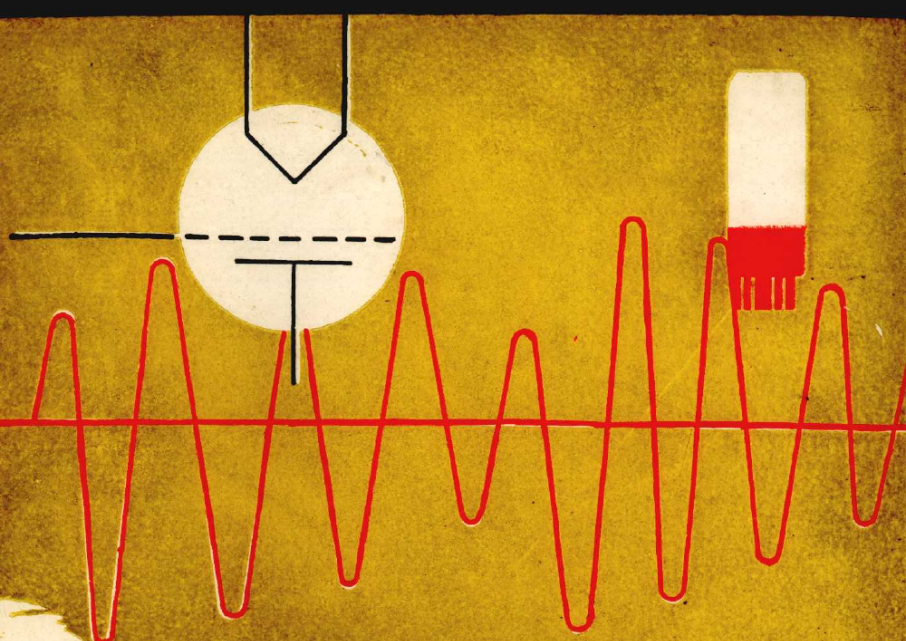




半導體晶体管原理

洪仁學著



目 錄

第一篇 半導體晶體管的基本知識

第一章	晶體管的原理	1
第一節	P N面接合型	1
(一)	晶體管	1
(二)	半導體	1
(三)	傳導電子與空穴	2
(四)	N型半導體與P型半導體	3
(五)	P N接合	4
(六)	晶體管的放大作用	5
二 節	晶體管的製造	8
(一)	原料的精製	8
(二)	合金型	10
(三)	長成接合型	13
(四)	其他型式	14
(五)	各種類型的特徵	17
第二章	晶體管的本質	19
一 節	晶體管的要點	19
(一)	歐式林林總總	19
(二)	晶體管的區別方法	19
二 節	晶體管的安全問題	22
(一)	關於晶體管的試測	22
(二)	高溫是晶體管的大敵人	24
(三)	要為晶體管的安全着想	25

第 三 節	對晶體管最重要的事	25
(一)	基極接地與發射極接地	25
(二)	電流增益	26
(三)	β 的測量電橋	28
(四)	β 測量器的運用	32
第 四 節	晶體管的使用法	38
(一)	晶體管的偏壓	39
(二)	集電極特性與負荷直線	40
(三)	偏壓的穩定化	42
(四)	低週波回路初步知識	44
第 五 節	晶體管的定數及測量法	45
(一)	對四個定數測量	45
(二)	I_{CO} (或 I_{CEO})	46
(三)	I_{CEO}	47
(四)	β	48
(五)	R_{out} (或 R_o)	50
(六)	晶體管的雜音	51
第 六 節	強力輸出晶體管	52
(一)	構造和使用方法	52
(二)	定數的測量	53
(三)	負荷電阻與使用方法	54
第三章	半導體晶體管的實驗	56
第 一 節	實驗裝配的準備與注意的事項	56
第 二 節	一石萬能前級擴大器	57
(一)	回路的解釋	57
(二)	裝配時要注意的事	59
(三)	調整與實驗	60
(四)	高輸入低輸出阻抗擴聲器	61

第 三 節	一、二石式收音機的實驗	63
第 四 節	低週波振盪器的實驗	66
	(一) 振盪的原理	66
	(二) 調整與實驗	69
	(三) 晶體管的振盪回路	70
第 五 節	直流擴大器的實驗	71
	(一) 高度感應電流表	71
	(二) 夜光電流表	73
第 六 節	高性能萬能前級擴大器	74
	(一) 二石式擴大器	74
第 七 節	RC 振盪器的實驗	77
	(一) 裝配簡單的低週擴大器	77
第 八 節	改良振盪器的實驗	80
第 九 節	RF 三石收音機	83
第 十 節	無線電受話器的實驗	86
	(一) RF 振盪器	86
第十一節	改良 RF 三石式	88
第四章	晶體管用零件	92
一 節	天線	92
	(一) 棒型天線	92
	(二) 鞭型天線	96
第 二 節	振盪線圈	96
	(一) 晶體管的變週管回路	97
	(二) 振盪線圈的選擇與使用	98
第 三 節	中間週波變壓器	99
	(一) 阻抗	99
	(二) 要增益大的 IFT 選擇法	102
第 四 節	低週波變壓器	103

(一)	晶體管用低週波變壓器的特徵	103
(二)	選擇方法與使用方法	104
第五節	可變電容器	108
(一)	空氣可變電容器	108
(二)	塑膠可變電容器	111
第六節	電容器	114
(一)	鋁質電解電容器	114
(二)	鉭質電容器	117
(三)	鈦氧化鉍電容器	119
(四)	MP 電容器	122
(五)	Styrol-Condenser (Polystyrol-Condenser)	123
第七節	電阻	124
(一)	炭精皮膜型電阻	125
(二)	固體型電阻	125
(三)	可變電阻	128
第八節	聽音器	129
(一)	晶體式耳塞	129
(二)	電磁型聽音器	131
第九節	電池	133
(一)	乾電池	133
(二)	太陽電池	135
(三)	水銀乾電池概要	137
第十節	揚聲器	141
(一)	TR 揚聲器的性質	141
第五章	晶體管的裝配工作	143
第一節	主要的工具	143
第二節	裝配工作	145
(一)	簡易的配線淺說	145
(二)	體型與配件的裝置	147

第二篇

第一章	晶體管機回路設計的預備知識	152
第一節	規格表與特性曲線	152
(一)	規格表	152
(二)	特性曲線	154
第二節	晶體管常數與等價回路	155
(一)	h 媒介變數	156
(二)	T 媒介變數	158
(三)	π 型媒介變數	159
第三節	媒介變數的變化	160
第四節	最大定格和其他常數	164
(一)	最大定格	164
(二)	其他常數	166
第二章	晶體管的三個裝接法	168
第二節	各種裝接法的短長	168
(一)	發射極接地	168
(二)	基極接地	169
(三)	集電極接地	169
第二節	各裝接法的設計方式	169
第三章	偏壓與偏壓法	173
第一節	動作點與穩定度	173
第二節	偏壓回路	177
(一)	固定偏壓回路	177
(二)	自給偏壓回路	178
(三)	電流回授偏壓回路	179
(四)	綜合偏壓回路	181

第四章	晶體管回路的實驗設計	183
第一節	變壓交連放大器	183
(一)	用常數簡易計算法	183
(二)	用特性曲線設計法	185
第二節	一級RC交連放大器	188
(一)	用常數的簡易計算法	188
(二)	用特性曲線設計	191
第三節	高輸入阻抗放大器	194
(一)	發射極接地回路	194
(二)	集電極接地回路	197
第四節	高電源電壓的多級RC放大器	202
第五節	A級單式電力放大器	204
(一)	計算的方法	205
(二)	特性曲線使用方法	207
第六節	B級電力放大器	210
(一)	計算方法	211
(二)	特性曲線使用方法	212
第七節	高週波、中間週波的回路	216
(一)	高週波須注意點	216
(二)	阻抗匹配	217
第八節	中間週波放大器	218
第九節	振盪器	221
(一)	LC振盪器	222
(二)	水晶振盪器	224
(三)	RC振盪器	225
第十節	週波變換器	226

第一篇 半導體晶體管的基本知識

第一章 晶體管的原理

第一節 PN 面接合型

(一) 晶體管

晶體管的用途和真空管相似，輸入訊號（電流或電壓）的強弱，視乎輸出電流的大小變化，它們之間恰是一個很好的比例。由於它以輸入小而輸出大的擴大能力，所以具有放大的作用。因此，在無線電上不論檢波（Detection）、變頻（Modulation Frequency）、振盪（Oscillation）以及變換週波（Converter）等用途，就非它不行。

晶體管和真空管不同的地方，是真空管裡，放出的電子（Electron）利用真空間流動；晶體管則電子在稱為「半導體」的固體內，沿着「空穴」（Hole）的移動流動。

(二) 半導體

鍺（GE=Germanium）和矽（或叫硅——SI=Silicon）都是屬於半導體的一種。鐵和銅等屬於導體（Conductors），是電流極容易通過的物質。至於雲母和瓷器則是電流無法通過的物質，就稱為絕緣體（Insulators），或稱為非導體（Non-conductor）。而介於導體與絕緣之間性質的物質，即稱為半導體。

半導體如果是純粹的話，對電流流動的抵抗或阻止的程

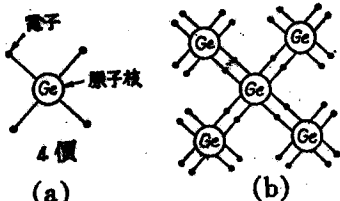
度極高，如滲有雜質，對電流流動的抵抗或阻止能力便要減低了。同時半導體是不能抵受高温度的物質，在高温度下抵抗或阻止電流流動的能力也會減低。

半導體雜質的種類，分P型和N型兩種。所含的雜質是砒（或稱砷——AS=Arsenic）或銻（SD=Antimony——拉丁名 Stidium）的5原子價（Valence）元素時，是屬於「N型半導體」；如所含的雜質是銦（IN=Indium）或鋁（AL=Aluminium）的3原子價元素時，則屬於「P型半導體」。

這種N型與P型半導體互相結合，就成為晶體管的基本組織，在要理解晶體管的原理上，不得不先要知道。

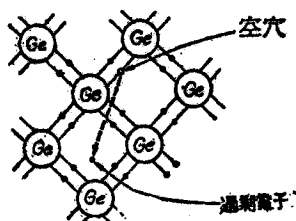
（三） 傳導電子與空穴

鎢或矽4價元素結構，如（圖1）（a）所示，各原子（Atom）都是有4個價電子環繞着原子核（Nucleus）在中心的。純粹的鎢結晶，各原子如（b）所示，其中的價電子很規則地環繞在原子核四周而保持正確的距離。



（圖1）鎢的結晶格子

假如這晶體結構，給高能量的熱或光，或給與電場的話，



價電子受到這種外力的衝擊，便被擠出它的軌道，脫離了中心的原子核束縛力，如（圖2）的情形飛出。這飛出的電子，由於沒有了原子核的束縛，正如電導體中的自由電子一般，在半導體中這種

自由運動的電子，稱為「過剩電

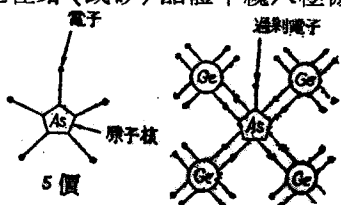
子」或「傳導電子」。

過剩電子飛出後，原子中原來相等的負電荷，便有缺少了的情形，所剩下了那個空餘的位置，相當有一個正電荷的存在。這個空餘位置的虛位，就稱為「空穴」，在鄰近帶有負電荷叫價電子的電子，可能立即移動前來，填補到虛位的空穴位置上，這空穴被擠竄到另一位置時，鄰近帶負電荷價電子又移動前來佔進它的位置上去，這樣空穴便連續作雜亂的竄動不息，就如同自由電子的不受羈束的運動一般。

上面所說的矽或鍺結晶，如在熱的狀態下（ 25°C 常溫與 298 絕對溫度的熱狀態），即發生傳導電子和空穴，產生電壓和電流流動。但如溫度過高的話抵抗力會減弱，傳導電子和空穴位置也會增加，電流也極容易通過。

(四) N型半導體與P型半導體

N (Negative) 半導體，是在鍺（或矽）晶體中纔入極微量的 5 價元素（如砒），這時鍺晶體中原子的位置便要給砒原子所佔據。有 5 個電子的砒，4 個價電子與鄰近的 4 個鍺原子結合後，便有一個價電子多餘了出來，這個價電子所受束縛力很弱，移動很自由（如圖 3），（圖 3）N 型半導體常有束縛力弱的過剩電子存在

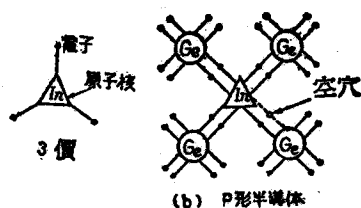


(a) 砒原子 (b) N 型半導體

因此，N 型半導體不論受到熱或光的能量，都是由傳導電子來傳導電流的。

P (Positive) 型半導體，所纔入的雜質是 3 價元素（如

銦)，它是與N型恰巧相反的，如(圖4)所示，銦原子核周圍的價電子祇有3個，不足與鄰近的4個鎘原子相結合，因之鎘晶體內的空穴數量就比較價電子多。



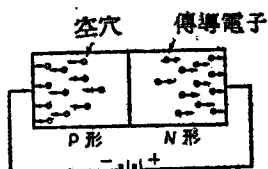
(圖4) 半導體中的空穴

所以P型半導體，是在電壓 (Voltage) 或常溫下由空穴來傳導電流的。

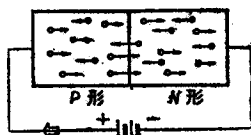
(五) PN 接合

一塊結晶體一面是P形的，另一面是N形的，即將兩塊不同類形的結晶體結合成一塊，這樣的結晶體就稱為「PN接合」(PN Junction)。

現在於P型與N型的外部，給與不同的電勢 (Electric Potential)，即產生電勢差 (Difference of Potential)，便有如(圖5)所示，即給與負電勢於P型的一邊，N型的一邊則給與正電勢，這時的半導體具有很高的電阻 (Resistance)，P型的空穴、N型的傳導電子，便發生相反方向的移動，能通過的電流也極為微弱，可以說這時的半導體具有不能導電的絕緣體性能。



(圖5) 空穴和電子反方向移動情形



(圖6) 空穴和電子正方向移動情形

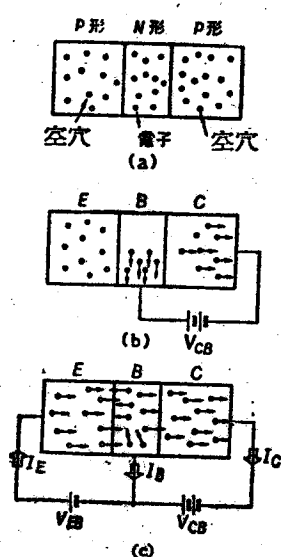
又如(圖6)所示，給與負電勢於N型的一邊，P型的一邊則給與正電勢，這時的半導體所具的電阻

很低，P型的空穴、N型的傳導電子，便發生相對的正方向移動，能通過很大的電流。

因此，我們可以知道，這種PN型半導體具有單向導電的特性，可以利用它這種特性發生整流(Rectify)作用。同時由於檢波作用，實際上就是把高頻交流電變成低週單向性電流，它的動作原理和整流的一般，也能發生檢波作用。所以就利用它這種特性製成晶體式(Crystal)二極管(Diode)。

(六) 晶體管的放大作用

(圖7)的示意是由P型、N型及P型三塊晶體結合而成的結晶體，這一整塊的半導體因此便具有E、B及C三個部份，

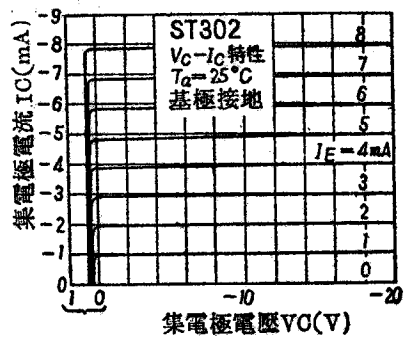


(圖7) PNP接合 同時在這情形之下，B部份由於具有大量的傳導電子，流入B部份的空穴，有極少的一部份與它結合而消滅。結果因B部份傳導電子的補充， I_E 處即有電流流動的發生。並且B部份非常之薄，

空穴通過B部份，與傳導電子結合是沒有縫隙的。這因為 I_B 的值非常之小，所以， $I_E = I_C + I_B \approx I_C$ ，而 I_C 幾乎與 I_E 相等了。

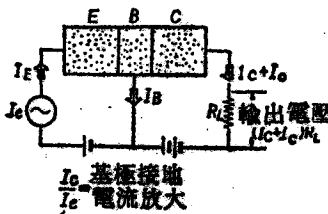
這是要非常注意的事，就是從E處流入B處的空穴，是由C部份負電位所引導進入，成擴散(Diffusion)的現象，與墨水滴到水中的情形相同，因為墨水進入水裡即擴散開來和水混合，這與E處流入B處的空穴擴散的動作極為相似。因此，負電位的大小是沒有關係的，祇要是負荷即發生效力。

綜括上面所說， I_C 由於 I_E 電流很小，CB間所發生的電壓 V_C (或 V_{CB})幾乎沒有關係。這可從(圖8)的曲線表中看出。即： I_E 在一定的值間， I_C —— V_C 曲線橫軸幾乎成水平的狀態， V_C 負荷的範圍對於 I_C 的值沒有若何的改變，這就是 I_C 對於 V_C 的值沒有關係的表示。



(圖8) 集電極特性

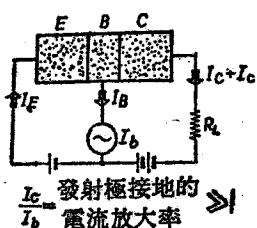
這種關係，恰巧類似5極真空管 $E_b - I_b$ 的特性，因此我們就利用這種關係，把它與真空管一般的使用。如(圖9)所示，輸入方面 I_E 發生變化，這即是說：交流電流 I_e 流入，通往負荷電阻 R_L 的電流 I_C 也發生差不多相同的程度。這即



(圖9) 基極接地回路

是說， I_e 與 I_c 的電流流動是有密切關係的，在基極 (Base) 接地 (Earth) 的電流放大率的值， I_c 對於 I_e 約在 1 左右。

因此， R_L 的值是很大的，它兩端的交流電壓具有大的值，輸出的增大，這就是所謂放大 (Amplification) 的作用。



(圖9)輸入電流由 I_E 回路進入，

這是基極接地所使用的，但如改在 I_B 回路進入時，就有如(圖10)的狀態，這是發射極 (Emitter) 接地。其中輸入交流電流 I_C 對於輸出交流電流 I_b 的比值，差不多與 I_B 對於 I_C 的比值相

(圖10)發射極接地回路等，這是發射極接地電流放大率的值，是相當大的。由於這時 R_L 不需用多大的電阻，所以有很明顯的放大功能。

以上是關於半導體晶體管放大作用特性的敘述，至於如振盪和檢波等的動作，則與真空管的情形相同。

前面內文中，所說：E、B及C等部份，是晶體管接續外面導線的各部份的畧號，它們的名稱原是：E——Emitter (發射極)；B——Base (基極)；C——Collector (集電極)。

同時在本節目中所見的畧號，它們所表示的是：

I_E ——發射極電流

I_B ——基極電流

I_C ——集電極電流

V_E ——發射極電壓

V_{EB} ——發射極對基極電壓

V_B ——基極電壓

V_C ——集電極電壓

V_{CB} ——集電極對基極電壓

R_E ——發射極電阻

R_B ——基極電阻

R_C ——集電極電阻

R_L ——負荷電阻

以上所說的PNP接合，所製成的是PNP型晶體管，如將晶體以NPN方式接合，也一般可製成晶體管的，但從發射極流向基極的是過剩電子，不是空穴，因為這一種方式製成的晶體管，是以電子移動傳導電流的，它的名稱是NPN型晶體管。

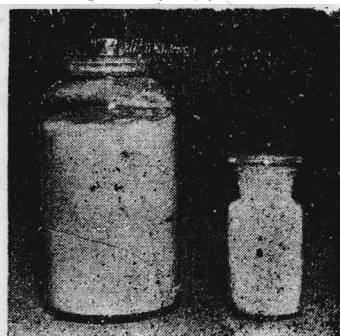
第 二 節 晶體管的製造

最初發明的晶體管是屬於點接觸型（Point）的一個種類，用兩枝金屬接觸在鍍結晶片的上面，以通導電流，但這一方式構成的類型，特性不安定，雜音多而又不能有均一性的產品，這就成為它很大的缺點。後來在製作技術獲得了改進的方式，製成了上面所說的接合型。

晶體管的製作原料，近來有使用矽（或稱硅）的，但目前一般的收音機極少使用，多數是用鍍來做製作原料。

（一）原料的精製

鍍是從煤烟的烟炱，或製金屬的廢物副產品中提煉出來的一種元素，但所獲得的份量極少。以日本來說，國內的工廠雖然這麼的多，仍不夠供應對晶體管的製造，要從歐洲的比利時和美國輸入。

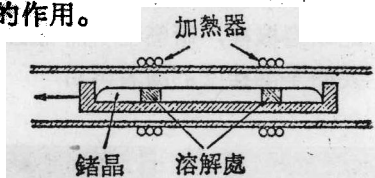


（圖 11）氧化鍍粉末

這種製造晶體的原料，是白色粉末狀的氧化鍍。（圖11）就是氧化鍍粉末貯藏的情形，經過以氫氣流還元的技術，便成

爲有金屬光澤的金屬鎢晶。這種金屬鎢晶，並未能把它立即用來作製造晶體的原料，它的純粹程度還不夠。製造晶體管的鎢晶，純粹的程度需要極高，一般的標準在 99.99999999%，否則不能使用。因爲製作晶體管基極部份的鎢結晶，必須要含有微量的雜質。例如PNP型晶體管，基極部份需要多量的過剩電子發生，由發射極流入的空穴，一部份在通過基極集電極前而把它消滅，這種種傳導電流晶體管的動作，都是由鎢結晶含有微量雜質所發生的作用。

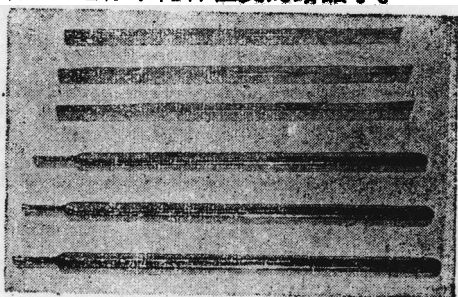
鎢晶的純化製作，普通所用的方法是晶帶精製法。這種方法是利用鎢晶含有的雜質，溶解後易於集中的原理，如(圖12)所示，在一條



(圖12) 晶帶精製法的原理
細長棒狀鎢晶的兩端先後緩緩的加熱，使雜質集中於一方然後把它除去。

所謂先後加熱的方法，是先將熱力加於右方，使右方的鎢晶溶解，後再從左方加熱，使受熱部份中的雜質由左向右移動，這樣將雜質集中到右方的一端後，就把它切去，那條鎢晶便成爲一條適合如上述標準純粹程度的鎢晶了。

製成適合標準純粹程度的鎢晶後，另需要纔進適當的一種元素雜質到裡面去，例如N型的結晶，便纔入適量的銻或砷，使它如(圖13)的成爲可作半導體晶體管原

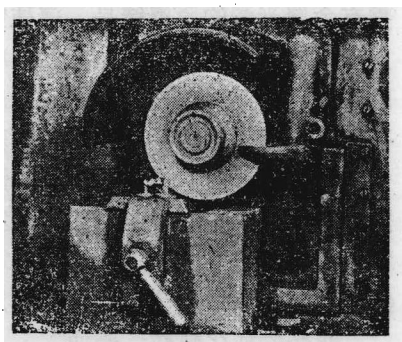


(圖13) 加入適量的銻或砷後的單結晶

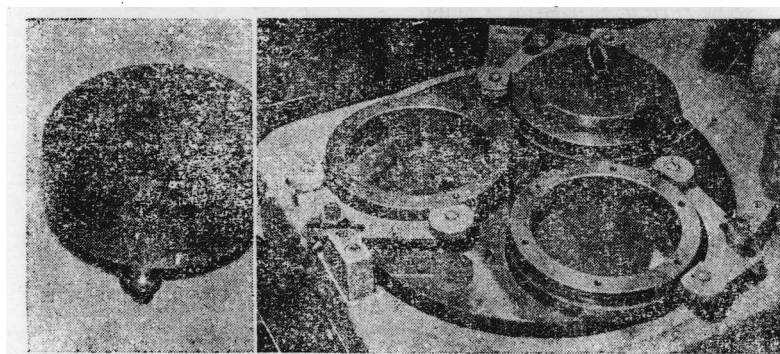
料的單晶體。

(二) 合金型

如上面所說製成了N型單晶體後，要用(圖14)這一種切斷機把它切開成一片一片的薄片。然後將那些薄片放置到如(圖15)的研磨機裡，研磨至所需要的厚薄程度。隨着再用



(圖 14)



(圖 15)

如(圖16)的超音波切斷機，把它切成像替盤眼形狀的四角薄片鍺結晶。

鍺結晶片的厚薄，對晶體管的特性有直接影響關係，因此尚須要經過一次嚴密的檢查，認為合格後才予以使用。(圖17)是一種使用壓縮空氣的檢查裝置，是專門用來對鍺結晶作嚴密檢查的機械。