

## 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
U型磁鐵組	1	三用電表	2	高斯計	1
霍耳效應配件(Ag、W、Ge)	1	霍耳測試棒	1	0.03A 保險絲	1
電源供應器 (LH)	1	微伏計	1		
電源供應器 (inSTEK)	1	可變電組	2		

### 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

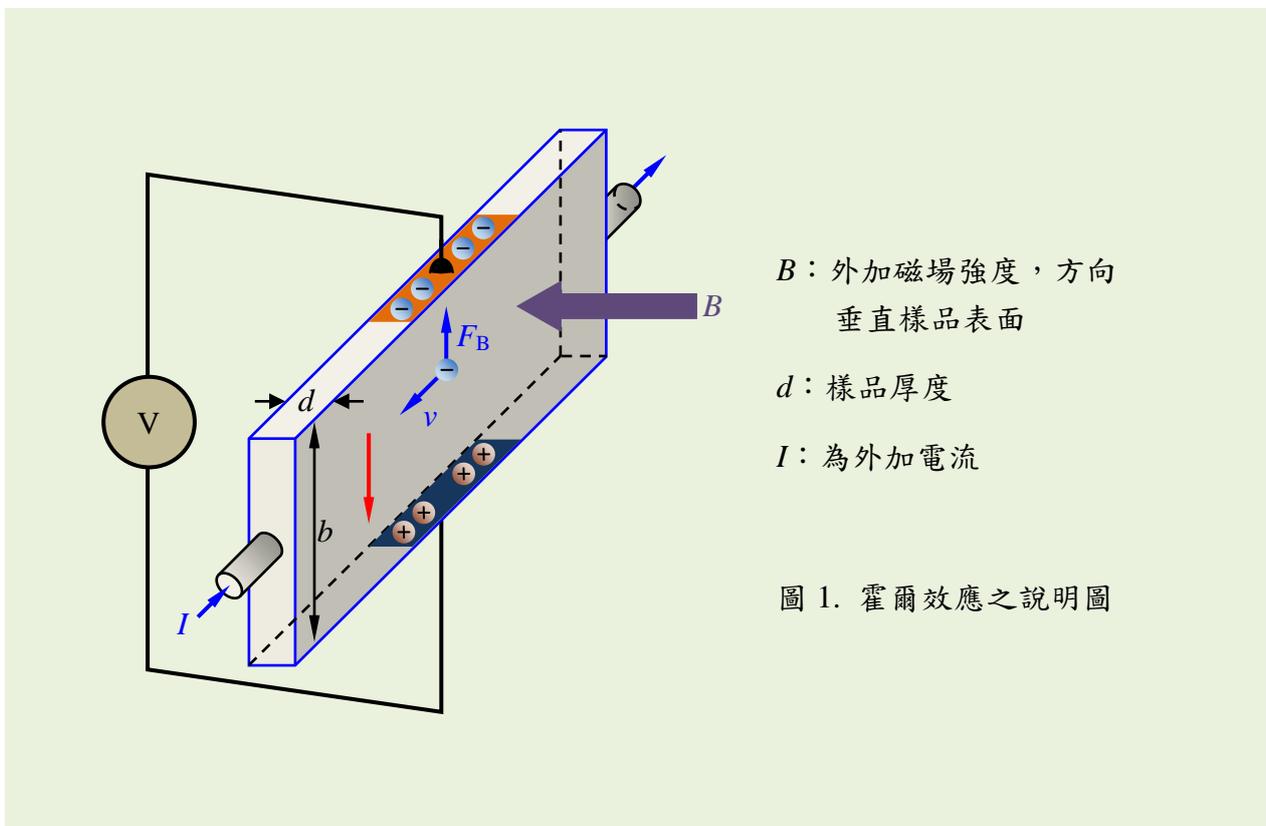
$$I = qbdnv$$

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. U 型磁鐵 $B$ 場大小之量測

參考圖 2 將實驗儀器架設完成。

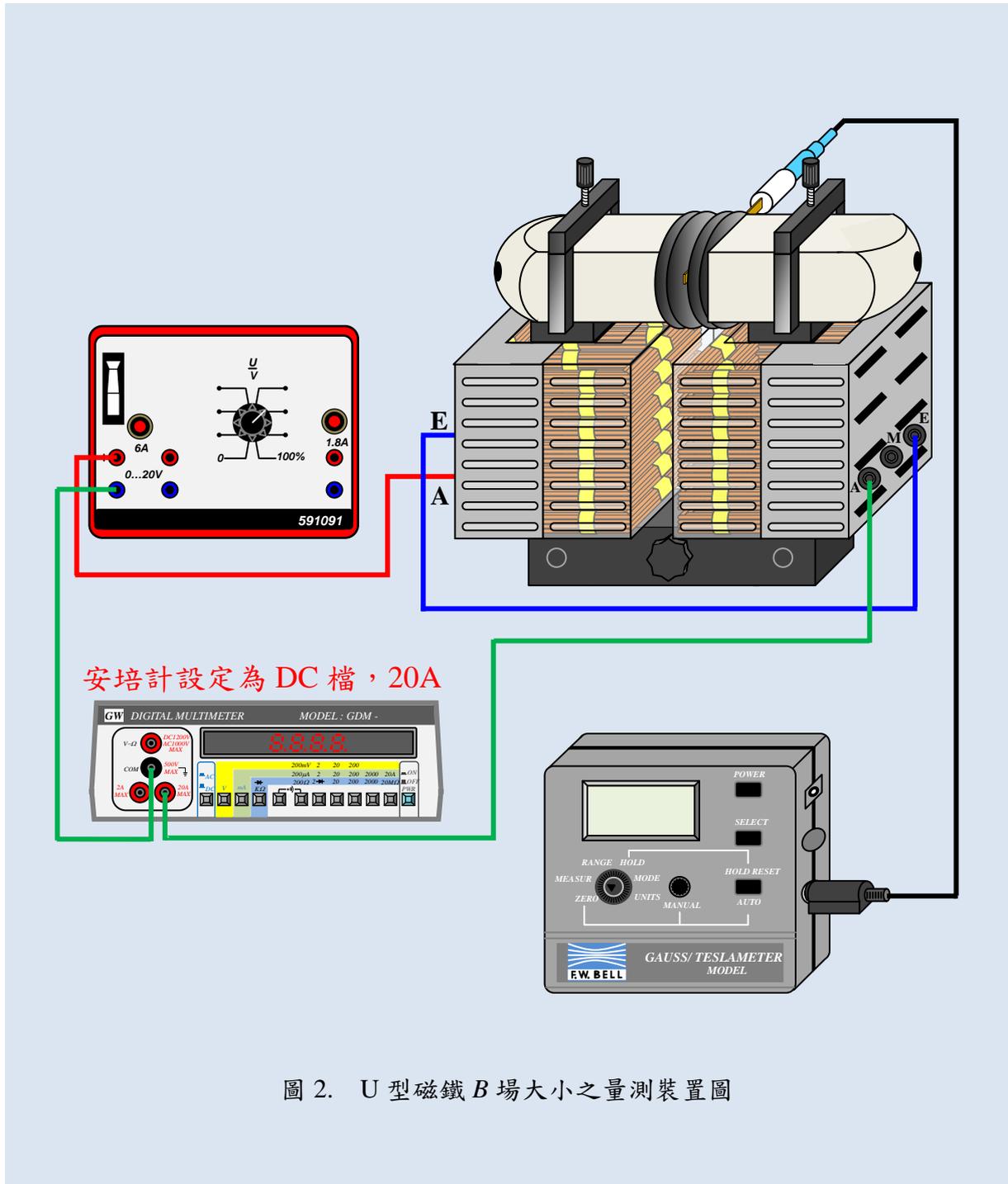


圖 2. U 型磁鐵  $B$  場大小之量測裝置圖

- (1) 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) 之金屬片與圓盤不接觸但  $a$  值最小，記錄  $a = \underline{\hspace{2cm}}$  mm。取下霍耳效應配件 (Ag)，以柱狀鐵心固定夾將柱狀鐵心固定。
- (2) 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。( [a,b] 表介於  $a$  與  $b$  之間)
- (3) 根據表 1 繪出線圈  $B-I_B$  圖，以線性迴歸法求出  $B-I_B$  圖之斜率。

## 2. 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，將空隙調整為原先之  $a$  值後將柱狀鐵心固定。
  - (b) 參考圖 3 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) 調整電源供應器使通過霍耳效應配件 (Ag) 之電流固定為  $I = [11,12]$  A，調整電源供應器變化通過磁場線圈之  $I_B$  電流，記錄  $V_H$ ，根據線圈  $B-I_B$  圖之斜率可以得到  $B$  之大小，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。

