



物理实验报告

实验名称 霍尔效应及其参数测定

专 业 电子信息类

姓 名 罗灵子

学 号 12111020104

指导教师 廖飞

实验时间 4 月 11 日 第二 大节

理学院 物理实验中心

实验目的

- 1) 了解霍尔效应实验原理及其有关霍尔元件对材料要求的知识。
- 2) 学习用“抵消法”消除副效应影响，测量试样的 $U_H - I_S$ 和 $U_H - I_M$ 曲线。
- 3) 计算霍尔元件霍尔系数并确定其半导体类型。

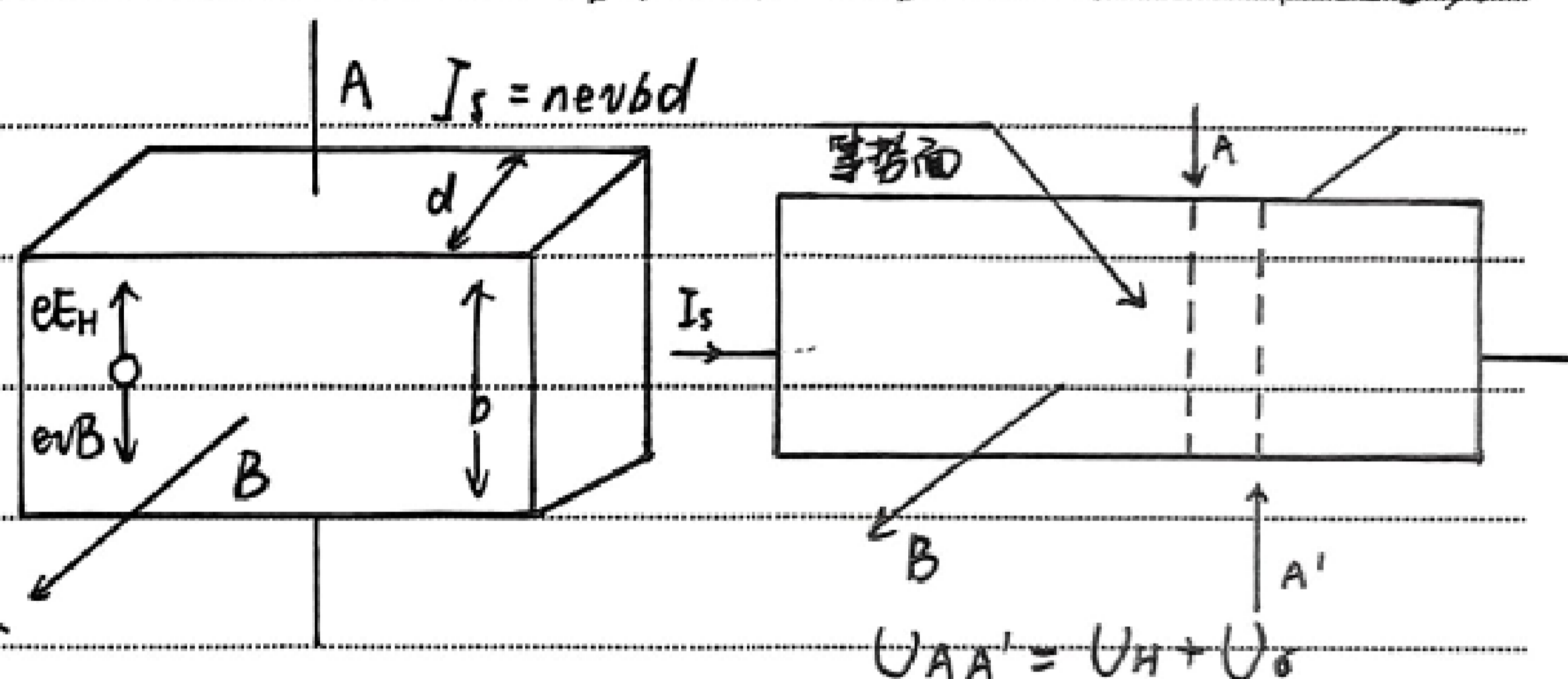
实验原理 1. 霍尔效应

通过电流的半导体在垂直电流方向的磁场作用下，与电流和磁场垂直的方向上会形成电荷积累，并出现电势差的现象称为霍尔效应。

在半导体试样中，若在与电流 I_S 垂直的方向加上磁场 B ，则载流子在洛伦兹力的作用下会向下发生偏转，从而在试样的上下两侧开始积累异号电荷而产生相应附加电场 E_H ，电场的指向取决于试样材料导电类型，显然该电场的作用是阻止载流子继续向侧面偏移，直至载流子所受横向电场力 eE_H 与洛伦兹力 $e v B$ 相等时，样品两侧电荷积累就达到平衡，故有 $eE_H = e v B$ 。设试样宽为 b ，厚度为 d ，载流子浓度为 n ，则：
$$U_H = E_H b = I_S B / (n e d) = R_H I_S B / d = K_H I_S B \quad R_H = U_H d / (I_S B)$$

