

半導體管 基本知識



大 光 出 版 社

半 導 體 管 基 本 知 識

譚 炳 桓 編 著

大 光 出 版 社 出 版

半 導 體 管 基 本 知 識

編 著 者： 譚 炳 恒

出 版 者： 大 光 出 版 社
香 港 馬 寶 道 六 十 四 號

印 刷 者： 嶺 南 印 刷 公 司
香 港 西 環 西 安 里 十 三 號

定 價 七 元

一 九 六 六 年 十 二 月 初 版

一 九 七 八 年 三 月 六 版

版 權 所 有 · 翻 印 必 究

前 言

本書的內容，除了將曾在“電聲版”發表過的稿件，重新校訂、修改編入本書之外，還增添許多未及在該欄發表的材料，俾涉及的範圍較為完整、全面。

本書各章、節談及的內容，務求理論與實踐相結合，盡量避免對某個問題只作空泛論述，使大家對各個問題知道其本末！

坦白說，我對半導體說不上有什麼研究，正所謂學淺才疏，本書所綜合的經驗和素材，可以肯定，謬誤錯漏地方，實屬難免，厚望老前輩與讀者們，不吝指正，幸甚。

並在這兒，謹向關懷與鼓勵我的朋友們致以萬二分敬意！

目 次

一、半導體管概說

電子管的強力對手——半導體管	1
「半導」釋義	4
什麼是半導體元素	7
半導體的導電方式	9
何謂PN結	12
半導體二極管	14
半導體三極管的認識	16
半導體三極管如何工作	19

二、基本放大電路

怎樣將訊號電壓放大	22
放大電路中的增益	24
基極接地電路	28
發射極接地電路	30
集電極接地電路	33
放大電路中的偏壓電路	35

三、放大電路的交連法

電阻—電容器交連	41
變壓器交連	44

直接交連.....	47
扼流圈—電容器交連.....	50
四、低頻和功率放大電路	
變壓器交連低頻放大電路.....	52
甲類放大電路.....	56
乙類放大電路.....	57
五、振盪電路	
什麼是振盪.....	62
哈脫萊振盪電路.....	67
考畢子振盪電路.....	68
晶體控制振盪電路.....	72
間歇振盪電路.....	73
多諧波振盪電路.....	75
相位偏移振盪電路.....	77
六、接收機常用電路	
配諧與耦合.....	79
磁性天綫與接收效率.....	81
變頻電路.....	85
混頻電路.....	91
中頻放大電路.....	93
中放電路的中和問題.....	95
二極管檢波電路.....	99
倍壓檢波電路.....	101
三極管檢波電路.....	104
來復電路.....	106

自動增益控制.....	109
控制基極偏流法.....	110
控制發射極電路法.....	115
輔助自動增益控制.....	117
音量、音調控制電路.....	119
音量控制.....	119
高音控制電路.....	121
低音控制電路.....	122
高、低音控制電路.....	123
七、半導體管檢驗法.....	125

一 半導體管概說

電子管的強力對手——半導體管

半導體三極管 (TRANSISTOR) 之被廣泛地利用，從發明到現在，只是近十幾年間的事；雖然，礙於物理上某些限制，半導體管未能全部替代電子管，而半導體管之備受歡迎採用，或與電子管共同被採納用於某一電路，已是常見之事實，故此，在無線電工程和電子學技術中，半導體管已佔去了一個廣闊的領域！

半導體管驟然之間成為電子管的強力對手，半導體管本身具有的優點是主要條件！

說起半導體管的優點，應以一個“對立面”作比較，不然，就談不上有什麼好處，及其好處達到什麼程度，既然半導體管的對手是電子管，那麼兩相比較，半導體管是有許多優點的。

第一、半導體管的體積特別小。以一般常用的小型電子管作比較，不計該電子管伸出來的管腳（參看圖 1），其高度約為二吋，直徑約為一時；超小型電子管的體積，較為細些，其高度亦有時半，直徑則近乎半吋；就拿這些資料來比較普通的半導體管，以 2SB54 而言，其高度只有八分之三吋，直

