



Huazhong University of Science & Technology

华中科技大学

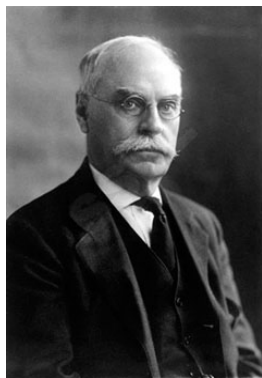
Department of Physics

霍尔效应与应用设计

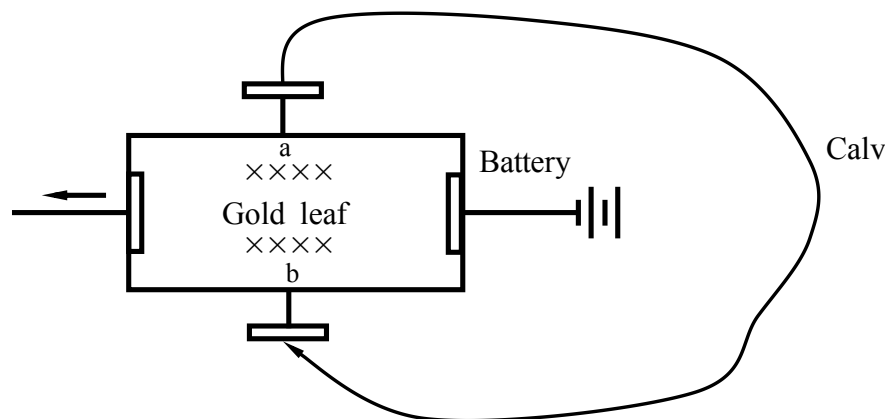
霍尔效应的发现

1879，24岁的霍尔在美国霍普金斯大学读研究生期间，研究关于载流导体在磁场中的受力性质时发现：“电流通过金属，在磁场作用下产生横向电动势”

-----霍尔效应



Edwin Hall
(1855~1938)



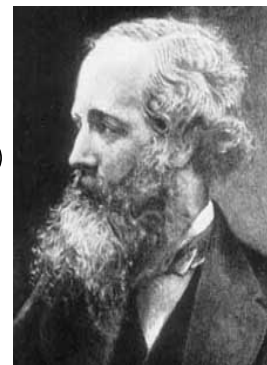
新闻界：“过去 50 年中电学方面最重要的发现”

背景资料

金属中导电的机理还不清楚，科学家们对很多问题持不同的看法。

英国麦克斯韦(经典电动力学的奠基人)《电磁学》中描述：

我们必须记住，推动载流导体切割磁力线的力不是作用在电流上...，在导线中，电流的本身完全不受磁铁接近或其它电流的影响...，

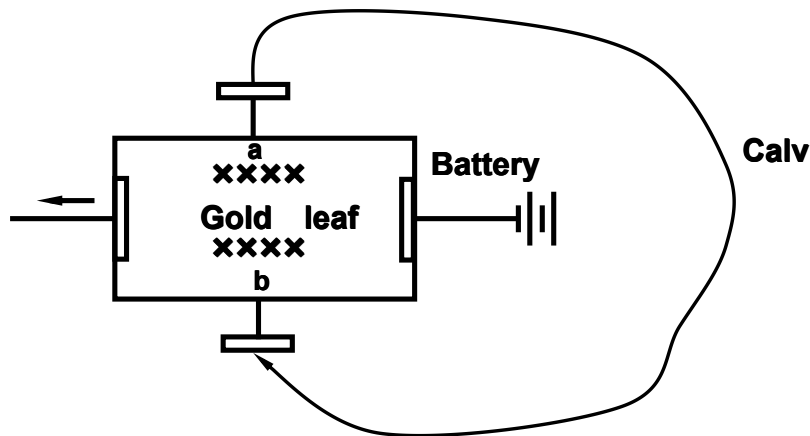
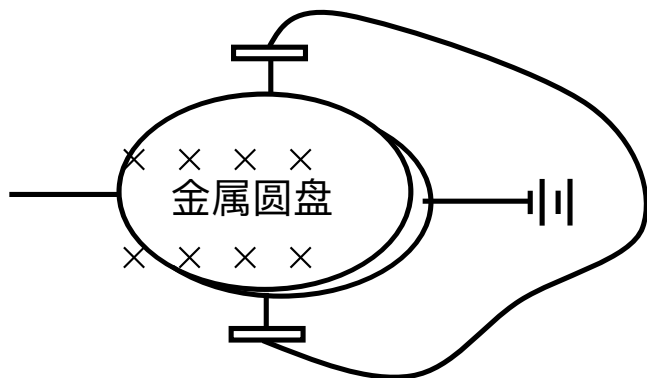


