

## Origin 软件在 PN 结伏安特性实验数据处理中的应用\*

祁玲敏 韩太坤 贺言 方运良 邓锂强 申惠娟

(广东石油化工学院理学院 广东 茂名 525000)

(收稿日期:2019-02-25)

**摘要:**利用 Origin 软件的绘图、非线性拟合、线性拟合、异常数据剔除和 Origin C 编程等功能处理 PN 结伏安特性实验数据,最终得到较准确的玻尔兹曼常数.通过 Origin 软件在数据处理中的应用研究,为 PN 结伏安特性实验提供了一种提高精确度的数据处理方法,体现了 Origin 软件操作简单灵活、结果直观准确的特点,展现了 Origin 软件强大的函数拟合和数据分析功能.

**关键词:**Origin 软件 非线性拟合 线性拟合 异常数据剔除 PN 结

PN 结的伏安特性是指 PN 结的扩散电流与结电压的关系,由此关系可以精确测量出玻尔兹曼常数( $k$ ).本实验虽然操作简单,但是一般处理数据的方法是先对相关数据取对数,然后利用最小二乘法进行线性拟合,这样计算量比较大,如果仅靠传统的手工计算将非常耗时,且容易出错,引入较大的误差.

随着科学技术的不断进步,越来越多的计算机软件应用到各类实验中<sup>[1~6]</sup>.Origin 软件以其操作简单、功能强大等特点,在实验数据处理中的应用也愈来愈广泛<sup>[7~14]</sup>.为了提高实验数据处理的效率和正确性,本文介绍了 Origin 软件对 PN 结伏安特性实验数据处理的方法,展现出 Origin 软件在绘制曲线、分析曲线、数据分析、异常数据剔除等功能在提高数据处理的效率和准确性方面的作用.

## 1 实验原理

根据半导体物理学可知<sup>[15]</sup>,PN 结的正向电流  $I$  与结电压  $U$  的关系满足:

$$I = I_s \exp\left(\frac{qU}{kT} - 1\right) \quad (1)$$

式中, $I_s$  为 PN 结的反向饱和电流, $q$  为电子电荷量,

$k$  为玻尔兹曼常数, $T$  是热力学温度.由于  $\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) \gg 1$ , (1) 式中的  $-1$  项完全可以忽略,因此有

$$I = I_s \exp\left(\frac{qU}{kT}\right) \quad (2)$$

也即当温度  $T$  恒定,PN 结的正向电流与结电压按指数规律变化.实验线路,如图 1 所示,在室温条件下,测量发射极电压  $U_1$  和集电极的电流变换电压  $U_2$ ,由于  $U_1 = U_{be} = U$ ,  $U_2 = IR_f$ ,所以式(2)可转化为

$$U_2 = R_f I_s \exp\left(\frac{qU}{kT}\right) \quad (3)$$

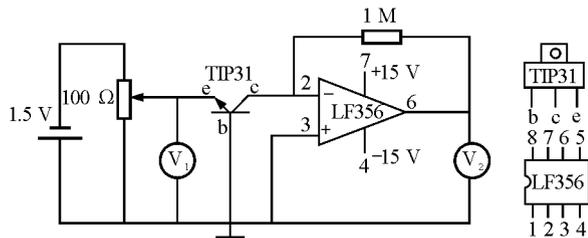


图 1 实验线路图

若测得  $U_1, U_2$  的关系,根据式(3)可以求出  $\frac{q}{kT}$  的值,在测得温度后,即可求出玻尔兹曼常数  $k$ .

\* 2018 茂名市科技计划项目,项目编号:2018005,2018007;广东石油化工学院科研项目,项目编号:2016qn24,2017qn36;广东石油化工学院教育教学改革研究项目,项目编号:JY201860,660683;广东石油化工学院 2018 年度实验课题研究项目资助,项目编号:215251;广东省高等教育教学改革项目“新工科《应用大学物理》创新教育实践研究”,项目编号:粤教高函[2018]132 号

作者简介:祁玲敏(1985-),女,硕士,实验师,主要研究方向为光信息传输与处理、实验教学及实验技术研究.

