

實驗七 金屬的自由電子模型

一、實驗目的

1. 了解自由電子氣模型。
2. 藉測量霍耳係數，以求出受測金屬載子的濃度。

二、實驗儀器 (請參閱附錄 I)

名稱	數量	名稱	數量	名稱	數量
霍耳效應配件(Ag、Ge)	1	U型磁鐵組	1	可變電阻	2
交流電源供應器(LH)	1	三用電表	2	0.03A 保險絲	1
10A 電源供應器(inSTEK)	1	高斯計	1		
20A 電源供應器(inSTEK)	1	微伏計	1		

三、實驗理論

1. 霍耳效應

如圖 1 所示，有一材質為金屬導體或半導體之樣品放置於磁場 B 中，樣品通以電流 I 。若載子的濃度為 n 且其漂移速度為 v ，那麼載子在此磁場內所受的磁力 F_B 為：

$$F_B = q(v \times B)$$

載子會其電荷之正負產生向上或向下之偏轉因而造成電荷累積，於是建立一電場稱為霍耳電場。電場建立後，載子除受磁力 F_B 外亦受電力 $F_E = qE$ 的影響，當此二力達成平衡時，電荷不再持續累積於是霍耳電場達到最大值，此時樣品兩端的電壓差稱為霍耳電壓 V_H ，如圖 1 所示。在圖 1 中， B 為外加磁場強度，方向為垂直樣品表面， d 為樣品厚度， I 則為外加電流。

在達到力平衡時，電場強度為 V_H/b ，所以

$$qvB - q \frac{V_H}{b} = 0$$

因為電流密度 J 為

$$J = qnv$$

所以電流 I 為

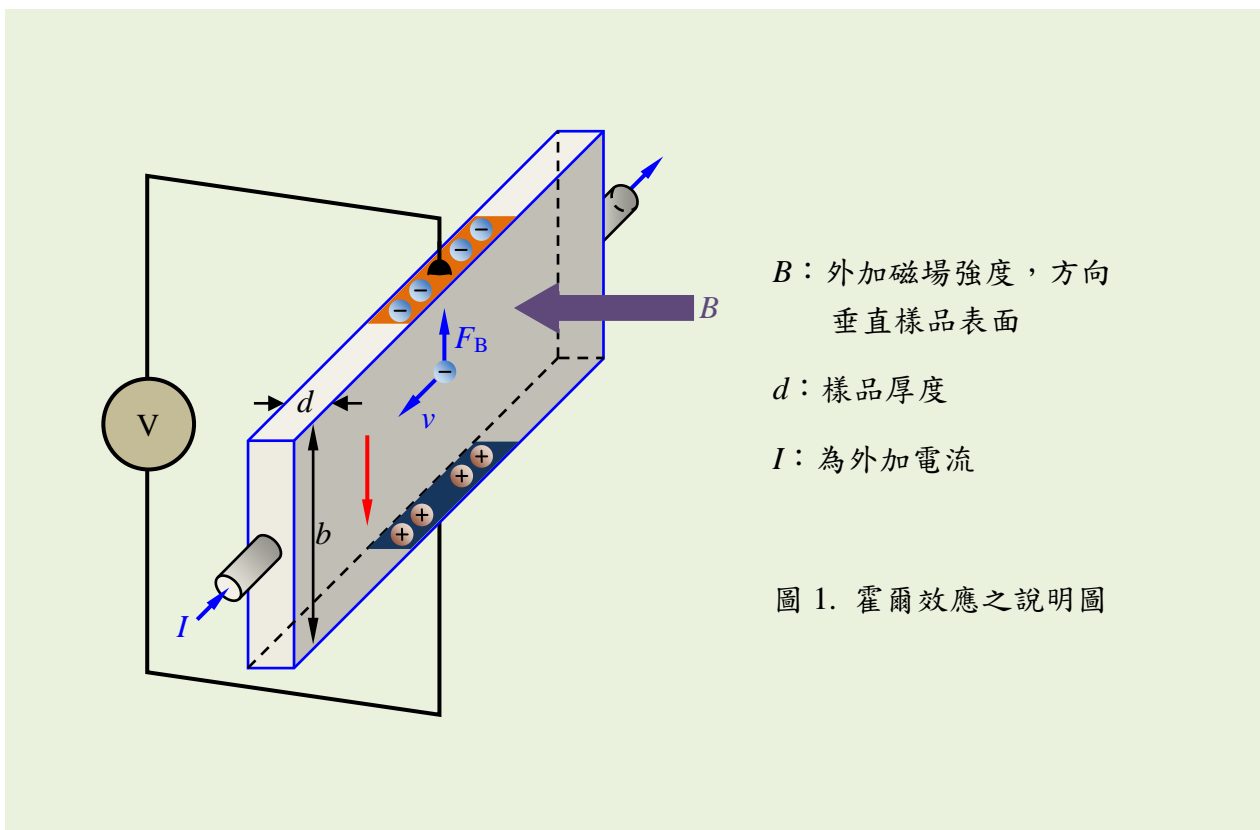
$$I = qbdnv$$

因此霍耳電壓為

$$V_H = \frac{IB}{qnd}$$

霍耳效應之應用：

- (1) 霍耳效應可用來量測樣品中的載子濃度與種類，根據圖 1 之實驗裝置說明若載子為電子則樣品上方電位為負，下方為正。若載子為電洞則反之。
- (2) 如用已知 n, q, d 的樣品，霍耳效應常用來量磁場的方向與強度。作為此種裝置時常稱為霍耳探針或霍耳探測棒，而所用樣品的材質常為半導體。

