

霍尔效应及磁电阻测量

完整报告

姓名 刘若涵

学号 2020011126

班级 自 05 班

循环组号 单三晚 L

组内循环号 18

1 实验目的

1. 了解霍尔效应及副效应的产生原理
2. 掌握霍尔系数的测量方法，学习消除霍尔副效应的实验方法
3. 研究半导体材料的电阻值随磁场的变化规律

2 实验原理

2.1 霍尔效应

金属片（或半导体片）中通过电流时，载流子在磁场的作用下发生偏转，积累形成横向电场。 $U_H = \frac{B}{ne d} I$ ，霍尔系数 $R_H = \frac{1}{ne}$ ，灵敏度 $K_H = \frac{R_H}{d}$ 。

2.2 霍尔效应副效应

厄廷好森效应 U_E 与 I 、 B 的方向有关，能斯脱效应 U_N 与 I 、 B 的方向有关，里纪-勒杜克效应 U_R 与 B 的方向有关，不等位效应所引起的电位差 U_0 与 I 的方向有关，电压表的附加电压 U_S 与 I 、 B 方向无关。当 I 、 B 确定之后，霍尔片输出电压 $U = f(U_H, U_E, U_N, U_R, U_0, U_S)$ ，消除副效应的重点是消除 U_0 。

2.3 磁电阻效应

导体电阻值随磁感应强度的变化规律。在弱磁场下， $\frac{\Delta R}{R(0)} \propto B^2$ ，在强磁场下， $\frac{\Delta R}{R(0)} \propto B$ 。

3 实验仪器

万用表、霍尔元件（序号 110801， $I_M = 500mA$ 时，中心磁场 $B = 131.4mT$ ）：包括霍尔片、磁阻片、励磁电流、霍尔电压表、磁电阻效应电压表、游标卡尺。

4 实验任务

4.1 测量霍尔片有关参数

调节霍尔片位于磁场中心，设定 $I_M = 500mA$ ，改变 $I = 2.00 - 8.00mA$ （间隔 $1.00mA$ ），利用变向开关改变 I 和 B 的方向，记录 $U_1(B, I)$ 、 $U_2(B, -I)$ 、 $U_3(-B, -I)$ 、 $U_4(-B, I)$ ，计算出 U_H ，拟合出 $U_H \sim I$ 关系曲线。计算出 K_H 、 R_H 、 n 及其不确定度。

4.2 判断霍尔片载流子类型

根据实验中 I 、 B 、 U_H 的正方向及 U_H 的正负判断载流子类型。

4.3 标定电磁铁磁隙间磁场

取 $I = 4.00mA$ ，改变 $I_M = 0 \sim 1000mA$ （间隔 $100mA$ ），测量 U_H ，计算出 B ，拟合出 $B \sim I_M$ 函数关系。

4.4 测定磁极间隙磁场分布

取 $I = 4.00mA$ ， $I_M = 500mA$ ，通过游标卡尺调节水平距离，测量 U_H ，计算 B ，绘制 $B \sim x$ 分布。

4.5 测量载流子迁移率

关闭励磁电流，万用表并联在工作电流两端测量电压，计算 μ 。

4.6 磁电阻特性测量

调节磁阻片位于磁场中心，取 $I_{CD} = 1.50mA$ ，AB 端短路，用万用表测 U_{CD} ，计算 $R(B)$ 、 B ，绘制 $\frac{\Delta R}{R(0)} \sim B$ 关系。

