

变温霍耳效应

实验者：余钊焕 合作者：朱 可

(中山大学理工学院, 物理学专业 2006 级, 学号 06324043)

2008 年 10 月 5 日

【实验目的】

1. 理解霍耳效应的物理原理;
2. 掌握导电材料的霍耳系数和电导率的测量方法;
3. 进一步理解半导体的导电机制;
4. 测量分析霍耳系数的电导率随温度的变化关系。

【实验仪器】

CVM-200 霍耳效应测试系统 (包含 SV-15 低温恒温器、202 型控温仪、C103 型电磁铁和 LPS305 数控式线性直流稳压电源)、FD-TX-FA 特斯拉计。

【实验原理】

(一) 霍耳效应

一矩形载流的导电材料, 若在与电流 I 垂直的方向上施加一外磁场 B , 则在导电材料内部与电流和磁场相互垂直的方向上, 会产生一横向电位差 V_H , 这种现象称为霍耳效应, V_H 称为霍耳电压。霍耳效应的物理原理如图 (1) 所示。如果导电材料内参与导电的载流子以电子为主, 称为 n 型导电材料; 若以空穴为主, 则称为 p 型导电材料。事实上, 存在着数量级相同的两种载流子参与导电的物理过程。

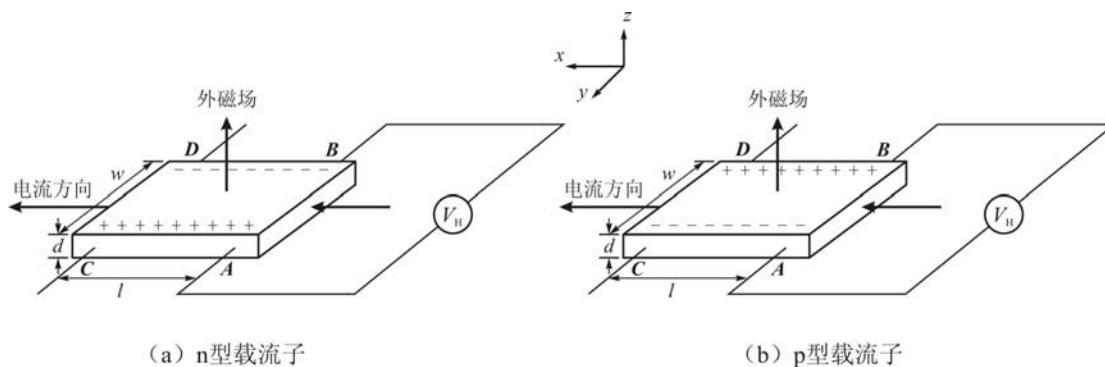


图 1 霍耳效应原理

(二) 单一种载流子的霍耳系数

假设一块宽为 w 厚为 d 的 p 型半导体材料, 如图 1 (b) 所示, 空穴载流子电荷量为 q 。若沿 x 方向通以稳恒电流, 同时在与电流垂直的方向上施加一均匀外磁场, 以平均漂移速度 v 的空穴载流子受到洛伦兹力

$$F_L = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

的作用。空穴载流子向 y 方向偏转, 引起 CA 侧负电荷积累和 DB 侧正电荷积累, 从而在 y 方向上逐渐建立起电场, 称为霍耳电场, 它对载流子受洛伦兹力的偏转产生阻力

