

トランジスタの信頼性

Reliability of Transistors

杉 山 彰* 大 塚 寛 治*
Akira Sugiyama Kanji Otsuka

内 容 梗 概

電子部品のなかにあつてトランジスタは基本的能動素子として電子回路の基本的役割を果たしていることはいうまでもない。トランジスタにはいくつかの特長があるが、これらのうちもっとも重要な特質の一つは高度の信頼性を生来の素質として有していることであろう。このゆえにトランジスタは現在のようにスケールの大きくなった各種電子機器の要請に対して答えうる素子としての確固たる地位を保持するに至った。本文はトランジスタの信頼性の現状を述べるとともに、信頼性の底辺を固めるものとして、使用される部品材料の問題を特に強調して述べている。

1. 緒 言

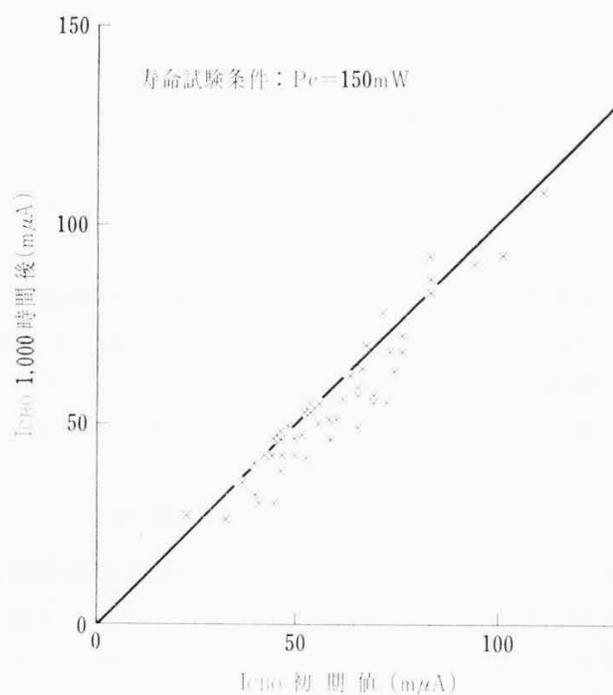
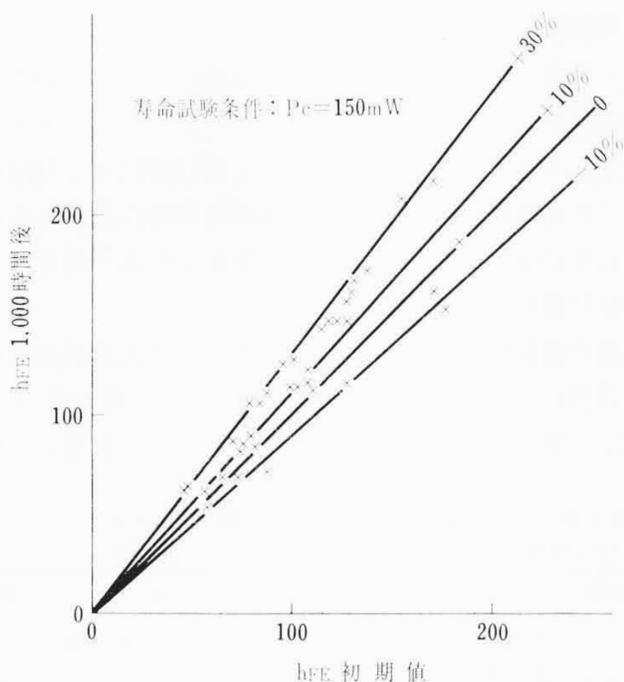
品質を保障するということの最終形態は信頼性を保障することと同義と考えられるが、トランジスタのような典型的な量産電子部品に対しては信頼性の定義を次のように考える。すなわち信頼性とは「与えられた条件のもとで、与えられた期間中、意図された機能を遂行する確率」である。ここで「与えられた条件」とは素子の位置する周囲の空間条件および素子自体に対する物理的条件である。たとえば温度湿度ガス蒸気、機械的振動衝撃、ねじれ、引張り、圧力光放射能、印加電圧電流などがあげられる。「与えられた期間中」とは当然目標として定められた時間を意味するが、消極的には部品の信頼性から定まってくる寿命時間である。時間は連続のものもあるし、断続的な場合もあり、また「与えられた条件」の項に時間的依存性を強調する語句として考える。「意図された機能」とは規格に定められた特性であるが、さらに積極的に潜在的な要求機能も含めたものでなければならない「遂行する確率」。トランジスタのような製品の重要な性格の一つは量産品であることである。これを集約してとらえてゆくためには統計的な方法を必要とし、またさらに信頼性の本質から確率的な考え方によらねば現実には適当な表現方法を見出し得ない。換言すれば得られたデータは絶えずバラツキを含んでいて、表現形式としては当該ロットの信頼性は $a\%$ の信頼限界で不良率(平均寿命……) $b\%$ であるということになる。確定値として将来を予測できないこのことに信頼性問題のむずかしさが潜んでいるといつてよいであろう。

