

# ドリフト・トランジスタの誘導性アドミタンス とその接合障壁容量

安達 芳夫・後川 昭雄

## 1. ま え が き

最近の高周波トランジスタは、ベース幅を薄くして少数キャリアの走行時間を短縮する方向より、“電界による加速”を積極的に利用しようとする方向に重点が移ってきている。

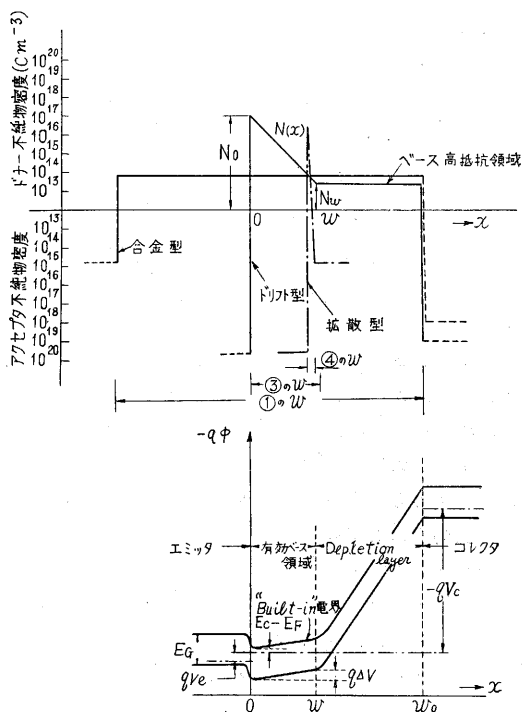
そこで“電界による加速”を活用しているドリフト・トランジスタの接合障壁容量やアドミタンス変調について調べてみた。その結果、合金型および成長型接合とは異なった特性が見られ、特にエミッタ・アドミタンスは、トランジスタとして実際に動作している $\alpha$ が1に近い状態においてすら、エミッタ電流が2 mA 以上ですでに誘導性に転換してしまっており Kroemer<sup>(2)(3)</sup>の指摘した容量性から大きくはずれていることがわかったので、拡散接合トランジスタM-2039の実験結果を加えて報告したい。

## 2. ドリフトおよび拡散接合トランジスタの紹介

接合トランジスタの使用周波数を上げるためには従来いろいろな研究が行われてきたが、ベース層の厚みや固有抵抗、接合部面積等の構造上の定数によって高周波特性がほぼ決定されるので、製造技術と関連してその性能はある限界に達したかと考えられた。しかし合金技術と不純物の熱拡散技術とを巧妙に利用し、ベース内に不純物密度の傾斜をつけることにより生じる内部加速電界を活用して理論的周波数限界を大きく上昇することができるようになった。こうして出現したのがドリフトおよび拡散接合トランジスタであって、特に拡散型のベース幅

は極めて薄くなっている。

ドリフト型は200°Cに加熱したAsを不純物源として785°Cの状態にある固有抵抗30~50  $\Omega \cdot \text{cm}$ のn型ゲルマニウムに熱拡散し、これに合金接合トランジスタと同じ



(上) 各種接合の不純物分布模型図

(下) ドリフト型の電位分布

第1図 不純物密度分布と電位分布

第1表 トランジスタの性能

トランジスタの種類	$f_{\alpha}$ (Mc)	$r_{bb'}$ ( $\Omega$ )	$C_c$ (pF)	$P_c$ (mW)	電力利得 (db)		
					10.7 Mc	40 Mc	70 Mc
合金接合型	2~20	50~200	10~15	30~100			
成長接合型	2~10	50~500	2~10	10~50			
ドリフト型 2N 247	30	40	1.7	35 (70°C)	24 ( $V_c = -9v$ $I_c = 1mA$ )	14 ( $V_c = -15v$ $I_c = 2mA$ )	14 ( $V_c = -15v$ $I_c = 1.5mA$ )
試作品 1	90	50	1.0				
試作品 2	125	100	0.5				
拡散接合型 代表的なもの M-2039	400~600 400	15~100	0.5~1.0 1.87	150			

第2表 寸 法

	$w$ ( $\mu$ )	$d_c$ ( $\mu$ )	$d_e$ ( $\mu$ )	$d_b$ ( $\mu$ )	基体のゲルマニウムの $\rho_b$ ( $\Omega\text{cm}$ )	$N_0$ ( $\text{cm}^{-3}$ )
ドリフト型	15	380 $\phi$	250 $\phi$	760	30~50 $n$ 型	$5 \times 10^{16}$ $\sim 10^{17}$
拡散接合型	1.5	640 $\times 1500$	25 $\times 50$	13~25	0.8 $p$ 型	$10^{17}(\sim 10^{19})$