$$F_E = qE_H \quad (2)$$

直到与洛伦兹力平衡为止，即

$$E_H = vB \quad (3)$$

若空穴载流子浓度为 p ，则载流子平均漂移速度为

$$v = \frac{I}{pq \cdot dw} \quad (4)$$

霍耳电压为

$$V_H = E_H w = \frac{IB}{pqd} = R \frac{IB}{d} \quad (5)$$

式中 R 为霍耳系数。对于空穴载流子，可得

$$R = \frac{1}{pq} = \frac{1}{pe} \quad (6)$$

同理，对多数载流子为电子的 n 型半导体材料，且用 n 表示载流子浓度，则可得到 n 型半导体的霍耳系数

$$R = \frac{1}{nq} = -\frac{1}{ne} \quad (7)$$

事实上，由式 (5)，可得霍耳系数的表达式

$$R = \frac{V_H d}{IB} \quad (8)$$

由上式可见，通过测量电流 (A)、磁场 (T)、样品厚度 (m) 及霍耳电压的大小 (V) 和方向，即可获得霍耳系数，并根据符号确定样品的导电类型。

由于半导体中载流子的运动速度遵从麦克斯韦分布规律，同时考虑晶格和杂质对载流子运动的散射作用，对式 (6) 和 (7) 进行如下修正

$$\text{p 型半导体} \quad R = \frac{\mu_H}{\mu_p} \cdot \frac{1}{pe} \quad (9)$$

$$\text{n 型半导体} \quad R = \frac{\mu_H}{\mu_n} \cdot \frac{1}{ne} \quad (10)$$

式中 μ_p ， μ_n 和 μ_H 分别为空穴迁移率、电子迁移率和霍耳迁移率。在室温下，以晶格散射为主的高电阻率样品，比值 μ_H/μ_p 和 μ_H/μ_n 为 $3\pi/8$ ；以电离杂质散射为主的低电阻率样品，比值取 1.93；高度简并情况的低电阻率样品，比值取 1。

(三) 两种载流子的霍耳系数

如果材料中存在数量级相同的两种载流子，分析霍耳效应时必须考虑两种载流子在磁场作用下偏转的结果。从理论上可以证明，电子和空穴混合导电时的霍耳系数为

$$R = \frac{\mu_H}{\mu} \cdot \frac{1}{e} \cdot \frac{p - nb^2}{(p + nb)^2} \quad (11)$$

式中 $b = \mu_n / \mu_p$, μ 为载流子的漂移迁移率。

本征导电时, $p = n = n_i$, 霍耳系数为

$$R = \frac{\mu_H}{\mu} \cdot \frac{1}{n_i e} \cdot \frac{1-b}{1+b} \quad (12)$$

(四) 变温霍耳系数

在不同温度下测量一系列 R 值, 作 $\lg R \sim 1/T$ 曲线, 不管对晶体散射为主还是杂质散射为主, 实验曲线均可分为三个区域。下面以 n 型材料为例三个温度范围进行分析讨论。

1. 本征导电区 属高温区, $p = n = n_i$, 霍耳系数为式 (12)。由于载流子浓度随温度变化关系为

$$n_i = K' T^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \quad (13)$$

式中 E_g 为禁带宽度, k 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度, K' 为常数。代入式 (12) 可得霍耳系数 R 与温度 T 关系的近似式, 进一步取对数, 即

$$\lg R = \lg B + \frac{CE_g}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (14)$$

式中 $C = \lg e = 0.4343$, B 近似与 T 无关。从而, 由 $\lg R \sim 1/T$ 直线斜率, 可求禁带宽度 E_g 。

2. 杂质饱和电离区 在饱和电离区内杂质已全部电离, 载流子浓度与电离杂质的浓度相等且保持恒定值。由式 (10) 可得霍尔系数

$$R = -\frac{\mu_H}{\mu_n} \cdot \frac{1}{N_d} \cdot \frac{1}{e} \quad (15)$$

式中 N_d 为施主杂质浓度。对于以晶格散射为主的 n 型高电阻率样品, μ_H / μ_n 将随温度 T 升高而增加, 所以 $\lg R$ 随 $1/T$ 增大而减小, 对于以杂质散射为主的 n 型低电阻率样品, μ_H / μ_n 近乎与温度无关, 曲线 $\lg R \sim 1/T$ 近似为一水平直线。

3. 杂质电离区 由于杂质未全部电离, 载流子浓度与温度关系为

$$n = K' T^{3/4} \exp\left(-\frac{E_i}{2kT}\right) \quad (16)$$

式中, E_i 为施主杂质电离能, k 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度, K' 为常数。将上式代入式 (10), 同时可认为 μ_H / μ_n 与温度 T 无关, 则可得

$$R = A'T^{-3/4} \exp\left(-\frac{E_i}{2kT}\right) \quad (17)$$

取对数，可得

$$\lg(RT^{3/4}) = \lg A' + \frac{CE_i}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (18)$$

