

レジンモールド Si トランジスタ

Resin Molded Si Transistors

庄司 仙治*
Senji Shōji長島 直之*
Naoyuki Nagashima佐藤 允也*
Mitsuya Satō吉村 春目*
Kenji Yoshimura渡辺 寛**
Hiroshi Watanabe

内 容 梗 概

シリコンプレーナトランジスタの原価低減のために、レジンモールド方式の研究を行なった結果、従来の金属封止トランジスタとまったく同じ電気的特性および信頼度をもつトランジスタの開発に成功した。実験の結果、アミン硬化エポキシレジンが動作中特性が劣化しやすく、無水酸硬化エポキシレジンが安定であることがわかった。特に、耐湿性には十分な検討を加え、吸湿率の低いレジンを開発し、表面安定性のすぐれた素子を組み立て、金属封止トランジスタと同等の性能をもたせることができた。また、組立にステムを使用しない量産的な連続方式を開発した。

完成されたレジンモールドトランジスタ 2 SC 454 系, 2 SC 530 系, 2 SC 455 系および 2 SC 531 系は, BC バンドから FM バンドの高周波増幅, 周波数変換, 中間周波増幅および音声増幅プリアンプなどの回路に設計されたものである。

1. 緒 言

トランジスタをレジンをモールドしようという試みは、すでにトランジスタが発明された当時検討された⁽¹⁾。これは、トランジスタの封止は真空管と異なって真空を必要としないので、単に機械的強度と商品的価値があればよいという考え方であった。しかし、実際にレジンをモールドしたトランジスタは、使用中に特性が劣化することがわかった。よく知られているように、トランジスタの電気的特性は、水分に対し本質的に敏感である。したがって、レジンをモールドしたトランジスタは、わずかの水分がレジン表面から、あるいはレジンとリード線とのすき間から浸透し、素子表面に達すると特性劣化を引き起こすのである。

このような理由から、レジンをモールドした半導体装置は実用化されず、金属ケースを用いた気密封止方法が開発され、今日まで、長期にわたって安定した動作特性を維持するためには金属ケースによる気密封止方法が絶対に必要であると考えられてきた。

しかるに最近シリコンプレーナトランジスタ⁽²⁾が開発され、工業用のみならず一般の民需用機器にも使用されるようになった。シリコンプレーナトランジスタの素子の表面が、物理化学的に安定な二酸化ケイ素被膜によっておおわれており、その電気的な特性も、空中の水分に対して非常に安定である。このことは、レジンモールド方式が、通常の金属封止に置き換え得る可能性を暗示しているのである。

われわれは、このような見地から、シリコンプレーナトランジスタで、より安定な動作特性を有する素子の開発と、それに適したレジンの開発に力を注いだ。特に耐湿性についてはいろいろの角度から検討し、従来の使用条件に対して十分な信頼度を持つレジンモールドトランジスタの開発に成功した。

本稿では、シリコンプレーナトランジスタのレジンモールド方法の技術的な問題点を中心として、開発されたトランジスタの電気的な特性、信頼度および二、三の応用例について述べる。

2. エポキシ樹脂⁽³⁾の性質

エポキシ樹脂は戦後日本に紹介された比較的新しい合成樹脂であ

* 日立製作所武蔵工場

** 日立製作所日立研究所

る。構造的には、1分子中に、エポキシ基 $\left[\begin{array}{c} \text{—OH—CH}_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \end{array} \right]$ を少なくとも2個以上持つ化合物を初期縮合物とする合成樹脂で、硬化剤の添加により、不融、不溶の物質に変わる。エポキシ樹脂は熱硬化性樹脂に属するもので種々の硬化剤、充てん剤、稀釈剤の添加、組合せにより各種用途に適した製品をつくることができ、そのおもな特性は次のとおりである。

- (1) 硬化時の収縮率が他の樹脂よりきわめて小さい。
- (2) 金属、ガラス、木などへの接着性がすぐれている。
- (3) 耐水性、耐薬品性がすぐれている。
- (4) 絶縁抵抗、耐電圧などの電気的性質がすぐれている。
- (5) 機械的強度、強じん性ならびに耐摩耗性が大きく、また、加工性がよい。
- (6) 耐熱性がよい。
- (7) 長期間の貯蔵が可能（硬化剤添加前）。

このようにすぐれた諸性質を所有しているため、電子部品ほか、各種製品への応用が盛んである。

3. トランジスタの各種モールド方法⁽⁵⁾⁽⁶⁾

モールド法としては、従来から使われているいくつかの方法が考えられるが、それぞれ一長一短があって素子の構造、組立方法に応じて、いずれにするか決められている。そのおもなものは次のとおりである。

3.1 キャスト成形法

液状レジンに硬化剤を混合し、型に流して硬化させる方法である。この方法は簡単な設備で比較的容易に実施できる。これに使用するレジンには、種類も多く、粘度、可使時間（粘度が増大し作業できなくなるまでの時間）、硬化時間など、要求特性にあったものを適当に選ぶことができる。外形は型の構造により自由にできるが、硬化後の離型が問題となる場合がある。このため型のかわりにケース（金属またはレジン）を用いることもある。作業上は微量のレジンで定量高速で注入することが困難であること、注入中にレジン粘度が変化することなどの問題があるが、今日ある程度解決されて一般に広く用いられている。

3.2 圧縮成形法およびトランスファーモールド法

圧縮成形法は、硬化剤をすでに混合した粉末レジンに温度、圧力を加えてとかし、型に流しこむ方法である。

一度に、数十～数百の素子を3分以下の短時間でモールドでき、外観もきわめて美しくできる。

トランスファーモールド法のように、作業を連続的に行なう量産的な方法もとれるが、高度の技術と、高価な設備が必要である。

トランジスタ素子では断線の心配もあるが、治具の構造、レジンの選定、モールド条件を適正に選ぶことにより解決できる。レジンはキャスト法に比べ多少割高になるが大量生産方式に適していると考えられる。

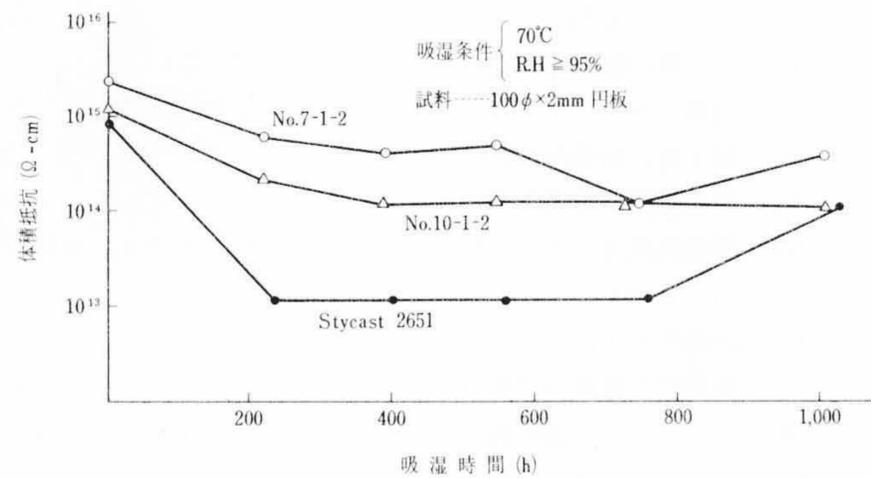
3.3 エポキシペレット法

この方法は、半硬化状態にした粉末レジンを圧縮成形して必要寸法、重量のペレットとし、温度をあげると流動し、まもなく完全硬化する性質を利用して成形する方法で1957年、アメリカ Epoxy Product 社⁽⁷⁾で開発された方式である。

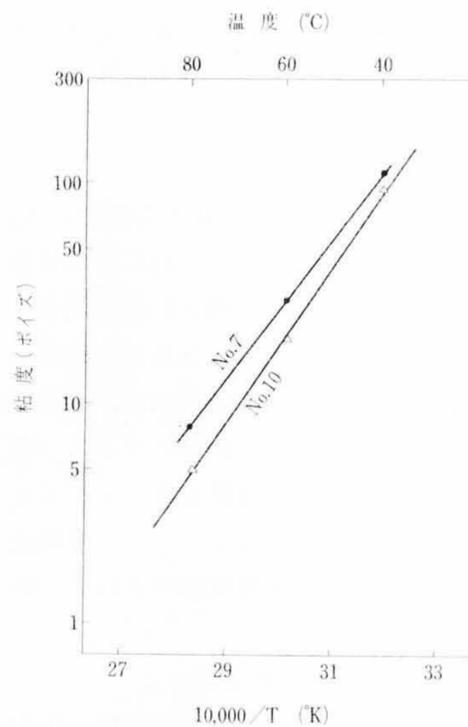
これはレジンの計量が正確にでき、簡単な設備ですむ利点があるが、レジンの貯蔵期間が短く、貯蔵方法にも低温(5℃以下)が必要であり、使用に際し硬化レジン中に気ほうが残る場合があるなど問題点も多いようである。