瑞典物理学家爱德朗（ Erik Edlund ）在1878年发表在《哲学杂志（Phi.Mag）》上一篇论文中明确指出：

磁铁作用在固态导体中的电流上，恰如作用在自由运动的导体上。

背景资料

1879年，24岁的霍尔在导师罗兰教授的支持下，进行了反复实验。



金属圆盘：没有任何结果

薄金箔：观察到了横向电动势

结论

$$V_H \propto \frac{I_s B}{d}$$

启示：尊重科学，勤于思考，勇于质疑，挑战权威！₄

霍尔效应的解释

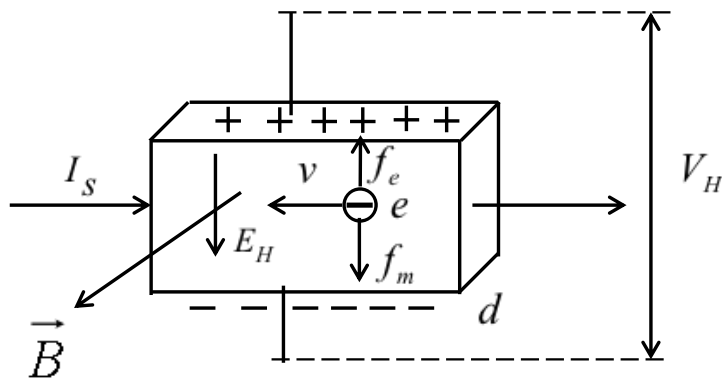
霍尔效应从本质上讲是运动的带电粒子在磁场中受洛伦兹力作用而引起的偏转。当载流子所受的横向电场力 $f_e = eE_H$ 与洛伦兹力 $f_m = evB$ 相等时，样品两侧电荷的积累就达到平衡

$$eE_H = e\bar{v}B$$

$$I_S = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{n\Delta l \cdot b \cdot d \cdot e}{\Delta t} = ne\bar{v}bd$$

$$V_H = \frac{1}{ne} \cdot \frac{I_S B}{d}$$

$$R_H = \frac{1}{ne} \quad \text{——— 霍尔系数}$$



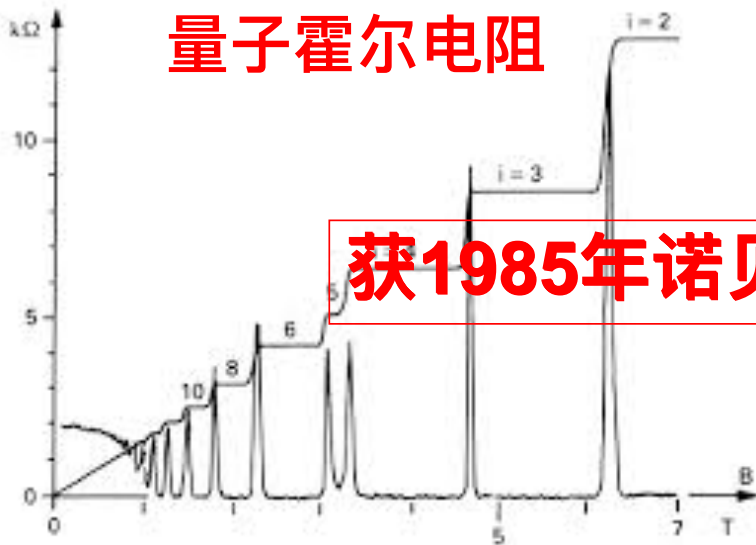
霍尔效应的发展

1、量子霍尔效应(Quantum Hall Effect)

