

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

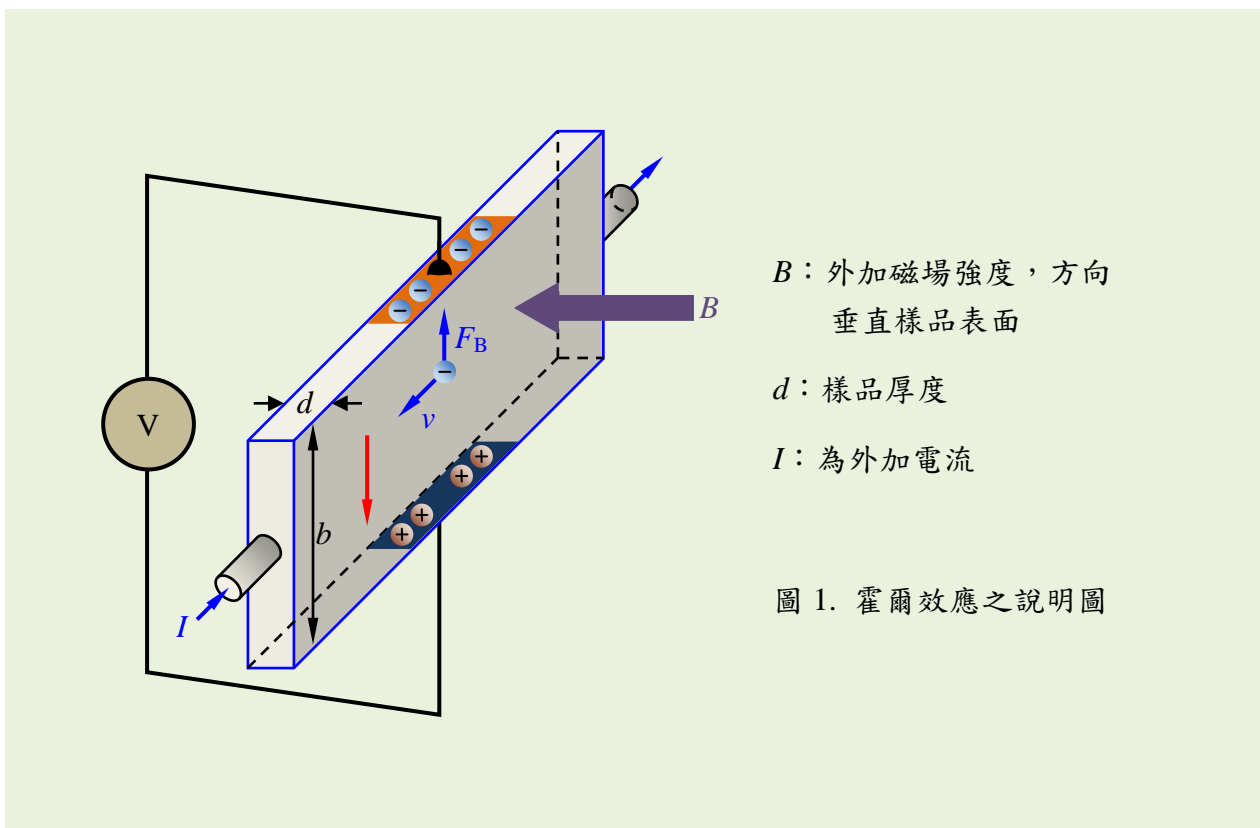
$$I = qbdnv$$

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。

