

通信用トランジスタならびに整流器について

Transistors and Rectifiers for Communication Apparatus

伴 野 正 美* 佐 藤 興 吾*
Masami Tomono Kogo Sato

内 容 梗 概

トランジスタを通信機に応用する場合、宿命的欠陥とされていた周波数限界および出力を増大するために各種の新形トランジスタが開発されつつあるが、これらの趨勢と将来の問題について述べ、さらにトランジスタおよび整流器の通信機への応用について大要を記した。

1. 緒 言

トランジスタは、発明当初半永久的な寿命、小形堅牢で消費電力の少ないことなど、もっぱらその長所のみが宣伝されたきらいがあるが、その後特性上のばらつきが多いこと、周波数限界が低いこと、出力が不足していることなどの理由で補聴器、ポータブルラジオ、そのほかの用途に限られていた。しかしながら最近その製造技術の進歩と相まって特性に対する信頼度も向上し、さらに新規の構想に基づく製造技術により、トランジスタの宿命とさえ考えられていた周波数限界の伸長、出力の増大など画期的な進歩をとげつつあるが、これに伴い通信機器、計算機、一般工業計器などのいわゆる工業方面への用途も急速に開発されつつある。

このようにしてトランジスタもようやく真空管の分野を大幅に置き換えつつあり、半導体工業の飛躍的發展も期待されているといえよう。また通信機器の電源部についてもほぼ同様に、ゲルマニウム整流器は、整流能率98.5%にも達し、従来の金属整流器に比して小形、高能率の点で著しい特長を有するが、70°C以上では使用し得ない欠点を有する、しかしこのような欠点もシリコン整流器の出現によって解消され、逆耐電圧の点でも著しく改善された。

さらに自動平衡計器などに使用されるシリコンの定電圧用ダイオードもこの方面の需要を増大させるであろう。

以下通信用トランジスタおよび整流器開発と応用の現状について述べ、最後に通信用トランジスタおよび整流器に課せられた今後の問題について言及したいと思う。

2. 通信用トランジスタおよび整流器の趨勢

通信用トランジスタに要求されるいくつかの特性のうち、常に既存の真空管に比べて欠点とされているのは、使用周波数限界、出力および信頼度が低いことであるが以下これらに関連した技術的な問題点をとり上げ、現在

開発されつつある種々のトランジスタおよび整流器について述べる。

2.1 高周波トランジスタ

2.1.1 一般的事項

真空管に比してトランジスタが最も劣る点は周波数限界の低いことであるが、まずこの周波数限界の伸長に対する問題点と新しい製造技術を折込んだ多くの新形トランジスタについて略述する。

トランジスタの高周波特性の尺度ともいえるべき、利得帯域幅指数 (gain-bandwidth figure of merit)⁽¹⁾ は(1)式で表わされる。

$$\Gamma_0 B^2 = \frac{f\alpha}{25r_{bb'}C_c} \dots\dots\dots (1)$$

ただし Γ_0 : エミッタ接地の低周波における電力利得

B : 同上利得が 3 db 下がる周波数

$f\alpha$: α 遮断周波数

$r_{bb'}$: ベース抵抗

C_c : コレクタ容量

(1) 式からわかるように高周波の figure of merit を増すためには $f\alpha$ を大きくするか、 $r_{bb'}$ 、 C_c を小さくすればよいことになる。しかし、これらを同時に解決し得ればトランジスタの高周波化もきわめて容易なわけであるが、実際にはこれらの量がいずれも密接な相関関係をもっている上に、通信用トランジスタでしばしば重要なパラメータとして取り上げられる逆耐電圧などが上記パラメータと相反する関係にある場合もあり、ここにもトランジスタの高周波化に対するむずかしさがひそんでいるといえよう。

上記遮断周波数 ($f\alpha$) は(2)式で与えられる。

$$f\alpha = \frac{D_P}{\pi w_b^2} (p-n-p \text{ トランジスタ}) \dots\dots (2)$$

ただし D_P は n 形半導体中での正孔の拡散係数、 w_b はエミッタ接合とコレクタ接合との間のベース領域の

* 日立製作所中央研究所

幅を表わす。

ベース抵抗 ($r_{bb'}$) は (3) 式で与えられる。

$$r_{bb'} = \frac{\rho_b}{8\pi w_b} \dots\dots\dots (3)$$

ただし ρ_b はトランジスタに使用した基体半導体の比抵抗を表わす。

またコレクタ容量 (C_c) は (4) 式で示される。

$$C_c = A_c \left(\frac{\kappa_0}{2V_c \mu_n \rho_b} \right)^2 \quad (\text{合金接合形 } p-n-p$$

トランジスタ) \dots\dots\dots (4)

ただし A_c はコレクタ接合部の面積, κ_0 は基体半導体の誘電率, V_c はコレクタ接合部の印加電圧, μ_n は基体半導体中での電子の移動度である。

(2)~(4) 式から上述の相関関係が容易に理解されよう。たとえば $f\alpha$ を増すためにはベース幅 w_b を薄くすれば良いが, (3) 式の $r_{bb'}$ を大きくすることになり, また $r_{bb'}$ を小さくするために結晶の比抵抗 ρ_b を小さく選ぶと (4) 式の C_c を大きくし, 高周波特性を害することになる。さらにやっかいなことはコレクタの空間電荷層 (space charge layer) のために, w_b をあまり小さくすると, コレクタ電圧の比較的低いところでもこの space charge layer がコレクタからエミッタ側まで達し, エミッタ・コレクタ間が短絡する, いわゆる punchthrough を起すことである。したがって高周波高逆耐圧トランジスタにはある限界が存在するはずであるが理論的に予測される, 上記パラメータ間の相関については紙面の都合で割愛する。さらに固体中を拡散する正孔または電子の速度を増すためにも積極的な努力がはらわれており, このような考え方による新形トランジスタの開発も進んでいる。以下に種々の形の趨勢を述べるが, それぞれ実用化には今一步といった研究段階のものが多く実際の水準は別個に考える必要があろう。

2.1.2 合金接合形 (alloy junction) 高周波トランジスタ

点接触形に代って登場したアロイトランジスタは製法の容易なこと, 大容量のものが得やすいことなどの理由で現在もお生産量では主要な地位を占めている。アロイ形トランジスタの高周波化は前述のごとき種々の難点はあるが, まずベース幅 w_b を小さくするため使用するゲルマニウム薄片をできるだけ薄くし, エミッタおよびコレクタ接合の面積を小さくかつ両 $p-n$ 接合の平行度を増すごとくアロイングすることにより達せられる。しかしアロイングによりベース幅を小さくかつ均一に制御することがきわめてむずかしいために現在この形の高周波トランジスタはせいぜい遮断周波数 20~30 Mc/s までしか開発されていない。

第 1 表 HJ 55 の 主 な 特 性

項 目	単 位	特 性
α_{cb}		150
$f\alpha_{ce}$	Mc	20
$r_{bb'}$	Ω	130
C_c	$\mu\mu\text{F}$	10
$12I_{co}$	μA	-6
$C_o V_c$ (逆耐電圧)	V	-20
$P_{c \max}$	mW	80

第 2 表 HJ 42 の 主 な 特 性

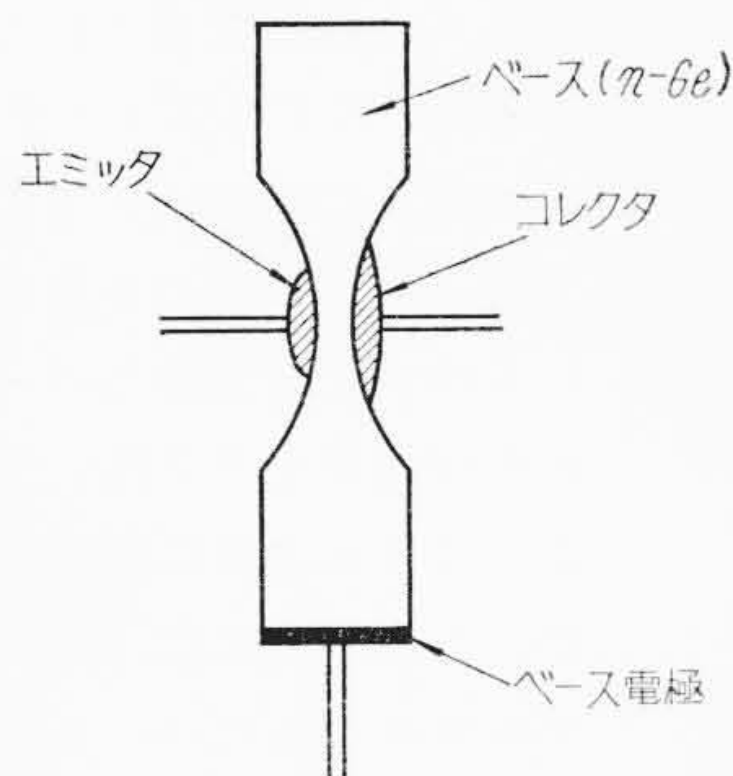
項 目	単 位	特 性
α_{cb}		50
$f\alpha_{ce}$	Mc	6
$r_{bb'}$	Ω	70
C_c	$\mu\mu\text{F}$	9
$C_o V_c$ (逆耐電圧)	V	-45
$P_{c \max}$	mW	250