技術でエミッタおよびコレクタの平面接合をつけたもので、第1図にその構造、不純物密度分布、電位分布を示している。注入したキャリアは拡散層の“built-in”電界  $F_b$  とコレクタ空乏層の電界で加速されるので、同一の有効ベース幅  $w$  をもつベース域の不純物密度が均一な普通のトランジスタより走行時間が  $1/\left(\frac{qAV}{2kT}\right)^{1/2}$  に短縮され(数値例:  $1/4$ )、 $\alpha$ 遮断周波数  $f_\alpha$  がその割合で上昇している。

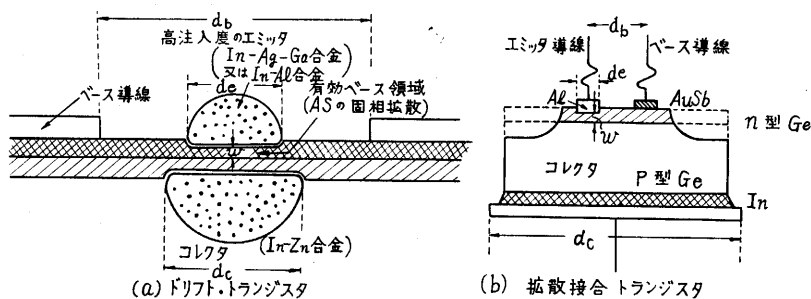
$$f_\alpha = \frac{D_p}{\pi w^2} \left( \frac{qAV}{2kT} \right)^{1/2}, \quad F_b = \frac{1}{w} \frac{kT}{q} \ln \frac{N_0}{N_w} \quad (1)$$

$AV$ : “built-in”ドリフト電圧

$N_w$ :  $w$ における不純物密度

また高周波用として必要な低いベース抵抗と小さい容量とになっているが、これは以下の実験結果に現われている。

一方、拡散型は約1.5cmの  $p$ 型ゲルマニウムを  $As$  蒸気の中で高温に加熱して表面に出来た約  $2\mu$  の  $n$ 型熱拡散層をベース層とし、この上に  $Al$  を蒸着・合金してエミッタ、その近くに  $Au$ ,  $Sb$  を蒸着・合金してベース電極としており、有効ベース幅は極めて薄くかつ  $Al$  と  $Ge$  とは低融点の共融体を作るのでエミッタ接合部も非常に平坦になっている。ドリフト型のようなコレクタ空乏層はないが、“built-in”電界が寄与して  $f_\alpha$  はきわめて高くなっている。拡散接合トランジスタの概略図は第2図(b)に示しておいた。なお第1表にはいろいろなトランジスタの主な性能をあげてある。



第2図 ドリフト型および拡散型トランジスタの構造

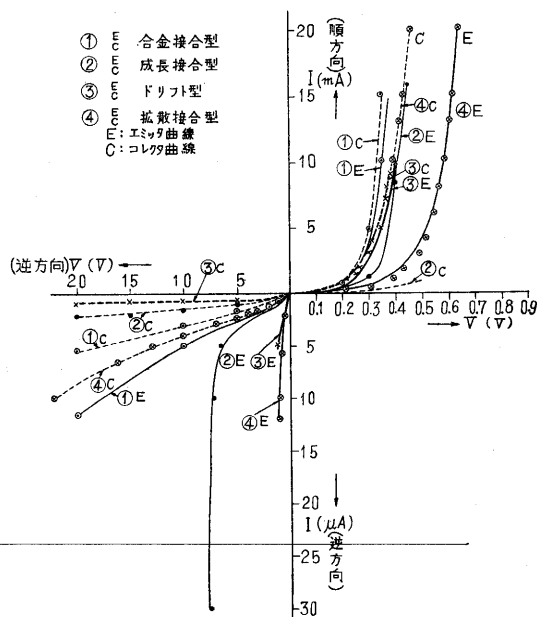
### 3. 測定方法および実験結果

測定には広範囲のアドミタンスが測定できる特殊な橋絡T型ブリッジ<sup>(1)(6)</sup>を使用し、トランジスタはベースを接地し、ブリッジへの入力交流振幅は10mV以下におさえた。以下ではことわらぬ限り  $f=159\text{kc}$  にて測定し