信頼性を保障するための試験方法もまた考慮されるべき事項である。一般に試験規格と称されるものは実用回路そのものであることは少なく、ほとんどが代用特性である。信頼性試験もこの例外ではない。たとえば動作寿命試験と言ってもコレクタ損失 100 mW の定格の場合、印加電圧電流の組合せは多数あるわけであり、一つの組合せと、他の組合せとがコレクタ損失が同一であるという理由で、その動作寿命試験の結果がまったく同じであるとは、にわかに断定できない。また機械的強度は特定の振動試験衝撃試験落下試験をもって一応は保証されたと考えているが、これも特例に対しては必ずしも有効ではない。ある一定の周波数で自己共振する場合には印加 g 数がかなり低くても、機械的折損に至ることはありうる。そのほか環境条件も空間的にも時間的にも絶えず変動するほうがむしろ通例である。これらのあらゆる場合に対して備えておくことは当然不可能である。試験測定項目の終止点規格の問題もある。特定の用途によってはたとえば電流増幅率が 10% 変動しても困ることもあるが、用途によっては 30% 変動してもかまわないこともある。そこで

現実には従来の経験積重ねの上に立って、一定の規準を定めた信頼度試験条件を決めて試験を実施し合否の判定を与えてゆくことになる。したがってここで強調せねばならぬことは信頼性は使用者の要求と製品の特性との相互関係によって絶えず流動性をもった考え方で対処されねばならぬことである。

以上は主としてでき上がった完成品の立場からの表現である。信頼性を実現するためには製造工程内の水準が前提とならなければならない。まず、すでに量産過程にはいつている製品は工程内の変動を最小に押える努力が第一目標となるであろう。多量に生産されるものが絶えずバラツいた品質水準を示しては、完成品の信頼性も変動を伴って最終品質保障に当たるものは多くの労力をその看視確認のためにさかななければならない。工程変動を押えるためには、技術的側面とともに管理体制の整備が非常に重要である。同時に信頼性はある意味で際限のない向上要求を伴うものであるから、絶えず新しい技術によって品質水準を高めてゆくような検討を進め、工程内に取入れる努力を払うことを必要とする。トランジスタの場合、信頼性不良をもたらす要因は多々あるが、主要なものを列挙すると次のようになる。第一に特性の劣化品がある。コレクタ遮断電流の増大、電流増幅率の低下、破壊電圧の低下、雑音指数の増大、電力利得の低下などトランジスタ作用の一般的低下によって機器動作の障害を誘起せしめ、これらの不良となったトランジスタは多くの場合電流漏えい側路が形成され、整流逆方向特性の異常が検知される。第二に機械的ないしは機構的な技術から発生する問題がある。代表的には機械的断線があり、次に封止不良に基づくハーメティック不良がある。構造の小さいVHF, UHF用トランジスタでは機械的強度は重要事項として確認されなければならない。劣化の場合にもボンディングなど機械作業が原因となっていることがまれではない。第三に物理的金属的な現象が障害となっていることがある。たとえばアルミニウム電極に金線をボンドさせると、高温の条件下でパープルプラークと称する紫色ないしは黒色の合金層が形成され、機械的にもろくなって断線に至りやすくなる。以上述べたことに対処していくためには、まず劣化に対してはトランジスタの表面層を酸化膜の層でおおうことを中心とする表面処理の技術、ことに酸化膜と結晶との中間層を適当に制御する技術を安定に日常作業に反映させるようにしなければならない。機械的作業では内部リード線のボンディング条件は高い技術の裏付けによってはじめて最適なものが達成可能となる。ベースエミッタの電極蒸着に使用されるフォトレジスト作業にも精密な機械操作を伴う。ハーメティックシールの技術もこの例外ではなく $10^{-9}\sim 10^{-12}\text{ cc/s/atm air}$ のような低リークレート目標を達成するための封止技術は非常にデリケートである。

* 日立製作所武蔵工場

第1図 2SA 450⑩ 動作寿命における I_{CB0} ($V_{CB} = -6V$) の変動第2図 2SA 450⑩ 動作寿命における h_{FE} の変動

2. トランジスタ寿命の実情

前述のような注意を払って製作されたトランジスタを工場内では各種の寿命試験によってその寿命の妥当性を判定している。普通に行なわれている強制寿命試験は定格接合温度に放置する高温放置寿命試験、定格コレクタ損失を通电によってささえる動作寿命試験である。単に高温にするのみでなく、さらに湿度を95%程度まであげて行なう高温高湿放置寿命試験もよく行なわれている。そのほかに各種環境試験も日常業務として実施されており、そのおもなものは、定格に定められた保存最高温度と最低温度の間を往復する温度サイクル試験、75 cmの高さから木板上に自然落下させる落下試験、25 c/sで全振幅2 mmの振動を加える振動試験、500 gの衝撃力を与える衝撃試験、20,000 gの遠心加速力をささえる遠心加速試験などがある。

