

マイクロモジュール用半導体

Semiconductors for Micromodule Use

三宅 清 司*
Kiyoshi Miyake

庄 司 仙 治**
Senji Shōji

島 泰 房**
Yasufusa Sima

内 容 梗 概

マイクロモジュールトランジスタは素子構造から、合金接合形、メサ形の二つに分けられる。前者は超音波溶接技術を新たにとり入れ、表面処理の完成したトランジスタをセラミック標準基板に組み立てる方法で試作された。なかでも特に問題となったのは封止方法で、これは特殊治具を用いた高周波加熱法で目的を達した。後者は組立法、封止法ともに従来のトランジスタ製法をそのまま利用し、封止完成品をセラミック標準基板に組み立てる方法で行なわれた。

マイクロモジュールダイオードはゴールドボンダ形で試作し、フォーミング条件を検討しトランジスタと同様セラミック標準基板に組み立て封止した。

これにより試作されたマイクロモジュールトランジスタ、ダイオードは静特性、高周波特性ともに一般相当品に比べほとんど同一でおきかえのできることがわかった。

1. 緒 言

マイクロモジュール半導体はPN接合を形成した素子をアルミナ製標準基板に特殊な方法で組み込み、封止したものである。

構造的には縦×横 (7.88×7.88 mm) の外形寸法が決められ、高さはかえられるが、特性的には従来の半導体と同一であることが回路的に望ましい。したがって半導体単結晶を用い、所望のPN接合を形成するまでの工程は、通常の半導体素子とほとんど同じである。

マイクロモジュール半導体を作るための特殊な技術は組立および封止方法である。すなわちPN接合の形成された素子を標準寸法基板内のきわめて狭い空間に組み立てる技術と、組み立ての終わった素子を気密に封止する技術を最も重要なポイントとする。

1960年 RCA 社より発表されたマイクロモジュールトランジスタは、あらかじめアルミナ製基板にモリブデン粉末を必要な箇所メタライズ処理して電極を作り、超音波溶接法を用いて組み立てたものであるといわれていた。また封止はアルミナ基板をはんだの融点付近まで加熱し、その状態で超音波振動を印加して行なう方法がとられた⁽¹⁾。

われわれははじめ組み立ての際ハンダ付け法、スポット溶接法などを検討したが、これらの方法は半導体素子表面を汚染したり熱的特性劣化をもたらすことが多かったので、RCA 社にならって超音波溶接による組立法を採用した。

また封止方法についても、RCA 方式を検討したが、超音波振動を印加する際にハンダの小粒子が飛散し、電極を短絡する恐れがあったので、別に特殊な治具を製作し高周波による渦電流を利用する方法を考案した。

一方 1961 年 Sylvania 社よりパンケーキトランジスタ (TO-46 形) と称し従来のトランジスタの寸法をひとまわり小さくした製品が発表された。RCA 社ではこれをマイクロモジュール標準基板と組み合わせ、マイクロモジュールトランジスタとして発表した。現在、RCA 社ではマイクロモジュールトランジスタとしてはパンケーキトランジスタに限って製作している。

われわれも 1961 年来よりパンケーキトランジスタの試作を進めてきたが、メサ形トランジスタおよび高周波トランジスタについては製法、信頼性ともにアルミナ製基板を用いたマイクロモジュールトランジスタに比較して良好な結果を得たので、現在ではこの製

作法をおもに採用している。

ダイオードはPN接合の構造から分類して点接触形、ボンディング形および接合形 (合金接合形および拡散接合形) の三つに分けられる。

マイクロモジュール用としては厚さの制限があるので、点接触形は基板中に直接組立て封止することが困難であり、事実マイクロモジュール用として国内外で製作された例がない。RCA 社では検波、スイッチングおよび一般用としてボンディング形を製作しており、特殊用途にシリコンの拡散接合形を製作している。

われわれは主としてボンディング形マイクロモジュールダイオードの製法について検討し、最適フォーミング条件を求めた。また組み立ておよび封止にはマイクロモジュールトランジスタと同じく超音波溶接組立法および高周波加熱封止法を採用した。

2. 製 作 方 法

2.1 合金接合形トランジスタ

トランジスタ素子は従来品と同一特性を目標とするために Ge 単結晶ペレット、エミッタおよびコレクタ不純物 (I_n) は従来品をそのまま使用した。またPN接合を形成するに必要な合金化技術も従来の方法をそのまま使用した。