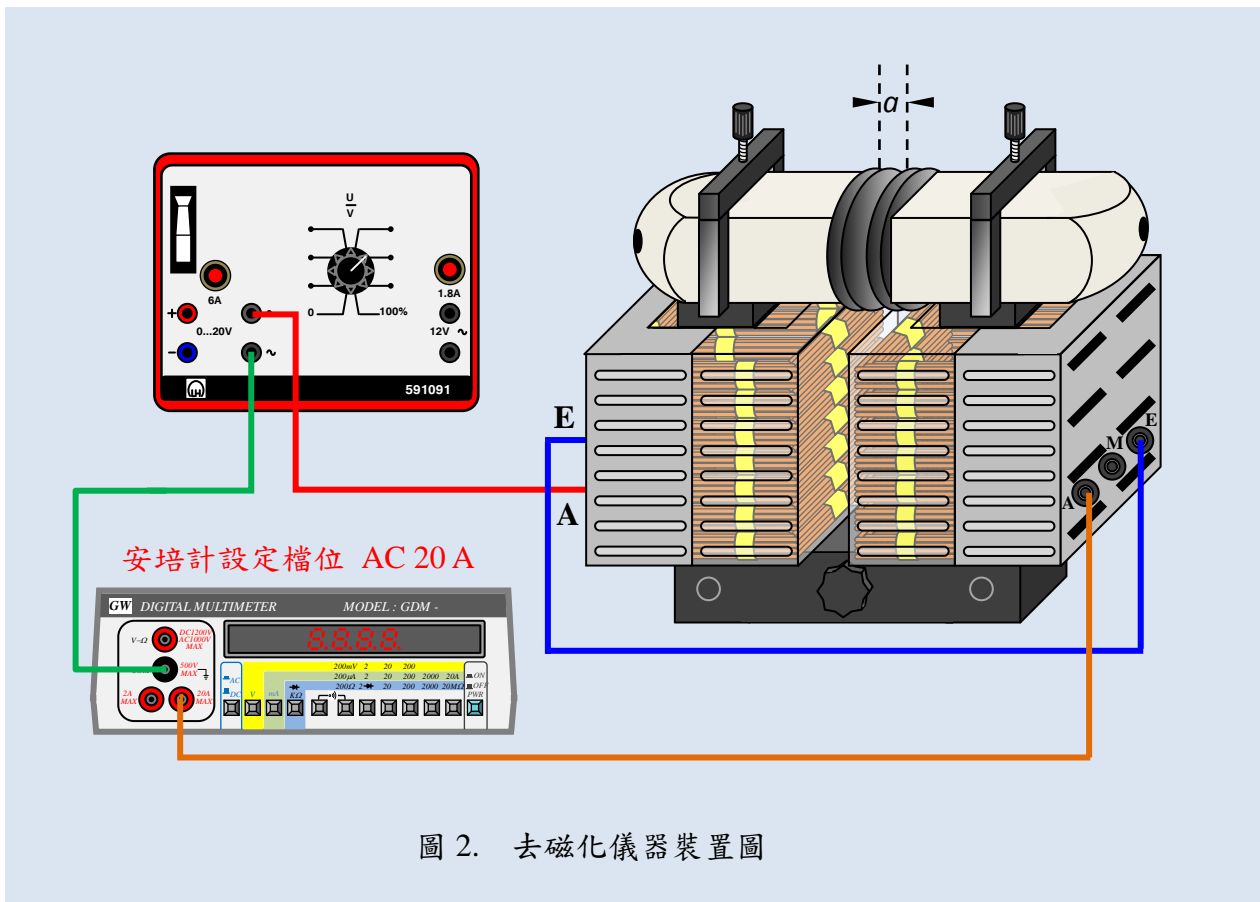


四、實驗步驟

1. 去磁

- (1) 如圖 2 所示，將柱狀鐵心間隙調整為 4 mm 接線，安培計設定檔位 AC 20 A。
- (2) 請老師檢查線路無誤後開啟 LH 電源供應器之電源，旋轉輸出調整鈕使輸出電流為 AC 5A，持續 30 秒後慢慢地將電流減少至 0，完成去磁。