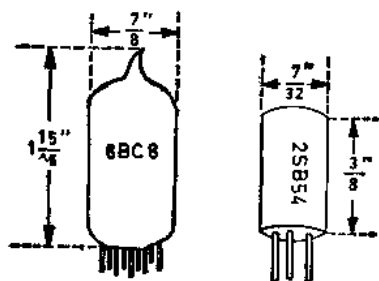


圖 1

徑則為四分之一吋左右，應用起來，半導體管比電子管在機板（或稱底板）上佔很小面積，半導體管機遂能做到精巧、細小！

第二、半導體管結構堅固。半導體管只是一塊微小的晶體，製成之後，用外壳罩住，這個外壳，有用塑料製成，有用金屬製成，不像電子管的外壳（大多數用玻璃），容易擊破或受外力強烈振盪而破裂。

電子管需要將管內的空氣全部抽出（俗稱真空管，其理在此），電子方能工作，該電子管一旦破裂之後或洩了氣，便跟普通的燈泡一樣，不能再用；半導體管却沒有這種弊病，除了本身結構堅固，罩內不需保持真空。

第三、半導體管沒有絲極，耗電量較少。單以這點，比起電子管，確優勝得多。電子管利用絲極發熱，才能在本身——直熱式，或陰極——旁熱式（參看圖 2、3）放射電子，殊不知只利用熱而取得

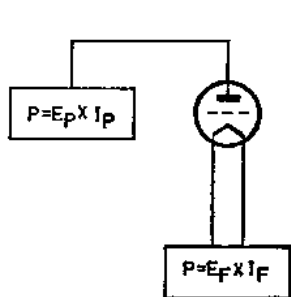


圖 2

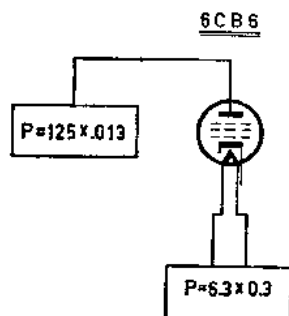


圖 3

放射電子這個關係，本身已耗去了好些電能。以電子管 6CB6 為例，該管的絲極電壓 6.3V，電流為 0.3A，這兩個數的乘積，就是該電子管的絲極消耗功率，計算結果，有 1.89 瓦特；加上電子管在工作時，屏極要有一個相當電壓，同樣以 6CB6 來說明，作甲類放大時，該管的屏極電壓為 125V，屏流是 13mA；這說明其屏極耗電功率亦不

小 ($125 \times 0.013 = 1.625$ 瓦特), 單從這兩個耗電量而看, 足以清楚地說明了電子管本身的耗電量是何等大了。

反過來, 半導體管既沒有絲極 (參看圖 4), 相當於電子管屏極的集電極 (COLLECTOR), 其耗電功率甚小, 按照圖 4 所提供的數值, 約為 0.018 瓦特, 故此, 半導體管極之適合工作於低電壓, 且沒有電子管機常見的現象, 接通開關, 仍要等待電子管燈絲點熱, 方可正常工作, 半導體管機, 只需將開關接通即立刻工作。

綜上所述, 並在電子管機和半導體管機中發現: 電子管機, 每隻電子管皆有一個管座; 半導體管機, 全部半導體管皆直接銲在電路上, 省却了半導體管插座。

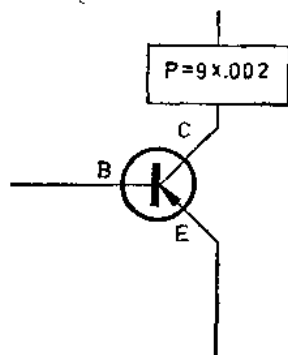


圖 4

這點, 在經濟價值上, 故然可減輕成本。其主要因素, 因為半導體管沒有絲極, 不需顧慮到絲極燒斷而用新的替換; 並且不會恐防洩氣或受過分振動而將外壳碰毀等現象, 這就造成半導體管的壽命較長, 並不需要常常掉換新半導體管, 致使其插座方可省却。