式中 $C = \lg e = 0.4343$ ， A' 与 T 无关。从 s 而，由 $\lg(RT^{3/4}) \sim 1/T$ 直线斜率，可求杂质电离能 E_i 。

(五) 变温电导率

电导率与导电类型和载流子浓度有关。当电子和空穴混合导电时

$$\sigma = e(p\mu_p + n\mu_n) \quad (19)$$

仅有电子导电时 $\sigma = en\mu_n$ ，仅有空穴导电时 $\sigma = ep\mu_p$ 。由于 n 或 p 均随温度变化，电导率 σ 与温度 T 有关。与霍耳系数分析方法类似，电导率与温度变化曲线 $\lg \sigma \sim 1/T$ 可分三个温度范围进行讨论。

1. 本征导电区 属高温区， $p = n = n_i$ ，电导率 $\sigma = en_i(\mu_p + \mu_n)$ 。利用式 (13) 可得

$$\sigma = C \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \quad (20)$$

取对数，则

$$\lg \sigma = \lg D - 0.4343 \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (21)$$

由 $\lg \sigma \sim 1/T$ 直线斜率，可求得禁带宽度 E_g 。

2. 杂质电离区 这时载流子浓度 $n < N_d$ ，电导率 $\sigma = en\mu_n$ 。利用式 (16) 可得

$$\sigma = D'T \exp\left(-\frac{E_i}{2kT}\right) \quad (22)$$

取对数，则

$$\lg \frac{\sigma}{T} = \lg D' - 0.4343 \frac{E_i}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (23)$$

由 $\lg(\sigma/T) \sim 1/T$ 直线斜率，可求得杂质电离能 E_i 。

3. 杂质电离饱和区 这时载流子浓度 $n = N_d$ 与温度无关，电导率 $\sigma = eN_d\mu_n$ 仅依从迁移率 μ_n 随温度变化而变化。 μ_n 与温度 T 的关系分以晶格散射为主、以电离杂质散射为主及

晶格和杂质散射共存三种情况。由其 $\lg \sigma \sim 1/T$ 关系曲线，可求得材料的禁带宽度 E_g 和杂质电离能 E_i 。

（六）实验测量中的副效应及消除

在测量霍尔电压 V_H 时，由于伴随着一些热磁效应所产生的电位迭加在实验测量值上，从而引起实验测量误差。这些副效应包括：

1. 厄廷豪森效应 载流子在电场和磁场作用下发生偏转时，其动能转化为热能致使在 y 方向上产生温差，并引起温差电位 $V_E \propto I \cdot B$ ；

2. 能斯脱效应 由于两电流电极与样品接触电阻不同，即使没有电流通过样品，也可以引起两极间的温差电位并产生温差热流 Q ，在磁场 B 作用下也发生偏转，结果在 y 方向上产生附加电位 $V_N \propto Q \cdot B$ ，其方向由磁场方向决定；

3. 里纪—勒杜克效应 上述温差热流 Q 在磁场 B 作用下，除了在 y 方向上产生 V_N 外，还引起样品两侧的温差，并在 y 方向上产生附加的温差电位 $V_{RL} \propto Q \cdot B$ ，其方向也由磁场方向决定；

4. 电极电位不对称产生的电位差 V_I 由于测量霍尔电压的电极不在同一等位面上，即使不加磁场，当有电流 I 通过样品里，电极 A 和 B（或 C 和 D）之间存在电位差 $V_I \propto I \cdot r$ ， r 为 AB 间沿 x 方向的电阻， V_I 方向由 I 方向决定。

