

教育部審定

五年制工業專科學校適用

電子實習

三民書局印行 / 周錦惠著

電 子 實 習

(二)

周 錦 惠 著

學歷：臺北工專電機工程科畢業

現職：臺北工專電機工程科專任教授

兼實習組主任

三 民 書 局 印 行

編輯大意

- 一、本書係遵照教育部六十五年所頒佈，五年制工專專科學校電子科電子實習課程標準，編輯而成。除供五年制工專電子工程科教學之用外，並可供電子從業人員參考。
- 二、本書共分十三冊，前七冊為數位系統組及應用電子組所必需共同修習之課程，第一冊包括手工具及電子儀器等實習，適於第二學年上學期用。第二冊包括二極體之測量及線路之應用等實習，適於第二學年下學期用。第三冊包括電晶體特性測量放大電路及場效電晶體特性測量、偏壓電路等實習，適於第三學年上學期用。第四冊包括場效電晶體放大電路及同相放大電路及電源給器等實習，適於第三學年下學期用。第五冊包括脈波電路及線性積體電路等實習，適於第四學年上學期用。第六冊為電子零件檢驗實習，第七冊為數位系統原理實習，此兩冊適於第四學年下學期用；第五學年因兩組性質之不同，課程內容亦不同，第八冊包括各種大型積體電路及數位儀器之實習製作，適於數位系統組，第五學年上學期用。第九冊為電視機電路之調整實習、第十冊為音響器材實習，此兩冊適於應用電子組第五學年上學期用。第十一冊包括微算機程式及小型系統之設計等實習，適於數位系統組第五學年下學期用。第十二冊包括各種工程規格之試驗及電視機之測試、檢修等實習，第十三冊包括閘流體之特性實驗，及其基本電路、應用電路等實習，此兩冊適於應用電子組第五學年下學期用。
- 三、本書第一冊中共有三十項實習，為配合教學時數，茲將其分為下列十三個單元，每週教授一單元，以供教師參考：
實習一～四，實習五～六，實習七～九，實習十～十三，實習十四～十六，實習十七，實習十八，實習十九～二十，實習二十一～二十三，實習二十四～二十五，實習二十六～二十七，實習二十八～二十九，實習三十等十三個單元。
- 四、本書各實習皆儘量選用價廉且普遍之器材來完成之，故得以有限之經濟來達成優良之教學效果。

Handwritten signature/initials and date: 1/9

2 電 子 實 習

- 五、本書各實習皆列有問題及研討，俾使讀者加以研討，以漸達到融會貫通。
- 六、本書內容之選擇及編排，除根據編者教學經驗及參考國內外之最新書刊外，並得郭廷偉先生之謄稿、繪圖而得以完成，謹致謝忱。
- 七、本書係利用課餘之暇，於倉促中編輯而成，疏漏之處在所難免，敬盼諸先進及讀者隨時惠予指正，俾再版時得以訂正。

編者謹識

電子實習(二)目錄

實習一	二極體性質之判別	1
實習二	二極體直流特性之測量	10
實習三	二極體端電壓及溫度變化之關係	17
實習四	二極體電容量之測量	22
實習五	變容二極體	26
實習六	二極體交換時間之測量	34
實習七	二極體半波整流電路	38
實習八	二極體全波整流電路	42
實習九	濾波電路	47
實習十	檢波器	57
實習十一	倍壓器	65
實習十二	二極體之剪截電路與箝位電路	70
實習十三	積納二極體特性之測量及線路之應用	81
實習十四	透納二極體	86
實習十五	半導體曲線追跡器	103

實習一 二極體性質之判別

〔目 的〕

1. 瞭解 $P-N$ 二極體之整流性質，及認識其符號標示。
2. 應用三用電表來判定 $P-N$ 二極體之好壞，並找出 P 端及 N 端。
3. 應用三用電表來測出 $P-N$ 二極體之原子結構屬鍺或矽二極體。