た結果を掲げる。 $pnp$ ドリフト・トランジスタには2N247 ( $f_\alpha=30\text{Mc}$ )を使用した。

### (1) 静特性

第3図にいろいろなトランジスタの静



第3図 各種接合の整流静特性

特性実測結果を示してある。

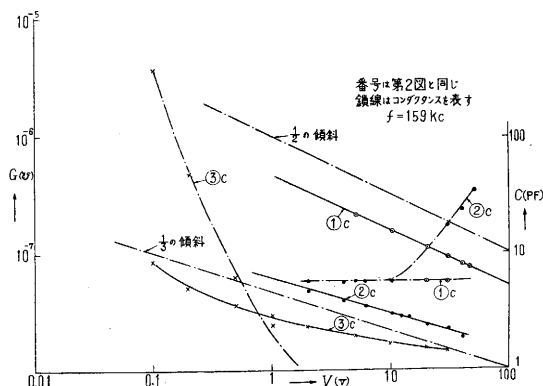
イ) 逆方向特性 ドリフト・トランジスタのエミッタ接合逆方向特性は悪く  $-0.5\text{V}$  付近で降服しており、成長型のエミッタ接合より耐圧が低い。これは第1図のようにエミッタ近くの不純物密度  $N_0$  が高いためで、拡散型も同じ特性を示している。コレクタ接合は合金型・成長型・拡散型の接合より  $I_{co}$  が小で、耐圧も高い。これはコレクタ付近のベース内不純物密度が小さく固有抵抗

が高いため、成長型のコレクタ接合にも見られるように逆方向バイアス電圧が高くなると空間電荷層がベース内高抵抗領域をエミッタ側に延びて電界強度を軽減するように働いているからである。

ロ) 順方向特性 ドリフト・トランジスタのエミッタ接合とコレクタ接合の順方向はほぼ同じ特性を示していた。

### (2) ドリフト・トランジスタの接合部容量と逆電圧との関係

第4図はコレクタ接合、第6図はエミッタ接合の容量と逆電圧との関係を対数目盛で示した図である。



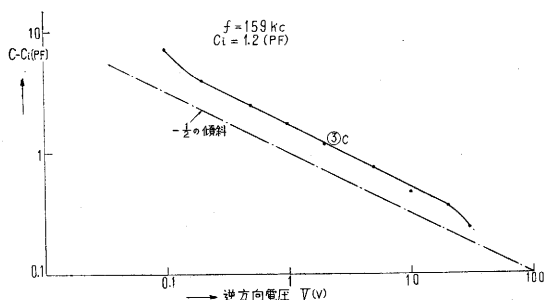
第 4 図 コレクタ接合容量と逆電圧との関係

第 3 表 コレクタ容量の数値例  $f=159\text{kc}$ 

V (V)	0	-0.1	-4	-10
C (pF)	27.6	8.2	2.0	1.7

イ) コレクタ接合 第 4 図には比較のために合金接合型を①, 成長接合型を②として, 容量に並列なコンダクタンス  $G$  とともに示してある。①は障壁容量  $C_T$  が  $-\frac{1}{2}$  なる傾斜を示していて階段接合であり, ②は  $-\frac{1}{4}$  の傾斜を示していて傾斜接合になっている。

しかるにドリフト型では③のように高電圧になるほど傾斜がゆるやかになっているが実験結果より電極間容量  $C_i$  をもとめたところ  $C_i=1.2\text{pF}$  となったので, これを考慮に入れて描き直すと第 5 図のように  $0.2\sim 20\text{V}$  で  $-\frac{1}{2}$  の傾斜が得られた。  $20\text{V}$  以上で急に  $C_T$  が小さくなり始めているが, これは空間電荷層の延びた先が不純物密度の急に大きくなる所へ達したためであろう。逆に

第 5 図 電極間容量  $C_i$  を考慮に入れて補正したコレクタ障壁容量と逆電圧との関係

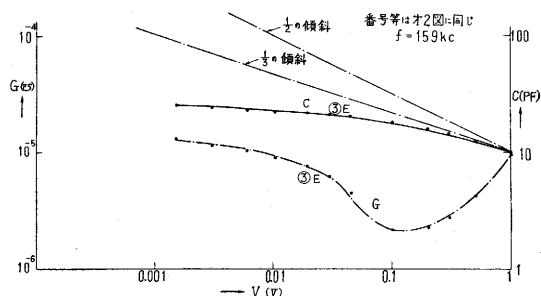
$0.2\text{V}$  以下では  $-\frac{1}{2}$  の傾斜より大になるが, これは拡散容量  $C_{diff}$  の影響と考えられ, 結局微小電圧と高電圧とを除いた中間の電圧範囲の障壁容量から階段接合と考えてよいことがわかった。

さてドリフト・トランジスタの動作時コレクタ電圧は, それによる電界で空間電荷層がベース内高抵抗領域全体に拡がり, しかも電界加速による走行時間が有効ベ

ース領域内の走行時間に対して問題にならぬように選ぶべきで, その電圧付近ではコレクタ電圧の変動により  $f\omega$  および電流伝達比が大きく変化しないで出力インピーダンスが高いという状態が望ましい。この  $f\omega$  および出力インピーダンスのコレクタ電圧による変化は空乏層, したがって有効ベース幅の電圧による変化に基因している。電圧が高くなると, 空乏層が不純物密度が大きい領域まで延びているために, 結局ベース幅の変化量が小になるから,  $f\omega$  の変化も少なく出力インピーダンスも高くなる。penetration voltage  $V_p$  としては約  $-2\text{V}$ , 動作電圧としては  $-4\text{V}$  以上が必要で, ふつうは  $-9\text{V}$  付近に動作電圧を選んでいる。この動作電圧付近の容量値は第 3 表のように小さな値になっている。