另外，若样品所在空间 y 方向有温差梯度，也可引起温差电位 V_T 并迭加到 V_H 中。

在实验测量中，为了消除上述副效应所引起的误差，可采用改变电流和磁场方向的方法，即

$$\text{当 } +B, +I \text{ 时, } V_1 = +V_H + V_E + V_{RL} + V_N + V_I + V_T,$$

$$\text{当 } +B, -I \text{ 时, } V_2 = -V_H - V_E + V_{RL} + V_N - V_I + V_T,$$

$$\text{当 } -B, -I \text{ 时, } V_3 = +V_H + V_E - V_{RL} - V_N - V_I + V_T,$$

$$\text{当 } -B, +I \text{ 时, } V_4 = -V_H - V_E - V_{RL} - V_N + V_I + V_T,$$

由上述实验测量值，同时考虑引起的误差很小可忽略不计，可求得

$$\frac{1}{4}(V_1 + V_2 + V_3 + V_4) = V_H + V_E \approx V_H \quad (24)$$

由上述的实验测量中，必须保持电流和磁场大小恒定，只改变电流和磁场方向。

【实验内容】

1. 测量室温时，样品的霍尔系数 R ，电导率 σ 和霍尔迁移率 μ_H 。

2. 根据材料的散射机理，确定 μ_H / μ_p （或 μ_H / μ_n ）的比值，求出室温下样品的载流

子浓度 p （或 n ）和迁移率 μ_p （或 μ_n ）。

3. 改变温度，测量各温度对应的霍尔电压，分析霍尔系数 R 随温度 T 的变化关系，求出材料的禁带宽度 E_g 和杂质电离能 E_i 。

4. 测量电导率 σ 随温度 T 的变化关系，分析不同温区的导电机理。

【测量数据和数据处理】

在 80 K 到 290 K 左右的温度范围内进行实验，选取样品灯不亮时的实验样品，由于样品的电导电压 V_σ 的测量值不稳定，该样品不是标准样品，而是范德堡样品。实验测得数据如表 1 所示。

表 1 实验原始数据

T / K	V_1 / V	V_2 / V	V_3 / V	V_4 / V	V_{M1} / V	V_{M2} / V	V_{N1} / V	V_{N2} / V
80.00	0.4815	-0.4824	0.3627	-0.3615	0.2678	-0.2693	-0.3193	0.3227
90.00	0.4743	-0.4770	0.3657	-0.3646	0.2535	-0.2536	-0.2980	0.2997
100.00	0.4604	-0.4623	0.3649	-0.3632	0.2381	-0.2381	-0.2777	0.2779
110.00	0.4494	-0.4516	0.3648	-0.3630	0.2254	-0.2256	-0.2606	0.2609
120.00	0.4395	-0.4414	0.3626	-0.3612	0.2138	-0.2139	-0.2456	0.2452
130.00	0.4315	-0.4346	0.3623	-0.3590	0.2031	-0.2031	-0.2327	0.2328
141.03	0.4202	-0.4219	0.3566	-0.3548	0.1917	-0.1917	-0.2186	0.2181
154.19	0.4108	-0.4131	0.3516	-0.3495	0.1796	-0.1795	-0.2041	0.2034
166.39	0.3956	-0.3974	0.3436	-0.3418	0.1668	-0.1666	-0.1881	0.1875
177.46	0.3856	-0.3873	0.3389	-0.3370	0.1557	-0.1554	-0.1746	0.1743
186.79	0.3775	-0.3789	0.3351	-0.3334	0.1452	-0.1449	-0.1621	0.1619
195.00	0.3730	-0.3741	0.3351	-0.3335	0.1361	-0.1358	-0.1510	0.1510
205.00	0.3656	-0.3665	0.3326	-0.3310	0.1229	-0.1226	-0.1358	0.1359
215.00	0.3584	-0.3591	0.3308	-0.3294	0.1098	-0.1094	-0.1202	0.1205
225.00	0.3476	-0.3482	0.3253	-0.3241	0.0961	-0.0958	-0.1045	0.1049
240.00	0.3197	-0.3198	0.3037	-0.3027	0.0763	-0.0761	-0.0826	0.0830
255.12	0.2762	-0.2760	0.2654	-0.2644	0.0595	-0.0594	-0.0638	0.0643
270.50	0.2227	-0.2229	0.2156	-0.2153	0.0458	-0.0457	-0.0488	0.0493
290.50	0.1578	-0.1577	0.1533	-0.1532	0.0328	-0.0327	-0.0347	0.0352

实验时恒流源电流 $I = 1.0000 \text{ mA}$ ，用特斯拉计测得正向磁场 0.186 T ，反向磁场 0.189 T ，平均值为 $B = 0.1875 \text{ T}$ 。