したがってマイクロモジュールトランジスタとして新たに要求される技術としては、

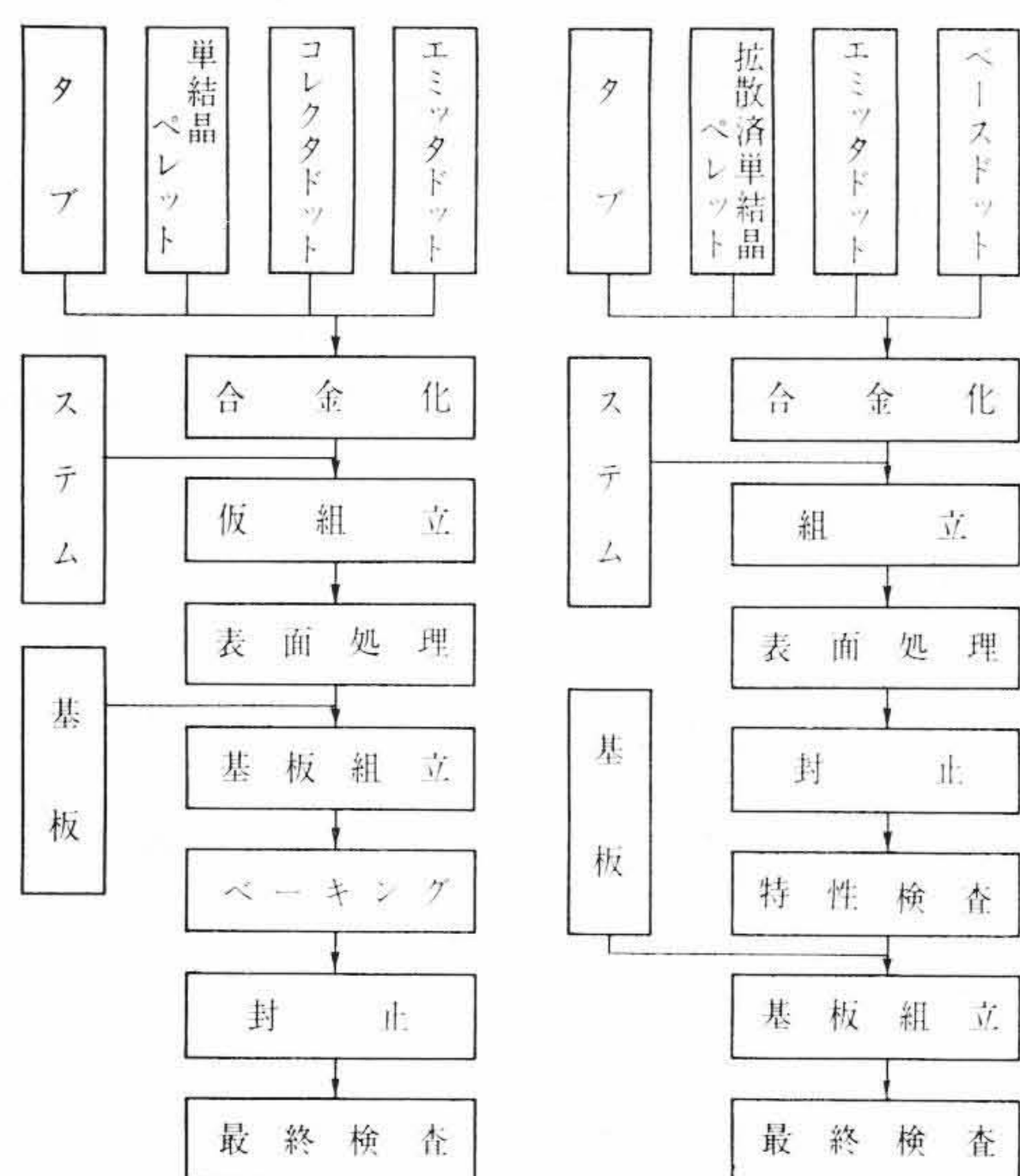
- (1) 基板(D-1)に素子を組み立てる特殊組立法
- (2) 加熱ハンダ封止法 (Hot Sealing)

の二つである。

第1図Aに製造工程を示した。はじめコレクタおよびエミッタ不純物となる I_n 球を Ge 単結晶ペレットの両側に溶ダーし、還元性ふん囲気 (H_2+N_2) 中、500~550°C で合金処理を行なう。このペレットを特殊ステムに仮組立てする。これはエミッタおよびコレクタ表面の電解エッチおよびその後の表面洗浄が困難なためである。マイクロモジュールトランジスタのベース—コレクタ間逆耐圧、および電流増幅率は通常トランジスタと同じくこの表面処理に左右されることが多い。表面処理が終わり静特性 (逆耐圧、電流増幅率) の検査に合格した素子はマイクロモジュール基板の中に組み立てる。この組み立てには超音波溶接法⁽²⁾⁽³⁾を用いる。通常トランジスタの組み立てに使用されているハンダ付けとかスポット電気溶接のような方法はトランジスタを汚染する原因となり、また組み立ての際に温度上昇を伴うので適当でない。基板組立はあらかじめ第2図に示