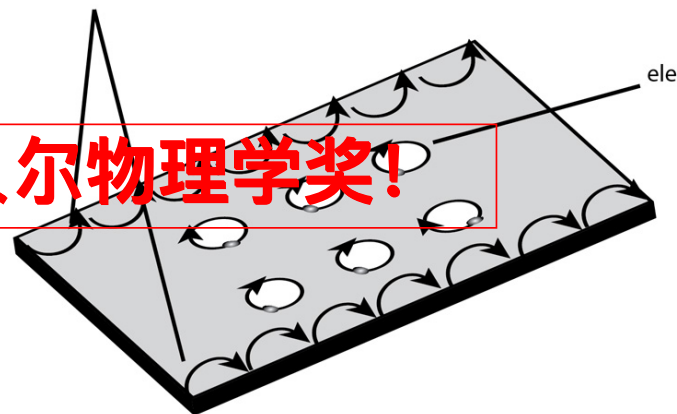
1980年，德国物理学家冯·克利青观察到在超强磁场（18T）和极低温（1.5K）条件下，霍尔电压 U_H 与 B 之间的关系不再是线性的，出现一系列量子化平台。



量子霍尔电阻



electrons can move along edge (conducting)



获1985年诺贝尔物理学奖!

霍尔效应的发展

2、分数量子霍尔效应---- 1998年诺贝尔物理学奖



劳克林

施特默

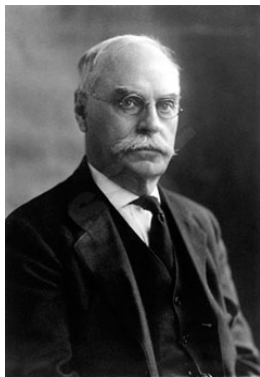
崔琦

- 1、1982年，美国AT&T贝尔实验室的**崔琦**和**斯特默**发现：“极纯的半导体材料在超低温(0.5K)和超强磁场(25T)下，一种以分数形态出现的量子电阻平台”。
- 2、1983 年，同实验室的**劳克林**提出准粒子理论模型，解释这一现象。

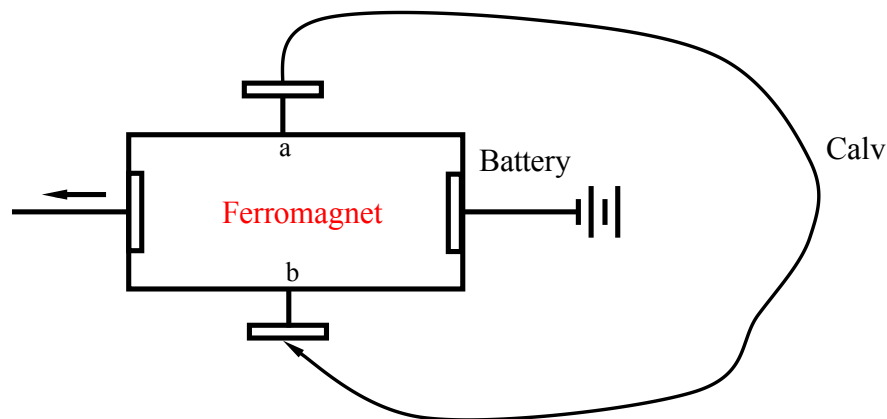
其他霍尔效应

3、反常霍尔效应

1880年Edwin Hall在一个铁磁性的金属平板中发现，即使是在没有外加磁场的情况下（或弱外场），也可以观测到霍尔效应。这种铁磁性材料中的霍尔效应后来被称之为反常霍尔效应。



Edwin Hall
(1855~1938)



其他霍尔效应

4、量子反常霍尔效应

由清华大学**薛其坤**院士领衔，清华大学、中科院物理所和斯坦福大学研究人员联合组成的团队在量子反常霍尔效应研究中取得重大突破，他们从实验中首次观测到量子反常霍尔效应，这是中国科学家从实验中独立观测到的一个重要物理现象，也是物理学领域基础研究的一项重要重要科学发现。



其他霍尔效应

5、自旋霍尔效应

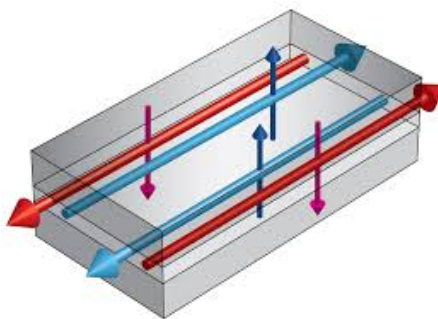
在没有外加磁场的作用下，纵向的电流产生一个横向的自旋偏压。

M. I. Dyakonov and V. I. Perel (1971)

6、量子自旋霍尔效应

自旋霍尔电导的量子化

C.L. Kane and E.J. Mele (2005).
B.A. Bernevig and S.C. Zhang(2006)



