



半導體管電路原理基礎

譚炳桓編著

香港 高等教育有限公司 出版

半導體管電路原理基礎

譚炳桓編著



香港 五育圖書有限公司 出版

半導體管電路原理基礎

編著者，譚炳桓

出版發行：**正育圖書有限公司**

香港九龍柯士甸道33號二樓

San Yu Stationery & Publishing Co.

33, Austin Road 11F., Kowloon, Hong Kong

印刷：**永生印刷公司**
九龍馬頭圍道二三二號

1979年7月版

版權所有·翻印必究

前 言

作者編寫這本書，用意在於幫助初學半導體的朋友，借這本小冊子以明瞭半導體的結構，和實用電路的原理與功能，故每章每節的敘述，文字上力求通俗顯淺，並佐以圖解說明，大家按圖探索，讀後不致如墜五里霧中，虛虛渺渺！

本書的編寫，借助外文書作藍本，把其中之精華抽出，作扼要改寫，省略所有繁複的公式，刪去無關重要的贅述，避免重蹈一般譯本的覆轍：平鋪直譯，語句生硬，含意不清，使讀者不明所以。

鑒於半導體管發明不久，加以無綫電常用的中文辭語仍未統一，本書一切專有名詞，均附上英文原意，俾大家便於稽攷。

作者懷着惴惴不安之心情編寫這本書，深恐內文出了什麼亂子，這皆由於作者的無綫電知識水平有限。本書如有錯漏的地方，懇請大家不吝指正。

譚炳桓

一九六三年七月

目次

一. 半導體基本原理

半導體是什麼	1
鍺原子和矽原子	2
鍺半導體的製法	3
P—N 結合	7
半導體三極管	9
NPN 型半導體三極管工作情況	11
PNP 型半導體三極管工作情況	12
半導體三極管的放大作用	13
半導體三極管的特性	16
半導體管特性表實例	18
半導體三極管的種類	22
半導體管簡易檢驗法	26

二. 成音放大器

什麼是 α 和 β	30
基本放大電路	32
基極接地式放大器	32
發射極接地式放大器	34
集電極接地式放大器	41

交連法	42
變壓器交連	42
電阻——儲電器交連	44
直接交連	46
增益控制	47
音調控制	48
三. 功率放大器	
甲類功率放大器	51
乙類功率放大器	53
沒輸出變壓器的功率放大器	56
互補——對稱放大器	60
四. 振盪、變週、混週電路	
振盪電路	62
正弦波振盪器	62
美示南振盪電路	63
哈脫萊振盪電路	64
考畢子振盪電路	65
非正弦波振盪器	67
多諧波振盪電路	67
間歇振盪電路	68
變週電路	69
振盪——混週電路	71

五. 射頻和中頻放大電路

射頻放大電路	74
中頻放大電路	76
中放基本電路	77
波帶闊度問題	77
中和電路	79
來復式中頻放大器	80

六. 檢波和自動增益控制

半導體二極管調幅檢波	83
半導體三極管調幅檢波	85
調頻鑑頻器	90

七. 超外差接收機

調幅接收機工作原理	93
多波段調幅接收機	95
調頻接收機	96

八. 半導體管實驗綫路

99—113

一 半導體基本原理

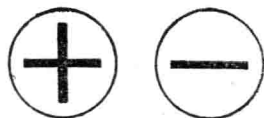
Basic Theory of Transistor

半導體是什麼

半導體是固體中常見的一種物質，它的用途甚廣，在無綫電技術發展初期，曾應用好些半導體晶體，如方鉛礦、紅鋅礦、黃鐵礦、碳化矽等；除此之外，還有好些半導體元素，用來製成半導體管的，以銻(Germanium)和矽(Silicon)為主。