3.4 ディップ法

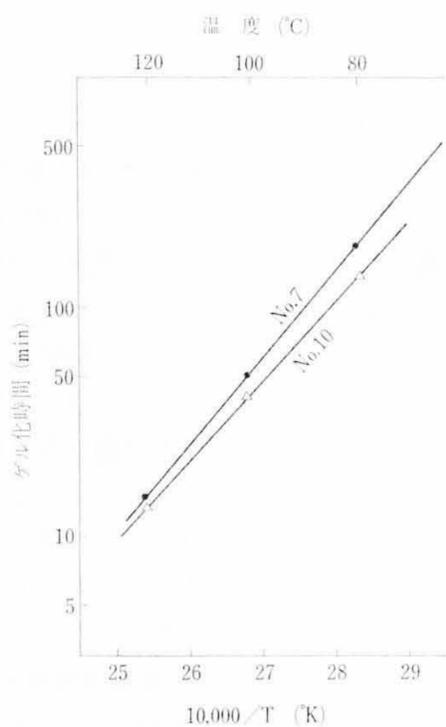
液状レジンの表面張力を利用して、素子をレジン中にディップし Free Surface の状態で硬化させるもので、キャスト成形法と比べ、設備、治具が非常に簡単なものですむ。



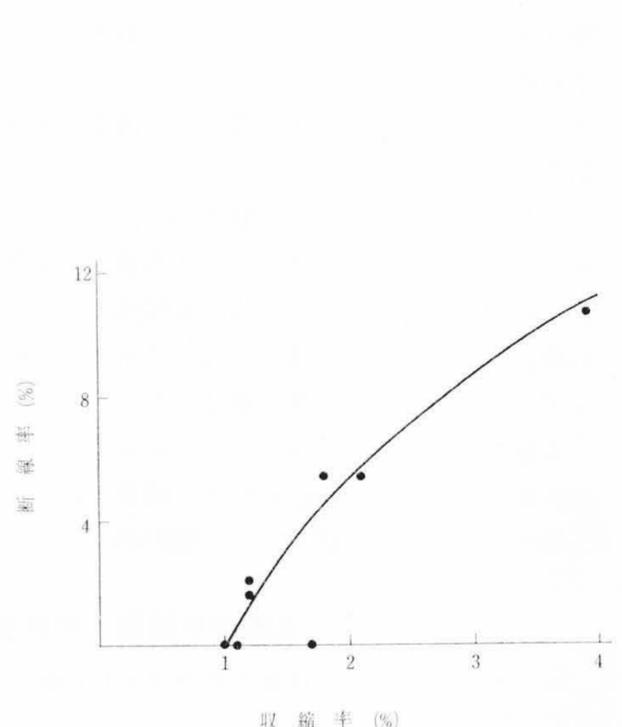
第1図 レジンの吸湿体積抵抗変化



第2図 レジン粘度と温度の関係



第3図 温度とゲル化時間の関係



第4図 収縮率と断線率の関係

4. トランジスタモールド用レジんに要求される特性

レジンモールドトランジスタでは、レジンが直接または間接に、トランジスタの表面を被覆することになるので、レジンが具備すべき諸特性やそれらの基準をきめることは完成素子の信頼性、量産性を決定するうえで非常に重要なことである。

特に、重要とおもわれる特性について次に述べる。

4.1 体積抵抗…… ρ (Ω -cm)

Si プレーナトランジスタでは、逆方向飽和電流が 10^{-9} A ないし、それ以下のものが多く、レジンで被覆した場合にバルクのリーク電流が無視できる値となるためには、 $\rho \geq 10^{12}$ (Ω -cm)が必要である。しかし、実際は高湿中に放置した場合、第1図に示すように、 ρ は1~2けた低下するおそれがあり、これをあらかじめ考慮に入れると $\rho \geq 10^{14}$ (Ω -cm)が要求される。

4.2 粘度

粘度は作業性の良否、断線の有無を決定するうえで重要である。一般にコネクタリード線として $25 \mu\phi$ 程度の金線では、100~200ポイズ程度の粘度には十分耐える強度をもち、むしろ断線は金線と電極との接着部での強度が弱い場合に生じている。

作業性は粘度が低いほどすぐれてくるが、逆に低すぎた場合レジン中の充てん剤の沈殿とか、注型治具の合せ目でレジン漏れの問題などを生ずる。このため、実際は約1~50ポイズの間で、レジン注入温度を選ぶ必要がある。

第2図は使用したレジンの粘度と温度の関係を示したものである。

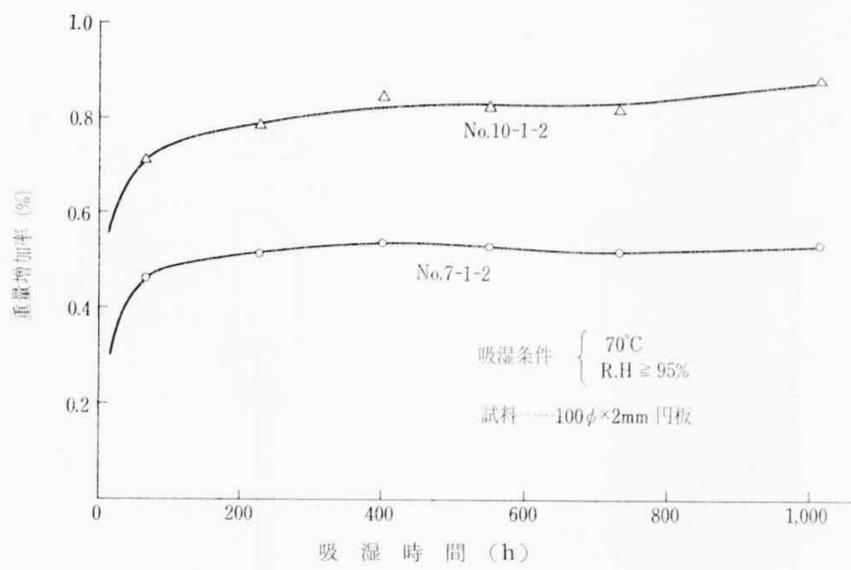
4.3 硬化条件

硬化時間は短いほうが生産性は高いが、可使時間がそれだけ短くなり、かえって使いにくい場合もある。

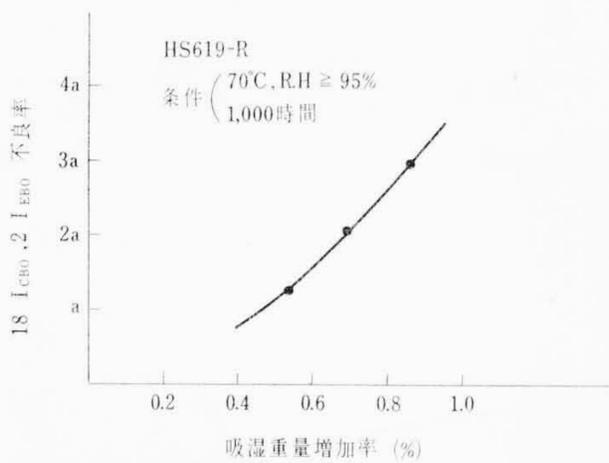
アミン硬化樹脂は、一般に可使時間が短い、無水酸硬化樹脂はながく、第3図に示すように、使用した無水酸硬化レジンは低温では十分な可使時間をもち、100℃以上の温度では60分以内でゲル化する。

4.4 硬化前後の収縮率

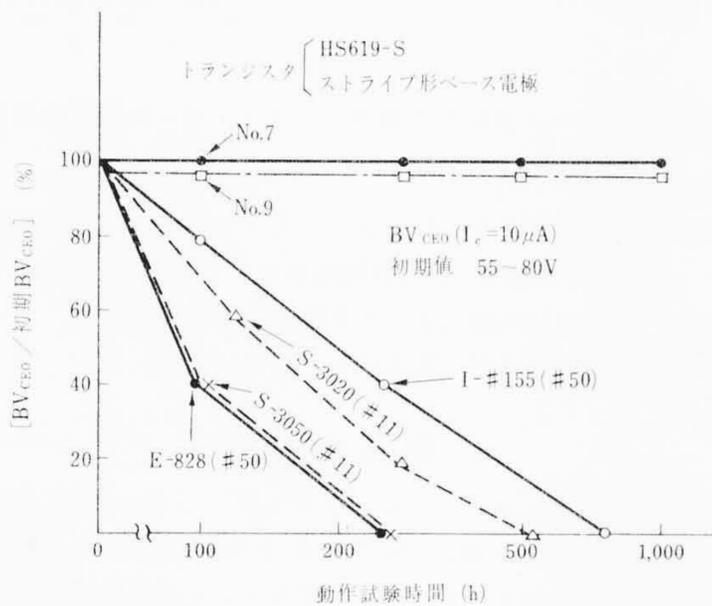
収縮率の大きいレジンは硬化後、素子に与えるストレスが大きく、また、断線率も高くなることが予想される。第4図は同一組立方法を行なった素子をモールドした場合の収縮率と断線率との関係を示したもので、収縮率が大きくなると同時に断線率も高くなる傾向が