在各个温度下，将测得的 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 代入式 (24) 计算 V_H ，再将其代入式 (8)

计算 $R_H d^{-1}$ （由于样品的厚度 d 未知，不能将 R_H 具体求出；由 R_H 的单位为 $\text{m}^3 \cdot \text{C}^{-1}$ ，可知

$R_H d^{-1}$ 的单位为 $\text{m}^2 \cdot \text{C}^{-1}$), 进而计算 $\lg(R_H d^{-1})$ 和 $\lg(R_H d^{-1} T^{3/4})$, 并求 $1/T$, 得到表 2。

表 2 间接测量值 $1/T$ 、 $\lg(R_H d^{-1})$ 和 $\lg(R_H d^{-1} T^{3/4})$

T / K	V_H / V	$R_H d^{-1} / \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-1}$	$\lg(R_H d^{-1})$	$\lg(R_H d^{-1} T^{3/4})$	T^{-1} / K^{-1}
80.00	0.4220	2250.8	3.3523	4.7797	0.0125
90.00	0.4204	2242.1	3.3507	4.8163	0.0111
100.00	0.4127	2201.1	3.3426	4.8426	0.0100
110.00	0.4072	2171.7	3.3368	4.8679	0.0091
120.00	0.4012	2139.6	3.3303	4.8897	0.0083
130.00	0.3969	2116.5	3.3256	4.9111	0.0077
141.03	0.3884	2071.3	3.3162	4.9282	0.0071
154.19	0.3813	2033.3	3.3082	4.9493	0.0065
166.39	0.3696	1971.2	3.2947	4.9606	0.0060
177.46	0.3622	1931.7	3.2859	4.9728	0.0056
186.79	0.3562	1899.9	3.2787	4.9822	0.0054
195.00	0.3539	1887.6	3.2759	4.9934	0.0051
205.00	0.3489	1860.9	3.2697	5.0035	0.0049
215.00	0.3444	1836.9	3.2641	5.0134	0.0047
225.00	0.3363	1793.6	3.2537	5.0179	0.0044
240.00	0.3115	1661.2	3.2204	5.0056	0.0042
255.12	0.2705	1442.7	3.1592	4.9642	0.0039
270.50	0.2191	1168.7	3.0677	4.8918	0.0037
290.50	0.1555	829.3	2.9187	4.7661	0.0034

作出 $\lg(R_H d^{-1}) \sim 1/T$ 曲线和 $\lg(R_H d^{-1} T^{3/4}) \sim 1/T$ 曲线, 如图 2 和图 3 所示。