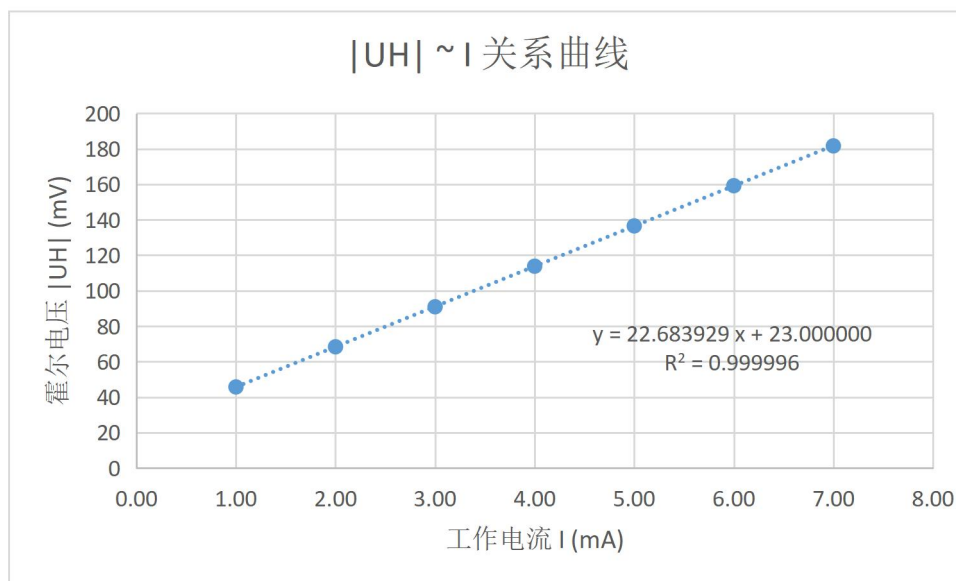
5 数据处理

5.1 测量霍尔片的有关系数

设定 $I_M = 500mA$ ，查出对应 $B = 131.4mT$ ，霍尔元件尺寸为 $300 * 100 * 3\mu m$ ，由于不等位电压的正负只与工作电流方向有关，因此 $U_0 = \frac{|U_1| - |U_2| - |U_3| + |U_4|}{4} = -\frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4}{4}$ ，因此利用 $U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4}$ 计算输出电压可消除不等位效应。

I/mA	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$U_1(B, I)/mV$	-46.1	-68.9	-91.6	-114.7	-137.6	-160.5	-183.1
$U_2(B, -I)/mV$	46.1	69.0	91.8	114.9	137.9	160.8	183.5
$U_3(-B, -I)/mV$	-45.3	-67.7	-90.1	-112.7	-135.2	-157.6	-179.8
$U_4(-B, I)/mV$	45.3	67.8	90.2	112.9	135.4	157.9	180.2

U_H/mV	-45.7	-68.35	-90.925	-113.8	-136.525	-159.2	-181.65
----------	-------	--------	---------	--------	----------	--------	---------



由图可知，霍尔电压大小与工作电流大小呈线性关系。拟合得 $|U_H| = 22.683929I + 23.000000$ ， $r = 0.999998$ ，对照公式 $U_H = \frac{B}{ned}I$ ，可得斜率 $b = \frac{B}{ned} = 22.683929$ 。

则霍尔片灵敏度

$$K_H = \frac{1}{ned} = \frac{22.683929}{131.4m} = 172.63 \text{ m}^2/C$$

$$S_b = b \cdot \sqrt{\frac{r^{-2} - 1}{n - 2}} = 0.020$$

$$\Delta_b = t_p(v)S_b = 0.052$$

$$\Delta K_H = \frac{\Delta_b}{B} = 0.40$$

$$K_H = (172.63 \pm 0.40) \text{ m}^2/C$$

霍尔系数

$$R_H = K_H \cdot d = 172.63 * 3\mu = 5.179 \times 10^{-4}$$

$$\Delta R_H = \Delta K_H \cdot d = 1.2 \times 10^{-6}$$

$$R_H = (5.179 \pm 0.012) \times 10^{-4} \text{ m}^3/C$$

载流子浓度

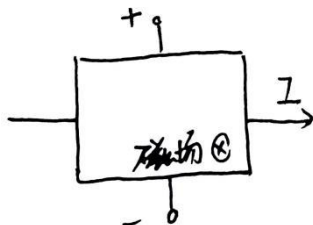
$$n = \frac{1}{eR_H} = 1.2052 \times 10^{22}$$

