

半导体物理实验

刘士毅 黄永宝 吳伯儁編

高等教育出版社

本書是根据北京大学、复旦大学、廈門大学、南京大学、吉林大学(原东北人民大学)五校联合半导体物理專門化前几年进行过的—些半导体物理实验內容編写的，書中主要介紹半导体材料和某些典型器件的电磁和光电測量方法。可作为高等学校半导体物理課的教学参考書，亦可供有关的科学研究工作者参考。

半 导 体 物 理 实 驗

刘士毅 黄永宝 吳伯儻編

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版业营业許可證出字第054号)

京華印書局印裝 新华書店發行

統一書号13010·629 开本 850×1168 1/32 印張4 14/16

字数 111,000 印数 0001—8,000 定价(6) 羊 0.55

1959年7月第1版 1959年7月北京第1次印刷

序

本書所介紹的是北京大学、复旦大学、厦門大学、南京大学和吉林大学(原东北人民大学)五校联合半导体物理專門化在 1956—1958 年間进行的一部分半导体物理实验的內容。所介紹的项目主要是測定和研究半导体某些基本性質和現象的实验方法,对于有关的原理也做了相当詳細的闡述。

目前,所有学校都正在貫徹党的教育方針取得巨大胜利的基础上进行着全面而深入的改革。半导体物理課程究竟应当如何設置,現在还是一个正在深入解决中的問題,所以,特別需要強調地指出,介紹过去的这些实验,目的乃在于介紹一些典型的实验方法,而不是为了提供关于課程設置的經驗。

本書的內容是有关的教师和一些同学在去年国庆节献礼科研跃进运动的極端緊張的工作中,根据原来的講义在很倉促的時間內整理出来的。有些实验本来就不是十分成熟的,在整理过程中又沒有能够仔細总结和改进;尽管如此,正值目前我国半导体事业正在極为广泛而且迅速地开展起来的时候,希望在这里提供的資料能够产生一些积极的作用。

本書的执笔者是刘士毅、黃永宝、吳伯僖等同志,并由教学实验室主任刘士毅同志主持編写工作。

北京大学半导体物理教研室

黃 昆 1959 年

目 录

序	iv
实验一 锑的霍尔系数和电导率的测量	1
实验二 锑的温差电动势率的测量	12
实验三 用非稳态方法测量硫化铅的热导率	19
实验四 锑中少数载流子的扩散长度、寿命和漂移迁移率的测量	30
实验五 用光注入法测量少数载流子的扩散长度	43
实验六 半导体光电实验的前言	51
实验七 氧化亚铜的吸收光谱	62
实验八 氧化亚铜的光电导的光谱分布	65
实验九 氧化亚铜光电导载流子弛豫时间的测量	70
实验十 硒光电池的制造和测量	74
实验十一 锑的光磁效应和非平衡载流子复合寿命的测量	82
实验十二 电致发光现象的观察	88
实验十三 磷光体的加热发光	101
实验十四 半导体整流效应的介绍	107
实验十五 用零压电阻的方法测量整流器的势垒	115
实验十六 整流器电容的测量	119
实验十七 晶体三极管特性的介绍	123
实验十八 晶体三极管低频小信号参数的测量	133
实验十九 晶体三极管的频率特性	140
实验二十 点接触型三极管的负阻特性	145

实验一 锗的霍尔系数和电导率的测量

一、目的 测定锗的霍尔系数和电导率，并由此确定锗载流子的符号、浓度、霍尔迁移率以及锗的禁带宽度。

二、原理

1. 基本原理 从霍尔系数和电导率的测定中可以确定半导体的类型、载流子的浓度和霍尔迁移率、禁带宽度、杂质密度和杂质能级的位置(由于时间的关系,本实验对后二者不进行计算)。这些对于半导体电学性质的研究具有重要的意义。

一块宽为 a 厚为 b 的半导体(图 1.1),若在它的 x 方向上有均匀的电流 I 流过,在 z 方向上加一磁场 B ,那么,在这块半导体的 AB 两点间(即 y 方向上)产生一电位差 $V_A - V_B$,这现象叫做霍尔效应。我们给霍尔系数以下式的定义:

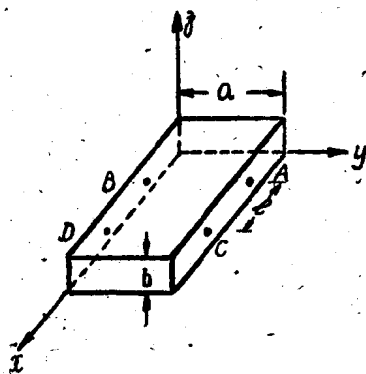


图 1.1

$$R = \frac{E_y}{i_x B_z} \cdot 10^8 = \frac{(V_A - V_B)b}{IB} \cdot 10^8, \quad (1)$$

上式中的 10^8 系由于我们对磁场强度采用电磁单位(高斯),而其他各量都采用 C. G. S. 实用单位而引入的。

在球形等能面载流子服从经典统计,并只计及晶格热振动散射的条件,对于电子空穴混合导电的半导体,可以证明

$$R = \frac{3\pi}{8e} \cdot \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(p\mu_p + n\mu_n)^2} \quad (2)$$

对于 n 型半导体, (2) 式可简化为

$$R = -\frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{ne} \quad (3)$$

对于 p 型半导体, 则 (2) 式简化为

$$R = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{pe} \quad (4)$$

在 (2)(3)(4) 式中, n 和 p 各表示电子和空穴的浓度, μ_n 和 μ_p 各表示电子和空穴的迁移率。

n 型锗(内含杂质砷)的霍尔系数和绝对温度的倒数的关系一般如图 1.2 所示。

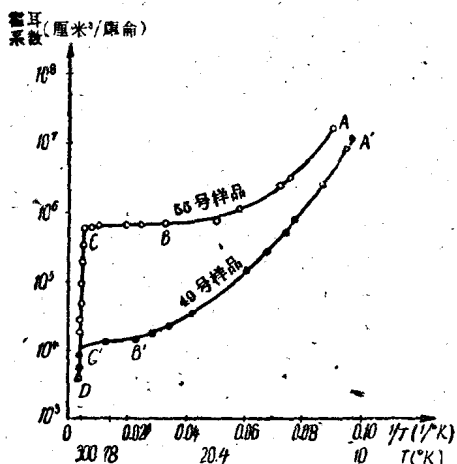


图 1.2

一般如图 1.2 所示。^[3] 曲线中的 AB 和 $A'B'$ 部分, 霍尔系数减小相应于温度升高, 由施主能级跃迁到导带中的电子数目增加。曲线中的 BC 部分差不多是一水平线, 是由于 55 号样品比较纯, 施主能级中电子浓度比较小, 在这一段温度范围内电子差不多都已由施主能级跃迁到导带中去了, 因而表现出温度

升高导带中电子浓度不增大的饱和现象, 此时施主能级中的电子浓度 N_D 差不多与导带中的电子浓度 n 相等。由公式 (3) 得 55 号样品的施主能级中的电子浓度约为 1.0×10^{13} 个/厘米³。

当 n 型半导体中受主能级的电子浓度 N_A 较之 N_D 不能略去不计时, 导带中电子浓度与温度的关系可以下式表示:

$$\frac{n(N_A + n)}{N_D - N_A - n} = \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-E_D/kT} \quad (5)$$

上式中 m_n 为导带中电子的有效质量, E_D 为施主能级与导带的距离。如以 $m_n = \frac{1}{4}m$, $N_D = 1.0 \times 10^{13}$ 个/厘米, $N_A = 4.8 \times 10^{11}$ 个/厘米, $E_D = 0.0125$ 电子伏特代入(5)式, 则得到图 1.2 中的 55 号样品的曲线, 这是一般由霍尔系数与温度的关系求杂质密度和杂质能级的位置的方法。

本征导电时霍尔系数与温度的关系: 图 1.2 中的 CD 和 $C'D$ 部分, 当温度升高时霍尔系数迅速地减小。这是由于温度已经够高, 能使电子直接由满带跃迁到导带, 而使电子浓度和空穴浓度迅速增大的缘故。 CD 与 $C'D$ 不但有相同的斜率, 并且在足够高的温度时两直线重合(根据其他实验证明, 如有第 3 族、第 5 族以外的杂质, 在足够高的温度也能使锗有部分重合的 $R - \frac{1}{T}$ 曲线)。这说明了不管加入杂质的种类和密度是怎样的, 由 $R - \frac{1}{T}$ 曲线知道在本征导电时都有相同的激发能 $\frac{\Delta E}{2}$ (ΔE 为禁带宽度), 并且在足够高的温度(相应于图 1.2 的 $R \sim \frac{1}{T}$ 曲线重合)时有相同的电子浓度和空穴浓度。此时锗的电学性质决定于锗的本征禁带宽度, 导带和满带的有效状态密度与外加杂质的种类和密度无关, 所以叫做本征导电。

