

拡散形メサトランジスタ

Diffused Mesa Transistor

柴田 昭太郎* 佐藤 興吾**
Shotarô Shibata Kôgo Satô

内 容 梗 概

高周波トランジスタは全く新しいアイデアに基づき、拡散技術を用いてきわめてうすいベース領域の形成が可能になったため、FMラジオやマイクロテレビなどに用いられている。このトランジスタのよさを示す Figure of Merit に関係する諸因子に対して設計的考察を加え、特性、製法の概要を述べるとともに応用として、FMラジオ用には日立独自の開発になるドットメサトランジスタ (2 SA 233~235) を、TV チューナ用には高周波増幅度の高いストライプメサトランジスタ (2 SA 288~290) を紹介している。また独自の生産技術によって作られたドットメサトランジスタ HS 503 はきわめて安定した特性をもち、電子計算機用素子として高度の要求を満たしている。シリコントランジスタとしては 2 SC 150~152, 2 SC 110~114 はプレーナトランジスタと同等の特性を示し通信工業用に広く用いられている。

1. 緒 言

トランジスタの使用周波数がラジオ用、短波用、FM ラジオ用、テレビ用と次第に高周波領域へと延び、それに必要な技術も急速な進歩をとげてきた。日本でも待望の FM 放送局の設置も決って FM 用メサ形トランジスタの需要も確定し、また一方テレビにもトランジスタが進出し、マイクロテレビのチューナ用としてのメサ形トランジスタの要求度も増しつつある。さらにテレビ中継のサテライト局用や高速度スイッチング用、計算機用などの新しい用途も日に日に開発されメサ形トランジスタの前途は洋々としている。

周知のようにトランジスタ作用は高周波になるにつれて低下してくる。一般にトランジスタの高周波特性を支配する量は Figure of Merit (F. M.) で表わされている。すなわち

$$F. M. \propto \frac{f_a}{C_c \times r_{bb'}}$$

$$f_a \propto \frac{D_p}{W^2}$$

で表わされる。ここで

f_a : α 遮断周波数

$r_{bb'}$: ベース拡がり抵抗

C_c : コレクタ容量

W : ベース幅

D_p : ベース内の少数キャリアの拡散定数

したがって、F. M. の高いよい高周波特性をもつトランジスタを作るためには f_a を上げるとともに $C_c \times r_{bb'}$ を減少させることが必要である。一方 f_a をあげるには D_p を大きくし、 W を小さくすることが要求される。ところが W を小さくすると $r_{bb'}$ が大きくなる傾向を示し、 $r_{bb'}$ を下げようとすると C_c が大きくなったりする。そこで F. M. を構成している諸量は求めるトランジスタの特性上から吟味し、できる限り高い F. M. をもつよう工夫することがたいせつなことである。

またラジオ用トランジスタのベース幅は 10~20 ミクロンという値であるが、FM ラジオやテレビ用として使用される周波数は数十 Mc/s~数百 Mc/s の周波数であり、ベース幅として 1~数ミクロンというきわめてうすい値が要求される。このきわめて高い遮断周波数をもつトランジスタの製造を可能にしたのは H. Kroemer⁽¹⁾ によって開発されたドリフトトランジスタのテクノロジーである。これは拡散によってベース領域内に不純物原子濃度のこう配を作り、こ

れによってできる Built-in-Field と呼ばれる電界でキャリアを加速し、 f_a をあげている。さらに 1956 年にベル研究所の C. A. Lee⁽²⁾⁽³⁾ は拡散技術を利用してきわめてうすく、かつ均一な拡散層を作り、これをベース領域として f_a の高いトランジスタを開発し発表した。これがメサトランジスタなのである。一方メサ形シリコントランジスタはゲルマニウムトランジスタで開発された技術のうえに、シリコンの特性を十分生かした製造技術が積み重ねられたもので、エピタキシャルトランジスタやプレーナトランジスタ⁽⁴⁾⁽⁵⁾などはそれぞれ最近開発されたものの例である。

2. 設 計 的 考 察

ここ数年来高周波用ゲルマニウムトランジスタの改良が急速に進歩し、最高遮断周波数もドリフト形やメサ形の出現によって急激に向上してきた。最初に登場した合金形トランジスタの特性と信頼度についてはもうその頂点に達しているものと考えられる。

一方合金形トランジスタの遮断周波数 f_a はベース領域を拡散によって通過するキャリアの時間によってきまり、ベース幅の自乗に反比例するので f_a をあげるにはベース幅をせまくすればよい。しかし合金技術によるベース幅の量産的制御可能な値は 10~20 ミクロンであり PNP 合金トランジスタの最大遮断周波数は約 15 Mc/s である。その後、拡散技術を用いてキャリアを加速するような電界をベース領域内に作って、キャリアのベース領域の通過時間を減少させ、合金トランジスタの 3~4 倍の遮断周波数をもつドリフトトランジスタが開発された。この f_a はエミッタの P-N 接合の静電容量で制限される。この静電容量はエミッタ接合が高い不純物濃度になっているためエミッタ接合面積を小さくする以外に減少の道はない。したがってエミッタ接合の大きさはドリフトトランジスタの設計上重要な量であり、できる限り小さくすべきである。この形のトランジスタの最高遮断周波数は 100 Mc/s といわれている。100 Mc/s よりさらに高い遮断周波数をもつドリフトトランジスタを作るにはエミッタ合金の深さと静電容量の制御がむずかしくなるので量産的でない。そこでより高い遮断周波数を求めて研究は続けられ、拡散技術を用いてうすいベース領域を作り、そのうえにエミッタとベース両電極を合金した合金拡散形トランジスタが開発され、その最高遮断周波数は約 150 Mc/s である。この形のトランジスタは別名ドットメサ形とも呼ばれ、コレクタ容量を小さくするために電極のすぐそばまでエッチされメサ状になっている。

しかもメサ形は普通の合金トランジスタと違ってエミッタドットとコレクタドットの配列はあまり問題でなく、ドットの大きさはコ

* 日立製作所武蔵工場 工博

** 日立製作所武蔵工場

ネクタの接続ができる程度の大きさであれば十分である。さらにエミッタ電極に蒸着技術を用いて作ったより高い遮断周波数をもつストライプメサ形トランジスタが開発され脚光をあびている。このトランジスタは両電極へのコネクタの接続に製造上の問題がある。最高遮断周波数としては約 1,000 Mc/s のものがある。

2.1 拡散

合金接合形トランジスタの特性は合金化の良否でほとんど決ってしまうように拡散形トランジスタの特性は拡散の良否によってきまってしまう。

半導体へ不純物原子を拡散させるには次の三つの場合がある。

- (A) 気体の状態から半導体へ拡散させる方法
- (B) 固体の状態から半導体へ拡散させる方法
- (C) 液体の状態から半導体へ拡散させる方法

ところで、拡散させる場合いずれの方法がより効果的

であるかは拡散深さや表面濃度などの拡散特性の要求値によってきまる。たとえばストライプメサ形トランジスタでは不純物源を蒸発させ気体の状態にして半導体へ拡散させる方法を用いている。これは拡散条件の制御方法から判断すると、表面濃度が高く、かつ拡散深さの浅いものを作るには気体拡散による方が一般に容易であるからである。

2.2 高周波特性に関する因子

前述したように、トランジスタの高周波領域での性能の良否は Figure of Merit によって示され、この値の大きいほどよい。そのために f_a , C_c , $r_{bb'}$ がどんな物理量であるか以下各因子について述べる。

2.2.1 遮断周波数 (f_a)

このトランジスタのキーポイントをなす拡散によるドリフト電界の f_a に対する効果について検討する。

ゲルマニウムの表面から不純物を拡散させるとき、一次元の拡散方程式は式(1)のように表わされる。

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 N(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

ここで D : 拡散係数

$N(x)$: 不純物濃度

表面における不純物濃度を一定とすると、(1)式の解は

$$N(x,t) = N_0 \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (2)$$

となる。

ところで、任意の2点間に不純物の濃度こう配が存在するところから起因する電界(E')が発生し、この電界はあたかもその2点間に外部的に印加されたときと等価に電導粒子に働きかける。さらに平等電界 E が存在するときは、電導粒子の平均速度 u は移動度を K とすると

$$u = K(E + E') \quad (3)$$

のように表わされる。 $E=0$ のときは E' だけとなり、いわゆる拡散電流だけとなる。

今表面($x=0$)の電位を V_0 、濃度を N_0 、 $x=x_j$ の電位を V_j 、濃度を $N(x_j)$ とすると2点間の電位差 ΔV は

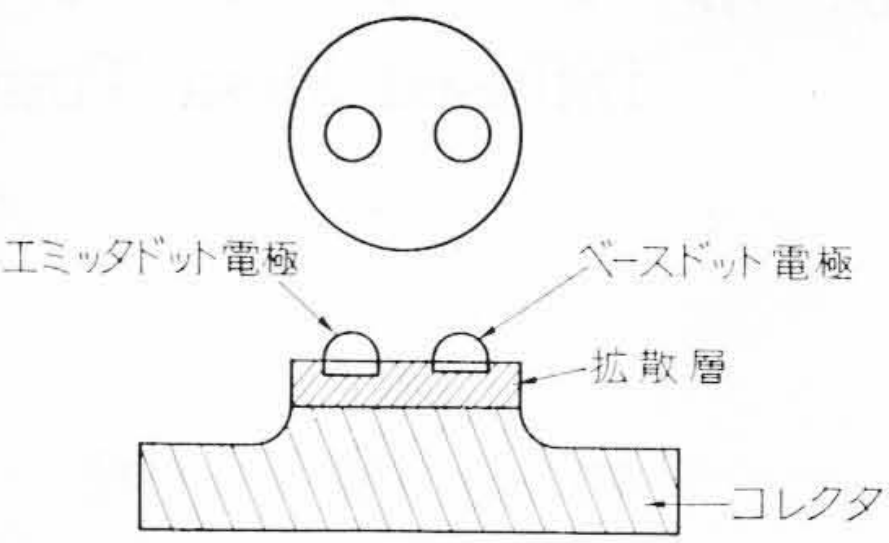
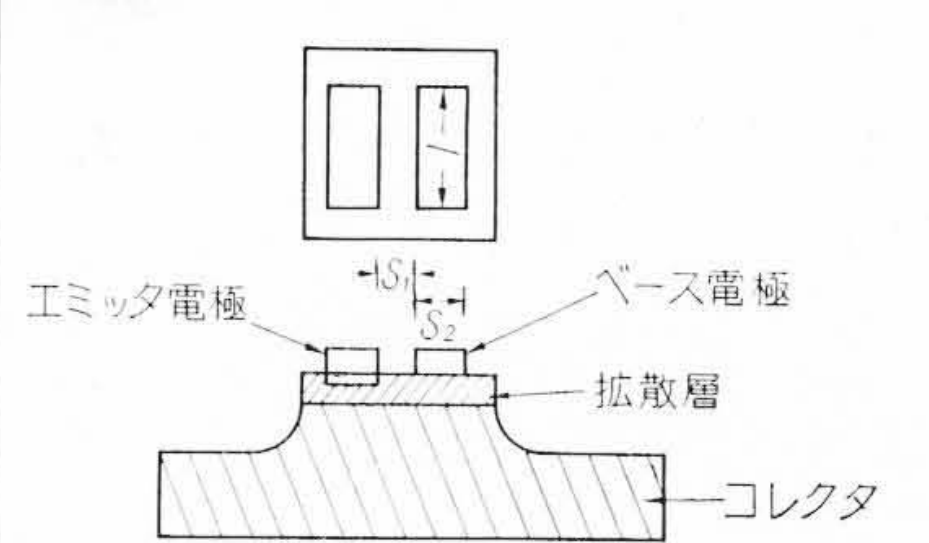
$$\Delta V = V_j - V_0 = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N(x_j)}{N_0}\right) \quad (4)$$