要有单位

$$\Delta_n = \frac{\Delta R_H}{eR_H^2} = 2.8 \times 10^{19}$$

$$n = (1.2052 \pm 0.0028) \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$$

5.2 判断霍尔片的载流子类型

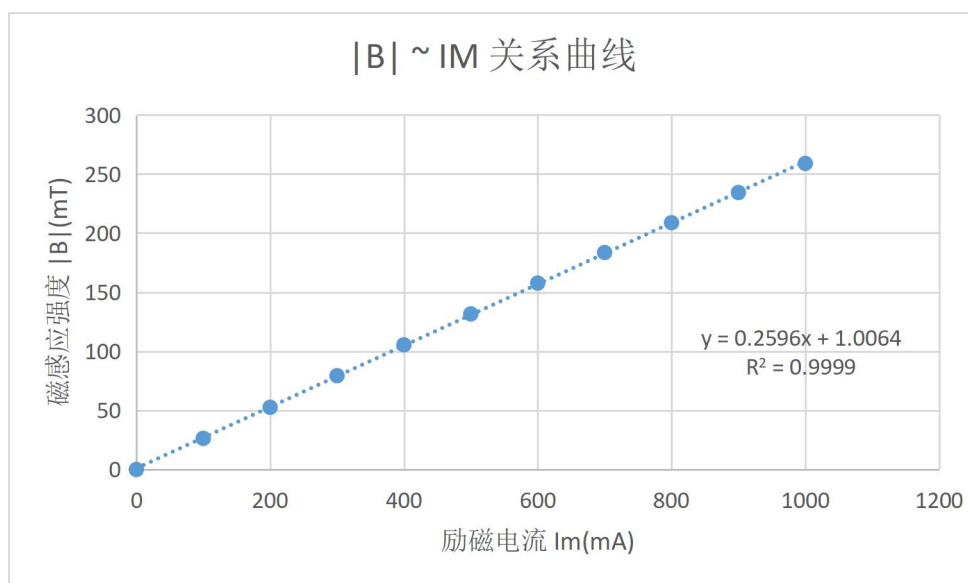


实验中约定的 B 、 I 及 U_H 的正方向如图所示。根据左手定则，载流子向上偏转。由于测得的 $U_H < 0$ ，判断出载流子为电子。

5.3 标定电磁铁磁隙间磁场

取工作电流 $I = 4.00\text{mA}$ ，任务一中测得 $K_H = 172.63 \text{ m}^2/\text{C}$ 。

I_M/mA	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$U_1(B, I)/\text{mV}$	-0.04	-18.8	-36.8	-55.5	-73.4	-91.4	-109.4	-127.2	-144.6	-162.5	-179.5
$U_2(B, -I)/\text{mV}$	0.05	18.9	36.9	55.6	73.5	91.6	109.6	127.4	144.8	162.7	179.8
$U_3(-B, -I)/\text{mV}$	0.04	-17.5	-35.8	-54.0	-72.2	-90.2	-108.2	-126.1	-143.5	-160.9	-177.8
$U_4(-B, I)/\text{mV}$	-0.03	17.6	35.9	54.1	72.3	90.4	108.4	126.3	143.7	161.1	178.1
U_H/mV	-0.005	-18.2	-36.35	-54.8	-72.85	-90.9	-108.9	-126.75	-144.15	-161.8	-178.8
$B = \frac{U_H}{IK_H}/\text{mT}$	-0.01	-26.36	-52.64	-79.36	-105.50	-131.64	-157.71	-183.56	-208.76	-234.32	-258.94