## 2 实验测量结果与实验数据处理

### 2.1 实验测量结果

在室温(15.50℃)条件下,通过改变三极管发

射级的电压 $U_1$ ,观察三极管集电极电流的转换电压 $U_2$ 的变化情况,并记录电压 $U_1, U_2$ 的值,实验得到的数据如表1所示.

表1 数据记录表

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_1/V$	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45
$U_2/V$	0.01	0.05	0.09	0.15	0.24	0.36	0.53	0.81	1.20	1.78	2.62	3.86	5.72	8.36	12.30

### 2.2 实验数据处理

#### 2.2.1 非线性拟合

用 Origin 软件对表1中的数据进行处理,绘制散点图,如图2所示,由此可以看出 $U_2$ 与 $U_1$ 的关系是非线性的;然后再进行非线性拟合,即对数据进行指数增长拟合(Fit Exponential Growth),如图3所示,拟合出的函数表达式为

$$U_2 = y_0 + Ae^{\frac{U_1}{\tau}}$$

函数中各参数数值及误差、相关系数的平方( $R^2$ )、平均剩余残差平方和 Chi<sup>2</sup>/DoF 等值如表2所示.由 $R^2 = 0.999\ 99$ ( $R^2$ 的值越大,越接近1,说明拟合的越好),可知 $U_2$ 与 $U_1$ 呈现良好的指数关系.

表2 指数增长拟合结果

参数	数值	误差
$y_0$	-0.036 31	0.004 64
A	$3.997\ 98 \times 10^{-7}$	$1.209\ 52 \times 10^{-8}$
$\tau$	0.026 09	$4.597\ 8 \times 10^{-5}$
Chi <sup>2</sup> /DoF	$1.050\ 35 \times 10^{-4}$	
$R^2$	0.999 99	

#### 2.2.2 线性拟合及异常数据剔除

对 $U_2$ 取对数,得到的 $\ln U_2$ 值,如图4中的C(Y)列.然后对 $\ln U_2$ 和 $U_1$ 进行线性拟合,如图5所示.

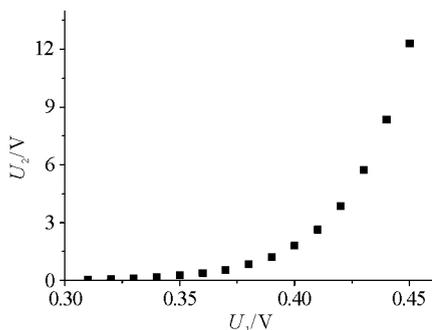


图2 测量结果散点图

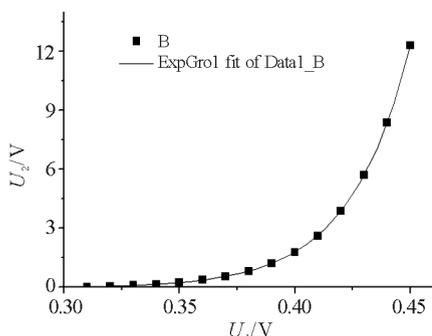


图3 指数增长拟合

	A[Y]	B[Y]	C[Y]	D[Y]	E[Y]
1	0.31	0.01	-4.695 17	1.005 45	0.324 45
2	0.32	0.05	-2.995 73	-0.075 93	-0.685 07
3	0.33	0.09	-2.407 95	-0.215 67	-0.545 34
4	0.34	0.15	-1.897 12	-0.278 45	-0.482 56
5	0.35	0.24	-1.427 12	-0.300 4	-0.460 61
6	0.36	0.36	-1.021 65	-0.257 82	-0.503 19
7	0.37	0.53	-0.634 88	-0.196 54	-0.564 47
8	0.38	0.81	-0.210 72	-0.172 65	-0.588 36
9	0.39	1.2	0.182 32	-0.117 64	-0.643 37
10	0.4	1.78	0.576 61	-0.063 88	-0.697 12
11	0.41	2.62	0.963 17	-0.002 39	-0.758 61
12	0.42	3.86	1.350 67	0.058 16	-0.702 84
13	0.43	5.72	1.743 97	0.112 91	-0.648 1
14	0.44	8.36	2.123 46	0.181 47	-0.5795 4
15	0.45	12.3	2.509 6	0.243 38	-0.5176 3