米国では RCA, Sylvania 社などがこの形の高周波トランジスタを実用化している。日立製作所でもこの形で遮断周波数 20 Mc/s の HJ 55 がつくられている。その主な特性を第 1 表に示した。

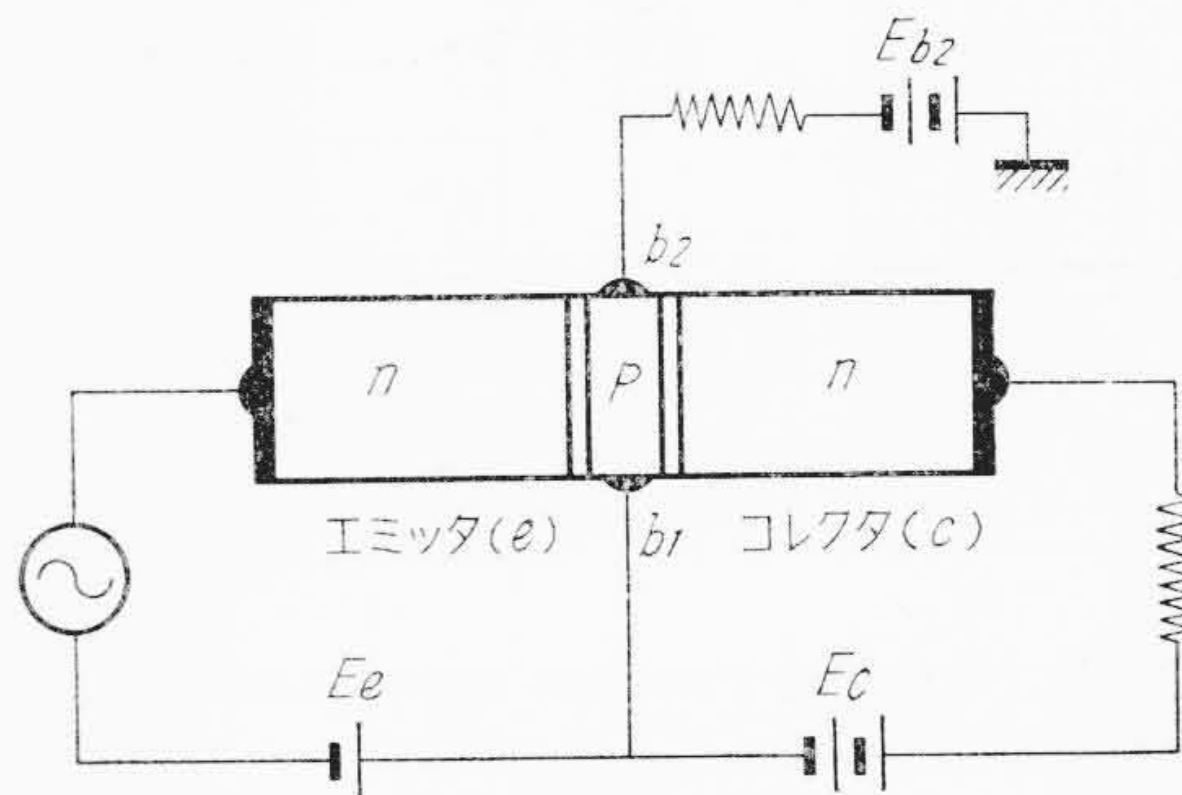
また従来, 高周波トランジスタは逆耐電圧および許容消費電力が低いためにたとえば電力線搬送, 通信線搬送などへの応用は考えられていなかったが, 昨年日立製作所では第 2 表に示したごとく, 逆耐電圧 45 V, コレクタ損失 250 mW の高周波トランジスタ HJ 42 を開発し, これを応用して上記搬送装置のいくつかをトランジスタ化した。

2.1.3 表面堰層形トランジスタ (surface barrier transistor)

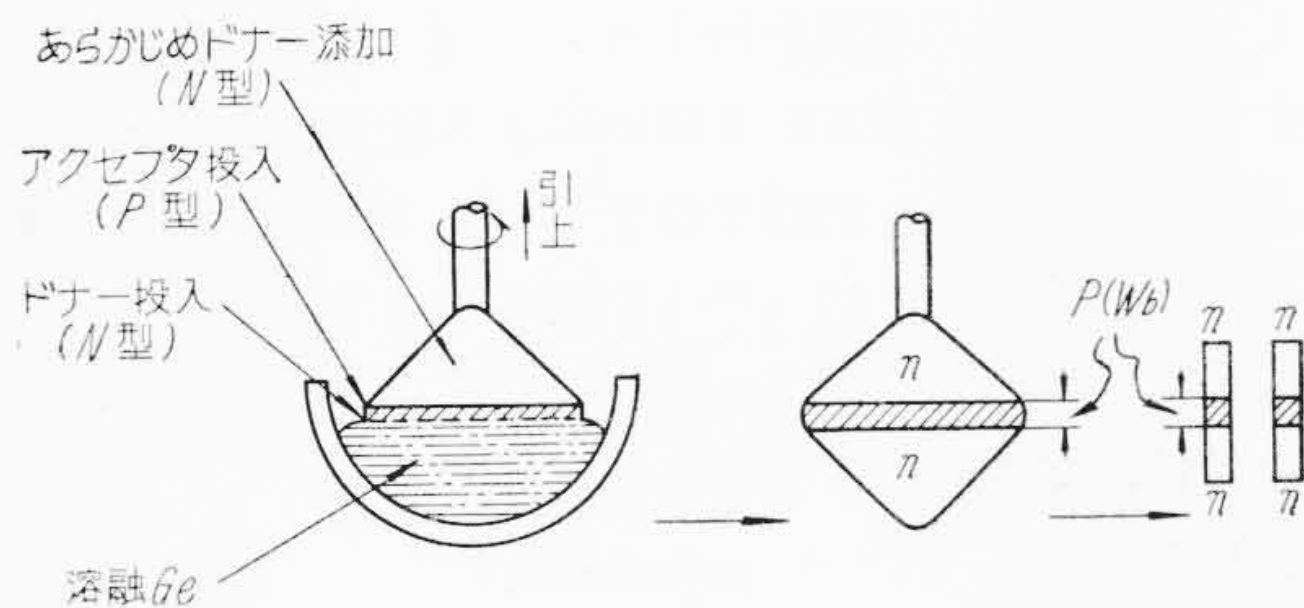
この形のトランジスタは n 形 Ge の薄片に両側から電解液 ($\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$) のジェット流を吹きつけて所望の厚さまで腐蝕したところで, その極性を逆にし, Ge 表面にエミッタおよびコレクタに相当するインジウムをメッキしてつくられるから第 1 図に示したごとくベース幅 w_b をきわめて薄くしうる利点がある。金属と半導体との間の barrier を利用するためこの名がある。米国の Philco 社で開発され, 現在なお同社ではこの方式で生産し, 高周波トランジスタとしては有力な地位を占めている。しかしながら surface barrier トランジスタは逆耐電圧が低い欠点を有するので最近ではこれにアロイングを加味した製法に切換え高性能の高周波トランジスタが開発されつつあり, 後述する拡散方式による高周波トランジスタに比し遜色が見られない。またこの形のトランジスタは今後急速な発展を期待されているトランジスタ計算機のスイッチング用としてすぐれた性能を有することも注目し値しよう。



