

# 实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-22

实验题目：PN 结正向压降温度特性的研究

实验目的：了解 PN 结正向压降随温度变化的基本关系式。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。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  $V_F$  存在近似关系：

$$I_F = I_S \exp\left(\frac{qV_F}{kT}\right)$$

其中  $q$  为电子电荷， $k$  为玻尔兹曼常数， $T$  为绝对温度， $I_S$  为反向饱和电流：

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

由上面可以得到：

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

其中

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

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

在上面 PN 结正向压降的函数中，令  $I_F = \text{常数}$ ，那么  $V_F$  就是  $T$  的函数。

考虑  $V_{n1}$  引起的线性误差，当温度从  $T_1$  变为  $T$ ，电压由  $V_{F1}$  变为  $V_F$ ：

$$V_F = V_g(0) - [V_g(0) - V_{F1}] \frac{T}{T_1} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{T}{T_1}\right)^r$$

$$V_{F\text{理想}} = V_{F1} + \frac{\partial V_{F1}}{\partial T} (T - T_1)$$

$$V_{\text{理想}} = V_{F1} + \left[ -\frac{V_g - V_{F1}}{T_1} - \frac{k}{q} r \right] (T - T_1) = V_g(0) - [V_g(0) - V_{F1}] \frac{T}{T_1} - \frac{k}{q} (T - T_1) r$$

两个表达式相比较，有：

$$\Delta = V_{\text{理想}} - V_F = -\frac{k}{q} r (T - T_1) + \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{T}{T_1}\right)^r$$

综上可以研究 PN 结正向压降温度特性。

实验内容：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  $V-T$  曲线（使用 Origin 软件工具），其斜率就是  $S$ 。

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，可得

# 实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-22

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

T=-273.2°K，即摄氏温标与凯尔文温标之差。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。

实验数据：

实验起始温度  $T_s = 23.6$

工作电流  $I_F = 50 \mu A$

起始温度为  $T_s$  时的正向压降  $V_F(T_s) = 598mV$

$V = V_F(T) - V_F(T_s) \text{ mV}$	升温过程 T	降温过程 T
-10	28.0	27.8
-20	32.6	32.1
-30	37.1	37.0
-40	41.6	41.6
-50	46.1	46.3
-60	50.6	50.8
-70	55.1	55.2
-80	59.6	60.2
-90	64.0	64.7
-100	68.4	69.2
-110	73.0	74.0
-120	77.4	78.4
-130	81.8	82.7
-140	86.3	87.4
-150	90.7	91.6
-160	95.2	95.9
-170	99.7	100.0
-180	104.1	

表一：实验数据表

数据处理：

利用 ORIGIN，将升温 and 降温过程分别作图：

# 实 验 报 告

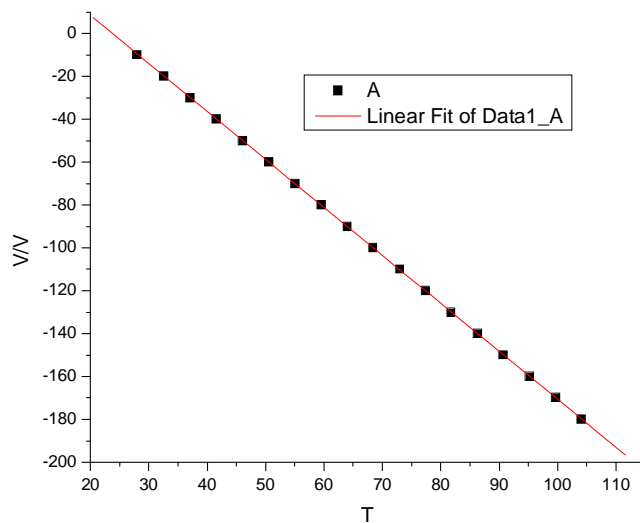
评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-22



