

# 楚雄师范学院

## 本科生毕业论文

题目：半导体温度计的特性研究与设计

系（院）：物理与电子科学学院

专业：物理学

学号：20140921234

学生姓名：李小凡

指导教师：向文丽 职称：实验师

论文字数：5258

完成日期：2018 年 5 月

教务处印制

## 楚雄师范学院物电学院毕业论文原创性声明

本人郑重声明：呈交的毕业论文“半导体温度计的特性研究与设计”，是本人在指导教师向文丽实验师的指导下进行研究工作所取得的成果。除文中已经引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已发表或撰写过的研究成果。对本论文的研究所做出帮助的个人和集体，均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

本声明的法律结果由本人承担。

毕业论文作者签名：

日期：            年   月   日

## 目 录

摘要 .....	I
关键词 .....	I
Abstract .....	II
Keywords .....	II
引言 .....	1
1.实验原理 .....	1
1.1 惠斯通电桥的实验原理 .....	1
1.2 半导体热敏电阻温度计的实验原理 .....	2
1.3 半导体热敏电阻温度计的特性研究及各参数的计算 .....	3
1.3.1 半导体热敏电阻自身的两个性能参数 .....	3
1.3.2 半导体热敏电阻的激活能 .....	3
1.3.3 半导体热敏电阻的温度系数 .....	3
1.3.4 半导体热敏电阻不同温度下的电阻值 .....	3
2.实验过程 .....	4
3.数据记录及分析 .....	4
3.1 半导体热敏电阻的特性 .....	5
3.1.1 半导体热敏电阻的两个性能参数的确定 .....	5
3.1.2 经验公式的确定 .....	5
3.1.3 线性回归方程的确定 .....	5
3.1.4 得到半导体热敏电阻的激活能和各温度下的温度系数 .....	6
3.1.5 半导体热敏电阻的温度系数的计算 .....	6
3.1.6 误差分析 .....	6
3.2 半导体温度计定标曲线的确定 .....	6
4.结论 .....	7
参考文献 .....	8
致谢 .....	9

## 半导体温度计的特性研究与设计

**摘要：**本文利用 pt100 热敏电阻作为主要元件并运用惠斯通电桥原理制作了半导体热敏电阻温度计，计算了半导体热敏电阻的两个参数  $a_0, b$  的值，半导体热敏电阻的激活能的具体值，并得到了 13 个不同温度下的半导体热敏电阻的温度系数，得到了半导体热敏电阻的具体经验公式，并列出了该半导体热敏电阻温度计的一元线性回归方程，运用 Origin 软件研究其线性变化。

**关键词：**半导体温度计；半导体热敏电阻；惠斯通电桥；Origin 软件

## Design and specific research of semiconductor thermograph

**Abstract:** This paper uses pt100 thermistor as the main component and uses Wheatstone bridge principle to make semiconductor thermistor thermometer , calculated the definite values of two parameters (a, b) and the activation energy of semiconductor resistances, reaching temperature coefficients of semiconductor resistances in various temperatures and the empirical formulas of it, and leading to a one-dimensional linear regression equation, Study its linear changes by Origin.

**Key word:** semiconductor materials, semiconductor resistance, magnetic stirrers, origin

# 半导体温度计的特性研究与设计

## 引言

温度计在人们在日常生活，工作和科学研究中都不缺少的测量温度的工具。而半导体热敏电阻温度计是利用半导体元件与温度之间的特性关系而构成的测量温度的仪器<sup>[1]</sup>。半导体热敏电阻温度计是由半导体热敏电阻作为主要元件以及其他仪器连接而制成的，具有灵敏度高，并且结构简单，体积小等优点。通常这一类的温度计主要用于测量与室温接近的温度以及温度的快速变化<sup>[2]</sup>。温度的微小变化就可使电阻产生明显的变化，所以制成的半导体热敏电阻温度计具有较高的精密度，通常称为感温器<sup>[4]</sup>。与一般常用的金属电阻相比，半导体热敏电阻的温度系数值会大很多<sup>[7]</sup>。半导体热敏电阻作为温度传感器同时也具有用料省、成本低等优点，它可以非常灵敏的测量微小温度变化<sup>[5]</sup>。符时民<sup>[1]</sup>等研究了半导体热敏电阻的一些特性，但在绘制定标曲线时用了传统的手绘曲线的方式来进行绘图，准确度不够；肖波齐<sup>[4]</sup>等人则是运用电脑仿真出了温度与电流之间的关系曲线；本文将采用 pt100 型热敏电阻作为热传感器来进行半导体温度计的设计，并运用 Origin 软件进行绘图并分析，增强数据的可靠性，也便于研究他的变化方程。将从热敏电阻的性能参数，激活能，温度系数以为温度如何随电阻变化等方面进行探讨，设计出温度在 20℃~80℃变化的温度计。