為使我們易於明瞭半導體元素的結構，讓我們重溫一下原子(Atom)的結構。

一個原子，通常包括有兩種微



質子

電子

圖 1

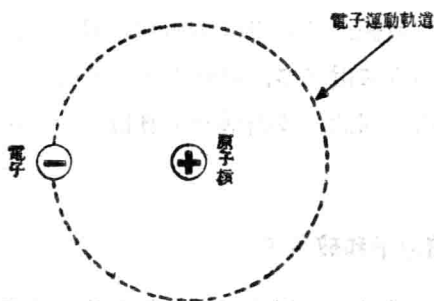


圖 2 氫原子的結構

小粒子(圖 1)，在原子核(Nucleus)中，帶正電的，稱作質子(Proton)；繞着原子核運轉，帶負電的，稱作電子(Electron)。例如：氫原子(圖 2)由一個質子組成原子

核，一個電子循着軌道 (Orbit) 圍繞着原子核運動；碳原子 (圖 3) 裏有六個質子和六個中子 (Neutron) 組成原子核，由六個電子分別組成兩層軌道，繞着原子核運動。在正常的時候，

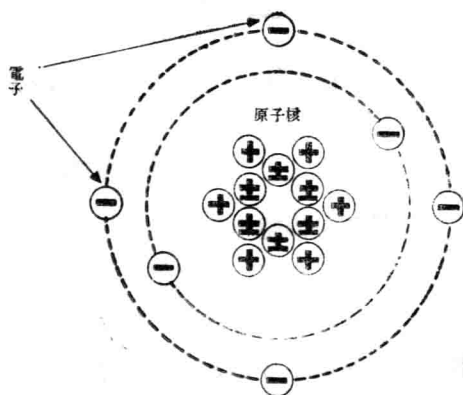


圖 3 碳原子的結構

時候，原子所含的電量平衡，處於中和狀態。

一般物質，衡量它是導體抑或絕緣體，要看這原子所含的有價電子 (Valence Electrons) 多少，亦即是說，處在最外層軌道的有價電子多少。因為這些有價電子很容易脫離軌道，飛到別的原子上去。故此，最外層軌道的有價電子少，絕緣率高；最外層軌道的有價電子多，絕緣率低，形成為導體；而處於導體與絕緣體之間的，我們稱做半導體 (Semiconductor)。

鍺原子和矽原子

製造半導體管，鍺和矽是最通用的元素，但以鍺元素最廣，現談談鍺元素的原子結構。一個鍺原子 (圖 4)，它的

原子核由 32 個質子組成，32 個電子分別在四層軌道上圍繞原子核運動；在最外層軌道上那四個電子，它們不比其他各層軌道上的電子，與原子核緊密地吸引着，很容易受外力或其他的影響，而脫離原子核。當銻原子排列成

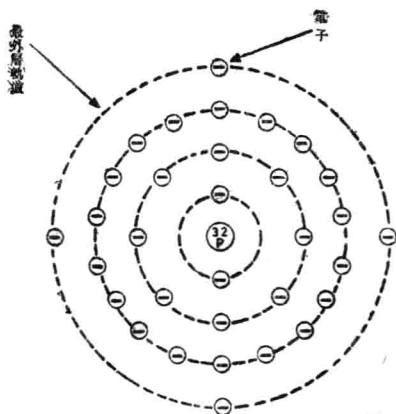


圖 4 銻原子的結構

晶體格子時（圖 5），每個銻原子都力求組成含有八個電子的四個共價鍵（Covalent Bond），換而言之，每個銻原子的最外層軌道，互相借用四個電子。當銻原子彼此處於聯結情況，一個自由電子也沒有；若結成共價鍵的是純銻晶體，那麼這是最理想的晶體，因為它是最好的絕緣體。

銻半導體的製法

利用銻晶體製成半導體的方法有三種：（一）雜質摻入法；（二）用熱能破壞法；（三）用光能破壞法。這三種方法，目的令到銻晶體增加自由電子，擊破銻晶體與銻晶體內部之間的共價鍵組織。

上述的三個方法，以第一個方法最實用，故着重談談。

在理想的鎘晶體裏面，低溫接近 -273°C 時，各組電子形成的共價鍵牢固地連結着，那時沒有自由電子脫離共價鍵而產生導電，實實在在是良好的絕緣鎘晶體；若要這鎘晶體導電，須把某些共價鍵中的電子擠出，摻入雜質，可達到這目的。