當然, 半導體管並非只有優點絕無缺點, 最明顯的, 半導體管輸出的功率, 比電子管小, 噪音度 (NOISE FIGURE) 比電子管大, 特別是在低

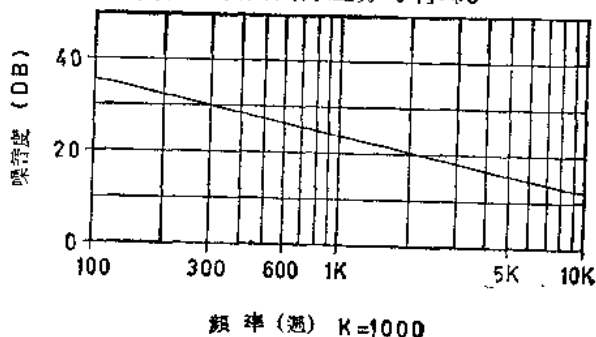


圖 5

頻方面（圖5）更加顯著，半導體管的噪音度是跟頻率成反比，頻率高，噪音度小；頻率低，噪音度大，依據圖5頻率跟噪音度的關係，選取1000週這個頻率為例，普通接合型半導體三極管，其噪音度達到23db；而以電子管6AG5來比較，工作在同樣頻率，噪音度只有3db。

此外，另一重要缺點，是半導體管本身的特性，極受溫度影響，其周圍工作溫度增加，半導體管的極間漏電現象便增大，遂使它的特性立刻遭受變化，造成在工作時產生不穩定現象。

“半導”釋義

記得半導體管機初次在香港露面，有位朋友這樣問我：“香港人係得嘅，這種新出的半導體收音機，他們不稱半導體機，而叫原子粒機，都算好嘢嘅！”

我當時回答：“因為香港地太多原子乜、原子物，新出這種收音機，所用的半導體管，其體積甚小，特神乎其名，比作原子粒罷了！”

現在回想起來，觸及這個問題，也許大家亦有同感，何以半導體管這種物體不稱一導二導、甚至九導十導，而稱“半導”呢？

對了，讓我們暫時將有關半導體管的主題撇開，斷章取義地解釋一下關於「半導」問題。顧名思義，按字面解釋，“半導”含義，即一半可通，另一半則不通之謂。實際上不然，雖然半導體（SEMICONDUCTOR）原文與中譯皆稱“半導”，似乎不無犯了些微語病。實際上半導體這種物體，不是半導，而是“單向導”。

舉例說明，當我們加施一個電池在半導體之上，電池的極向，若與半導體的正負極向相同，順方向而接，該半導體與電池所構成的

電路，有電子在電路上運行；反之，逆向而接，該半導體與電池所構成的電路，沒有電子在電路上運行，故此，原來所稱的「半導」改作「單向導」較為貼切，但相沿習用已久，只要明白其應有含義便得了。

在未討論半導體的「半導」作用之前，讓我們研究一個簡單的機械結構。圖 6 是個簡單的水壓器，這個水壓器成 U 字形，內有活塞 (P)、彈簧 (S) 和小門 (D)，在沒工作情況底下，由於彈簧有一定的拉力，

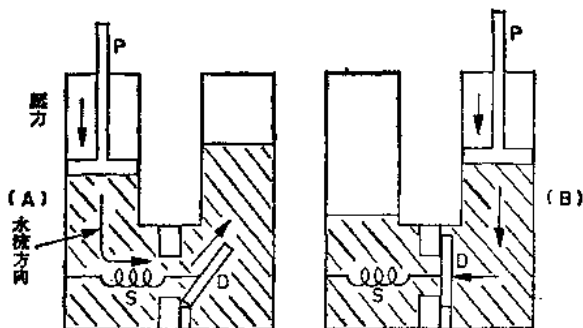


圖 6

小門關上，注在水壓器左端的水，不能流進右邊，如果將活塞向下壓，無形中加上一個外力，這個壓力當然比彈簧的拉力大得多，除了抵消彈簧的拉力，還將小門推開，貯在左邊的水，遂流進右邊，造成了水壓器中的水由左向右流；圖 6B 是將水壓器的活塞移裝在右邊，由於水壓器的小門原來已被彈簧拉緊關閉，貯在右邊的水，已不能流入左邊，假使這時活塞向下而壓，不但不能令貯在右邊的水流到左邊，還加上一個外力，將小門關閉得更嚴實，無法令右邊的貯水向左邊流去。