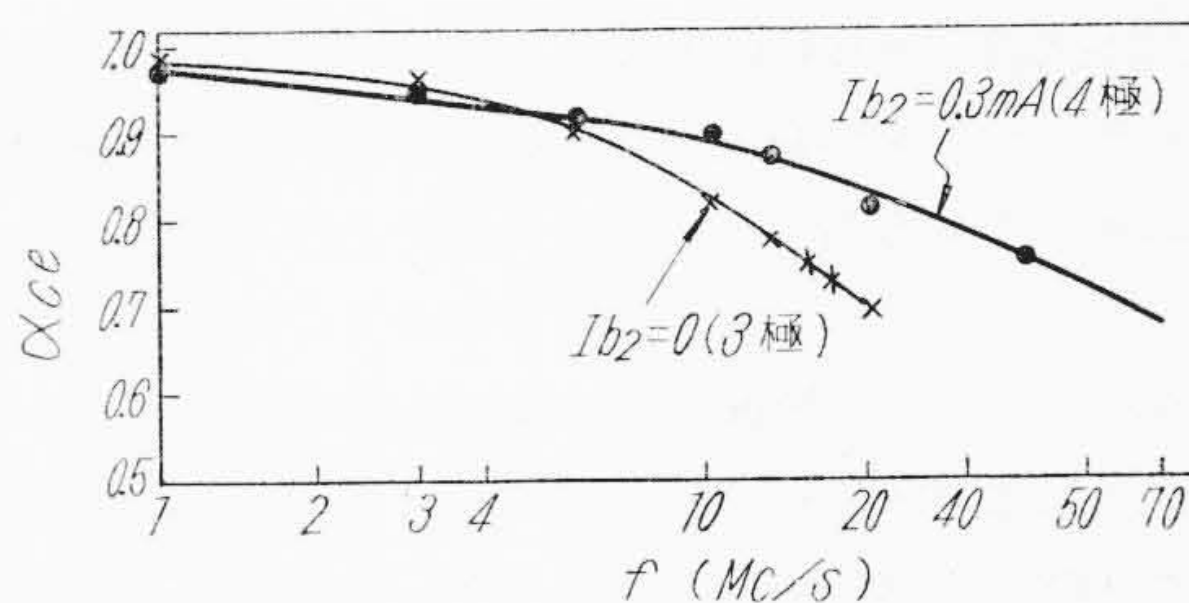
第1図 表面堰層形トランジスタの構造



第3図 n-p-n 四極トランジスタ



第2図 グロソジャンクショントランジスタ (doping 法)



第4図 3極トランジスタと4極トランジスタの周波数特性比較

2.1.4 グロソジャンクションおよびその系統のトランジスタ

(1) グロソジャンクショントランジスタ (grown junction transistor)

この形のトランジスタは第2図に示すごとく単結晶を引上げながら n 形、 p 形および n 形の不純物をそれぞれ交互に投入し $n-p-n$ または $p-n-p$ 接合を完成する方法で、これから $0.3 \times 0.4 \times 3$ 程度の細いロッドを切り出しトランジスタに組立てる。この方法によれば、ベース幅 w_b に相当した p 層を薄く ($1/100$ mm 以下) 平行にすることができかつ4極トランジスタにしうるから高周波化にはきわめて有力であるが、この場合にも単結晶引上炉の精密な温度制御や組立などで問題がないわけではない。

(2) 四極トランジスタ

上記のごとくしてつくった $n-p-n$ ジャンクションの p 形部分に第3図に示したようにそれぞれ第1、第2ベース電極 b_1 , b_2 を対向させて設け b_2 を b_1 に対し負にバイアスしておくこと電場の作用により実質的にベース領域はせばめられ、エミッタからコレクタへ達する電子の流れを b_1 に近いベース領域に限ることができるから $r_{bb'}$ がかなり小さくなりかつコレクタの面積が小さくなるため C_c が減少して周波数特性は著しく改善される。第4図はこの効果を十分にいかした4極トランジスタと前記3極トランジスタの周波数特性

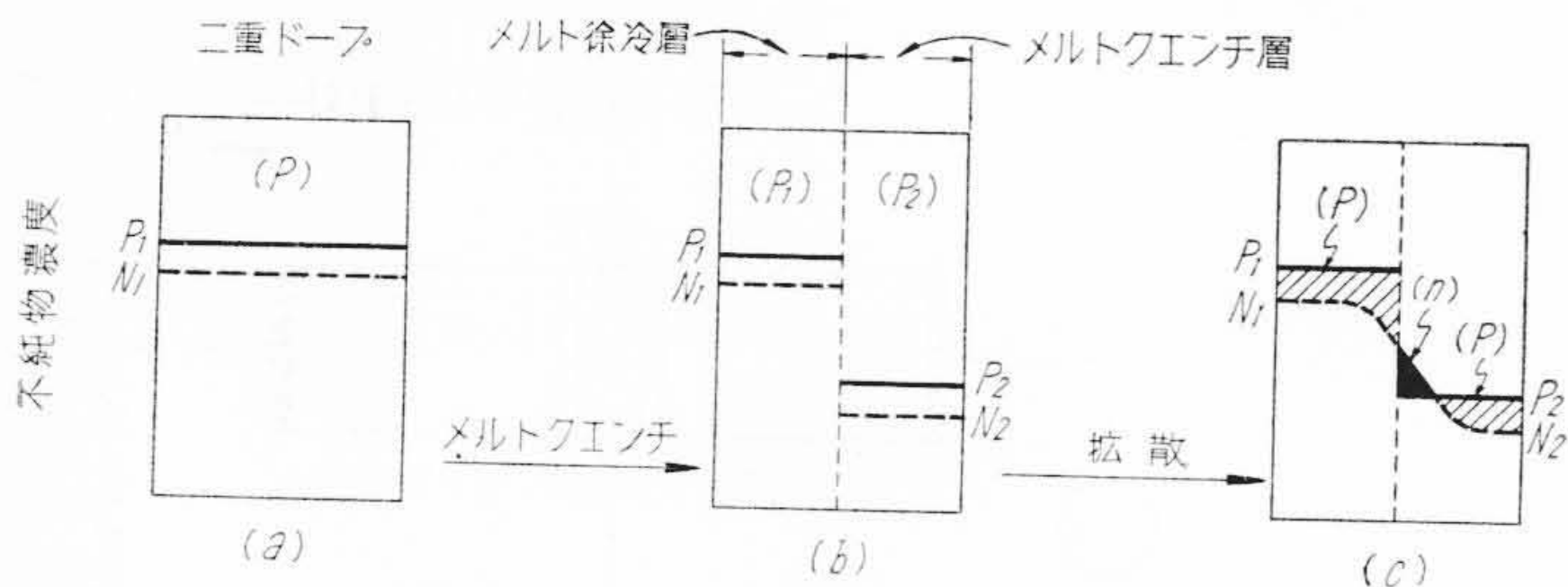
を比較して示したものである。(1)で述べたグロソジャンクショントランジスタは米国では G. E., Texas Instrument 社, Western Electric 社などの大メーカーで開発が進められてきたが次に述べるような拡散法を併用しない場合には、各社ともあまり高性能のものは得られていない、それは前記薄いベース領域の p 層または n 層の制御がむずかしいためと思われる。

(3) レートグロソジャンクショントランジスタ (rate-grown junction transistor)

rate grown 形は原理的には(1)の単純グロソ形より巧妙な方法で Ge に対する不純物 (アクセプタおよびドナー) の偏析係数 ($k = \frac{C_s}{C_e}$) の差を利用して単結晶を引上げながら $p-n-p$ または $n-p-n$ 接合をつくり出すもので、たとえば n 形不純物として Sb , p 形不純物として Ga をあらかじめ入れておき、少し速い速度でゲルマニウム単結晶を引き上げている時は Sb が Ga よりも多く単結晶中に入り込んで n 形になるが、単結晶引上げの途中で引上速度を遅くすると偏析係数の大きい Ga が偏析して p 層を形成する。この方法によれば一本の単結晶で $n-p-n-p \cdots$ の multiple junction をつくり得るなどの利点を有する。G. E. で開発された melt-back トランジスタはこの形の変形である。

2.1.5 拡散ベース形トランジスタ

(1) 固体中の再拡散による形



第5図 表面溶融 (surface melt quench) および固体拡散 (solid state diffusion) によるトランジスタの製法

- (a) $P_1 > N_1$ (P形)
 (b) $k_p = k_n$ ($P_1 - P_2$ ジャンクション)
 (c) $D_n \gg D_p$ ($P_1 - n - P_2$ ジャンクション)

固体拡散 (solid state diffusion) による種々の新形トランジスタが発表されているが、いずれもその原理は同一であるから次にその一例を上げて説明する。第5図 (a) に示したように p 形および n 形不純物をあらかじめ二重 dope した単結晶のロッドを切り出し、適当な方法により表面層のみを溶融した後急冷すると (melt-quench または melt-back) その表面層の不純物濃度は最初に dope した不純物濃度とそれぞれの偏析係数 ($k = \frac{C_s}{C_c}$) によって決まるから (b) 図のごとく $p_1 - p_2$ なるジャンクションが形成されるようにすることができる。これをさらに基体半導体の融点近くの温度で熱処理すると今度はそれぞれの不純物の拡散係数に従って拡散が行われる。n 形不純物の拡散係数 D_n が p 形不純物の拡散係数 D_p に比し大きいような物質をあらかじめ選んでおけば、熱処理によって主として n 形不純物が拡散し最終的には (c) 図のような不純物濃度分布が得られる。黒く塗りつぶした部分は p 形を n 形で補償したことになり結局、 $p - n - p$ ジャンクションが得られたことになる。G. E. の melt back-diffused トランジスタ、Texas Instrument 社の grown-diffused トランジスタはいずれもこの原理を応用して薄いベース領域をつくり、きわめて高性能のトランジスタが開発されている。このような方法によれば、適当な偏析係数および拡散係数をもつた不純物を選ぶことによって、 $n - p - n$ や $n - p - n - p$ ジャンクションをつくることもできるわけである。

