

ドリフトトランジスタ

Drift Type High Frequency Transistor

阿部 亨* 大西 新二* 日下 晴夫*
Akira Abe Shinji Ōnishi Haruo Kusaka

内容梗概

従来の合金接合形トランジスタは少数キャリアが一様な不純物濃度のベース領域を、拡散現象によって通過する。ドリフトトランジスタではあらかじめベースに不純物の濃度勾配を与えてあり、それによって生じる電界のため少数キャリアは駆動され、高周波性能が向上する。筆者らはここにその構造、動作原理、製法の概要について記し、すでに商品化された数品種の諸特性と応用例とについて紹介を行った。

1. 緒言

トランジスタの特性改善には現在次の三方向があると考えられる。(1) 高周波性能を向上し、超短波まで応用範囲を広げる。(2) 出力の面で電流電圧容量を増し小形送信管に近づける。(3) 使用温度範囲を広げ、特に 100°C 以上の高温領域における使用を可能にする。

これらの要求は原理的には必ずしも両立しないが、新しい製作技術の開発や、新しい作動原理の発見によって可能性を増しつつある。ここに述べるドリフトトランジスタはまず(1)の高周波性能の向上を目標にした改良によって生れたトランジスタである。元来合金形に基礎をおいた改良であり、成長形から発展した四極トランジスタ、あるいは成長拡散形の高周波トランジスタに比較して、量産的製法を採り入れることができる特長を有しかつ性能の面においてもすぐれた点が多い。

製法には最近急速に発展した固相拡散の技術を用い、ベースのゲルマニウム基体に不純物の濃度勾配を与え、キャリアの走行時間を短縮し、あわせてコレクタ容量と、これに直列にはいるベース抵抗を極力低下して、信号伝達の減衰作用を少なくしたものである。

われわれは短波ラジオより FM ラジオに至る用途に対し、遮断周波数百数十メガサイクルに及ぶ数品種の開発と商品化を終ったのでここにその概要を紹介することとした。

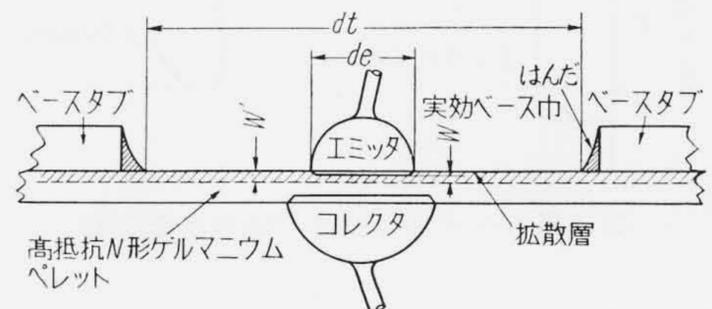
2. 構造の概要

ドリフトトランジスタを従来の合金形トランジスタと比較した断面図を第1図に示した。外観上はよく類似しているが、構造上の主なる相違点を次に列挙してみよう。

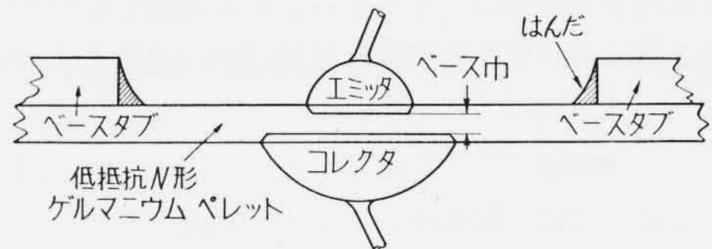
2.1 ベース内不純物の濃度分布

合金形では、ベース内の不純物は均一で、高周波をねらう場合には比較的比抵抗の低い結晶を用いる。しかしドリフト形では、比抵抗の高いゲルマニウム結晶を用い

* 日立製作所トランジスタ研究所



第1図(a) ドリフト形トランジスタの断面



第1図(b) 合金接合形トランジスタの断面

同種の不純物をエミッタ側から拡散透過させる。

2.2 コレクタおよびエミッタドット径

ベースの厚みに比しドット径は、ドリフト形ではより小さくなる。第1図に示したように合金形ではベース幅が直接合金滲入量に関係するため、インジウムドット量をむやみに少なくすることはできないが、ドリフト形では実効ベース幅がエミッタと拡散層によって定まり、後述する高周波特性の点からも両ドットとも小さいほうが望ましい。