となり、 ΔV と E' の関係は

$$q \cdot \Delta V = q \cdot E' \cdot x_j \quad (5)$$

(4)式と(5)式より

$$E' = \frac{1}{x_j} \cdot \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_0}{N(x_j)}\right) \quad (6)$$

ドットメサ形トランジスタ	ストライプメサ形トランジスタ
	
$r_{bb'} = \frac{2}{\pi} R_1 + \frac{2}{3\pi} R_2$	$r_{bb'} = \frac{S_1}{l} R_1 + \frac{S_2}{3l} R_2$
R_1 : ベース領域の Sheet Resistivity R_2 : エミッタ直下の Sheet Resistivity	S_1 : ストライプの間隔 S_2 : ストライプの幅 l : ストライプの長さ

第1図 メサ形トランジスタの構造とベース抵抗の表現式

となり、この電界によって正孔が加速されるわけである。この加速電界のため f_a はどのようになるかについては⁽¹⁾、不純物分布形を指数関数と近似した場合は、

$$f_a = \frac{D_p}{\pi W^2} \left(\frac{q \Delta V}{2 k T} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

この式は合金接合形トランジスタの f_a に比して $(q \Delta V / 2 k T)^{3/2}$ だけ向上していることを示している。ストライプメサ形トランジスタの場合には $E' = 150 \sim 170$ V/cm であり、 $(q \Delta V / 2 k T)^{3/2} = 6 \sim 8$ となる。

2.2.2 コレクタ容量 (C_{ob})

C_{ob} はコレクタ接合容量(C_c)とステムの浮遊容量(C_s)の和として示される。

$$C_{ob} = C_c + C_s \quad (8)$$

一方 C_c は動作点のバイアス条件からコレクタ接合を階段状接合⁽⁶⁾と近似できるので

$$C_c = K \epsilon_0 \left[\frac{q N_c}{2 K \epsilon_0 V_c} \right]^{\frac{1}{2}} A_c \quad (9)$$

で表わされる。ここで

K : 半導体材料の比誘電率

A_c : コレクタ接合面積

ϵ_0 : 真空誘電率

N_c : コレクタ基体の不純物濃度

q : 電荷量

V_c : コレクタとベース間の電圧

さて(8)と(9)の両式から C_{ob} を小さくするには C_s , A_c , N_c をそれぞれ小さくすることである。しかるに C_s はステムの構造による制限がある。また特性面からコレクタ基体比抵抗値と不純物こう配がきめられるのでメサ面積によって接合部の面積(C_c)を小さくしようとする。これは組立作業をむずかしくするので特性の許す限り大きくしたい。よって特性的立場と量産技術的立場から十分配慮工夫された設計が要求されることになる。

2.2.3 ベース拡がり抵抗 ($r_{bb'}$)

ドットメサ形およびストライプメサ形の両ベース拡散形トランジスタの構造を第1図に示してある。おのおのの $r_{bb'}$ は図中の式のようにそれぞれ表現される。式から $r_{bb'}$ の低減について定性的にいえることは R_1 , R_2 , S_1 , S_2 の諸量をできる限り小さくすべきことである。 R_1 と R_2 は拡散工程では重要な因子⁽⁷⁾である。なお R_1 は表面濃度および拡散層の深さに比例する量であり R_2 はエミッタ直下の不純物濃度とベース幅に比例する量である。

2.3 エミッタ・コレクタ間の信号遅延時間⁽⁸⁾ (τ_{ec})

遮断周波数 f_a が正孔の transit time によって単純に制約される場合には f_a として (7) 式で表現されるが実際の拡散形トランジスタではエミッタおよびコレクタ接合容量の影響が現われ、 f_a の値を制限するのでそれぞれの効果を含む量として τ_{ec} を考えねばならない。 τ_{ec} はエミッタ充電時間 τ_e 、ベース通過時間 τ_b 、コレクタ空乏層の通過時間 τ_d 、コレクタ充電時間 τ_c の 4 因子で表現され、各因子の内容は下記のとおりである。

$$\tau_e = \frac{kT}{qJ_E} C_{ea}, \quad \tau_b = \frac{W^2}{nD_p}$$

$$\tau_c = R_{cs} \cdot C_c, \quad \tau_d = \frac{x_m}{2v}$$

J_E : 直流エミッタ電流密度

C_{ea} : エミッタ障壁容量

n : ベース層不純物分布の形で定まる定数

D_p : ベース層内の少数キャリアの拡散定数

W : ベース幅

R_{cs} : コレクタ直列抵抗

C_c : コレクタ接合容量

v : コレクタ空間電荷層内の少数キャリアの移動速度

x_m : コレクタ空間電荷層の厚さ

よって入出力間の信号遅延時間 τ_{ec} は下式で表わされる。

$$\tau_{ec} = \tau_e + \tau_b + \tau_c + \tau_d = \left(\frac{kT}{qJ_E} \cdot C_{ea} + \frac{W^2}{nD_p} + R_{cs} \cdot C_c + \frac{x_m}{2v} \right) \quad (10)$$

2 SA 235 系では

$$\tau_e \approx 8.6 \times 10^{-10} \text{ s} \quad \tau_b = 7 \times 10^{-10} \text{ s}$$

$$\tau_c = 3.6 \times 10^{-10} \text{ s} \quad \tau_d = 5 \times 10^{-11} \text{ s}$$

程度の値となっている。

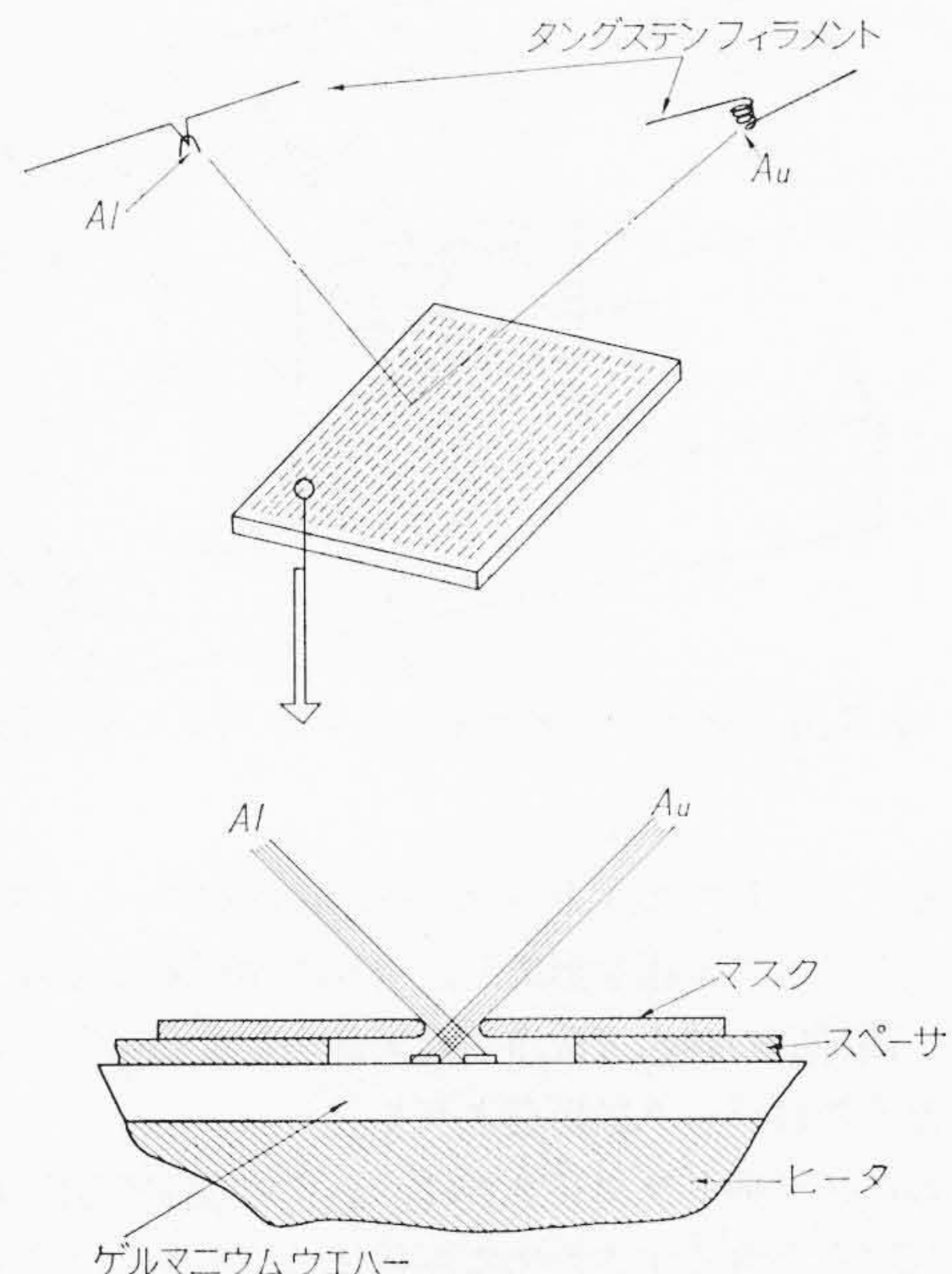
この τ_{ec} を小さくするには、 J_E 、したがってコレクタ基体の不純物濃度を耐圧の許す限り大きくすること、 C_{ea} 、 W を小さくすることが必要である。

3. 製造法

3.1 ドットメサ形トランジスタ

FM 用トランジスタおよび高速計算機用スイッチングトランジスタとしてドットメサ形 PNP ゲルマニウムトランジスタ 2 SA 235 系と HS 503 がそれぞれ用いられており、その構造および製法について簡単に述べる。このトランジスタは第 1 図に示した構造図からわかるように合金接合形トランジスタと違ってエミッタとベースの両電極を拡散層のベース領域の上に狭い間隔で並べて合金化し、ベース抵抗を小さくするとともにメサ面積を制御してコレクタ容量を管理し均一な特性が得られるよう設計してある。特に留意すべきことは拡散により作られたベース層の不純物濃度分布に起因する build-in-field の利用と特殊治具使用による shallow alloying によりドリフトトランジスタより高い遮断周波数を得ている。

次に製造法については自動化や高能率の量産技術が確立し、廉価な半製品が順次工程へ流れるようになっている。さて規定寸法に作られた P 形ゲルマニウムの全表面から N 形不純物を拡散してうすいベース領域を作る。つづいて拡散ずみのペレット上に所定の大きさに大量スプレー方式によりワックスを塗布してエッチ液に入れるとワックスで塗布された所を除き、ゲルマニウムはエッチされて片面の拡散層が削られる。ついで焼付工程に送られると特殊な焼付治具を用いて拡散層の上にエミッタ、ベース両電極のドットが合金化される。この治具によって両ドットの間隔が正確に制御され、 $r_{bb'}$ のバラツキとメサ面積のバラツキの少ない均一な特性のトランジスタとなる。



