点(见表 I),并且使用 Matlab 程序语言来进行温度—电阻的曲线拟合,这样,运用经验公式(1)~(8),我们得到了一系列拟合后的温度—电阻特性曲线(见图 1~图 8)。

表 I: No. 35T-37 锗电阻选用的六个数据点 ($i=5$)

	1	2	3	4	5	6
$T(K)$	3.5	8.5	13.4	18.4	23.4	28.4
35T-37 $R(\Omega)$	25168	712.99	204.00	116.71	87.392	72.19

在对温度—电阻拟合曲线进行分析后,我们发现在所有的拟合曲线中,图 1 表现出了很高的精度,但是,图 1 的拟合曲线为 $\log R - \log T$ 隐性函数曲线,在工程上使用时也会有很大的局限性。反之,图 6 在 8.5K 以上与实验数据很吻合,而且该函数为 $T - \log R$ 的显性函数,可以便利的在工程领域使用。如果我们适当的增加一些拟合数据点,就有可能使其在 8.5K 以下同样表现出很好的精度。为此,我们令 $i=9$,同时多选用了 4 个数据点(见表 II)来进行温度—电阻拟合,拟合后的温度—电阻特性曲线见图 9。

表 II: No. 35T-37 锗电阻选用的 10 个数据点 ($i=9$)

	1	2	3	4	5
$T(K)$	3.5	3.66	3.92	4.75	6.20
35T-37 $R(\Omega)$	25168	20434	14940	6481.5	2222.7
	6	7	8	9	10
$T(K)$	8.5	13.4	18.4	23.4	28.4
35T-37 $R(\Omega)$	712.99	204.00	116.71	87.392	72.19

4 误差分析

为了更加定量地分析低温锗电阻温度—电阻特性拟合曲线的精度,我们对得到的拟全曲线进行了误差分析。误差分析分为绝对误差分析和相对误差分析。对于同一个电阻值,我们定义,由图 9 计算得出的温度值定义为 T' ,由实验得出的温度值定义为 T_0 。这样,绝对误差为: $\Delta T = |T' - T_0|$ (9)