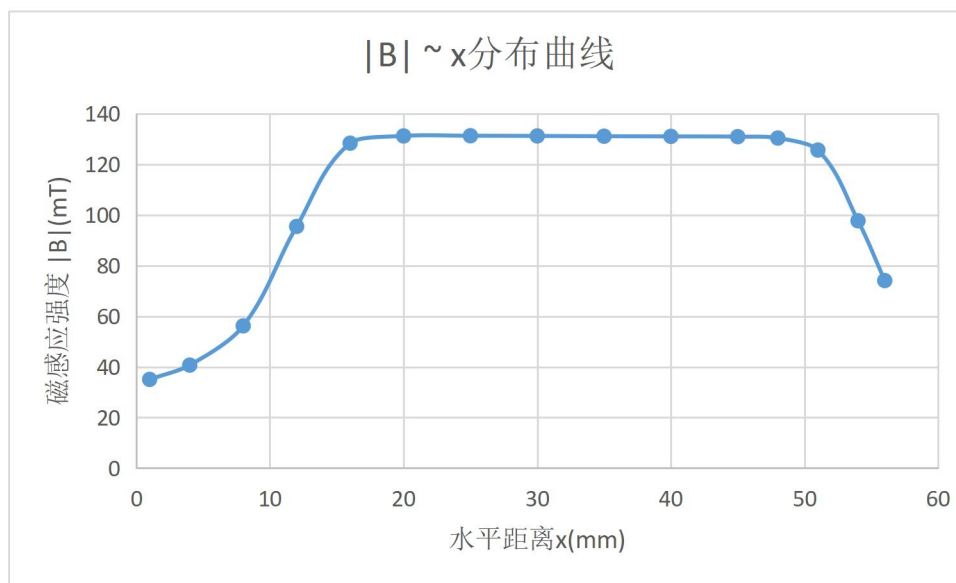


由图可知，磁感应强度和励磁电流大小呈线性关系，拟合得 $|B| = 0.2596I_M + 1.0064$ ， $R^2 = 0.9999$ ，说明线性相关性良好。

5.4 测定磁极间隙磁场分布

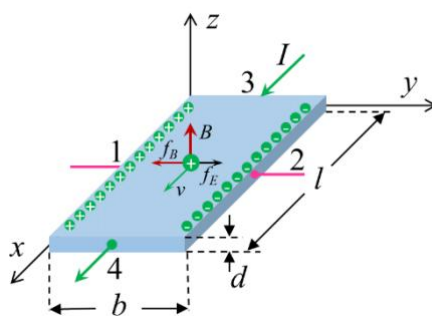
取 $I = 4.00mA$ 、 $I_M = 500mA$

x/mm	1	4	8	12	16	20	25	30
$U_1(B, I)/mV$	-24.9	-28.8	-39.5	-66.6	-89.3	-91.3	-91.3	-91.3
$U_2(B, -I)/mV$	25.0	28.9	39.6	66.7	89.4	91.4	91.5	91.4
$U_3(-B, -I)/mV$	-23.4	-27.3	-38.0	-65.1	-87.8	-89.7	-89.8	-89.7
$U_4(-B, I)/mV$	23.5	27.4	38.1	65.2	87.9	89.9	89.9	89.9
U_H/mV	-24.2	-28.1	-38.8	-65.9	-88.6	-90.575	-90.625	-90.575
$B = \frac{U_H}{IK_H}/mT$	-35.05	-40.69	-56.19	-95.44	-128.31	-131.17	-131.24	-131.17
x/mm	35	40	45	48	51	54	56	
$U_1(B, I)/mV$	-91.2	-91.2	-91.1	-90.7	-87.5	-68.2	-51.9	
$U_2(B, -I)/mV$	91.4	91.3	91.2	90.9	87.7	68.3	52.0	
$U_3(-B, -I)/mV$	-89.6	-89.6	-89.5	-89.1	-85.8	-66.6	-50.3	
$U_4(-B, I)/mV$	89.8	89.7	89.7	89.3	85.9	66.7	50.4	
U_H/mV	-90.5	-90.45	-90.375	-90	-86.725	-67.45	-51.15	
$B = \frac{U_H}{IK_H}/mT$	-131.06	-130.99	-130.88	-130.34	-125.59	-97.68	-74.07	