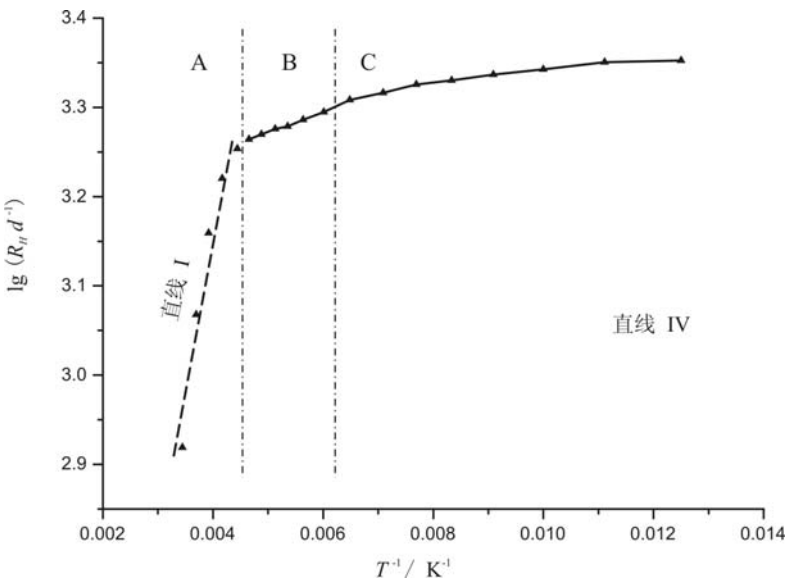


图 2 $\lg(R_H d^{-1}) \sim 1/T$ 曲线

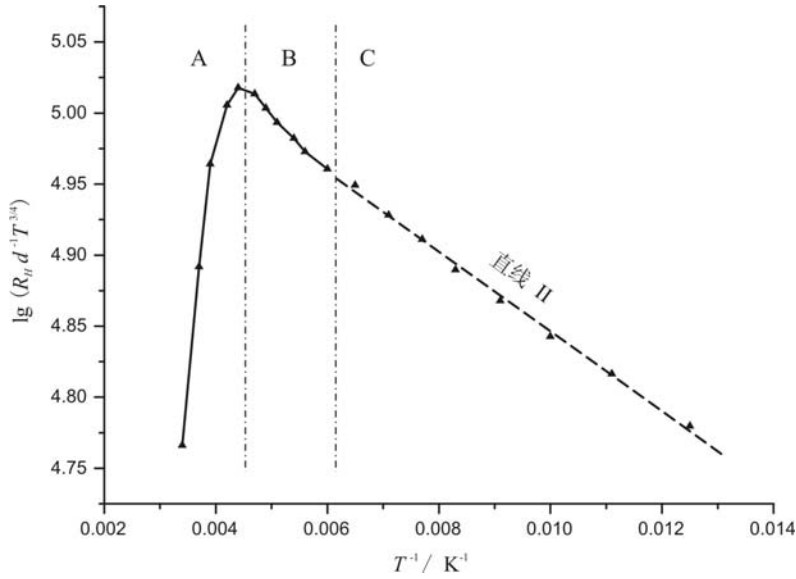


图 3 $\lg(R_H d^{-1} T^{3/4}) \sim 1/T$ 曲线

A 区在图 2 中近似于直线，应为本征导电区；B 区在图 2 中近似于水平直线，应为杂质饱和和电离区，并可推测出该样品是以杂质散射的低电阻率样品；C 区在图 3 中近似于直线，应为杂质电离区。

由式 (14) 可得

$$\lg(Rd^{-1}) = \lg B - \lg d + \frac{\lg e \cdot E_g}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (14')$$

这是图 2 中 A 区处曲线应满足的直线方程，对 A 区中 5 个数据点作线性拟合，得到图 2 中

的直线 I，其斜率为 $K_I = (3.3 \pm 0.6) \times 10^2$ 。由于 $K_I = \frac{\lg e \cdot E_g}{2k}$ ，可求得禁带宽度

$$E_g = \frac{2kK_I}{\lg e} = (2.1 \pm 0.4) \times 10^{-20} \text{ J} = (0.13 \pm 0.03) \text{ eV}$$

由式 (18) 可得

$$\lg(R_H d^{-1} T^{3/4}) = \lg A' - \lg d + \frac{\lg e \cdot E_i}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (18')$$

这是图 3 中 C 区处曲线应满足的直线方程，对 C 区中 8 个数据点作线性拟合，得到图 3 中

的直线 II，其斜率为 $K_{II} = -28.1 \pm 0.7$ 。由于 $K_{II} = \frac{\lg e \cdot E_i}{2k}$ ，可求得杂质电离能

$$E_i = \frac{2kK_{II}}{\lg e} = (-1.78 \pm 0.05) \times 10^{-21} \text{ J} = (-1.11 \pm 0.03) \times 10^{-2} \text{ eV}$$

范德堡样品的电阻率如下式所示

$$\rho = \frac{\pi d}{4If \ln 2} (|V_{M1}| + |V_{M2}| + |V_{N1}| + |V_{N2}|), \quad f \approx 1 \quad (25)$$

由式 (25) 可以求得在各温度下样品的 ρd^{-1} ，从而得到 $\sigma d = (\rho d^{-1})^{-1}$ ，进而求得 $\lg(\sigma d)$