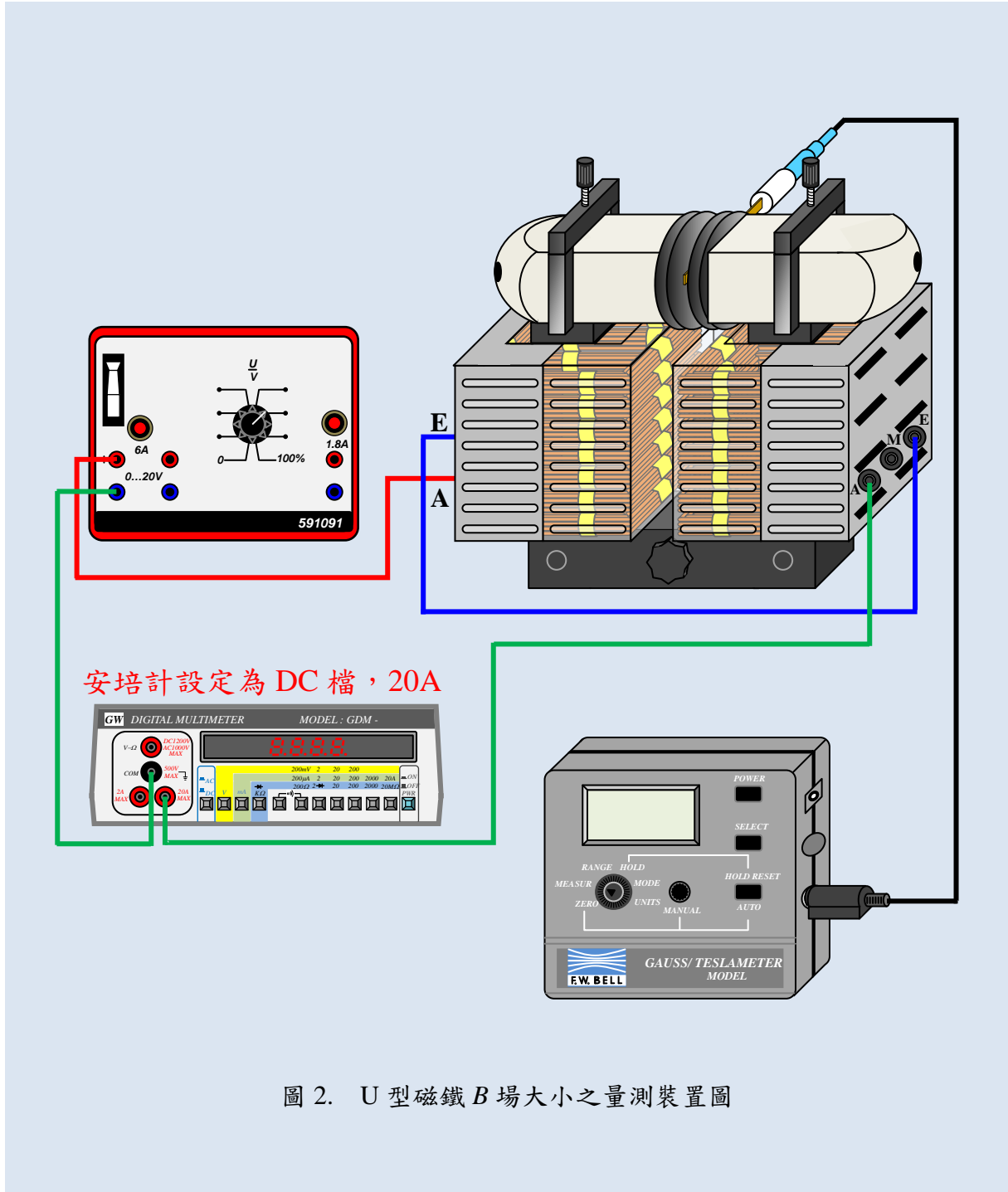


圖 2. U 型磁鐵 B 場大小之量測裝置圖

- (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。

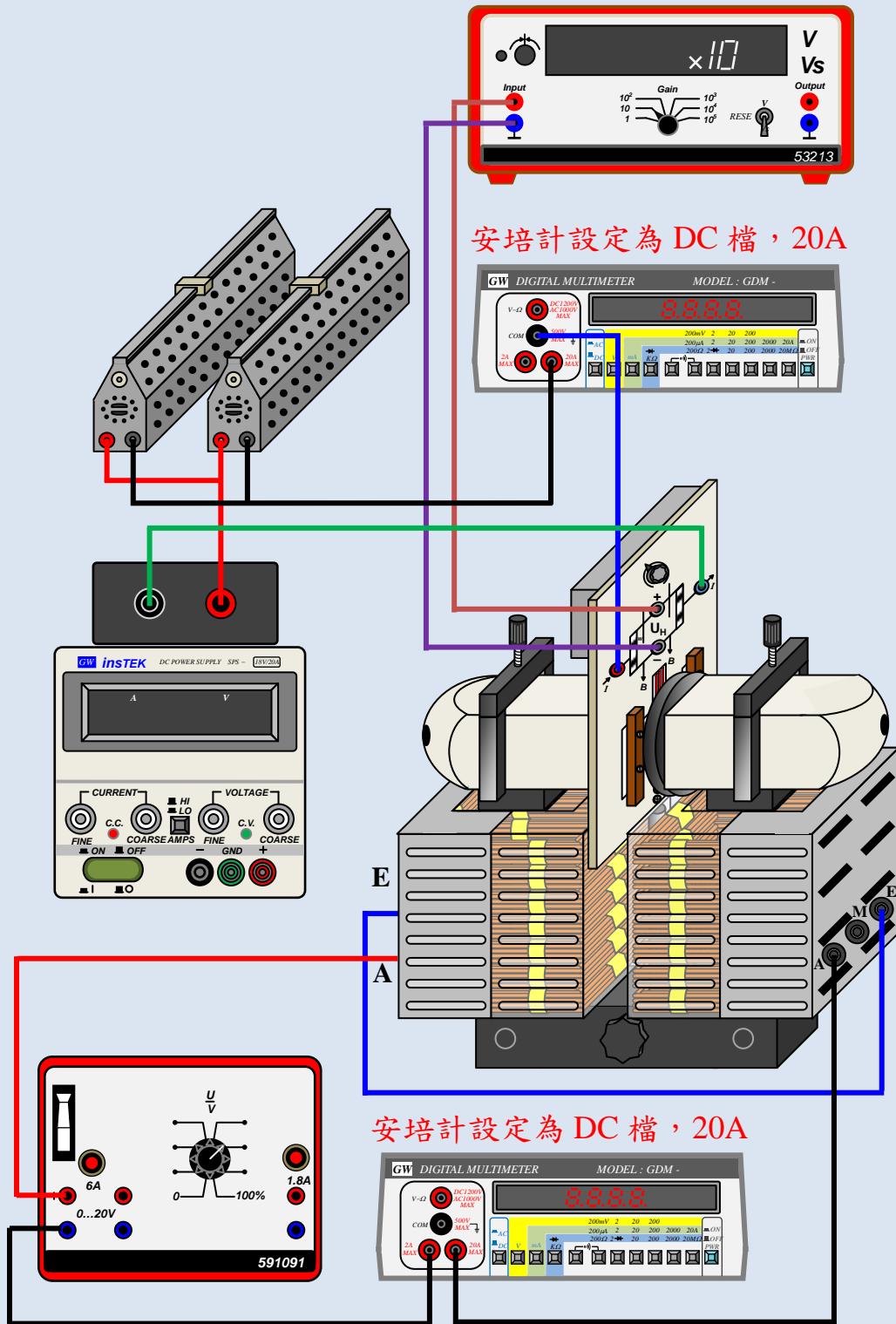