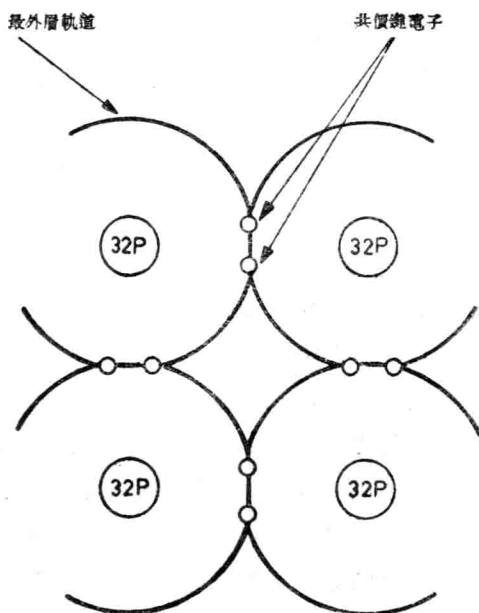


圖 5 排成晶體格子的鎘原子

在鎘晶體中加入雜質，即加入其他的元素，而引起鎘晶體中的電子數量比空穴數量多（圖 6），基本上造成電子導電，這種形式稱作施主（Donor）方式，所加的雜質，如砷（Arsenic）。砷原子最外層的軌道有五個電子，當摻入鎘晶體裏，其中四個電子跟鎘晶體中的四個電子組成共價鍵，所餘的一個，成為不受牽制的自由電子，在晶體中運動。由於這類引起導電過程，依靠電子交替移動而完成，其導電作

用是帶負電荷的，稱為電子導電，屬於N型（N-Type）半導體。

在鎘晶體中加入雜質，造成鎘晶體中的空穴數目比電子數量多（圖7）時，產生空穴導電，這種形式，稱作受主（Acceptor）方式。所加的雜質，如銦（Indium）。銦原子最外層的軌道只有三個電子，當摻入鎘晶體裏，這三個電子不能跟鎘晶體本來的電子結成完備的共價鍵，還餘一個空穴，一旦這個空穴受其他電子所佔據，造成鄰近的鎘原子中又出現空穴，這樣，不斷有電子填補空穴，不斷在鎘原子中