第 2 図 蒸着工程の図解

タとなる。さらにエッチ工程に送られて所定のメサ面積になるようエッチされた後自動洗浄装置によって徹底的に洗浄され組立工程へと送られてゆく。そこでは改良を重ねた高能率の組立機によって組立てられる。つぎに特性を安定にするため特殊な表面処理を行なった後封止し、検査に合格したものはマークして出荷される。このトランジスタの最大の特長は片面エッチの大量スプレー法、特殊治具による焼付法、高能率の組立機の使用により高周波でしかもきわめて廉価なトランジスタであるということである。

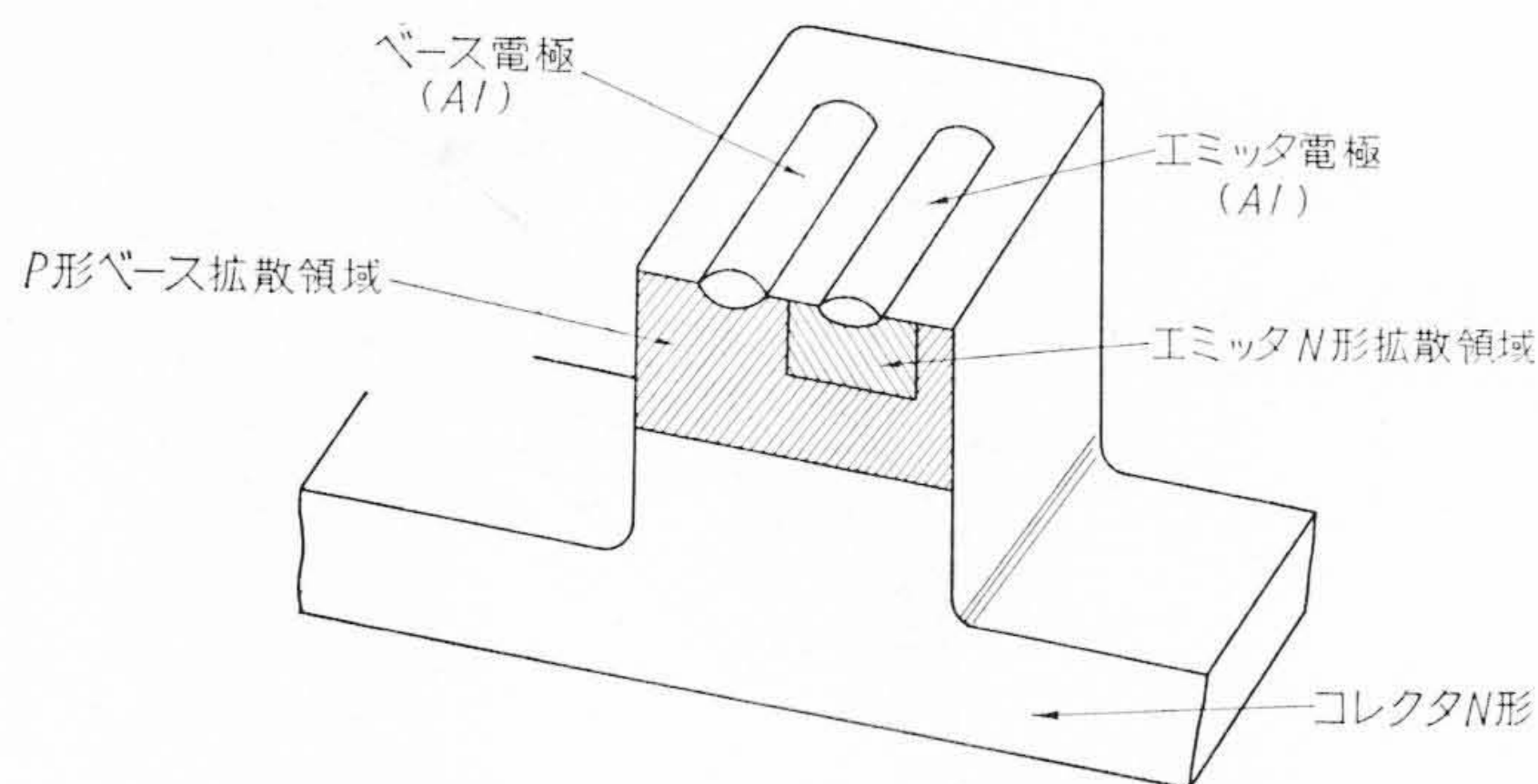
3.2 ストライプメサ形トランジスタ

第 1 図からわかるようにドット電極の代りにストライプ状の電極でベース層はドットメサ形トランジスタに比してはるかにうすい 1 ミクロン以下にして高い遮断周波数を得ている点が異なる。さて所定の厚さに切断研磨されたウエハーはきわめて浅い平坦な P-N 接合をもつエミッタを作るためにほかのトランジスタでは行なわれない鏡面研磨が施されている。このウエハーに気相拡散法で Sb の蒸発原子を半導体に拡散させ規定の拡散深さと表面濃度を作る。拡散ずみのウエハーの上に高真空中でできるベルジャー内で蒸着⁽⁹⁾によってエミッタとベースの両電極を作る。

すなわち第 2 図に示してあるようにマスクとスペーサをウエハーの上にのせ、十分の高真空中で Al をうすく蒸着して合金処理してエミッタ電極とし、そのすぐ隣りに Au-Sb 合金を蒸着してベース電極とする。しかも一度の蒸着で数百のユニットができる。このウエハーは 0.6 mm × 0.6 mm のペレットに切断され、エッチ工程では所定のメサ面積をもつようエッチされてメサができ上る。メサのでき上ったペレットは組立工程へ送られてフラックスなしで非常に小さい面積にコネクタの溶着ができる熱圧着法⁽¹⁰⁾でエミッタとベースの両電極にリード付される。その後適切な表面処理してから封止し、特性検査に合格したものはマークして出荷される。

3.3 シリコンメサ形トランジスタ

メサ形にはゲルマニウムばかりでなく NPN シリコンメサ形トランジスタ⁽¹¹⁾が開発されている。拡散、熱圧着組立、封止と製造法は根本的に全く同じで、その構造は第 3 図に示すとおりである。すなわち所定の厚さに切断し鏡面研磨された N 形ウエハーを酸化性雰囲気中で加熱して表面に酸化膜を作る。P 形不純物をこの酸化膜を通して拡散して P 形ベース領域を作る。つぎに酸化膜の不必要部分を除き、この取り去った部分に N 形不純物を拡散して N 形エミッタ電極を作る。



第3図 シリコンメサ形トランジスタの構造図

タ層を作る。こうしてでき上ったベース領域とエミッタ層にAIを蒸着してストライプ電極を形成し、それに熱圧着で金線を接着して組み立て、高純度の純水で洗浄した後適切な表面処理を施し検査に合格したものはマーク後出荷される。

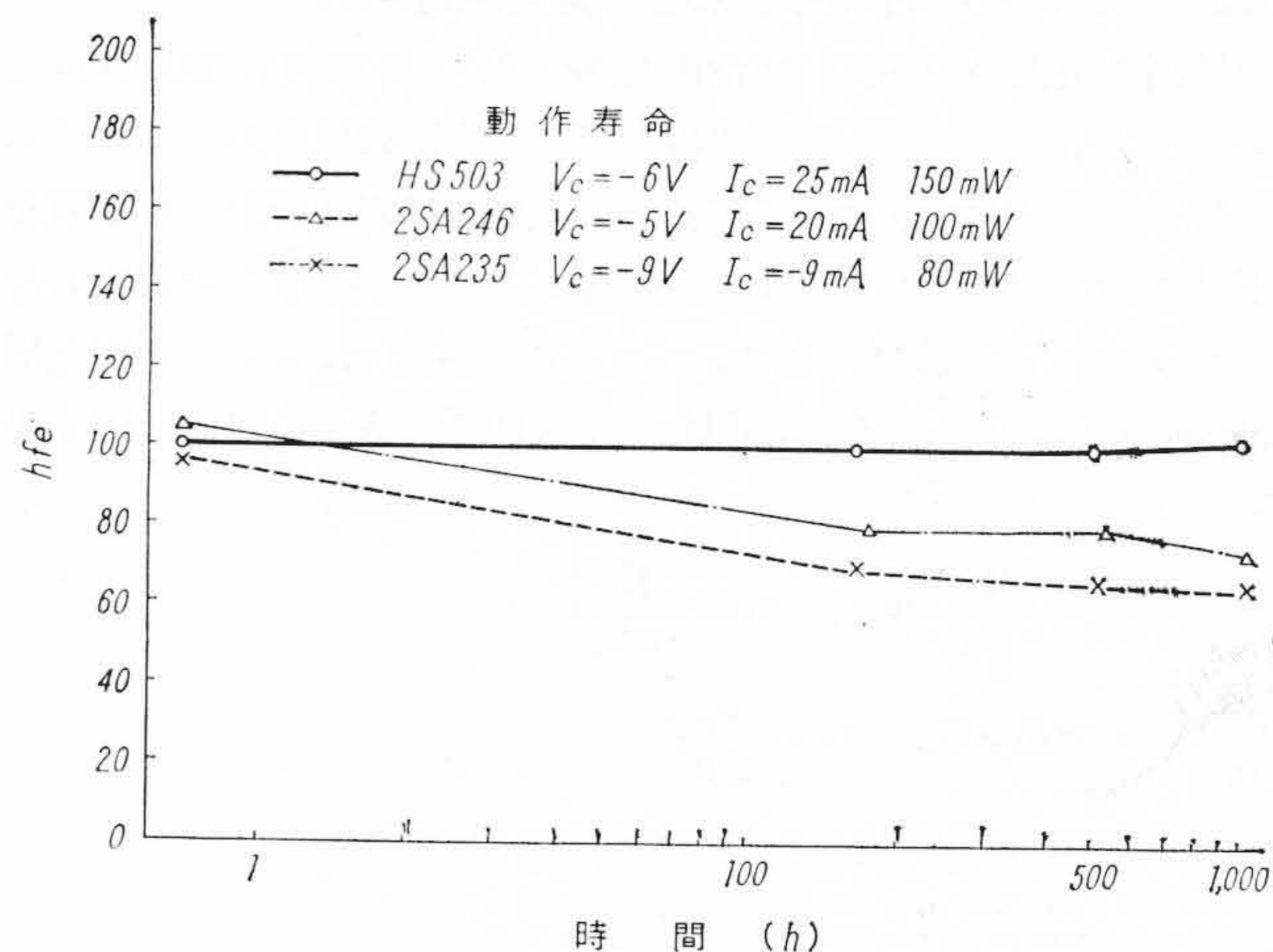
さて一般にメサ形トランジスタはコレクタ遮断電流(I_{c0})とコレクタ容量(C_c)を小さくするために基体比抵抗をかなり高くする必要がある。そのためにコレクタ領域内の電圧降下を大きくし、諸特性をそこねる恐れがある。そこで低い基体抵抗で I_{c0} と C_c の小さいものをという要望を満足させたエピタキシャルトランジスタ⁽⁴⁾(日立では2SC110系)が開発され、高周波出力特性やスイッチング特性が特にすぐれている。

4. 特 性

4.1 メサ形トランジスタの特長

メサ形は名前の示すとおり変った形をしているが以下述べるような特長をもっている。

- (1) 高精度のうすいベース幅を作り得るのできわめて高い周波数まで動作する。
- (2) コレクタを直接ステムに取り付けることができるので許容熱損失が大きく、したがって高周波で出力がとれる。
- (3) ベースとエミッタが近接しているので $r_{bb'}$ が小さい。
- (4) 低融点物質を使用していないので合金接合形トランジスタより高温でも安定に動作する。
- (5) 不純物濃度こう配に起因する加速電界を利用できる。