图4 剔除异常数据

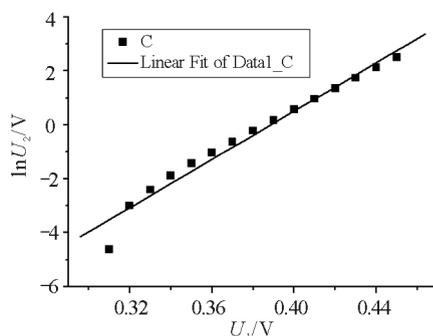


图5 线性拟合

拟合出的函数表达式为

$$\ln U_2 = A + B * U_1$$

直线斜率  $B$ , 截距  $A$ , 标准偏差  $SD$ , 相关系数  $R$  等值, 如表 3 所示. 由表 3 可知, 直线的斜率为 44.805, 即

$$\frac{q}{kT} = 44.805$$

又由

$$q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

温度

$$T = 288.65 \text{ K}$$

可得玻尔兹曼常数  $k$  为  $1.24 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ , 与理论值  $k_{理} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  相比较, 误差为 10%, 相差较大.

表 3 线性拟合结果

参数	数值	误差
A	-17.409 25	0.816 58
B	44.804 95	2.135 13
R	0.985 56	
N	15	
SD	0.357 28	
P	< 0.000 1	

由图 5 拟合的直线和数据点的分布情况可看出, 其中第一个数据点偏离直线稍远, 因此需要以下步骤对数据进行判断.

(1) 计算残差  $\delta$ . 调用 Origin C 程序窗口, 输入如下命令:

```
Data1_D = -17.40925 + Data1_A * 44.80495 - Data1_C;
```

得到的残差值  $\delta$ , 见图 4 中的 D(Y) 列.

(2) 本次实验  $n = 15$ , 由肖维勒准则可知  $\omega_{15} = 2.13^{[16]}$ . 在 Origin C 程序窗口中, 输入如下命令:

```
Data1_E = abs(Data1_D) - 2.13 * 0.357 28;
```

得到的  $|\delta| - \omega_{15} * SD$  值, 见图 6 中的 E(Y) 列, 发现只有第一个数据为正值, 即  $|\delta| > \omega_{15} * SD$ , 故图像中第一个数据点应该剔除.

选中第一组数据, 点击鼠标右键, 选择 Mask 下的 Apply, 屏蔽掉该行数据, 如图 4 所示. 然后对剩

下的 14 组数据, 进行线性拟合, 如图 6 所示, 拟合的函数表达式为

$$\ln U_2 = A + B * U_1$$

拟合出的斜率、截距、相关系数等参数, 如表 4 所示.

对比表 3 和表 4, 异常数据剔除前后的参数值, 发现相关系数  $R$  增大、标准偏差  $SD$  减小, 说明拟合效果得到有效提高, 即剔除异常数据后的直线斜率更接近真实情况. 因此, 由新拟合的直线结果(见表 4)可知, 直线的斜率为 41.226, 即

$$\frac{q}{kT} = 41.226$$

可计算出玻尔兹曼常数  $k$  为  $1.35 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ , 与理论值相比较误差仅为 2.2%, 准确度明显提高.

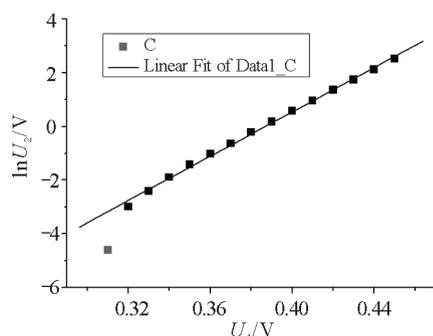


图 6 异常数据剔除后的线性拟合

表 4 异常数据剔除后线性拟合结果

参数	数值	误差
A	-15.954 02	0.240 88
B	41.226 52	0.622 25
R	0.998 64	
SD	0.093 85	
N	14	
P	< 0.000 1	