(2) 気相から固体中への拡散による形

この方法はたとえば p 形ゲルマニウムの上に n 形不純物を気相から拡散させて薄い n 形のベース領域をつくり、その上に p 形不純物を気相から拡散させて $p - n - p$ ジャンクションをつくる方法で、目的の n 層または p 層を薄くかつ均一に制御することがかなり容易になる。Bell 研究所ではこの種の拡散により第6図に示すごとく 1.5 ミクロンのベース幅をもったトランジスタがつくられている⁽⁴⁾。この方法で遮断周波数 750Mc

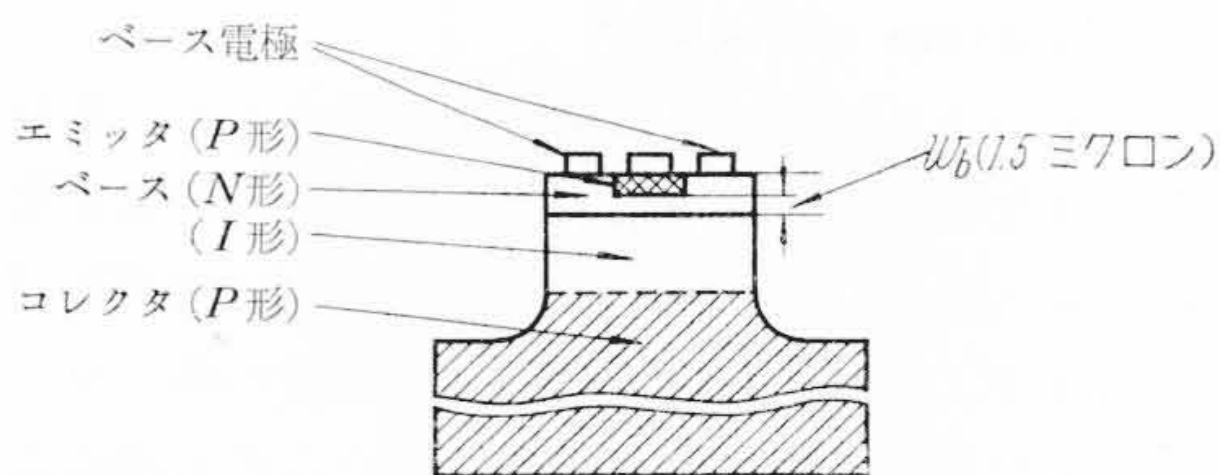
のものも最近発表されている。

RCA のドリフトトランジスタ⁽³⁾も当然この範疇に入るものである。上述 1.2~1.4 のトランジスタにおいてはエミッタからベースへ注入された少数キャリアはいずれも拡散によってコレクタに到達するのであるが、この場合には intrinsic の n 形ゲルマニウムのベースに砒素などの不純物を拡散させて第7図のように不純物の濃度勾配をつくり、これに基因する電界 (drift field) を利用

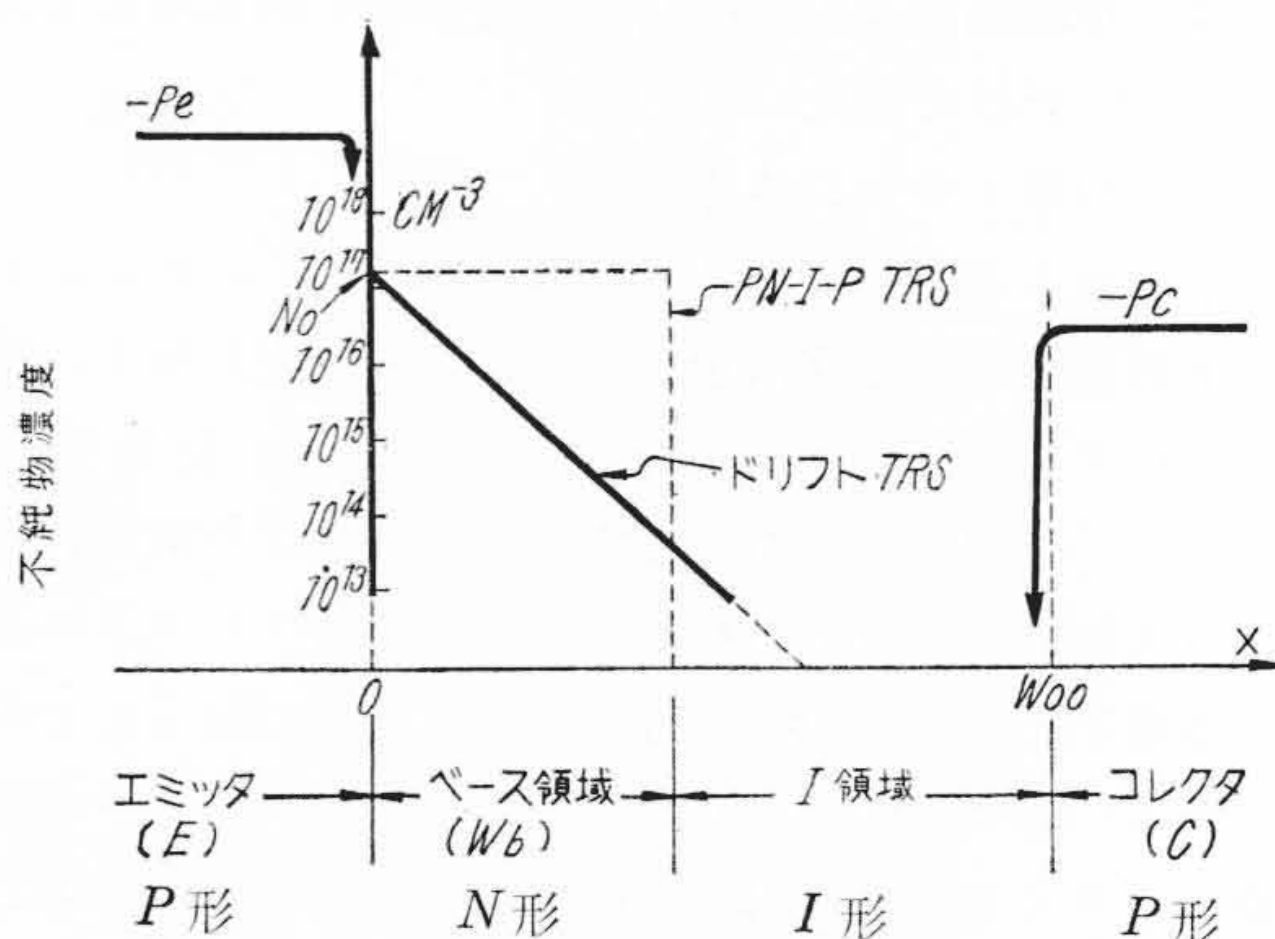
してキャリアの速度を増そうとしている。すなわち $p - n - i - p$ 形の n 層部に不純物による静電場を与えたことに特長を有し、米国では主として RCA で開発が進み、 f_a 100 Mc/s 以上のものが得られている。また日立製作所の HJ 32 はこの形のトランジスタでその主な特性は第3表のごとくである。

2.1.6 スペーススタ (spacister)⁽¹¹⁾

最近発表されたスペーススタ (spacister) は第8図のごとく逆バイアスされた $p - n$ 接合の中央にできる SC なる空間電荷層 (space charge layer) に I 極 (injector) および M 極 (modulator) を設け、I 極か