磁极间隙的磁感应强度大小在水平方向的分布如上图所示。磁场大小随水平距离呈从两侧向中间递增的趋势，在中间的较宽区域内基本保持不变，在左右两侧基本呈对称分布。由于游标卡尺的量程受限，在 x 较大的区域测不到结果，但利用已有的数据大致可以看出对称的分布趋势。在磁极缝隙的中心位置，即水平坐标距离在 20-45mm 范围内，磁场可视为匀强磁场，磁感应强度大小约为 131mT。

5.5 测量霍尔片载流子迁移率



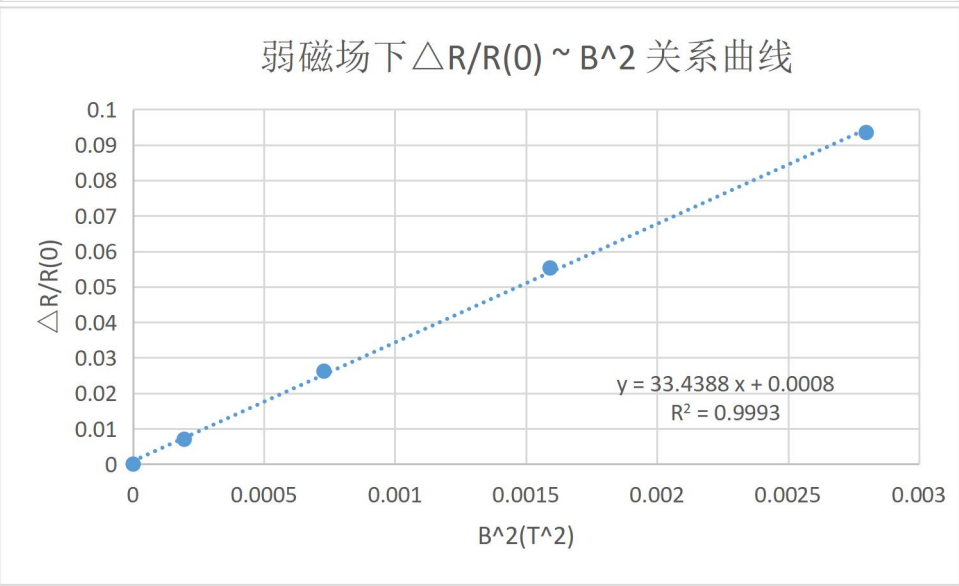
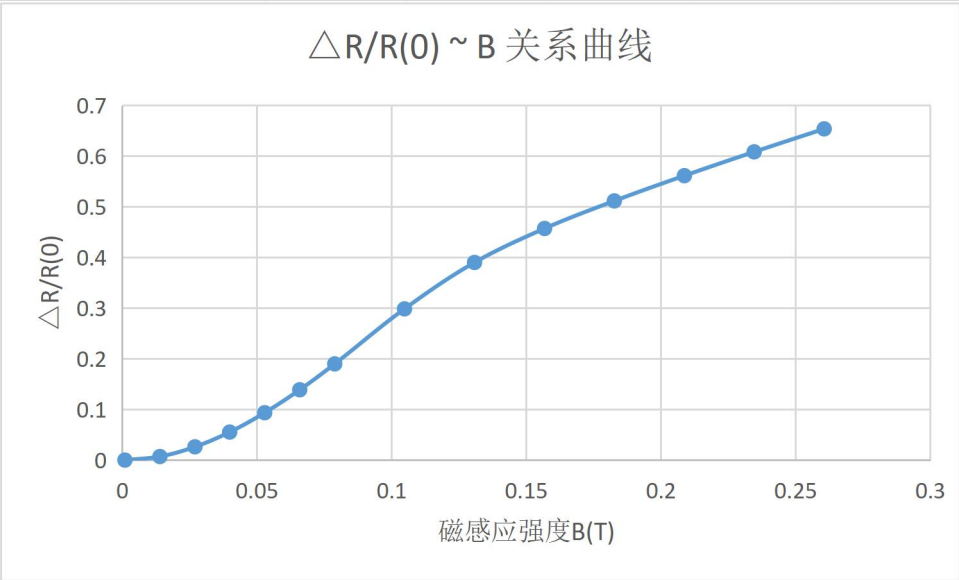
霍尔元件尺寸为 $300 * 100 * 3\mu m$ ，取工作电流 $I = 4.00mA$ ，万用表并联在工作电流两端测得 $U = 2.943V$ ，则 $\mu = \frac{v}{E} = \frac{\frac{I}{neb}}{\frac{U}{l}} = \frac{IK_H}{Ub} = \frac{4.00m * 300\mu * 172.63}{2.943 * 100\mu} = 7039 \text{ cm}^2 / (V \cdot s)$ 。