圖 3. 霍耳效應配件 (Ag) 實驗裝置圖

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

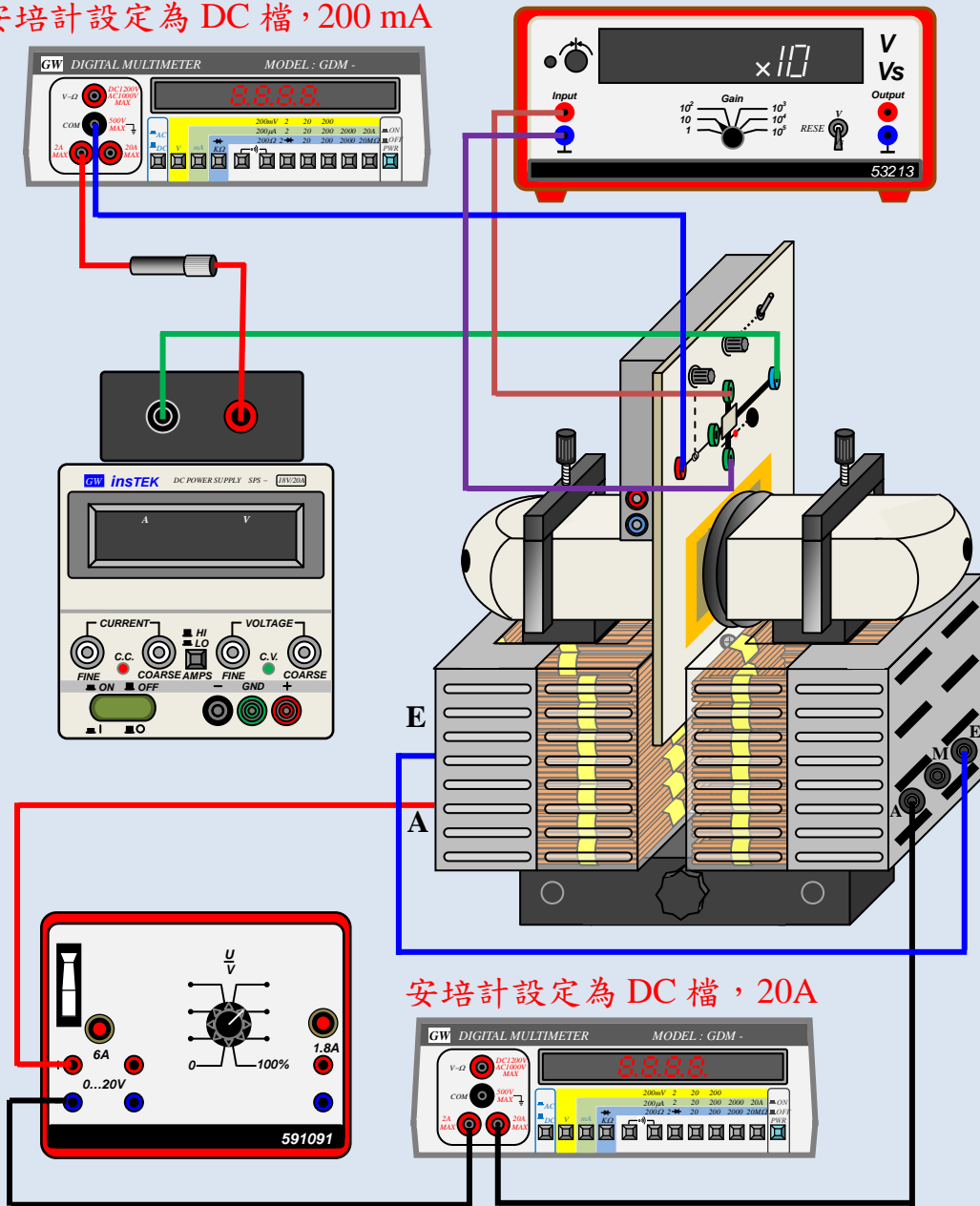


圖 4. 霍耳效應配件 (Ge) 實驗裝置圖

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 (μ 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 (μ 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