註：每次變換不同 a 值或要進行新的量測前，請先完成去磁。



2. U 型磁鐵 B 場大小之量測

- (1) 參考附錄 II 高斯計簡易操作步驟，將橫向高斯計探棒歸零。

註：橫向高斯計探棒其感應元件距前端約 1 mm

- (2) 參考圖 3 將實驗儀器架設完成。

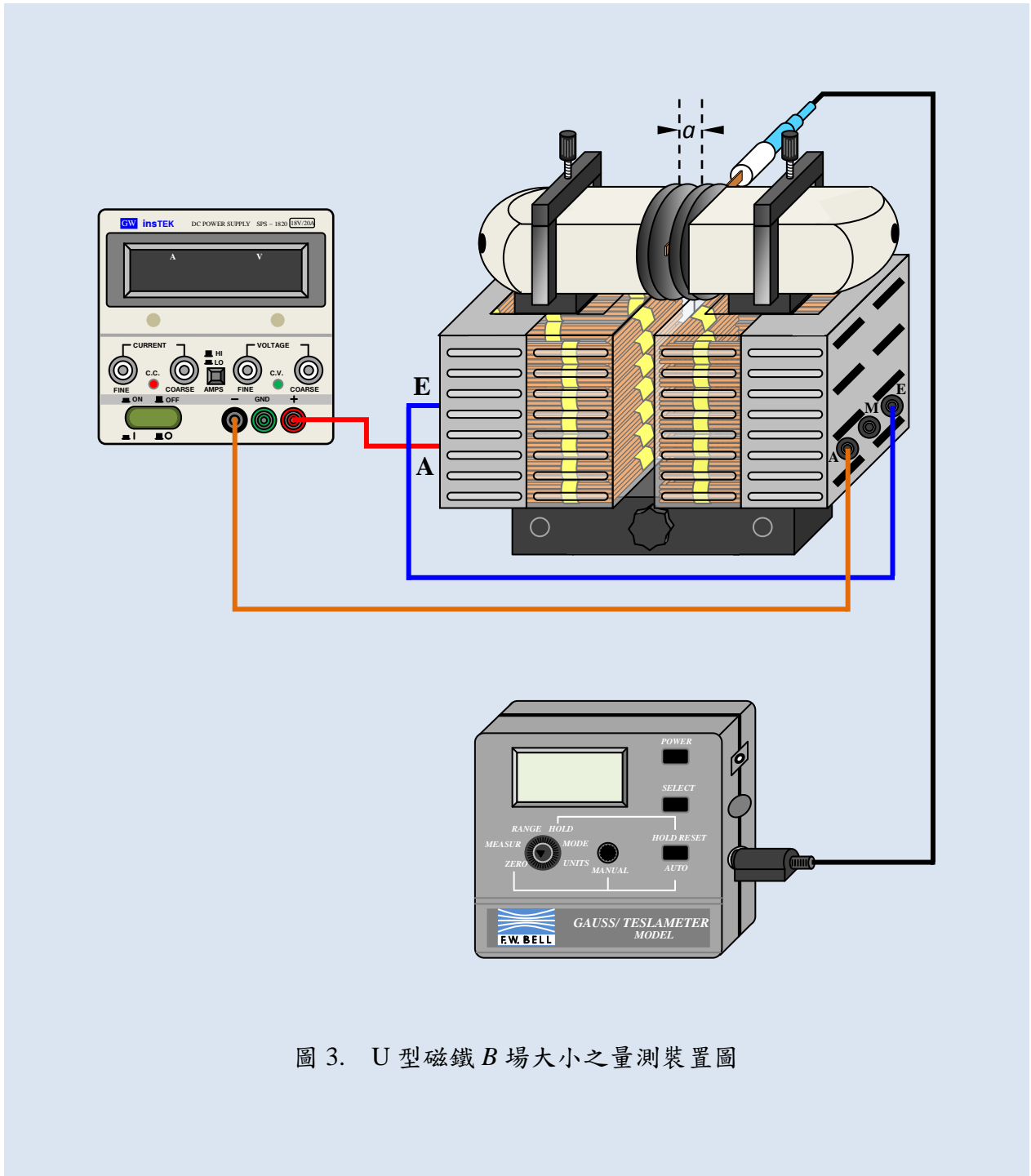


圖 3. U 型磁鐵 B 場大小之量測裝置圖

- (3) 將霍耳效應配件 (Ag) 插入兩圓盤空隙中，調整空隙大小使圓盤與霍耳效應配件 (Ag) 與圓盤不接觸但 a 值最小，記錄 $a_{\min} = \underline{\hspace{2cm}}$ mm。取下霍耳效應配件 (Ag)，調整空隙大小為 a_{\min} ，以柱狀鐵心固定夾將柱狀鐵心固定。
- (4) 將 insTEK 電源供應器電壓、電源輸出粗調旋鈕逆時針旋轉到底，高/低電流輸出選擇鈕置於“HI”，請老師檢查線路無誤後，開啟電源。

- (3) 根據表 1，變化電源供應器之輸出電流 I_B ，量測磁場 B 之大小，完成表 1 (電流大於 5 A 後請於 5 分鐘內完成)。

3. 金屬霍爾電壓之量測

- (1) 固定電流，變化磁場。

- (a) 將柱狀鐵心固定夾鬆開，霍耳效應配件 (Ag) 插入兩圓盤空隙中，將空隙調整為 a_{\min} 後將柱狀鐵心固定。
- (b) 參考圖 4 將實驗儀器架設完成。
- (c) 將供應霍耳效應配件 (Ag) 之電源供應器 "ON"，但使其無電流輸出，微伏計 "ON" 並調放大倍率選擇鈕至 10^5 ，按歸零鈕歸零。
- (d) 調整供應霍耳效應配件 (Ag) 之電源供應器，使其電流固定為 $I = 12\text{ A}$ 。調整供應磁場線圈之電源供應器，變化通過磁場線圈之 I_B 電流，記錄 V_H 。根據表 1 所得之結果，完成表 2。(由於電流很大，所以作實驗動作要快，時間請勿超過 3 分鐘，不觀察時開關請打開)

- (2) 固定磁場，變化電流。

- (a) 取表 1 中之最大磁場 $B = \underline{\hspace{2cm}}$ T。
- (b) 調整供應霍耳效應配件 (Ag) 之電源供應器，變化通過霍耳效應配件 (Ag) 之電流 I ，記錄 V_H ，完成表 3。