第5図 レジソの吸湿重量増加率



第6図 吸湿重量増加率と不良率の関係



第7図 動作寿命試験 (10V, 20mA) における BV_{CEO} の変化

認められる。

4.5 吸湿重量増加率, 透湿率*

表面の影響を受けやすい半導体素子に対しては水分に関する事項には最も意を払わねばならない。

第5図は、レジソの吸湿時間と重量増加率との関係を示したものであるが70°Cの場合、百数十時間でほぼ飽和値になり、その後は1,000時間経ても大きな増加はない。

いま、吸湿重量増加率と高温高湿試験 [70°C, 相対湿度 (RH) ≥ 95%] 1,000 時間での耐圧不良発生率との関係を試作品 HS619 についてとると、第6図に示すとおりで、明らかに吸湿率の高いものは

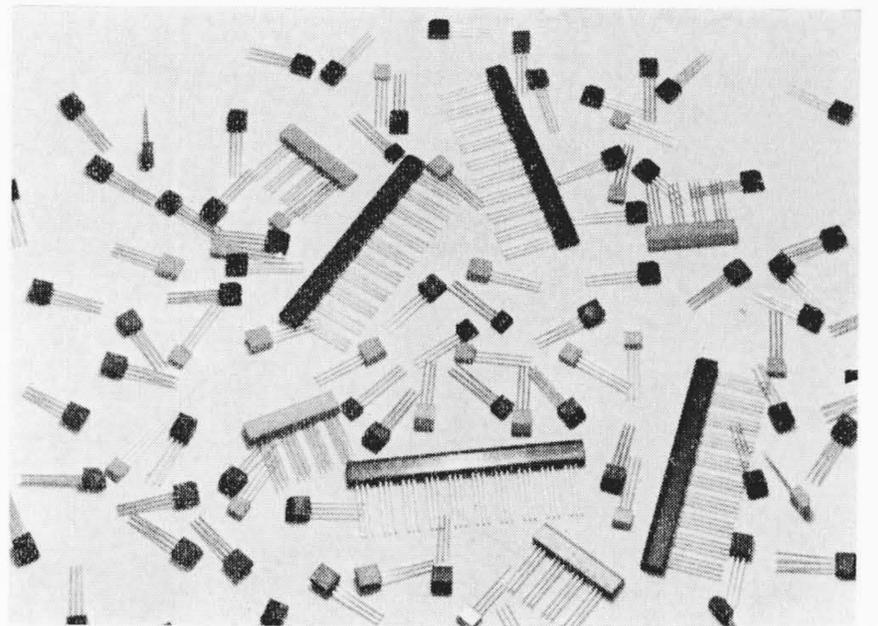
* 透湿率 (測定法 JIS-Z-0209) は下式であらわされる。

$$\text{透湿率} = \frac{m \cdot t}{O \cdot A} \text{ (g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{h)}^{-1}$$

ただし、 t : 試料厚さ (cm) O : 時間 (h)
 m : 水の透過量 (g) A : 有効面積 (cm²)

第1表 レジソ No.7 特性一覧表

No.	項目	試験条件	値	単位
1	比誘電率 (ϵ)	30°C, 1 Mc/s	3.3~3.9	
2	誘電体損失 ($\tan \delta$)	30°C, 1 Mc/s	2.0×10^{-2}	
3	体積抵抗 (ρ)	D.C 100V	3×10^{15}	$\Omega \cdot \text{cm}$
4	吸湿率	40°C, 95% RH 500時間	0.52	%
5	透湿率	JIS-Z-0208 40°C	6.3×10^{-7}	$\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$
6	引張り強さ	30°C	650	$\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$
7	伸び		2.0	%
8	曲げ強さ	30°C	990	$\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$
9	比重 (d_4^{25})	25°C	1,653	
10	収縮率	25°C	0.72	%
11	体積膨張係数		9.6×10^{-5}	$1/^\circ\text{C}$
12	熱変形温度	ASTM D684(a)	137	$^\circ\text{C}$



第8図 レジソモールドトランジスタ

不良率も高くなる。不良率はトランジスタの接合面積、試験条件により大きく変化するのでこれを相対値で示した。また、吸湿重量増加率が低くともシリコンレジソのように、透湿率の大きいものでは(たとえば、シリコンレジソ, DC 305は吸湿増加率はNo.7レジソより小さいが、透湿率は大きい。)不良の発生が早められる点、注意を要する。

4.6 腐食性

製造中および動作中環境条件のいかんを問わずトランジスタを構成する部品 (特にペレット近辺……Al電極, 絶縁皮膜など) を腐食することがあってはならない。特に注意を要するのは吸湿した場合で、レジソと水分との化学的作用で、腐食が促進されてはならない。

4.7 分極性

各種のレジソについて動作特性を検討してゆくうち、ある種のレジソでは著しく特性を劣化させるものがあることを見出した。

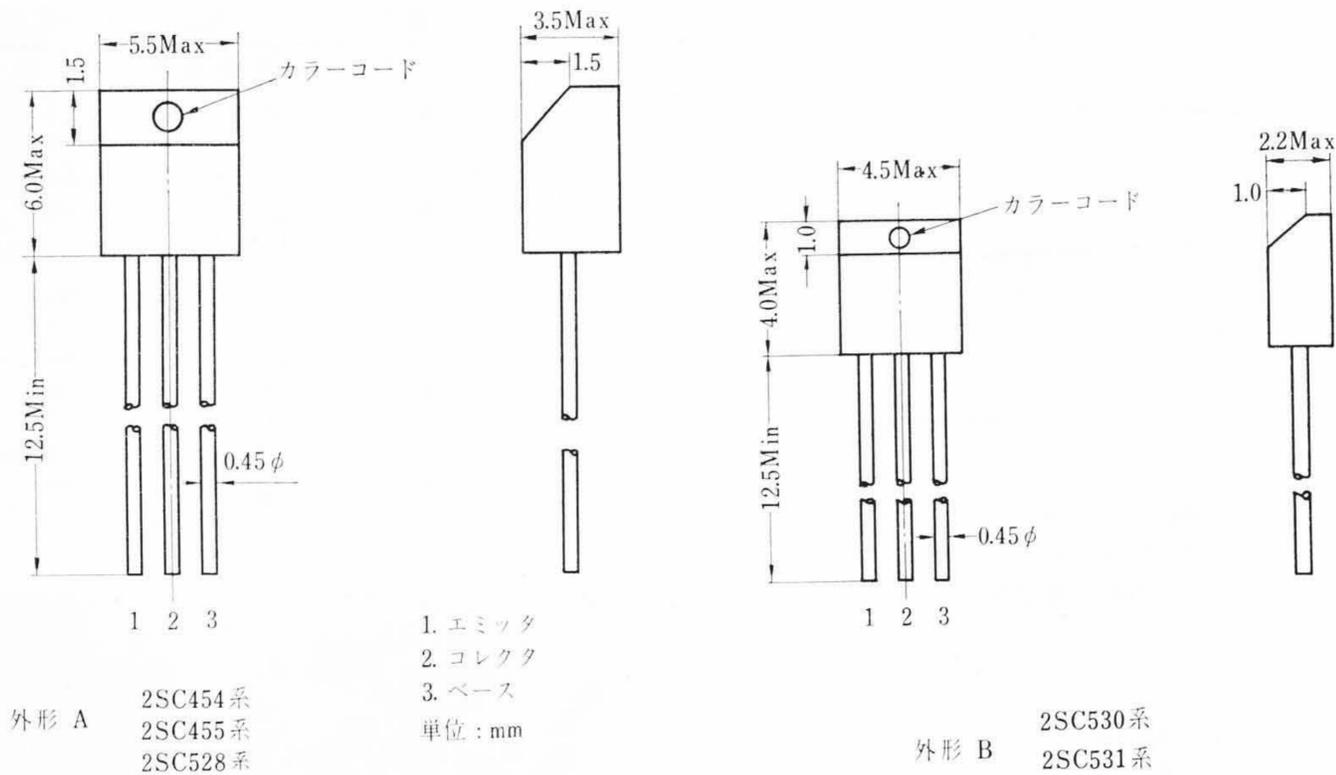
一例として第7図は、動作試験 (200 mW) におけるエミッターコレクタ間電圧 BV_{CEO} の変化であるが、レジソ S-3020, S-3050, I-155, E-828 (いずれもアミン硬化) では BV_{CEO} が経時劣化を生ずる。しかし No.7, No.9 (いずれも無水酸硬化) のレジソでは、ほとんど劣化はみられない。

この現象は、NPN Si プレーナ形トランジスタにみられるチャンネル現象⁸⁾と同一で、ベース層 (P形) と酸化膜との境界面が動作中になんらかの原因で、N形に反転するものと考えられる。