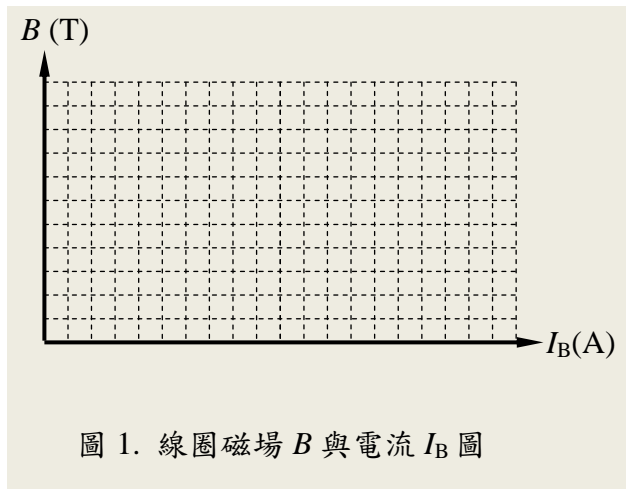


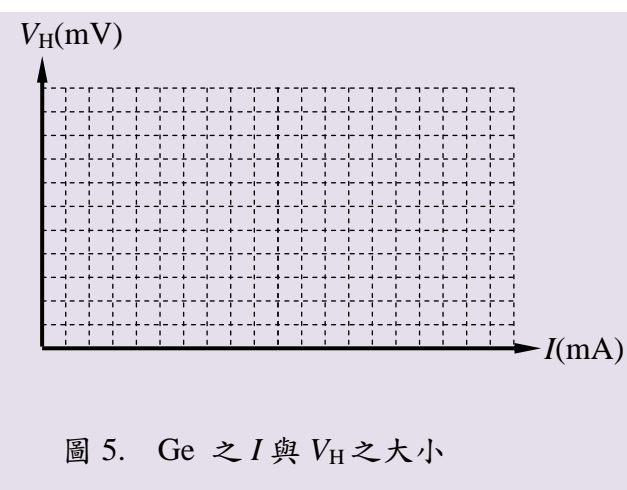
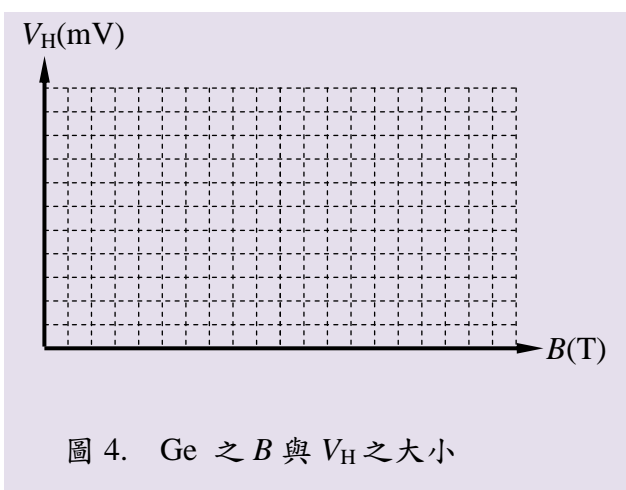
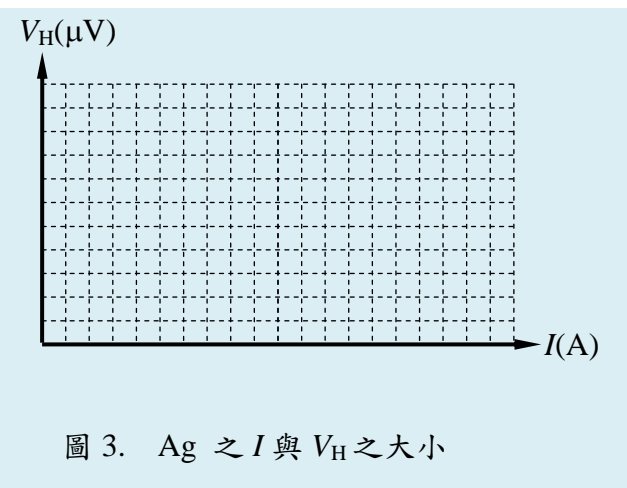
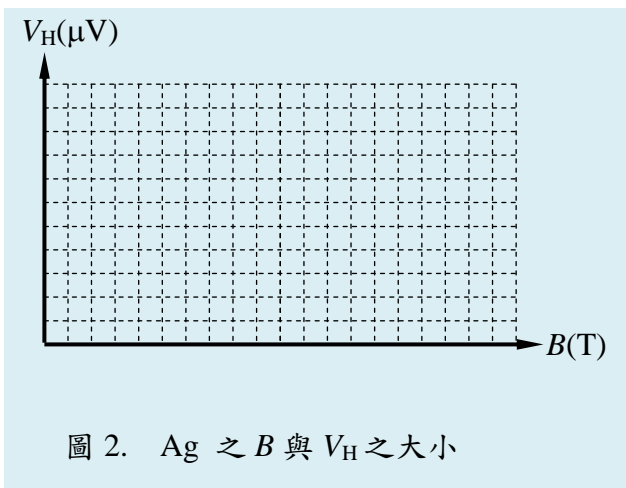
圖 1 之斜率為 _____ (T/A)。