## 1. 实验原理

### 1.1 惠斯通电桥的实验原理

惠斯通电桥原理如图 1 所示。电桥由待测电阻  $R_X$  和三个可调标准电阻  $R_0$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  四个臂组成，检流计则串接在顶点 B、D 之间。从而可比较其电位。

接通电源，按下开关  $K_b$ 、 $K$  后，调节四个臂上电阻的阻值，当检流计电流的通过值为：

$I_g = 0$ ，则称此电桥达到了电桥平衡。当电桥平衡时，顶点 B、D 的电位相等，且  $U_{AB} = U_{AD}$ ， $U_{BC} = U_{DC}$ ，即：电桥平衡时则有： $I_g = 0$

$$I_0 R_0 = I_X R_X, I_2 R_2 = I_1 R_1$$

又因为  $I_2 = I_X$ 、 $I_1 = I_0$

$$\text{进而有 } \frac{R_X}{R_2} = \frac{R_0}{R_1} \text{ 或者写为: } R_X = \frac{R_1}{R_2} R_0 \quad (1)$$

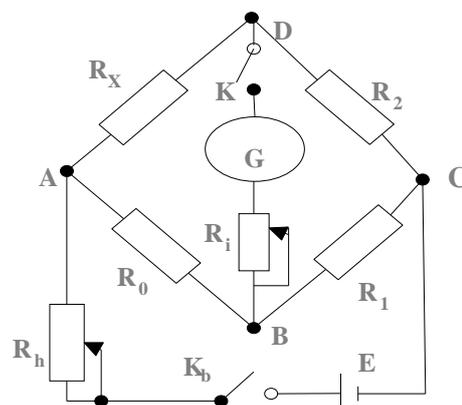


图 1 惠斯通电桥原理图

(1) 式称为惠斯通电桥平衡的条件；1 式中， $R_0$  和  $R_1$  称为其电路中的比例臂， $R_2$  则叫做比较臂。

## 1.2 半导体热敏电阻温度计的实验原理

由于半导体热敏电阻的阻值对温度敏感，其可作为温度传感器，同时也具有很多优点，在直流电桥(图 1)的基础上，将检流计改为微安表，待测臂用半导体热敏电阻代替，同时将其至于烧杯没入液体。当电桥达到平衡后，使磁力搅拌器开始加热，烧杯中的温度升高， $R_T$ (半导体热敏电阻)的阻值也会发生相应的变化。因为阻值发生了变化，使得电桥失去了平衡，这时，微安表上读数的变化便反应了  $R_T$  处温度的变化。半导体热敏电阻温度计的工作原理便是通过此非平衡电桥测出微安表的示值(设计的半导体温度计的刻度)与  $R_T$  处温度变化(校正温度计的温度示值)的关系。

图 2 所示为半导体热敏电阻温度计设计的实验原理图，图 3 则是实验的实物图。如图 2 中所示： $E$  为实验的直流电源， $K_0$  为工作开关， $R_T$  为半导体热敏电阻， $A$  为微安表， $K$  为微安表处开关。

如果取温度计上、下限的温度为  $80^\circ\text{C}$  和  $20^\circ\text{C}$ ，则微安表满刻度时为  $80^\circ\text{C}$  所示电流，“0”点对应为  $20^\circ\text{C}$  时所示电流。半导体热敏电阻温度计的制作步骤如下：

先将电源接通，按下开关  $K_0$ ，调节  $R_2$ ，使电桥初步平衡，然后将  $R_h$  调至零值，可以使得电桥灵敏度提高，再调节  $R_2$ ，待指针与“0”刻度线重合，则说明零点校准完毕。(在以后调试的过程中零点不必再次调整)然后使得  $R_2$  值保持不变，调节变阻器  $R_h$  使微安表的指针与满偏度重合，这时满标度校准完毕。当温度发生改变时，微安表指针发生偏转，偏转格数  $N$  与  $R_T$  有关，而  $R_T$  又与  $T$  有关，所以不同温度的  $T$  值，则对应不同的偏转格数  $N$  值，如果温度的变化通过微安表刻度格数来反应，则制成了半导体温度计。