またコレクタドットの大きさについては、キャリアがエミッタよりコレクタに拡散で移動する合金形のほうがベースの電界に従って駆動されるドリフト形よりも大きい。

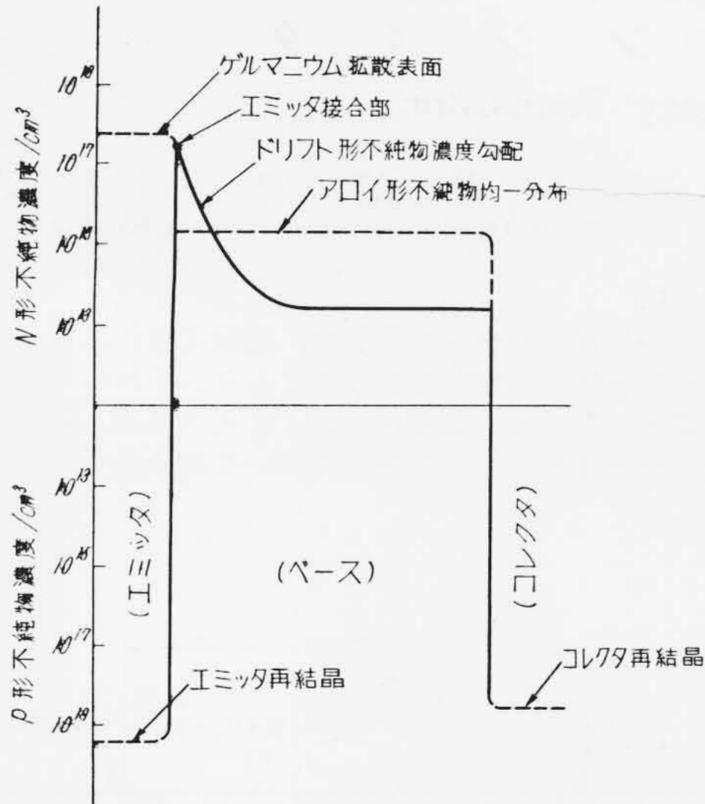
2.3 エミッタ接合の位置

拡散による不純物濃度分布と密接な関係を持っておりエミッタ接合の位置を適正に保つことは、高周波性能を向上するために重要である。

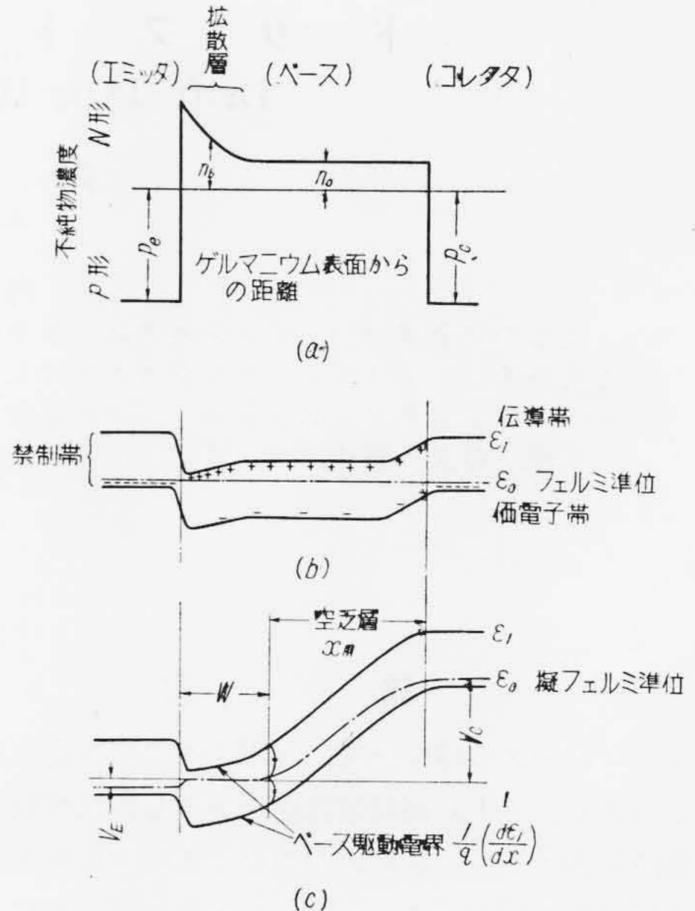
3. ドリフトトランジスタの動作原理

3.1 エネルギー帯

前述した不純物分布によってベース内に駆動電界が生



第2図 ベース領域の不純物濃度分布



第3図 (a) 不純物濃度分布
(b) バイアスなき場合のエネルギー帯
(c) バイアスを加えたときのエネルギー帯

じる原理を半導体のエネルギー帯より考察する^{(1)~(3)}。

第3図においてN形不純物拡散層中の伝導電子の密度

n_b は

$$n_b \propto e^{-(\epsilon_1 - \epsilon_0) / kT} \dots \dots \dots (1)$$

- ここに ϵ_1 : 伝導帯エネルギー準位
- ϵ_0 : フェルミ帯エネルギー準位
- k : ボルツマン常数
- T : 絶対温度

(1)式より拡散層中の駆動電界 E_s を求めると

$$E_s = \frac{1}{q} \cdot \frac{d\epsilon_1}{dx} = -\frac{kT}{q} \cdot \frac{1}{n_b} \cdot \frac{dn_b}{dx} \dots \dots \dots (2)$$

ここに q : 電子電荷

すなわち不純物の濃度は絶対値は小さく勾配の大きいことが望ましい。

次にエミッタ、コレクタにそれぞれ $+V_E, -V_C$ のバイアス電圧を印加すると第3図(C)のようになり、コレクタ接合に近い高抵抗のベース層に空乏層 (Depletion layer) が生じ、これがベースの拡散層に伸びて、擬フェルミ準位が禁制帯のちょうど中央に位置するところまで達し、有効ベース幅は W となる。