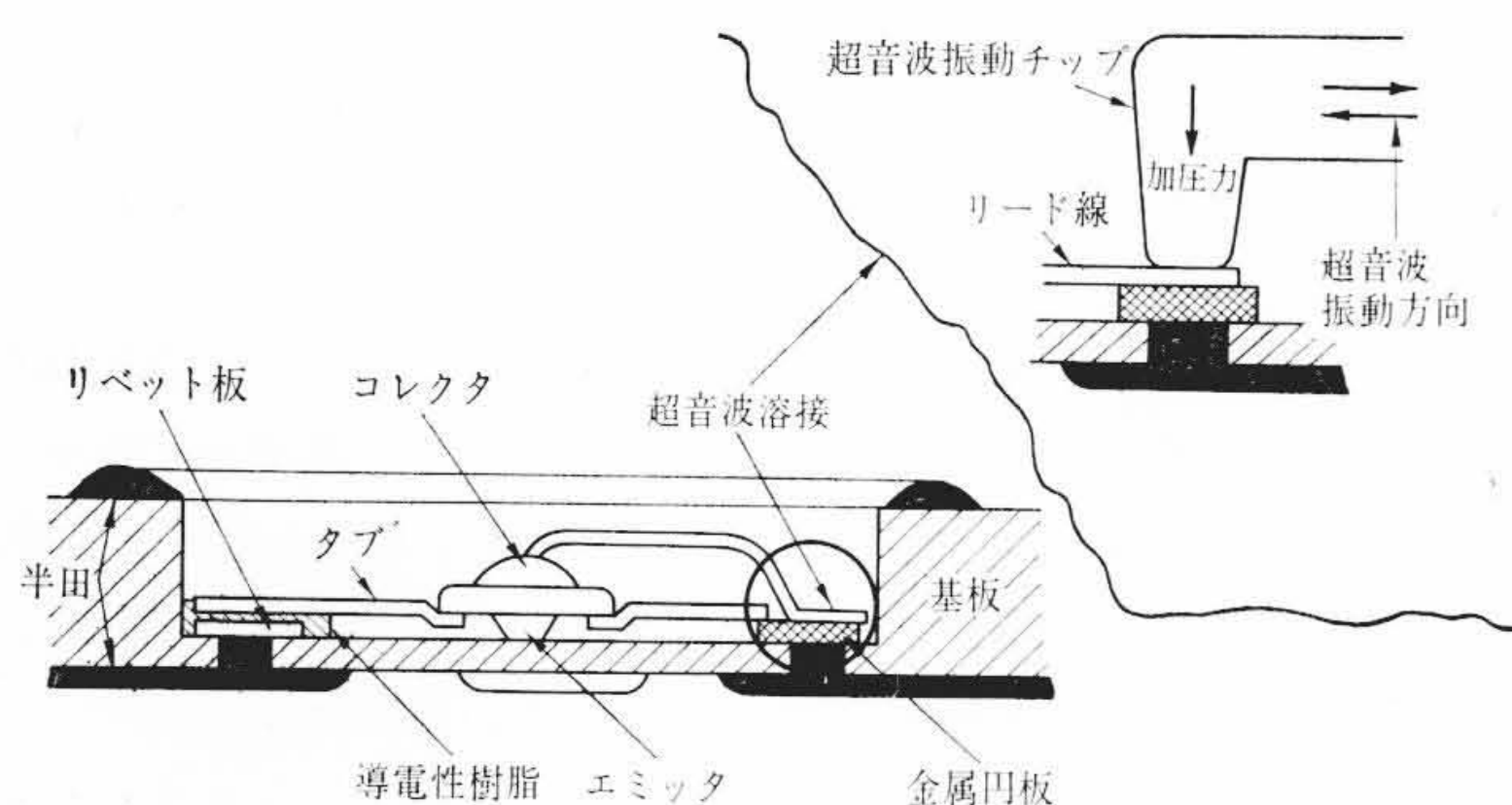
* 日立製作所武蔵工場 理博

** 日立製作所武蔵工場

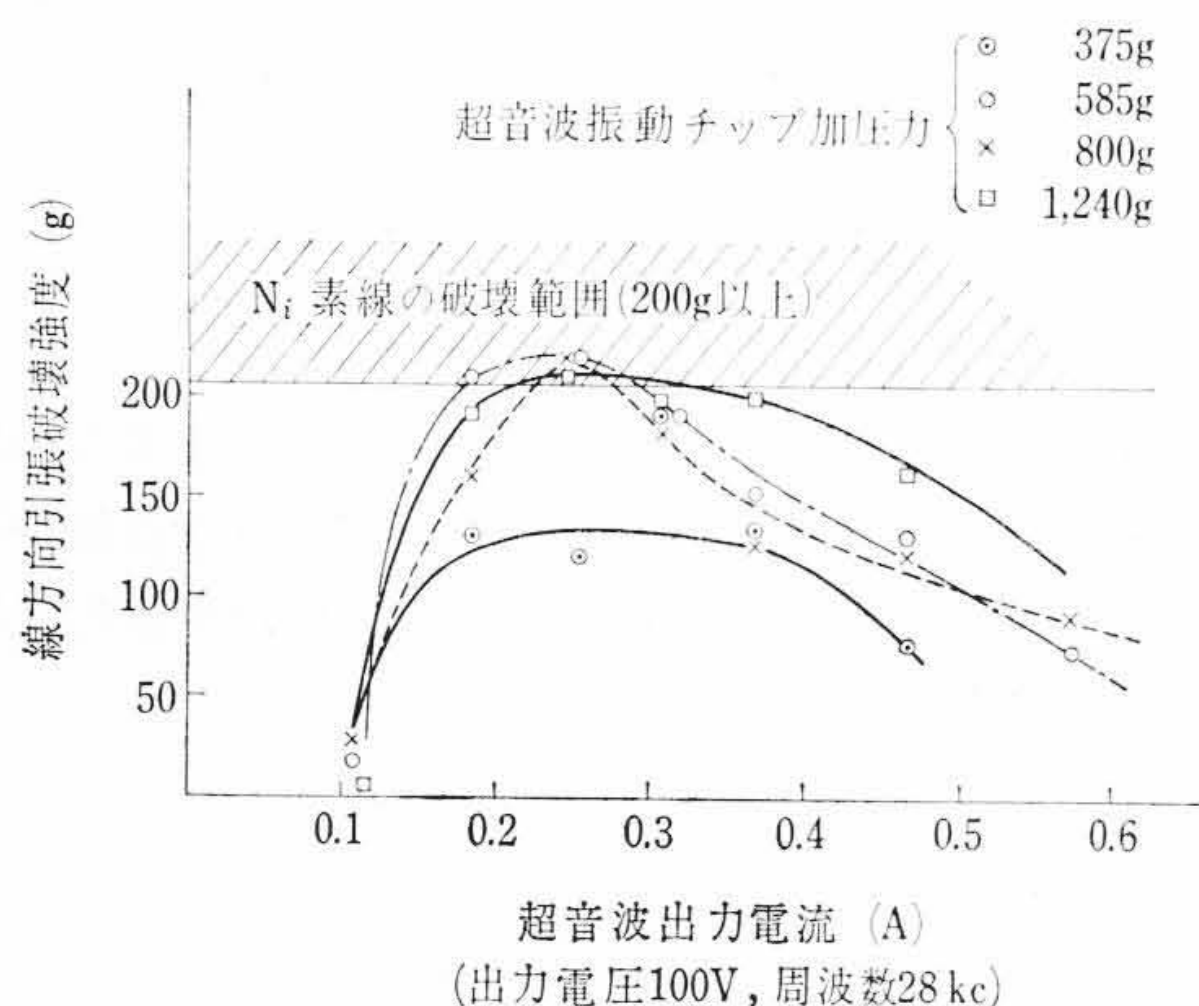


A 合金接合形トランジスタ B メサ形パンケーキトランジスタ

第1図 マイクロモジュールトランジスタ製造工程



第2図 合金接合形トランジスタ組立構造

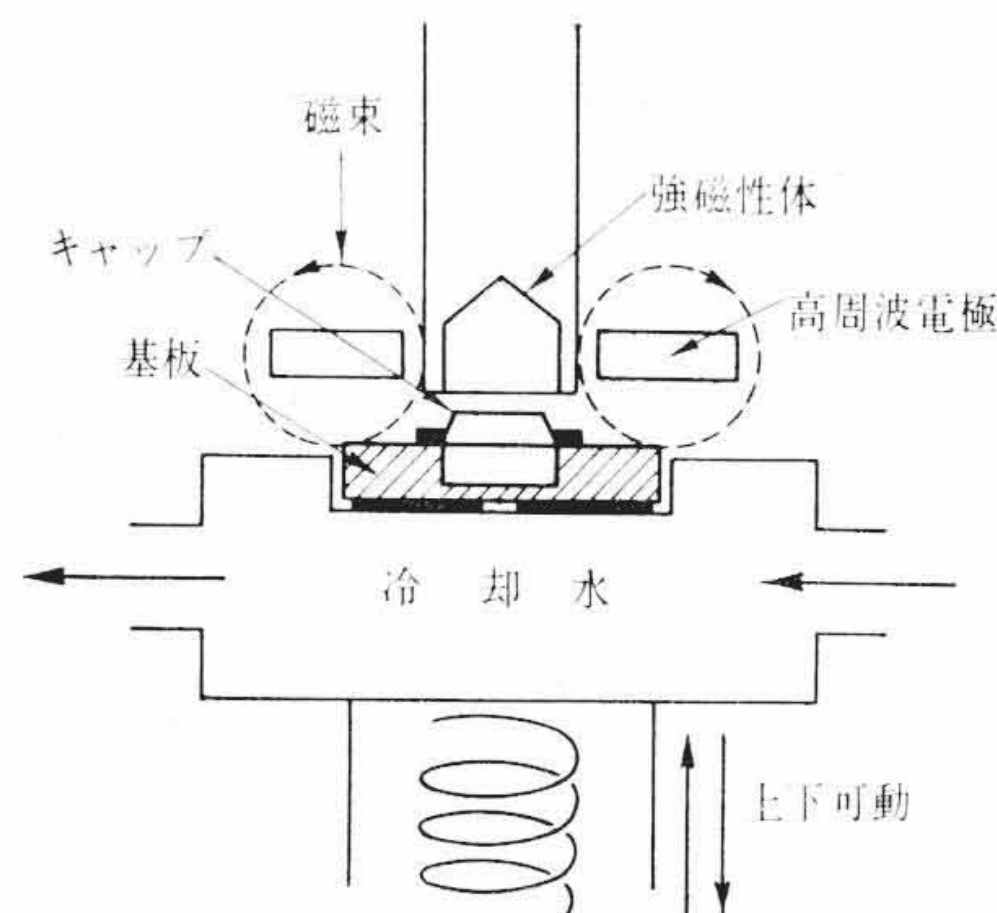


第3図 超音波溶接強度 (銅板—0.07φ Ni線)

すようにセラミック基板のメタライズした電極位置に金属円板 (Cu または Ni) をハンダ付けしておき、その上にトランジスタの電極リード線を超音波溶接機で溶接する。