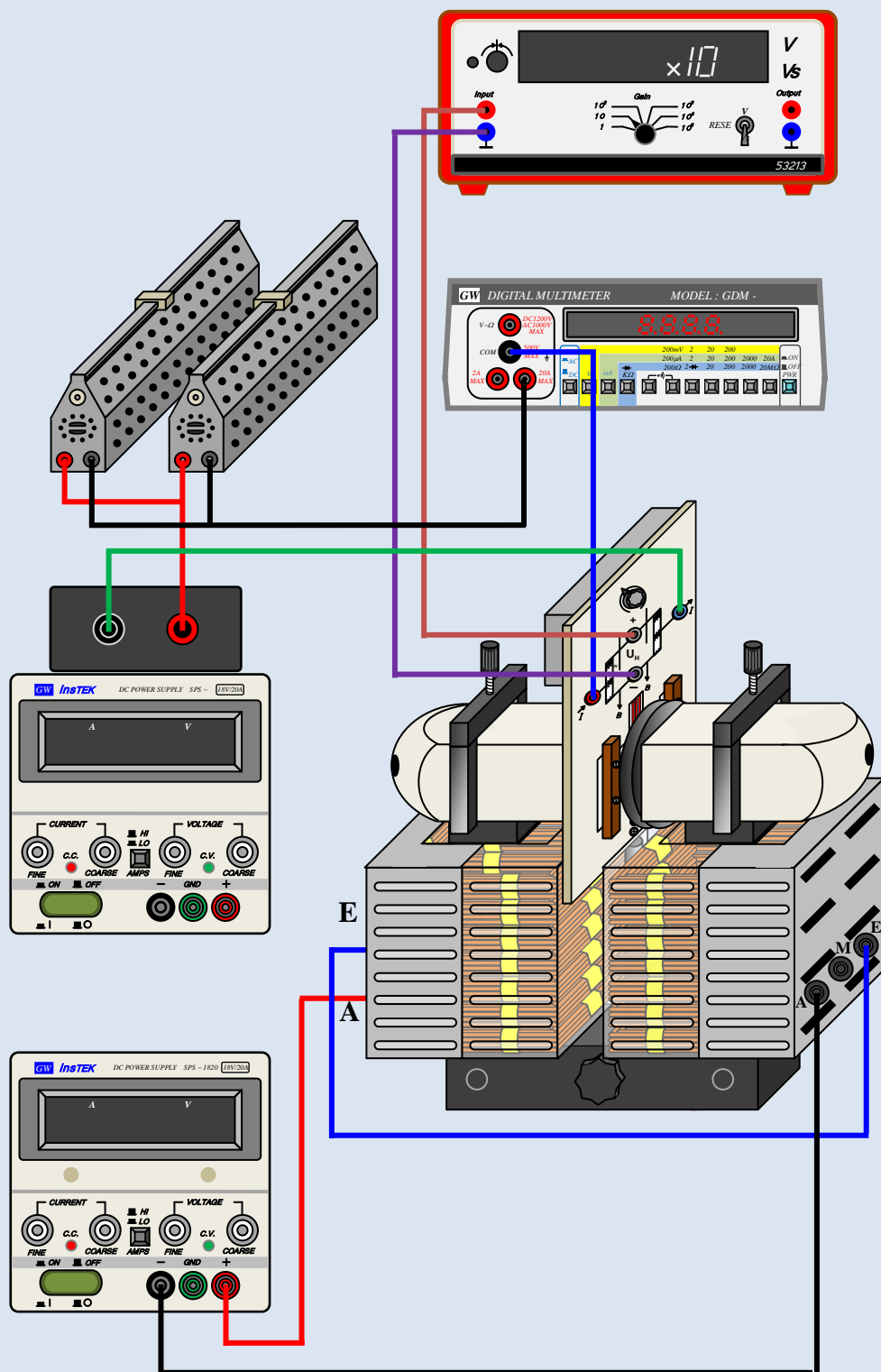


圖 4. 霍耳效應配件 (Ag) 實驗裝置圖

3. 半導體 Ge 霍爾電壓之量測

特別注意：鍺半導體晶片極度脆弱，切勿觸摸或震動。實驗時電流切勿超過 33 mA。

- (1) 將霍耳效應配件 (Ag) 取下，換成霍耳效應配件 (Ge)，參考圖 5 將實驗儀器架設完成，空隙 a 值保持不變。(你也可以重複步驟 2. U型磁鐵 B 場大小之量測重新定義空隙 a_{\min} 值，並找出新的 $B-I_B$ 關係)。
- (2) 將霍耳效應配件 (Ge) 左上角之電流調整鈕調至最大。
- (3) 將所有電源供應器輸出旋扭轉至最小後，將所有儀器電源"ON"。
- (4) 將補償開關(ON)，旋轉補償鈕做霍耳電壓 V_H 之歸零。
- (5) 量測霍耳電壓 V_H
 - (a) 固定電流，變化磁場。

固定通過霍耳效應配件 (Ge) 之電流 $I = 30 \text{ mA}$ ，調整供應磁場線圈電源供應器之 I_B 電流，記錄 V_H ，完成表 4。