可以证明^[1], 在本征导电时

$$p \cong n = 2 \left[\frac{2\pi (m_n m_p)^{1/2} kT}{h^2} \right]^{3/2} e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (6)$$

上式中 ΔE 为禁带宽度。将(6)式代入(2)式得

$$R = AT^{-3/2} e^{\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (7)$$

上式中 R 与温度的关系主要由指数项决定, 所以在本征导电范围, 我们可以从 $\ln R - \frac{1}{T}$ 曲线的斜率来求禁带宽度 ΔE 。

在圖 1.1 中 AC 为测量电导的一对小电极, AC 間距离是 l , 半导体的横截面是 $ab = S$. 当有均匀的电流 I 沿 x 方向流过样品时, 用电位計测得 AC 間电位差是 V_{AC} . 则电导率 σ 可从下式求得

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{Il}{V_{AC}S}. \quad (8)$$

当本征导电时,

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p) \cong en(\mu_n + \mu_p). \quad (9)$$

在本征导电时晶体的晶格散射起主要作用, μ 与 $T^{-3/2}$ 成正比。由 (8) 和 (9) 知道, 此时

$$\sigma = Ce^{-\frac{\Delta E}{2kT}}. \quad (10)$$

所以在本征导电时由 $\ln \sigma - \frac{1}{T}$ 曲线的斜率也可以求出禁带宽度 ΔE 。

当杂质导电时, 对于 n 型半导体只有导带中的电子在导电, 此时

$$\sigma = ne\mu_n. \quad (11)$$

从 (3) 式知道, 由霍尔系数的测量可以求出导带中的电子浓度 (严格说来, 在杂质导电时, 除晶格散射外尚须計及杂质散射, 此时 (3) 式中系数不再是 $\frac{3\pi}{8}$ 了。但由于差别不大, 一般計算仍可近似地应用 $\frac{3\pi}{8}$ 做系数)。

合并 (3) 式和 (11) 式, 可求得电子的霍尔迁移率 μ_H ,

$$\mu_H = |R| \sigma = \frac{3\pi}{8} \mu_n. \quad (12)$$

同样在杂质导电时, p 型半导体只有满带中的空穴在导电, 此时

$$\sigma = pe\mu_p. \quad (13)$$

用 (4) 式可求得空穴浓度。由 (4) 式和 (13) 式可求得空穴的霍尔迁移率,

$$\mu_H = R\sigma = \frac{3\pi}{8}\mu_p. \quad (14)$$

2. 本征导电的温度范围的估计 本征导电的条件如前所述是

$$p \cong n \gg N_D$$

或

$$np \gg N_D^2. \quad (14)$$

本实验所用的样品在室温时的电阻率 $\rho = 10$ 欧姆·厘米。从这一数据及(14)式可对本征导电的温度范围作如下估计。我们知道^[1], 电子浓度 n 与空穴浓度 p 的乘积只是温度的函数, 与所加杂质的种类和密度无关, 可以下式表示:

$$np = 4 \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{3/2} \left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\frac{\Delta E}{kT}}. \quad (15)$$

以锗的数据代入得^[4]

$$np = 9.3 \times 10^{31} T^3 e^{-\frac{8700}{T}}. \quad (16)$$

在室温时, 锗的电阻率大于几欧姆·厘米, 且以晶格散射为主, 此时迁移率与温度的关系可以下式表示:^[4]

$$\mu_n = 19 \times 10^6 T^{-3/2}, \quad \mu_p = 8.9 \times 10^6 T^{-3/2}. \quad (17)$$

将迁移率和 e 的值代入电导率公式, 得

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = 3.0 \times 10^{-12} T^{-3/2} n + 1.4 \times 10^{-12} T^{-3/2} p. \quad (18)$$