和 $\lg(\sigma d T^{-1})$ ，于是得到表 3。

表 3 间接测量值 $1/T$ 、 $\lg(\sigma d)$ 和 $\lg(\sigma d T^{-1})$

T / K	$\rho d^{-1} / \Omega$	$\sigma d / 10^{-4} \text{S}$	$\lg(\sigma d)$	$\lg(\sigma d T^{-1})$
80.00	1336.0	7.485	-3.1258	-5.0289
90.00	1251.8	7.988	-3.0975	-5.0518
100.00	1169.1	8.553	-3.0679	-5.0679
110.00	1101.9	9.075	-3.0422	-5.0835
120.00	1040.7	9.609	-3.0173	-5.0965
130.00	987.7	10.124	-2.9946	-5.1086
141.03	929.2	10.761	-2.9681	-5.1174
154.19	868.6	11.512	-2.9388	-5.1269
166.39	803.4	12.448	-2.9049	-5.1260
177.46	747.8	13.372	-2.8738	-5.1229
186.79	695.8	14.371	-2.8425	-5.1139
195.00	650.3	15.378	-2.8131	-5.1031
205.00	586.0	17.064	-2.7679	-5.0797
215.00	521.1	19.190	-2.7169	-5.0494
225.00	454.7	21.992	-2.6577	-5.0099
240.00	360.3	27.753	-2.5567	-4.9369
255.12	279.9	35.730	-2.4470	-4.8537
270.50	214.8	46.548	-2.3321	-4.7643
290.50	153.4	65.180	-2.1859	-4.6490