〔器 材〕

1. 三用電表兩只。
2. 電阻 $5 K\Omega$ 若干。
3. 二極體若干。
4. 電池。
5. 電解電容一只（大於 $15WV$ ）。

〔原理說明〕

欲瞭解 $P-N$ 二極體之整流性質，需先對最常用之半導體物質鍺（Ge）與矽（Si）有一概括認識。

當我們檢視一鍺原子時，將發現其原子核中含有32個質子。此原子在正常狀態時，有32個電



圖 1-1 鍺及矽原子內的電子軌道

2 電 子 實 習

子最繞着原子核旋轉，且其分配之情況如圖1-1(a)所示。中心為原子核，有32個質子，旋轉之電子分配於不同之殼層，依次為 2, 8, 18, 4 (旋轉電子可依 $2n^2$ 來分配， n 為殼層數；亦即第一殼層為 2×1^2 個電子，第二殼層為 2×2^2 個電子，第三殼層為 2×3^2 個電子，依此類推，而其最後剩餘之電子即於最外殼層。)，故為四價元素。

在檢視一單獨矽原子時，將發現其原子核中有14個質子，故在正常狀態下，有14個旋轉電子圍繞其旋轉，且其分配依次為 2, 8, 4，如圖1-1(b)所示，故亦為四價元素。

在物理實驗中得知，原子核之外部殼層電子需為八個電子才能穩定；故鍺與矽之單獨原子，其外部殼層僅四個電子，欲得穩定需與鄰近之原子相連結，如圖 1-2 所示。

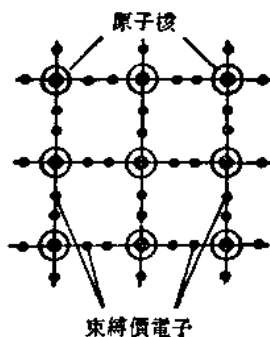


圖 1-2 矽與鍺原子

一旦外部殼層含有八個電子，則這些電子被原子緊密束縛著，若不施加外力，將無法逃脫。若在鍺或矽中摻入雜質，如磷、砷、銻等五價元素，即形成圖 1-3 所示。此中心之原子，其

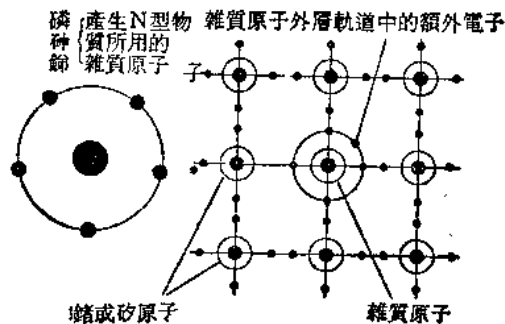


圖 1-3 n型半導體及所用雜質的原子內的電子軌道

外部殼層原先有五個電子，而今與四個相鄰之鎢或矽原子共有外部殼層之四個電子，故每一砷原子外部殼層除了八個束縛電子外，尚餘一額外電子成為自由電子。因而知，控制所加入砷原子之數量，即可控制摻雜於晶體內之自由電子數量。

上圖所示，亦即為一 n 型半導體，其自由電子較電洞 (hole) 為多，通常設電子為多數載子 (majority carriers)，電洞為少數載子 (minority carriers)。

若在鎢或矽中摻入雜質，如硼、鋁、鎂等三價元素，便形成圖 1-4 所示。此雜質原子之外部殼層僅有七個電子，故其雜質原子之外部殼層有一電洞。因而知，控制加入雜質之數量，便能控制晶體內之電洞數量。

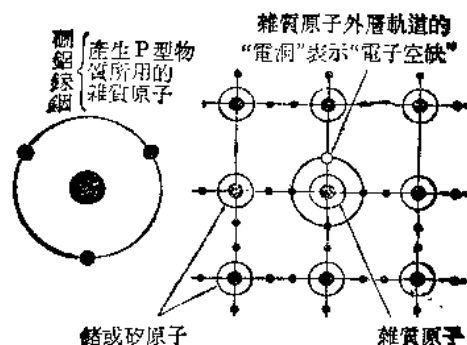


圖 1-4 p 型半導體及所用雜質的原子內的電子軌道

上圖所示，亦即為一 P 型半導體，其電洞較自由電子為多，故電洞為多數載子，自由電子為少數載子。

若將電池加於純鎢晶體之兩端，在溫度為絕對零度時，電路中無電流，因為所有電子被晶體中之原子緊密束縛著，而使晶體內無自由電子之故，所以在絕對零度時鎢晶體為絕緣體。

當溫度上升時，鎢晶體吸收熱能，而釋放一些外部殼層電子，這些電子可自由移動，即自由電子。其受到外加電池之影響，向電池之正端移動，產生電流。若溫度增加更高，則有更多之電子由外部殼層釋放出來，結果產生更大之電流。