 - (b) 固定磁場，變化電流。
 - (i) 取表 1 中之最大磁場 $B = \text{_____ T}$ 。(若你重新重新定義空隙 a_{\min} 值則選擇定義後之最大磁場)
 - (ii) 調整電源供應器變化通過霍耳效應配件 (Ge) 之電流 I (勿超過 33 mA)，記錄 V_H ，完成表 5。

安培計設定檔位 DC 200 mA

或可用數位式三用電表

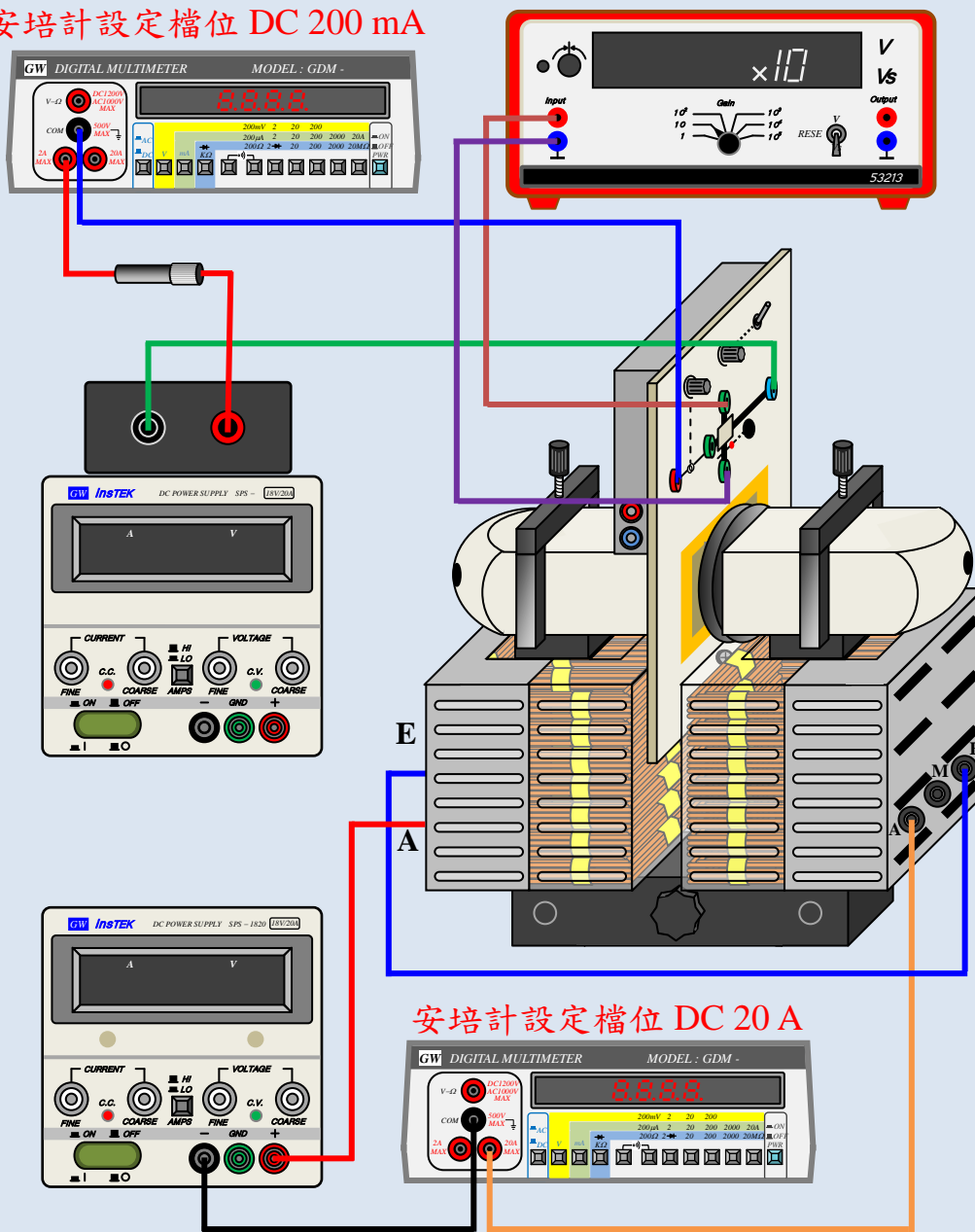


圖 5. 霍耳效應配件 (Ge) 實驗裝置圖

實驗七 金屬的自由電子模型

組別：_____ 姓名：_____ 同組同學姓名：_____

日期：_____ 教師簽署：_____

實驗記錄

表 1. $a_{\min} =$ _____ mm，線圈磁場 B 與 I_B

$I_B(\text{A})$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$B(\text{T})$									

