

## 实验题目： PN 结正向压降与温度特性的研究

- 实验目的：
- 1.了解 PN 结正向压降随温度变化的基本关系式。
  - 2.在恒流供电条件下，测绘 PN 结正向压降随温度变化曲线，并由此确定其灵敏度和被测 PN 结材料的禁带宽度。
  - 3.学习用 PN 结测温的方法。

实验原理：理想PN结的正向电流 $I_F$ 和压降 $V_F$ 存在如下近似关系

$$I_F = I_s \exp\left(\frac{qV_F}{kT}\right) \quad (1)$$

其中  $q$  为电子电荷； $k$  为波尔兹曼常数； $T$  为绝对温度； $I_s$  为反向饱和电流，它是一个和 PN 结材料的禁带宽度以及温度等有关的系数，可以证明

$$I_s = CT^r \exp\left[-\frac{qV_g(0)}{kT}\right] \quad (2)$$

其中 $C$ 是与结面积、掺杂浓度等有关的常数； $r$ 也是常数； $V_g(0)$ 为绝对零度时PN结材料的导带底和价带顶的电势差。

将（2）式代入（1）式，两边取对数可得

$$V_F = V_g(0) - \left(\frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F}\right) T - \frac{kT}{q} \ln T^r = V_1 + V_{n1} \quad (3)$$

其中

$$V_1 = V_g(0) - \left( \frac{k}{q} \ln \frac{c}{I_F} \right) T$$

$$V_{n1} = -\frac{KT}{q} (\ln T^r)$$

这就是 PN 结正向压降作为电流和温度函数的表达式，它是 PN 结温度传感器的基本方程。

令  $I_F$  = 常数，则正向压降只随温度而变化

在恒流供电条件下，PN 结的  $V_F$  对  $T$  的依赖关系取决于线性项  $V_1$ ，即正向压降几乎随温度升高而线性下降，这就是 PN 结测温的依据。

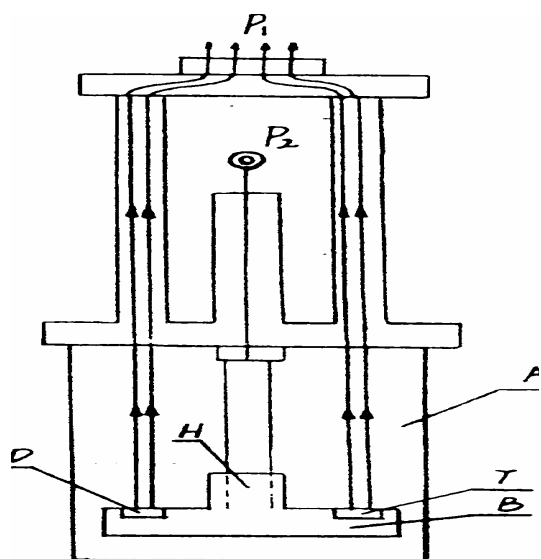
$V_F$ — $T$  的特性还随 PN 结的材料而异。

略去非线性项，可得

$$V_g = V_F(0) + \frac{V_F(0)}{T} \Delta T = V_F(273.2) + S \cdot \Delta T$$

$\Delta T = -273.2^\circ\text{K}$ ，即摄氏温标与凯尔文温标之差。

实验装置如图：



A—样品室  
D—待测 PN 结  
P<sub>1</sub>—D、T 引线座  
P<sub>2</sub>—加热电源插孔  
B—样品座  
T—测温元件  
H—加热器

### 实验数据：

实验起始温度 $T_S = 26.6\text{ }^{\circ}\text{C}$

工作电流  $I_F = 50\text{ }\mu\text{A}$

起始温度为 $T_S$ 时的正向压降 $V_F(T_S) = 590\text{ mV}$

(升温过程数据)

控温电流 A	$\Delta V = V_F(T) - V_F(T_S)$ mv	$T/^{\circ}\text{C}$	$T = (273.2 + T)^{\circ}\text{K}$
0.2	-10	30.9	304.1
0.2	-20	35.2	308.4
0.2	-30	39.6	312.8
0.3	-40	44.1	317.3
0.3	-50	48.6	321.8
0.3	-60	53.1	326.3
0.3	-70	57.3	330.5
0.3	-80	61.7	334.9
0.4	-90	66.5	339.7
0.4	-100	70.9	344.1
0.5	-110	75.4	348.6
0.5	-120	79.8	353.0
0.5	-130	84.3	357.5
0.5	-140	88.8	362.0
0.6	-150	93.3	366.5