第4図 ドットメサ形トランジスタの特性の経時変化

4.2 ドットメサ形トランジスタ

FM用に適するトランジスタとして2SA235系、トランシーバ用として2SA246系、高速計算機論理回路用としてHS503がある。これらは低電圧においても十分な周波数特性を示している。これらのトランジスタの特性の経時変化の様子を第4図に示してあるがHS503が特に安定な特性をもっていることがわかる。HS503は特殊な表面処理を施してHITAC3010計算機用素子として開発されたものである。

2SA234はFM中間周波増幅用、2SA235はFM受信機のチューナおよびTV映像中間周波増幅用としてすぐれた性能をもっている。この種トランジスタの一般的特性は第1表にまとめて示してある。

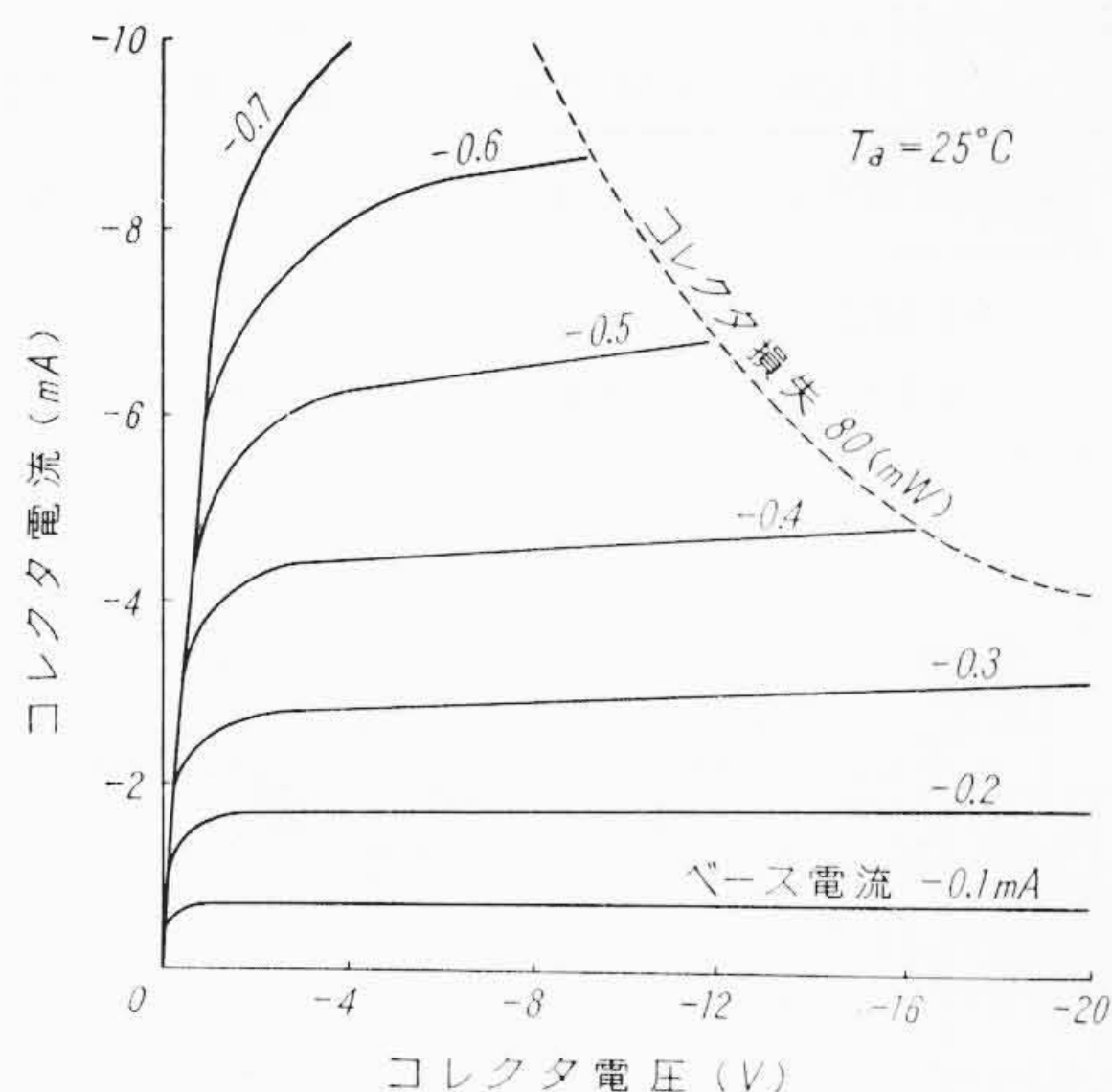
2SA234の出力特性曲線は第5図に示すとおりであるが、五極真空管の陽極電圧対陽極電流との関係に似ていることがわかる。さらに変調や検波回路設計のときよく用いられるコレクタ電流とベース電圧との関係を第6図に示す。

なおトランジスタの諸定数、 r_{ie} (入力抵抗)、 C_{ie} (入力容量)、 r_{oe} (出力抵抗)、 C_{oe} (出力容量)の値は動作点が定まれば静特性曲線から求められるのであるが r_{oe} の値が大きいときはその値は不正確となる。したがって通常これらの諸定数は小信号法で測定される。こ

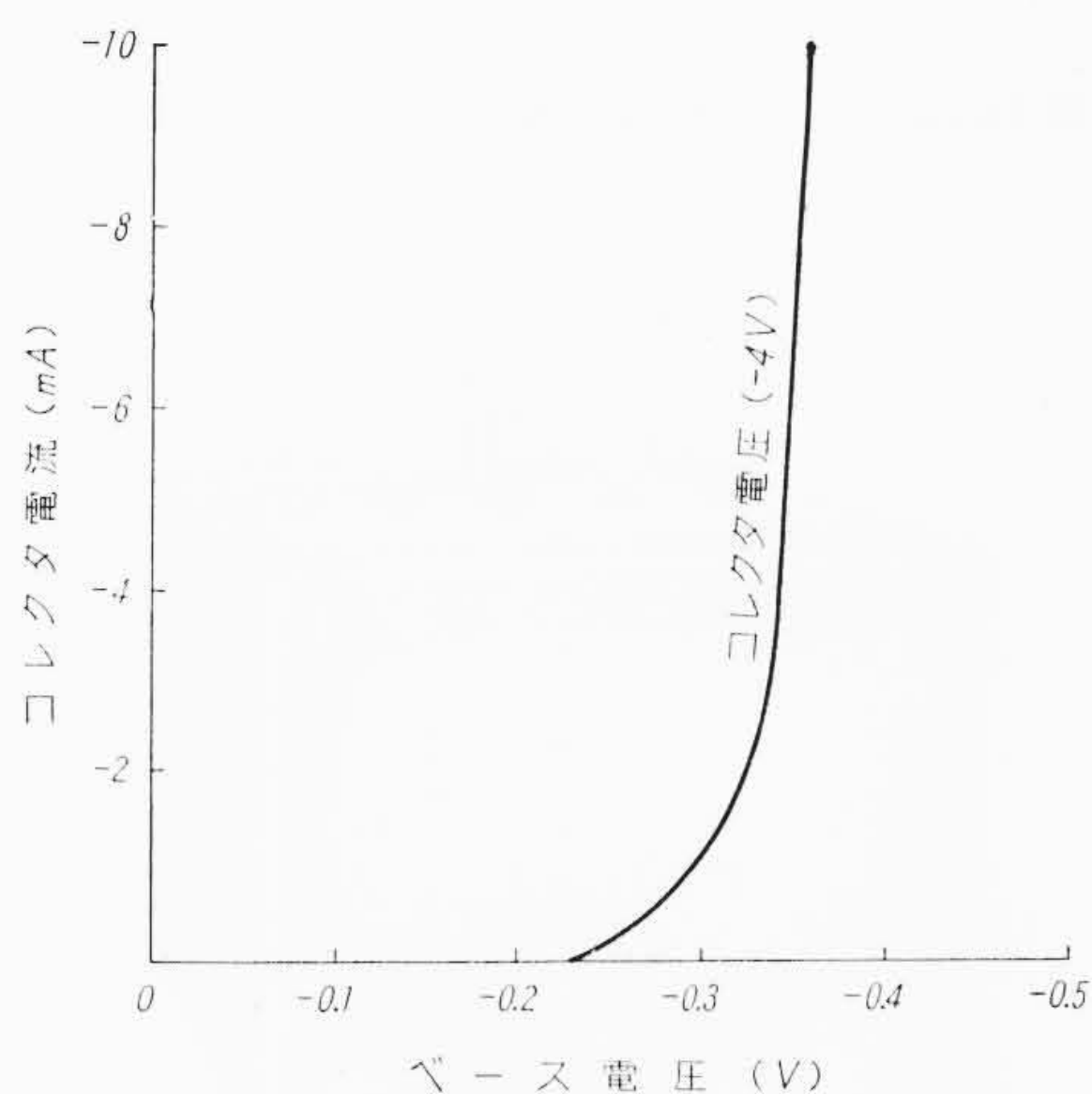
第1表 高周波トランジスタ一覧表

形 名	構 造	用 途	絶対最大定格 (T _a =250℃)						電 気 的 特 性 (T _a =25℃)										動 作 特 性 (T _a =25℃)							
			コレクタ電圧 V _{CE0} (V)	エミッタ電圧 V _{EB0} (V)	コレクタ電流 I _c (mA)	エミッタ電流 I _E (mA)	コレクタ損失 P _c (mW)	接合温度 T _j (℃)	動作点		h _{fe}	f _{ab} (Mc)	C _{ob} (pF)	r _{bb'} (Ω)	最大コレクタ遮断電流		最大エミッタ遮断電流		接地方式	動作点		信号周波数 f _a (Mc)	中間周波数 f _i (Mc)	入力抵抗 R _i (Ω)	出力抵抗 R _o (kΩ)	電力利得 PG (dB)
									V _{CE} (V)	I _E (mA)					I _{CBO} (μA)	V _{CB} (V)	I _{EBO} (μA)	V _{EB} (V)		V _C (V)	I _E (mA)					
2SA233	PNP ベース 拡 散	FM中間 周波増幅	-20	-0.5	-10	10	80	85	-6	1	70	100	2.1	60	-30	-20	-50	-0.5	E	-6	1	10.7		600	20	23
2SA234			-20	-0.5	-10	10	80	85	-6	1	70	120	2.1	55	-30	-20	-50	-0.5	E	-6	1	10.7		600	50	26
2SA235		超短波増 幅																	B	-6	1	100		74	3.7	13
		超短波周 波数変換	-20	-0.5	-10	10	80	85	-6	1	90	135	2.1	50	-30	-20	-50	-0.5	E	-6	1	100		54	3.7	12
																				B	-6	1	100	10.7	80	50
2SA246		トランジ ーバ出力	-30	-0.5	-30	30	100	85	-6	5	70	155	3.0	70	-30	-30	-50	-0.5								
2SA288		VHF TVチュ ーナ	-20	-0.5	-10	10	80	85	-6	3	20	500	0.9	65	-30	-20	-50	-0.5	E	-6	3	100		80	9	18
2SA289			-20	-0.5	-10	10	80	85	-6	3	20	600	0.9	65	-30	-20	-50	-0.5	E	-6	3	100		80	9	20
2SA290	-20		-0.5	-10	10	80	85	-6	3	20	700	0.9	65	-30	-20	-50	-0.5	E	-6	3	100		80	9	21	
2SC150	NPN ベース 拡 散	高周波増 幅	20	5	100	-100	750	175	6	-10	50	100	7	70	10	20	10	5								
2SC151			40	5	100	-100	750	175	6	-10	50	130	7	70	10	40	10	5								
2SC152			60	5	100	-100	750	175	6	-10	50	160	7	55	10	60	10	5								
2SC110	NPN エビタ キルメ サ	高周波出 力	40	5	200	-200	750	175	2	-200	50	180▲	7▲	55▲	10	40	10	5								
2SC111			50	5	200	-200	750	175	2	-200	50	180▲	7▲	55▲	10	50	10	5								