为了消除电源电动势变化对电流  $I$  的影响，故在使用时必须先校准满刻度，否则误差较大。

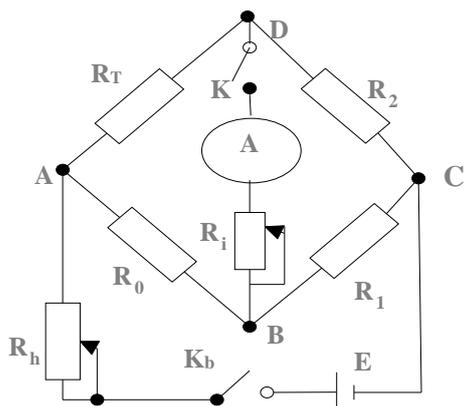


图 2 半导体热敏电阻原理图



图 3 实验实物图

### 1.3 半导体热敏电阻温度计的特性研究及各参数的计算

#### 1.3.1 半导体热敏电阻自身的两个性能参数 $a_0, b$

实验表明，在  $20^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$  范围内，热敏电阻的电阻率  $\rho$  和热力学温度  $T$  之间的关系可由下式<sup>[1]</sup>表示：

$$\rho = a_0 e^{h/T} \quad (2)$$

式中， $a_0$  和  $b$  为常数，其数值与半导体热敏电阻材料自身的性质有关。

热敏电阻的阻值可写成：

$$R_T = \rho \frac{1}{S} = a_0 e^{b/T} \frac{1}{S} = a_0 e^{b/T} \quad (3)$$

式中  $a_0, b$  为常量，可以由实验得出。将方程 (3) 的式子两边取对数使其转换成直线方程，得：

$$\ln R_T = \ln a + \frac{b}{T} \quad (4)$$

令  $x = \frac{1}{T}$ ， $y = \ln R_T$ ， $A = \ln a$ ，则可将式 (4) 改写成：

$$y = A + bx \quad (5)$$

#### 1.3.2 半导体热敏电阻的激活能 $E$

由于半导体热敏电阻的激活能  $E = b \times k$ ，其中  $b$  为直线  $y = A + bx$  的斜率， $k$  为玻尔兹曼常数 ( $k = 1.380 \times 10^{-23} \text{J/C} = 8.625 \times 10^{-5} \text{eV/C}$ )。带入上式即可算得  $E$  的大小。

#### 1.3.3 半导体热敏电阻的温度系数 $\alpha$

半导体热敏电阻温度系数的定义<sup>[1]</sup>为：

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{b}{T^2} \times 100\% \quad (6)$$

根据 (6) 式就可算出各种不同温度时的电阻温度系数。

#### 1.3.4 半导体热敏电阻不同温度下的电阻值 $R_T$

当电桥平衡时，热敏电阻  $R_T$  在不同温度时的电阻值可由下式<sup>[1]</sup>表示：

$$R_T = \frac{R_1 R_0}{R_2}$$

则可由  $R_0$  即比值  $\frac{R_1}{R_2}$  算出  $R_T$  之值。

## 2. 实验过程

将半导体热敏电阻插入放入磁力搅拌器中，并在旁边插入电子温度计做校正，瓶中水温由磁力搅拌器自己升温调节。按图 2 的原理图将原件连接形成一个“惠斯通电桥”的电路，即图 3 所示为实验的实物图，测量 13 个不同温度条件下半导体热敏电阻的阻值并记录不同温度下微安表的示数。

如图 2 所示电路，使烧杯中的温度保持在  $20^\circ\text{C}$ ，测得  $R_T$  的值为  $R_{T(20^\circ\text{C})}$ ，再使磁力搅拌器搅拌加热到烧杯内的温度值为  $80^\circ\text{C}$ ，又测得  $R_T$  的值为  $R_{T(80^\circ\text{C})}$ （此处需要多次测量得到平均值）。