表 2. $I =$ _____ A，Ag 之 B 與 V_H 之大小

$B(\text{T})$										
$V_H(\mu\text{V})$										

表 3. $B =$ _____ T，Ag 之 I 與 V_H 之大小（[a,b] 表只要介於 a 與 b 之間即可）

$I(\text{A})$	[0,1]	[1,2]	[2,3]	[3,4]	[4,5]	[5,6]	[6,7]	[7,8]	[8,9]	[9,10]	[10,11]	[11,12]
$V_H(\mu\text{V})$												

表 4. $I = 30 \text{ mA}$ ，Ge 之 B 與 V_H 之大小

$B(\text{T})$										
$V_H(\text{mV})$										

表 5. $B =$ _____ T，Ge 之 I 與 V_H 之大小（[a,b] 表只要介於 a 與 b 之間即可）

$I(\text{mA})$	[1,2]	[3,4]	[5,6]	[7,8]	[9,10]	[11,12]	[13,14]	[15,16]	[17,18]	[19,20]	[24,25]	[29,30]
$V_H(\text{mV})$												

根據表 1~5 完成圖 1~5

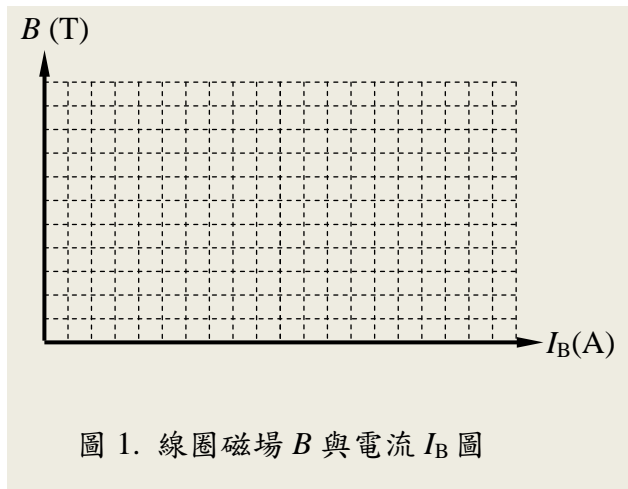
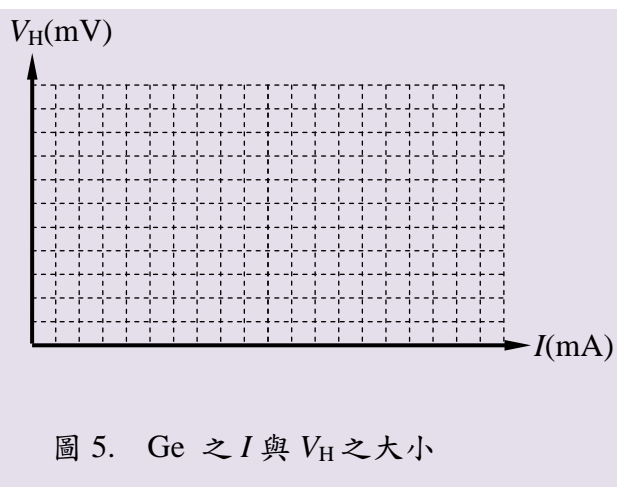
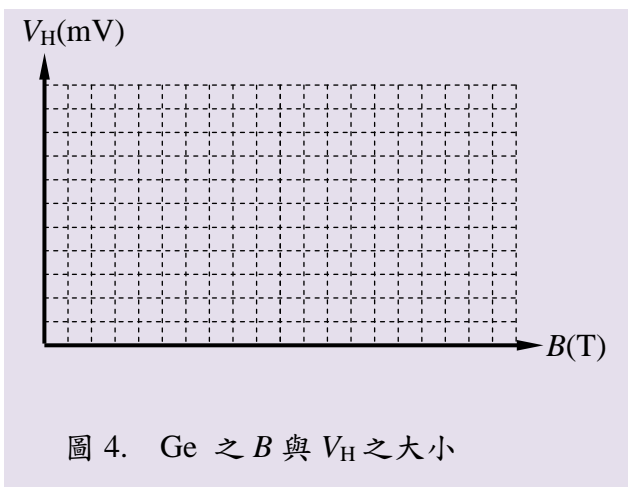
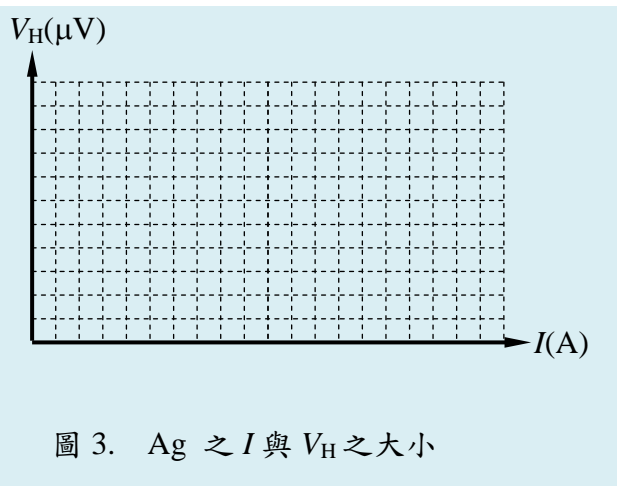
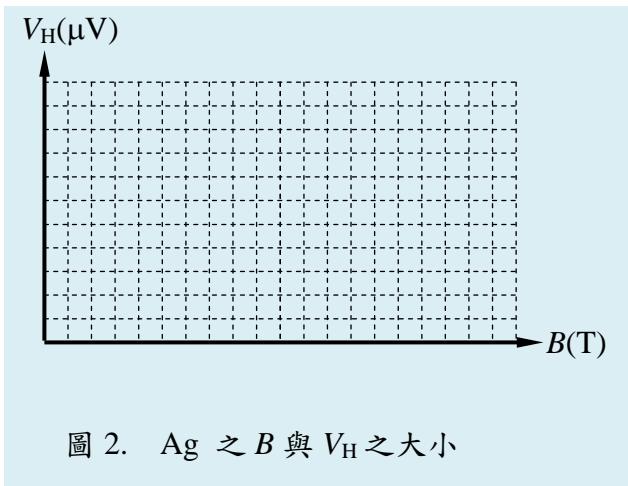