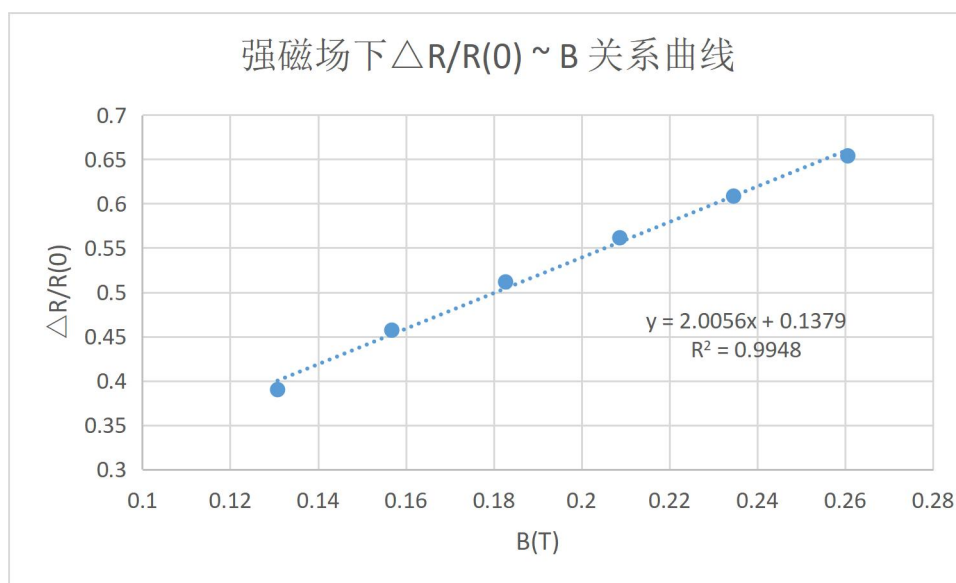
5.6 磁电阻特性测量

CD 端取 $I_{CD} = 1.50mA$ ，AB 端短路。利用 5.3 中结论求得 $|B| = 0.2596I_M + 1.0064 \text{ (mT)}$

I_M / mA	0	50	100	150	200	250	300
------------	---	----	-----	-----	-----	-----	-----

U_{CD}/mV	457.6	460.8	469.6	482.9	500.4	521.1	544.5
$ B /T$	0.0010	0.0140	0.0270	0.0399	0.0529	0.0659	0.0789
$R(B) = \frac{U_{CD}}{I_{CD}}/\Omega$	305.0667	307.2000	313.0667	321.9333	333.6000	347.4000	363.0000
$\frac{\Delta R}{R(0)}$	0.0000	0.0070	0.0262	0.0553	0.0935	0.1388	0.1899
I_M/mA	400	500	600	700	800	900	1000
U_{CD}/mV	594.2	636.1	666.8	691.7	714.5	736.0	756.8
$ B /T$	0.1048	0.1308	0.1568	0.1827	0.2087	0.2346	0.2606
$R(B) = \frac{U_{CD}}{I_{CD}}/\Omega$	396.1333	424.0667	444.5333	461.1333	476.3333	490.6667	504.5333
$\frac{\Delta R}{R(0)}$	0.2985	0.3901	0.4572	0.5116	0.5614	0.6084	0.6538