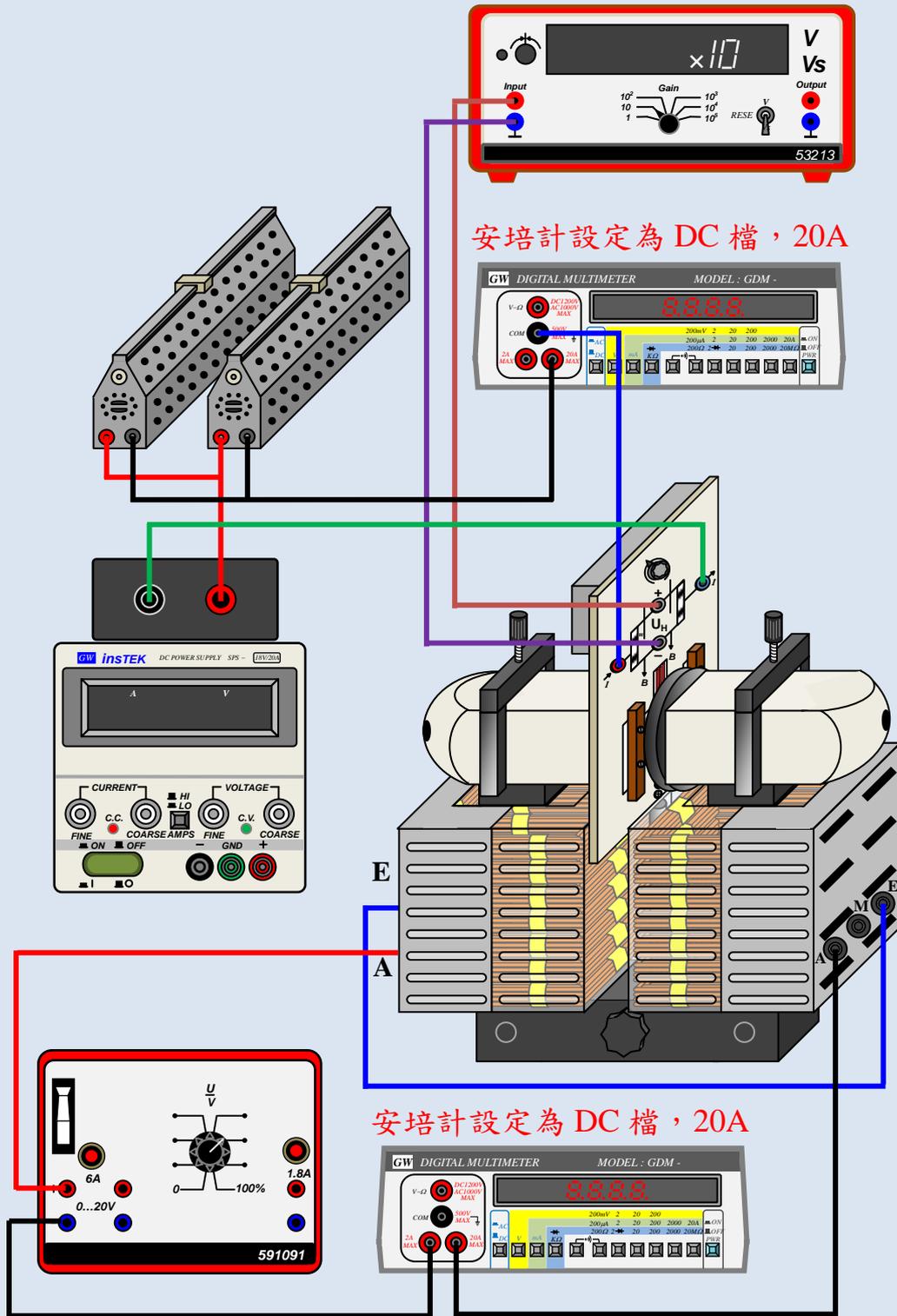


圖 3. 霍耳效應配件 (Ag) 實驗裝置圖

### 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 4 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 1. U 型磁鐵  $B$  場大小之量測重新定義空隙  $a$  值，並求出新的  $B$ - $I_B$  圖之斜率)。
- (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。
    - ① 取表 1 中之最大磁場  $B = \underline{\hspace{2cm}}$  T。(若你重新重新定義空隙  $a$  值則選擇定義後之最大磁場)
    - ② 調整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 5。