图一：升温过程温度和压降的关系

Linear Regression for Data1\_A:

$$Y = A + B * X$$

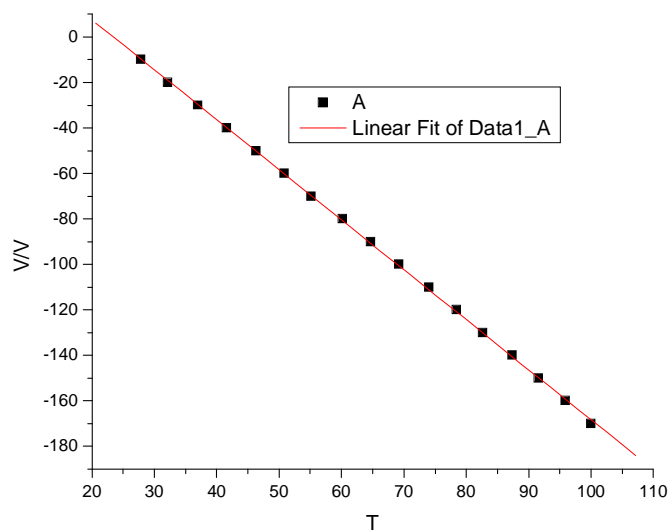
Parameter	Value	Error
-----------	-------	-------

A	53.04359	0.12472
---	----------	---------

B	-2.23687	0.00178
---	----------	---------

R	SD	N	P
---	----	---	---

-0.99999	0.17501	18	<0.0001
----------	---------	----	---------



图二：降温过程压降和温度的关系

# 实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-22

Linear Regression for Data1\_A:

$$Y = A + B \cdot X$$

Parameter	Value	Error
-----------	-------	-------

A	51.56749	0.55986
---	----------	---------

B	-2.19805	0.00821
---	----------	---------

R	SD	N	P
---	----	---	---

-0.9999	0.75482	17	<0.0001
---------	---------	----	---------

根据以上可以计算出：

在降温过程中  $S = -2.23687 \text{ mV/}$  那么根据公式计算得

$$V_{gv} = V_F(T_S) + \frac{V_F(0)}{T} \Delta T = V_F(273.2 + T_S) + S \cdot \Delta T = [598/1000 + (-2.23687) \times (-273.2)/1000] \text{ V} = 1.209 \text{ V}$$

那么显然有  $E_g(T_S) = V_{gv} = 1.209 \text{ eV}$ , 与公认值 1.21 比较有

$$\frac{\Delta}{E(T_S)} = \frac{|E_g(T_S) - E(T_S)|}{E(T_S)} = \frac{|1.209 - 1.21|}{1.21} = 0.0008 = 0.08\%$$

在升温过程中  $S = -2.19805 \text{ mV/}$  那么根据公式计算得

$$V_{gv} = V_F(T_S) + \frac{V_F(0)}{T} \Delta T = V_F(273.2 + T_S) + S \cdot \Delta T = [598/1000 + (-2.19805) \times (-273.2)/1000] \text{ V} = 1.199 \text{ V}$$

那么显然有  $E_g(0) = V_{gv} = 1.199 \text{ eV}$ , 与公认值 1.21 比较有

$$\frac{\Delta}{E(T_S)} = \frac{|E_g(T_S) - E(T_S)|}{E(T_S)} = \frac{|1.199 - 1.21|}{1.21} = 0.009 = 0.9\%$$

实验小结：

- 1、本实验原理比较难，计算式推导比较复杂，但是实验操作和过程都比较简单；
- 2、实验过程中比较顺利，最后得到的数据比较好，计算结果与公认值差距不大，升温降温两个过程误差都在控制在 1% 以内；
- 3、实验中降温过程所耗时间比较长，可以用人工辅助的方法让其降温速度加快（为精确起见，需要读数的温度点附近应该让其自然降温）；

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  $V-T$  曲线而不是  $V_F-T$  曲线。

Sol：测量  $V_F(0)$  或  $V_F(T_R)$  是为了能根据公式计算出在相应温度下的禁带宽度。实验中测量  $V-T$  曲线相对方便读数（整十），而  $V_F-T$  往往不是有很明显的读数点，容易造成失误。

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

Sol：实验过程中， $V$  的变化相对于  $T$  来说比较慢，变化也比较稳定，能够比较精确地读数，如果根据  $T$  来读  $V$ ，容易造成错误读数。