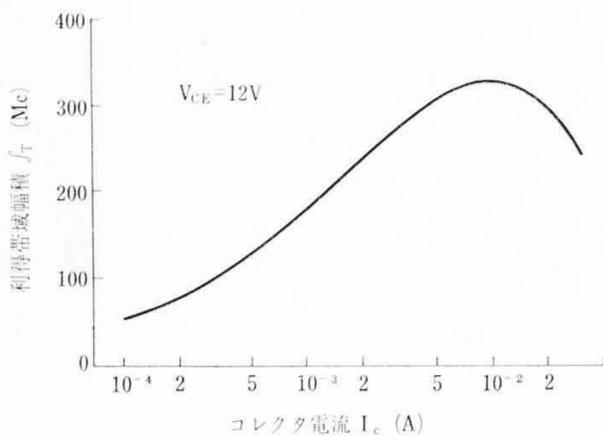
たとえば酸化膜の表面に⊕の分極を生ずるようなレジソでは、これが促進されやすい。

4.8 その他

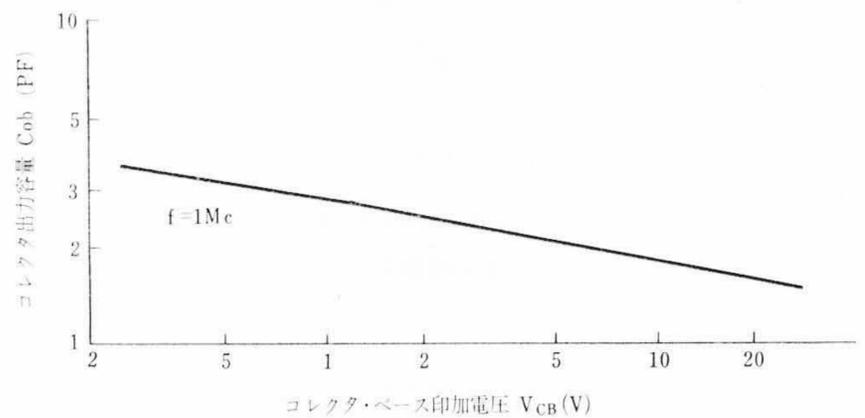
以上のほか、誘電体損失, 誘電率, 膨張係数, 耐熱性, 接着力などの条件もあるが、これらはおのおのトランジスタの用途に応じて



第9図 レジンモールドトランジスタ外形図



第10図 利得帯域幅積対コレクタ電流特性



第11図 コレクタ出力容量のコレクタ・ベース電圧依存性

適したものを選定するとよい。第1表は現在使用しているレジンの各種特性を示したものである。

5. レジンモールドトランジスタの製造方法

レジンモールドトランジスタは、Si プレーナトランジスタを汎用化しようという目的をもつため、部品材料、組立方式などにはあらゆる点から量産的考慮が払われねばならない。このため、システムを使用する考え方をやめ、部品としてはリード線のみとしこれにペレットを組み立て、レジンでかためて完成する簡略な方式をとった。

第8図はこの完成品で、次に主要製造方法を述べる。

5.1 プレーナ構造ペレット

ペレットの製作方法は、すべてプレーナトランジスタの製法と同じであるので省略する。

5.2 組立方法

治具の片側にきめられた間隔でリード線を多数配置しておきそこにトランジスタを組み立てる。

作業は数十個のトランジスタをもつ治具を単位として運ばれるため、きわめて量産的である。

5.3 キャスト方法

棒状のみぞを有する治具に、注入装置からレジンを通し、この中に組み立てたトランジスタをさしこみ、所定温度でいったん固化する。ついで治具からはずし、さらに高温で長時間アフターキュアを行なう。

5.4 測定、切断

こうしてでき上がったものは、第8図にみられるように、くし状

に数個ないし数十個連なったトランジスタであるが、この状態ではんだメッキ、マーク作業、静特性の検査などすべて自動的に行なう。こうして、最後に切断機によって多数同時に切断される。

第9図は完成品の外形寸法を示したものである。

6. 電気的特性

開発されたシリコンレジンモールドトランジスタ 2SC454系、2SC530系、2SC455系、2SC531系は BC Band から FM Band までの高性能自動車ラジオ、ポータブルラジオの高周波増幅、周波数変換、中間周波増幅、音声増幅プリアンプなどの回路に適するよう設計された。

両者とも利得帯域幅積 f_T は 230 Mc (第10図)、コレクタ出力容量 C_{ob} は 1.8 pF (第11図) であるが、特に後者の 2SC455系、2SC531系はベース抵抗 $r_{bb'}$ を低くしてあるため Figure of Merit が大で 2SC454系、2SC530系に比べ高周波で 3 dB 以上利得が高い。両系列の各品種の用途、主要規格および従来のゲルマニウム相当品種での対応を第2、3表に示した。なおこのほか次の品種を製品化している。

2SC534 (外形 B).....FM IF 用

2SC535 (外形 B).....FM RF, Mixer, Osc. 用

HS643 (外形 B).....高速スイッチング用

AM 自動車ラジオのように混変調特性を良くするために高周波増幅用トランジスタからアンテナをみた信号源インピーダンスを低く取る必要がある場合には、50Ω 程度の低インピーダンス R_g での雑音指数 NF が低い必要がある。 $r_{bb'}$ の低い 2SC455、2SC531 は

第2表 主要電気特性表

最大定格 (周囲温度 $T_a=2.5^\circ\text{C}$)			
項目	記号	値	単位
コレクタ・ベース電圧	V_{CBO}	30	V
コレクタ・エミッタ電圧	V_{CEO}	30	V
エミッタ・ベース電圧	V_{EBO}	5	V
コレクタ電流	I_C	100	mA
許容コレクタ損失	外形A	P_C	200 mW
	外形B	P_C	100 mW
接合部温度	T_j	125	$^\circ\text{C}$

項目	記号	測定条件	2SC454系			2SC455系			単位							
			最小	標準	最大	最小	標準	最大								
コレクタ遮断電流	I_{CBO}	$V_{CB}=18\text{V}, I_E=0$	1	1	1	1	1	1	μA							
エミッタ遮断電流	I_{EBO}	$V_{EB}=2\text{V}, I_C=0$	1	1	1	1	1	1	μA							
コレクタ出力容量	C_{ob}	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{Mc}$	1.8	3.5	1.8	3.5	1.8	3.5	1.8	3.5	pF					
直流電流増幅率	h_{FE}	$V_{CE}=12\text{V}, I_C=2\text{mA}$	グレードA	60	120	60	120	60	120	22	45	35	70	35	70	
			グレードB	100	200	100	200	100	200	35	70	60	120	60	120	
			グレードC	160	320	160	320	—	—	—	—	100	200	100	200	
ベース・エミッタ間電圧	V_{BE}	$V_{CE}=12\text{V}, I_C=2\text{mA}$	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	V		
雑音指数	NF	$V_{CE}=6\text{V}, I_C=0.1\text{mA}, f=1\text{kc}, R_g=500\Omega$	8	15											dB	
									4	5.5	5	6.5			dB	
RF電力利得	$RF\text{ Gain}$	$V_{CE}=12\text{V}, I_E=-1\text{mA}, f=1.5\text{Mc}, R_g=200\Omega, R_L=20\text{k}\Omega$						35						dB		
IF電力利得	$IF\text{ Gain}$	$V_{CE}=12\text{V}, I_C=1\text{mA}, f=455\text{kc}, R_g=1.5\text{k}\Omega, R_L=40\text{k}\Omega$	35											dB		
電力利得	10.7 Mc PG	$V_{CE}=6\text{V}, I_E=-1\text{mA}, f=10.7\text{Mc}$ エミッタ接地			23	26					26	29			dB	
			100 Mc PG										25	29	dB	
入力コンダクタンス	$Re(y_{ie})$	$V_{CE}=12\text{V}, I_E=-2\text{mA}$	$f=455\text{kc}$	0.25											m Ω	
			1 Mc	0.25					1.25						m Ω	
			1.5 Mc	0.25					1.25						m Ω	
			10.7 Mc	—			0.77		—		1.0				m Ω	
出力コンダクタンス	$Re(y_{oe})$	$V_{CE}=12\text{V}, I_E=-2\text{mA}$	$f=455\text{kc}$	0.02											m Ω	
			1 Mc	0.02					0.0065						m Ω	
			1.5 Mc	—					0.0065						m Ω	
			10.7 Mc	—			0.25		—		0.25				m Ω	
順方向アドミタンス	$ Y_{fe} $	$V_{CE}=12\text{V}, I_E=-2\text{mA}$	$f=455\text{kc}$	75											m Ω	
			1 Mc	70					65						m Ω	
			1.5 Mc	—					65						m Ω	

ゲルマニウム相当品	2S A353 2S A354	2S B75 2S B459	2S A350	2S A355	2S A234	2S A235
-----------	--------------------	-------------------	---------	---------	---------	---------

第3表 主要電気特性表 (2)