エミッタから注入された正孔はまずベース駆動電界に従って動き、次に空乏層にはいり、結晶格子あるいは不純物によって散乱されながら非常に速い終端速度で通過する。

3.2 ベース領域におけるキャリアの移動時間

合金形のように不純物濃度の均一なところを拡散現象によって移動する時間を t_D , ドリフト形のごとく駆動電界を通過する時間を t_E とすればキャリアの移動時間は

拡散方程式および(2)式より求められ、下記のごとくなる⁽⁴⁾。

$$t_D = \frac{W^2}{D_p} \dots \dots \dots (3)$$

$$t_E = \frac{W}{aD_p} \dots \dots \dots (4)$$

ここに W : ベースの幅

D_p : 正孔の拡散係数

ただしベースの不純物濃度、勾配は次のごとく近似する。

$$N(x) = N_0 e^{-ax} \dots \dots \dots (5)$$

ここに N_0 : エミッタ接合に接する濃度

いま、かりにエミッタとコレクタに接する不純物濃度比を100とすると、ドリフト作用のため1/4.6に短くなる。

3.3 高周波特性

トランジスタの高周波性能の良否を判定する量として最大発振周波数 ($f_{max.osc}$) を考察する⁽⁵⁾。

$$f_{max.osc} \approx (\text{Power Gain})^{1/2} (\text{Band Width}) \\ = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{\tau_{ec} \gamma_b' c_c} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (5)$$

ここに τ_{ec} : エミッタ、コレクタ間の信号遅延時間

γ_b' : ベース抵抗

c_c : コレクタ接合部の容量

ドリフトトランジスタでは上記 $\tau_{ec}, \gamma_b', c_c$ のいずれも合金接合形に比して減少させることができるので総合特性は一けた向上することになる。

3.3.1 エミッタ、コレクタ間信号遅延時間 (τ_{ec})

- (1) エミッタの接合部容量を充電し正孔注入を始めるまでの時間 (τ_1)
- (2) ベース領域を走行する時間 (τ_E)(3)式
- (3) コレクタの空乏層を駆動する時間 (τ_3)

以上三区分にして検討すれば次式が得られる。

$$\tau_{ec} = \tau_1 + \tau_E + \tau_3 = \left(\frac{kT}{qI_E} C_E + \frac{W}{aD_p} + \frac{x_m}{2v_{sc}} \right) \dots (6)$$

ここに I_E : エミッタ直流バイアス電流
 C_E : エミッタ接合部の容量
 x_m : コレクタ空乏層の幅
 v_{sc} : 結晶格子によって散乱されながら移動する最大速度

k, T, q : (1)(2)式参照

W, a, D_p : (4)式参照

ドリフト形では第3項はほとんど省略できるほどであり、コレクタ空乏層の幅 x_m をなるべく伸すように、ベースの結晶の比抵抗はなるべく高くする。ここで注意しなければならぬ点は第1項が第2項の不純物電界の駆動時間に匹敵することである。このため設計上、エミッタはなるべく小さくしなければならぬ。

3.3.2 ベース抵抗 (r_b')⁽⁶⁾

ベース抵抗はエミッタ直下の広がり抵抗 (r_s) とエミッタ周辺からベースリングに至る抵抗 (r_t) の和である。

$$r_b' = r_s + r_t = \frac{\rho_b}{8\pi W_b} + \frac{\rho_b'}{2\pi W'} \log \frac{d_t}{d_e} \dots (9)$$

ここに ρ_b : エミッタ直下ベースの平均比抵抗
 ρ_b' : 拡散層の表面を含めた平均比抵抗
 W_b : 実効ベース幅
 W' : ペレット表面から計った拡散層の幅
 d_t : リングベースタブはんだ内径
 d_e : エミッタドット径

〔第1図 (a) 参照〕

ρ_b は設計上約 $0.1 \Omega\text{cm}$ になるが、 ρ_b' はペレット表面の不純物濃度が高いため著しく減少する。

3.3.3 コレクタ接合部容量 (c_c)

コレクタ接合部容量は次式で表わされる。

$$c_c = \varepsilon \frac{A}{d} \dots (10)$$

ここに A : コレクタ接合面積
 d : コレクタ空乏層の幅
 ε : 結晶の誘電率

コレクタに接するベースの比抵抗をなるべく高くして、空乏層を伸ばすことが有利である。同一寸法の合金接合形に比べ約1/5以下になしうる。

3.4 電流増幅率およびコレクタ耐圧

高周波特性を向上するため払われた設計上の要求と関連して、電流増幅率と耐圧を検討する。

3.4.1 電流

増幅率では、エミッタの正孔注入効率 γ が問題である。 γ はエミッタの p 形結晶の比抵抗が低く、ベース側 N 形結晶の比抵抗が高いほど 1 に近くなり増幅率が高い。ドリフト形では、必然的にベース側比抵抗が低く、エミッタ接合位置が表面に近くなると、 γ が著しく低下する。またベースの比抵抗は急な勾配があるため、エミッタ合金の位置の微少な変動で、増幅率のばらつきが相当大きくなる。エミッタ接合位置はベース実効幅 W 、エミッタ容量 C_E にも関係し、その合金技術は固体拡散技術とともにきわめて重要である。