寿命試験を行なう場合には上述のようなストレス条件を定めるとともに、規格値をどれだけわったならば不良とするかという寿命終止点規格をはっきり定めておかねばならない。第1表は日本電信電話公社がトランジスタの認定試験に採用している故障判定基準であって、製造業者も一般にはこの程度の終止点規格を採用している。

次に動作寿命試験結果の例を示そう。第1図および第2図に示すのは2SA 450⑩についての事例である。2SA 450⑩はPNPエピ

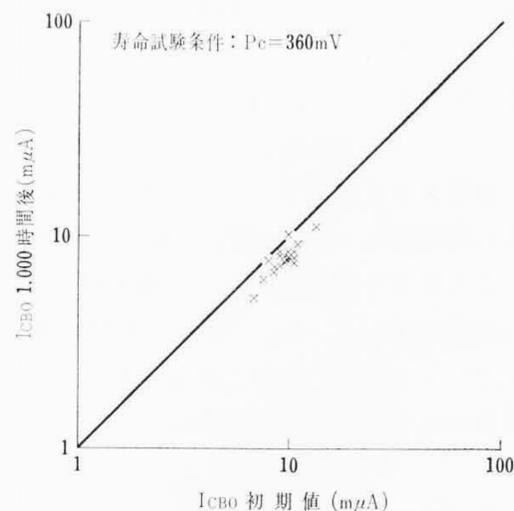
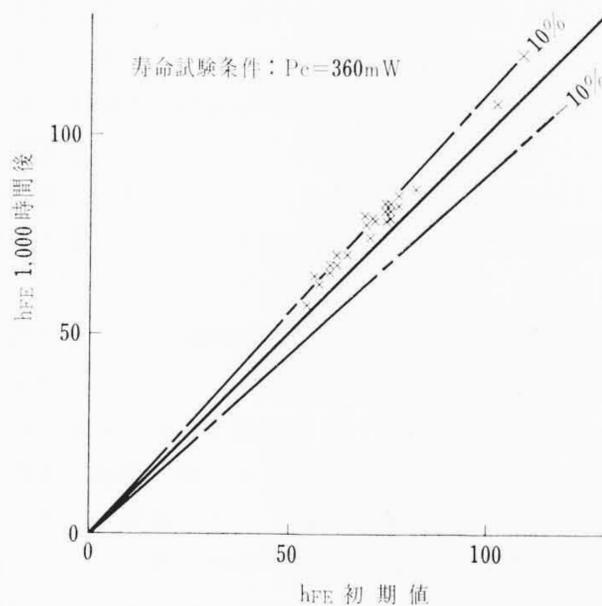
第1表 故障判定基準

項目	寿命終止点			
	絶対値		変化率 (%)	
	上限	下限	上限	下限
I_{CB0} , I_{EB0}	$U \times 2.0$		200	
h_{f0} , h_{FE}	$U \times 1.2$	$L \times 0.8$	200	50
h_{ob}	$U \times 1.2$		200	
BV_{CB} , BV_{EB} , BV_{CE}		$L \times 0.8$		
$V_{CE(SAT)}$	$U \times 1.2$			
V_{BE}	$U \times 1.2$			
NF	$U + 3 \text{ dB}$		+6 dB	

注) U : 規格最大値

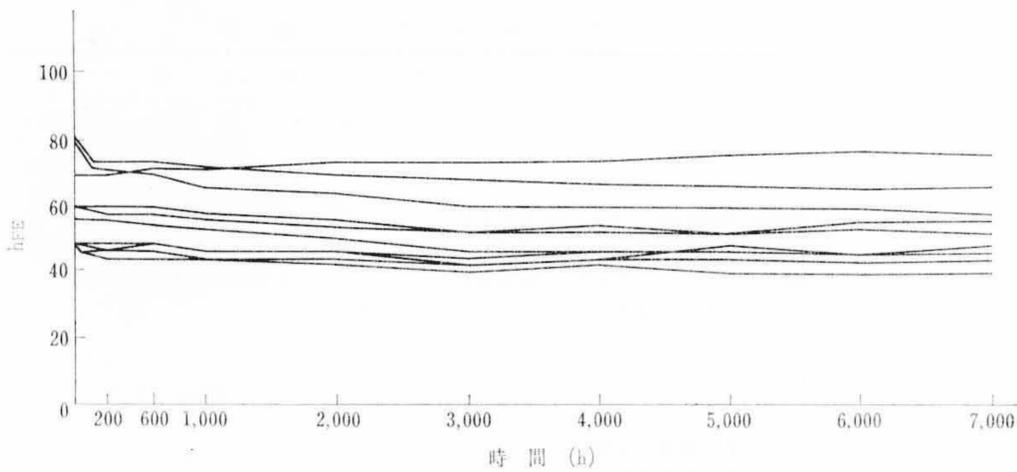
L : 規格最低値

変化率 = $\frac{t \text{ 時間後の値}}{\text{初期値}} \times 100(\%)$

第3図 2SC 321⑩ 動作寿命における I_{CB0} ($V_{CB} = 20V$) の変動第4図 2SC 321⑩ 動作寿命による h_{FE} の変動