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)。

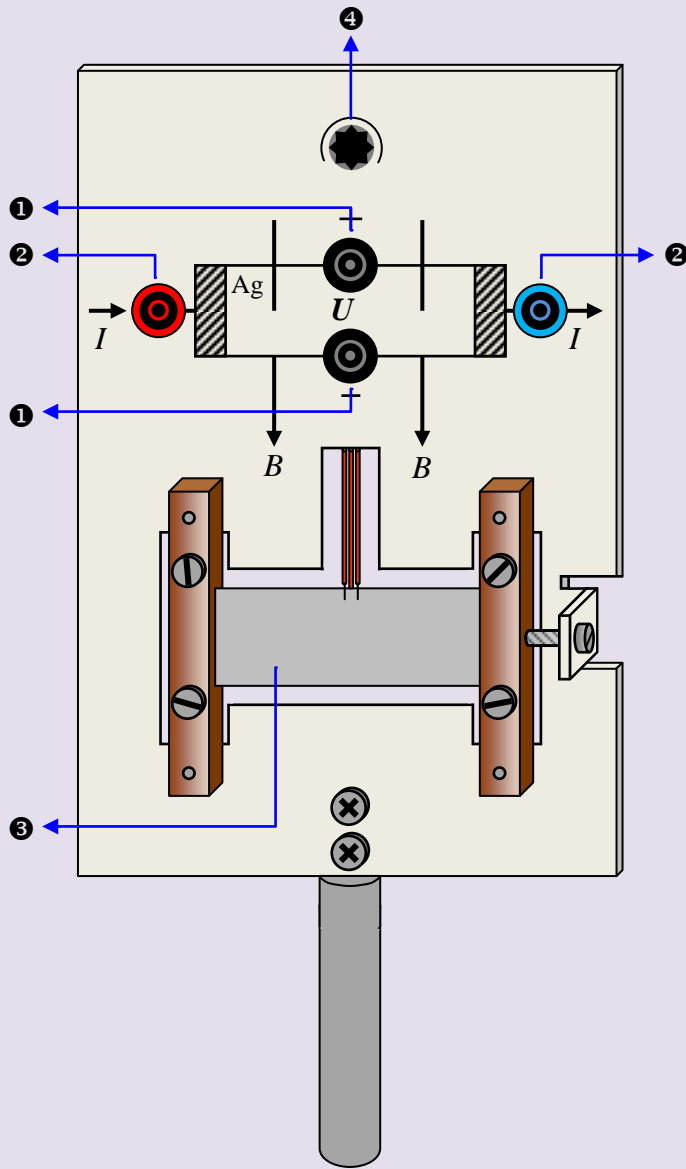


問題：

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)