矽晶體之電流產生與鎢晶體相同。惟矽之外部殼層電子較鎢束縛得緊，故矽原子較鎢原子需要較多之熱能才能釋放出外部殼層電子。

4 電 子 實 習

電洞之移動，如圖 1-5 所示，最右邊有一單一之電洞，其緊鄰位置 A 處為一束縛電子，此束縛電子受電洞之吸引，移向電洞，故原有電洞消失，而 A 處形成一新電洞。此新電洞再吸引、捕捉鄰近 B 處之束縛電子，因而 A 處之電洞消失， B 處產生一新電洞，如此循箭頭所示移動，電子由一原子移至另一原子；其移動之方向恰與束縛電子相反。

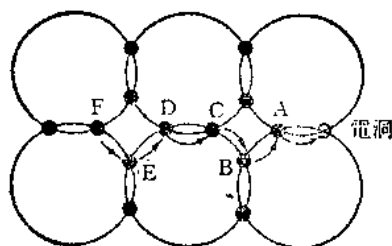


圖 1-5 電洞的移動

若將電池加於純半導體之兩端，則由熱所產生之電洞與自由電子受電池之影響，自由電子移向電池之正端，電洞移向電池之負端。如圖 1-6 所示。

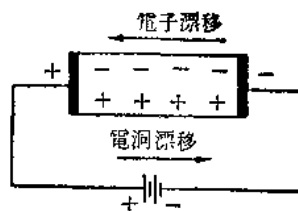


圖 1-6 外加了電壓的純半導體

上圖中，當自由電子到達半導體左端，即為金屬板所吸收，進入電池正端，且自由電子由電池負端注入半導體右端，而形成一連續之自由電子活動；當電洞到達半導體右端，電池中之電子即與之結合，成為束縛電子，且在晶體內部由熱能產生新電洞，而形成一連續電洞移動。

當 P 型物質與 N 型物質接合在一起時，如圖 1-7 所示。

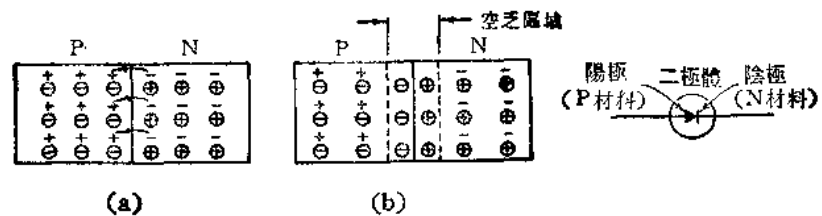
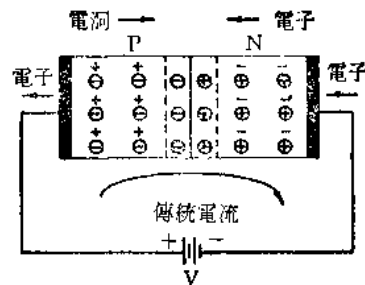


圖 1-7 P-N二極體結合之說明圖

圖1-7(a)中， P 型半導體有較多之電洞，而 N 型半導體有較多之自由電子，當 P - N 半導體結合時，電子和電洞相互吸引； P 型半導體之電洞移至 N 型半導體， N 型半導體之電子移至 P 型半導體，彼此中和，故使 P 型及 N 型半導體之接合面各呈現負及正電性。此一甚窄之區域，稱為空乏區域 (depletion region)，如圖1-7(b)所示。而 P 型半導體之負電性排斥隨後欲穿過接合面之電子， N 型半導體之正電性亦排斥隨後欲穿過接合面之電洞，結果有一電位差產生，此接合面之電位差稱為障壁電勢 (barrier potential)，在室溫下，鎢之障壁電勢約為0.3伏特，矽約為0.7伏特。