第3図は周波数 28 kc, 最大出力 150 W の超音波溶接機を使用して、直径 0.07 mm Ni 線と厚さ 0.13 mm の Cu 板を溶接した場合の出力と線方向引張破壊強度の関係を示したものである。振動端 (tip) の加圧力をパラメータとしているが、出力電流 0.25 A 付近では加圧力 585~1,240 g の範囲で非常に安定に溶接が行なわれ、このときの溶接破壊力はほとんど素線自身の破断強度と一致する。出力がさらに増加すると溶接点での電極リード線の疲労がはげしく、逆に強度は低下するようになる。

基板組立の終了した製品はこれに簡単なベーキング処理を施して封止する。



第4図 高周波封止治具

封止は基板のメタライズ部分と金属製のキャップとをハンダ付けして行なう。ハンダで気密封止することはかなり困難であり、えられる気密度は 10^{-8} cc/s·atm 程度である。

RCA 社で採用した方法は加熱した超音波振動 tip で予備ハンダされた基板にキャップを押しつけ、ハンダの溶ける瞬間に超音波振動を印加して封止する方法である。基板に使用するハンダは 60% Sn-37% Pb-3% Ag で、浸漬ハンダ付けの際表面に形成される酸化物が少ないことを特長としている。またキャップおよび基板への予備ハンダの量は表面を平坦 (たん) にそろえ、かつはんだの量も流出量を押えるために規定してある。

われわれのとった方法は第4図に示すように高周波による渦電流を利用し、かつ同時に生じる磁束を強磁性体円筒に集中させ、その発生熱でハンダを瞬間的にとく方法である。使用したハンダは融点 143°C の低融点ハンダ (51% Sn-31% Pb-18% Cd) でエミッタおよびコレクタ電極 I_n の融点 156°C より低い。これにハンダのぬれをよくするため非腐食性フラックス (コロホチンフラックス) を乾燥して使用する。