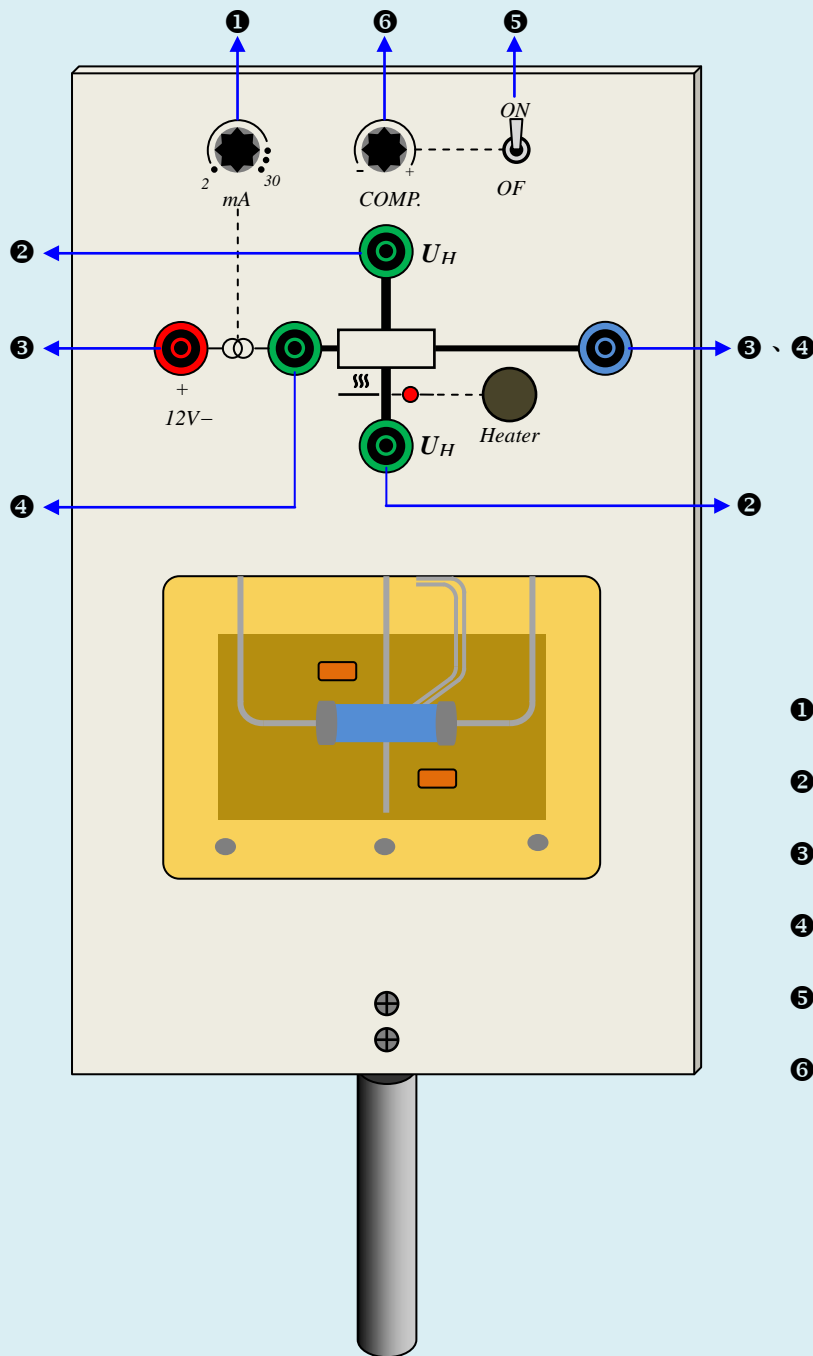
2. 根據圖 2~4 分別計算銀金屬與鍺半導體的載子濃度。(Ag 金屬片厚度 $d = 5 \times 10^{-3}$ m，
Ge 厚度 $d = 1 \times 10^{-3}$ m)

附錄 I



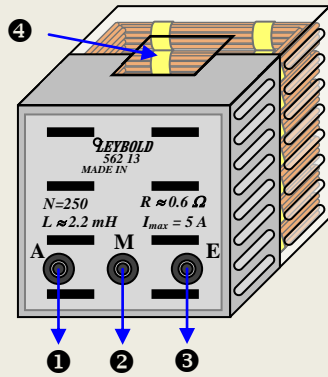
霍耳效應配件 (Ag)

- 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



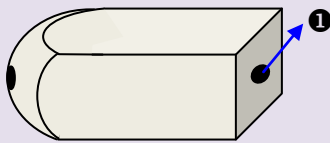
霍耳效應配件 (Ge)