這個例子，說明了水壓器中小門的阻擋關係，它所貯的水，只許由左向右流，不能倒流，故形成「半導」或「單向導」關係。

我們有了「半導」或「單向導」的概念，現在讓我們直接去了解半導體管的「半導」關係。以半導體二極管來說明，由於該半導體管本身存在的物理結構（關於這些問題，在後另述），它的順向阻值和

逆向阻值，彼此相去甚遠，常用的 1N34A 和 DM60 半導體二極管，其順向阻值約只有 $15\ \Omega$ （圖 7），逆向阻值，則達到 $600\ K\Omega$ （圖 8）又以

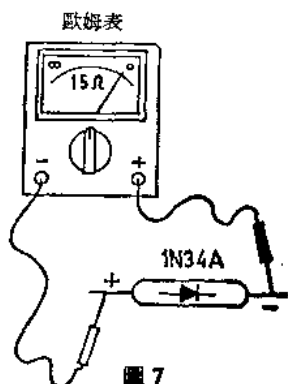


圖 7

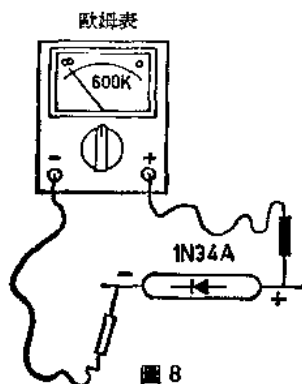


圖 8

OA70 為例，順向阻值有 $40\ \Omega$ ，逆向阻值高至 $200\ K\Omega$ 。這些阻值的大小懸殊（說明了半導體管與外來電能接合後，推動抑或阻礙其電子和空穴運行關係，決定了該半導體管只容許接正確極向的電池，電路上的電流才能通過該半導體管（參看圖 9A），反接，像圖 9B 這樣，電流則不能通過該半導體管。

大家的腦子裏有了「半導」或「單向導」的基本概念，（B）應用半導體二極管（金屬整流器同理）須注意其極性，大多數半導體二極管直接將正（+）

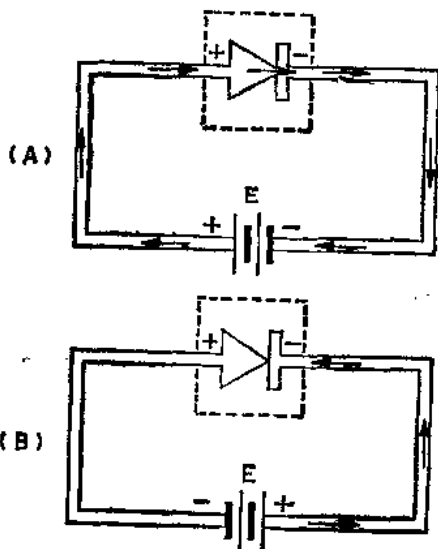
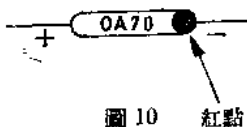


圖 9

負(－)符號刻上。有的用半導體二極管的符號來表示(參看圖7)，箭嘴的左端為正，右邊為負；另一類則以顏色來表示，塗上紅點這端(圖10)代表輸出電壓接點。



如果印在半導體二極管身上的符號及顏色，已模糊或褪掉，分不出那端是正負，最可靠的方法，利用萬用電表去測量該半導體二極管的順向及逆向阻值，以負表棒為依據，阻值小這端為正，阻值大這端為負。