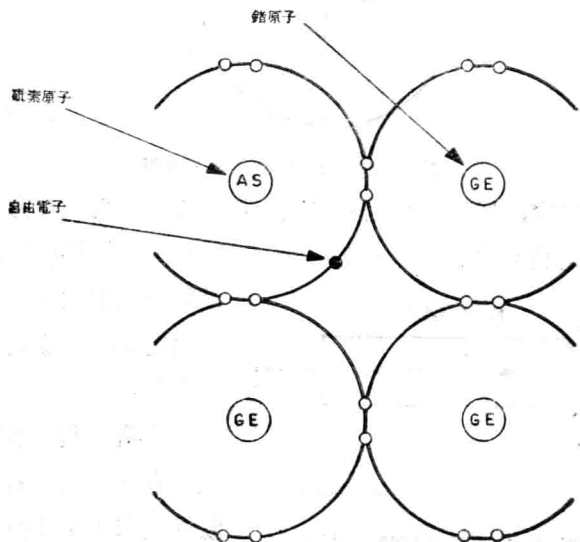


圖 6 摻入雜質形成電子導電

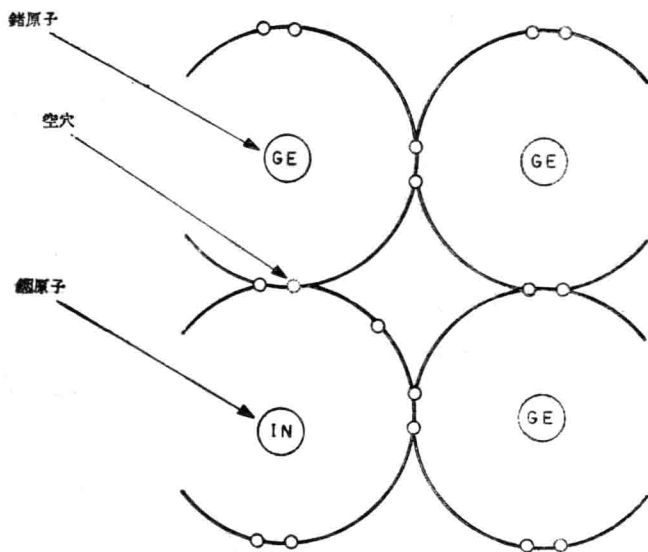


圖 7 摻入雜質形成空穴導電

出現空穴，無形中產生導電性能。這種由空穴引起導電的過程，稱為空穴導電，屬於P型（P—Type）半導體，同時

這類導電方式依靠空穴移動而完成，其導電作用帶正電荷。

不論N型半導體或P型半導體，電子的不斷移動或空穴的交替掉換，無形中在晶體中產生電流。

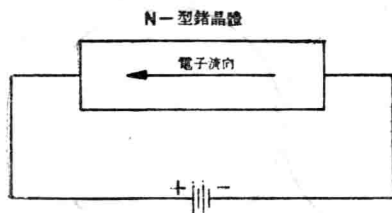


圖 8 N-型鎢晶體，電子流向由負到正

若在N型半導體上接上一個電池 (Battery), 晶體中的電子移動由電池的負極到正極 (圖 8); 在P型半導體上接上一個電池 (圖 9), 空穴的移動由正極到負極, 而本身的電子流向, 仍然是由負極到正極。

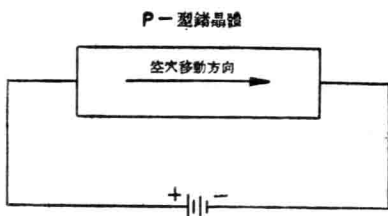


圖 9 P—型鍺晶體, 空穴的移動由正到負

P—N結合

同一晶體, 若同時存在着兩種不同導電情況, 既有N型作用, 亦有P型作用, 這類晶體, 屬於PN結晶體。在PN結晶體的兩端接上一個電壓 (圖 10), P型這端接正電壓, N型這端接負電壓。那時, P型中的空穴和N型中的電子,

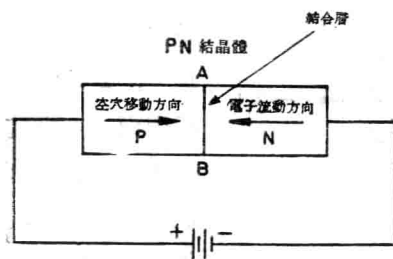


圖 10 PN結晶體, 接上正向偏壓, 電路上起整流作用。

各向着接合層運動, 接正電壓的P型晶體, 將晶體內多餘的正電荷推向接合層; 接負電壓的N型晶體, 將晶體內多餘的負電荷, 同樣排斥到接合層附近。結果, N型晶體中的電子湧進P型晶體區域,

和P型晶體中帶正電荷的空穴相結合，造成電子由N區流入，從P區流出，產生大量電流。只要外施電壓的極向和PN結晶體的極向相同，晶體內結合層的電阻值極小，外施電壓足以維持空穴和電子的相對運動，這晶體便像一個良好的導體，電子能順利地暢流，從而不斷地產生電流。

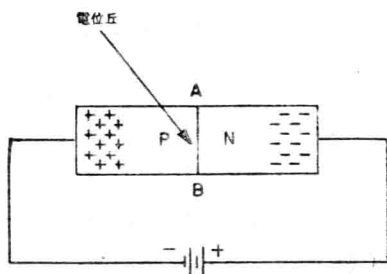


圖 11A PN結晶體，接上逆向偏壓，增加接合點的“電位丘”，同時終止導電。

若PN結晶體兩端接上逆向電壓（圖 11A 和 11B），即P型這端接負電壓，N型這端接正電壓。這樣，空穴和電子都受到電池的相反極位而被吸引，空穴和電子離開結合層，堆積在電池兩極附近，使結合層成爲絕緣的“阻擋屏”，PN結晶體因而不呈導電作用。嚴格來說，儘管如此，仍有爲數極少的正負電荷存在結