タキシャルメサ形ゲルマニウムトランジスタで、特に高速度スイッチング用として設計されている。コレクタ損失150 mW、コレクタベース間耐圧12 V、コレクタ電流最大100 mA、遮断周波数600 Mc程度、スイッチング時間はオン時間が25 ns、オフ時間が50 ns程度の石である。計算機制御装置関係に用いられている。第1図はコレクタ遮断電流の初期値と1,000時間動作寿命試験後のその値の変化を比較対象できるようにグラフ化してある。与えたコレクタ損失は $V_c = -6V$, $I_c = 25 \text{ mA}$ の条件で150 mWである。第2図は同じく直流電流増幅率の変化の状態を示している。電流増幅率の変化率は-10%から+30%の間にほとんどはいついて、第1図コレクタ遮断電流を加えて、第1表を参照すると良好な結果を示しているとみてよいであろう。

第3図および第4図はNPNエピタキシャルプレーナ形シリコントランジスタ2SC 321⑩の例である。この石の仕様の大要はコレ



第5図 2SB 77Ⓢ高温放出寿命試験

クタ損失360 mW, コレクタベース間耐圧40V, コレクタエミッタ間(ベース開放)最大電圧15V, コレクタ電流最大約200 mA, スイッチング時間はオン時間が約20 ns, オフ時間が約25 ns程度の高速度スイッチングトランジスタである。この石は電子交換機, 計算機, 各種制御装置の論理スイッチ素子として活躍している。第3図はコレクタ遮断電流の初期値とコレクタ損失360mW動作寿命試験後の変化をみやすいようにグラフ化してある。第4図は同じく直流電流増幅率の変化の状態を示している。電流増幅率の変化率は±10%以内にはほとんどはいており, 良好な結果と称してよいであろう。コレクタ遮断電流のほうは1,000時間試験終了後に若干値が下がっている。

第5図はPNPゲルマニウムアロイ形トランジスタ2SB 77Ⓢの85°C高温放置寿命試験における直流電流増幅率の時間経過を示してある。時間は7,000時間(約290日)経ている。本試料は在来の一般用に表面処理を適用して高信頼化を採り入れた製品である。この程度の変化であるならば高信頼を要求する用途に対して十分適応してゆけることと確信する。2SB 77Ⓢの規格の大略はコレクタ損失150 mW, コレクタベース間耐圧25V, コレクタ最大電流100 mA, 遮断周波数1 Mc程度のものである。用途は搬送その他通信工業用の低周波増幅, 小パワー出力, 低速度スイッチング素子として広く使用されている。

通信工業用と称されるものの強制寿命試験における工程平均不良率は $10^{-5}/h$ から $10^{-7}/h$ 程度の実績を示している。一方実用状態におけるフィールドライフのデータを集積する努力も重ねられつつあり, これはことに計算機制御装置など大形電子機器を中心としたものである。データの信頼性も高い。その結果の示すところによると不良率は $10^{-6}/h$ から $10^{-8}/h$ が平均的指標となっている。一部には $10^{-9}/h$ オーダーの結果も得られている。強制寿命試験の結果よりは実用寿命のほうが良い結果を得ているのは, 印加されるストレスレベルが前者よりも後者のほうが低いためであって, 各種の特例はあるものの一般に第一近似としては接合温度が20°C変化すれば不良率は約1けた変化すると考えられる。これを逆にいえば高信頼用途の機器設計の場合にはできるだけ定格低減をはかった使用法が望ましいことになる。

緒言でも述べたように信頼度寿命のふるまいを記述するには統計的手法が必要である。一般に電子部品の寿命分布を表わすために採用されている確率密度関数は指数分布によることが多い。指数分布は瞬時不良発生率が時間的に一定である偶発形を前提としている。しかし多くの実例ならびに現在までの経験の示すところによると, トランジスタの不良発生パターンは偶発形であることはきわめてまれであり, 不良率漸減形をとっている。このようなパターンをよりよく近似するために基礎となる確率密度関数として, 他のもので採用せねばならず, たとえばワイブル分布, 対数正規分布などのほうが実体に適合する。ワイブル分布は広い適用範囲をもっており,

特殊な場合として指数分布も包含している。また摩耗形をも表現しうる。したがって結論として重要なことはトランジスタの場合, 初期に比較的多い不良が将来はさらに増加するという悪い予感を与えるものでなく, いわばベットインとしてのなじみ期間としての要素であり, 後々には不良が減少していつて, 残存したものはますます信頼性が増加していると考えてさしつかえないであろう。ただしたとえば海底ケーブル用途のように40年間無事故の超長寿命の問題に対してはトランジスタ誕生以来日が浅いのでまだ断定できる段階に達してはいない。