圖 2 之斜率為 _____ (V/T)。

圖 3 之斜率為 _____ (V/A)。

圖 4 之斜率為 _____ (V/T)。

圖 5 之斜率為 _____ (V/A)。

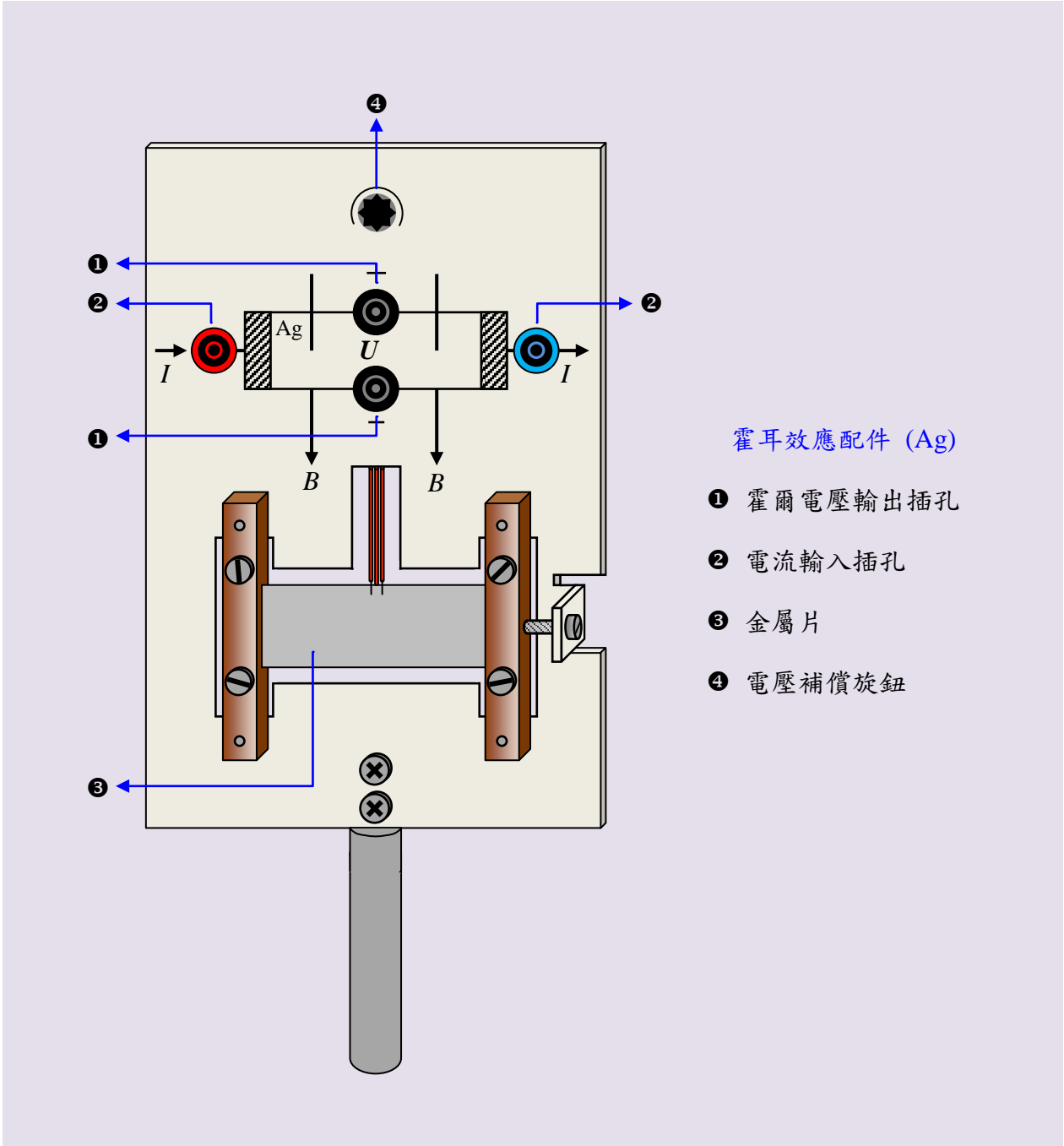


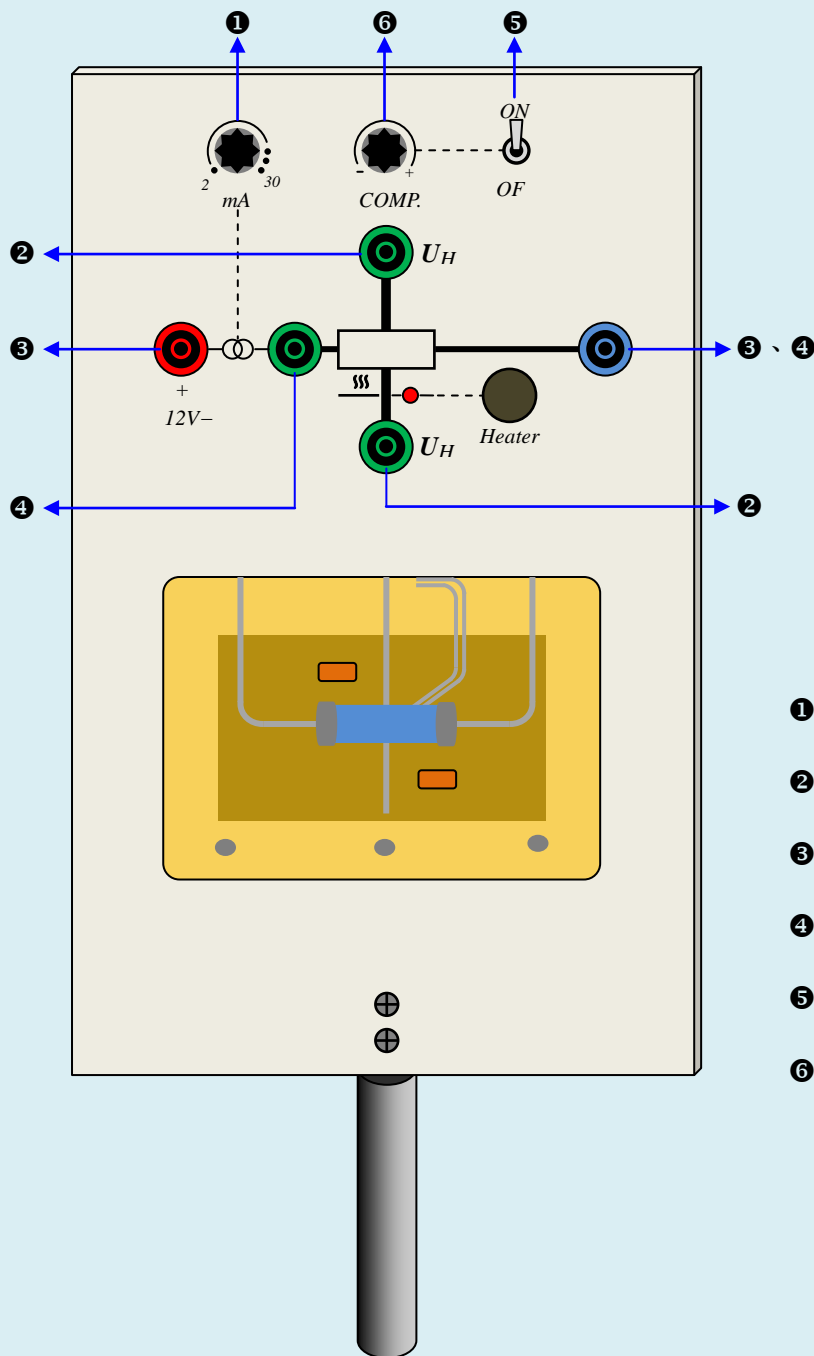
問題：

1. 判斷金屬與半導體中載子的種類。(欲判斷載子種類需確定磁場方向，與霍爾電壓的極性)

2. 根據圖 2~4 分別計算銀金屬與鍺半導體的載子濃度。(Ag 金屬片厚度 $d = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，
Ge 厚度 $d = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$)

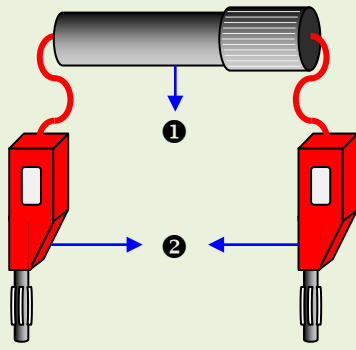
附錄 I





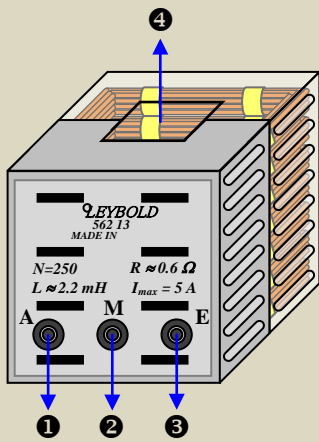
霍耳效應配件 (Ge)