安培計設定為 DC 檔, 200 mA

或可用三用電表

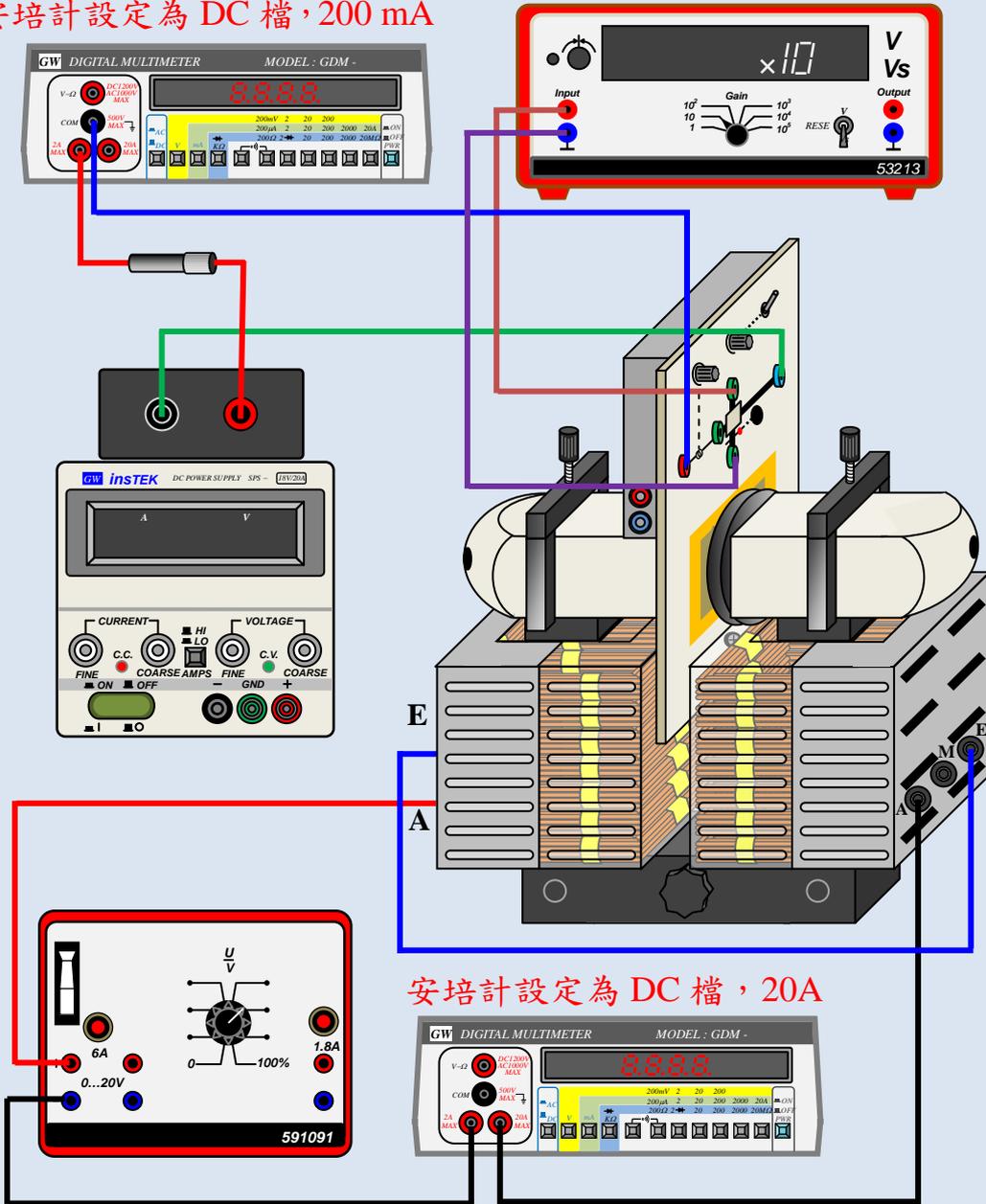


圖 4. 霍耳效應配件 (Ge) 實驗裝置圖

## 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.  $a =$  \_\_\_\_\_ mm, 線圈磁場  $B$  與  $I_B$

$I_B$ (A)	[0,1]	[1,2]	[2,3]	[3,4]	[4,5]	[5,6]	[6,7]	[7,8]	[8,9]	[9,10]
$B$ (T)										

表 2.  $I =$  \_\_\_\_\_ A, Ag 之  $B$  與  $V_H$  之大小

$B$ (T)										
$V_H$ ( $\mu$ V)										

表 3.  $B =$  \_\_\_\_\_ T, Ag 之  $I$  與  $V_H$  之大小

$I$ (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]
$V_H$ ( $\mu$ V)												

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

$B$ (T)										
$V_H$ (mV)										

表 5.  $B =$  \_\_\_\_\_ T, Ge 之  $I$  與  $V_H$  之大小

$I$ (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]
$V_H$ (mV)												