- 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



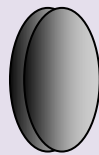
線圈：

- 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

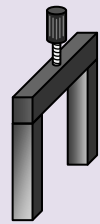


柱狀鐵心

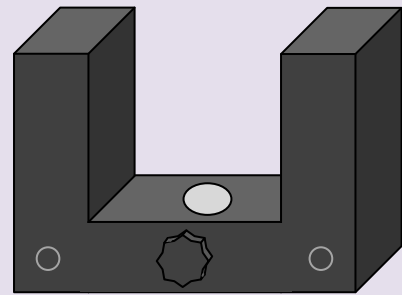
- ① 圓盤插入孔



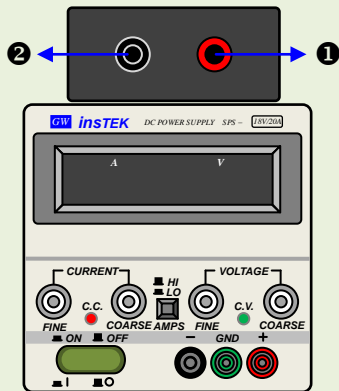
圓盤



柱狀鐵心
固定夾

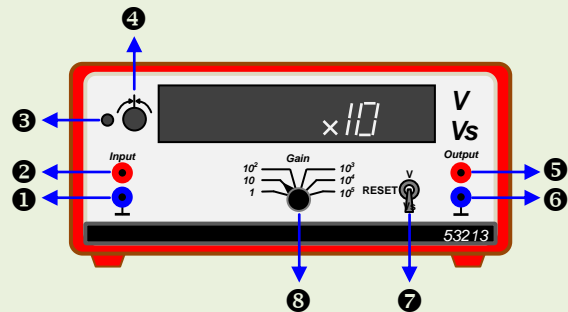


U 型鐵心



inSTEK 直流電源

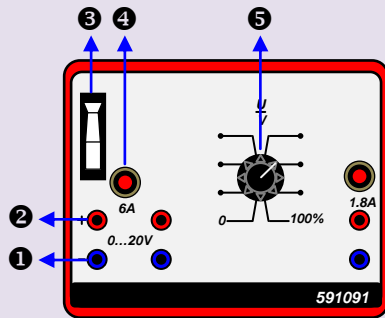
- ① “+” 輸出插孔
- ② “-” 輸出插孔



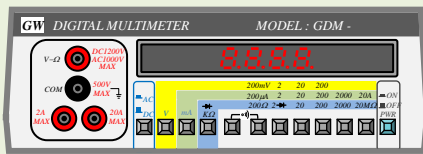
微伏計

- 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

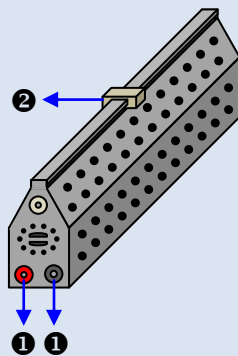
LH 電源供應器



- 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

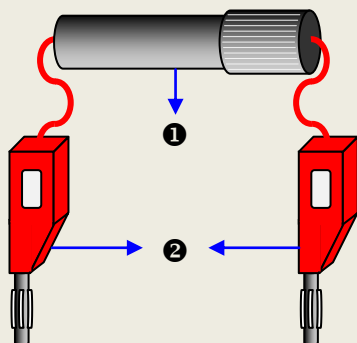


數位式三用電表



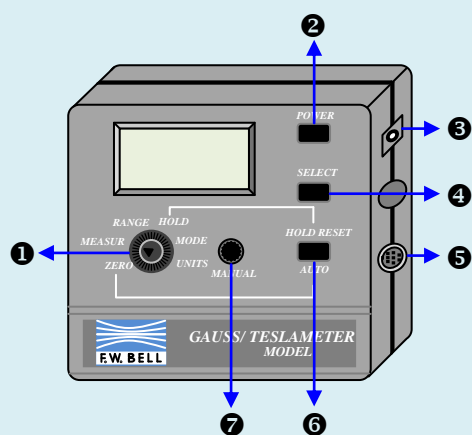
可變電阻

- ① 導線插孔
- ② 電阻變化滑扭



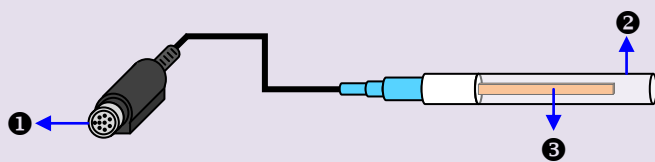
33mA 保險絲

- ① 插子
- ② 保險絲



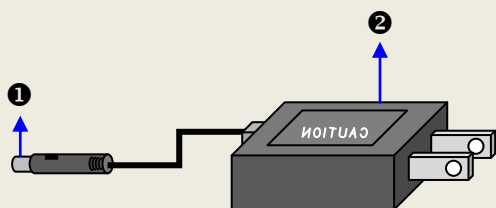
高斯計

- 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



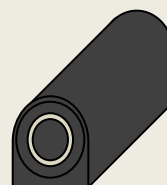
高斯計探棒

- 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