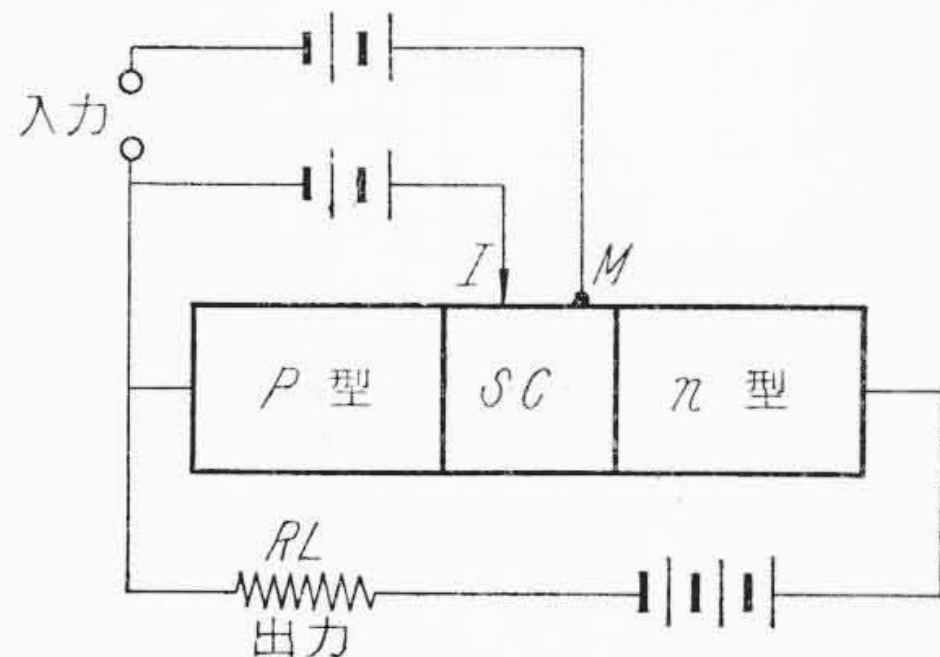
第6図 気相から固体中への拡散によりつくった Si の $p - n - i - p$ 形トランジスタの構造⁽⁴⁾



第7図 ドリフト形トランジスタと $P - N - I - P$ 形トランジスタの不純物濃度分布比較

第3表 HJ 32 ドリフトトランジスタの主な特性

項 目	単 位	特 性
α_{cb}		60
$f_{\alpha_{ce}}$	Mc	30
$r_{bb'}$	Ω	40
C_c	$\mu\mu F$	1.7
$C_o V_c$ (逆耐電圧)	V	60
$P_{c \max}$	mW	80



第8図 スペーススタ原理図

ら電子が注入され、M極は小面積のp形接合で逆バイアスされているためちょうど真空管の格子に似た作用をする。このような構造では空間電荷層を通る電子は電界で加速されるため、非常に走行時間を短縮することができ、10,000 Mc/s まで使用しうるはずであると発表された。spacistor の成否はともかくとして、このような考え方は少なくとも半導体素子の高周波化に対し一つの飛躍をもたらすことが期待される。

2.1.7 高周波高出力トランジスタ

通信方面における高周波高出力の要求はきわめて強いが製造上の難点があつてこの方面の開発は比較的遅れている。しかし、前記拡散技術の応用によってようやく、この方面の開発が進みつつある。たとえば Bell 研究所では前記の拡散を用いてp-n-i-p形の 10Mc/5W のシリコントランジスタが開発された⁽⁴⁾。Honeywell⁽⁵⁾社で発表された4極の高出力トランジスタも興味深い。このような高出力トランジスタの分野では不純物の拡散が容易な点および高温で使用する点からシリコンはゲルマニウムに比し絶對的に有利な立場にあると思われる。

2.2 低周波トランジスタ

2.2.1 低周波高出力トランジスタ

高出力トランジスタの問題点は主として

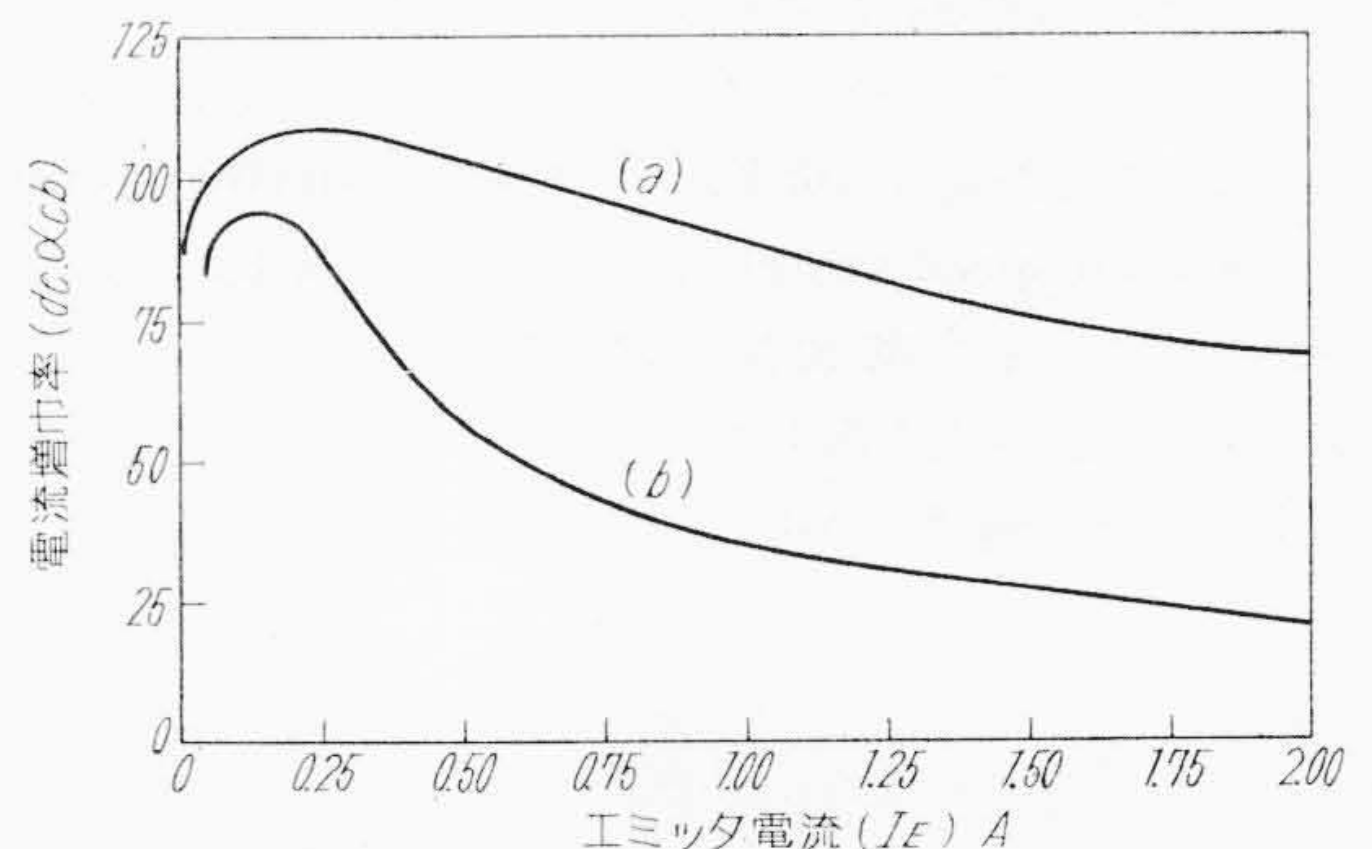
- (1) 最高許容温度が低いので(特に Ge において)熱放散の対策
- (2) 高電流密度での電流増幅率の減衰に対しての対策
- (3) 逆耐電圧の高いものが得にくい

などの3点であろうが、現在第(3)項を除いてはか

なり開発が進んでいる。従来はもっぱらアロイ形で開発されてきたが、周囲温度 75°C においてA級増幅で 5 W の無ひずみ出力が得られ、許容コレクタ損失 12.5 W (at 75°C) の高性能出力トランジスタが Philco 社で製作され、G. E., Delco 社, Motrola 社などでも 30~100W のものが製品化されようとしている。しかし上記出力、ひずみ率、逆耐電圧などは使用目的により全部を満す必要のない場合も多いので、それぞれ目的に合致した出力トランジスタが設計されるべきである。すなわちスイッチング用はコレクタの飽和電圧を低くすること、あるいはスイッチングスピードや逆耐電圧の高いことも要求されるが、ひずみ率についての考慮は不要である。これに反し可聴周波増幅器などに使用する場合はひずみ率に関する“電流増幅率の電流依存性”の少ないことが必須条件となる。第9図の曲線(a), (b)に電流依存性の良い出力トランジスタと悪い出力トランジスタとを対比して示した。日立製作所においては第4表に示すとき特性を有するB級無ひずみ出力 12 W の高出力トランジスタ 2 N 301, 2 N 301 A が製品化されている。

2.2.2 低周波小出力トランジスタ

低周波増幅用の小出力トランジスタはほとんど開発されつくされた感があり、今後この方面の開発は主としてスイッチング用に重点が移るものと思われる。日立製作所では通信用として特性が均一で安定な低雑音