根據表 1~5 完成圖 1~5

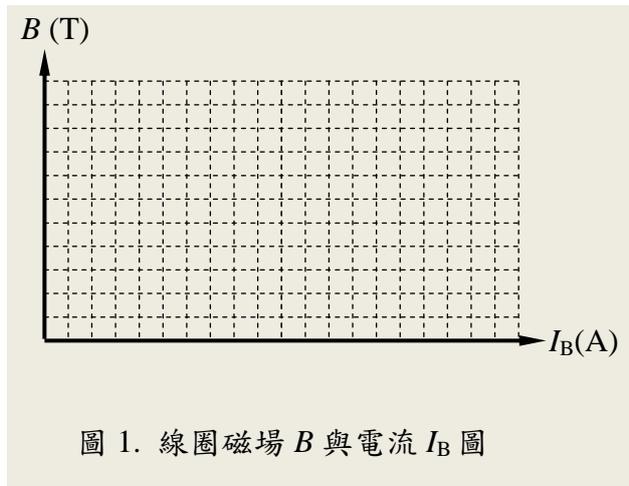


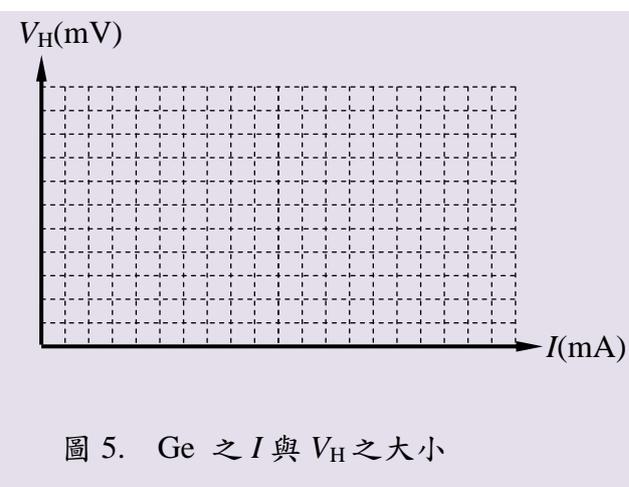
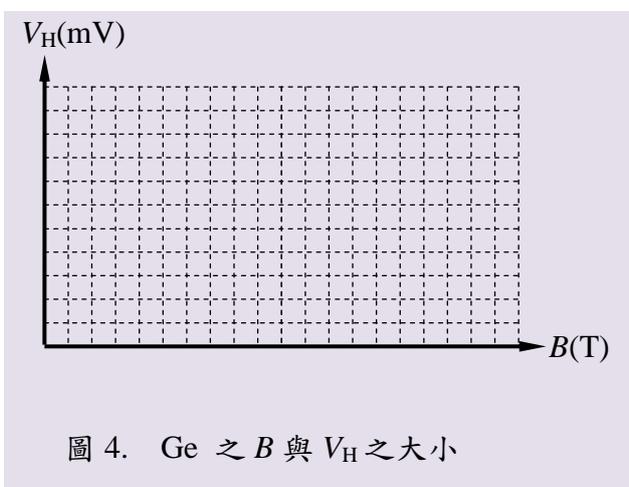
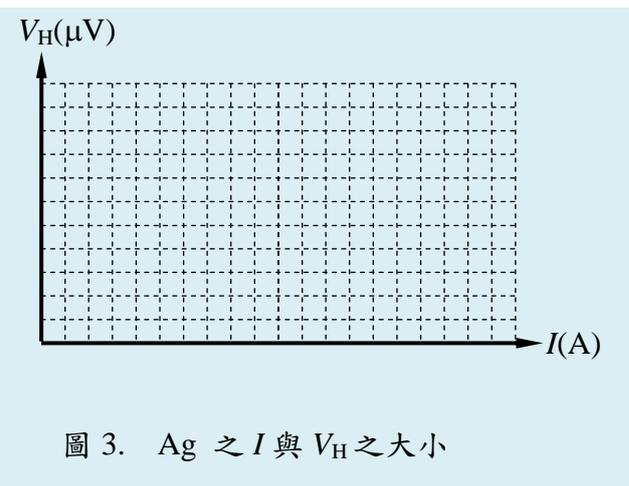
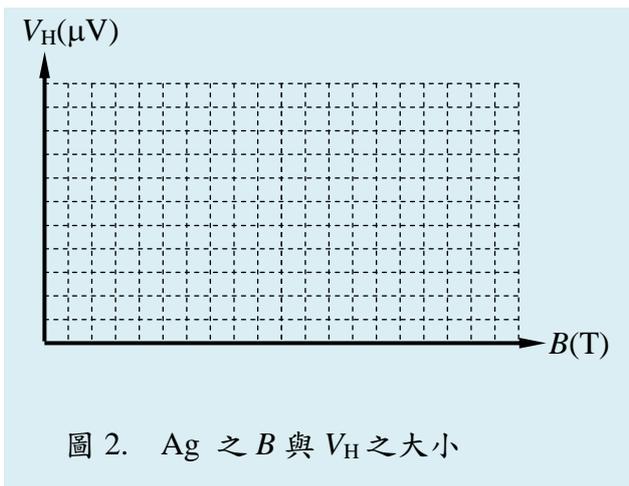
圖 1 之斜率為 \_\_\_\_\_ (T/A)。