室温时 $\rho = 10$ 欧姆·厘米, 以 $T = 300^\circ\text{K}$ 代入(16)和(18)两式求得:

$$\begin{cases} n_1 = 2.2 \times 10^{12} \text{ 个/厘米}^3, \\ p_1 = 3.8 \times 10^{11} \text{ 个/厘米}^3, \end{cases} \quad \begin{cases} n_2 = 1.7 \times 10^{14} \text{ 个/厘米}^3, \\ p_2 = 3.8 \times 10^{12} \text{ 个/厘米}^3. \end{cases}$$

n_1 、 p_1 的数值适用于 p 型锗, 对于 n 型锗则应采用 n_2 、 p_2 的数值。由图 1.2 我们知道电阻率为 10 欧姆·厘米的锗在室温下已达杂质导电饱和状态, 即施主杂质差不多已全部离化, 这时

$$N_D = n = p = n_2 = p_2 = 1.7 \times 10^{14} \text{ 个/厘米}^3.$$

以不同的 T 值代入(16)式可求出一系列对应的 np 值, 如表 1.1 所示。

表 1.1

温度 $T(^{\circ}\text{K})$	350	400	450	500
$np(\text{个}^2/\text{厘米}^3)$	7.3×10^{18}	2.2×10^{20}	3.6×10^{21}	3.2×10^{22}

由表知, 在 $T=450^{\circ}\text{K}$ 时, $np=3.6 \times 10^{21} \text{ 个}^2/\text{厘米}^3 \gg (1.7 \times 10^{14})^2 \text{ 个}^2/\text{厘米}^3 = N_D^2$, 已达本征导电的情况。

锗的本征导电范围在 $\ln R - \frac{1}{T}$ 及 $\ln \sigma - \frac{1}{T}$ 曲线中都可以很清楚地看出来, 但有时要求在做实验前估计本征导电的范围, 故在这里举例说明。

在本征导电的范围内, 通过霍尔系数和电导率的测量, 我们可以得到前述的两个关系式:

$$\begin{cases} R = \frac{3\pi}{8e} \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(p\mu_p + n\mu_n)^2}, & (2) \\ \sigma = e(n\mu_n + p\mu_p). & (9) \end{cases}$$

但仅仅依靠这两个方程式, 我们不能求 n 、 p 、 μ_n 和 μ_p 四个未知数。为了要求得这四个未知数, 可再引入(16)式和本征导电条件 $n=p$ 两个方程式, 即从

$$n^2 = 9.3 \times 10^{31} T^3 e^{-\frac{8700}{T}}$$

求得 n 和 $p (=n)$, 代入(2)式和(9)式再求得 μ_n 和 μ_p 。

3. 实验中的副效应及其消除法^[5] 为了理解副效应的来源, 先介绍一下锗样品上各电极的制法。为了使金属与 n 型锗间尽量是欧姆接触, 以减小副效应, 我们采用先在电极处镀上镍, 再用焊锡焊上的方法。为了使(在电磁场不加上时)电流方向和 x 轴平行(见图 1.1), 即等位面和 yz 面平行, 我们必需在锗的两端(平行

y 的平面) 均匀地镀上鎢 (見圖 1.3), 再用焊錫焊上。霍耳电極 (即电位电極) AB (或 CD) 必須对准, 镀上鎢小点或平行 z 軸的鎢直綫, 然后再用焊錫焊上。

由于鎢样品两端的电流电極不能是理想的欧姆接触以及鎢样品两边的电位电極和鎢不是同一材料, 所以在测量过程中, 会有热电現象和溫差电現象發生以及由此而引起的其他副效应。現在分別討論如下。

热电效应: 当电流沿 z 方向流过鎢样品时 (見圖 1.1), 由于样品两端的电流电極和鎢的接触电阻不同, 因而在样品两端产生不同的焦耳热, 样品两端的溫度就不同, 因而有热流 Q 流过样品。 Q 与 I 的方向无关。