以上のように逆方向電圧  $1\text{V}$  以上では, ドリフト型の容量値は合金型や成長型より小さく高周波特性に貢献しているが, これはコレクタ空乏層が影響してきていることを示している。なお同じ影響で  $G$  は電圧とともに急激に減少して,  $2\text{V}$  以上では  $10^{-8}$  よりずっと小さい値を示しているので図には現われていない。

ロ) エミッタ接合 耐圧の関係で測定範囲は  $0\sim 1\text{V}$  になっている。電圧をかけないと  $C_0=27.8\text{pF}$  でコレ



第 6 図 エミッタ接合容量と逆電圧との関係

クタ側とはほとんど同じである。有効ベース領域のエミッタ付近は不純物密度が高いので空間電荷層の幅もコレクタほど拡がり切れず, 障壁容量  $C_T$  が大で  $C_i$  の影響は少ないと考えられる。

さてコレクタ接合で  $0.2\text{V}$  以下のとき拡散容量が問題となったのにエミッタ接合では  $0.01\text{V}$  付近でも傾斜がゆるくそれらしい影響が現われていない。そこで拡散容量のエミッタ側, コレクタ側の比を計算してみると

$$\frac{C_{diff}}{C_{diff}} = \frac{1}{2} \frac{L_p}{L} \exp\left(\frac{w}{L}\right) \quad (2)$$

$L$ : 不純物の固体内拡散距離

$L_p$ : 正孔の拡散距離

代表値を入れると  $C_{diff} \gg C_{diff}$  と推算される。これは不純物分布に基く内部電界があるためであって, 事実逆方向バイアスでは拡散容量の影響が少ないと解釈される。したがってこの結果は  $C_T$  をほぼ表わしていると考

えて、そのとき指数函数的不純物分布として計算した結果と比較してみた。この比較とコレクタ側の説明は改めて触れることにして、今回はこの程度にとどめる。

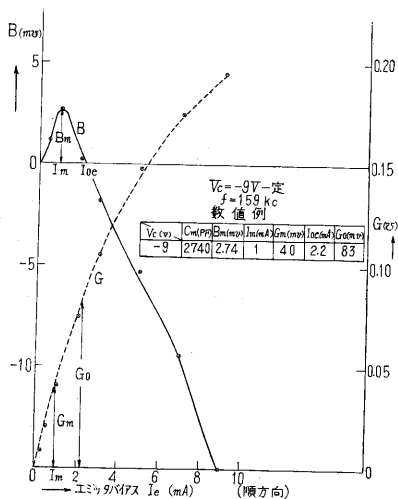
すなわちエミッタ容量は逆電圧が低い時も拡散容量の影響が少なく障壁容量が大部分をなしているといえる。これは“built-in”電界のある高周波トランジスタの一つの特徴と考えられる。 $G$ の値は0.15V付近で極小値をとってから電圧とともに再び大きくなっているが、これは逆方向整流特性からもわかるように降服現象を起しているためと解される。

### (3) アドミタンス変調

トランジスタの順方向バイアス電流を変化すると、コンダクタンス分はもちろんサセプタンス分も著しく変化するとところから、この現象をバイアス電流による“アドミタンス変調”と呼んでいる。<sup>(6)(7)</sup>以下においてバイアス電流の方向は *pnp* トランジスタの正常動作状態を正とするようにとってある。すなわちコレクタでは逆方向を、エミッタでは順方向を正にとる。

#### 1) ドリフト・トランジスタの短絡エミッタ・アドミタンス

第7図には、コレクタ側を大きなCで交流的に短絡

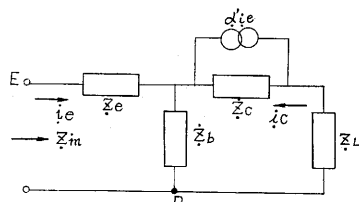


第7図 ドリフト・トランジスタの短絡エミッタ・アドミタンスと順方向バイアス電流との関係 ( $V_c = -9V$ 一定)

し、エミッタ順方向バイアス電流  $I_e$  を変化した時のアドミタンスの変化を示してある。なお、コレクタバイアス電圧  $V_c$  は代表的な値  $-9V$  に保った。この場合第8図のT型等価回路でいえば  $Z_c + (1-\alpha)Z_b$  を測定していることになるが、実験結果から  $\alpha \geq 0.99$  であったので代表的な動作状態における  $Z_c$  を調べたことになっている。図のようにサセプタンス  $B$  はバイアス電流とともに初めは容量性で増大し、1 mA 近くで極大値  $B_m$