3.4.2 コレクタ耐圧

コレクタ耐圧はコレクタ空乏層の電界強度によって決まると考えられる。合金接合形よりも空乏層が広いため耐圧が高く平均 100V 近く上げることも可能である。また空乏層の前縁が拡散層にはいると、その伸びは止まり、合金形でよく起る。エミッタ、コレクタ突き抜けの現象は起らない。

エミッタの耐圧はベースの不純物濃度が高いため本質的に悪いが、常に正方向にバイアスするからあまり問題はない。

3.5 直流バイアスと高周波特性⁽⁷⁾

ドリフトトランジスタの高周波特性を十分保証するためには、直流バイアスの電圧電流を適正に保たねばならぬ。

3.5.1 コレクタ電圧が著しく低い場合

コレクタの空乏層が十分伸びず、有効ベース幅 W およびコレクタ容量 c_c が印加信号電圧とともに変化し、周波数特性の変動を起し、またひずみを起すことになる。はなはだしい場合には空乏層が伸びず、拡散層との間に電界のないベース領域が残り著しく周波数特性が悪くなる。

3.5.2 エミッタ電流が少ない場合

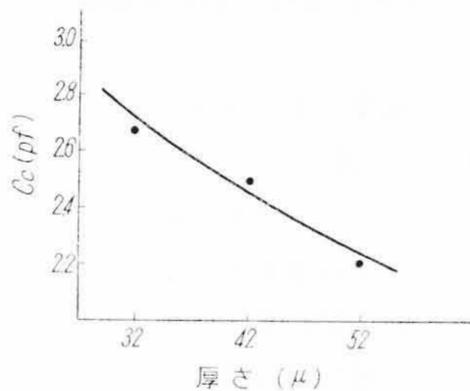
(6)式第1項から明らかなごとく、エミッタ電流が少ない場合には、エミッタ接合容量が相当大きいいため高周波性能は全然期待できない。

4. 製造の概要

4.1 製造の順序

すでに述べたようにドリフトトランジスタには比抵抗の比較的高い高純度の N 形ゲルマニウム単結晶を用いる。

まず単結晶を所定の寸法に切断、研磨し最後に化学研磨を行って結晶の準備は終る。ここまでの手順方法は従



c_c の測定値はリード線そのほかの容量も含む

第4図 片面エッチ後の厚さとコレクタ容量

来の合金形と同様である。

次にドリフト形特有の工程として不純物の拡散を行うのであるが、この拡散の適否がドリフト形の特性を最終的に決定するものできわめて重要な工程である。拡散したい不純物、たとえばヒ素、アンチモンなどの蒸気の中にゲルマニウム片を置き所定の温度にして適当な時間だけ保てば不純物はゲルマニウム中に拡散し、必要な濃度勾配を持った不純物分布をうる。これらについては少し詳細に次節で述べる。

拡散の済んだゲルマニウム片は両面に不純物が分布しているので必要のない片面をエッチして除去する。片面エッチの量、換言すれば片面エッチ後、残っている高比抵抗の部分の厚さは c_c (コレクタ容量) および f_{ace} (遮断周波数) に関係する。この部分が厚い場合にはコレクタに電圧をかけたときに生ずる空乏層の幅が広がるため c_c は小さくなるが、その反面十分なコレクタ電圧をかりなければ f_{ace} は高くなる。またこの部分が薄い場合にはこの逆のことが起る。第4図は c_c についてそれを示したものである。

このため片面エッチ後のゲルマニウム片の厚さは特性と関連して、ある範囲におさえなければならない。

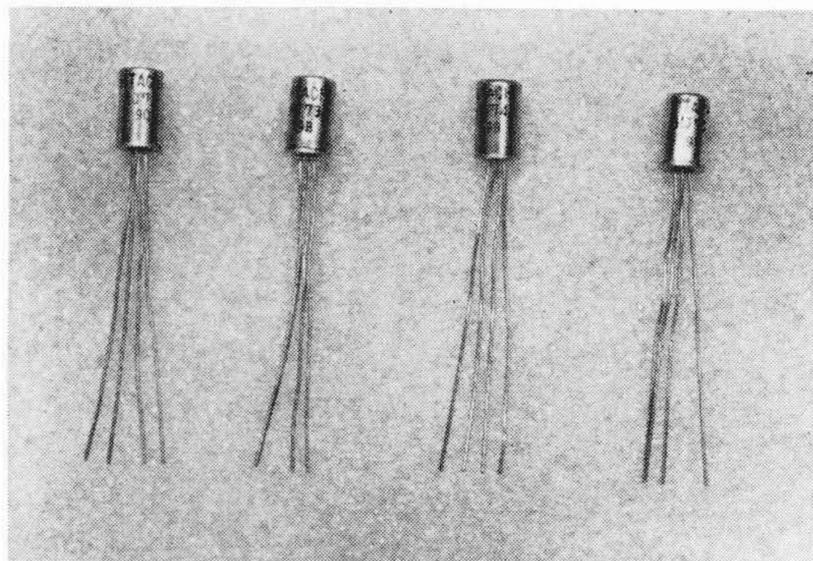
次に高比抵抗側にコレクタを、拡散を行った側にエミッタを作るため適当な大きさのインジウムドットを治具を用いて水素雰囲気中でアロイして p N p 接合を作る。