第9図 高出力トランジスタにおける α_{cb} のエミッタ電流依存性

- (a) 低ひずみ率トランジスタ
- (b) ひずみ率の大きいトランジスタ

第4表 高出力トランジスタ 2 N 301, 2 N 301 A の主な特性

項 目	単 位	2 N 301	2 N 301 A
$\beta (dc, \alpha_{cb})$		70	70
12 $I_{co \max}$	μA	-220	-220
$C_o V_c$ (逆耐電圧)	V	-40	-60
$I_{c \max}$	A	-2	-2
$P_{c \max}$	W	12	12

第 5 表 低ひずみ率, 高逆耐圧トランジスタ HJ 43
の主な特性

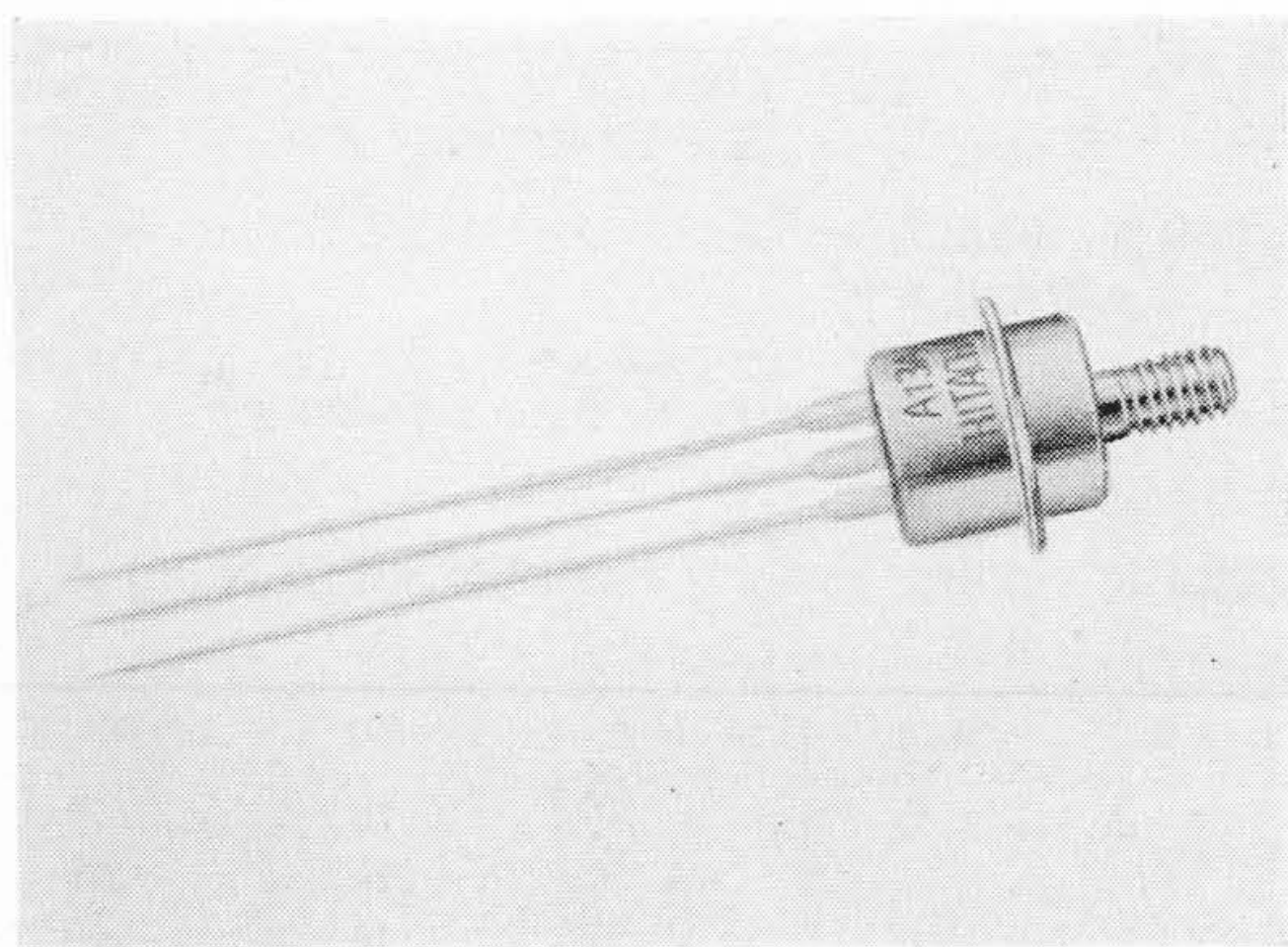
項 目	単 位	特 性
α_{cb}		50
$30 I_{co}$	μA	-10
$r_{bb'}$	Ω	90
$C_o V_c$ (逆耐電圧)	V	-55
$P_c \max$	mW	300

の 2S11 が製品化されまた逆耐電圧 55V, コレクタ損失 300 mW の低ひずみ率長寿命トランジスタ HJ 43 が開発され各種の通信機に应用されている。その主な特性を第 5 表に示す。

2.3 スイッチング用

最近計算器はもちろんのこと各種のスイッチング用として急激にトランジスタが利用されはじめた。一般的には, スイッチング速度 (switching speed) のみが要求される場合, 大電流, 高逆耐圧などが要求される場合, あるいはこれらのいずれか二つ以上の特性が同時に要求される場合などである。スイッチング用トランジスタとしてはそれ自身スイッチング素子であるような $p-n-p$, $n-p-n$ や前記拡散技術の応用によって得られるシリコンの $p-n-p-n$ 接合が, スイッチング素子としてきわめてすぐれた特性を有している⁽⁶⁾⁽⁷⁾。また前記拡散技術の進歩に伴うトランジスタの高周波化によってスイッチング速度も $m\mu \text{ sec.}$ の order で実用化され, Genral Motor 社ではスイッチング用として 1 kW の電力容量のトランジスタが開発されたという。

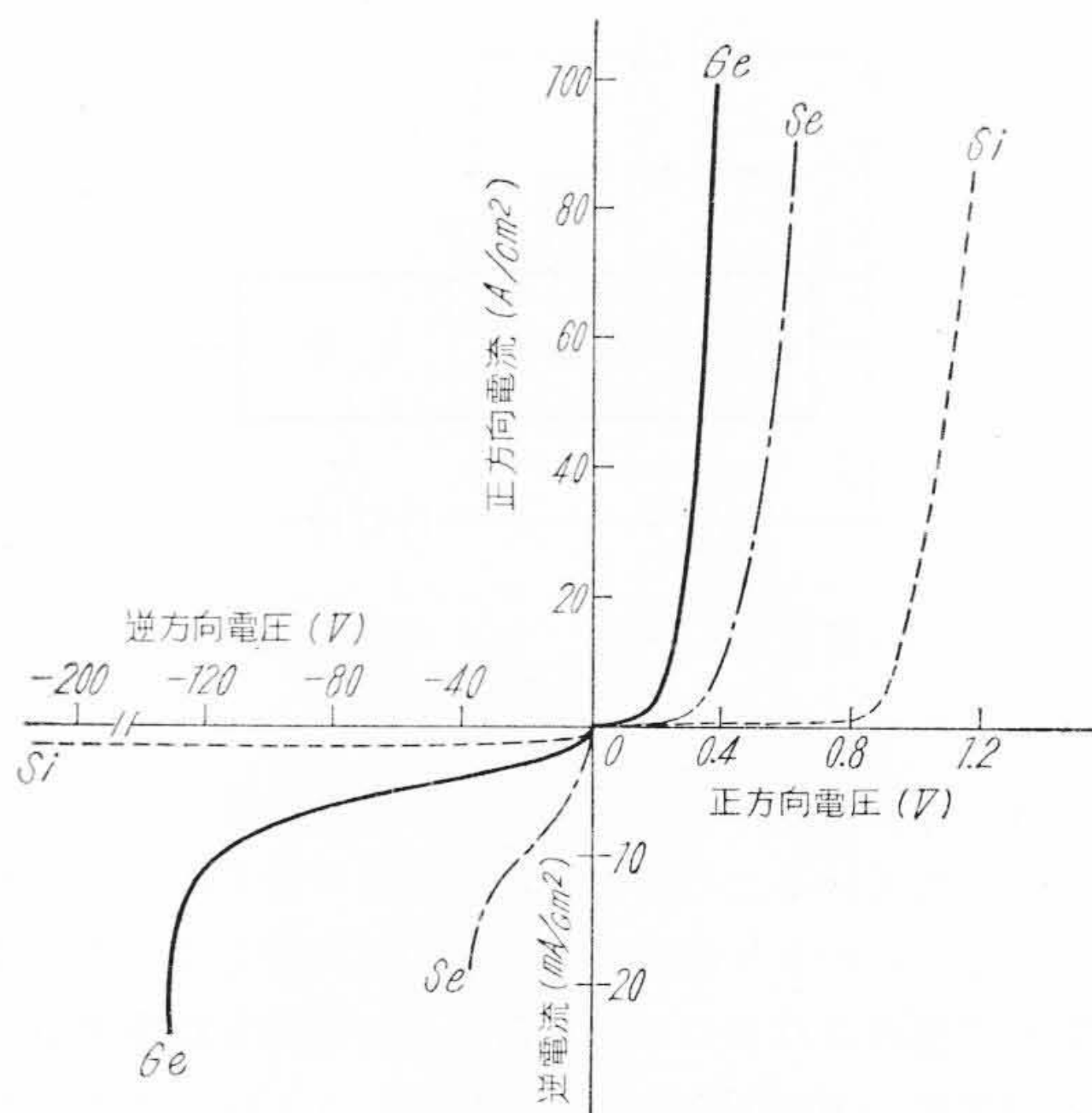
日立製作所においてはスイッチング用小出力トランジスタとして逆耐電圧 105 V, コレクタ損失 50 mW の 2N398 や medium speed switching 用として 2N404 が開発されている。また第 10 図, 第 6 表に示すときスイッチング用高逆耐圧中出力トランジスタ HJ 48 が開発され半電子交換機⁽¹⁰⁾ のリレー駆動用その他に应用されている。