をとり、2.2mA 付近ですでに誘導性に転じている。

Kroemer によると、拡散容量は



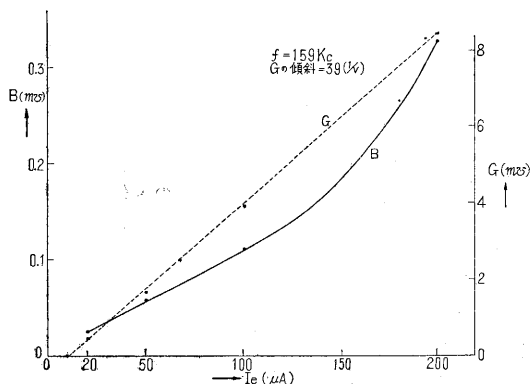
第8図

トランジスタの簡単な等価回路

$$C_{diff} = I_e \frac{q}{kT} \frac{w^2}{D_p} \left( \frac{kT}{qAV} \right)^2 \quad (3)$$

$$G_e = I_e \frac{q}{kT} \quad (4)$$

測定した 159kc は、(3)式を導くまでの周波数条件を満足している。障壁容量  $C_T$  は、先の第6図からもわかるように電圧をかけない時に 30pF 近くで飽和しているから、順方向バイアスではそう大きくは変化しないと思われる。そこで順方向バイアスを加えた第7図では  $C_{diff}$  の変化が現われていると考えてよい。測定したドリフト型について (3) 式から計算すると  $I_e = 0.51mA$  で  $C_T = 51pF$ ,  $C_{diff} = 17.6pF$  となる。 $C_T$  の実測値と計算値は、順方向バイアスでは 30pF よりは大きくなる傾向であることを考え合わせ、だいたい一致していると考えてよい。これに対して  $C_{diff}$  は実験値が 1100 pF にもなっていて計算値と著しく相違している。第7図のように 0.2mA 以上にもなれば急速に拡散容量が大きくなり障壁容量は問題でなくなってくる。さて注入度が高くなって注入少数キャリアが不純物密度に近づくほど見かけの移動度は減少し、この影響が注入効率より著しくドリフト型の特徴を阻害することになるが、それを問題にせねばならぬエミッタ・バイアス電流密度の最小値は  $j_e = 100mA/mm^2$  で、 $I_e$  にして 6.2mA であるから、それよりずっと低い  $I_e$  の値で(3)の理論式からはずれた現象を呈していることになる。この大きな相違から理論式の検討



第9図

第7図の微小バイアス領域拡大図 ( $V_c = -9V$ 一定)

と大電流領域の解析の必要性を痛感する。

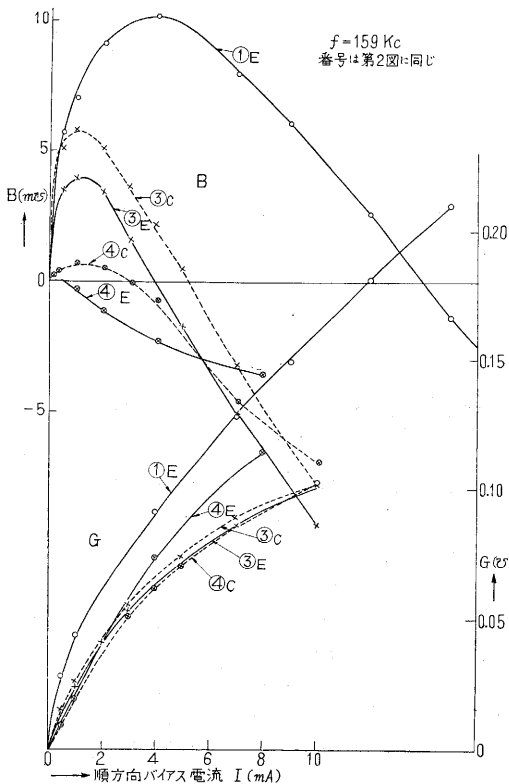
ただし第 9 図のように微小電流領域において、 $G$  の傾斜は  $\frac{q}{kT}$  の値に近い  $39(1/V)$  を示している。

さて、短絡エミッタ・アドミタンスが比較的低いバイアス電流値で誘導性に転換している点は誠に興味深いので、以下では開放アドミタンスの点からも他の接合と比較しながら眺めてみることにしよう。

## 2) 開放接合アドミタンス

### (a) 開放アドミタンスとバイアスとの関係

第 10 図には測定側と反対の接合を開放した場合のドリフト・トランジスタ③、拡散接合トランジスタ④、合金接合トランジスタ①、のエミッタ接合とコレクタ接合のアドミタンスを示してある。エミッタ側の曲線はいずれも T 型等価回路の  $1/(Z_e + Z_b)$  を示している。各曲線は順方向バイアス電流の増加とともにアドミタンス変調