### 3 结束语

本文介绍了利用 Origin 软件分析处理 PN 结伏安特性实验数据的方法, 通过运用 Origin 软件中的绘图功能, 避免了利用坐标纸手绘曲线而引入的误差; 通过调用 Origin 软件自带的非线性拟合、线性拟合工具, 提高了数据拟合的速度, 并且拟合结果中给出了函数表达式、函数中各参量值、标准偏差、相关系数等, 可以迅速判断出所拟曲线是否正确, 同时

利用曲线拟合这种方法来检验拟合曲线的可靠程度还可以应用到很多其他实验,比如,二极管的伏安特性、太阳能电池的物理特性等,另外,教师可以根据曲线拟合的相关系数来了解学生的实验情况,指导学生寻找实验误差的来源;通过编制命令剔除异常实验数据,获得了更加准确的玻尔兹曼常数.可见,Origin软件的操作非常简单便捷,其结果直观可靠.将Origin软件用于大学物理实验,有利于提高实验结果的正确性,也有利于提高实验处理的效率.

### 参考文献

- 1 申惠娟,邓锂强,徐祥福,等.基于Matlab的牛顿环实验仿真研究.物理通报,2018(03):88~95
- 2 蒋富丽,丁益民,张余梦,等.利用Tracker软件分析干涉法测金属线膨胀系数实验.物理通报,2018(08):90~95
- 3 郭露芳,周群.Origin和C语言在热敏电阻温度特性实验中的应用.实验室科学,2018,21(4):62~66
- 4 苏关东,李官晟,张鹏,等.Java面向对象程序设计在密立根油滴实验中的应用.实验室研究与探索,2017,36(7):135~188
- 5 黎孟雄,李杨,黎知秋,等.基于TCC的经典算法互动实验平台设计.实验室研究与探索,2018,37(5):137~148
- 6 金乐,吴炳俊,刘祥树.用Mathematica软件设计最速降线模拟实验的研究.大学物理,2015,34(12):27~30
- 7 章明,衡星,董爱国,等.Origin软件在静电场模拟描述实验中的应用.实验技术与管理,2018,35(7):163~168
- 8 王鹏,刁山菊,张季谦.Origin8.0软件在实验数据处理中的应用——以“测定电源的电动势和内阻”作研究.物理通报,2014(12):79~81
- 9 曾蓓,程敏熙.Origin软件在冷却法测金属比热容实验数据处理中的应用.大学物理实验,2018,31(4):89~92
- 10 李雪,李亚蒙,陈喜燕,等.Origin软件在棱镜折射率测定实验中的应用.实验科学与技术,2016,14(1):107~139
- 11 陈喜燕,李雪,李亚蒙,等.Origin软件在处理物理实验角度数据的应用.实验室研究与探索,2015,34(7):135~138
- 12 孙明珠,贾亚民,王红理,等.Origin软件在实验数据处理中的应用研究.实验室研究与探索,2015,34(10):96~98
- 13 李艳青,智丽丽,陈惠敏.Origin在普朗克常数测量实验数据处理中的应用.昌吉学院学报,2014(3):78~81
- 14 郭阳雪,孔祥洪,杨渭,等.Origin软件在大学物理实验数据处理中的应用.物理与工程,2012,22(4):24~30
- 15 Neamen DA. 半导体物理与器件.赵毅强,姚素英,解晓东,等译.北京:电子工业出版社,2005
- 16 Taylor. R. An Introduction to Error Analysis. California: University Science Books Press, 1982

## Application on Origin Software in Experimental Data Processing of Volt – ampere Characteristic of PN Junction

Qi Lingmin Han Taikun He Yan Fang Yunliang Deng Liqiang Shen Huijuan

(School of Science, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000)

**Abstract:** Used Origin software's mapping, nonlinear fitting, linear fitting, outliers segregating and Origin C, the experimental data of volt – ampere characteristic of PN junction could be processed quickly, accurately and intuitively. Finally, we can get the Boltzmann constant, and know a more accurate method to process the data of volt – ampere characteristic of PN Junction which demonstrates the powerful function fitting and data analysis capabilities of Origin software.

**Key words:** Origin software; nonlinear fitting; linear fitting; outliers segregating; PN junction