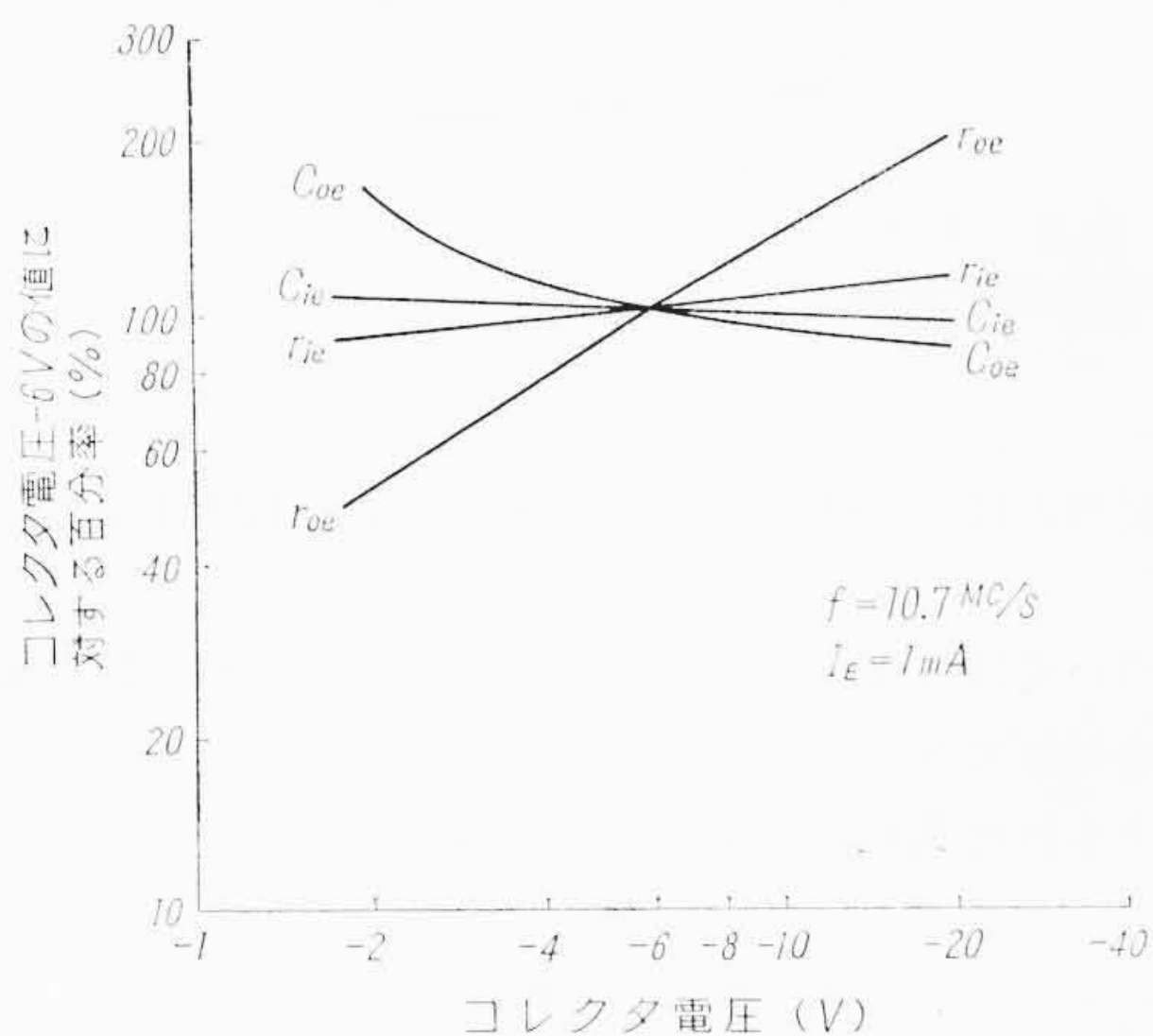
▲印の値は $V_{CB}=6\text{V}$, $I_E=-10\text{mA}$



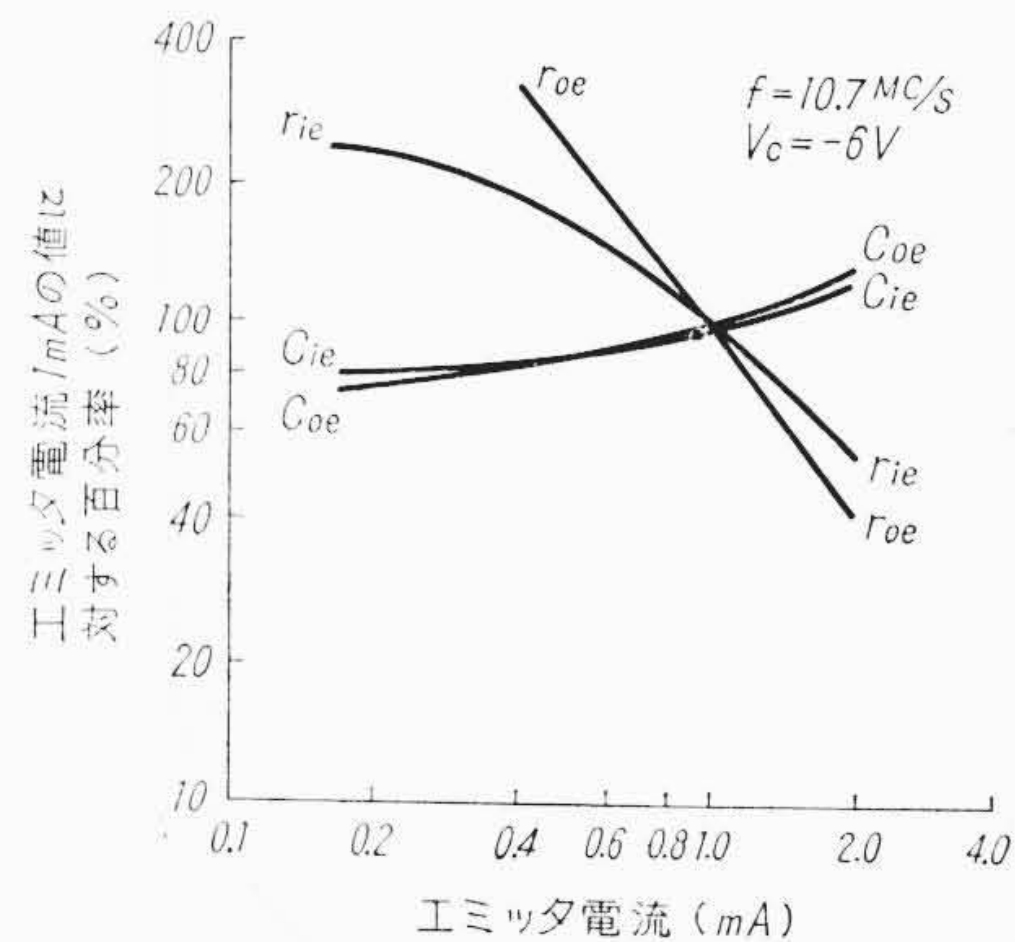
第5図 エミッタ接地出力特性 (2S A234)