作出 $\lg(\sigma d) \sim 1/T$ 曲线和 $\lg(\sigma d T^{-1}) \sim 1/T$ 曲线，如图 4 和图 5 所示。

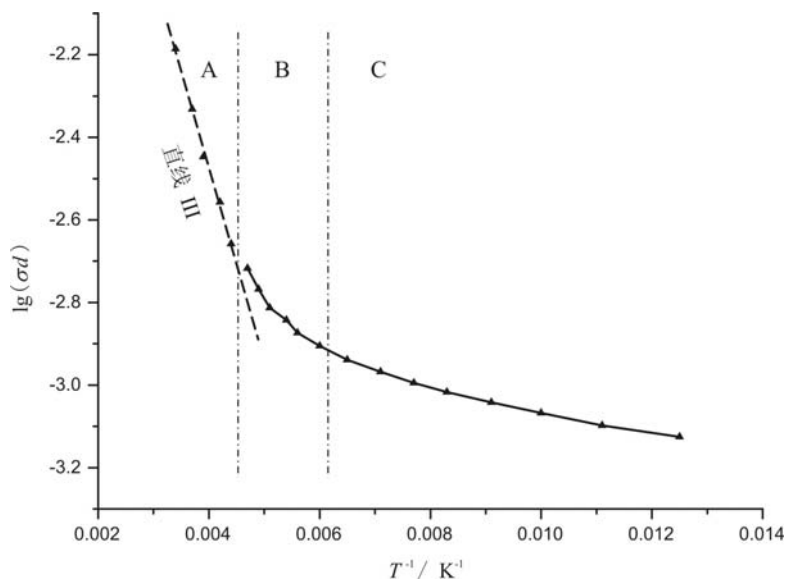


图 4 $\lg(\sigma d) \sim 1/T$ 曲线

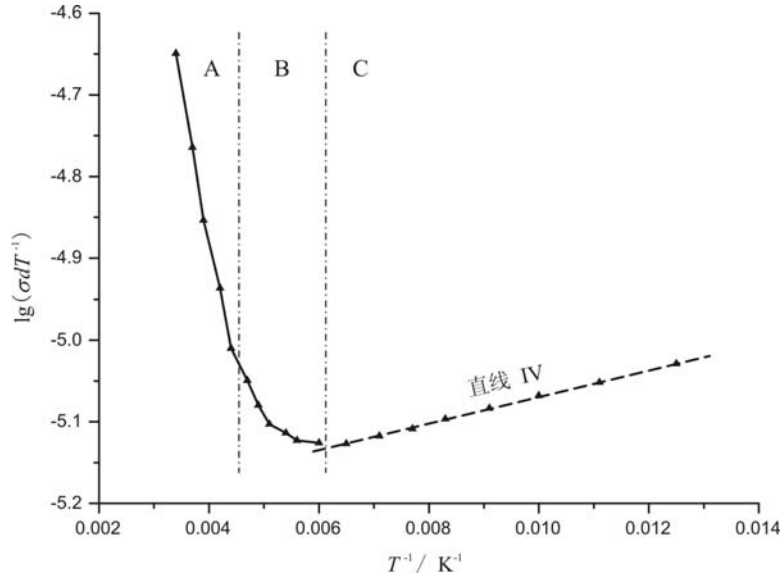


图 5 $\lg(\sigma d T^{-1}) \sim 1/T$ 曲线

A 区在图 4 中近似于直线，应为本征导电区；C 区在图 5 中近似于直线，应为杂质电离区；B 区应为杂质饱和电离区。

由式 (21) 可得

$$\lg(\sigma d) = \lg D + \lg d - \frac{\lg e \cdot E_g}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (21')$$

这是图 4 中 A 区处曲线应满足的直线方程，对 A 区中 5 个数据点作线性拟合，得到图 4 中

的直线 III，其斜率为 $K_{III} = (-4.6 \pm 0.2) \times 10^2$ 。由于 $K_{III} = -\frac{\lg e \cdot E_g}{2k}$ ，可求得禁带宽度

$$E_g = -\frac{2kK_{III}}{\lg e} = (3.0 \pm 0.2) \times 10^{-20} \text{ J} = (0.185 \pm 0.007) \text{ eV}$$

由式 (23) 可得

$$\lg(\sigma d T^{-1}) = \lg D' + \lg d - \frac{\lg e \cdot E_i}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (23')$$

这是图 5 中 C 区处曲线应满足的直线方程，对 C 区中 8 个数据点作线性拟合，得到图 5 中

的直线 IV，其斜率为 $K_{IV} = 16.4 \pm 0.2$ 。由于 $K_{IV} = -\frac{\lg e \cdot E_i}{2k}$ ，可求得杂质电离能

$$E_i = -\frac{2kK_{IV}}{\lg e} = (-1.05 \pm 0.02) \times 10^{-21} \text{ J} = (-6.53 \pm 0.08) \times 10^{-3} \text{ eV}$$

以上通过霍尔系数和电导率随温度变化的曲线两种方法求得的禁带宽度 E_g 和杂质电离能 E_i 差别较大。

取 290.50 K 处的数据为室温下的数据，可求得室温下的霍尔迁移率

$$\mu_H = \frac{R_H}{\rho} = R_H \sigma = R_H d^{-1} \cdot \sigma d = 5.406 \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$$

前面已经知道实验样品是以杂质散射的低电阻率样品，因此比值 μ_H/μ 可取为 1.93，则室温下样品的迁移率

$$\mu = \frac{\mu_H}{1.93} = 2.801 \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$$

室温下的单一载流子导电材料的载流子浓度可通过 $n = \frac{10^{19}}{1.6R_H} (\text{m}^{-3})$ 求得，但由于在实验中不能测出样品厚度 d ，因而不能得到载流子浓度 n 的具体测量值。

【思考与讨论】

1. 如何确定样品材料的导电类型？

如图 1，通过对外磁场方向、电流方向与霍尔电场方向三者的空间关系，可以得知样品的载流子类型，从而确定样品材料的导电类型。

2. 如何从实验曲线确定材料的散射机理？

作出 $\lg R_H \sim 1/T$ 或曲线，通过分析该曲线在杂质饱和电离区的形状可以确定材料的散射机理。例如：对于以晶格散射为主的 n 型高电阻率样品， μ_H/μ_n 将随温度 T 升高而增加，所以 $\lg R_H$ 随 $1/T$ 增大而减小，对于以杂质散射为主的 n 型低电阻率样品， μ_H/μ_n 近乎与温度无关，曲线 $\lg R \sim 1/T$ 近似为一水平直线。

3. 实验中采用哪些措施消除副效应？

因为实验中各种主要的副效应对霍尔电压 V_H 的影响项会随电流方向和外磁场方向的改变而改变符号，所以，通过改变电流方向和外磁场方向得到四个霍尔电压测量值，并取其平均值而求得的霍尔电压 V_H 受副效应的影响很小。于是，主要是采用改变电流和外磁场方向进行测量的措施来消除副效应。