► 研究和测量半导体材料的参数的重要手段

测量半导体材料的霍尔系数、载流子浓度、电导率、迁移率、判别半导体材料的导电类型。

测量半导体材料的霍尔系数和电导率随温度的变化关系，求半导体材料的杂质电离能和材料的禁带宽度。

► 霍尔元件

(特点：结构简单、频率响应宽、寿命长、可靠性高)

非电学量测量 自动控制 信息处理

霍尔效应应用

霍尔式无触点汽车电子点火装置



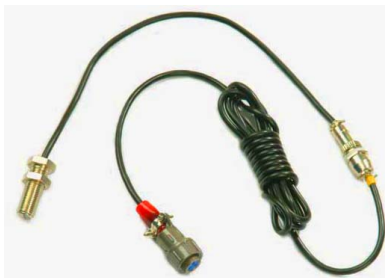
霍尔钳形电流表



霍尔特斯拉计（高斯计）



霍尔接式近开关

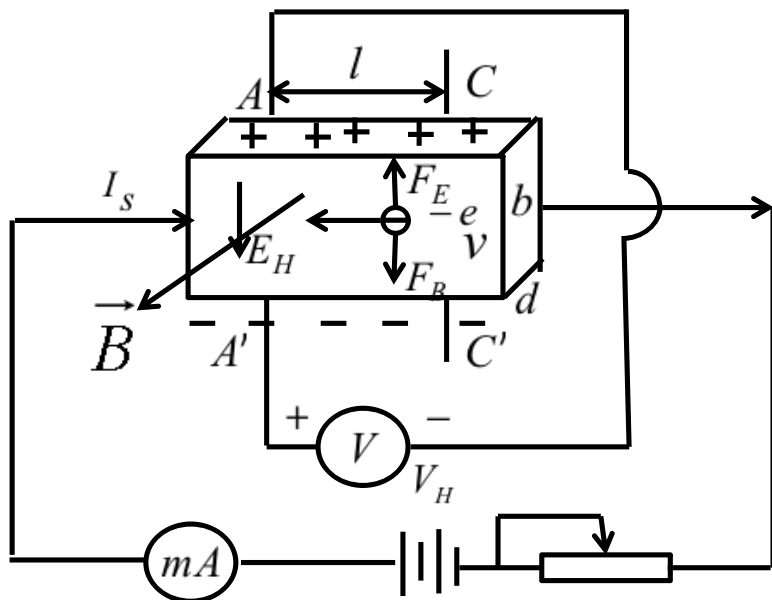


霍尔式电流谐波分析仪



实验内容

再现霍尔效应



$$R_H = \frac{V_H \cdot d}{I_s \cdot B}$$

测量待测样品的
霍尔电压 V_H

得出：

- ▶ 霍尔系数 R_H
- ▶ 载流子浓度 n
- ▶ 载流子迁移率 μ
- ▶ 电导率 σ

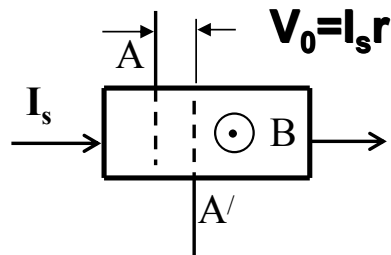
等半导体材料或器
件的物理参数。

消除副效应

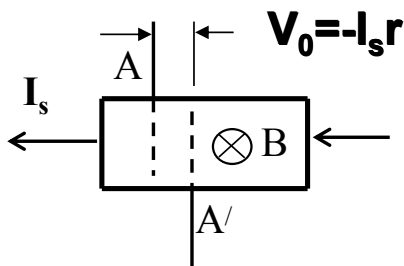
在产生霍尔效应的同时，因伴随着多种副效应，以致实验测得的霍尔电极A、A'之间的电压为 V_H 与各副效应电压的叠加值，因此必须设法消除。

(1) 不等势电压降 V_0 (V_0 的符号与 I_s 的方向有关)

测量霍尔电压的电极A和A'不可能绝对对称地焊在同一个理想的等势面上引起的电势差



$$V_1 = V_H + V_0$$



$$V_2 = V_H - V_0$$

$$V_H = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

消除副效应

(2) 爱廷豪森效应——热电效应引起的附加电压 V_E

(3) 能斯脱效应——热磁效应直接引起的附加电压 V_N

(4) 里纪——勒杜克效应引起附加电压 V_{RL}

(V_N 、 V_{RL} 与磁场的方向有关，可通过改变B的方向予以消除)