最大定格 (周囲温度 25°C)				形名	2SC528 (外形A)			単位	
項目	記号	2SC528	単位		音声出力増幅				
項目	記号	測定条件	最小	標準	最大	最小	標準	最大	単位
コレクタ・ベース電圧	BV_{CBO}	$I_C=10\mu\text{A}, I_E=0$	20						V
コレクタ・エミッタ電圧	BV_{CEO}	$I_C=3\text{mA}, I_B=0$	20						V
エミッタ・ベース電圧	BV_{EBO}	$I_E=10\mu\text{A}, I_C=0$	5						V
コレクタ遮断電流	I_{CBO}	$V_{CB}=20\text{V}, I_E=0$.5	μA
直流電流増幅率	h_{FE}	$V_{CE}=1\text{V}, I_C=150\text{mA}$	35						
ベース・エミッタ間電圧	V_{BE}	$I_C=2\text{mA}, V_{CE}=1\text{V}$.62				V
コレクタ・エミッタ間飽和電圧	$V_{CE}(Sat)$	$I_C=150\text{mA}, I_B=15\text{mA}$.31				V
コレクタ・エミッタ間電圧	$V_{EC}(r)$	$V_{CB}=0.5\text{V}, I_C=150\text{mA}$.52				V
コレクタ出力容量	C_{ob}	$V_{CB}=6\text{V}, I_E=0, f=1\text{Mc}$			6.0				pF
利得帯域幅	f_T	$V_{CE}=1\text{V}, I_C=150\text{mA}$			100				Mc

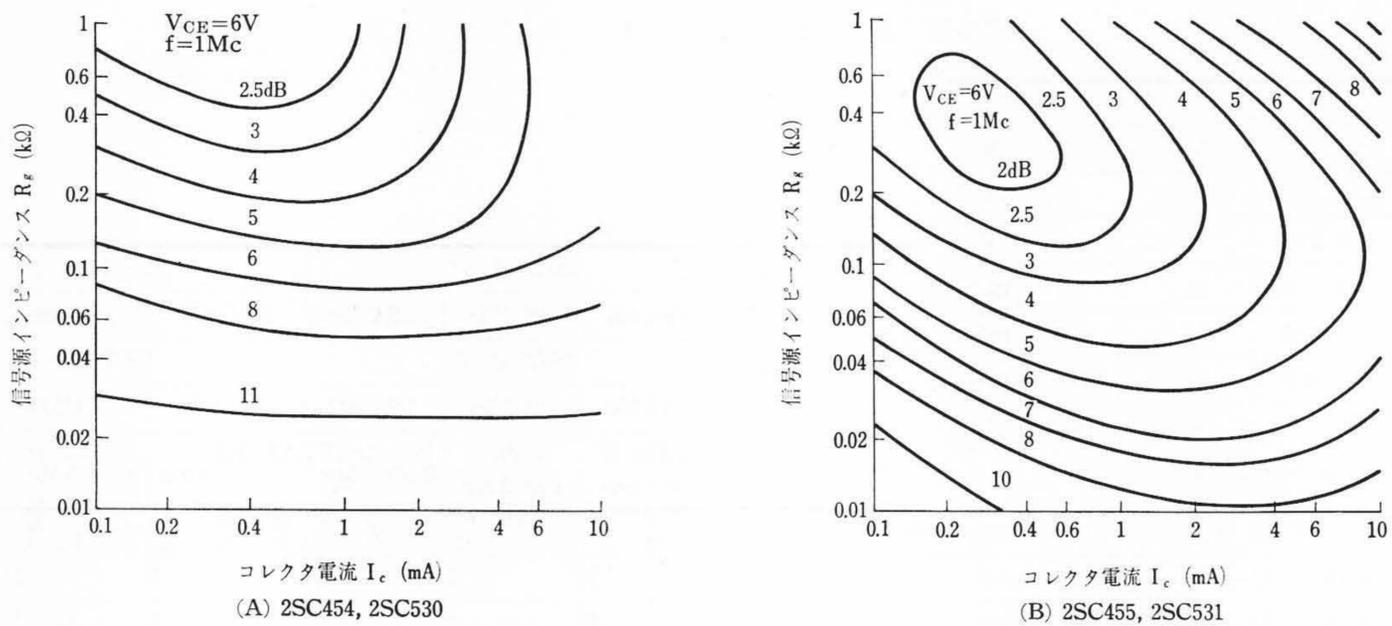
$R_g=50\Omega, I_C=1\text{mA}$ のとき 1Mc $NF=4\text{dB}$ で 2SC454 の 8dB に比較し 4dB 低い。中間周波増幅段は NF の問題がないから、直流電流増幅率 h_{FE} の高い 2SC454, 2SC530 を使用し、AGC 効果を良くすることが有利である (第12図参照)。

FM ラジオの 10.7Mc 中間周波増幅用 2SC459, 2SC532 は電力利得で 26dB , 同じく 2SC460, 2SC533 は 29dB の特性を有して

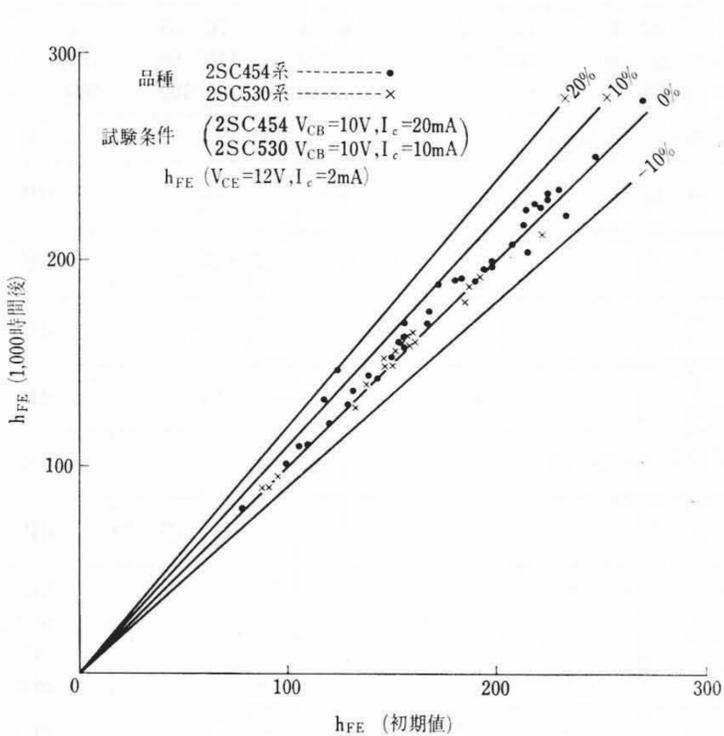
いる。同じく FM ラジオの周波数変換用には 2SC461 がある。これは 100Mc の増幅電力利得が 29dB の特性を有している。

7. 信頼度試験

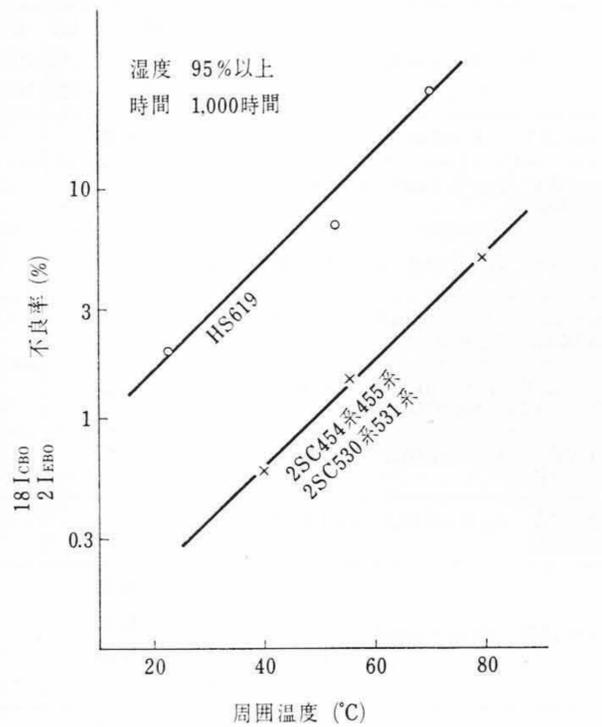
レジションモールドトランジスタの信頼度について行なった各種試験の結果を述べる。ただし、試験項目は $BV_{CBO}, BV_{EBO}, 30I_{CEO}, 18$