圖 2 之斜率為 \_\_\_\_\_ (V/T)。

圖 3 之斜率為 \_\_\_\_\_ (V/A)。

圖 4 之斜率為 \_\_\_\_\_ (V/T)。

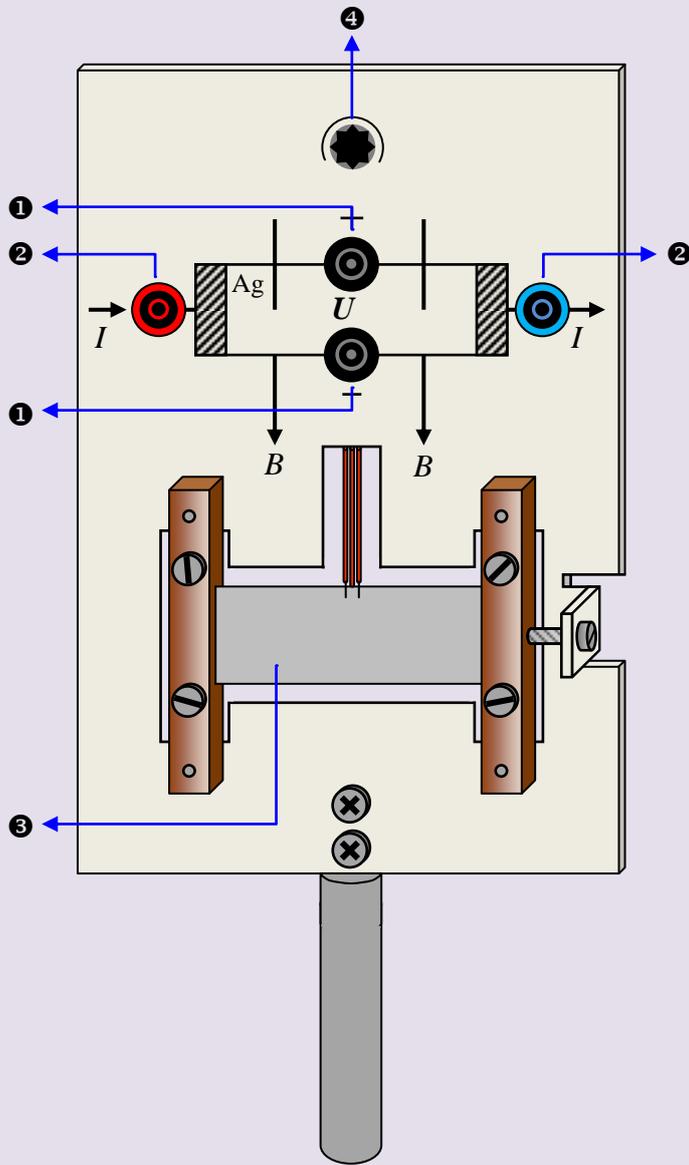
圖 5 之斜率為 \_\_\_\_\_ (V/A)。



問題：

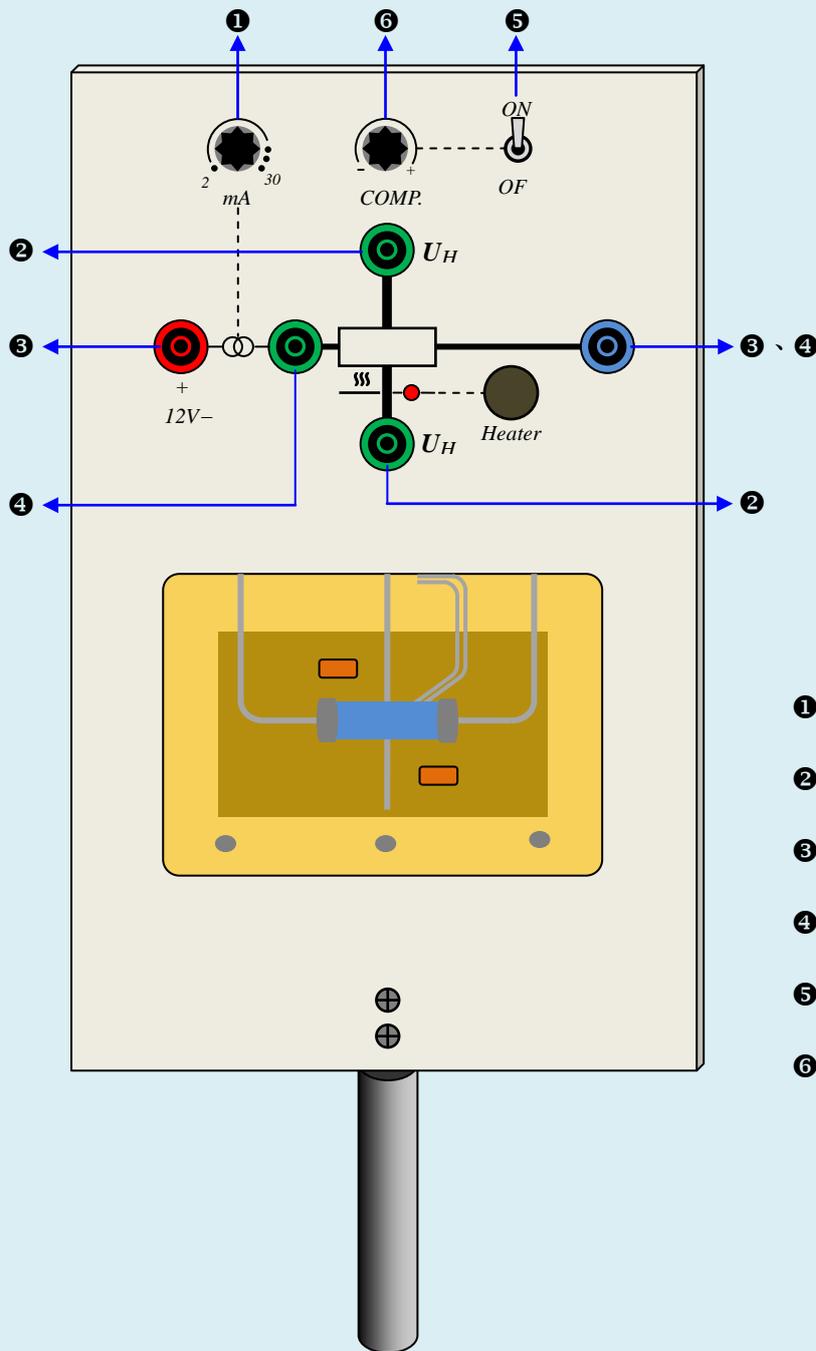
1. 判斷金屬與半導體中載子的種類。(欲判斷載子種類需確定磁場方向，與霍爾電壓的極性)
2. 根據圖 2~4 分別計算銀金屬與鍺半導體的載子濃度。(Ag 金屬片厚度  $d = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，  
Ge 厚度  $d = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$ )

# 附錄 I



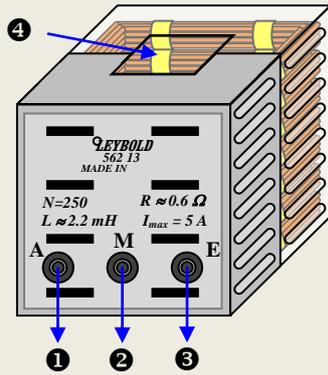
霍耳效應配件 (Ag)

- ① 霍爾電壓輸出插孔
- ② 電流輸入插孔
- ③ 金屬片
- ④ 電壓補償旋鈕



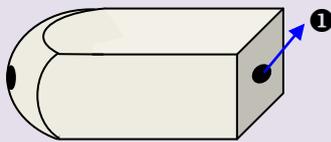
霍耳效應配件 (Ge)