测量时通过改变磁场、电流方向就可以减少和消除这些副效应的影响。

($+I_s$ 、 $+B$) V_1

($+I_s$ 、 $-B$) V_2

($-I_s$ 、 $-B$) V_3

($-I_s$ 、 $+B$) V_4

$$V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$$

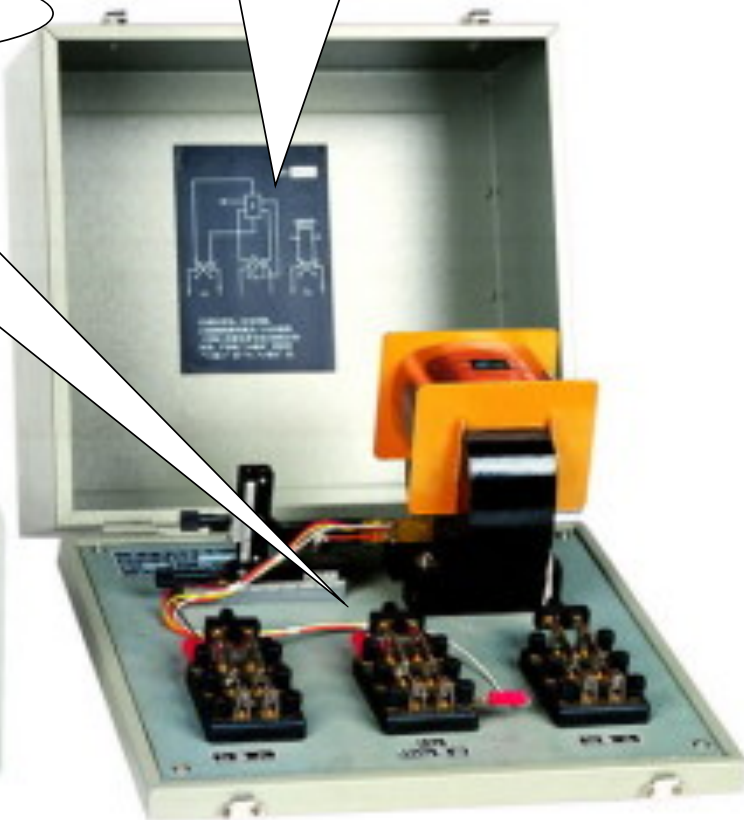
对称测量法

实验仪器

测试平台与测试仪连线图

霍尔效应测试平台

霍尔效应测试仪



霍尔元件

励磁线圈

K_H 值

霍尔效应实验
型号 TH-H 规格
编号 出厂 年 月
浙江天煌科技实业有限公司研制

1.80 KGS
A

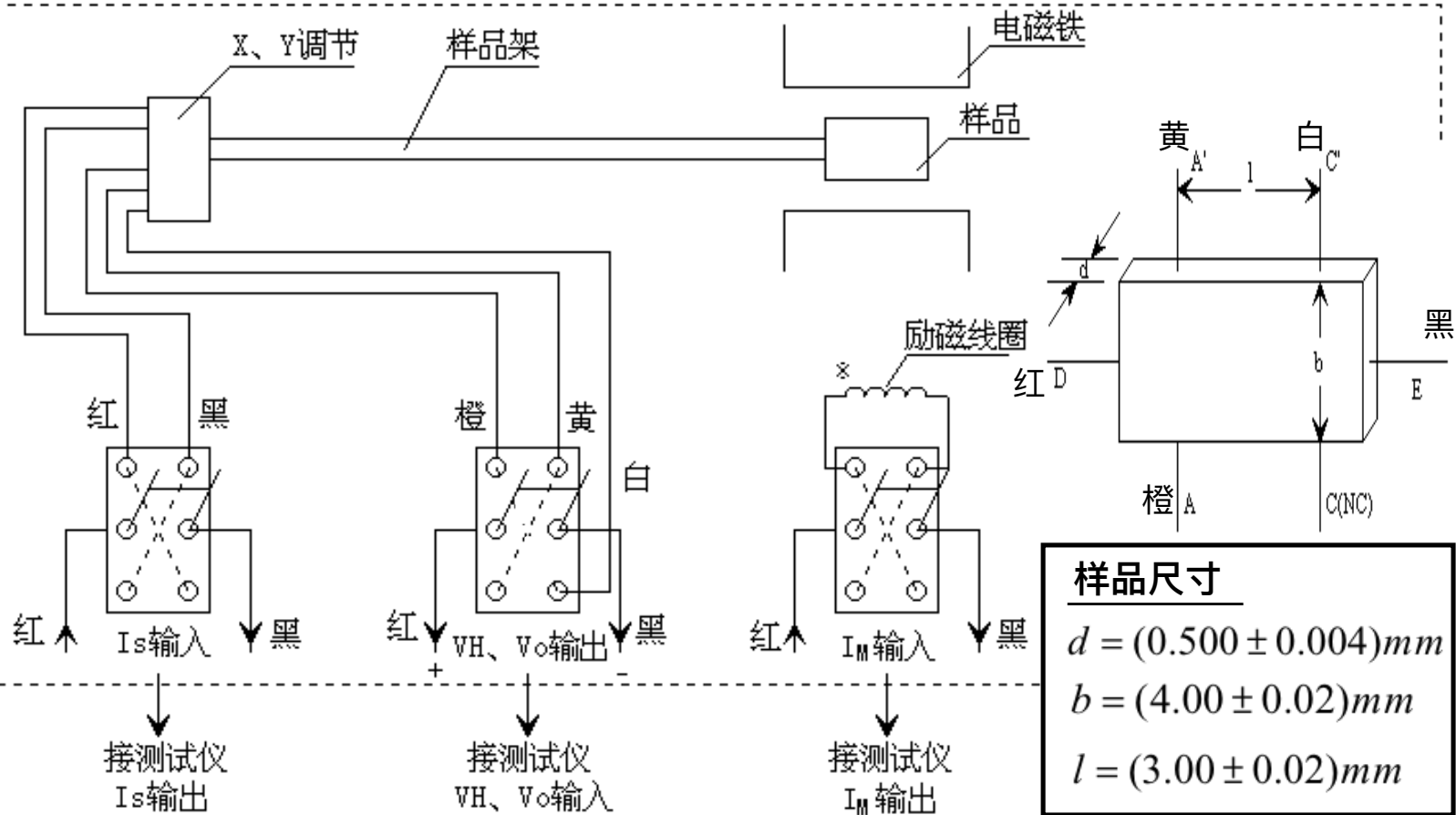
Is 输入

V_H V_σ 输出

Im 输入

实验仪器



测试平台示意图



实验内容

(1) 恒定磁场, $U_H—I_S$ 关系

保持 I_M 不变 取 $I_M = (0.450 \pm 0.001) \text{ A}$ 测绘 $V_H—I_S$ 曲线

$I_S(\text{mA})$	V_1	V_2	V_3	V_4	V_H
	$+I_S +B$	$+I_S -B$	$-I_S -B$	$-I_S +B$	