この工程以後は、組立て、表面処理を行って封止するまで従来の合金形と変るところはない。

ただ、第5図に示す外観写真からわかるように、ドリフトトランジスタは従来のものと異なりリード線が4本ある。中心の一本は金属キャップと接続され、これを接地する。これはコレクタ、ベース間においてリード線間容量を減少させるシールドの役割を果すものである。

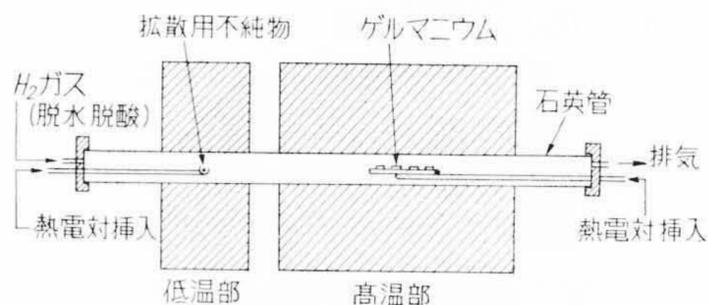
4.2 拡散

拡散には第6図に示すような電気炉を用いる。これは脱酸素脱水をした水素ガス雰囲気の中で拡散を行う例であるが、真空でもよく、これらのほか種々の方法が用い



左からHJ 72~HJ 75

第5図 ドリフトトランジスタの外観



As などのように有毒なものを拡散する場合はアルカリ溶液などのトラップを通して排気する。

第6図 拡散炉の概略

られる。一般に固体表面の不純物の濃度が一定である場合、固体に拡散した不純物濃度は次のように表わされる。

$$N(x) = N_s \operatorname{erfc} \frac{x}{2L} \dots \dots \dots (11)$$

ただし

$$L = \sqrt{Dt}$$

- ここに $N(x)$: 固体表面からの深さ x における濃度
- N_s : $x=0$ のときの濃度すなわち表面濃度
- L : 拡散距離
- t : 拡散時間
- D : 拡散係数

したがって不純物拡散の深さは L に比例する。また拡散係数は温度の関数として次のように表わされる。

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{AQ}{kT}\right) \dots \dots \dots (12)$$

ここに AQ : 活性化エネルギー

したがって拡散の深さはゲルマニウムの温度および時間によって制御できる。

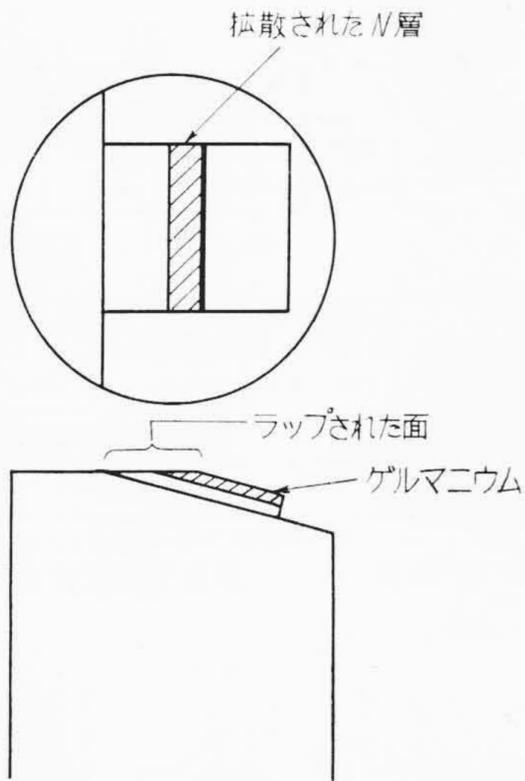
表面濃度は拡散不純物の温度、ガス流量、炉などの幾何学的形状などによって決まる。これは直接測定はできないが4点法によって表面比抵抗を測定して管理することができる。また p 形ゲルマニウムに N 形不純物を、あ

* $\operatorname{erfc} y = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \exp(-\zeta^2) d\zeta$

あるいはこの逆の場合のように pN 接合を作る拡散の場合には次に述べるような方法によって接合の深さを測り、これと表面比抵抗とにより表面濃度も計算によって推定できる。

ただここで注意しなければならないことは pN 接合の深さは、拡散する前のゲルマニウム結晶の比抵抗と、表面濃度によって変ることである。

接合の深さの測定はまず治具を用いて第7図(a)に示すように適当な角度に研磨しこの面の上に硫酸銅溶液を乗せると p 形と N 形の間電位差のために銅イオンが N 形の部分に付着して着色し N 層の幅を測定することがで