$$\text{相对误差为: } \varepsilon = \frac{\Delta T}{T_0} \times 100\% \quad (10)$$

由式(9)和(10),我们得到了图 10、图 11,从图中可以看出,低温锗电阻温度计温度—电

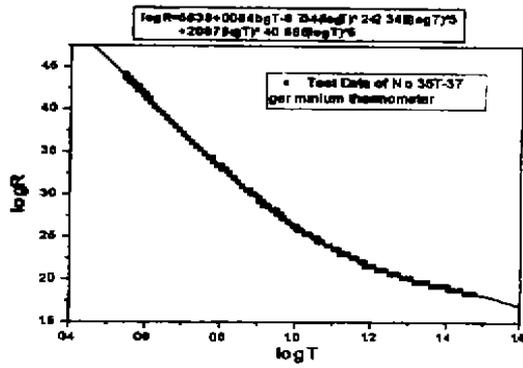


图 1

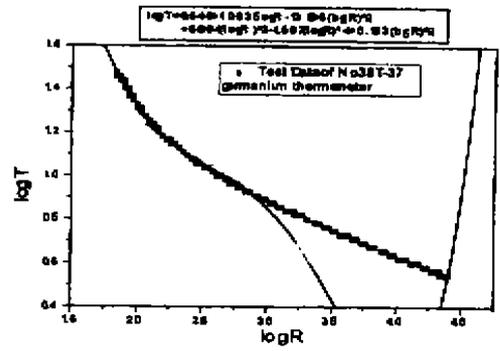


图 2

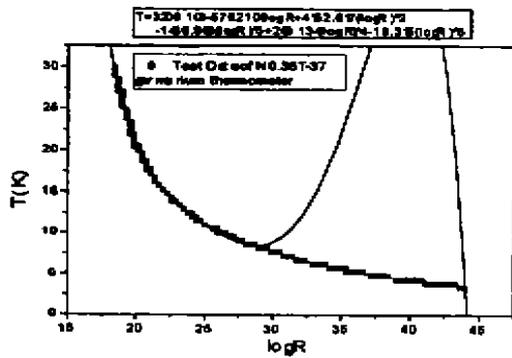


图 3

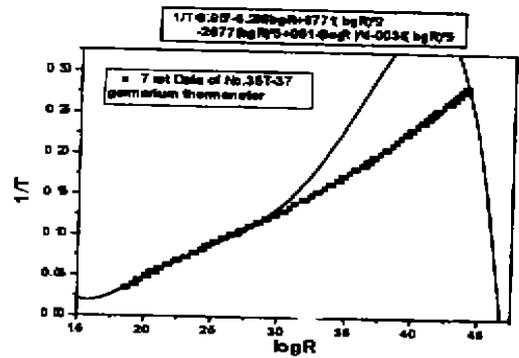


图 4

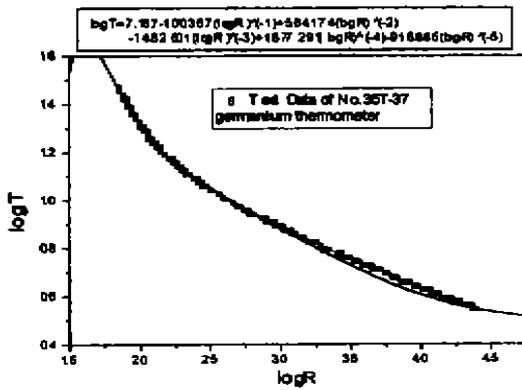


图 5

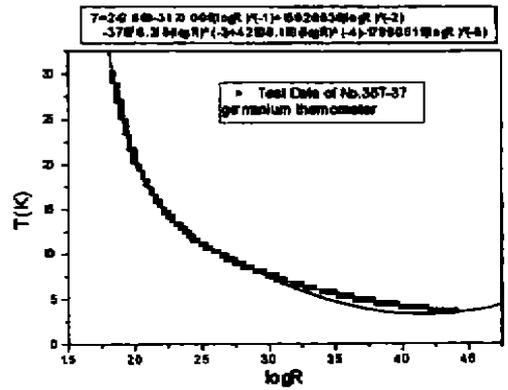


图 6

阻特性拟合曲线的绝对误差在 0.05K 左右,10K 以下的则在 0.01K 左右;相对误差在 0.2%左右,10K 以下则在 0.1%左右。这个精度对于工程应用而言,已经足够了。