1.00					
1.50			0.450		
2.00					
2.50					
3.00					
3.50					0.045
4.00					
4.50					

实验内容

(2) 恒定工作电流, $U_H—I_M$ 关系

保持 I_s 不变 取 $I_s = (4.50 \pm 0.01) \text{ mA}$ 测绘 $V_H—I_M$ 曲线

$I_M(\text{A})$	V_1	V_2	V_3	V_4	V_H
	$+I_s +B$	$+I_s -B$	$-I_s -B$	$-I_s +B$	
0.100					
0.150					
0.200					
0.250					
0.300					
0.350					
0.400					
0.450					

实验内容

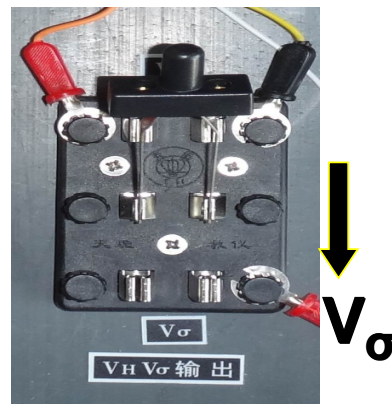
与教材不一致!!!

(3) 在零磁场下，测 V_{AC}

$I_s(\text{mA})$	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$V_{AC}(\text{mV})$										

$B=0$ ($I_M=0$)

注意切换!