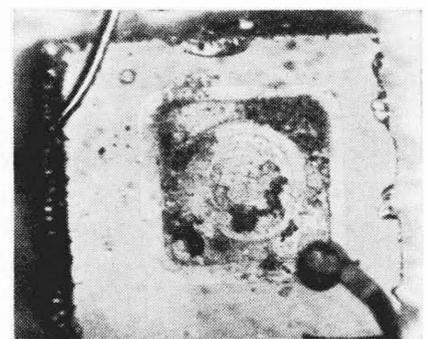
第12図 雑音指数と信号源インピーダンスの関係



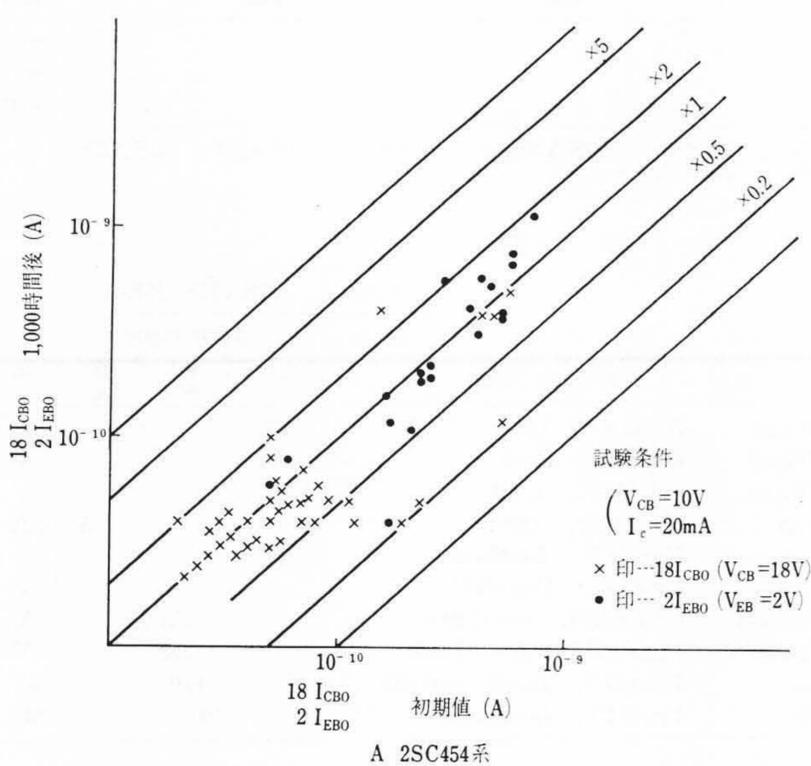
第13図 動作寿命試験における h_{FE} の変動



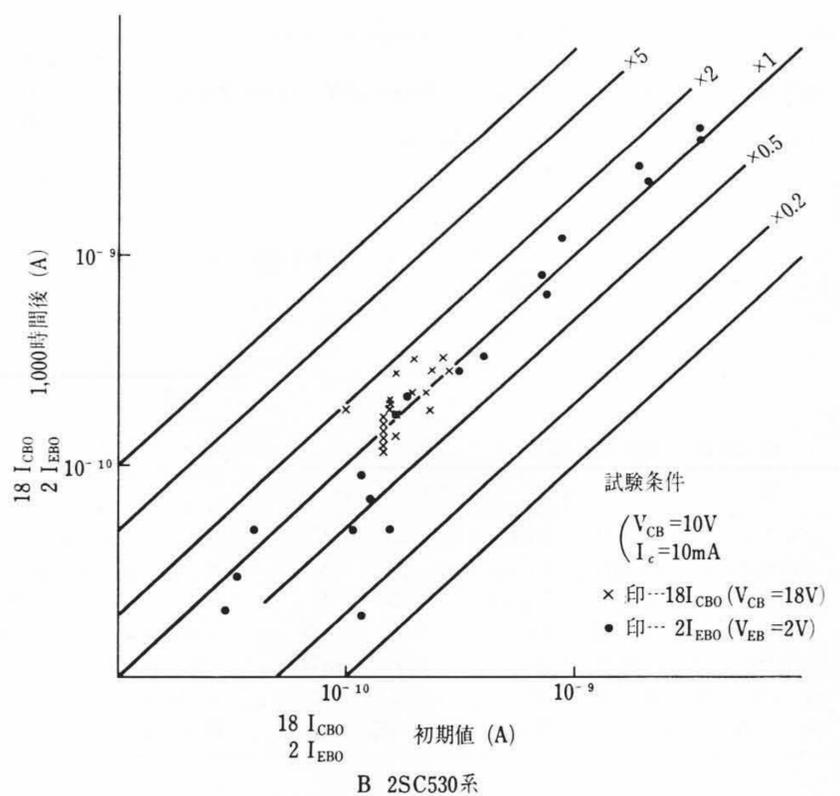
第15図 高湿中における温度，不良率の関係



第16図 Al電極腐食図 (HS-619)



A 2SC454系



B 2SC530系

第14図 動作寿命試験における $18I_{CBO}$, $2I_{EBO}$ の変動

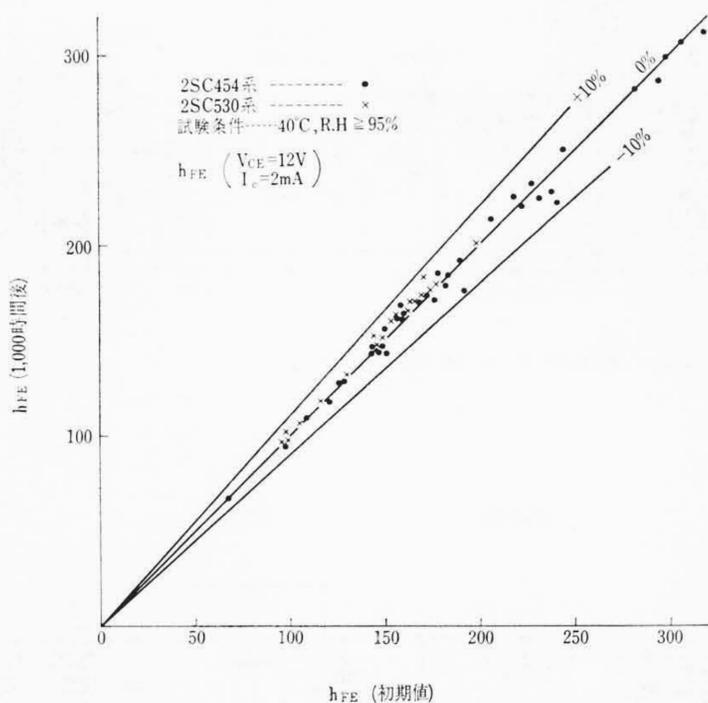
I_{CBO} , $2I_{EBO}$, および h_{FE} の6項目である。

7.1 動作寿命試験

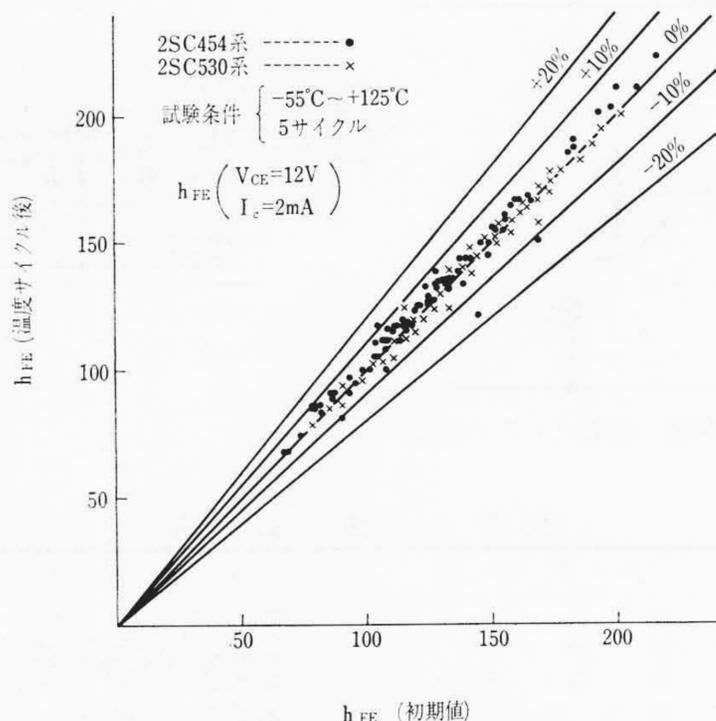
最大コレクタ消費電力200mW(2SC454系), および100mW(2SC530系)を常時トランジスタに加え, 1,000時間連続して行な

った。

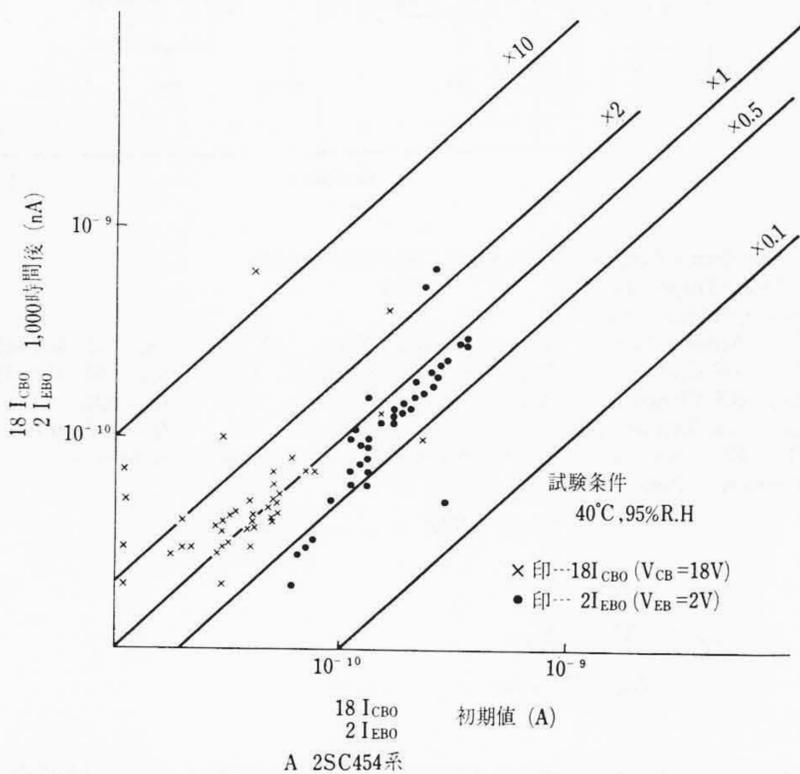
第13, 14図A, Bはこのときの h_{FE} ($V_{CE}=12V$, $I_C=2mA$), $18I_{CBO}$ ($V_{CB}=18V$), $2I_{EBO}$ ($V_{EB}=2V$)の初期値と1,000時間後の値を比較したものである。