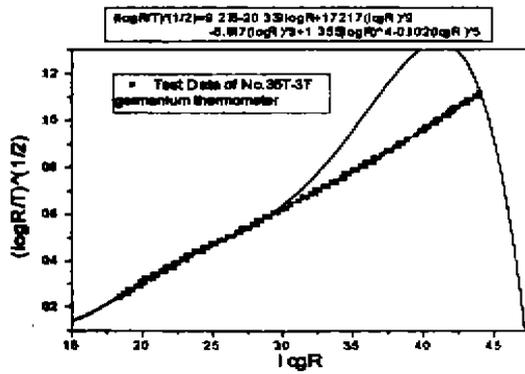


图 7

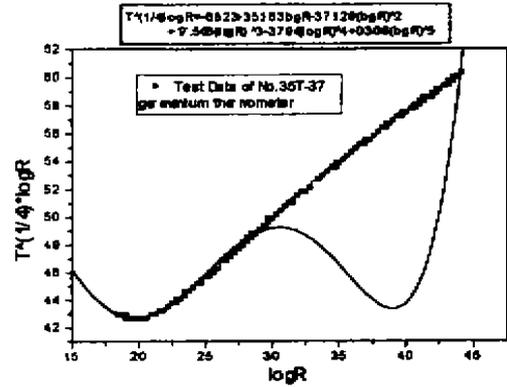


图 8

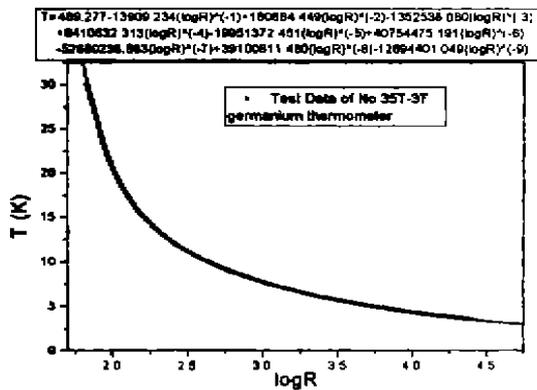


图 9

5 结论

在低温锗电阻温度计温度—电阻特性曲线拟合过程中,我们发现:对于相同的拟合数据点而言,不同的经验公式达到的精度不同,从图 1~图 8 中可以看到,图 1 中拟合公式的精度远大于其他的拟合公式的精度;对于同一个显性函数式而言,正确的选用拟合数据点以及拟合数据点的多少对拟合精度的影响是显而易见的,图 9 中的拟合曲线的精度远大于图 6 中的精度;拟合曲线把离散的实

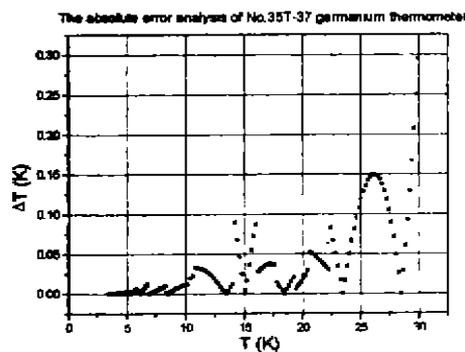


图 10

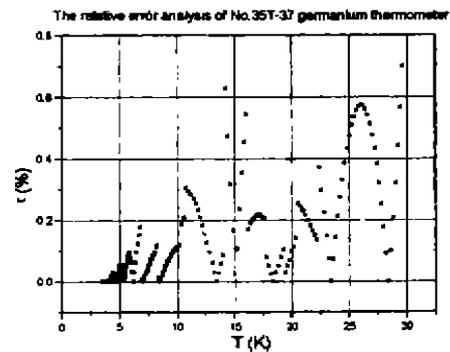


图 11

验数据点变成了连续的函数曲线,这样就使低温锗电阻温度计在工程应用中变得更为便利。

参 考 文 献

- [1] 阎守胜, 陆果, 低温物理实验的原理与方法, 北京: 科学出版社, 1985
- [2] Blakemore J S. Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, 1962, 3(Part 1):391
- [3] Rindelhardt U, Hegenbarth E, Cryogenics, 1975,15:355
- [4] Greenfield A J et al. Rev.Sci. Instr. , 1974,45:1417
Blakemore J S et al. Rev. Sci. Instr. . 1790,41:835
- [5] Collins J G , Kemp W R G, Temperature. Its Measurement and Control in Science and Industry, 1972,4(Part 2):835

The Fit of Temperature—Resistance Characteristic Curve Of Germanium Thermometer In Low Temperature

Song Weirong, Bai Hongyu, Bi Yanfang

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, 230031)

ABSTRACT: The germanium thermometer is one of the commonly used thermometers for cryogenic engineering. The paper introduces that the selecting of the correct temperature—resistance experimental formula will make the scattering test data of the germanium thermometer fit the continuous mathematical function. Thus, we can use the function to indicate the temperature directly with the aid of a computer. Finally, the error analysis of the fitting function is given out.

KEYWORDS: Germanium thermometer, Curve fitting, Temperature measurement



作者简介: 宋伟荣, 男, 1977 年生。硕士生, 现就读于中国科学院等离子体物理研究所, 主要从事低温技术参数测量方面的研究。