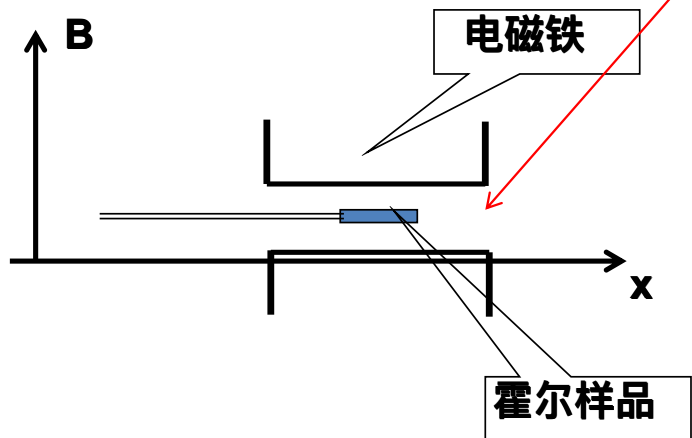
扩展内容

测量磁场（选做）

检查霍尔样品的位置!!!

磁场横向分布曲线(B—x)

$$B(x) = \frac{V_H \cdot d}{I_S \cdot R_H}$$

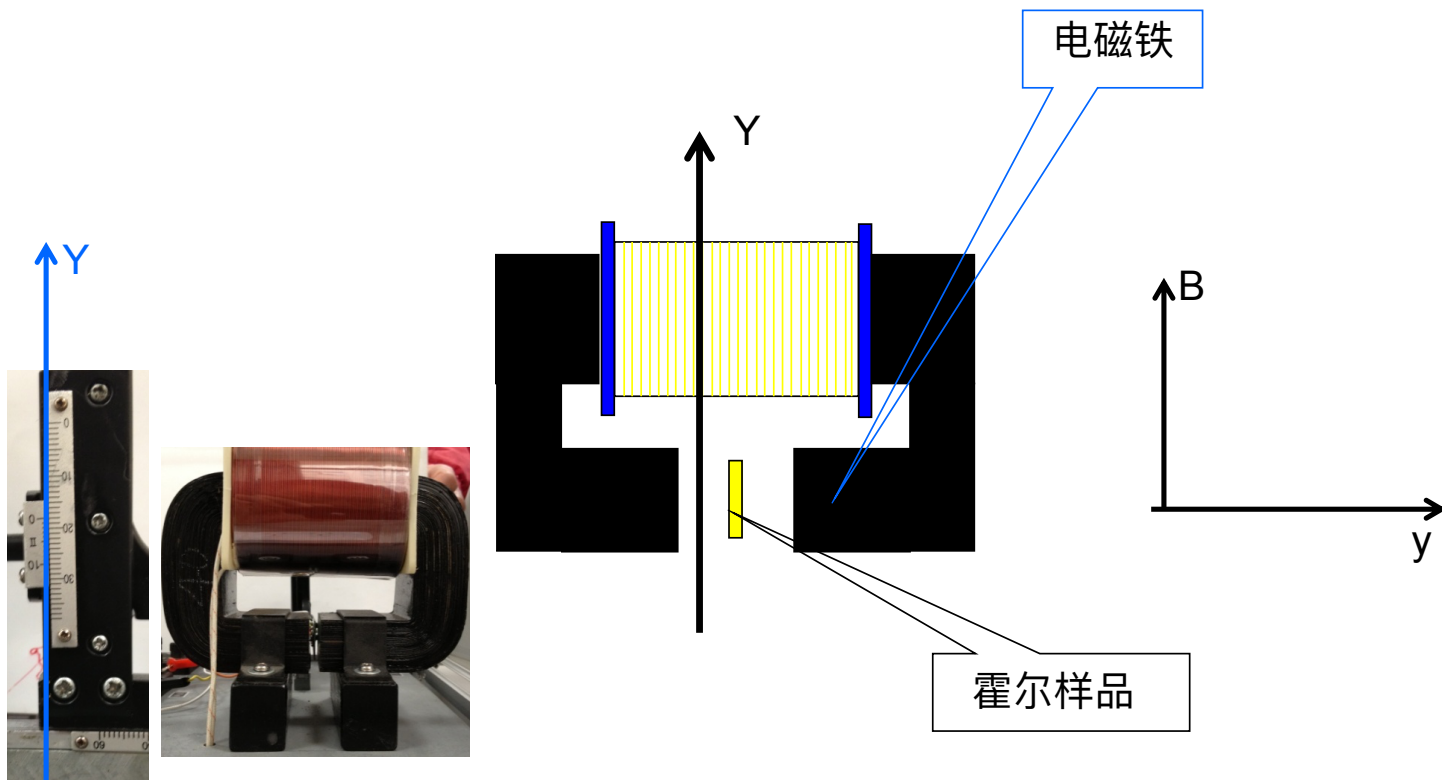


要求：

1. 简述测量原理；
2. 设计表格测量并记录实验数据；
3. 作出B—x分布曲线。

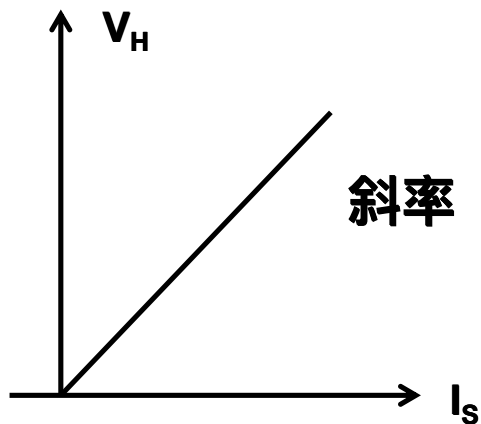
扩展内容

磁场纵向分布曲线($B-y$)



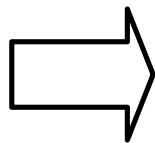
数据处理

- 根据测量数据绘制规范的 V_H-I_S 和 V_H-I_M 特征曲线（直线）
- 用最小二乘法计算 V_H-I_S 和 V_H-I_M 直线斜率，由此计算霍尔系数 R_H 和载流子浓度 n 。



斜率

$$K = V_H / I_S$$



$$R_H = \frac{V_H \cdot d}{I_S \cdot B} = k \cdot \frac{d}{B}$$

结果表达: $R_H = (R_{H\text{测}} \pm U) \text{ cm}^3 / \text{C}$

数据处理

关于不确定度U的估算提示：

$$R_H = \frac{V_H \cdot d}{I_S \cdot B} = k \cdot \frac{d}{B} = k \cdot \frac{d}{I_M \cdot K_H} \quad (K_H \text{ 视为常数})$$

V_H (伏), I (安), B (高斯), d (厘米), 则有:

$$R_H = \frac{V_H \cdot d}{I_S \cdot I_M \cdot K_H} \times 10^8 \text{ (cm}^3 / \text{C)}$$

R_H 为间接测量量，根据误差传递公式计算