0.6	-160	97.7	370.9
0.6	-170	102.0	375.2
0.7	-180	106.6	379.8

（降温过程数据）

$\Delta V = V_F(T) - V_F(T_S)$ mv	T℃	T=(273.2+T)°K
-10	30.4	303.6
-20	34.8	308.0
-30	39.6	312.8
-40	44.5	317.7
-50	48.9	322.1
-60	53.5	326.7
-70	57.8	331.0
-80	62.8	336.0
-90	67.5	340.7
-100	71.5	344.7
-110	76.5	349.7
-120	80.7	353.9
-130	84.9	358.1
-140	89.4	362.6
-150	94.5	367.7
-160	98.5	371.7

-170	103.2	376.4
-180	107.4	380.6

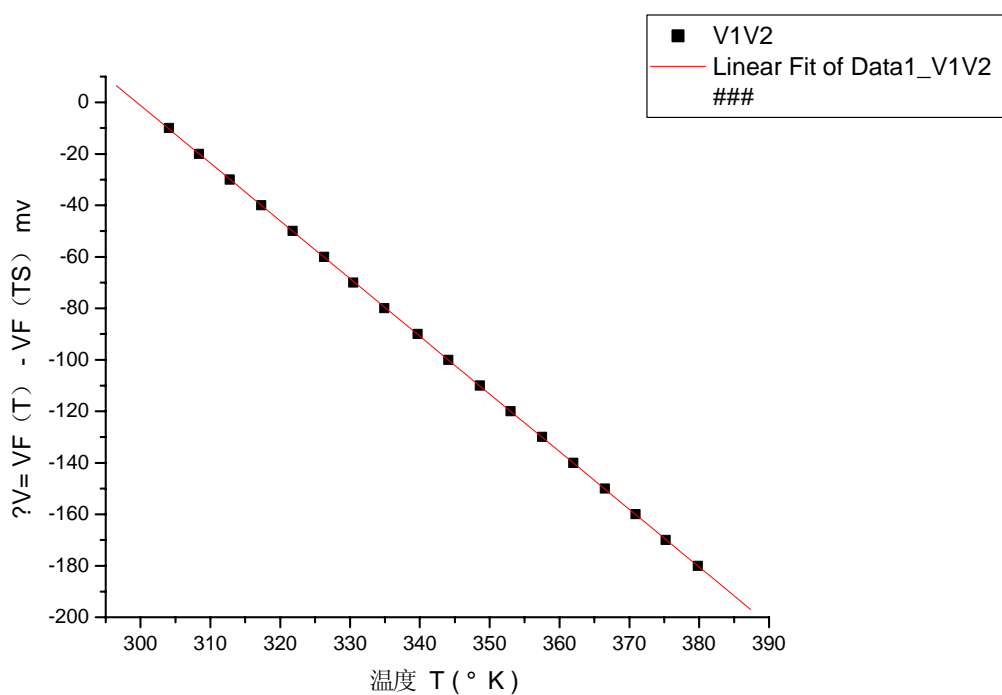
### 数据处理：

1. 求被测 PN 结正向压降随温度变化的灵敏度  $S$  ( $\text{mv}/^{\circ}\text{C}$ )。

作  $\Delta V-T$  曲线（使用 Origin 软件工具），其斜率就是  $S$ 。

（pn1 开氏温度表示）

- (1) 升温过程：



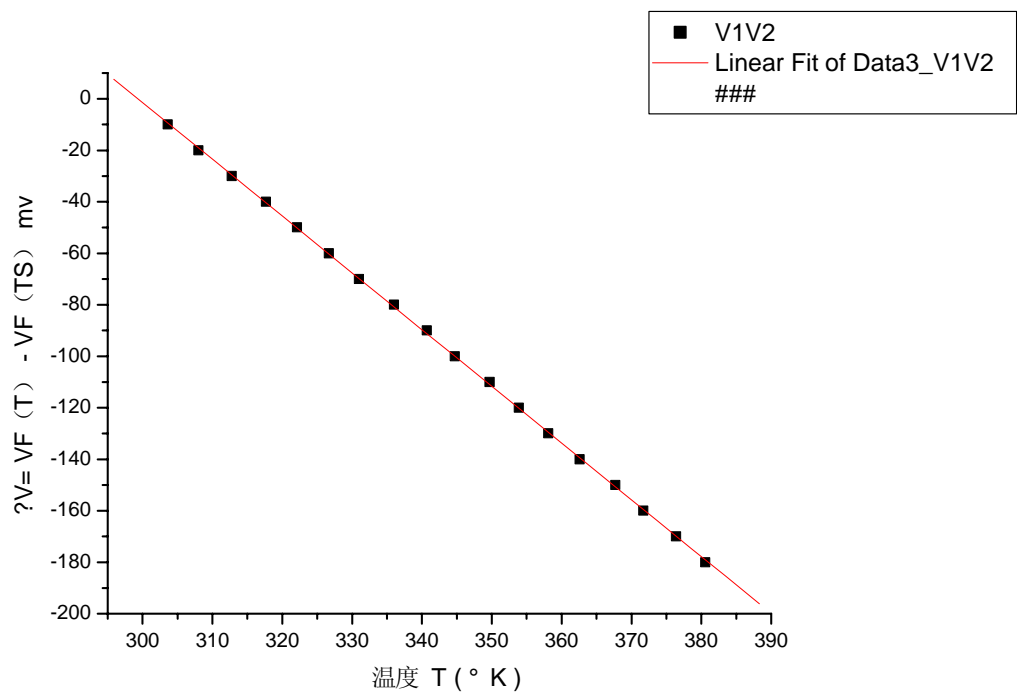
对升温过程数据进行线性拟合的结果如下：

Linear Regression for Dataup\_V1-V2:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error	
A	671.14769	0.84496	
B	-2.24114	0.00247	
<hr/>			
R	SD	N	P
-0.99999	0.2422	18	<0.0001

(2) 降温过程



对降温过程数据进行线性拟合的结果如下：

Linear Regression for Datadown\_V1V2:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	659.97597	2.24997
B	-2.20467	0.00655

R	SD	N	P
-0.99993	0.65439	18	<0.0001