连接开关，使定标微安表指针指“0”刻度线，为  $t_1$ 。具体操作是：按下开关  $K_0$  和  $K$  后，调节  $R_2$  使电桥达到初步的平衡，逐步将  $R_0$  减小调至零值，再细调  $R_2$  使微安表的指针准确指向“0”刻度线，以提高电桥的灵敏度，再细调  $R_2$  的值使电桥进一步平衡。在零点校准完毕后， $R_2$  保持恒定不变。然后，调节磁力搅拌器进行加热，（注：不许再调动  $R_0$ ）使指针指向满刻度，此时，定标微安表指向满刻度，为  $t_2$ 。使烧杯中的温度多次从  $t_1$  逐渐升至  $t_2$ ，测得在升温过程中的 13 个温度下微安表的示值  $I$ ，并由此作出此温度计的定标曲线图。

使用此温度计时，将  $R_T$  置于被测温度处，从微安表示值和定标曲线就可得出被测温度值  $t$ （单位： $^\circ\text{C}$ ）

## 3. 数据记录及分析

本实验所采取的半导体热敏电阻的测温区间为  $20^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ ，在测量时要用搅拌棒搅拌烧杯中的水，尽量使瓶中各处的温度相同。在测量时，先使烧杯中的温度处于  $20^\circ\text{C}$ ， $R_1=R_2=1000\ \Omega$ ， $E=1.5\text{V}$ ， $R_p$  尽量大些， $R_0$  取一个适当值（先用万用表粗略测一下  $R_T$  的值）。然后，先闭合  $K_0$  和  $K$ ，再观测微安表指针的偏转，调节  $R_0$  的阻值直至检流计的指针归零，此时  $R_0$  的阻值即为  $R_T$  的值，数据详见表格 1。（为了增加实验的可行性和准确性，本实验中测得五组数据并最后取得五组数据的平均值来计算。）

表 1 半导体热敏电阻随温度变化数据记录表

t/°C	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
T/K	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15	328.15	333.15	338.15	343.15	348.15	353.15
$\bar{R}/\Omega$	108.46	110.87	112.28	114.64	116.27	118.03	119.98	122.53	123.79	126.19	127.58	129.56	131.46
$1/T10^{-3}$	3.4112	3.3540	3.2987	3.2452	3.1934	3.1432	3.0945	3.0474	3.0017	2.9573	2.9142	2.8723	2.8317
$\ln R_T$	4.6864	4.7084	4.7210	4.7418	4.7559	4.7709	4.7873	4.8084	4.8186	4.8378	4.8487	4.8641	4.8787

### 3.1 半导体热敏电阻的特性

#### 3.1.1 半导体热敏电阻的两个性能参数 a 和 b 的确定

上述实验数据利用 Origin 软件进行拟合，拟合出一元线性回归方程  $y = A + bx$  (如图 5)。得出回归常数  $A=5.81088$ ，由  $A=\ln a$  得出  $a=1.7597$ 。回归系数  $b=-0.32983$ ，关联系数  $r=0.99772$ 。由下图可以看出拟合出的此一元回归方程的关联系数高，置信概率大，可以直接通过分析此直线和方程研究半导体热敏电阻的特性。