この治具を研磨盤に垂直に当てる。リングにはめて研磨する。

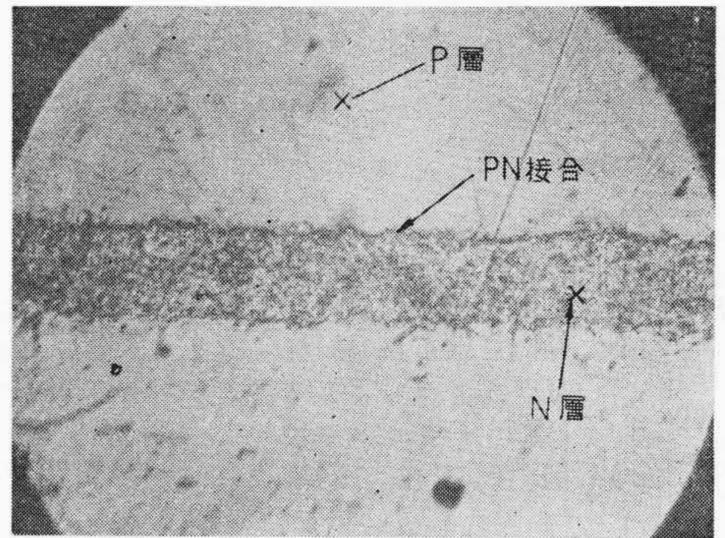
第7図(a) 研 磨 治 具

きる。第7図(b)の写真はこの方法によって別に p 形結晶に同時に拡散し N 層を出して測定したものである。

5. 諸 特 性

ドリフトトランジスタを商品化した各品種の最大定格、等価回路定数を第1, 2表に示す。ドリフトトランジスタの等価回路については種々議論⁽⁶⁾があるが、ここでは一応低周波等価回路定数、遮断周波数、コレクタ容量およびベース抵抗の実測値より算出した混成π形等価回路定数を示した。

第8図(a)~(e)は HJ 76 の等価回路定数のコレクタ電圧、エミッタ電流依存性ならびに直流大信号特性である。



倍率 500 倍

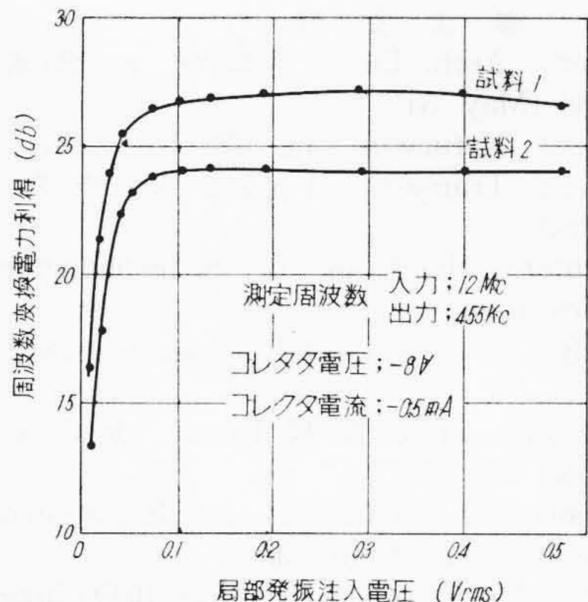
第7図(b) 拡散による N 層の断面写真

第1表 最 大 定 格

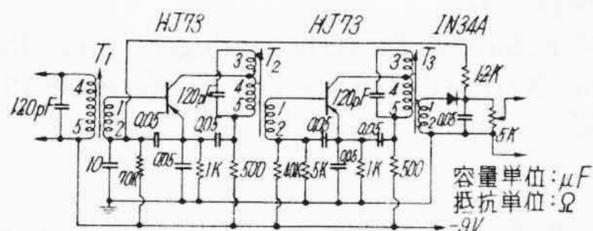
項 目	単 位	品 名								
		HJ 70	HJ 71	HJ 72	HJ 73	HJ 74	HJ 75	HJ 76	2N384	
コレクタ電圧	V	-20	-20	-20	-25	-25	-25	-45	-30	
エミッタ電圧	V	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5	
コレクタ電流	mA	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-50	-10	
エミッタ電流	mA	10	10	10	10	10	10	50	10	
コレクタ損失 (25°C)	mW	80	80	80	80	80	80	225 (放熱板付)	80	
周囲温度	°C	60	60	60	60	60	60	60	60	

第2表 混成π形等価回路定数

品 名	単 位	HJ 70		HJ 71		HJ 72		HJ 73		HJ 74		HJ 75		HJ 76	2N384
		1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	
測定条件	Vc	-9		-9		-9		-9		-9		-9		-9	-12
	Ie	1 0.5		1 0.5		1 0.5		1 0.5		1 0.5		1 0.5		1	1.5
rbb'	Ω	45	40	55	50	65	60	55	50	55	50	55	50	45	50
gb'e	μΩ	480	250	650	350	650	350	650	350	650	350	650	350	480	960
gce	μΩ	3.8	1.6	3.8	1.6	3.8	1.6	3.8	1.6	3.8	1.6	3.8	1.6	2.0	0.2
gb'c	μΩ	0.13	0.07	0.13	0.07	0.13	0.07	0.13	0.07	0.13	0.07	0.13	0.07	0.08	0.1
Cb'e	PF	210	130	280	180	280	180	330	210	280	180	280	180	210	90
Cb'c	PF	1.7		1.7		1.7		1.7		1.7		1.7		1.7	1.3
gm	mΩ	39	19	39	19	39	19	39	19	39	19	39	19	39	57



第11図 局部発振注入電圧対変換電力利得特性



	一次インピーダンス	二次インピーダンス	負荷 Q	無負荷 Q	巻数比 3~5/4~5	巻数比 4~5/1~2
T ₁	220 kΩ	3 kΩ	35	50	—	33.5
T ₂	15 kΩ	1.5 kΩ	35	40	2.5	11.5
T ₃	10 kΩ	1 kΩ	35	70	4.5	10