第 10 図

開放接合アドミタンスと順方向バイアス電流との関係

第 4 表 開放接合アドミタンスの代表的な数値

$f=159\text{kc}$

	$C_{1=0}$ (pF)	$B_m$ (mV)	$G_m$ (mV)	$I_m$ (mA)	$I_o$ (mA)	$G_o$ (mV)
ドリフト型 エミッタ	27.8	4.0	28	1.3	4.1	66
コレクタ	27.6	5.8	26	1	5.3	75
拡散型 エミッタ	0.3	$9 \times 10^{-4}$	0.01	$5 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-2}$
コレクタ	10.8	0.70	20	1	2.9	52

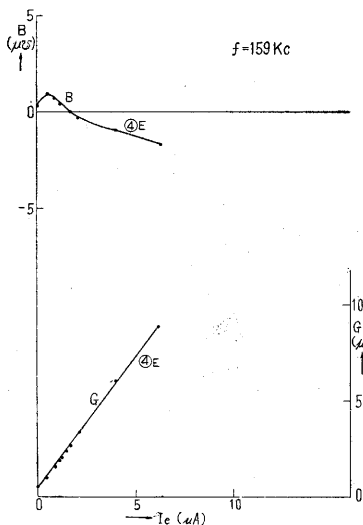
を呈し、微小バイアス領域、容量性領域、誘導性領域が現われてくる。以下第 1 図の不純物分布の比較と第 2 表とを想起しながら説明していく。

合金接合型のエミッタ①Eとドリフト型③および拡散型④のコレクタ接合はいずれも加速電界を作るような不純物密度傾斜になっておらず、ドリフト型および拡散型のエミッタ接合とは異なっている。

さて拡散容量とは、注入された過剰な少数キャリアが拡散電流になる時ベース内にその濃度勾配を作るとともに次第に蓄積され、その蓄積キャリアのために生ずる時間的な遅れが等価回路的に容量として現われてきたものである。容量性領域の上昇部分をみると拡散型、ドリフト型、合金型の順に拡散容量が大きくなっているが、構造寸法を考えてみればその相違はうなずけよう。エミッタ接合容量とコレクタ接合容量とを比較すると拡散型もドリフト型もともにコレクタ側が大きくなっている。これはエミッタ接合の場合には“built-in”電界が正孔の移動速度を大にしているのに、コレクタ接合の場合その種の加速電界がない上、コレクタ付近では逆に不純物密度が少ないことから説明がつく。

容量性領域下降部分以上の大電流領域の現象は、たとえ不純物密度傾斜のない合金接合でも、少数キャリアの注入度が大きくなるにつれてベース域の電導度が増加するとともに注入少数キャリアの流れを助長する電界が生じ始めることに起因していると考えられる。特に目立つのは拡散型のコレクタ接合④Cであるが、この接合は面積がエミッタより大きい上に、ドリフト型の高抵抗ベース領域ほど真性に近い領域の幅がなくてコレクタを離れるとすぐ不純物密度が増大し始めむしろ減速電界が存在することになるため、このバイアス領域では他よりずっとゆるい傾斜を示している。

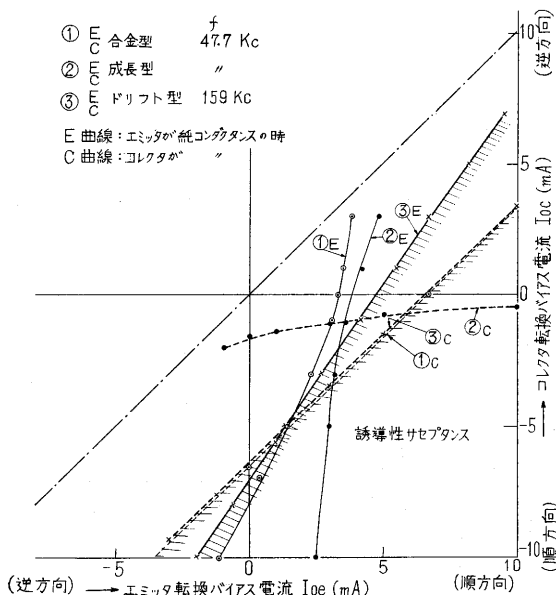
もう一つ著しいのは拡散型のエミッタ接合である。エミッタ側からは有効ベース幅、接合面積がずっと小さくかつ  $A_s$  の拡散層が  $2\mu$  ほどで不純物密度傾斜も急なため“built-in”電界も大きいと考えられ、この図では容量性領域がほとんどわからない。そこで第 11 図に拡大図を挙げておく。誘導性領域では  $4\text{mA}$  以上で相当 B の傾斜がゆるやかになってきている。構造図からわかるように大電流領域においてはコレクタ前面付近でまず問題となり始めるのであるが、“built-in”電界が注入正孔を中和しようとする電子に対して正孔と反対方向に移動させる力として働き、正孔と電子とが分離して、“polarization”電界を形成する。この電界が加速電界を抑えるように働くことが予想され、先にもふれた見かけの移動度の低下という現象が出現して同時に起っている見かけの  $D_p$  の増大以上に影響してきているものと考えられる。なおエミッタからベースへの流れの一部が通過する本来高抵抗である領域の抵抗も同時に伝導度変調をうけ