- ① 電流調整鈕
- ② 霍爾電壓輸出插孔
- ③ 電源輸入插孔
- ④ Ge 晶體電位差輸出插孔
- ⑤ 補償開關
- ⑥ 補償鈕



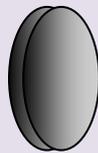
線圈：

- ① 線圈插孔 (A: Begin)
- ② 線圈插孔 (M: Middle)
- ③ 線圈插孔 (E: End)
- ④ U 形鐵心插入孔

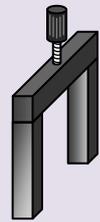


柱狀鐵心

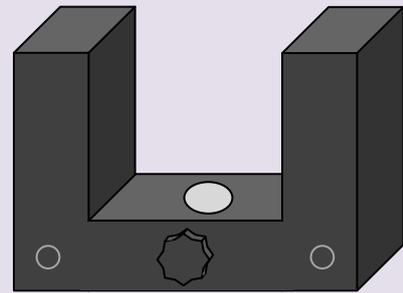
- ① 圓盤插入孔



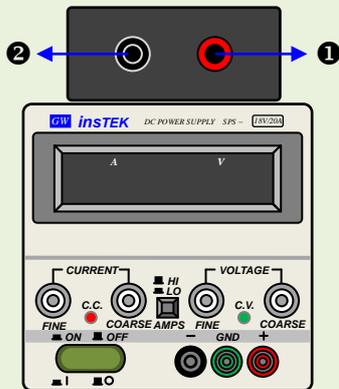
圓盤



柱狀鐵心  
固定夾

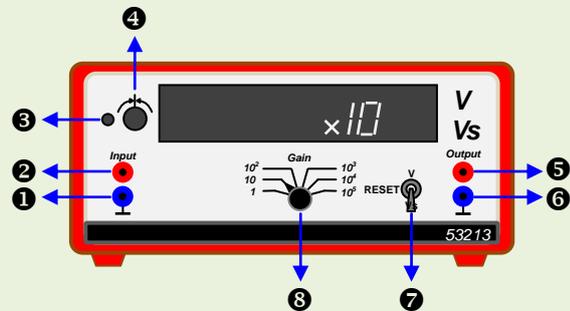


U 型鐵心



inSTEK 直流電源

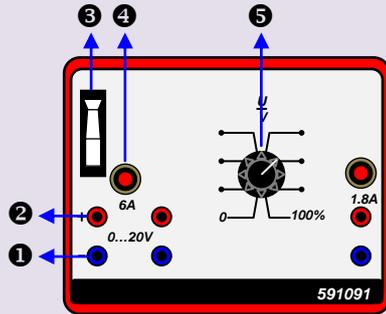
- ① “+” 輸出插孔
- ② “-” 輸出插孔



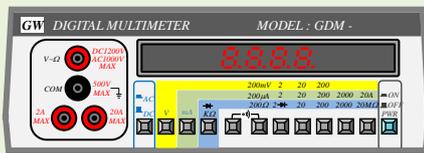
微伏計

- ① “-” 輸入端插孔
- ② “+” 輸入端插孔
- ③ 補償鈕
- ④ 歸零鈕
- ⑤ “+” 輸出端插孔
- ⑥ “-” 輸出端插孔
- ⑦ 功能選擇鈕
- ⑧ 放大倍率選擇鈕

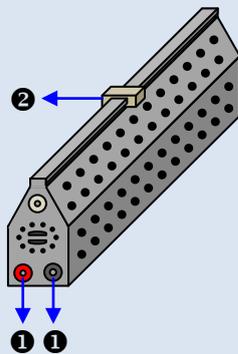
### LH 電源供應器



- ①“-”輸出端插孔
- ②“+”輸出端插孔
- ③電源開關
- ④過電流重置鈕
- ⑤輸出調整鈕

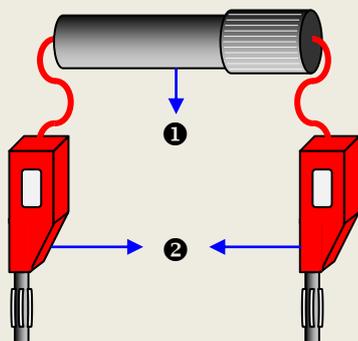


### 數位式三用電表



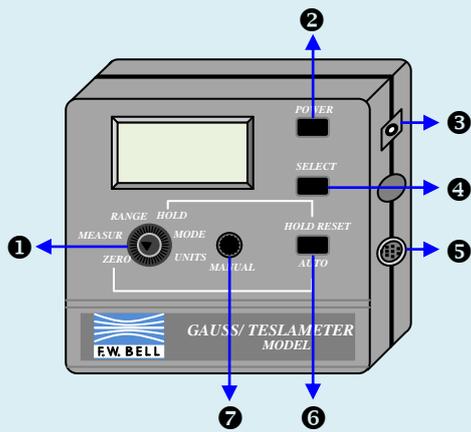
### 可變電阻

- ① 導線插孔
- ② 電阻變化滑扭



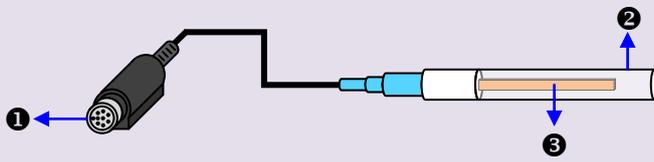
### 33mA 保險絲

- ① 插子
- ② 保險絲



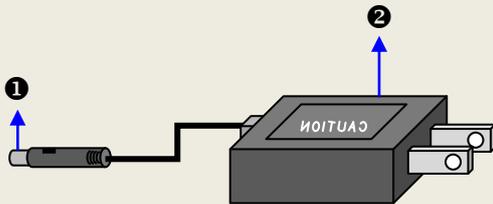
### 高斯計

- ① 功能選擇鈕
- ② 電源按鈕
- ③ DC 電源線插孔
- ④ 選擇鈕
- ⑤ 探棒插孔
- ⑥ 自動量測鈕
- ⑦ 手動選擇鈕



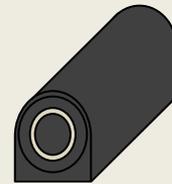
### 高斯計探棒

- ① 訊號連接插頭
- ② 保護套
- ③ 探棒



### 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