- ❶ 電流調整鈕
- ❷ 霍爾電壓輸出插孔
- ❸ 電源輸入插孔
- ❹ Ge 晶體電位差輸出插孔
- ❺ 補償開關
- ❻ 補償鈕



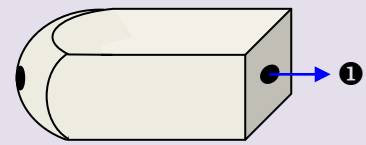
33mA 保險絲

- ❶ 插子
- ❷ 保險絲



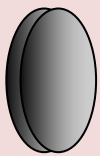
線圈：

- ❶ 線圈插孔 (A: Begin)
- ❷ 線圈插孔 (M: Middle)
- ❸ 線圈插孔 (E: End)
- ❹ U 形鐵心插入孔

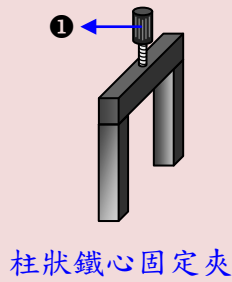


柱狀鐵心

- ❶ 圓盤插入孔

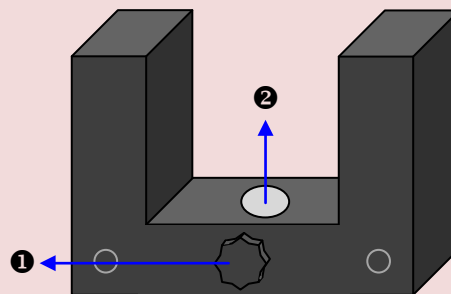


圓盤



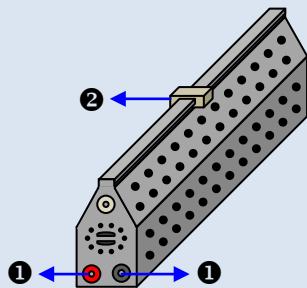
柱狀鐵心固定夾

- ❶ 固定夾



U 型鐵心

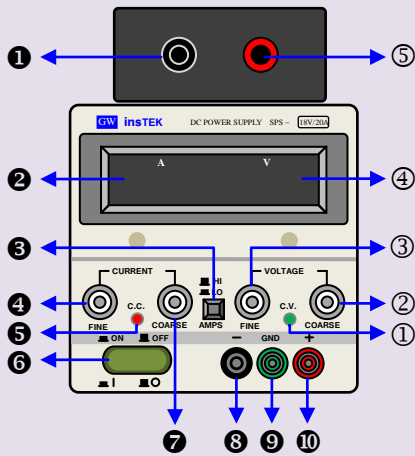
- ❶ 支撐棒插入孔
- ❷ 固定旋鈕



可變電阻

- ❶ 導線插孔
- ❷ 電阻變化滑鈕

insTEK SPS-1820 DC 電源供應器

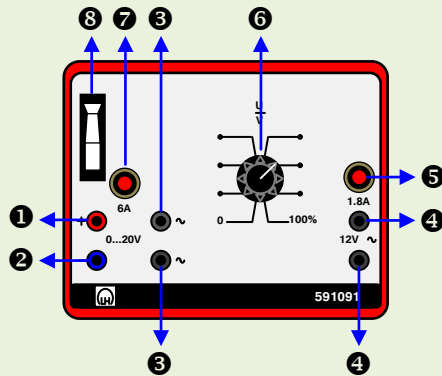


- ① 設定之“-”輸出插孔
- ② 輸出電流顯示幕
- ③ 高/低電流輸出選擇鈕
- ④ 輸出電流微調旋鈕
- ⑤ 電流工作模式指示燈
- ⑥ 電源開關
- ⑦ 輸出電流粗調旋鈕
- ⑧ 輸出“-”插孔
- ⑨ 接地插孔
- ⑩ 輸出“+”插孔
- ⑪ 電壓工作模式指示燈
- ⑫ 輸出電壓粗調旋鈕
- ⑬ 輸出電壓微調旋鈕
- ⑭ 輸出電壓顯示幕
- ⑮ 設定之“+”輸出插孔

註：最大輸出電壓 $V_{max} = 18\text{ V}$ ；最大輸出電流 $I_{max} = 20\text{ A}$

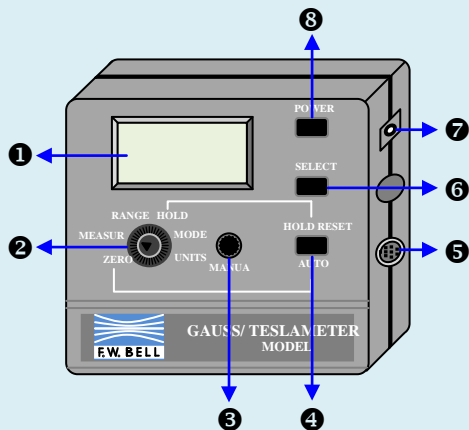
高電流輸出：0 ~ 額定電流；低電流輸出：0 ~ 1/2 額定電流

LH 電源供應器

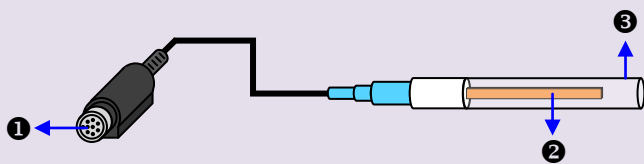


- ① 0~20V DC “+”輸出端插孔
- ② 0~20V DC “-”輸出端插孔
- ③ 0~20V AC 輸出端插孔
- ④ AC 12V 1.8A 輸出端插孔
- ⑤ AC 12V 1.8A 過電流重置鈕
- ⑥ 輸出調整鈕
- ⑦ 過電流重置鈕
- ⑧ 電源開關

高斯計

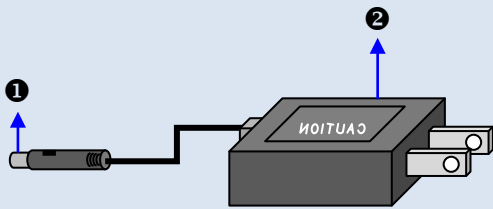


- ① 顯示幕
- ② 功能選擇旋鈕
- ③ 手動歸零控制鈕
- ④ 自動/鎖定重置按鈕
- ⑤ 探棒連接插孔
- ⑥ 選擇開關
- ⑦ DC 電源插孔
- ⑧ 電源開關



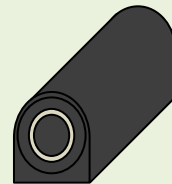
橫向高斯計探棒

- ① 訊號連接插頭
- ② 探棒
- ③ 保護套

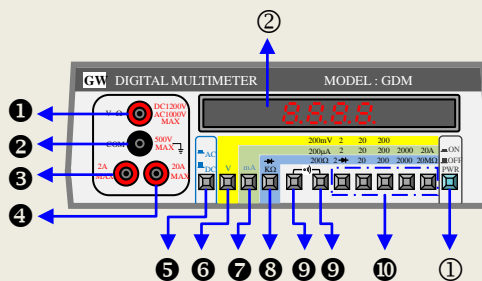


高斯計電源供應器

- ① DC 電源輸出插頭
- ② AC 電源插頭



高斯計歸零校正腔



數位式三用電表

- ① 電壓/電阻量測輸入插孔
- ② 接地輸入插孔
- ③ 2A 電流量測輸入插孔
- ④ 20A 電流量測輸入插孔
- ⑤ AC/DC 量測選擇鈕
- ⑥ 電壓量測選擇鈕
- ⑦ 電流量測選擇鈕
- ⑧ 電阻量測選擇鈕
- ⑨ 警示聲($\sigma < 1\text{moh}$)
- ⑩ 量測範圍選擇鈕
- ① 電源開關
- ② 顯示幕

附錄 II

高斯計簡易操作步驟：

1. 歸零

- (1) 將高斯計電源供應器之 DC 電源輸出插頭插入高斯計 DC 電源線插孔。
- (2) 將高斯計探棒之保護套拆下，訊號連接插頭插入高斯計之探棒插孔，探棒置於高斯計歸零校正腔中。
- (3) 按下高斯計電源按鈕，功能選擇鈕轉至 "ZERO"，此時在顯示幕上會有 "ZERO" 字樣閃爍，同時也會有磁場讀數顯示。
- (4) 按下 "AUTO" 鍵後，歸零程序開始。此時顯示幕上會有 "AUTO" 字樣閃爍，一般歸零程序持續 5 ~ 15 秒，完成後會發出 "嗶" 的一聲表歸零程序完成，"AUTO" 閃爍字樣消失，但 "ZERO" 字樣仍然持續閃爍以備隨時操作歸零。

2. 磁場狀態選擇

高斯計功能選擇鈕轉至 "MODE"，按下 "SELECT" 鍵使 "DC" 字樣出現於顯示幕上 (DC : static ; AC : alternating)。

3. 量測單位選擇

高斯計功能選擇鈕轉至 "UNITS"，按下 "SELECT" 鍵使 "T" 字樣出現於顯示幕上 (G:Gauss ; T:Tesla ; Am : Ampere-meters)。

4. 量測範圍選擇

高斯計功能選擇鈕轉至 "RANGE"，按下 "SELECT" 鍵使 "AUTO RANGE" 字樣出現於顯示幕上。