若將電池加於 P - N 二極體之兩端，如圖1-8所示（ P 端與電池之正極相接， N 端與電池之負極相接）。


 圖 1-8 順向偏壓的 P - N 二極體

上圖之外加電壓之正端驅使 P 之電洞移向接合面；而電池之電壓大於障壁電勢時， P 之電洞始能通過接合面。同理，電池負端亦驅使 N 之電子移向接合面；而電池之電壓大至克服障壁電勢時， N 之電子始能通過接合面，造成大電流流經 P - N 接合面。

若將電池反接時，如圖 1-9 所示（ P 端與電池負端相接， N 端與電池之正端相接）。

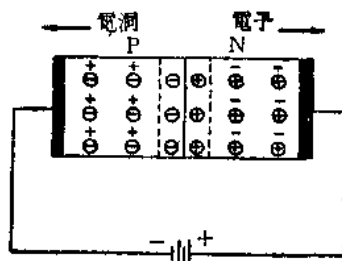


圖 1-9 逆向偏壓的 $P-N$ 二極體

上圖中，電池幫助障壁電勢，阻止 P 之電洞移向接合面，而朝反方向移動；同理， N 之電子亦朝接合面之反方向移動，故空乏區域加寬，更阻止電子及電洞通過，因而無電流通過。

〔程序及記錄〕

（一）以三用電表來判別 $P-N$ 二極體之好壞，及找出 P 端、 N 端。

1. 將三用電表之選擇開關置於 $R \times 100$ 之位置，並歸零。
2. 將黑色測試棒與二極體之 P 端觸接，紅色測試棒與 N 端觸接，此刻之電阻值指數應甚小。

如圖 1-10 所示。

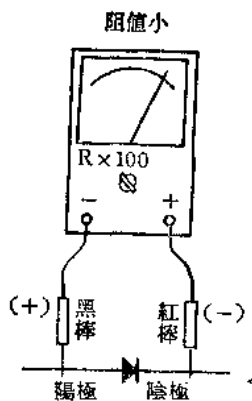


圖 1-10 二極體好壞之判別

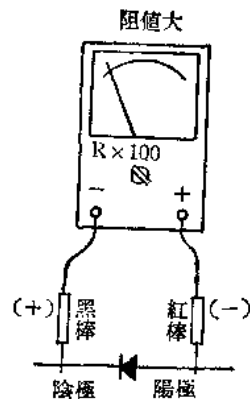


圖 1-11 二極體好壞之判別

3. 將三用電表歸零，且測試棒反接（即紅色測試棒與 P 端觸接，黑色測試棒與 N 端觸接），此刻之電阻值指數應甚大。

此需注意，本國及日製三用電表於測試電阻時，黑棒接電池正壓，紅棒接電池負壓，但 *RCA* *WV-519A* 三用電表恰好相反，紅棒接正壓而黑棒接負壓。

4. 由程序 2 及 3 所得可判定 $P-N$ 二極體之好壞，兩電阻值相差愈大則示其性能愈佳。

5. 設若二極體之 P 端及 N 端為未知時：

(1) 將三用電表選擇開關置於 $R \times 100$ 之位，並歸零。

(2) 將兩測試棒任意與二極體兩端觸接，觀察此刻之電阻值指數為甚大或甚小。

(3) 將兩測試棒反接之，此刻之電阻值指數若反之（程序 (2) 所得為甚大變為甚小，程序 (2) 所得為甚小變為甚大。），則此二極體為良好的；若電阻值之指數仍與程序 (2) 相近（同為甚大或甚小。），則示此二極體為不良的。

(4) 若二極體為優良的，且電阻值指數為甚小時，則黑棒所觸接的一端為 P ，紅棒所觸接的一端為 N （此以日製為例，若所用三用電表為 *RCA*，則所得反之。）。