第 11 図 拡散型エミッタ・アドミタンスと順方向バイアス電流との関係  
有効ベース幅の狭いこと，“built-in”電界が大きいことなどが想像でき優秀な高周波特性をもっていることもうなずける。

#### (b) 誘導性への転換点

以上でアドミタンス変調の様子が大体ははっきりしたので、次には誘導性への転換点に注目しよう。第 12 図にはコレクタおよびエミッタ・アドミタンス(曲線 C, E)が容量性から誘導性に転換する点のエミッタ電流とコレクタ電流との関係を示した。第 1 象限はトランジスタ的に働かせるバイアス方向のかけ方、第 3 象限はちょうどその逆になっている。各曲線の右側の斜線を施した側は誘



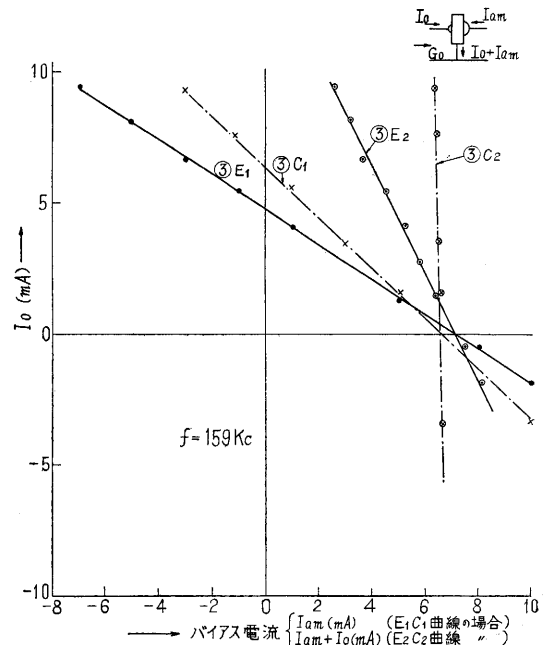
第 12 図 誘導性に転換するときのエミッタ電流とコレクタ電流との関係

て低下し、微小バイアスの時とは反対に他の接合より大きな  $G$  の値を示している。

以上の開放接合アドミタンスの測定結果から拡散接合トランジスタ (M-2039) はドリフト・トランジスタ (2N247) に比べて両接合の障壁容量・拡散

導性になる領域を示している。合金型①と成長型②とを参考のために図示しておく。これは周波数 47.7kc での測定結果である。 $f=159\text{kc}$  における合金型のエミッタ曲線はコレクタ転換バイアス 0mA の時エミッタ転換バイアス 14mA になっており図のずっと右に現われてくる。

イ) コレクタ接合 ドリフト型③C曲線は合金型①C曲線と類似した直線になっていて大体  $45^\circ$  の傾斜である。成長型②Cと違って、逆方向にバイアスした接合でも他の接合の順方向バイアスさえ大であれば誘導性に転換している。コレクタ接合については第 13 図からわか



第 13 図 誘導性に転換するときの転換バイアス  $I_0$  と相対する接合からの  $I_{am}$  および  $I_0+I_{am}$  との関係  
るように合金型と同じく誘導性への転換を決定づけているのはコレクタとエミッタとの転換バイアス電流の和であって、エミッタから注入した少数キャリアがコレクタ接合部付近のベース域を通り、両電流の和が作用してアドミタンス変調を起し誘導性へ転換させていると考えられる。

ロ) エミッタ接合 エミッタ側③E曲線もほぼ直線的であるが、相手側接合のバイアスが 0 でのエミッタ転換バイアス  $I_{oe}$  がコレクタの同じような場合における転換バイアス  $I_{oc}$  より小さくなっており、かつ直線の傾斜が異なっている。前者については、(a) 開放アドミタンスとバイアスとの関係の項で説明したごとく “built-in” 電界の影響が現われているのである。