溫差电效应: 由于各电位电極与鎢接触处的溫度不同, 則在 AB 两处之間就有电位差产生, 在溫差不太大时这电位差与溫差成正比。

理解了热电效应及溫差电效应后, 可以研究以下各副效应。

1) 厄庭好森效应 (Etingshausen Effect)。样品在 z 方向的电流 I 和 z 方向的磁場 B 的作用下, 在它的 y 方向产生溫度差, 这溫度差

$$T_A - T_B \propto IB.$$

这溫度差将引起沿 y 方向电位差, 其数值以 V_E 表示, 因而 V_E 也与 IB 成正比, V_E 的符号与 IB 的方向有关。

2) 里紀-勒杜克效应 (Righi-Leduc Effect)。样品在 z 方向的热流 Q 和 z 方向的磁場 B 的作用下在它的 y 方向产生溫度差, 这溫度差

$$T_A - T_B \propto QB.$$

同理由里紀-勒杜克效应产生电位差 $V_{RL} \propto QB$, 其符号和 B 的方向有关, 和 I 的方向无关。

3) 能斯脫效应 (Nernst Effect)。样品在 z 方向的热流 Q 和

z 方向的磁场 B 的作用下, 在它的 y 方向产生电位差, 这电位差

$$V_N \propto QB,$$

V_N 的符号与 B 的方向有关, 和 I 的方向无关。

4) 电压降 V_0 。我们很难做到使两对电位电极 A 、 B 和 C 、 D 都在一理想等位面上(图 1.3), 因此即使在磁场未加上去前, 就有一电压降 $V_0 = IR$ 产生, 其中 R 为 A 、 B 所在二等位面间的电阻。在测量霍尔电压 V_H 时电位差 V_0 会叠加上去的。一般说起来半导体的电阻率比较大, 因此 V_0 很可能与 V_H 有相同的数量级。 V_0 的符号与

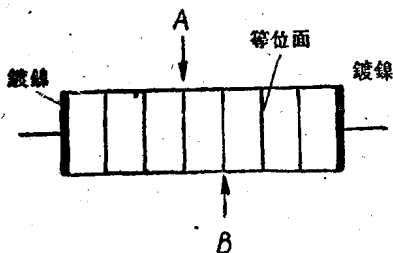


图 1.3

I 的方向有关, 与 B 的方向无关。

我们可以改变 I 和 B 的方向使 V_0 、 V_N 和 V_{RL} 从计算结果中消去, V_E 与 V_H 同样地随 IB 的方向改变而改变, 但用改变直流磁场、直流电流的方法不能在计算结果中使 V_E 自 V_H 中消去。一般, 由 V_E 所引起的误差约在 5% 左右。

实验时我们测量下列四组数据:

如在样品上加 $+B$ 、 $+I$ 时, 在 AB 端所得的电位差

$$V_1 = +V_H + V_E + V_{RL} + V_N + V_0,$$

如在样品上加 $+B$ 、 $-I$ 时, 在 AB 端所得的电位差

$$V_2 = -V_H - V_E + V_{RL} + V_N - V_0,$$

如在样品上加 $-B$ 、 $-I$ 时, 在 AB 端所得的电位差

$$V_3 = +V_H + V_E - V_{RL} - V_N - V_0,$$

如在样品上加 $-B$ 、 $+I$ 时, 在 AB 端所得的电位差

$$V_4 = -V_H - V_E - V_{RL} - V_N + V_0.$$

由此可得

$$V_H + V_E = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4} \quad (19)$$

实验时我们应该改变电流和磁场的方向,以测量电位差值 V_1, V_2, V_3 和 V_4 , 然后求它们的代数平均值。这样做可以免除由里纪-勒杜克效应、能斯脱效应和电位电极不在同一等位面上所引入的误差。但对由厄庭好森效应所引入的误差还是不能除去。

厄庭好森效应是通过温度差的产生而体现的。如果我们用交流磁场、交流电流(通过样品的电流)来进行测量,则在一般情况下,厄庭好森温度差是来不及产生的^[6]。因此采用交流来测量霍尔电位差,可以避免由厄庭好森电位差所引入的误差。采用交流测量还有一好处,即霍尔电位差可用电表读出或用自动记录仪记录下来,这在观察霍尔电位差和温度的关系时,有快速测量和可以连续自动记录的优点。

三、实验方法

1. 加热设备 为了能改变样品的温度,我们将样品放在紫铜做的套子里,外包以云母后,再绕以加热用的电阻丝。套子下端接有一根细德银管。整个铜套放在盛有液体空气的杜瓦瓶中(液体空气只浸及德银管不浸及紫铜套)。这样可把电阻丝通电,以改变样品的温度。