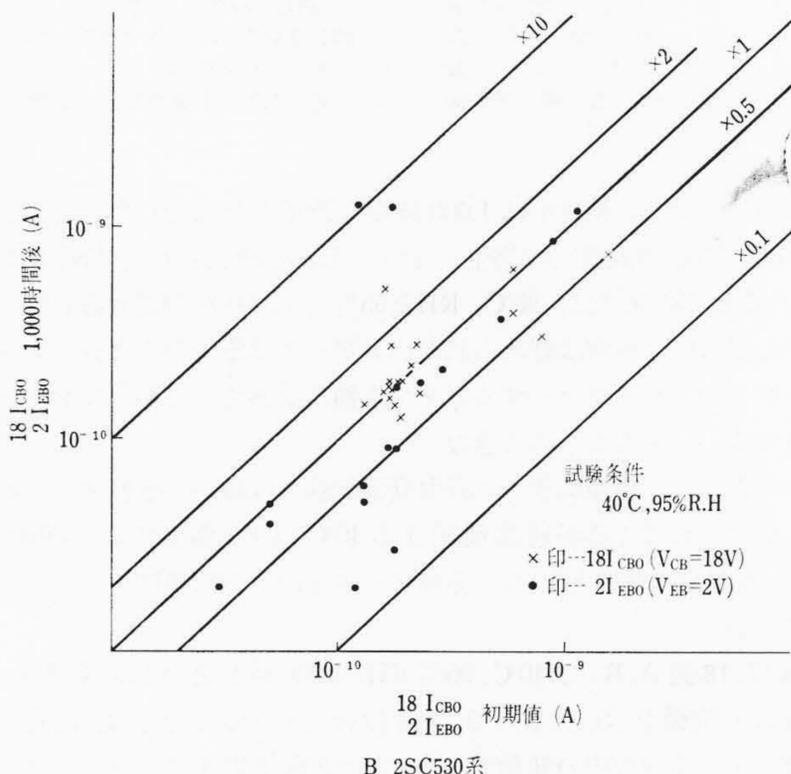
第17図 高温高湿試験における h_{FE} の変動



第19図 温度サイクル試験による h_{FE} の変動



第18図 高温高湿寿命試験における $18I_{CBO}$, $2I_{EBO}$ の変動



h_{FE} は全体の約 95% が変動率 $\pm 10\%$ 内に、そのほかのものでも $\pm 20\%$ にはすべておさまっており、きわめて安定している。 $18I_{CBO}$, $2I_{EBO}$ は初期値の 1 けたの範囲内で増減するが実用上問題にならない。

従来の金属ケースに組み立てたものと比較したものもあるが、有異差を見出すことはできなかった。

7.2 高温試験

周囲温度 170, 125°C のおのおのに 1,000 時間放置して特性の変動をみたが各 20 本, 100 本中不良の発生はまったくなかった。また, 125°C に 1,000 時間放置後の試料を 40°C, $RH \geq 95\%$ の高湿中に 500 時間放置してみたが不良はまったくなく, 125°C に 1,000 時間放置したことによるレジンの劣化はほとんどないと考えてよい。

7.3 高温高湿試験

レジンは、長期間高温高湿中に放置した場合には必ず特性上なんらかの差がでてくることが予想される。第 15 図は、ベース、コレクタ接合面積の大きい (0.36×0.36) レジンモールドトランジスタ HS 619 500 本につき湿度を 95% 以上に保ち温度と、 $18I_{CBO}$, $2I_{EBO}$ 不良率との関係をとったもので、不良率は温度の上昇とともにほぼ指数関数的に増加する。2SC454 系, 2SC530 系は接合面積が小さ

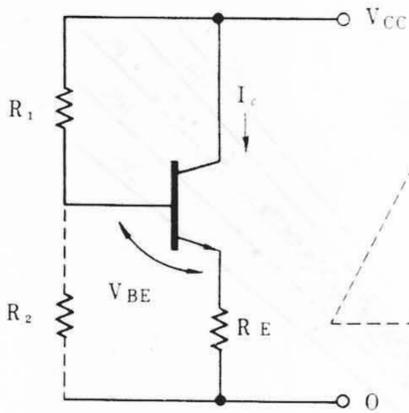
く、また、各種対策処理を施しているために、不良率は一段と低下し第 15 図での×印のようになる。また第 6 図に示すように吸湿率の高いレジンの不良率が高くなる結果をも得ている。

金属ケースのトランジスタでは気密度さえ十分であればこの現象はみられず、不良率も 70°C, $RH \geq 95\%$ 1,000 時間でほとんど 5% 以下であるのが普通である。このおもな原因は次によるものと考えられる。

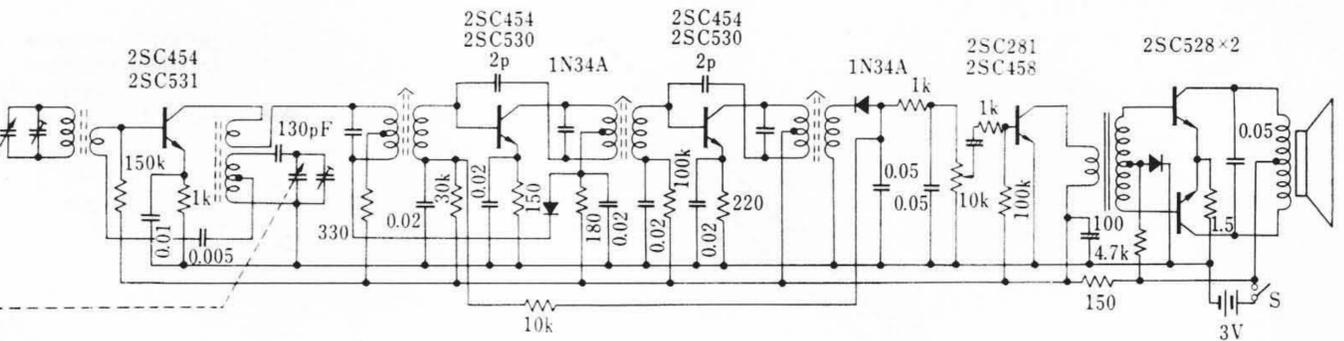
- (i) 酸化膜が完全でなく PN 接合上または、近辺にピンホールがある。
- (ii) レジンを通して内部に侵入した水がなんらかの作用 (電極表面の汚れ, 水分の酸度, Au-Al 間の接触電位差など) で Al 電極を溶解する。

ピンホールを裏づける事実とし、レジンを被覆する以前の素子を高湿中に入れた場合、 I_{CBO} または I_{EBO} が大きく変動する素子があることを確かめている。

また、アルミ電極の腐食は、HS 619 で 70°C, $RH \geq 95\%$ の高湿中に 1,000 時間入れた素子の V_{BE} (ベース、エミッタ間立上り電圧) が異常に大きくなるものがあること、これを分解すると第 16 図に示すように、アルミがとけていることより確認している。これは 70°C と



第20図 直流バイアス回路



第21図 3V, AMラジオ回路例

第4表 各種試験

No.	試験項目	試験条件
1	自然落下	75 cm × 3回
2	振動試験	25 サイクル, 2 mm 振幅
3	衝撃落下	X, Y, Z 方向各24時間
4	遠心加速試験	X, Y, Z 方向 500 g 各3回
5	リード折曲げ試験	X, Y, Z 方向 20,000 g 各1分
6	ピンルーズ試験	
7	耐はんだ熱試験	280°C はんだ槽 10秒
8	熱衝撃試験	0°C, 100°C 水中 15分づつ5サイクル
9	煮沸試験	沸とう水中2時間
10	塩水噴霧試験	塩水濃度5% 噴霧35°C, 48時間

いう異常にきつい条件中に1,000時間も放置した場合に生じることで、40~50°Cの温度では発生しない。しかし改良された2SC454, 455, 530, 531系では、80°C, RH≥95%中に1,000時間放置してもほとんど電極に異常は認められない。アルミ電極の腐食はシリコンレジンで、バッファリングすることで大幅に改善できるが、ピンホールまでカバーすることはできない。