(二) 判別 $P-N$ 二極體屬鍺或矽二極體

第一種測試法：

1. 電池電壓 E 或可用 $6.3V$ 經整流濾波而得，如圖 1-12 所示連接之。(a) 圖虛線即為整流濾波電路。

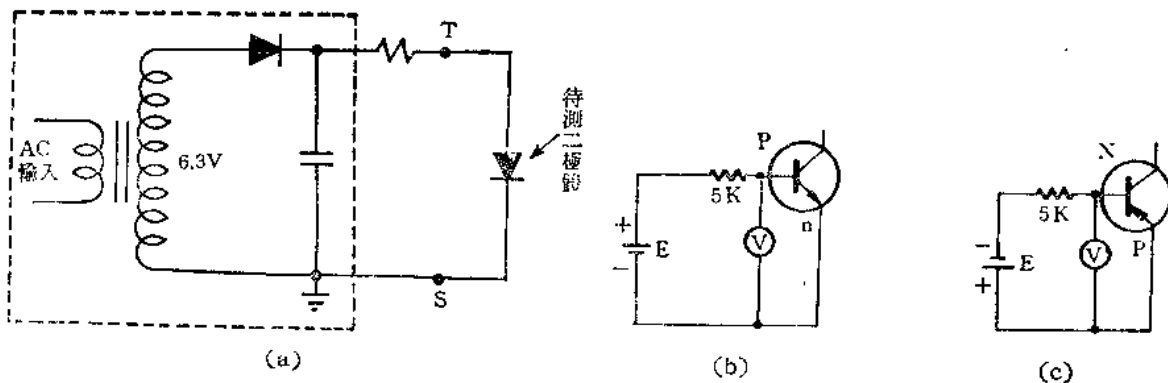


圖 1-12 鍺或矽二極體的判別

2. 將三用電表之選擇開關置於 DCV 最低檔，紅測試棒接於 T 點，黑測試棒接於 S 點。
3. 讀取電表之電壓值，若為 0.7 伏特左右，則為矽二極體；若為 0.2 伏特左右，則為鍺二極體。

(TR 可用 $2SA$, $2SB$ 類之鍺晶體，矽晶體可用 $CE4002$, $CE4003$, 或 $CS9012$, $CS9013$)。

第二種測試法：

1. 應用三用電表 $L_V/L_I = \Omega$, L_V 為負載兩端之電壓，此刻負載為 $P-N$ 二極體。

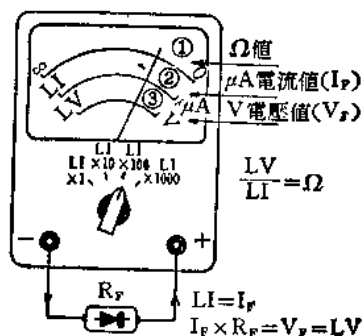


圖 1-13 鍺或矽二極體的判別

2. 三用電表選擇開關置於 $R \times 100$ ，如圖 1-13 所示，加順向偏壓至 $P-N$ 二極體，若指針止於 $L_V 0.7V$ 左右，則為矽晶體。若指針止於 $0.2V$ 左右，則為鍺晶體。
3. 若三用電表無 L_V 刻度時，可用如圖 1-14 所示連接之。 VOM_1 選擇開關置於 $R \times 100$ 之位置， VOM_2 選擇開關置於 DCV 最低檔位置。

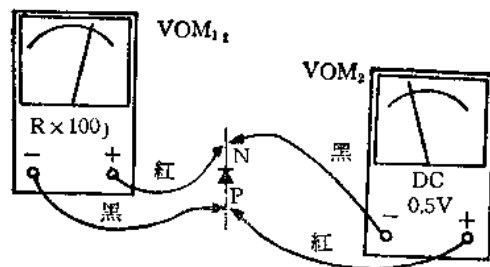


圖 1-14 鍺或矽二極體的判別

4. 讀取 VOM_2 之指數，若為 $0.7V$ 左右時，則為矽晶體。若為 $0.2V$ 左右時，則為鎢晶體。

〔問題及研討〕

1. 試比較 P 型鎢與 N 型鎢有何不同？
2. 試述如何判別二極體之好壞？
3. 何謂多數載子、少數載子？
4. 試將三用電表使用時，所需注意事項一一列述之。