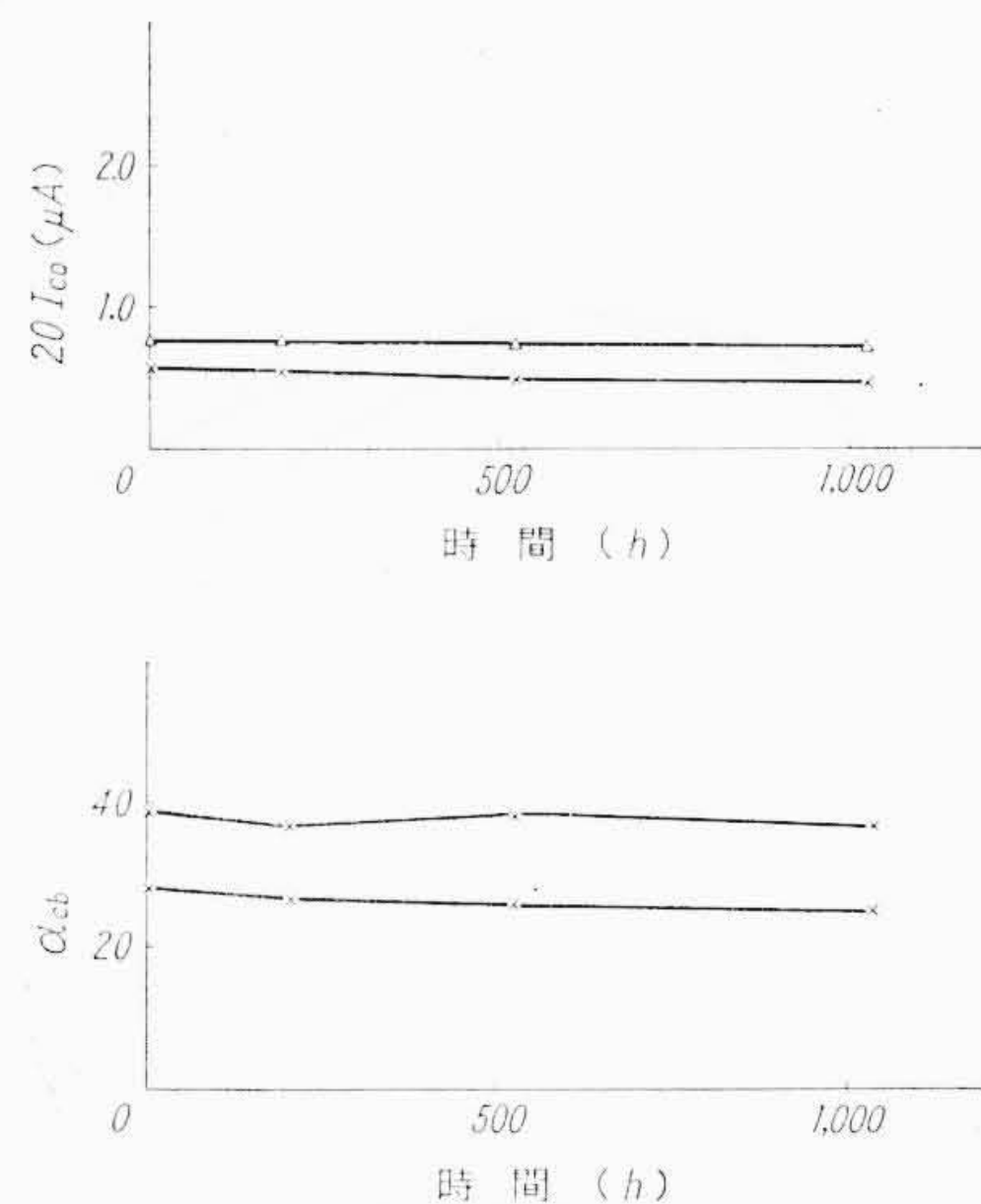
第6図 コレクタ電流対ベース電圧特性



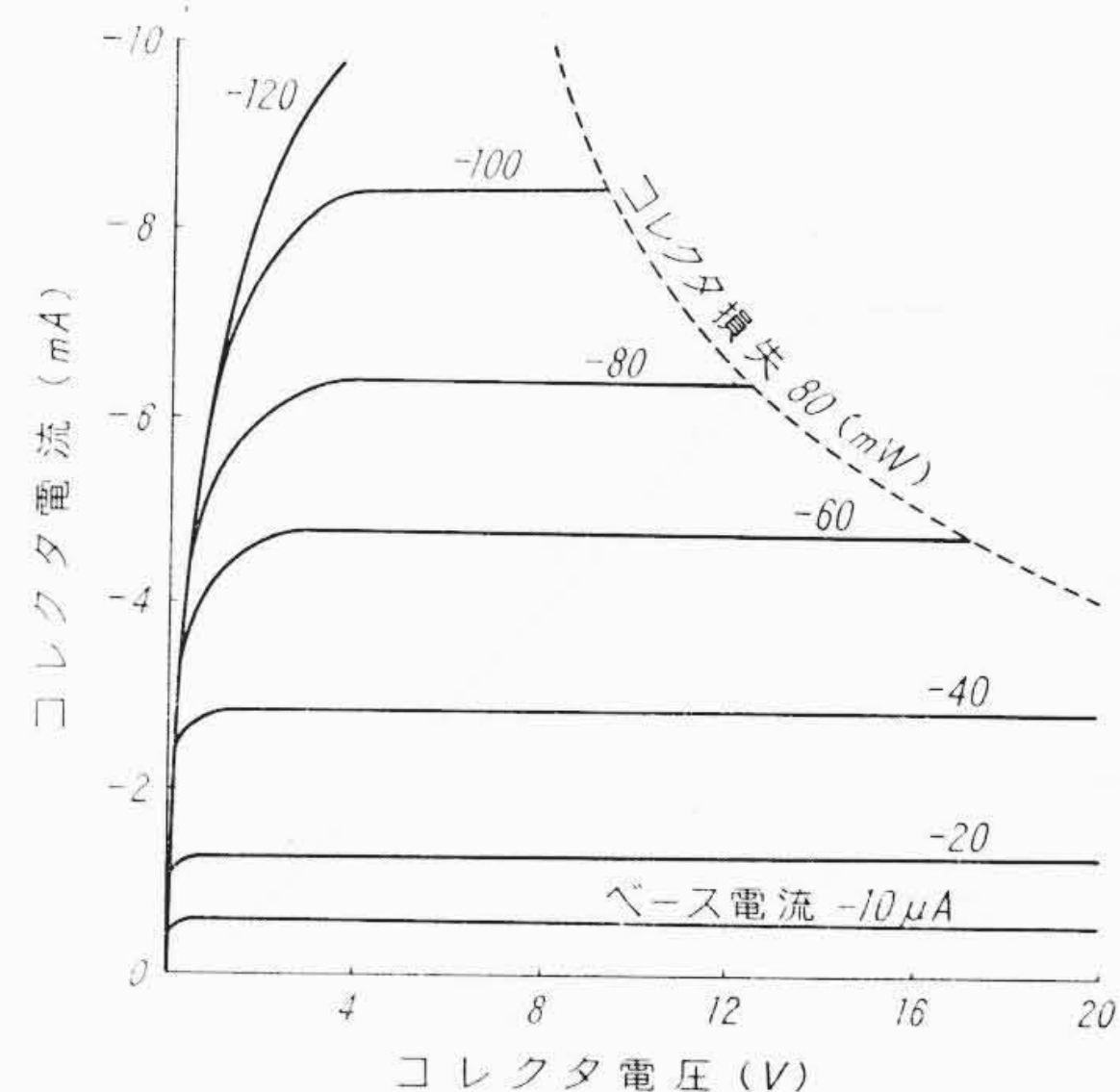
第7図 エミッタ接地入出力インピーダンスのコレクタ電圧依存性 (2S A234)



第8図 エミッタ接地入出力インピーダンスのエミッタ電流依存性 (2S A234)



第9図 $20 I_{CO}$, α_{cb} の動作寿命試験 (2S A283)



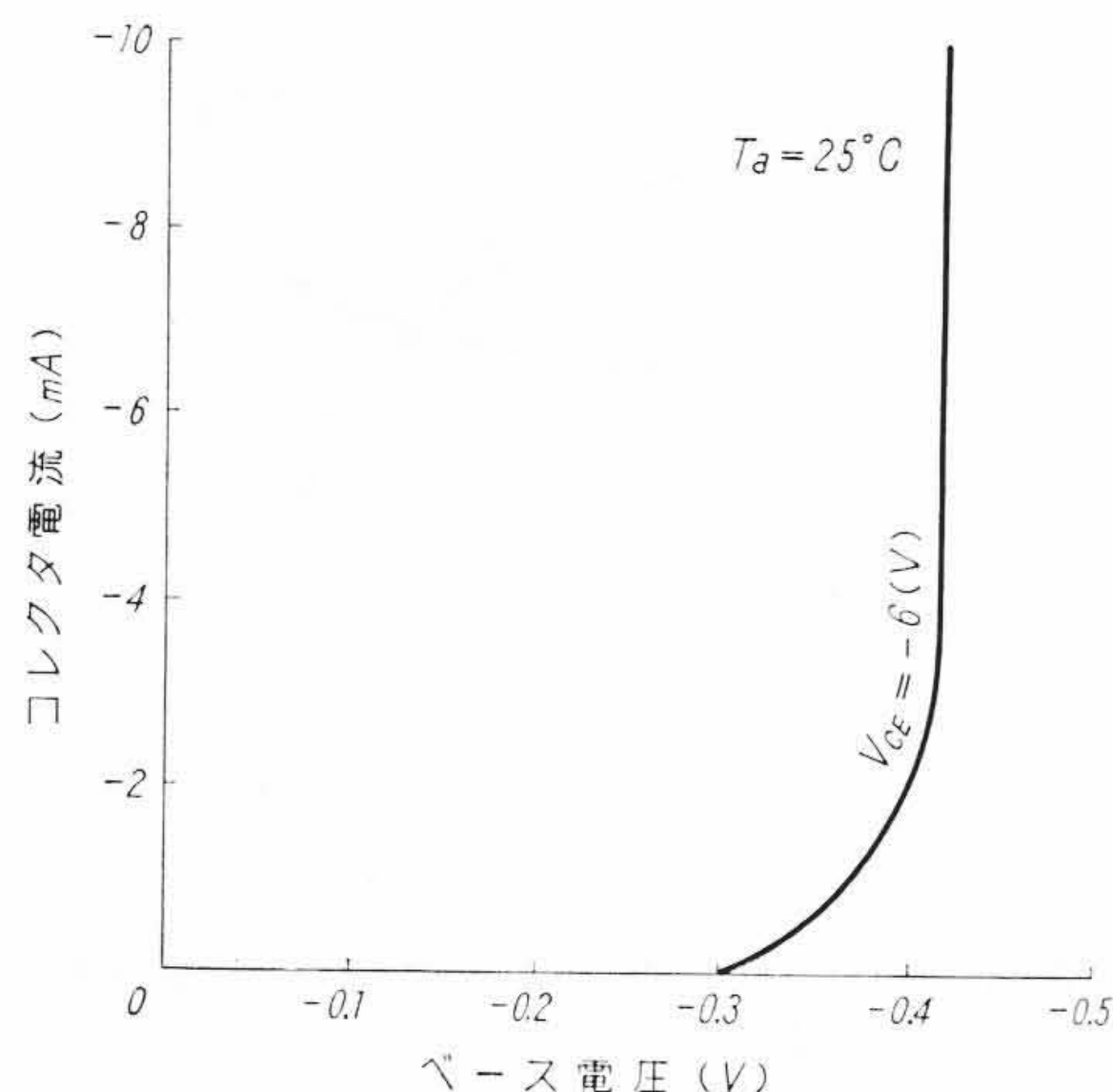
第10図 エミッタ接地出力特性 (2S A289)

これらの諸定数が基準となるエミッタ直流電流およびコレクタ直流電圧によってどのように変化するかということを知っておくことは回路設計上重要なことであるので、第7図にエミッタ接地の入出力インピーダンスのコレクタ電圧依存性を、第8図に入出力インピーダンスのエミッタ電流依存性を示す。

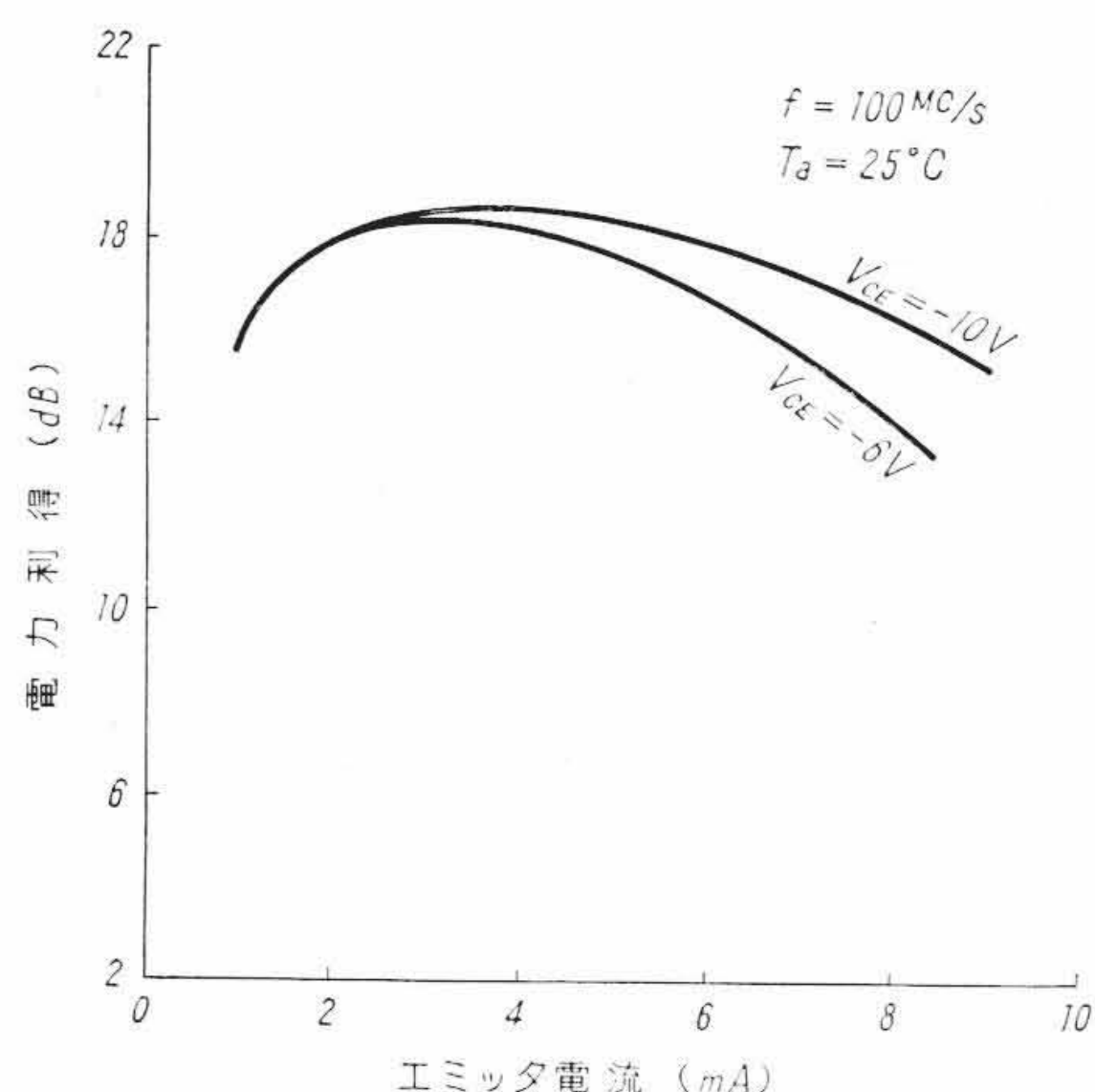
4.3 ストライプメサ形トランジスタ

マイクロテレビの出現によってTVチューナ用トランジスタとしてFM用より高い遮断周波数でかつ出力容量の小さい Figure of Merit の高いトランジスタが必要となった。それに適するものとして2SA290系(発振用として2SA288, 混合用として2SA289, 増