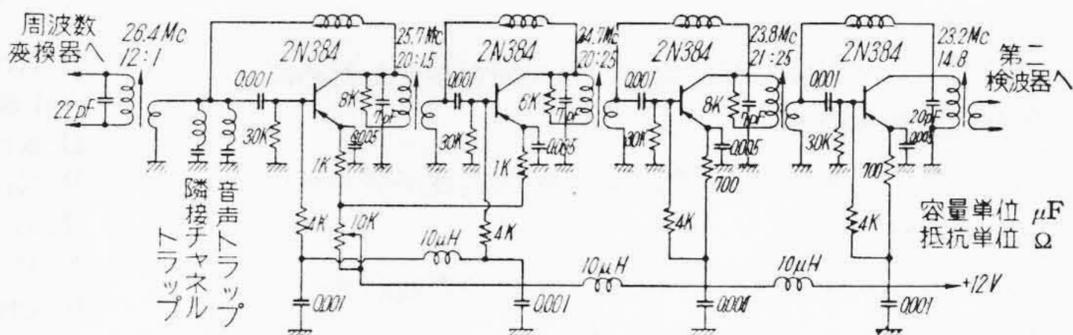
(周波数 455 kc)
第12図 中間周波増幅回路

安定になる。(2) アンテナ回路の二次側の配線が長く、かつインダクタンスをかなり有しているとトランジスタの入力容量と共振しある特定の周波数で、(1)の場合と同じ現象を呈するなどである。これらはすべてトランジスタのベース抵抗が見かけ上(発振動作に対し)増加し特定の周波数で有効電力利得が低下したことによる現象である。この現象の除去には適切な部品の設計、配置および配線方法における注意が必要である。

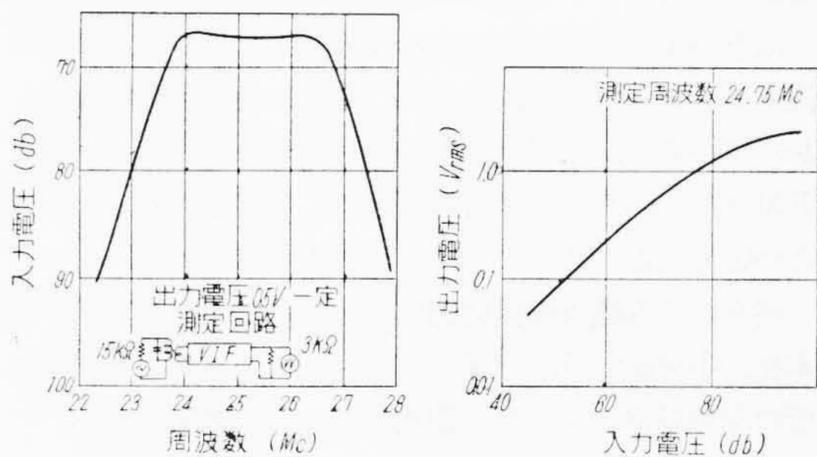
6.3 中間周波増幅器

中間周波数における電流増幅率が大きく、出力抵抗が高いため 455 kc増幅器に使用した場合合金形トランジスタより約 10 dB 高い電力利得が得られる。

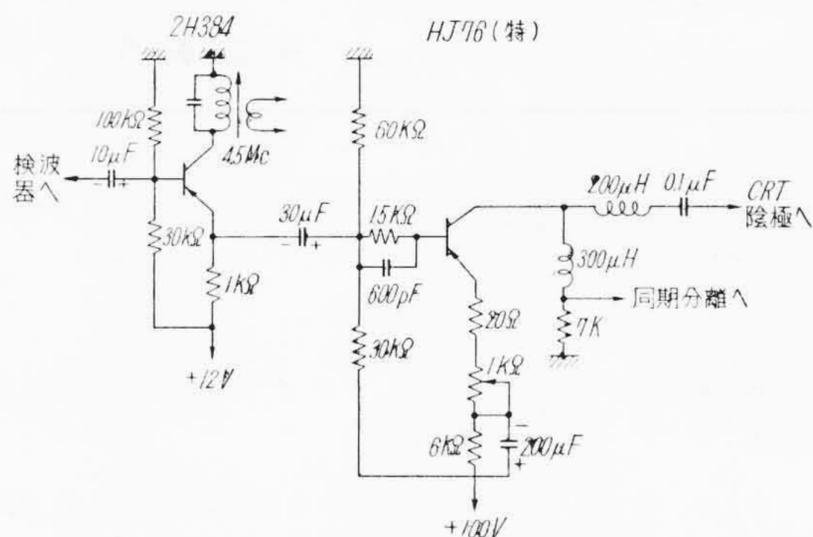
また入力および出力容量が小さいためトランスの設計調整が容易となり、さらに電源電圧の変動などによる同調周波数の変動も少なくなる。合金形トランジスタと同程度の電力利得に結合トランスの損失を増加せしめて使用するならば非常に安定な増幅器とすることが可能であり、トランジスタの有効電力利得が大きいことは、これに AGC(自動利得制御)をかけた場合 AGC の高い merit が得られるという利点も持っている。第12図に中間周波数増幅器の一例を示す。