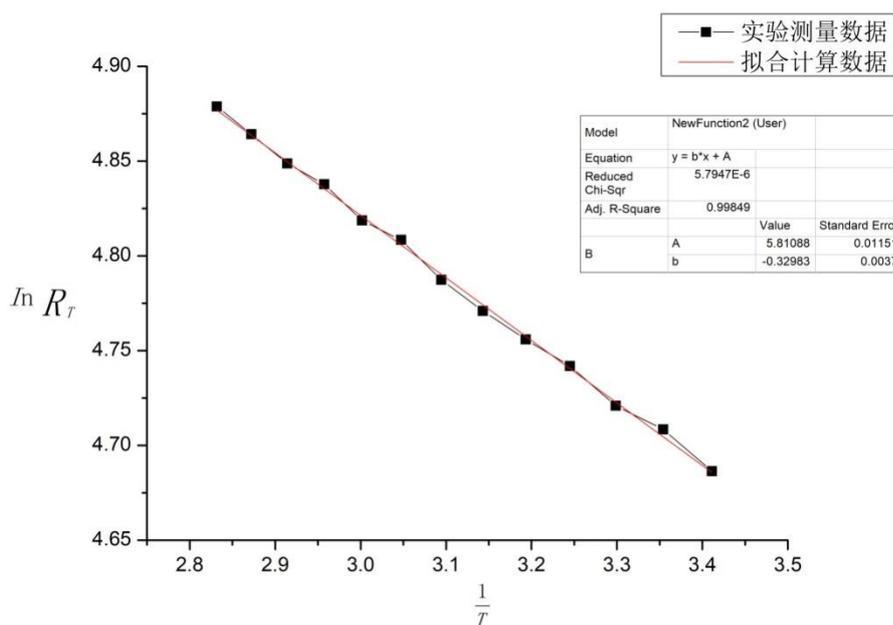


图 4  $\ln R_T$  与  $\frac{1}{T}$  的关系图

#### 3.1.2 经验公式的确定

将上面求得的 a, b 值代入可得到具体的经验公式为:

$$R_T = 1.7597e^{-0.32983/T}$$

#### 3.1.3 线性回归方程的确定

将上面求得的 A, b 值，代入 (4) 式可得到一元线性回归方程为:

$$\ln R_T = 0.5651 - \frac{0.32983}{T}$$

可知半导体电阻阻值对数函数  $\ln R_T$  与温度的倒数  $\frac{1}{T}$  存在一一对应单调递减的关系。

### 3.1.4 得到半导体热敏电阻的激活能和各温度下的温度系数 $\alpha$

将上面所求的 b 值与玻尔兹曼常数  $k$  ( $k=1.380 \times 10^{-23} \text{J/C}=8.625 \times 10^{-5} \text{eV/C}$ ) 代入公式  $E=bk$  可得半导体热敏电阻的激活能为:

$$E=bk=-2.8448 \times 10^{-5} \text{J}$$

### 3.1.5 半导体热敏电阻的温度系数的计算

将 b 值和不同的 T 值分别代入(5)式中可计算得半导体热敏电阻的温度系数, 得出的具体数值见表 2。

表 2 热敏电阻的温度系数

T/K	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15	328.15	333.15	338.15	343.15	348.15	353.15
$\alpha/100\%$	3.838	3.710	3.589	3.473	3.363	3.259	3.159	3.063	2.972	2.885	2.801	2.721	2.645

### 3.1.6 误差分析

在上实验中, 我运用了电子温度计来进行校正, 磁力搅拌器上所显示的示数确与电子温度计上的示数有所误差存在, 但本文中还是以电子温度计上所示温度为主要测得的示数进行实验的计算。

## 3.2. 半导体温度计定标曲线的确定

利用微安表定标半导体热敏电阻温度计的示数, 利用微安表测出从  $20^\circ\text{C}$  在温度升高至  $80^\circ\text{C}$  的过程中的 13 个温标下的微安表的示值 I, 测量值记录如表 3, 绘制出温度计的定标曲线, 即为 t-I 曲线, 如图 4 所示。(为了增加实验的可行性和准确性, 本实验中测得五组数据并最后取得五组数据的平均值来计算。)

表 3 热敏电阻温度计的定标数值

t/ $^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\bar{I}/\mu\text{A}$	0	8.2	16.2	23.1	32.4	41.4	49.8	57.2	66.9	75.8	82.4	93.2	100