このように、極端にきつい高温高湿試験では確かに金属ケースのほうがすぐれてくるが通常使用する40°C以下の温度では Failure Rate も非常に低率となり、金属ケースと同等の信頼度をもつと考えてよい。

第17, 18図A, Bは、40°C, 95% RH, 1,000時間後の h_{FE} , $18 I_{CBO}$, $2 I_{EBO}$ の変動を示したもので、 h_{FE} はほとんど変化なく、 I_{CBO} , I_{EBO} もほとんど1けた内の変動である。また2SC530系のように小形化しても耐湿性はほとんどかわりない。

7.4 温度サイクル試験

外部の急激な温度変化に対する特性変化を調べるもので試験法は JIS-7030 (-55°C~+125°C, 5サイクル) にしたがって行なわれた。

試料は2SC454×300本, 2SC530×100本であるが、断線はなく、特性変動もほとんどなく安定していた。

第19図は h_{FE} の変動の一例であるが、変動率は±10%以下で他の場合と同じである。これにより、金属ケースのものと同様、外部の温度変化にも十分たえることが実証された。

7.5 その他の試験

これまでに述べた試験以外に行なった各種試験は第4表に示すとおりであるが、不良はまったくなかった。特に機械的試験(落下, 振動, 衝撃試験)は相当の試料数にもかかわらず不良がなく、内部に振動箇所をもたないレジンモールドトランジスタのほうがむしろ金属ケースのものよりすぐれていることを示した。

8. 応用例

シリコントランジスタはコレクタ遮断電流 I_{CBO} が小さいから、直流バイアス回路を簡単にしても周囲温度70°C以下で使用するポータブルラジオなどでは実用上差しつかえない。第20図の R_2 を省略した回路で、コレクタ電流 I_C は

$$I_C \cong \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + R_1 \frac{1}{h_{FE}}}$$

で表わされるから直流電流増幅率 h_{FE} の幅を適当にせまく規格化しておけば I_C のバラツキは押えられる。

8.1 6石1Band 3Vラジオ

第21図は3V電源の低電圧オールシリコントランジスタラジオ回路例である。周波数変換に2SC455または2SC531を、中間周波増幅に2SC454または2SC530を2石、低周波増幅には、金属封止シリコンPMトランジスタ2SC281をエミッタ抵抗0Ωの状態で使用し、終段にはレジンモールドシリコンエピタキシャルトランジスタ2SC528のプッシュプルでセンタタップ付スピーカを駆動し、無ひずみ最大出力160mWをえている。低電圧ラジオで問題となるコンバータ段の減電圧発振停止点は約1.2Vである。最大感度は平均100μV/m, 電界強度1mV/mのときの $S+N/N$ は平均32dBの特性を有している。

8.2 FMチューナ

第22図は2SC461を周波数変換段に、シリコンエピタキシャルプレーナ2SC465 ($f_T \cong 1,000$ Mc, $C_{ob} \cong 0.75$ pF, 外形 Modified TO-18) を高周波増幅段に使用したFMチューナの回路例である。高周波増幅段は安定度をうるためエミッタ接地とし、周波数変換段はベース接地で使用している。

9. 結 言

シリコンプレーナトランジスタのレジンモールド化を研究した結

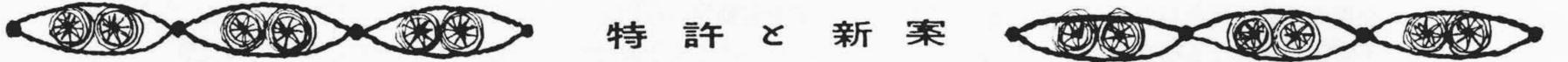
果民需用として十分信頼度の高いトランジスタ 2SC454 系 2SC530 系 2SC455 系および 2SC531 系を開発した。これらに安定な特性を持たせるために特に開発した吸湿率の小さい無水酸硬化エポキシレジンを採用した。その結果、国内、外の同種製品よりすぐれた性能をうることができた。

また、開発したレジンモールド方式はきわめて量産的であり単に民需用トランジスタのみならず、表面が不活性化された一般の半導体装置および回路素子にも応用できる。

参 考 文 献

(1) L. Hunter: 岡村, 竹谷訳, 半導体ハンドブック, p. 199 近

- 代科学社 (1960)
- (2) Fairchild 社: 特公, 昭和 38-14856, 昭和 39-14712
- (3) H. Lee and K. Neville: Epoxy Resins. Mc Graw-Hill New York (1957)
- (4) 大石, 館川: エポキシ樹脂 (日刊工業, プラスチック材料講座 5)
- (5) M. C Volk et al: Electrical Encapsulation. Reinhold New York (1962)
- (6) C. A. Harper: Electronic Packaging with Resins. Mc Graw-Hill New York (1961)
- (7) 米国特許—2・9・4・3・359
- (8) H. S. Lehman: I. B. M Journal Sep. p. 422 (1964)



最近登録された日立製作所の実用新案

登録番号	名 称	氏 名	登録年月日	登録番号	名 称	氏 名	登録年月日
740146	貨車の側板起し装置	船喜三郎	"	741242	車輛用変圧器	三浦昭鏡	39. 6. 23
740147	電動機軸受装置	小林山巖	"	741243	ポンプの自動空気補給装置	清水武三	"
740148	冷蔵庫温度調節器用ダイヤル軸の軸封装置	杉山保二	"	741244	微量液用電磁弁	藤井芳致	"
740149	扇風機	藤橋田文雄	"	741245	フロアコントロール	藤根本垣	"
740150	像観察用蛍光面	四倉輝雄	"	741246	変圧器冷却装置	稲垣山内	"
740151	シケス	片桐信二	"	741247	変圧器冷却装置	渡島大秋	"
740152	洗濯装置	土屋地松	"	741248	変圧器冷却装置	秋内丸田	"
740153	電気掃除機の床, じゅうたん兼用吸込口	福小川好昌	"	741249	三相変圧器の磁気鉄心	内藤江橋	"
740154	洗濯機	安林田沢	"	741250	負荷時電圧調整装置	高橋茂公	"
740155	携帯用電気洗濯機	西脇富忠	"	741251	電力ケーブル端末部	高鈴加木	"
740156	真空黒板拭	石川島夏樹	"	741252	ベ	富田孝	"
740157	録音テープと画フィルムとの同期運転装置	横内直中	"	741253	過負荷表示装置	農松田	"
741280	避雷器放圧装置	益田木淳	39. 6. 23	741254	水中遠隔操作工具	松田武	"
741221	放射線照射試料操作装置	須藤芳男	"	741255	タ	武平秋	"
741222	電子印刷機における正電極上下微動調整装置	大野光	"	741256	タ	秋山山	"
741223	流量積算計器	田頭敏	"	741257	変圧器放圧装置	沢幡口	"
741224	電磁流量計器	鈴木誠	"	741258	防塵形端子盤	新井俊	"
741225	感熱器	渡辺信一郎	"	741259	回転電機巻線の温度検出素子	宮田俊	"
741226	電子顕微鏡又は類似装置	平井喜代治	"	741260	スイング式階床扉の安全装置	松井道村	"
741227	リモートコントロールスイッチ取付装置	岩片桐信二	"	741261	無接点継電器	中石橋	"
741228	フロント型満水検知器	永田輝夫	"	741262	小径カゴ形回転子	石橋本	"
741229	ガス圧接車の車輪軸装置	四中山内	"	741263	端子板	大和田	"
741230	高電圧用ケーブルヘッド及び受ロブッシングの保護カバー	高橋正孝	"	741264	燃料要素および反射要素等の取扱用具	青木新	"
741231	電磁ブレーキ	水越山尾	"	741265	調整式回転ブラシ	大阿平	"
741232	負荷時タップ切換器の自動浄油装置	中尾謙二	"	641266	可変ベンチュリー形気化器	岩飛大	"
741233	感熱器	横野山本	"	741267	誤動作を防止した光電装置	石斎藤	"
741234	掘削用爪	藤本義好	"	741268	交換歯車機構	奥寺得	"
741235	誘導電動機速度制御装置	渡辺信一郎	"	741269	ス	田村村	"
741236	液流応動開閉器	岩井利秀	"	741270	高温燃焼燃料電池	田小	"
741237	風量調整用案内羽根	今井千吉	"	741271	電気掃除機除塵装置	小池	"
741238	給水ポンプの自動空気補給装置	泉角勝	"	741272	2線式制御回路装置	小池	"
741239	単極単投フック棒操作断路器の安全装置	田勝美	"	741273	電気掃除機用集塵袋	小池	"
741240	変圧器等の中身振止め装置	谷政次	"	741274	電気掃除機	小池	"
741241	変圧器用板圧弁	大淵一	"	741275	電気掃除機	小池	"
		山崎亮三	"	741276	電気掃除機	小池	"
		齋藤亮三	"	741277	磁石発電機の定電圧装置	小藤	"
		栗高卓	"	741278	逆変換装置	小笠原	"
		栗高卓	"	741279	密閉母線除湿装置	岩上野	"

(99 頁へ続く)