3. 部品の信頼性

トランジスタ容器すなわち部品は素子と外気を遮断保護し, 電気的に絶縁された数本のリード線を有し, またそのリード線ははんだの付きやすさが必要である。したがって容器に必要な特性は, (1)気密性, (2)導入線の機械的強度, (3)導入線と絶縁体との接着性, (4)ソルダビリティ, (5)外気に対する耐食性などがある。また素子組立中にも熱衝撃, 機械的衝撃, および薬品侵食を受けるため, 容器部品時の品質は相当高度なものとなる。容器部品を具体化するとステム, およびキャップであるが, ここで代表的なステム製作時の品質チェック・ポイントと, そのトランジスタ完成時における部品としてのチェック・ポイントを第2表(a), (b)に示す。トランジスタ完成時の部品の品位と, 部品製作時の品位とにかなりの差が現われている。これは当然のことであるが素子組立中の取扱による劣化を計算に入れたためである。

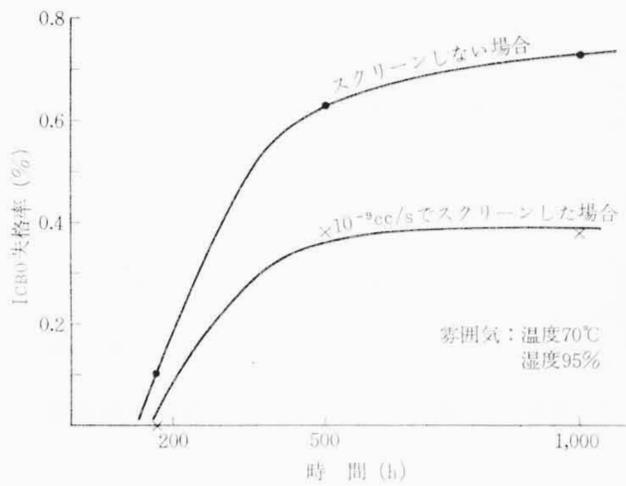
容器部品の信頼性はステム, およびキャップの素材の吟味から, その製作方法にふれなければならないが, ここで第1表(a), (b)がどのようにトランジスタ素子特性に影響し, どの程度の信頼性が保

第2表 トランジスタ容器の品質チェックポイント
(a) システム製作時の品質チェック (TO-1形)

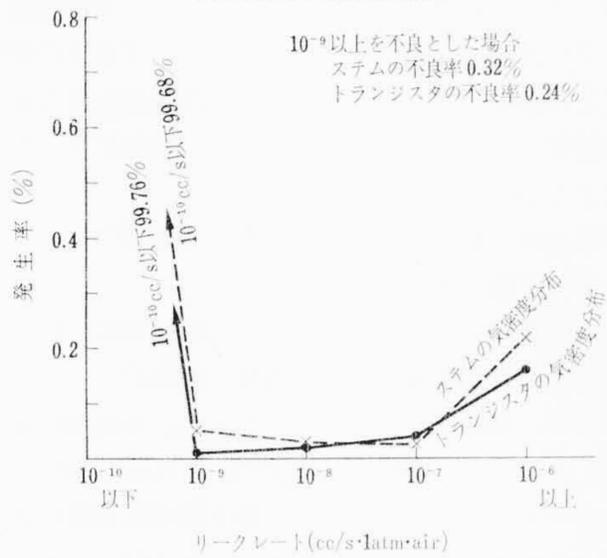
チェック項目	内容	合否水準
リークテスト	200°C保持5分の急熱急冷後の試料をリード線に450gの荷重をかけ90度arcを6回(片道1回と計る)行ない, ヘリウムリークディテクタで 10^{-9} cc/s以上のリークのないこと	AQL 0.65%
リード線折曲げテスト	リード線に450gの荷重をかけ90度折曲げを行なう。片道1回と数え折れるまで往復し, その折れ回数が6回以下のものを不良とする	AQL 2.5%
リード回しテスト	リークテスト項でリードの折れたものを不良とする	AQL 2.5%
ソルダビリティテスト	235°±5°のはんだ槽の中へ, システムのリードを5秒間浸漬し, 75%以上の一様かつ平滑なメッキができること。フラックスはロジン+イソプロピルアルコールを使用	n Ac Re 5 0 1 10 1 2
耐食テスト	JIS-Z-2371にしたがって塩水噴霧テストを行なったのち発錆なきこと	AQL 4%

(b) トランジスタ出荷時の容器に関する品質チェック (TO-1形)

チェック項目	内容	合否水準
リークテスト	ラジフロによるQCチェック, および一部全数検査も行なう。基準は 10^{-9} cc/sである	—
リード線折曲げテスト	リード線に450gの荷重をかけ90度折曲げを行なう。片道1回と数え折れるまで往復し, その回数が3回以下のものを不良とする	AQL 2.5%
リード回しテスト	リード線に450gの荷重をかけ90度arcを行なう。片道1回と数え往復しその回数が3回以下で折れたもの, あるいはルーズしたものを不良とする	AQL 2.5%
ソルダビリティテスト	235°±5°のはんだ槽の中へ, システムのリードを5秒間浸漬し, 75%以上の一様かつ平滑なメッキができること。フラックスはロジン+イソプロピルアルコールを使用	n Ac Re 5 0 1 10 1 2
耐食テスト	MIL-STD-750にしたがってテストし, トランジスタ特性に有害な発錆なきこと	QCチェック