2. 实验中产生的副效应及消除方法

由于在产生霍尔效应的同时通常伴随着各种副效应，因此实验测得的试样上下两侧的电势差并不等于真实的霍尔电压值 U_H 。 U_0 是最典型的一种，在其上下两侧设置两对称



的焊点 A 和 A' 进行测量，当有电流通过时，即使不加磁场也会产生附加电压 $U_0 = I_S r$ ，其中 r 为 A 和 A' 在的两对称面之间的电阻，而 U_0 的符号只与电流 I_S 的方向有关，与磁场 B 的方向无关。

除 U_0 外还存在由热效应和热磁效应所引起的各种副效应，不过这些副效应除 U_0 外，均可通过抵消法消除，即：
$$+B, +I_S, U_{AA'} = U_1 = U_H + U_0; \quad -B, +I_S, U_{AA'} = U_2 = -U_H + U_0$$

$$-B, -I_S, U_{AA'} = U_3 = U_H - U_0; \quad +B, -I_S, U_{AA'} = U_4 = -U_H - U_0$$

然后，求出 U_1, U_2, U_3, U_4 代数平均值为

$$U_H = (U_1 - U_2 + U_3 - U_4) / 4$$

通过上述的测量方法，虽然不能消除所有副效应，但其引入误差不大，可以忽略不计。

实验仪器

霍尔效应测试仪, 霍尔效应实验仪, 温控电源, C型电磁铁,
双刀双掷开关盒, 霍尔元件等组成.

实验步骤与数据记录

1. 按仪器面板上的文字和符号提示依次将霍尔效应测试仪, 双刀双掷开关盒, C型电磁铁, 霍尔元件正确连接. 测量室温下N型霍尔元件的 R_H 和 n .
- 1.1 将工作电流, 励磁电流调节旋钮逆时针旋转到底, 使电流最小.
- 1.2 将测试仪上的电压量程调至高量程, 并将N型元件装夹到C型电磁铁上.
- 1.3 将测试仪上的 I_s , I_m 输入端, U_H 输入端分别与双刀双掷开关盒上的 I_s , I_m 输入端, N型元件的4, 2电极相连.
- 1.4 将双刀双掷开关盒上的 I_s , I_m 输入端分别与N型元件1, 3电极, C型电磁铁极上的 I_m 输入端相连.
- 1.5 接通电源, 预热仪器约5min左右, 并记录下所产生磁通与励磁电流的比例系数 $C =$
及薄片厚度 $d =$

I_s (mA)	U_1 (mV) + B_s , + I_s	U_2 (mV) - B_s , + I_s	U_3 (mV) - B_s , - I_s	U_4 (mV) + B_s , - I_s	U_H (mV)	R_H (m ³ /C)	n (m ⁻³)
0.5	23.4	-22.9	22.8	-23.1	23.05	4.58068E-07	6.82213E+16
1	45.3	-44.7	44.8	-45.4	45.05	4.47635E-07	6.98113E+16
1.5	67.2	-66.4	66.4	-67.3	66.825	4.42667E-07	7.05948E+16
2	89	-87.7	87.7	-88.8	88.3	4.38692E-07	7.12344E+16
2.5	110.2	-108.6	108.6	-109.9	109.325	4.34519E-07	7.19186E+16
3	130.9	-129	129	-130.6	129.875	4.30164E-07	7.26468E+16

$T/^\circ\text{C}$	U_1 (mV) + B_s , + I_s	U_2 (mV) - B_s , + I_s	U_3 (mV) - B_s , - I_s	U_4 (mV) + B_s , - I_s	U_H (mV)	n (m ⁻³)	R_H (m ³ /C)
-5	-0.64	0.51	-0.63	0.55	-0.5825	1.34979E+21	-2.31518E-09
0	-0.67	0.54	-0.64	0.58	-0.6075	1.29424E+21	-2.41455E-09
10	-0.69	0.6	-0.67	0.64	-0.65	1.20962E+21	-2.58347E-09
30	-0.72	0.63	-0.62	0.76	-0.6825	1.15201E+21	-2.71264E-09
40	-0.7	0.68	-0.6	0.78	-0.69	1.13949E+21	-2.74245E-09
60	-0.6	0.77	-0.57	0.8	-0.685	1.14781E+21	-2.72258E-09
80	-0.5	0.85	-0.53	0.83	-0.6775	1.16052E+21	-2.69277E-09
100	-0.46	0.89	-0.44	0.89	-0.67	1.17351E+21	-2.66296E-09
120	-0.34	0.98	-0.34	0.97	-0.6575	1.19582E+21	-2.61328E-09