2. 磁场强度的测量 用磁通量表测磁场强度最为简便,但所引入的误差较大。我们现在采用冲击电流计来测磁场强度,并加以校对。关于冲击电流计的校对方法,大家在中级物理实验已经学习过,这里仅把所用公式列出,以供参考(图 1.4)。

(1) 用互感为 M 的标准互感器进行校对,

$$\frac{BS'N'}{MI \times 10^8} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (20)$$

(2) 用自绕标准互感器进行校对

$$\frac{BS'N' \times 10^9}{4\pi nS''N''I \times 10^8} = \frac{BS'N'}{0.4\pi nS''N''I} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (21)$$

和以前一样除磁场强度 B 采用高斯为单位外, 其他单位都采用 C. G. S. 实用单位。上二式中, B 是磁场强度, N' 和 S' 是测磁场强度的线圈的圈数和截面积, M 是标准互感器的互感量, I 是标准互感器的初级线圈

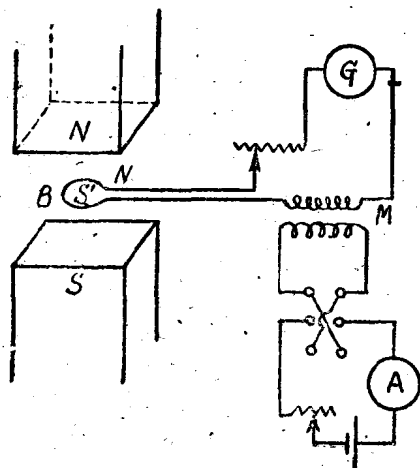


图 1.4

中电流的改变, α_1 是当测磁场的线圈中的磁场强度由 B (单位为高斯) 改为零时, 引起冲击电流计的偏转, α_2 是当标准互感器初级线圈中电流改变为 I 时, 所引起冲击电流计的偏转 (如用换向开关使电流由 $+I_1$ 改变为 $-I_1$, 则

应该用 $2I_1$ 代入上二式中的 I)。

自绕标准互感器的制法: 在一细长 (长度比直径大 10 倍以上) 的胶木管上均匀地绕以一层初级线圈, n 为每单位长度中初级线圈的圈数。在初级线圈的正中部绕一短的次级线圈 (次级线圈的长度小于次级线圈的半径), 总圈数为 N'' 。如果把次级线圈绕在初级线圈之外, 则 S'' 为初级线圈的截面积, 此时次级线圈可以分几层绕; 如果把次级线圈绕在初级线圈之内, 则 S'' 为次级线圈的截面积, 此时次级线圈不能太厚, 否则 S'' 的计算就很复杂。

3. 测试要求 本实验测试项目较多, 同学们在做实验前应熟练电位计、灵敏电流计及冲击电流计的使用方法。

本实验所用的热电偶的线很细,用时应小心,以免弄断。

问教师所用的锗样品在室温时的电阻率,估计出本征导电的范围。在液体空气温度与焊锡熔点间的温度范围内测试 σ 与 R 的(在本征导电区要多测量几点,以保证此段中 $\ln R - \frac{1}{T}$ 和 $\ln \sigma - \frac{1}{T}$ 直线能画出来)。

实验报告要求包括下列项目: (1) 锗的导电类型, (2) $\ln R - \frac{1}{T}$ 和 $\ln \sigma - \frac{1}{T}$ 曲线, (3) 禁带宽度 ΔE , (4) 载流子浓度和温度的关系($\ln n - \frac{1}{T}$ 曲线), (5) 本征导电范围内载流子的迁移率。

参 考 文 献

1. 黄昆和谢希德, 半导体物理学。
2. A. 菲约飞, 半导体物理学, 黄昆、王守武、洪朝生、汤定元译 (1958)。
3. Debye and Conwell, "Electrical Properties of n-type Germanium", Phys. Rev., 93.4, 698-708 (1954).
4. Conwell, "Properties of Si and Ge", Proc. IRE, 40.11, 1327 (1952).
5. Lindberg, "Hall Effect", Proc. IRE, 40.11, 1414 (1952).