第 10 図 スイッチ用高逆耐圧, 中出力トランジスタ HJ 48

第 6 表 スイッチング用中出力トランジスタ HJ 48
の主な特性

項 目	単 位	特 性
$C_o V_c$ (逆耐電圧)	V	100
$50 I_{co \max}$	μA	20
$\beta (dc, \alpha_{cb})$		35
$P_c \max$	W	2

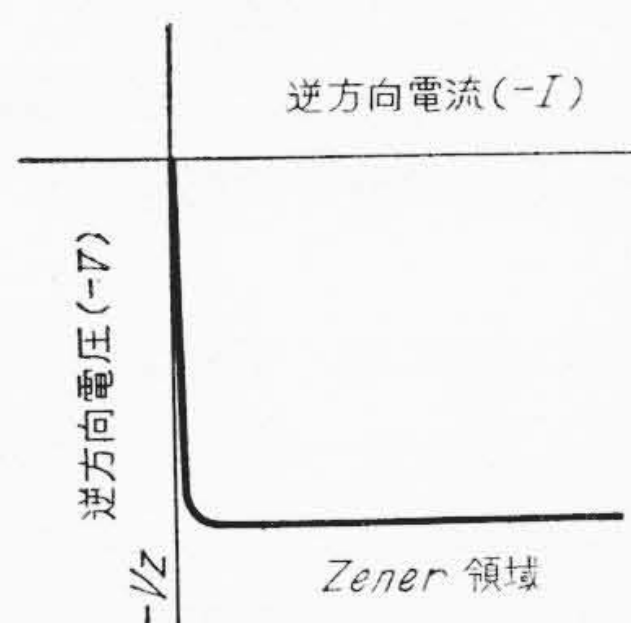
第 11 図 Si, Ge および Se 整流器の電圧—電流特性⁽⁷⁾

2.4 整流器およびダイオード

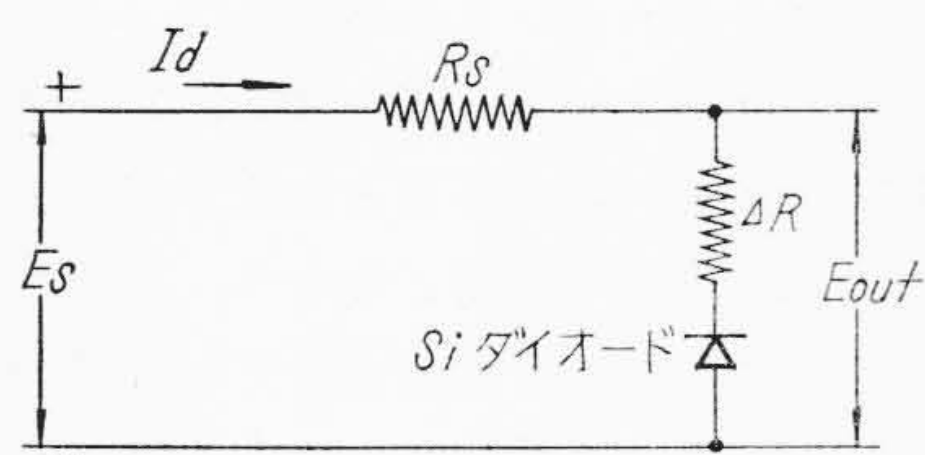
2.4.1 電源用整流器

通信機器のトランジスタ化に伴って直流電源部の小形化も当然問題となるであろうから近い将来には通信方面からもゲルマニウム整流器あるいはシリコン整流器の要求が強まるものと思う。Ge および Si 整流器の電圧電流特性は第 11 図のごとく, 正方向特性では Ge が逆耐電圧では Si がはるかにまさっている。したがって用途によっては Ge 整流器でも構わないが, 許容温度が 70°C 位であるため, 使用温度の点で一つの制約を受ける。これに反し Si は 150°C 位まで使用しうるし, 逆耐電圧が高いので非常に有利な場合がある。しかし現在はシリコンの融点が高いことに基因して精製技術が遅れているためきわめて高価である。

また小形, 高逆耐圧の目的に対し Texas Instrument 社では 125 mA, 1,500 V のシリコン整流器も開発されたという。また微小電流用としては peak の逆耐電圧 16,000 V のものが発表されている。わが国でもシリコン単結晶の製造技術の進歩とともに近い将来通信方面にシリコン整流器が急激に应用されるようになるであろう。



第12図 Si ダイオードの逆方向特性



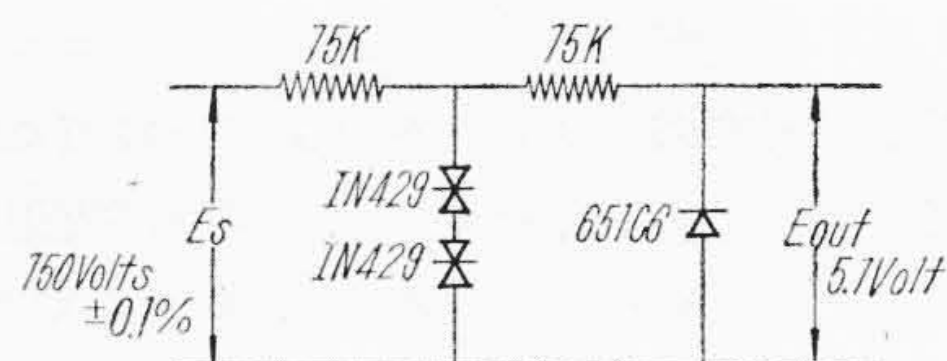
第13図 Si ダイオードを用いた定電圧回路

2.4.2 定電圧用シリコンダイオード (Voltage reference Si diodes)