第13図 テレビジョン映像中間周波増幅器



第14図 周波数特性および入出力特性



第15図 テレビジョン映像増幅回路

6.4 広帯域増幅器

第13図にテレビジョン映像中間周波増幅器⁽⁷⁾の一例を示す。第14図がそのおもな特性で日立 2N384 を4本使用し電力利得 60dB 帯域幅 3.2 Mc が得られている。消費電力はわずかに 80mW、軽量小形化も可能でトランジスタでなければ得られない特色を有している。

第15図はテレビジョン映像増幅器⁽⁸⁾の例で前段に日立 2N384 を、後段に特にコレクタ逆耐圧の高い HJ 76 を使用、帯域幅 3.5Mc、電力利得 40db、出力電圧約 70V_{p-p} を得ている。

7. 結 言

ドリフトトランジスタの完成によりトランジスタの高周波性能が従来の合金形高周波トランジスタに比較して一けた以上改善された。

すなわち

(1) ベース領域に不純物濃度の勾配を与えたために遮断周波数が向上した。

(2) エミッタ側ベース領域の不純物濃度が高くベース抵抗が低下した。

(3) コレクタ側のベース領域の不純物濃度が著しく低いためコレクタ容量が小さくなった。

第3項はコレクタ最大電圧を引き上げるに役立つ高出力電圧を必要とする増幅器に利用の道が開けた。

以上のように高周波性能を改善されたドリフト形高周波トランジスタは短波受信機に大量に使用され好成績をあげているが、応用例にも述べたようにテレビジョンやFMラジオ、あるいは計算機などに活用される日も遠くないと考えられる。

終りに臨み種々御援助御協力をいただいた日立製作所本社、中央研究所、戸塚工場ならびにトランジスタ研究所の関係各位に対し厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- (1) H. Krömer: Arch. Elektr. Übertr., 8, 223 & 363 & 488 (May '54)
- (2) H. Krömer: Naturwiss., 40, 578 (Nov. '53)
- (3) H. Krömer: Transistors I p. 202 (March '56, RCA Labs.)
- (4) L. P. Hunter: Handbook of Semiconductor Electronics 4-24 ('56)
- (5) J. M. Early: Proc. of the I. R. E. 46, 1924 (Dec. '58)
- (6) A. L. Kestenbaum & N. H. Ditrik: R. C. A. Review 18, (Mar. '57)
- (7) D. M. Griswold & V. J. Cadra: I. R. E. National Convention Record 3, 49 ('58)
- (8) F. M. Smits: Proc. of the I. R. E. 46, 1049 (June '58)
- (9) M. C. Kidd: RCA Review 18 (Sept. '57)
- (10) J. Almond & R. J. McIntyre: RCA Review 18, (Sept. '57)
- (11) W. F. Sands & H. K. Schlegelmich: Proc. of the National Electronics Conference 13 (Oct. '57)

日立製作所社員社外寄稿一覧

(その3)

(第52頁より続く)

寄稿先	題 目	所 属	執 筆 者
日本学術会議	低速中性子エネルギー分析用チョッパ	中央研究所	石田 川 昭 田 口 豊 平 太 組 健 児 近 藤 弥 太 郎 今 井 宗 丸
小峯電子工業 日本学術会議	フライス盤の数値制御 HIDAM-401 について フ ロー カ ウ ン タ の 特 性	中央研究所 中央研究所	須 藤 卓 郎 今 井 宗 丸 山 田 周 治
日本学術会議	円柱形沸騰水形原子炉 (BWR) の出力、ボイド温度分布	中央研究所	川 合 敏 雄 金 井 公 務 新 藤 中 良 恵 藤 斎 良 平
日本学術会議	中性子単色器としての Ge 結晶とその高次反射の決定	日立研究所 中央研究所	和 嶋 常 隆
日本学術会議	確率過程としての中性子減速	中央研究所	法 橋 登 北 瓜 光 幸 松 岡 謙 一
日本学術会議 日本原子力産業会議	熱中性子以外の中性子による核分裂効果 中 性 子 減 速 熱 化 の 理 論 に つ い て	中央研究所 中央研究所	寺 沢 昌 一 法 橋 登 北 瓜 光 幸
日本数学会 日本物理学会 原子力産業会議	偏微分方程式の数値解法 ゴ ム 状 物 質 の 破 壊 強 度	中央研究所 中央研究所	藤 中 修 中 田 修 川 合 敏 雄
日本学術会議 第3回原子シンポジウム係	黒鉛減速炉の物理 英国型原子炉の制御棒引抜時の解析	日立研究所 日立工場 中央研究所	鈴 木 新 守 大 木 彦 鴨 井 章 鈴 木 守 加 藤 明 鴨 井 章
日本学術会議	スクラムレベル設立に関する一考察	日立研究所	鈴 木 洋 守
電気学会 工業資料社	多重遮断空気遮断器の新等価試験法 サイクロンファーンespoイラについて	中央研究所 日立研究所 日立研究所 日立工場	加 鴨 崎 精 二 鴨 崎 泰 秀 山 崎 秀 樹 岩 崎 秀 樹

(第67頁へ続く)