实验数据处理

$$R_H = \frac{U_H d}{I_s B}$$

$$B = \text{线圈常数} \times I_m = 251.6 \times 0.4 = 100.64 \text{ mT}$$

$$I_m = 0.4 \text{ A} \quad N \text{ 型组件} \quad d = 1 \mu\text{m} \quad n = \frac{1}{R_H e}$$

$$I_s = 0.5 \text{ mA} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = 23.05 \text{ mV} \quad R_H = 4.58 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 6.82 \times 10^{16}$$

$$I_s = 1 \text{ mA} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = 45.05 \text{ mV} \quad R_H = 4.48 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 6.98 \times 10^{16}$$

$$I_s = 1.5 \text{ mA} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = 66.825 \text{ mV} \quad R_H = 4.43 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 7.06 \times 10^{16}$$

$$I_s = 2 \text{ mA} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = 88.3 \text{ mV} \quad R_H = 4.39 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 7.12 \times 10^{16}$$

$$I_s = 2.5 \text{ mA} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = 109.325 \text{ mV} \quad R_H = 4.35 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 7.19 \times 10^{16}$$

$$I_s = 3 \text{ mA} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = 129.875 \text{ mV} \quad R_H = 4.30 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 7.26 \times 10^{16}$$

$$I_m = 1000 \text{ mA} \quad I_s = 0.5 \text{ mA} \quad P \text{ 型组件} \quad d = 500 \mu\text{m} \quad B = C \times I_m = 251.6 \times 1000 =$$

$$T = -5^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.5825 \text{ mV} \quad R_H = -2.32 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.35 \times 10^{21}$$

$$T = 0^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.6675 \text{ mV} \quad R_H = -2.41 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.30 \times 10^{21}$$

$$T = 10^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.65 \text{ mV} \quad R_H = -2.58 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.21 \times 10^{21}$$

$$T = 30^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.6825 \text{ mV} \quad R_H = -2.71 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.15 \times 10^{21}$$

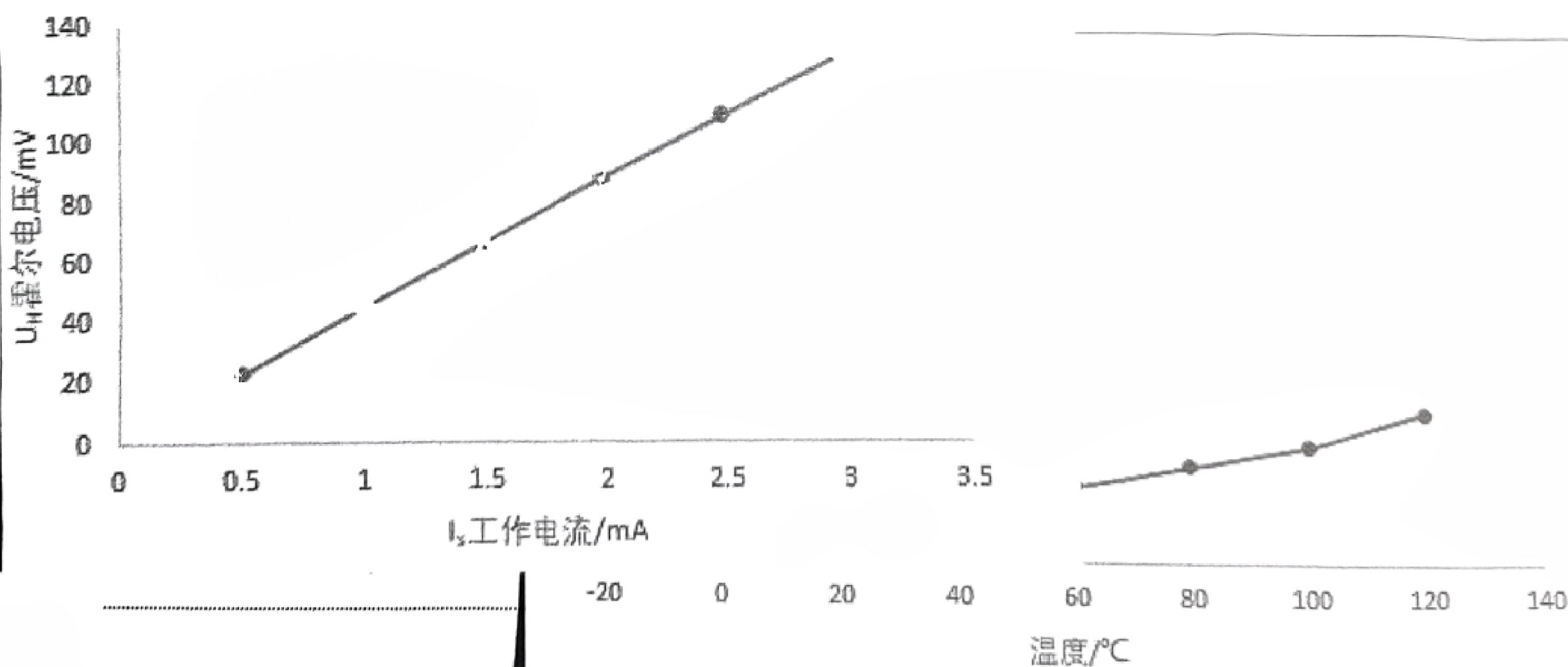
$$T = 40^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.69 \text{ mV} \quad R_H = -2.74 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.14 \times 10^{21}$$