灵敏度 S 取两组数据处理中的 B 的平均值：

$$S = [(-2.24) + (-2.20)] / 2 = -2.22 \quad (\text{mv}/^{\circ}\text{C}) \quad ?$$

2. 估算被测PN结材料硅的禁带宽度 $E_g(0) = qV_g(0)$ 电子伏。

根据（6）式，略去非线性项，（ $\Delta T = -273.2^{\circ}\text{K}$ ，即摄氏温标与凯尔文温标之差）可得：

$$\begin{aligned}
 V_g &= V_F(0) + \frac{V_F(0)}{T} \Delta T = V_F(273.2) + S \cdot \Delta T \quad (*) \\
 &= 590 \text{ mV} + (-2.22) (\text{mv}/^{\circ}\text{C}) (-273.2 - 26.6)^{\circ}\text{K} \\
 &= 1255.56 \text{ mV} \\
 &= 1.26 \text{ V} \\
 E_g(0) &= qV_g(0) = 1.26 \text{ 电子伏}
 \end{aligned}$$

3. 将实验所得的 $E_g(0)$ 与公认值 $E_g(0)=1.21$  电子伏比较, 求其误差得:

$$[|1.20-1.21|/1.21]*100\% = 4.1\%$$

### 思考题

1. 测 $V_F(0)$ 或 $V_F(T_R)$ 的目的何在? 为什么实验要求测 $\Delta V-T$ 曲线而不是 $V_F-T$ 曲线。

答: 测 $V_F(0)$ 或 $V_F(T_R)$ 的目的在于满足(\*)式计算, 获得正向压降的数值。由实验原理部分的分析知, 令 $I_F=\text{常数}$ , 在恒流供电条件下, PN结的 $V_F$ 对 $T$ 的依赖关系取决于线性项 $V_1$ , 即正向压降几乎随温度升高而线性下降。测 $\Delta V-T$ 曲线, 做线性拟合更精确。

2. 测 $\Delta V-T$ 曲线为何按 $\Delta V$ 的变化读取 $T$ , 而不是按自变量 $T$ 取 $\Delta V$ 。

答: 温度读书变化不易精确控制, 按 $\Delta V$  每改变 10mV 立即读取一组 $\Delta V$ 、 $T$ , 这样可以减小测量误差。