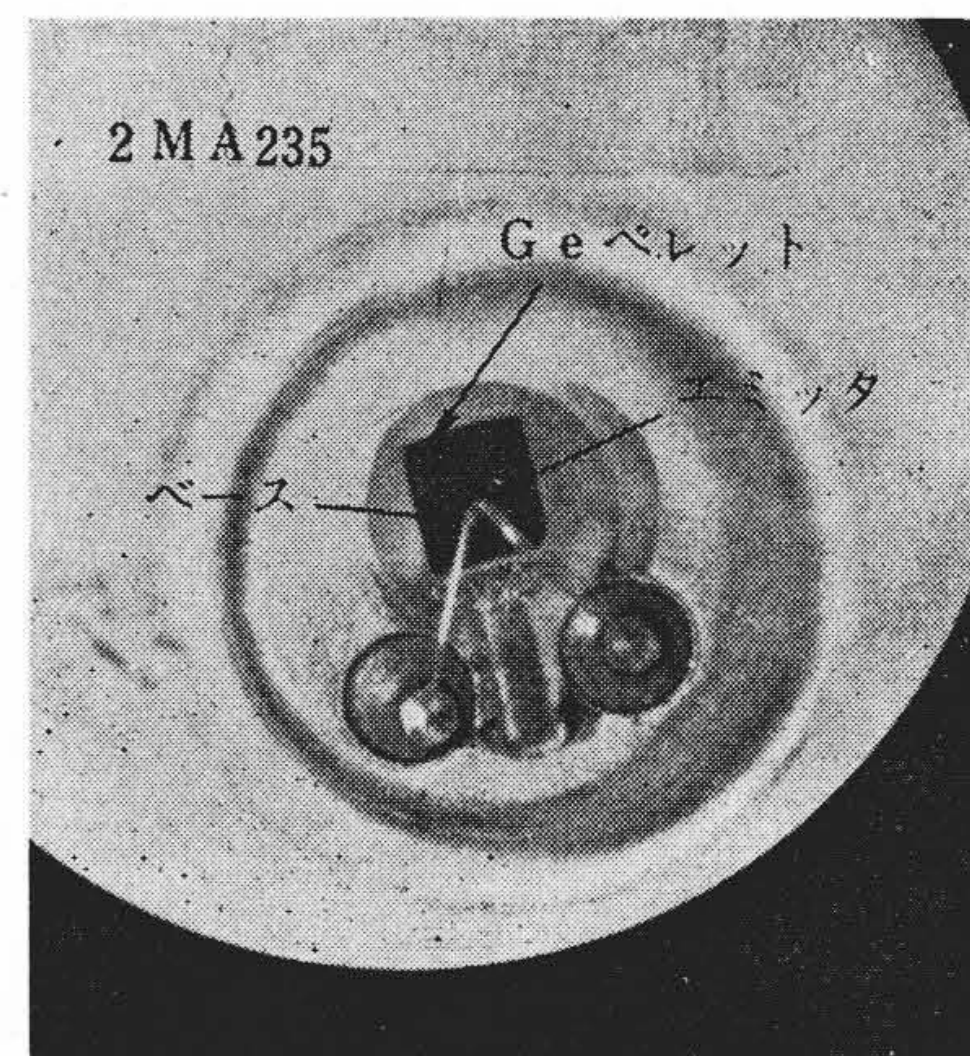
このようにして作られたマイクロモジュールトランジスタは、放射性同位元素 Kr^{85} ガスを使用するラジフロリークテストを行なったのち特性検査を受け製品として完成される。

2.2 メサ形パンケーキトランジスタ

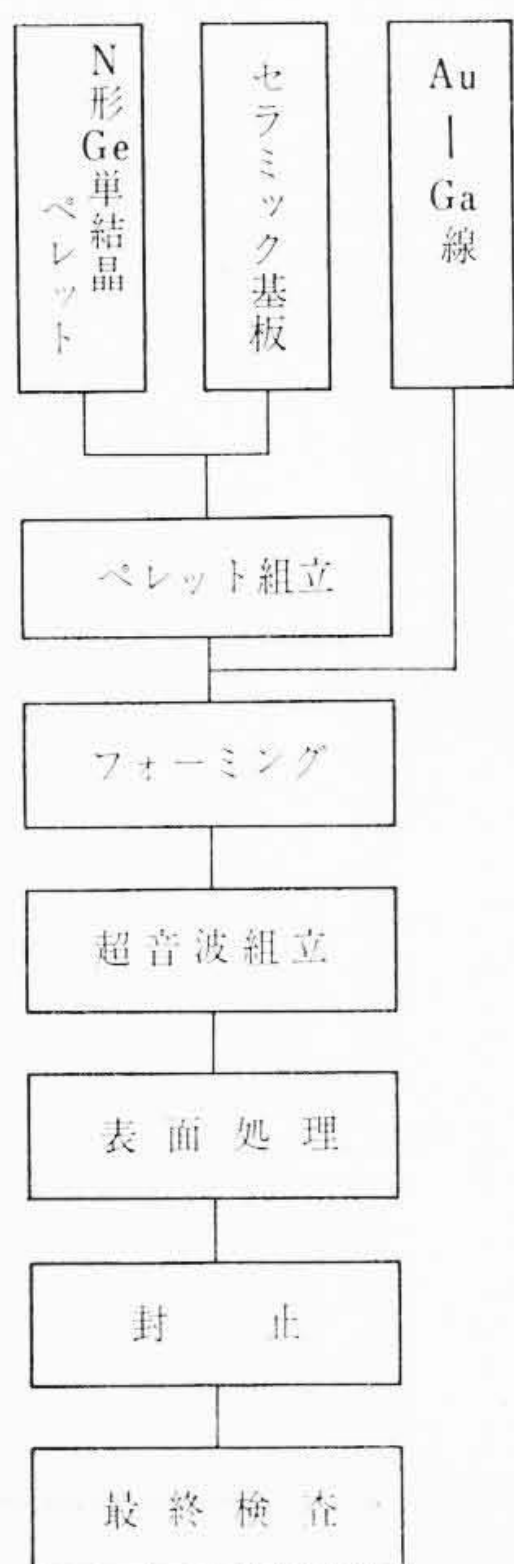
パンケーキトランジスタは構造的には従来のトランジスタ容器を小形にしたもので、通常のトランジスタの組み立てと本質的に異なる点はどこにもない。