$$T = 60^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.685 \text{ mV} \quad R_H = -2.72 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.15 \times 10^{21}$$

$$T = 80^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.6775 \text{ mV} \quad R_H = -2.70 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.16 \times 10^{21}$$

$$T = 100^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.67 \text{ mV} \quad R_H = -2.66 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.17 \times 10^{21}$$

$$T = 120^\circ\text{C} \quad U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) = -0.6575 \text{ mV} \quad R_H = -2.61 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C} \quad n = 1.20 \times 10^{21}$$



实验结论

1. 在室温下, n 型组件, 随着注入工作电流 I_s 增大, 霍尔电压也对应着增大;
2. 在 I_s , I_m 不改变的情况下, n 型组件, 随着温度升高, 通过的载流子浓度先下降后升高.

实验讨论

1. 从仪器和方法出发分析实验误差:

① 不等位效应: 由于制造工艺技术的限制, 霍尔元件的电极不可能接在同一等位面上, 当电流流过元件时, 即使不加 B , 电极间也会产生电压.

② 热磁效应: 由于两个电流电极与霍尔元件的接触电阻不等, 当有电流通过时, 在元件上有温度差存在, 出现热扩散电流.

4. 霍尔元件的基本工作原理:

当电流通过金属薄片时, 若在垂直于电流的方向施加磁场, 则金属薄片两侧面会出现横向电压, 半导体中的霍尔效应比金属薄片更为明显, 而铁磁金属在居里温度以下将呈现极强的霍尔效应.

思考题

(1) 产生霍尔效应应具备哪些条件？

半导体或导体，沿Z方向的磁场B，沿X方向的电流I。

(3) 若磁场B不与霍尔片的法线方向一致，对测量结果有何影响？

说明磁感应线与霍尔元件不垂直，这样在测量元件电势差时导致测量值不是最大电势差，即V偏小，而 $B = V/KI$ ，所以B偏小。

(4) 能否用霍尔元件测量交变磁场？怎样测量？

可以，必须使用霍尔元件的线性区，测量才比较准确。首先我们需要制造一个交变的磁场，也就是将励磁电流源换成交流电源。根据霍尔电压公式我们可以知道，此时产生的霍尔电压也是交变的，因此我们需要在测量过程中将原来的直流电压表换成交流电压表。

原始记录

$I_m = 0.4A$

N

I_s / mA	U_1 / mV +B, +I _s	U_2 / mV -B, +I _s	U_3 / mV -B, -I _s	U_4 / mV +B, -I _s
------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

0.5	23.4	-22.9	22.8	-23.1
-----	------	-------	------	-------

1	45.3	-44.7	44.8	-45.4
---	------	-------	------	-------

1.5	67.2	-66.4	66.4	-67.3
-----	------	-------	------	-------

2	89.0	-87.7	87.7	-88.8
---	------	-------	------	-------

2.5	110.2	-108.6	108.6	-109.9
-----	-------	--------	-------	--------

3	130.9	-129.0	129.0	-130.6
---	-------	--------	-------	--------

$I_s = 0.5mA$

$I_m = 1000mA$

$T / ^\circ C$	U_1 / mV +B, +I _s	U_2 / mV -B, +I _s	U_3 / mV -B, -I _s	U_4 / mV +B, -I _s
----------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

-5	-0.64	0.51	-0.63	0.55
----	-------	------	-------	------

0	-0.67	0.54	-0.64	0.58
---	-------	------	-------	------

10	-0.69	0.60	-0.67	0.64
----	-------	------	-------	------

30	-0.72	0.63	-0.62	0.76
----	-------	------	-------	------

40	-0.70 0.70	0.68	-0.60	0.78
----	--------------------------	------	-------	------

60	-0.60	0.77	-0.57	0.80
----	-------	------	-------	------

80	-0.50	0.85	-0.53	0.83
----	-------	------	-------	------

100	-0.46	0.89	-0.44	0.89
-----	-------	------	-------	------

120	-0.34	0.98	-0.34	0.97
-----	-------	------	-------	------

7.11.11