有個問題大家要留意，以負表棒為依據的理由是：萬用電表的引出兩點，正負關係，剛巧與電表內的電池極向相反，負表棒的引出端，實際接電表內部電池的正極；正電棒接電表內部電池的負極。

什麼是半導體元素

根據科學資料紀載，在存在的物質裏，目前已發現了一百多種元素。在這些衆多的元素之中，有沒有半導體的份兒呢？

有，不過為數甚少，只得三幾種元素是屬於半導體的。這幾種元素是硒(SELENIUM)、鎢(GERMANIUM)、矽(SILICON)等。

憑什麼來鑑定這些元素是屬於半導體呢？是依據該物質的電阻率而定。電阻率小，屬於導體，如一般的金屬，金、銀、銅……等(圖11)；

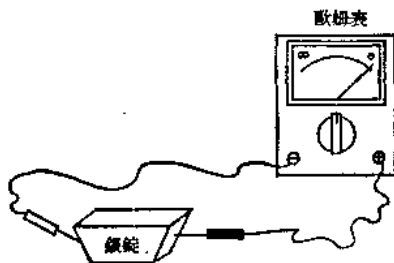


圖 11

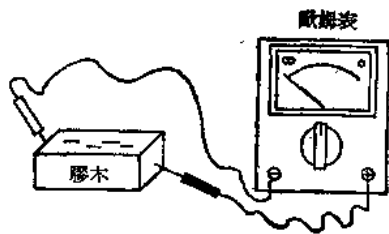


圖 12

電阻率大，屬於絕緣體，如膠木、雲母、玻璃……等（圖 12）；而介乎導體與絕緣體之間的物質，即是說，這物質的電阻率，不會如金屬的這麼小，又不像膠木、雲母等這般大，這種物質我們稱它為半導體。

半導體物質有兩個顯著特點：（一）溫度對它的影響，與金屬導體反異。常溫度上升，半導體物質的導電能力會遞增；（二）在半導體物質內部若摻進一些雜質（IMPURITY），其電阻率會下降。

矽是最初被利用的半導體元素，早已廣泛地用作整流器，以代替整流管，近年來，半導體的優點被進一步發現，還被利用製造檢波用的二極管和放大用的三極管。

製造半導體二極管和三極管的主要物料是鎢，現在就讓我們認識下這最典型的半導體元素的結構。

因為鎢屬於物質元素，但凡元素皆由原子組成，鎢原子的原子序是 32，所以，鎢原子的結構，由 32 個帶正電的質子做原子核，而由 32 個帶負電的電子，有規律地、以不同數目地分佈在四個軌道上，圍繞着原子核而運動（圖 13）。這些軌道的次序，貼近原子核的，即最裏這一層，是第一軌道，由裏向外數，跟若是第二、第三和第四軌道。

第一軌道有兩個電子，第二軌道有八個電子，第三軌道有十八個電子，最外這個軌道有四個電子。第一、二、三軌道上的電子，與原子核之間所起的牽引作用較強，這三層軌道上的電子，在運動時，處於穩定狀態；第四軌道（即最外這層）上的電子，由於它處於最外