このパンケーキトランジスタをマイクロモジュール基板と組み合わせた場合、厚さが 2.4 mm とセラミック基板封止品の 1.1~2.1 mm に比べやや厚くなるが、製作法が容易になり信頼度も向上するために非常に有効である。

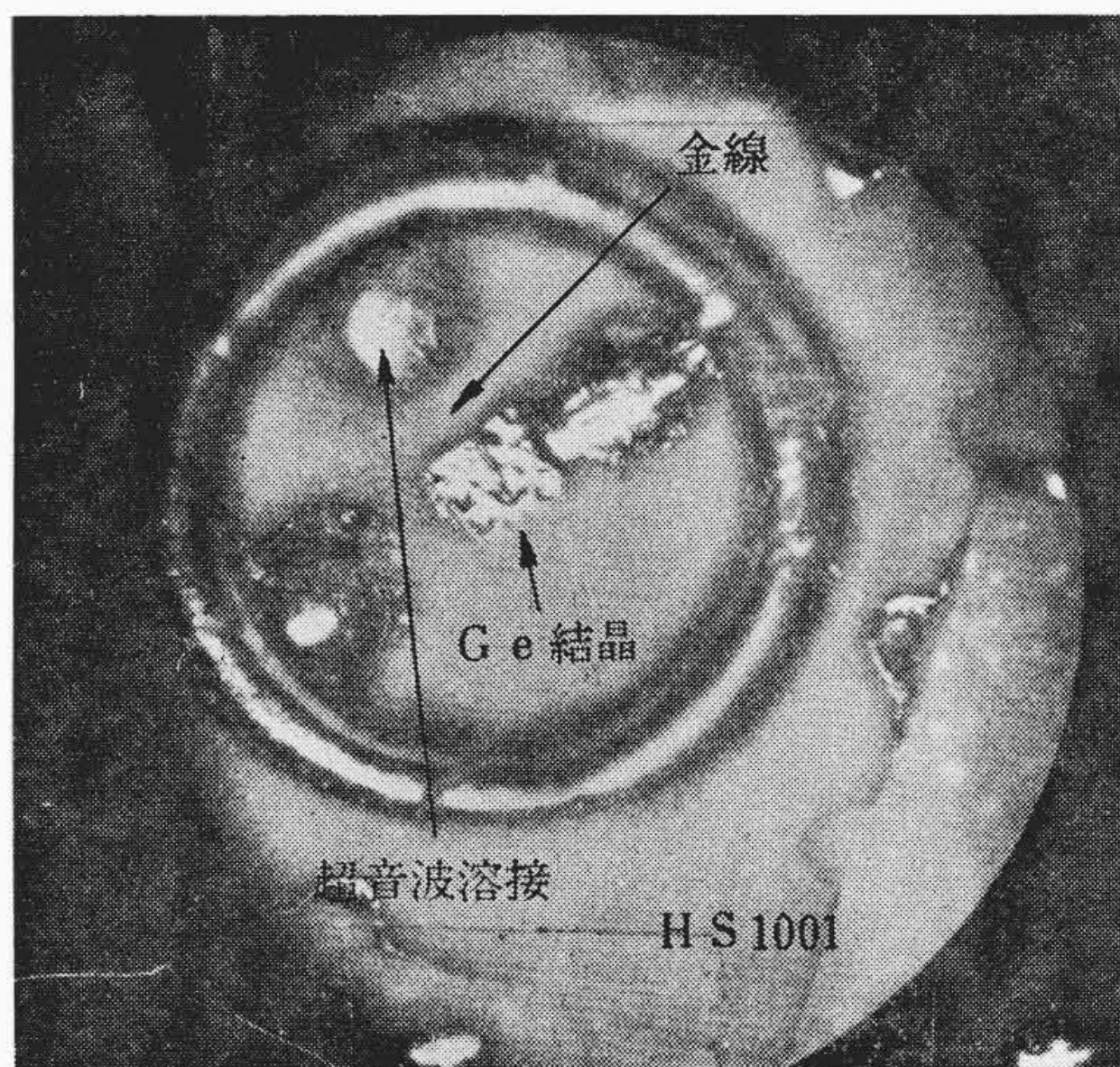
第1図Bはメサ形パンケーキトランジスタ製造工程である。はじ



第5図 パンケーキトランジスタ組立構造 (メサ形 2MA235)