積在電池兩極附近，使結合層成爲絕緣的“阻擋屏”，PN結晶體因而不呈導電作用。嚴格來說，儘管如此，仍有爲數極少的正負電荷存在結

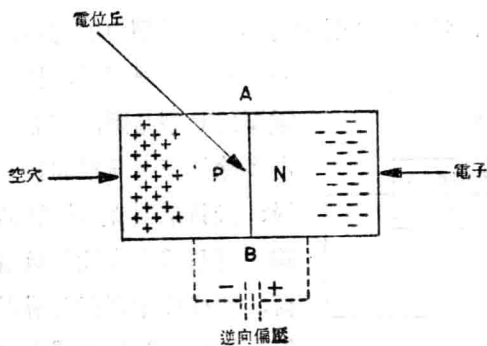


圖 11B

合層附近，使晶體內部產生些微電流，即所謂“極間漏電”現象。

一般而言，PN結晶體接上逆向電壓，結合層的電阻值非常大，晶體內部遂不通電流，起一定絕緣作用。

由於PN結晶體，接上不同極向的電池，令這晶體產生導電和不導電現象，跟用於整流方面的二極管相似（圖12），現在製出的鍺晶體二極管（Diode），是利用這現象而製成的。

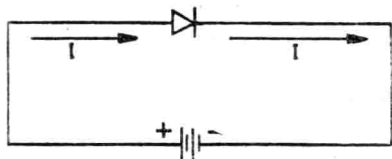


圖12 PN結晶體，接上正向偏壓，電路上的導電關係。

半導體三極管

半導體三極管（Transistor）由兩塊PN結晶體組合而成，一般分為NPN型和PNP型（圖13）。它們的製造過程，皆以PN結晶體為基礎，加上一塊N型或P型晶體，合併後

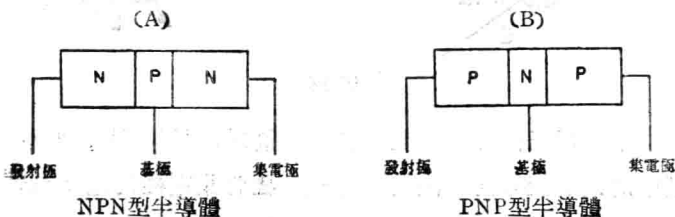


圖13

即成爲上述兩類型的半導體三極管。

NPN 型和 PNP 型半導體三極管各極的接法和符號如(圖 14), 以它的代表符號, 比較真空管的三極管(Triode), 甚相似。半導體三極管有集電極(Collector)、基極(Base)和發射極(Emitter)。這三個電極, 集電極即如真空管三極管的屏極(Plate), 基極即如柵極(Grid), 發射極即如陰極(Cathode)。

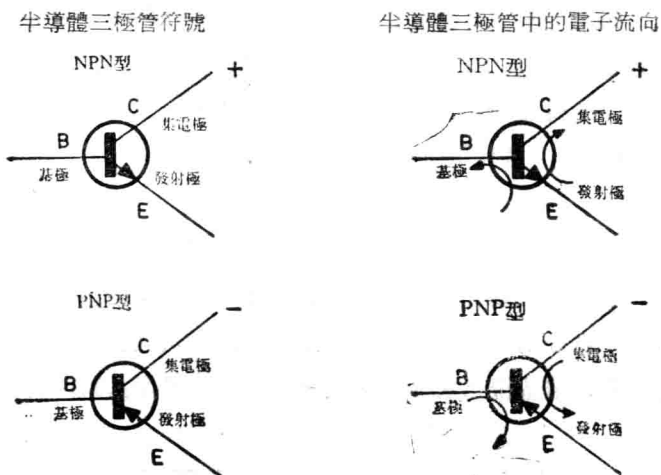


圖 14

半導體三極管發射極符號上的箭頭, 指出NPN型或PNP型中的電子流方向。決定半導體三極管集電極的電壓正確極向, 可依據它是屬於那類型的半導體管而定。半導體管類型的