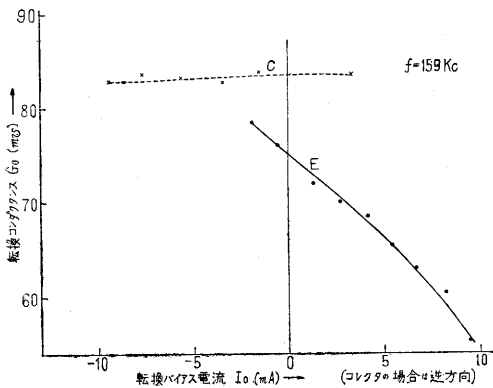
傾斜については③C曲線より急で  $45^\circ$  以上の傾斜になっているが、①E曲線よりは緩やかになっている。初めの理由は、コレクタ電流が順方向になるに従ってコレクタ側からの正孔の注入は大になるが、エミッタ接合の

面積が狭い上に不純物密度傾斜の影響を受けてエミッタ接合部近傍を通過する少数キャリアがそれほど増加せず、アドミタンス変調への寄与も少ないためと考えられる。そこで相対的にはコレクタ接合より余分に直接のエミッタ電流が流れないと誘導性にはならぬのであろう。また合金型のエミッタ曲線より緩やかで第 1 象限での誘導性への転換がほぼエミッタ電流  $I_{oe}$  のみで決まてこない。この理由は、大電流でもドリフト型の方が“built-in”電界の存在によってエミッタ近傍に正孔の密度傾斜が生じにくくなっているためと思われる。

なお先に触れたようにこの開放条件における測定は  $1/(Z_e + Z_o)$  の測定になっており、実際に大切な  $Z_e$  の誘導性への転換点は E 曲線の左の方で現われるものであること、および 1.59Mc と周波数が上れば曲線が左による点を付け加えておきたい。

#### (c) 転換コンダクタンス

第 14 図にサセプタンスが零になる時の転換コンダク



第 14 図 ドリフト・トランジスタにおける転換コンダクタンス  $G_0$  と転換電流との関係

タンス  $G_0$  とその被測定接合バイアス電流との関係を示しておいた。エミッタの方が  $G_0$  の変化は大きく、コレクタ側はほぼ変っていない。コレクタの  $G_0$  の値は合金型の 120m $\mu$  の約  $\frac{1}{2}$  ほどに小さくなっている。コレクタ・バイアス電圧  $V_c$  が逆方向の時は、“built-in”電界があるため 11 ページでものべたように  $V_c$  がある程度大であれば、その電圧変化によっては電流伝達すなわち到達コレクタ電流に比較的变化がないはずである。こうして  $G$  の値が小になることと考え合わせ興味深い。

またエミッタではその転換バイアス  $I_{oe}$  が変わると  $G_0$  も大きく変化している。これは静特性の順方向でもわかるようにバイアス電圧に対して電流が大きく変化しているためである。

以上、開放接合のアドミタンス変調について簡単にのべてきた。関連した実験結果と総合して考察すると、容量性領域の下降部の出現は少数キャリアの注入度が高くなるにつれて少数キャリアの流れを助長する電界が加わるためであり、注入度がさらに大になるとこの電界も増大して誘導性に転換するようになる。したがってキャリアを加速する電界を作る不純物密度分布とか、場合によってはコレクタ空乏層の電界の影響によっても、予想外に小さな順方向バイアスから誘導性が出現することも考えられ、接合の性質によって異なった特徴を示してくる。ただし誘導性領域でも特に大電流密度になると、拡散型のエミッタ接合に見られるように、見かけの  $D_p$  の増大もさることながら、“built-in”電界の存在によって少数キャリアと多数キャリアとが分離して“polarization”電界を形成し、加速電界を抑えるように働いて実質的に移動度を下げる——といった現象の方が大きく影響してくるようである。

#### 4. 結 言

主としてドリフト・トランジスタについて、整流静特性、障壁容量、アドミタンス変調の面から接合の性質を調べた。特にエミッタ接合についてはトランジスタとしての普通の動作条件においても、エミッタ電流が 2 mA 以上では誘導性になることがわかった。現在いまだ確立されていない大電流領域の解析に役立つものがあれば幸である。

常にご指導、ごべんたつをいただく星合・高木両教授ならびに尾上助教授に対し厚くお礼の意を表するとともに、実験に協力を得た千葉工大学生磯野君に感謝する。

(1958. 2. 12)

#### 文 献

- (1) 尾上守夫：電気学会搬送周波標準測定委員会資料 No. 18, 1956.
- (2) H. Kroemer: Archiv der Elektrischen Übertragung vol. 8, p 228, 1954.
- (3) H. Kroemer: Transistors 1. p 202. March 1956.
- (4) A. L. Kestenbaum and N. H. Ditrick: R. C. A. Review vol. 18, No 1. p 12, March 1957.
- (5) 尾上, 後川: 昭和 31 年通信学会秋季大会 41
- (6) 尾上, 後川: 生産研究第 9 巻第 1 号 (昭和 32 年 1 月)
- (7) 安達, 尾上, 後川: 昭和 32 年 4 月電気連合大会 783