$$U_r = \sqrt{\left(\frac{1}{k} \cdot u_k\right)^2 + \left(\frac{1}{d} \cdot u_d\right)^2 + \left(\frac{1}{I_M} \cdot u_{I_M}\right)^2} \quad U = U_r \cdot R_H$$

数据处理

➤ 根据测量数据用最小二乘法计算 I_s — V_{AC} 直线斜率由此计算电导率 和载流子的迁移率 。

$$\sigma = \frac{I_s}{V_{AC}} \cdot \frac{L_{AC}}{S} = k \cdot \frac{L_{AC}}{b \cdot d}$$

$$\mu = R_H \cdot \sigma$$

结果表达：

$$\sigma = (\sigma_{\text{测}} \pm U_{\sigma}) (\Omega^{-1} \text{cm}^{-1})$$

$$\mu = (\mu_{\text{测}} \pm U_{\mu}) (\text{cm}^2 \Omega^{-1} \text{C}^{-1})$$

实验数据记录要求

华中科技大学物理实验数据记录

学生姓名 _____ 实验名称 _____ 实验编号 _____

实验内容 (1) 恒定磁场, U_H — I_S 关系

实验内容 (2) 恒定工作电流, U_H — I_M 关系

实验内容 (3) 在零磁场下, 测 V_{AC}

实验仪器参数 K_H 值

待测样品尺寸

R_H 、 σ 估算结果 (有计算式、数据, 数量级和单位正确!)

第几周, 星期几, 上午/中午/晚上, 实验编号, 报告柜号

教师签字 _____

注意事项

严格按电路图连接线路，并经教师检查后方可打开试验仪电源开关！

开机和关机前，将“ I_M 调节”、“ I_S 调节”旋钮逆时针旋到底！

出口，刷卡

- 1, 保持安静的实验环境!
- 2, 实验完毕, 规范整理好实验仪器。
- 3, 提前30分钟检查实验数据, 不允许提前下课!
- 4, 交报告的截止时间:
- 5, 时间和纪律:
- 6, 数据记录:
- 7, 做清洁:
- 8, 曲线图的绘制与粘贴:
- 9, 数学部分简写:
- 10, 填写好基本信息: