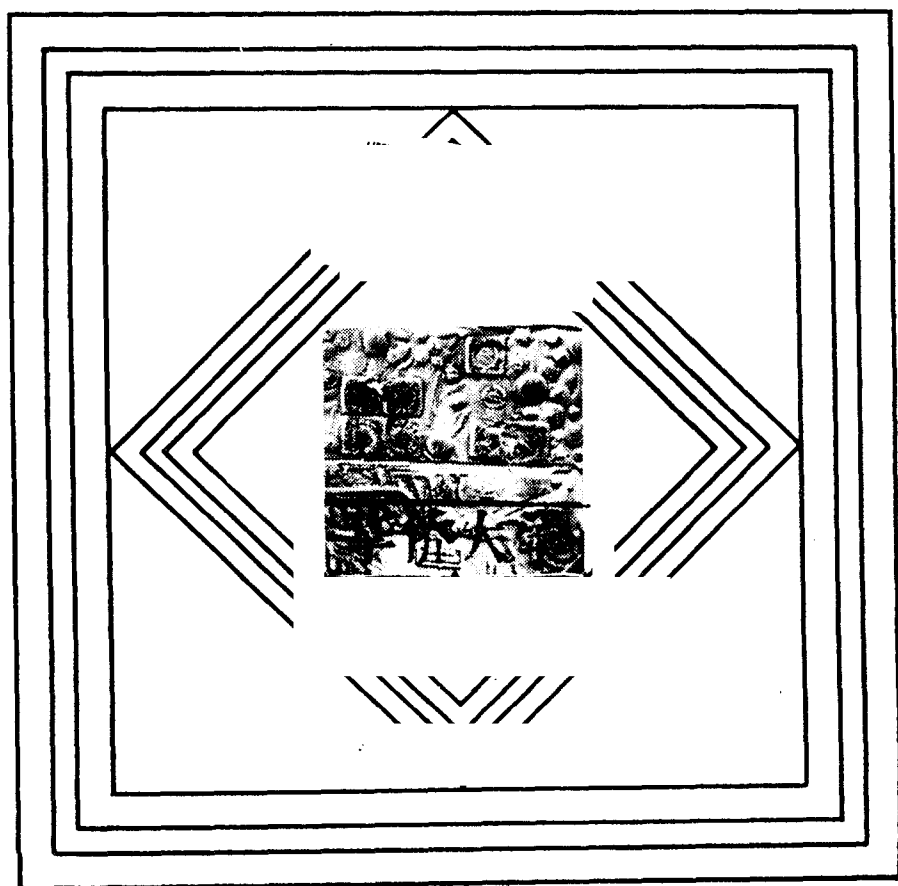


實用電晶體放大電路集

伊東祐弥編・唐榮華譯

實用電晶體放大電路集



正言出版社印行

前 言

電晶體雖自發明始有二十幾年，開始被實用亦不足為二十年時間，但其發展非常迅速，於今日，則已經於小型收音器領域完全取代了真空管，例如於聲頻機器測量器、通信機器等亦有相當部份被電晶體化，其完全電晶體化之來臨，則相信為日不久。且如今日，電子計算器之進步與普及，進而如人工衛星之環繞地球，使得在日本所舉行奧運於美國或歐洲其他地區可即刻看到者，此乃大部份依賴於電晶體。

如此輝煌發展者，乃為從事於電晶體本身元件以及其所採用機器之製造工作有關多數科學家和技術人員之不懈努力結晶者，迄今已積有數多成果，尙且以非常快速趨勢繼續正在增加其成果。

本書盡量搜集有關電晶體成果，並加以分類整理，俾對此新領域學習者、從事工作者、或者已與電晶體放大器有關人員之更進一步進修，提供綜合性豐富資料，使得明瞭現況以及其將來發展趨向，而於已往多數人員所開發技術上，讓各位讀者選擇最適合於自己目的者，並對所選技術之發展，盼望有所貢獻，則為企劃，編纂本書之至意。

然，將電晶體放大器全領域收集於1冊者乃為非常困難，故於本書收集者自直流通放器，包括聲頻放大器之寬頻帶放大器範圍，而有關中頻放大器、高頻放大器，則讓於下次機會編纂。

編纂本書之際，特別留意於電路之選擇，使得本書永恒為諸位讀者之座銘書，讓您愈讀愈瞭解其內容。

此書今日能得編纂成功，則完全托於諸位先輩賢達之賜其著作做參考，暨各廠家慷慨提供電路圖，以及承蒙產報出版部諸位協助本書之企劃、編纂，茲銘記以表謝意。

目 錄

第一章 電晶體一般知識	1
1. 種 類	1
2. 型名之定法	4
3. 定 額	4
4. 基本性特性	9
第二章 基本放大電路	13
第三章 電晶體之等效電路	15
1. T 型等效電路	15
2. π 型等效電路	16
第四章 偏壓電路	17
1. 固定偏壓電路	18
2. 依反饋之偏壓穩定化	21
3. 依非直線性元件之偏壓穩定化	22
第五章 耦合電路	24
1. 變壓器耦合電路	24
2. RC 耦合電路	25
3. 直接耦合電路	26

第六章 反饋電路	26
1. 單段反饋電路	28
2. 多段反饋電路	29
第七章 複合電路	34
第八章 高輸入阻抗電路	36
第九章 前置放大器電路	39
1. 輸入放大電路	39
2. 等化電路	41
3. 音量調節電路	44
4. 音品調節電路	46
第十章 單式輸出放大器	50
第十一章 推挽式放大器	53
1. A類推挽式放大器	53
2. B類推挽式放大器	55
3. 單端型推挽式放大器	57
第十二章 自動增益控制放大器	62
第十三章 低頻調諧放大器	63

第十四章 直流放大器 85

1. 直接耦合放大器 85
2. 交流轉換直流放大器 71

第十五章 寬頻帶放大器 75

第十六章 伺服放大器 80

第十七章 代表性電晶體放大器之實例 .. 82

- 1 三菱 6X - 172 電晶體收音機 84
- 2 日立 TH - 900 電晶體收音機 86
- 3 NEC NT - 7P 42 2 頻帶電晶體收音機 88
- 4 日立 WH - 777 2 頻帶電晶體收音機 90
- 5 三菱 TR - 448 2 頻帶電晶體收音機 92
- 6 三菱 8X - 778 2 頻帶電晶體收音機 94
- 7 三菱 10X - 888 3 頻帶電晶體收音機 96
- 8 SONY TFM - 825 J FM/AM 2 頻帶口袋型收音機 98
- 9 NEC NTF - 9M21 FM/AM 電晶體收音機 100
- 10 三菱 FX - 570 FM/AM 電晶體收音機 102
- 11 皇冠 TR - 1500R FM/AM 電晶體收音機 104
- 12 日立 KH - 1000 FM/AM 電晶體收音機 106
- 13 愛華 AR - 112 FM/AM 電晶體收音機 108
- 14 TEN AR - 801SD 汽車用收音機 110
- 15 國際 CR - 1453 A 汽車用收音機 112
- 16 三菱 TR - 758 附互通器電晶體收音機 114
- 17 國際 VN - 1101 互通器 116

4 目 錄

18	國際 VN - 2101 互通器	118
19	NEC MA - 822 A 袖珍型放大器	120
20	日幸 FAM - 12 FM/AM 調諧器	122
21	皇冠 STP - 60 FM/AM 立體電唱機	124
22	三洋 DC - 600 FM/AM Stereo-amp.	126
23	TORYO TW - 810 FM/AM Stereo-amp.	卷頭插圖
24	福洋 A - 7 Stereo-amp.	128
25	TORYO TW - 80 Stereo-amp.	130
26	日立 CH - 401 收發機	132
27	日立 CH - 1240 收發機	134
28	三洋 TA - TB1C 收發機	136
29	NEC RMT - 801 膠帶式錄音機	138
30	國際 RQ - 508 膠帶式錄音機	140
31	SONY TC - 905 膠帶式錄音機	142
32	SONY TC - 771A 膠帶式錄音機	144
33	日立 FI - 5000 電晶體手提式電視機	卷頭插圖
34	SONY TV - 120 電晶體電視機	卷頭插圖
35	岩崎 SS - 8052 電晶體同步示波器	卷頭插圖

第十八章 日製電晶體規格一覽表 150

1.	電晶體特性一覽表	152
2.	電晶體外形圖	174
3.	依功率和頻率之分類表 ...	181

附 表

1.	分貝換算表	186
2.	JIS 之電阻值標準系列	187

3. 電抗圖表.....	188
--------------	-----

卷頭插圖

文 獻.....	190
----------	-----

第一章 電晶體一般知識

1 種類

通常電晶體具備集極 (Collector)、基極 (Base)、射極 (Emitter) 的三個電極，如圖 1-1 所示；由極性可分別為 pnp 型和 npn 型。所謂 pnp 型係；基極及集極對射極以負電位動作，而 npn 型，則相反為正電位。於鍺 (Ge) 製電晶體者為 pnp 型較多，而矽 (Si) 製電晶體者為 npn 型較多。

欲將電晶體與真空管比較時，常由其動作，視射極相當於陰極 (Cathode)，基極相當於柵極 (Grid)，集極相當於陽極 (Anode) 而考慮，惟電壓極性乃有相反者。且電晶體對於過電壓，過電流為極脆弱，故須特別注意其極性。通常，電晶體型式名稱乃對

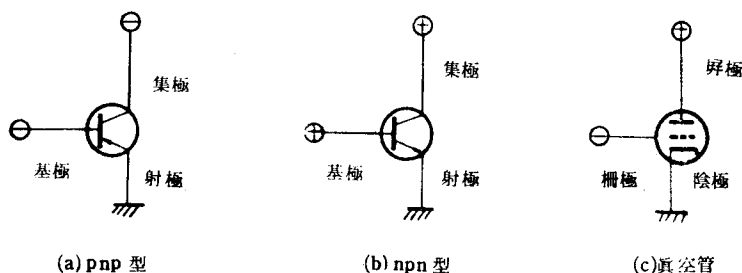


圖 1-1 電晶體極性與真空管之比較

2 實用電晶體放大電路集

npn 型及 pnp 型加有顯明區別，故只要記得其型式名稱之規定方法就不難判別。

電晶體分類方法亦有自製造上之構造差異加以分類者。茲參照圖 1-2，列舉主要者如下。

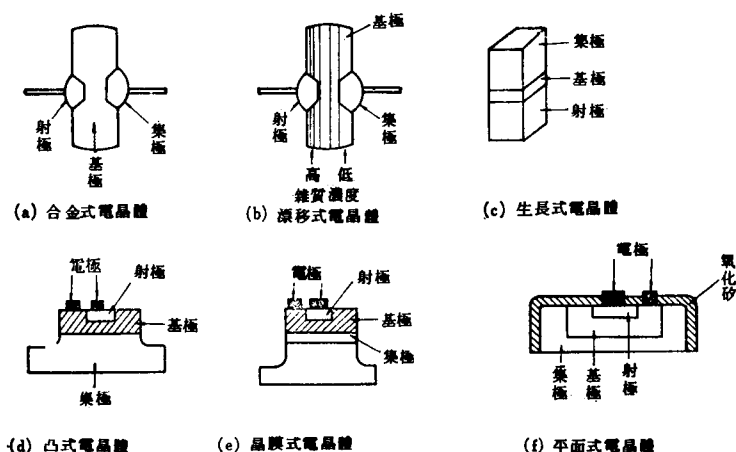


圖 1-2 電晶體之各種構造

- 合金式電晶體 (Alloy-transistor) 加熱合金法製成之最普通電晶體，廣泛被採用於低頻用及交換用 (Switching) 等。
- 漂移式電晶體 (Drift-transistor) 於合金式電晶體之基極領域，預先使雜質擴散而改善高頻特性者，被採用於高頻用機器。
- 生長式電晶體 (Grown-transistor、熔化擴散式電晶體、超生長式電晶體等) 自坩堝中拉起單一結晶時，滲入雜質而製成者，惟亦有利用擴散現象製做基極領域，改良高頻特性者。被採用於短波頻帶及中頻帶之放大、振盪用等。因其 V_{BB} 的耐壓低，故須注意。

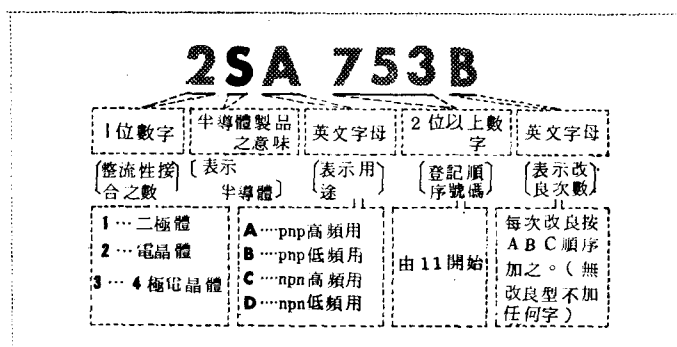
● 凸式電晶體 (Mesa-transistor) 所謂 Mesa 是指聳立的台地之意，於雜質擴散方法所製成接合部，利用護套蒸著射極及基極，最後以化學方法蝕刻 (所謂之 Mesa-etching) 不需要部分者。由於，依擴散之漂移效果及極薄基極層，其高頻特性良好。

● 晶膜式電晶體 (Epitaxial-transistor) 所謂晶膜式係於矽 (Silicon) 或鍺 (Germanium) 之單一結晶上，使雜質生長為所需任意薄層者。由於能夠使集極飽和電阻下降，故為交換用之良好特性。

● 平面式電晶體 (Planar-transistor) 為最新式者，僅使用於矽製品。因其表面平滑，故被稱為平面式。此一方式係於矽表面製成氧化膜，以照相蝕刻法除去一部分，於此一部分，利用選擇擴散或晶膜法製做各接合。因其表面由穩定氧化矽所覆蓋，故特性變化少，信賴性高。其所具有特徵係；以小射極電流就可得大電流放大率，相信為將來之標準品。

2 型名之定法

日本電子機械工業會所登記電晶體之CES名稱規定為如下。由型名立刻可知其極性及屬於低頻用或係高頻用者。



3 定 額

由於電晶體各有其製造廠家所發表定額，故使用時須加以詳細調查，並做適合於該電晶體之使用方法，則為一關鍵。於卷末（第十八章）所列日製電晶體規格表上示有；用途、絕對最大定額、特性等，茲就這些項目說明於後。

● 用途 為製造廠家所推荐代表性用途，對其他用途亦有不少可充分使用者。

● 絕對最大定額 電晶體係使用半導體製成，故對電壓、電流、溫度極為敏感。所謂最大定額者，乃廠家對使用者保障其特性及使用

壽命之最大值，故為使用中任何情況之下，亦不得超過之值。

● 集極基極間耐壓（ V_{CB} ） 規格表所示者，嚴格規定於射極斷路時之集極基極間耐壓（ V_{CBO} ）。此外尚有：射極基極間（ V_{EB} ）及集極射極間（ V_{CE} ）之耐壓規格。

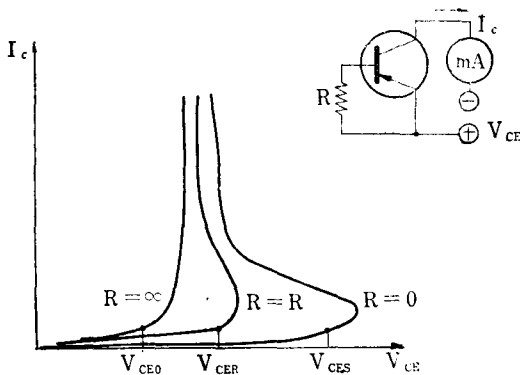


圖 1-3 集極射極間崩潰電壓特性

V_{CE} 乃依基極射極間所連接外部阻抗，有如圖 1-3 所示種種差異，故特別以規格最大電壓使用時，須注意。

● 集極最大電流（ I_c ） 雖於過渡狀態之極短時間，集極電流亦不得超過此一規格。

● 最大集極功率損失（ P_c ） 於電晶體所消耗功率，其大部分於集極接合部變成熱量，使該接合部溫度上昇。此一溫度超過下面所述最高接合溫度（ T_j ），則特性就急激劣化，終於損壞掉，故最大集極功率損失係依此溫度而定者。因此，雖為同一電晶體，然 P_c 值乃依周圍溫度、散熱板之有無及其面積之大小，而如圖 1-4 所示有相當大之變化。

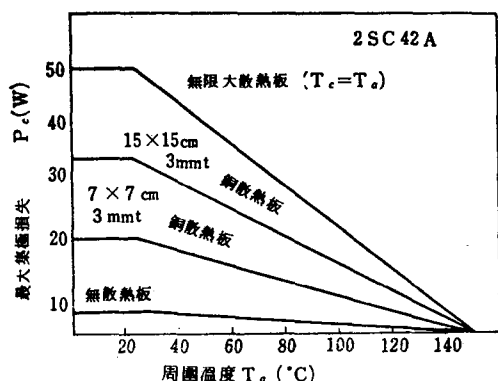


圖 1-4 散熱板面積與最大容許集極損失之關係

小型電晶體者，大部分表示周圍溫度 25°C ($T_a = 25^{\circ}\text{C}$) 而未附散熱板時之 P_c 值，惟於高功率電晶體者，保持集極溫度於 25°C 時 ($T_c = 25^{\circ}\text{C}$) —— 換句話說，大部分表示附有理想散熱板時之值。

● 最高接合溫度 (T_j) 為不致於破壞電晶體功能而於接合部所容許之最高溫度，鍍電晶體時為 $60 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，矽電晶體時為 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 左右。若於使用狀態時之接合溫度上昇，則電晶體使用壽命就會顯著縮短，故請盡可能於低溫使用。

● 集極截止電流 (I_{co}) 規格表所示者，乃使射極為斷路，加電壓於集極基極間時 (此一電壓以 V_{CB} 表示於次頁) 所流通電流 (嚴格上為 I_{CBO})。如圖 1-5 所示，溫度上昇之同時急激增加。由於鍍製電晶體比矽者，其 I_{co} 為較大，故被使用於基極側為直流通性高阻抗電路，或者於使用狀態溫度上昇較大電路時，需特別注意其規格。

如圖 1-6 使基極為斷路，加電壓於射極集極間時，集極基極間之上記 I_{co} 一直流入於基極射極間，並被放大為集極電流，故此時之集

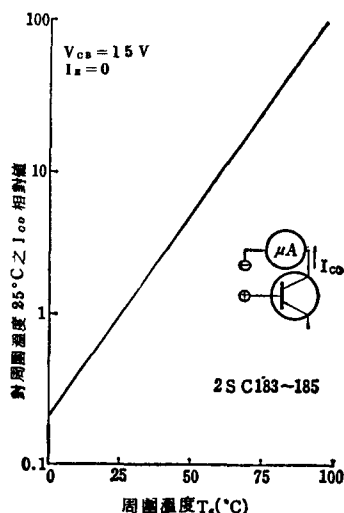


圖 1-5 依溫度之集極截止電流之變化

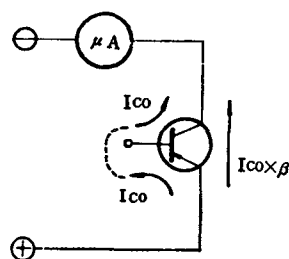


圖 1-6 射極截止電流

極電流為 I_{co} 之約 β (射極接地電流放大率) 倍。

● 截止頻率 (f_{α}) 或者增益頻帶寬乘積 (Gain-band width product) (f_r) 基極接地電流放大率之頻率特性乃如圖 1-7 (a) 所示，於高頻率下降。自其電流放大率於低頻率之值下降 3 dB 之點，稱謂 α 截止頻率 (f_{α})，係為表示電晶體於高頻時之良好程度之 1 常數。以射極接地使用時，電流放大率下降 3 dB 之點為此 f_{α} 之約 $1/\beta$ ，故須注意。