实验二 锗的温差电动势率的测量

一、目的 测量不同温度范围内 n 型锗的温差电动势率的大小及符号。

二、原理 当半导体的两端具有温度差 ΔT 时，则在半导体两端产生温差电动势 ΔE (图 2.1), ΔE 与 ΔT 的比值

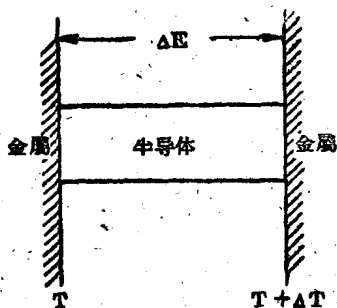


图 2.1

$$Q = \frac{\Delta E}{\Delta T}, \quad (1)$$

Q 称为温差电动势率，即单位温度差时的温差电动势。 Q 的符号视载流子的类型而定。

当温度升高时，载流子的速度和浓度都增大，并从热端向冷端扩散，因此在热端缺乏电荷，在冷端积累电荷，而形成一反向电场阻止载流子继续扩散，直到扩散电流与由反向电场引起的电荷移动相平衡为止。如为 n 型半导体，在冷端积累负电荷，故冷端的电动势较热端为低；如为 p 型半导体，则相反。

在金属内载流子的速度和浓度不随温度改变或改变很小，因之金属的温差电动势率很低，大约为几微伏/度。理论计算得到 Q 的一般表示式为：

$$Q = \pm \frac{k}{e} \frac{1}{(nc + p)} \left\{ 2(nc - p) - nc \left[\ln \frac{nh^3}{2(2\pi m_n kT)^{3/2}} \right] + p \left[\ln \frac{ph^3}{2(2\pi m_p kT)^{3/2}} \right] \right\}, \quad (2)$$

式中 k 为波兹曼常数, $k=1.38 \times 10^{-16}$ 尔格/度; e 为电子电荷, $e=4.8 \times 10^{-10}$ C. G. S. E.; c 为两种载流子迁移率之比, $c=\frac{\mu_n}{\mu_p}$, 室温下 $c=2.1$; n 和 p 各表示电子及空穴的浓度; m_n 和 m_p 各表示电子和空穴的有效质量; Q 的单位一般用伏/度, 则 $\frac{k}{e}=0.86 \times 10^{-4}$ 伏/度。

对 n 型半导体, Q 取负值计算, 得到的 Q 值与温度的关系如图 2.2 所示 (对 n 型半导体)。半导体中的 Q 值自几十微伏/度到 1000—1500 微伏/度, 较之金属的大得多了。

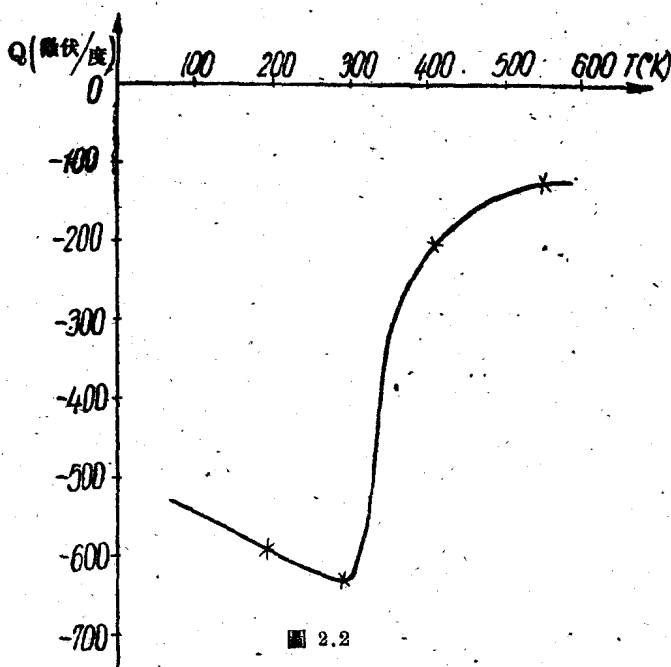


圖 2.2

利用温差电现象可以制成温差发电机、温差致冷器, 与霍耳效应配合可以测量锗的有效质量 m_n 和 m_p , 还可决定其禁带宽度 ΔE 。