(a) 高温高湿寿命試験における I_{CBO} 失格率と気密度の関係



(b) (a) のトランジスタおよびシステムの気密度分布 (ラジフロリークディテクトによる)

第 6 図 2SA 41 ⑩ の容器気密度と I_{CBO} との関係

証されるかを述べるのも意味あると思われる。

3.1 ステムの気密性とトランジスタ素子特性の関係

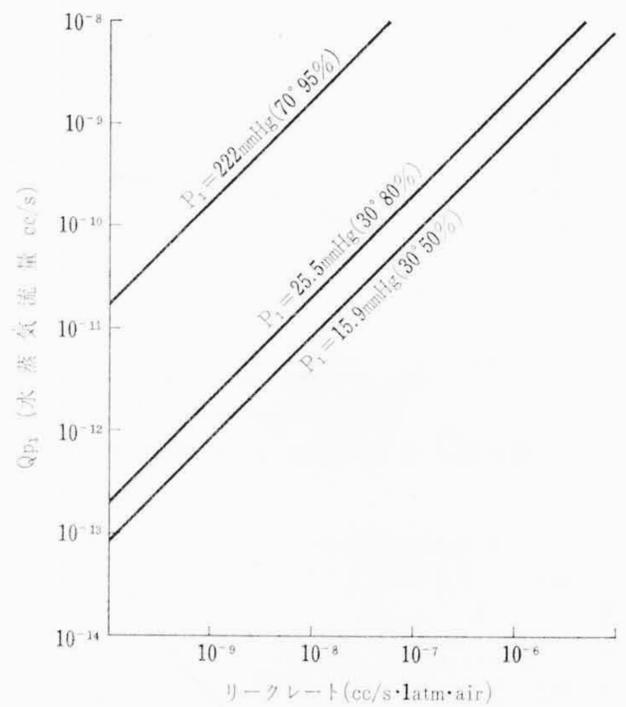
既述のようにトランジスタの加速寿命試験に 1,000 時間動作試験, 1,000 時間高温放置試験, および 1,000 時間高温高湿試験などがある。この中で高温高湿試験はおもに容器の信頼性につながるものである。ただ供試サンプルは初期特性のみのスクリーンであるため, 試験の失格品は素子欠陥によるものも含まれるが, 失格品を調査することにより容器に関するもののみ抽出は可能である。

容器の気密度が悪くリークのあるトランジスタは高温高湿ふん囲気により, 水蒸気が容器内に侵入し, その素子は表面リーク電流が流れることになる。その結果特性の顕著な変化はコレクタ遮断電流 I_{CBO} の増加となって現われる。ここで第 6 図 (a) は PNP ゲルマニウムドットメサ形トランジスタ 2SA 12 ⑩ を 10⁻⁹ cc/s/atm air の気密度基準でスクリーンした場合と, しない場合の高温高湿寿命試験の I_{CBO} 失格品の率を示す。2SA 452 ⑩ は高速度スイッチング用途に使用されコレクタ損失 150 mW コレクタベース耐圧 13V コレクタ最大電流 100 mA スwitching 時間 0.1 μs 程度の石である。この場合スクリーンしたものは I_{CBO} 失格率は半減していて, 容器の気密性が重なる原因であることは明らかであろう。またスクリーンした場合の失格率は素子欠陥によるものと推定できるため, 容器気密度不良による失格率はその差 (1,000 時間の場合 0.35%) となる。なお第 6 図 (b) は 10⁻⁹ cc/s/atm air でスクリーンした時の気密度分布を示す。