如图所示，在弱磁场下，即 $B \leq 0.06T$ 时， $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与 B^2 近似呈线性关系，拟合得 $R^2 = 0.9993$ 线性相关性很好。在强磁场下，即 $B \geq 0.12T$ 时， $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与 B 近似呈线性关系，拟合得 $R^2 = 0.9948$ 线性相关性较好。

6 实验小结

本次实验，我了解了霍尔效应及副效应的产生原理，掌握了霍尔系数的测量方法，学习了消除霍尔副效应的实验方法，知道了半导体材料的电阻值随磁场的变化规律。并总结了两点经验：1、在进行实验前要检查仪器是否调至适合测量的状态，并在测量过程中尽量保持此状态不变。例如本实验中在进行测量要先调节霍尔片大致位于匀强磁场的中心位置，并且在测量过程中不能随意改变霍尔片的位置。2、观察被测量与变量的关系，采用变量换向的对称测量法测出四组数据，通过处理可以消除某一误差，同时四次测量数据换一种组合方式可以用来观测这一误差。

7 原始数据

$N_A = 1.10801$ $B = 131.4 \text{ mT}$

① $I_M = 500 \text{ mA}$

I/mA	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$U_1(B, I)/\text{mV}$	-46.1	-68.9	-91.6	-114.7	-137.6	-160.5	-183.1
$U_2(B, I)/\text{mV}$	46.1	69.0	91.8	114.9	137.9	160.8	183.5
$U_3(-B, I)/\text{mV}$	-45.3	-67.7	-90.1	-112.7	-135.2	-157.6	-179.8
$U_4(-B, I)/\text{mV}$	45.3	67.8	90.2	112.9	135.4	157.9	180.2
U_H							

②

电子

③ $I = 4.00 \text{ mA}$

I_M/mA	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$U_1(B, I)/\text{mV}$	-0.04	-18.8	-36.8	-55.5	-73.4	-91.4	-109.4	-127.2	-144.6	-162.5	-179.5
$U_2(B, I)/\text{mV}$	0.05	18.9	36.9	55.6	73.5	91.6	109.6	127.4	144.8	162.7	179.8
$U_3(-B, I)/\text{mV}$	0.04	-17.5	-35.8	-54.0	-72.2	-90.2	-108.2	-126.1	-143.5	-160.9	-177.8
$U_4(-B, I)/\text{mV}$	-0.03	17.6	35.9	54.1	72.3	90.4	108.4	126.3	143.7	161.1	178.1

孙新

④ $I = 4.00 \text{ mA}$ $I_M = 500 \text{ mA}$

x/mm	1	4	8	12	16	20	25	30	35	40
$U_1(B, I)/mV$	-24.9	-28.8	-34.5	-66.6	-89.3	-91.3	-91.3	-91.3	-91.2	-91.2
$U_2(B, -I)/mV$	25.0	28.9	39.6	66.7	89.4	91.4	91.5	91.4	91.4	91.3
$U_3(-B, -I)/mV$	-23.4	-27.3	-38.0	-65.1	-87.8	-89.7	-89.8	-89.7	-89.6	-89.6
$U_4(-B, I)/mV$	23.5	27.4	38.1	65.2	87.9	89.9	89.9	89.9	89.8	89.7

x/mm	45	48	51	54	56
$U_1(B, I)/mV$	-91.1	-90.7	-87.5	-68.2	-51.9
$U_2(B, -I)/mV$	91.2	90.9	87.7	68.3	52.0
$U_3(-B, -I)/mV$	-89.5	-89.1	-85.8	-66.6	-50.3
$U_4(-B, I)/mV$	89.7	89.3	85.9	66.7	50.4

⑤ $I = 4.00 \text{ mA}$ $U = 2.943 \text{ V}$

⑥ $I_{CD} = 1.50 \text{ mA}$

[illegible]