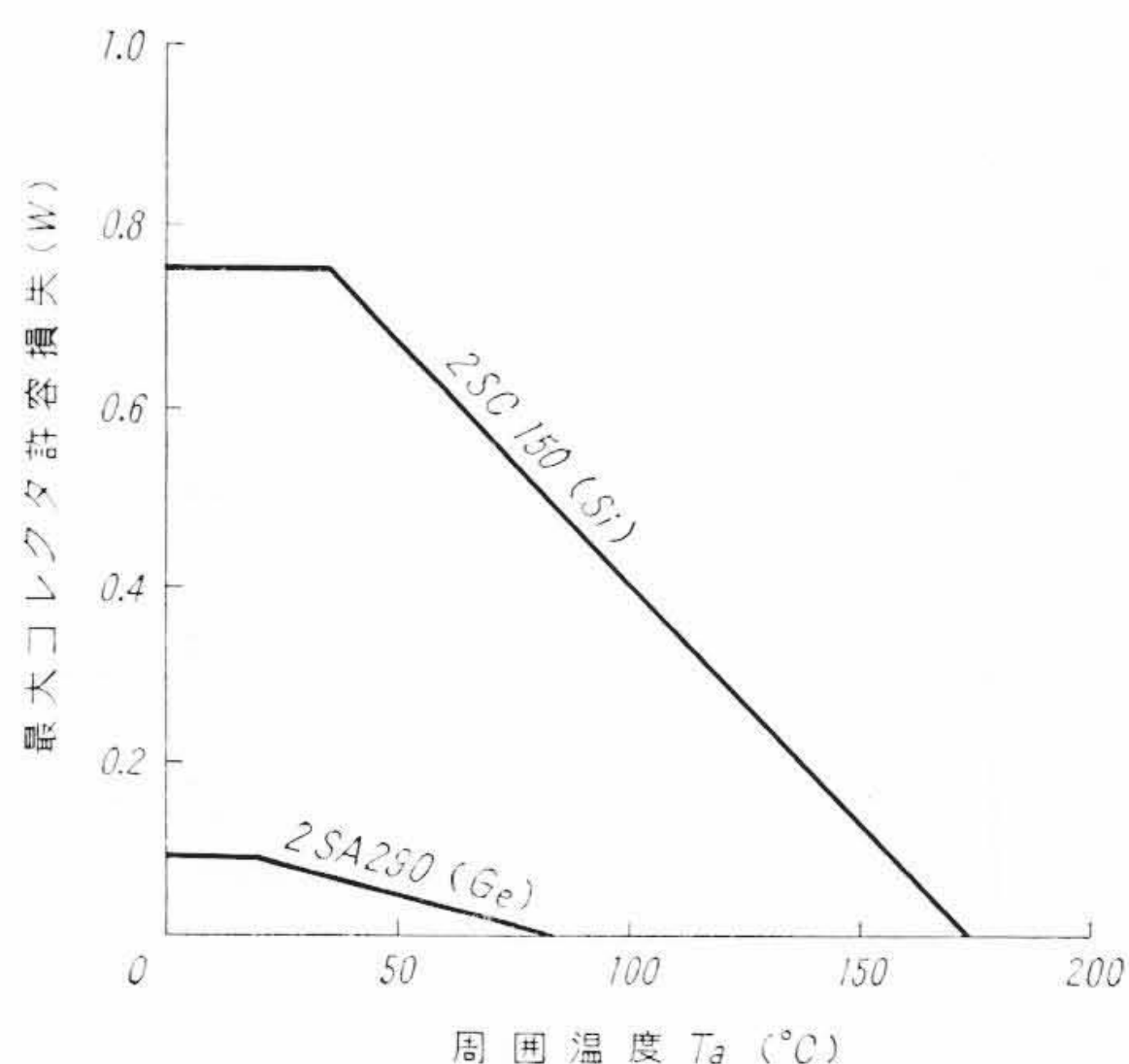
幅用として2SA290)トランジスタがある。これらの電気特性は第1表に示してある。またこのトランジスタは C_{ob} の小さいことが大きな特長である。第9図に特性の経時変化の様子について示してある。 I_{CO} , α_{cb} の動作寿命試験で経時変化の少ないことは安定な動作を必要とするチューナにとって最適のものといえよう。なおエミッタ接地の出力静特性を第10図に、コレクタ電流対ベース電圧特性を第11図にそれぞれ示してある。またこの種トランジスタの高周波領域での良否を示す主要な因子として電力利得がある。100Mcでの電力利得がエミッタ電流によってどのように変化するかを第11図に示してある。



第11図 コレクタ電流対ベース電圧特性 (2SA289)



第12図 エミッタ接地の100Mc電力利得のエミッタ電流依存性 (2SA289)