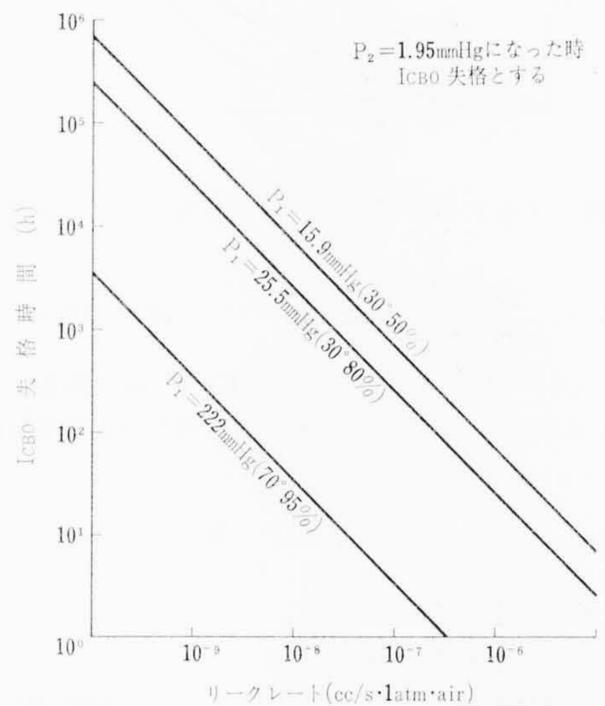
3.2 高温高湿試験の加速性

高温高湿試験で容器の気密性が大きいに関係することがわかったが, トランジスタ装置一般の使用ふん囲気に比べどの程度の加速性があるか, その目安を検討しよう。

計算を簡単にするためリーク (気密度) の状態を次のように仮定する。ステムのリーク穴を流路と考え,



(a) P₁ をパラメータとした気密度と水蒸気流量の関係



(b) P₁ をパラメータとした気密度と I_{CBO} 失格時間の関係

第 7 図 気密度と高温高湿寿命試験の加速性

- (1) 流路は有効半径 a cm, 長さ l cm の円筒状とする。
- (2) 流路を流れる気体は Poiseuille 流であって活流ではないとする。
- (3) 気体の流れは定状的であるとする。すなわち流路の両端における圧力変動は気体の流れを変動させるほど大きくはない。
- (4) 温度は常に同じに保たれているとする。

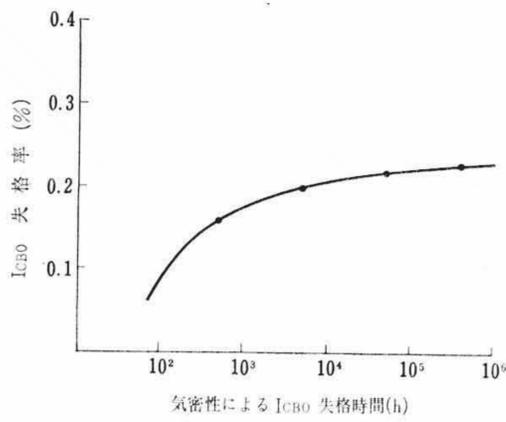
標準条件下で上の仮定のような流路を流れる気体の量は Poiseuille の式に従い, 単位時間当たり

$$Q = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{a^4}{\eta l} \bar{p} (p_1 - p_2) \dots\dots\dots (1)$$

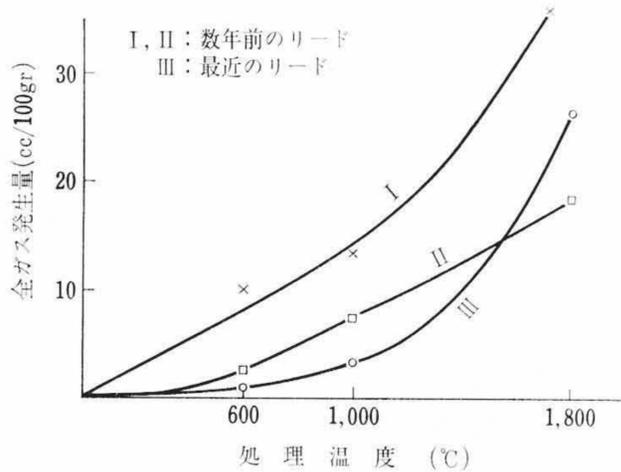
となる。

- ここで, p_1 : 外気の圧力
 p_2 : 内部の圧力
 \bar{p} : $p_1 + p_2$
 η : 気体の粘度 である。

ヘリウムリークディテクタ (質量分析計), あるいはラジフロ (放射性同位元素分析計) の検出単位は 1 気圧の気圧差のときの空気のリーク量すなわち, 10⁻⁸ cc/s/atm air と表現されているため, その単位を利用すると $\frac{\pi}{8} \cdot \frac{a^4}{l} = C$ は



第8図 気密度による信頼性



第10図 リード (Fe-Ni 合金) 線の温度によるガス発生量

$$C = \frac{Q\eta_A}{\bar{p}(p_1 - p_2)} = 3.62 \times 10^{-(x+4)} \quad (\text{CGS 単位})$$

ここで、 $\eta_A = 181 \times 10^6 \text{ g/cm/s}$ (15°Cの空気の粘度) となる。 C が判明したため、 p_1, p_2 を容器外内の水蒸気分圧とおきかえると、(1)式は次のようになる。

$$Q_V = (3.62 \times 10^{-(x+4)}) \cdot \frac{\bar{p}(p_1 - p_2)}{\eta_V} \dots\dots\dots (2)$$