最近常使用增益頻帶寬乘積 (f_r)，取代 f_{α} 來表示電晶體的高頻時之良好程度。如圖 1-7 (b) 所示，此一乘積表示；射極接地電流放大率以 6 dB/octave 之傾斜所下降之高頻域時之頻率與放大率之積，例如 $f_r = 200 \text{ MHz}$ 之電晶體於 100 MHz 之射極接地電流放大率是 2，即為 6 dB，於 50 MHz 者係 4，即為 12 dB。

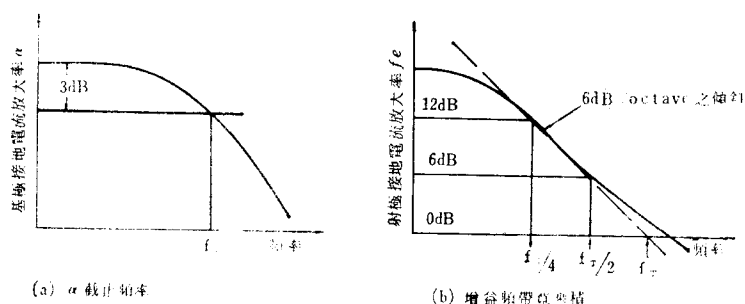


圖 1-7 電晶體之截止頻率

- 基極擴散電阻 ($r_{bb'}$) 於電晶體內部，實際做基極動作之點與基極電極間所存在之歐姆電阻 (Ohmic-resistance)，此一電阻大，則由輸出至輸入之內部反饋就增大，使高頻時之穩定度及增益下降，故愈小愈好。
- 集極電容量 (C_c) 同於上記 $r_{bb'}$ ，其值愈小為佳。此值乃集極電壓而變化相當大，通常反比例於其 $1/2$ 或 $1/4$ 次方。
- 通路 (Closed-circuit) 小信號順向電流放大率 (h_{fe}) 或者直流電流放大率 (h_{FE}) 如圖 1-8 所示， h_{fe} 係射極接地放大

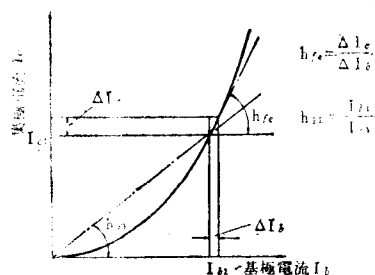


圖 1-8 直流電流放大率與交流電流放大率之關係

電路之集極電流變化量與基極電流變化量之比，而 h_{FE} ，則為集極直流電流與基極直流電流之比。通常於特性表所示者，對放大用電晶體係以 h_{fe} ，而對交換用電晶體則以 h_{FE} 表示。這些數值乃由動作點大大變化，故於本書規格表欄示有測量條件，即集極電壓和電流 (V_{CE} , I_C)。

上述之外，由製造廠家所發表特性者，有如下所示幾項。
即，雜訊指數、失真、交換時間、振盪輸出、保存溫度。

4 基本性特性

其次，敘述電晶體靜態特性之代表性者。有關各種電晶體的這些特性者，由廠家發表於產品介紹手冊等。

然，無論如何這些所發表靜態特性乃為代表性者，雖為同一種類電晶體，但有關各個之特性偏差，則比真空管為顯著地大。因此，對於實際所使用電晶體，諸如電路電阻值等亦常常要自實驗上加以決定，惟異於真空管，電晶體乃只要不弄錯其使用方法，就可使用為半永久性者，故幾乎不需於使用中途更換。

● 基極電壓對基極電流 ($V_{be} - I_b$) 特性 基極電流 I_b 比例於基極射極接合附近之電洞 (Hole) 濃度，故對基極射極間電壓為指數性地變化。就鍺電晶體與矽電晶體加以比較，則如圖 1-9 所示；有很大差別。對溫度變化，則如圖 1-10，略左右平行變動，此一由溫度之平行變動量於矽電晶體和鍺電晶體者無大差，且於接合二極體 (Junction-diode) 及變阻體 (Varistor) 亦為同一變化，故這些零件常被利用於偏壓電路之溫度補償。

再者，此一特性之傾斜為表示輸入電阻。

● 集極電壓對集極電流 ($V_{CE} - I_C$) 特性 為最基本性電晶體靜態特性，相當於真空管時之屏極電壓對屏極電流特性。