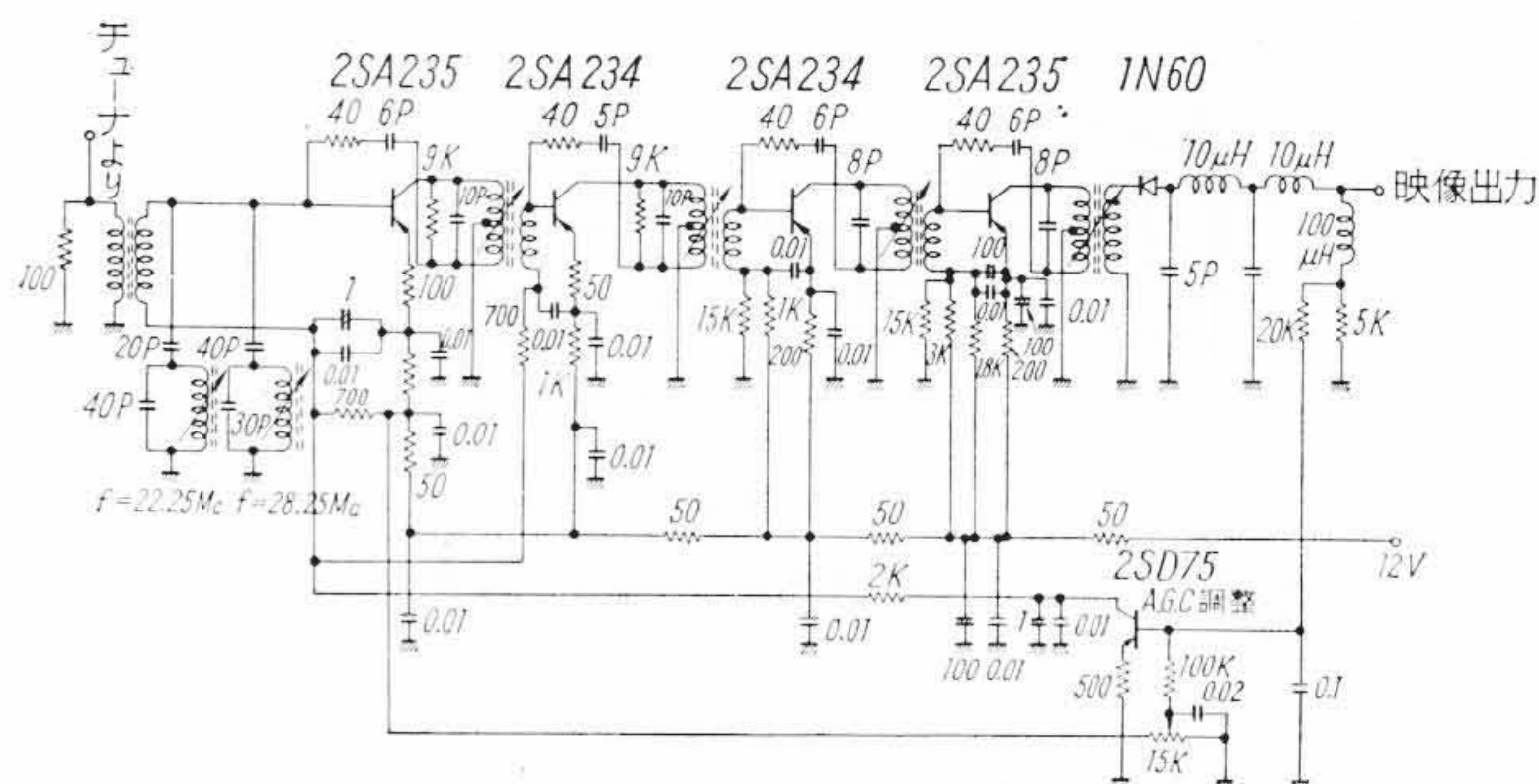
第13図 周囲温度とコレクタ許容損失との関係

4.4 シリコンメサ形トランジスタ

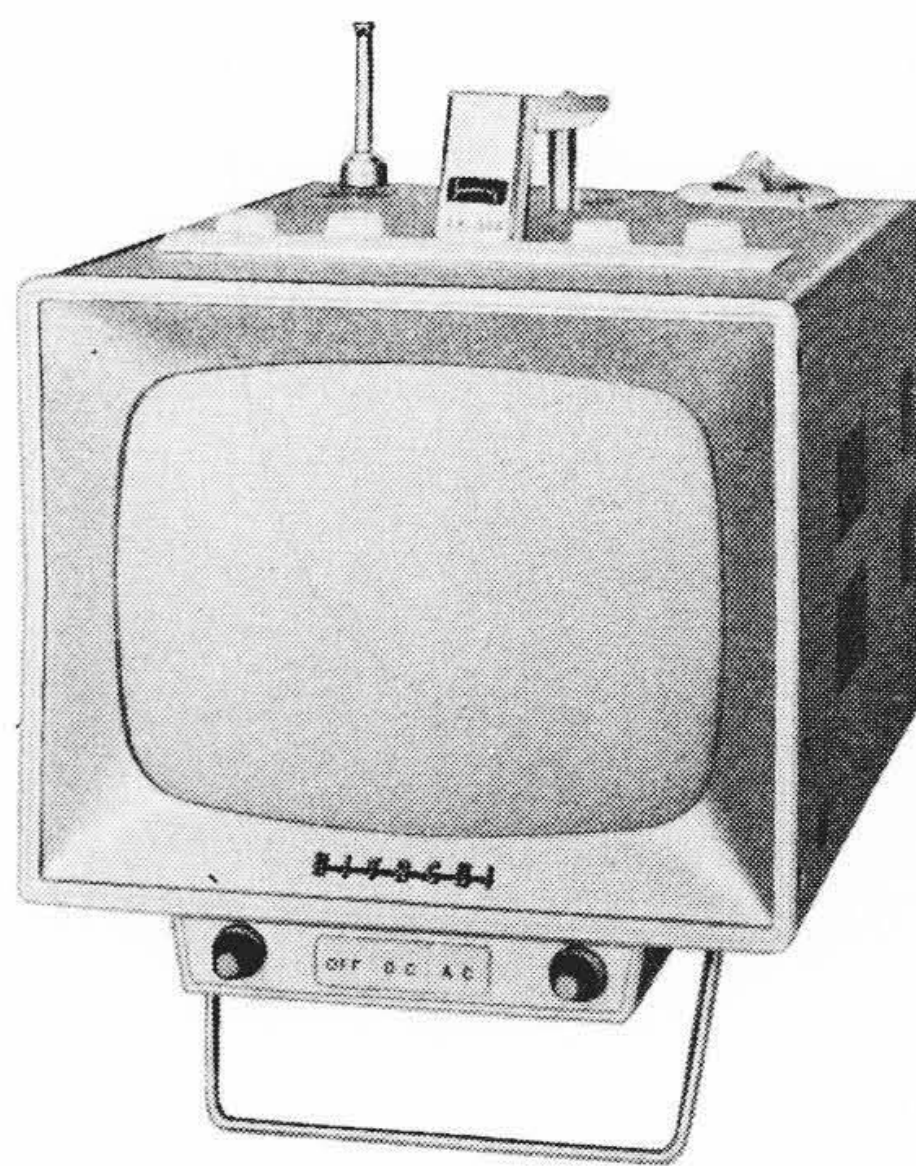
2SC150系のベース拡散形NPNシリコントランジスタは750mWの高周波出力用として開発されたもので、全く日立独自のアイデアによる表面処理を施してあるためプレーナ形トランジスタと同等の特性をもち、かつ製法も容易で量産性に富んでいる。このトランジスタの1,000時間175°Cの高温放置寿命試験における変化率は第2表に示してあるが、変化率がきわめて小さく安定でプレーナトランジスタに比して遜色ないことがわかる。なおシリコンとゲルマニウムの周囲温度と最大許容コレクタ損失の比較は第13図に示してあるが、シリコンの耐温性の高いことがわかる。一般にシリコ

第2表 1,000時間750°Cの高温放置寿命試験におけるプレーナトランジスタ2N696と2SC150の特性値の変化率の比較

項目	V_{EEO} の変化率	CoV_c の変化率	h_{fe} の変化率	備考
2N696	-1.04%	-0.5%	+2.06%	プレーナ形
2SC150	-0.8%	+0.8%	+2.3%	



第14図 テレビ映像増幅中間周波増幅回路例

第15図 トランジスタテレビ“リリアン”EY-560
受像機の外観

ントランジスタは-65°C～+165°Cまで安定に動作するといわれている。

寿命については1,000時間における特性をきわめて短い時間で十分な精度で保障できるような早期寿命判定技術の開発によって、常にチェックされた長寿命の製品が作られている。

5. 応用例⁽¹²⁾⁽¹³⁾

以上ゲルマニウムおよびシリコンメサ形トランジスタについて述べたがトランジスタを用いる回路を設計する場合には、トランジスタ自体の特性をよく知っていることはもちろんのこと、トランジスタの入力特性、出力特性をも知っておくことが大切である。

たとえば増幅回路を作るときは

- (1) 目的としている周波数帯で必要とする増幅度が得られるか
- (2) 安定に動作するか
- (3) 雑音はどうか

などが十分考慮され、それに適するトランジスタを選定することが最も大切なことである。

実際の応用例について第14図に2SA234とを用いたテレビ映像増幅中間周波増幅回路例を示す。第15図は現在話題になっているトランジスタテレビ受像機の外観である。

6. トランジスタの今後の問題

(1) 汎用トランジスタ

ポータブルラジオの普及は驚くべきもので、これに使用されているトランジスタの製造技術も回路技術も確立したものと考えられる。最近マイクロテレビの業界への進出によって、テレビのトランジスタ化がにわかに活発化し、各社とも製造中であるが、これはラジオと異なり種々の問題点を持っている。チューナ用としてのメサ形トランジスタは量産性、経済性に若干の問題があり、さらに高いフライバック電圧に耐え得るような高逆耐圧の水平偏向用トランジスタも量産技術的な問題が残されている。またトランジスタを用いる回路での AGC のかけ方も一工夫のほしいところである。結局、チューナ用、水平偏向用の両主要トランジスタの製造技術と回路技術の確立が目下の急務と考えられる。

(2) 工業用トランジスタ

汎用トランジスタと異なった領域で使用されているのでいろいろと別種の問題を含んでいる。工業用として真先に要求される問題は信頼度であって、汎用程度の信頼度では問題にならない。したがって信頼度の向上に種々の方法が採られているが解決は非常にむずかしい。最近プレーナ形シリコントランジスタの出現によって十分満足すべき程度まで達しているようである。一方立場をかえて信頼度について考えると、トランジスタ自体の信頼度の高いことも確かに重要であるが、使用する回路条件も余裕あるものとし信頼度を持続できるように配慮しなければいけない。そのためには特性のパラッキの少ないトランジスタの製造技術の確立も見逃せない問題である。

つぎに問題になるのは温度によるトランジスタ特性の変化である。これはゲルマニウムトランジスタにおいて顕著であり、シリコントランジスタでは変化は少ない。

以上のことから工業用トランジスタとしてシリコントランジスタを用いるのが常識になっているが、製造技術に若干の問題が残されている。しかしプレーナ化の技術の開発によって高信頼度の確保ができるようになり量産技術の向上は次第に原価の低減をもたらしているから、工業用としては安価で信頼度の高いシリコントランジスタの時代になる日も遠くないことであろう。

7. 結 言

以上ゲルマニウムとシリコン両メサ形トランジスタの設計的基準、製造技術、特性について概要を述べた。

メサ形の基本的技術問題は解決されたとはいえ VHF から UHF へと周波数が上昇するためメサ形は小形化する。また計算機の発達は早いスイッチング特性をもつエピタキシャルトランジスタの需要をましている。これらトランジスタの量産性と経済性は今後の問題であり早期解決にあらゆる分野の技術の結集が必要であろう。

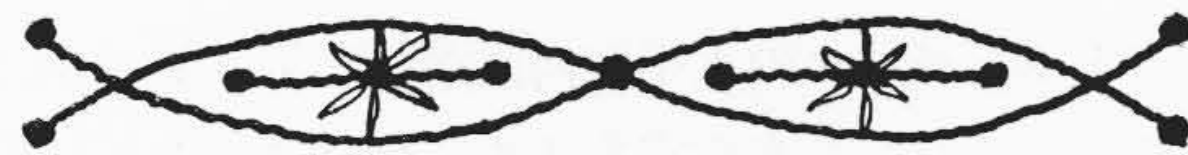
参 考 文 献

- (1) H. Kroemer: Arch. Elekt. Ubertr., 8, 233 (1954), 499 (1954)
- (2) C. A. Lee: B. S. T. J., 35, 23 (Jan. 1956)
- (3) C. H. Knowles: Electronic Industries., 17, 55 (Aug. 1955)
- (4) H. C. Theverer: Proc. I. R. E., 48, 1642 (Sept. 1960)
- (5) W. D. Roehr: Electronics., 34, 52 (Mar. 1961)
- (6) J. M. Early: B. S. T. J., 32, 1271 (Nov. 1953)
- (7) F. M. Smith: I. R. E., 46, 1049 (June. 1958)
- (8) J. M. Early: I. R. E., 46, 1924 (Dec. 1958)
- (9) R. J. Gnaedinger: Bell Lab. Rec., 36, 364 (Oct. 1958)
- (10) H. Christensen: Bell Lab. Rec., 36, 127 (Apr. 1958)
- (11) L. E. Miller: I. R. E., Wescon Conv. Rec., Part-3, 132 (Aug. 1958)
- (12) 阿部, 日下, 保坂, 中野: 日立評論 43, 554 (昭 36-4)
- (13) 日下, 佐藤: 日立評論 44, 1563 (昭 37-10)



特許第297253号 (特公昭 36-23126)

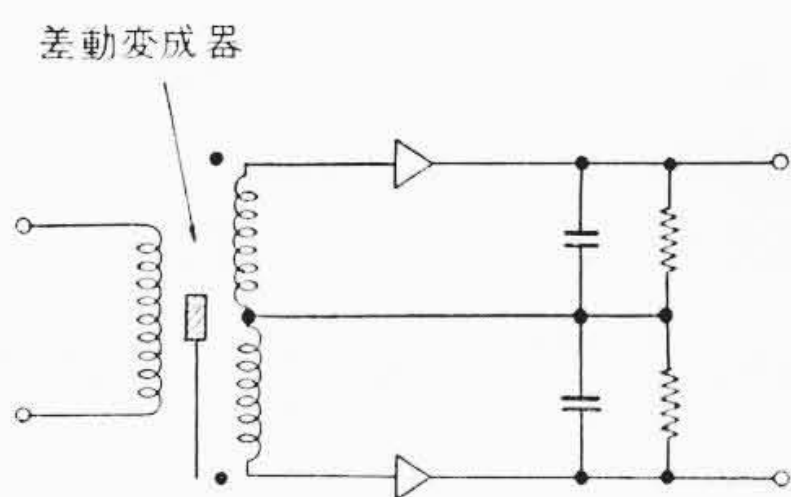
特 許 の 紹 介



猪瀬文之・木下敏雄

差 働 変 成 器 回 路

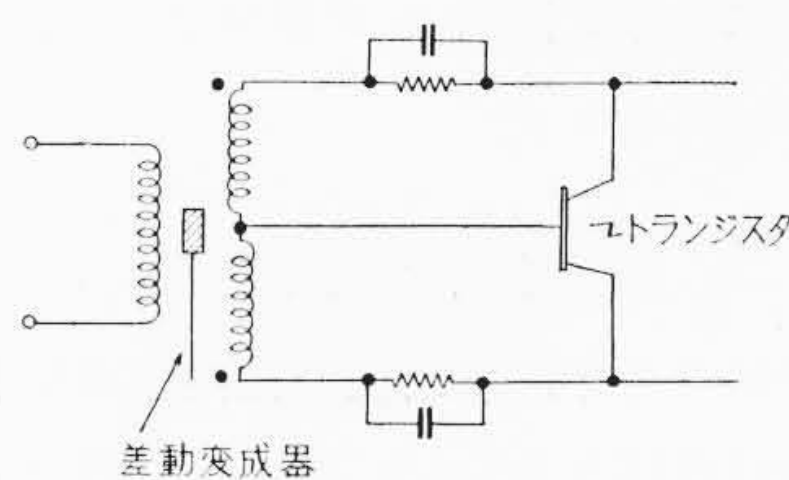
差働変成器を零点法で用いると残り電圧や出力電圧の位相変化などで困難な問題があり、これを避ける方法として、第1図に示すように二次側の二つの線輪の交流出力を別々に整流し、直流にした後差働することは公知である。こうして整流器としては、一般に半導体整流器が用いられているが、その逆方向電流の温度変化がはなはだ大きいので、使用する整流器のわずかな温度差も各々の直流出力に影響し、平衡点の変動を与える。



第1図

この発明はこの出力漂動を除くために、第2図に示すように差働変成器の二次側出力の各々をトランジスタのエミッタ接合およびコレクタ接合の両接合で整流するようにしたものである。

この場合エミッタ接合およびコレクタ接合は、熱的に十分結合されているから二つの整流器を用いる場合に比べ両接合に温度の不均衡を生じる度合は非常に小さいので当然温度変化による出力漂動を低減することができる。(井 沢)



第2図