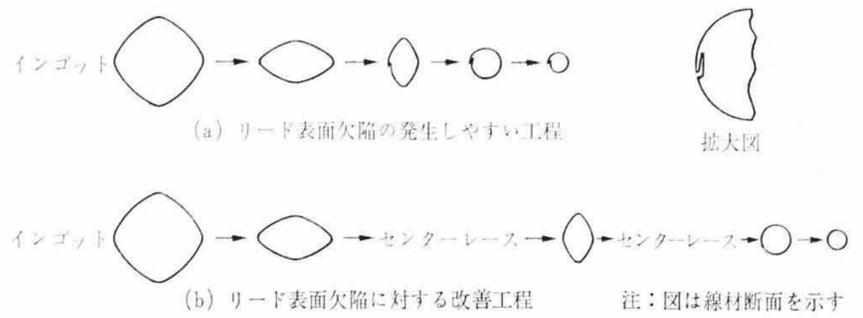
ここで、 Q_V : 水蒸気の流量
 η_V : 水蒸気の粘度

この場合高温高湿寿命試験の条件は温度70°C、湿度95%であり、封止時は通常-40°Cの露点の乾燥空気中で行なわれるため、 p_2 の最初の水蒸気分圧は0.1 mmHg=0.133 dyne/cm²となる。(2)式を使って p_1 および温度をパラメータとした Q_V と測定リークレートとの関係を示すと第7図(a)のようになる。したがってトランジスタの動作ふん囲気を温度30°C、湿度50%とした場合、寿命試験の加速性は約2けた時間早いことになる。すなわち気密性による I_{CBO} 失格時間が寿命試験1,000時間の場合は10万時間の動作を保証したことになる。

第7図(b)は仮定を進め気密性による I_{CBO} 失格時間を推定したものである。トランジスタは通常露点-40°Cの乾燥空気中で封止保護されるが、容器にリークのあるものは第7図(a)の Q_V の割合で水蒸気が侵入し、やがて I_{CBO} 大の失格品となる。また一般にトランジスタの動作限界ふん囲気は露点が-10°Cといわれているが、このときの水蒸気分圧1.95 mmHg= $2.6 \times 10^3 \text{ dyne/cm}^2$ で I_{CBO} 失格になると仮定すると、 10^{-9} のリークレートで、30°C 50%のふん囲気で動作をした場合 1.76×10^5 時間で失格する。この仮定では失格となる時間が短い、実際は素子に素面安定化のレジンを塗布され、さらには吸湿剤、シリコングリースなどがキャップに充てんされているため補正が必要である。第6図を参考にしても、 I_{CBO} 失格となる時間の5倍程度の補正が必要であろう。

3.3 ステムの気密性の信頼度向上

ステム製作時の気密度分布第6図(b)と第7図(b)より、ステムの気密性を I_{CBO} 時間的失格率に現わすと第8図のようになる。この



第9図 線引工程における欠陥とその改善

図でもわかるとおり 10^3 時間までに急激な発生があり、これは 10^{-6} 以上のリークに対応する。したがってステムの信頼性向上のためには大リークに注目しなければならない。一方不良率の非常に小さい要因をさらに改善するには、材料、および製造条件の安定化と規格に対し余裕度をもった品質にする二つの方法があり、どちらもおろそかにできない。

ここで最近の信頼性に関する改善点を二、三あげる。

(1) リード線の欠陥

すでにトランジスタが作られてから相当期間を経ているため、その成分、熱膨張係数、機械的強度、結晶粒などは十分吟味がされているが、表面状態(きず、クラック、不純物付着)や吸蔵ガスについてはおろそかにされやすい。これらは $10^{-6} \text{ cc/s/atm air}$ 以上のリークの最大要因であり、第9図の拡大図のような欠陥があれば、そのステムは大リークすることは明らかで、またその事実も認められている。したがって信頼度向上に対して現在(b)の工程を実施中で、これらのリード線の欠陥は皆無に近いものが得られている。また吸蔵ガスについても第10図のように数年前に比べ格段の相違が見られる。

(2) 材料の前処理

ガラス-金属の溶着は金属材料の予備酸化が最も重要な要素で、またバラツキの多い要素でもある。したがってその管理項目は十分配慮がなされねばならない。その実施項目は表面の色合と酸化重量増加の測定であり、特に重量は 10^{-2} mg の管理を行なっている。

(3) ガラスの溶着条件の管理

ガラスを溶解し金属面に溶着することは簡単なようであるが、最適溶着条件は金属材料の活性度、予備酸化処理条件、ガラスの粘性、およびガラスの酸化物溶解速度の関係があり、非常にせまい範囲でしかない。特に溶着温度、時間、およびふん囲気の管理が重要で、その電気炉はPID温度制御装置で $1,000 \pm 3^\circ\text{C}$ の温度管理とスケジュール管理を行なっていて、ふん囲気は酸素分析計により連続的に $\text{O}_2 \text{ volume } 0.2\%$ 濃度に管理している。

(4) 新しい溶着方法のステム

品質に余裕度のあるステムを作るため、銀のガラス中へのコロイド分散で溶着強度を得るステムが完成し、600°Cの空気中の熱衝撃に十分耐えるものができている。

4. 結 言

トランジスタは工業生産にはいつてからいまだ10年に満たない新しい素子である。信頼性は長い歴史経験の積重ねの上に立って真に確信のあるものとなるのであってそれには年月が不足している。ことに超長寿命あるいは $10^{-9}/\text{h}$ 以下の不良率要求に対しては今後の研究に待つところが大きい。その意味でわれわれ生産者もますます努力せねばならぬわけであるが、本論では現在つかんでいる範囲での信頼性の実情を紹介したものである。使用者の参考の一助となって、電子機器高信頼化に役だつならば幸いである。