實習二 二極體直流特性之測量

〔目 的〕

1. 瞭解二極體電壓與電流之關係。
2. 熟識如何應用三用電表來測出二極體之電壓——電流特性曲線。
3. 熟識如何應用示波器來觀測二極體之電壓——電流特性曲線。

〔器 材〕

1. 三用電表兩只。
2. 電池組。
3. 電位器 $10K\Omega$ 一只。
4. 二極體兩只。
5. 示波器一部。
6. 電阻 (100Ω , $2.2K\Omega$)。

〔原理說明〕

由鎢或矽所製成之二極體皆具有整流之特性，意即加順向偏壓時，二極體有良好的導電性；加逆向偏壓時，二極體之導電性極差，故二極體具有單向導電之特性。

如圖 2-1(a) 中，若調整電池之電壓為 0 伏特，則二極體內無電流。當電池之電壓漸漸增加時，電流始通過二極體，此刻之電壓即為起始電壓，約在 0.7 伏特左右（鎢之起始電壓在 0.3 伏特左右），此後電壓繼續增加，則電流快速增加，如圖 2-1(b) 縱坐標右邊所示。

若電池反接，如圖 2-2 所示，此刻因 P 型中有小量電子，而 N 型中有小量電洞，故仍有極少量之電流流通，此微量電流即為漏電電流，其大小與雜質摻雜程度及溫度有關。若漏電電流以

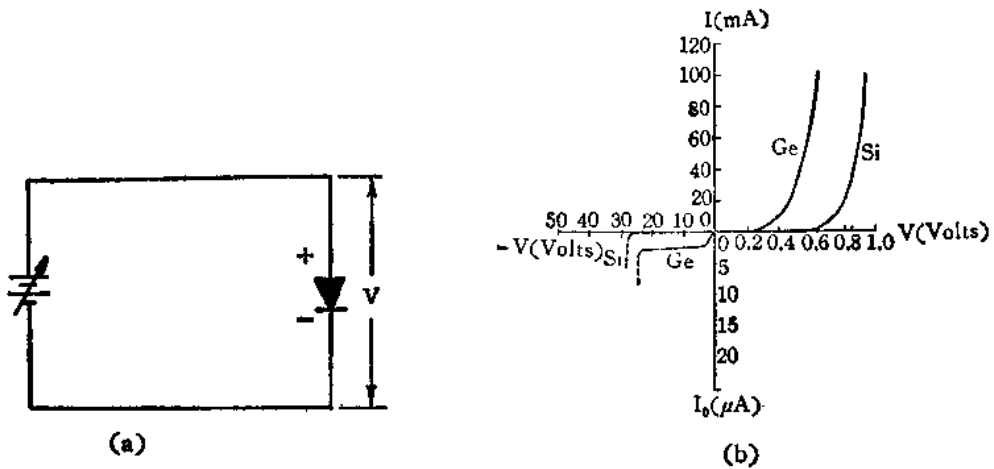


圖 2-1 二極體特性曲線

I_{oo} 表之，鎢半導體之溫度每增加 10°C ， I_{oo} 約增加一倍；矽半導體之溫度每增加 6°C ， I_{oo} 約增加一倍。

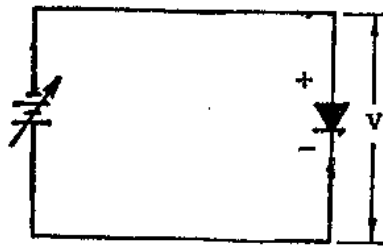


圖 2-2 逆向偏壓的二極體

上圖中，當電池電壓加至足夠之逆向電壓時，二極體電流開始急速增加，如圖 2-1(b) 縱坐標左邊所示，此刻之電壓即為崩潰電壓。

〔程序及記錄〕

(一) 應用電壓表及電流表來測量電壓與電流

1. 如圖 2-3 所示連接之。且電池電壓亦可如圖 1-12(a)，由 $AC6.3V$ 經整流濾波供給。