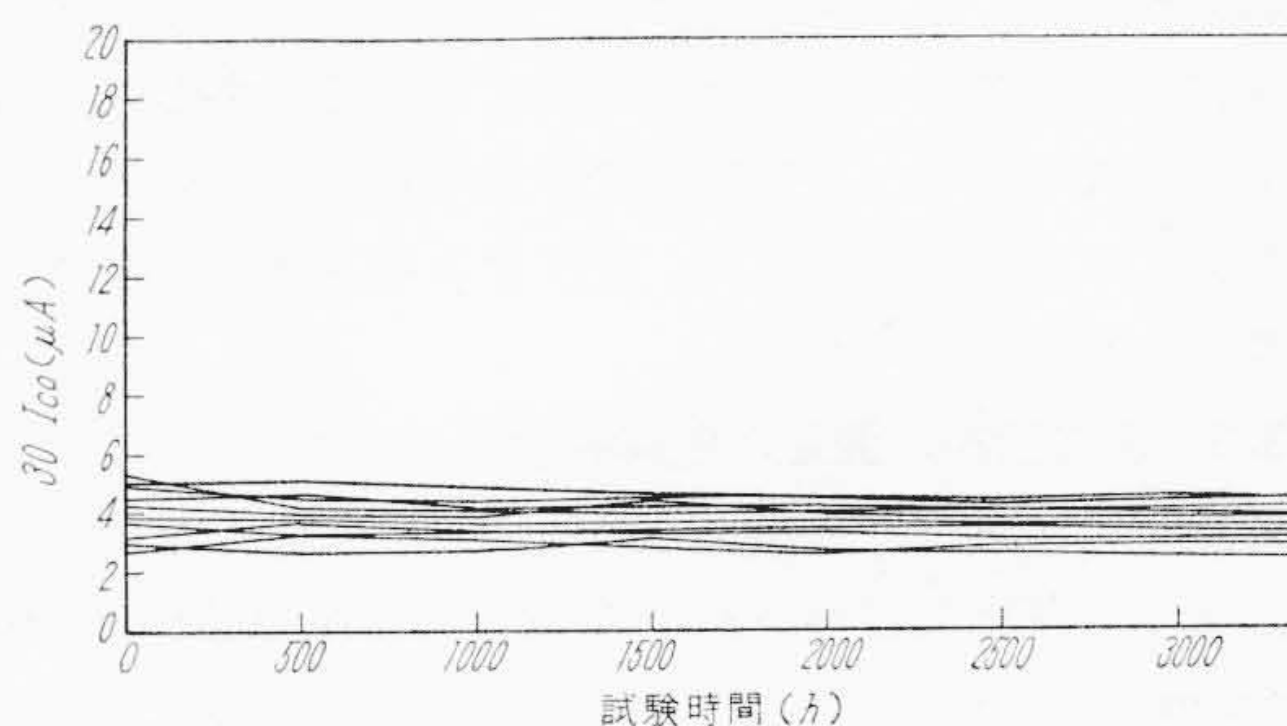
シリコンダイオードが従来の定電圧放電管に比し、精度、許容温度、使用電圧などの点でまさっているため最近工業用自動平衡計器の電圧電流制御、計器の保護などにその応用が急速に広がりつつある。シリコンダイオードは第12図のように、特有の逆方向特性を有し、逆耐電圧 V_z まではリーク電流はきわめて少ないが V_z に達すると breakdown を起して電流が急増し、Zener region と呼ばれる電圧一定の特性領域に入る。Zener 領域では大きな電流変化に対しダイオード両端の電圧変化はきわめて少ないのでこの特性を利用して voltage reference device がつくられる。reference diode の動作原理を第13図について説明すれば、たとえば電源電圧 E_s が高くなると電流 I_d が増加するがダイオードの dynamic resistance は非常に小さいから、抵抗 R_s の両端の電圧降下となって現われ、出力電圧にはほとんど変動を与えないことになる。図において ΔR はダイオードの dynamic resistance で非常に小さい値を有し、 E_d はダイオードの両端にかかる電圧であるが直列抵抗 R_s が ΔR に比して非常に大きい場合 voltage regulation は次式で示される⁽⁹⁾。

$$\frac{\Delta E_d}{E_d} = \frac{\Delta R}{R_s + \Delta R} \cdot \frac{E_s}{E_d} \cdot \frac{\Delta E_s}{E_s}$$

したがって ΔR に対し、 R_s を十分大きく選ぶとこの回路の安定度はよくなる。さらに周囲温度の変化に対する影響を少なくするため温度係数の似たダイオード



第14図 二段の実際の定電圧回路⁽⁹⁾



第15図 日立通信用トランジスタの寿命試験結果 (周囲温度 60°C, 相対湿度 100% 放置)

ドを二つ選り正逆の対として使用するときには全温度範囲で非常に小さな温度係数にすることができる。第14図は2段の定電圧回路⁽⁹⁾の一例で温度係数 $-0.014\%/^{\circ}\text{C}$, regulation factor 3.6×10^{-3} であったという。

2.5 信頼度 (reliability)

最近ようやく、トランジスタおよび整流器などの半導体製品の信頼度が向上してきたが、その原因は半導体表面に関連した物理的、化学的現象の解明に基く、厳密な製造工程の管理につぎるのではないと思われる。したがって今後製造工程全般の管理を合理的に検討することにより通信機器用の半導体製品としてさらに信頼度を高め、数十年の寿命を保証しうるものが定常的につくられるであろう。

第15図はさきに日立製作所で開発された通信用長寿命トランジスタを周囲温度 60°C, 相対湿度 100% の中に放置した場合の寿命試験結果で、きわめて苛酷な試験条件であるが、3,000時間の寿命試験を経ても特性の劣化はほとんど観察されていない。

3. トランジスタおよび整流器の通信機への応用

トランジスタおよび整流器の通信機器への応用に関してはそれぞれ別に述べられるであろうから、ここではその用途を列挙するにとどめる。

3.1 電子交換機 (electronic telephone exchange)⁽¹⁰⁾

トランジスタを用いた電子交換機は欧米においては強力な試験段階を経てようやく実用化の段階に入りつつあるようであるが、わが国においても活発な研究が進めら

れている。電子交換機は大別して、パラメトロンなどを併用した半電子交換機とリレーを全部電子接点に置換えた全電子交換機とがある。将来このいずれが実用化されるかということにはわかには判断がむずかしいであろう。

3.2 搬送装置

通信線搬送、電力線搬送などが最近ようやくトランジスタ化の趨勢にあり、日立製作所においてもすでに一部実用化されているが、搬送装置の本格的トランジスタ化のためには高周波、高出力、低ひずみ率トランジスタの開発にまたねばならない。

3.3 遠方監視、測定、制御装置

最近電力事業やガス事業その他において遠方測定、監視、表示、制御などのいわゆる telemeter, telecontrol system がトランジスタ化されようとしているが、この部門でも高周波高出力トランジスタの開発が待望されている。

3.4 無線関係

トランジスタの高周波化に伴い航空機、ロケット、ラジオゾンデ、ロボット雨量計等々の分野におけるテレメータ、テレコン用としてトランジスタが使用されはじめた。また携帯用 FM 無線機の実用化には VHF トランジスタが必要である。

3.5 整流器およびダイオード

整流器および定電圧用ダイオードなどは今後さらに通信方面の需要を増すであろうが、上述したので割愛する。

4. 将来の問題

トランジスタの高周波化は、前述のように急速なテンポで進展しつつあるが、実用化の面では未だしの感が深い。

前記拡散技術の応用によってベース幅をきわめて薄くし (たとえば 1~2 ミクロン)、遮断周波数 500~1,000 Mc/s の記録品ができたと伝えられているが、このよう

なトランジスタを均一にかつ廉価に生産しうるようにすることがまず第一の目標であろう。また高周波高出力トランジスタの開発が通信の分野で待望されていることは論をまたない。

次に不純物の濃度勾配に基づく半導体内部の電場の利用からさらに一歩進んでスペーススタ (spacistor) のように、空間電荷層の電界を利用することによって固体内の電荷の速度を増し、使用周波数限界を飛躍せしめることができそうである。さらに固体メーサ (solid-state maser) の開発など、いわゆる solid state electronics の発展は、はかり知れないものがある。

半導体の基体物質としても Ge, Si に限らず、さらに安価な信頼度の高い材料が必要となるであろうからこれに関する材料的な研究も必要となろう。高温に耐える素子に対しても各方面で強く要望されているが、GaAs を用いたダイオードが 455°C で動作すると伝えられているのも将来の一つの方向を示しているとも考えることもできる。

さらに数年前から脚光を浴びている太陽電池、原子力電池なども半導体工業および原子力産業の発展と密接な関係を保ちながら実用化され、通信機器への応用も近い将来に実現するであろう。

参考文献

- (1) J. M. Early: B. S. T. J 33, 517 (1954)
- (2) K. Lehovc. A. Levitas: J. App. Phys. 28, 106 (1957)
- (3) H. Krömer: Transistor I (RCA) 202 (1956)
- (4) J. T. Nelson, J. E. Jwersen, F. Keywell: I. R. E. WESCON Conv. Rec. Part 3. 28 (1957)
- (5) Honeywell: Proc. I. R. E 183 A Oct. (1957)
- (6) J. L. Moll, M. Tanenbaum, J. M. Goldey, N. Holonyak: Proc. I. R. E. 1,174 (1956)
- (7) A. K. Jonschen: J. Electronics & controll III, 573 (1957)
- (8) P. B. Report-117641 (1954)
- (9) K. Enslein: I. R. E. Trans. Instr. 105 (1957)
- (10) 喜安: 電気通信学会誌 41, 129 (1958)
- (11) Statz: I. R. E. 45, 1,475 (1957)

日立評論 別冊 第28号

「電線ケーブル特集号 第4集」

昭和33年12月発行予定

- ◎多導体送電線の短絡時の機械的特性
- ◎多導体送電線の捻回特性
- ◎超高圧同心円筒におけるコロナ雑音の解析
- ◎電子計算機による長距離送電線弛度および張力の計算
- ◎低ガス圧ケーブルの自己回復作用
- ◎変圧器直結ケーブル
- ◎高電圧ブチルゴム絶縁ケーブルの破壊に関する

二、三の考察

- ◎ポリエチレン電力ケーブルの絶縁破壊特性
- ◎国鉄納アルベス型搬送ケーブル
- ◎各種試験法によるエナメル線の耐熱度
- ◎低圧法ポリエチレン電線の寿命に関する考察
- ◎非鉄金属の冷間圧接
- ◎各種合金整流子片の諸特性

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地 振替口座東京 71824 番
取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座東京 20018 番