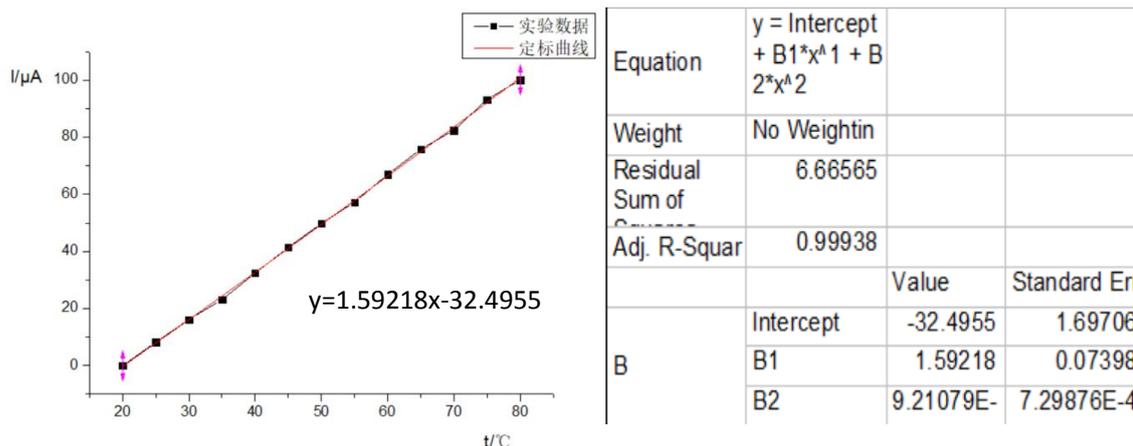


图 5 定标温度曲线图

由上述数据得到温度曲线，再通过 Origin 软件进行拟合，由拟合图可知，此拟合曲线的相关系数为  $r=0.99938$ ，说明实验所得数据置信概率高，曲线拟合方程为： $y=1.59218x-32.4955$ ，校正温度计和设计的半导体温度计刻度存在一一对应单调递增的关系，可由此拟合曲线和定标方程快速准确地确定半导体温度计温度。

#### 4. 结论

本文运用最常用的半导体热敏电阻、直流电桥、微安表设计制得了半导体热敏电阻温度计，并研究了半导体热敏电阻的一些特性，得出结论：

- (1) 由实验确定了半导体热敏电阻自身的两个性能参数的具体值为  $a=1.7597$ ， $b=-0.32983$ 。
- (2) 半导体热敏电阻的经验公式为  $R_T = 1.7597e^{-0.32983/T}$ ，并用 Origin 软件拟合得到半导体热敏电阻温度计温度的变化曲线，拟合方程为  $\ln R_T = 0.5651 - \frac{0.32983}{T}$ 。
- (3) 半导体热敏电阻的激活能  $E=bk=-2.8448 \times 10^{-5} \text{J}$ 。
- (4) 半导体热敏电阻的在 13 个不同温度下的温度系数。
- (5) 半导体热敏电阻温度计的定标曲线  $y=1.59218x-32.4955$ 。

利用半导体热敏电阻温度计的定标曲线即可研究温度的微小变化，利用此方法可应用于自动化、无线通测技术中，具有一定的参考价值。

## 参考文献:

- [1] 符时民. 半导体温度计的制作与特性研究[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2010, 31(2): 157-161.
- [2] 杨伟涛, 苗风东, 倪邦发. 基于 ARM 的热敏电阻温度计的设计[J]. 现代电子技术, 2007, 30(8): 59-61.
- [3] 封丽, 符时民, 陈维石. 基础物理实验, (第一册)[M]. 东北大学出版社, 2007: 124-127
- [4] 肖波齐. 半导体温度计的计算机仿真[J]. 大学物理实验, 2009, 22(4): 75-79.
- [5] 宋伟, 高永祥. 从“半导体温度计的研制”看设计性实验的优越性[J]. 物理通报, 1998(12): 25-26
- [6] 韦以明. 电桥温度计的实验研究[J]. 现代电子技术, 2007, 30(4): 28-31.
- [7] 王丽香, 吕春, 王吉有. 用非平衡电桥原理制作铜电阻热敏温度计[J]. 大学物理实验, 2007, 20(2): 41-43
- [8] 王忠兵, 汶建彤, 唐伟, 等. La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 掺杂对 Mn-Co-Ni 系 NTC 热敏电阻材料性能的影响[J]. 电子元件与材料, 2012, 31(12): 22-25.
- [9] 周绍元. 惠斯通电桥教学电路的分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2003, 18(4): 417-423.
- [10] 赵子珍, 梁尊, 李书川, 等. 热敏电阻测温仪探讨[J]. 广西物理, 2007(3): 54-56.

## 致谢

在毕业论文即将完成之时，我的四年大学生活也即将结束。首先在此我要特别感谢我的论文指导老师向文丽老师，从论文题目方向的确定到论文的撰写完成的过程中，她都给予了我很多建议和帮助。

再次感谢和我同组的几个同学，谢谢你们在实验过程中对我的帮助与建议。让我学到了更多的知识和做人的道理，使我的人生有了更高的起点。

此外，本文参考了大量杂志期刊和专业丛书，由于参考期刊太多，不能一一注明，敬请原谅并向所有作者和刊物致以诚挚的谢意！由于本人水平有限，有些纰漏在所难免，恳请各位老师不吝赐教。