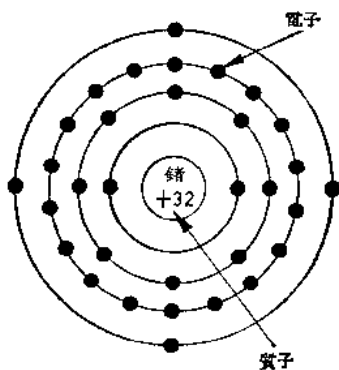


圖 13

層，一方面，原子核與它們的牽引，已較薄弱，另方面，亦很容易直接受到外力影響，故此，這些電子，在運動上常常處於不穩定狀況。

處於最外層軌道上不大穩定的電子，稱為「有價電子」(VALENCE ELECTRONS)，鎢原子最外層的軌道有四個電子，所以鎢的原子價為四。

在平復情況下，每一個鎢原子，以其四個「有價電子」(圖 14)與鄰近四個鎢原子的「有價電子」組成四個共價鍵 (COVALENT BOND)，令到彼此互引、穩定。

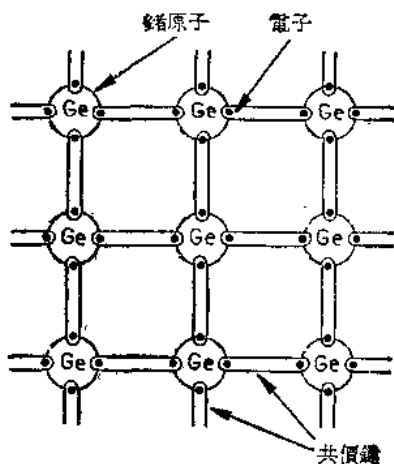


圖 14

半導體的導電方式

我們上文曾談及過，一塊純鎢晶體，其中的每一個鎢原子，皆處於中性（所謂中性，即每個原子中的質子與電子數目相等，故不帶正性或負性），而這些處於中性的鎢原子，以其最外層的四個有價電子，互相牽引，在絕對零度（即 -273°C ）或極低溫度的情況下，形成一系列堅固的鎢晶體陣，呈絕緣狀態，不會導電。

鎢晶體之能够導電，是溫度遞升所使然，較高的溫度加諸鎢晶體內，熱分子刺激鎢晶體中某一個鎢原子之高能有價電子，令它掙脫共價鍵的束縛（圖 15），變為鎢晶體中之自由電子。電子掙脫了共價鍵之後，有關的共價鍵，出現一個缺少電子的空位，這個空位，我們稱為「空穴」(HOLD)。

從共價鍵掙跳出來的電子，雖然成為自由電子，但不能跑進別一個鎢原子的結構中去，因為其餘別的鎢原子，其所有的有價電子，仍受制於共價鍵的束縛，守着自己的固定崗位，沒「空穴」騰出，收容該自由電子，這個自由電子，只能在鎢晶體內作不規則運動。

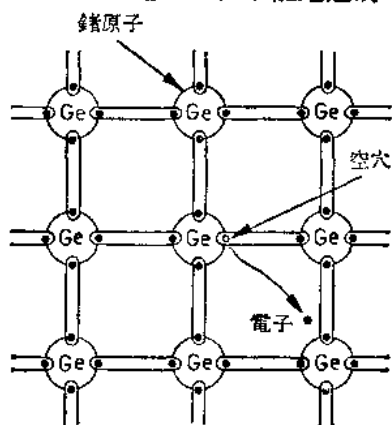


圖 15

利用熱能而使鎢晶體內產生自由電子，其電流量不大，並且即使在鎢晶體上加上電場，電場強度大小，與晶體內產生的電流量無關，電流量之變化，只與溫度的增減成正比關係。

上述這種導電方法，只適合作實驗，不切實用，實際的半導體導電方式，以摻入雜質，導致半導體的原子結構不守衡的方法最常見。加入的雜質，以砷 (As 即 ARSENIC) 和銦 (In 即 INDIUM) 為主。

在純鎢晶體內，加入雜質砷，會使鎢晶體內有些電子被排斥在共價鍵之外，成為鎢晶體中之自由電子 (圖 16)。何以會如此呢？因為砷原子的有價電子為 5，將砷加入鎢晶體，其中有一個電子無法加入共價鍵，那時，在鎢晶體上加施電場，使該電子作有規律地運動，使鎢晶體內產生導電關係。

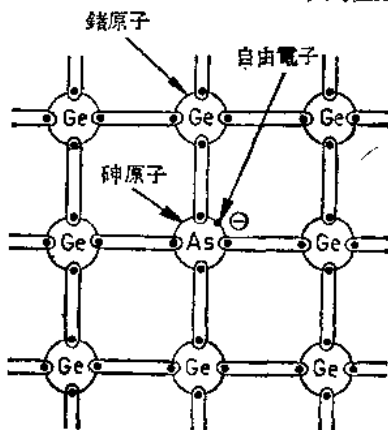


圖 16

這種產生導電作用方式，依靠