第6図 ゴールドボンド形ダイオード製造工程 (H S 1001)



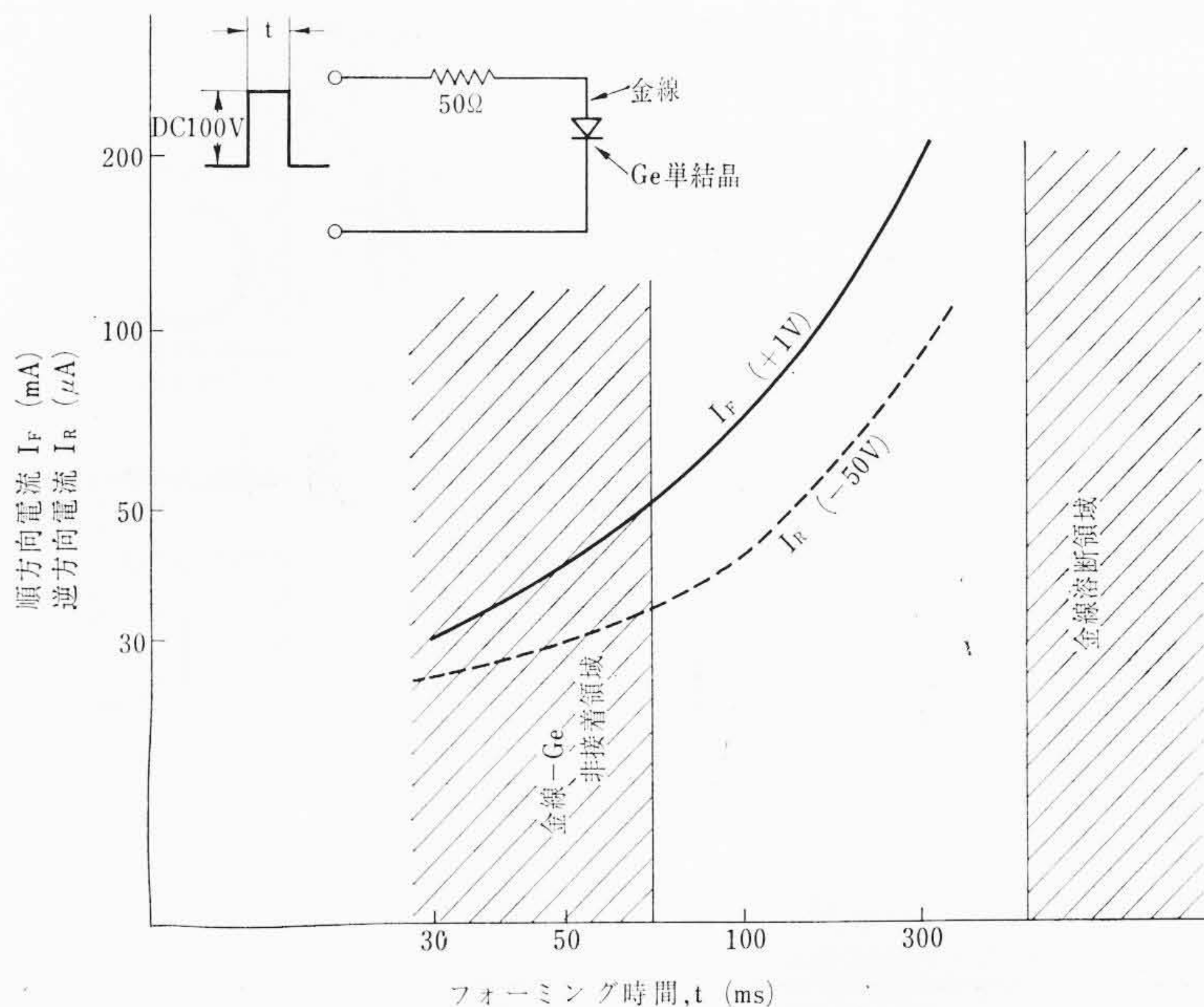
第8図 ゴールドボンド形ダイオード組立構造

め合金接合形と同様エミッタおよびベースドットの合金化を行ない、次にTO-46形システムに直接組立てを行なう。ベース、エミッタ電極は非常に小さく直接手で組み立てることは困難で顕微鏡およびマニピレータを使用する。このあと電解エッチ、洗浄、乾燥およびベーキングなどの表面処理を施す。メサ形トランジスタは第5図のようにベース、エミッタ電極が同一面にあるため、表面処理はシステムに組み立てたままで行なう。

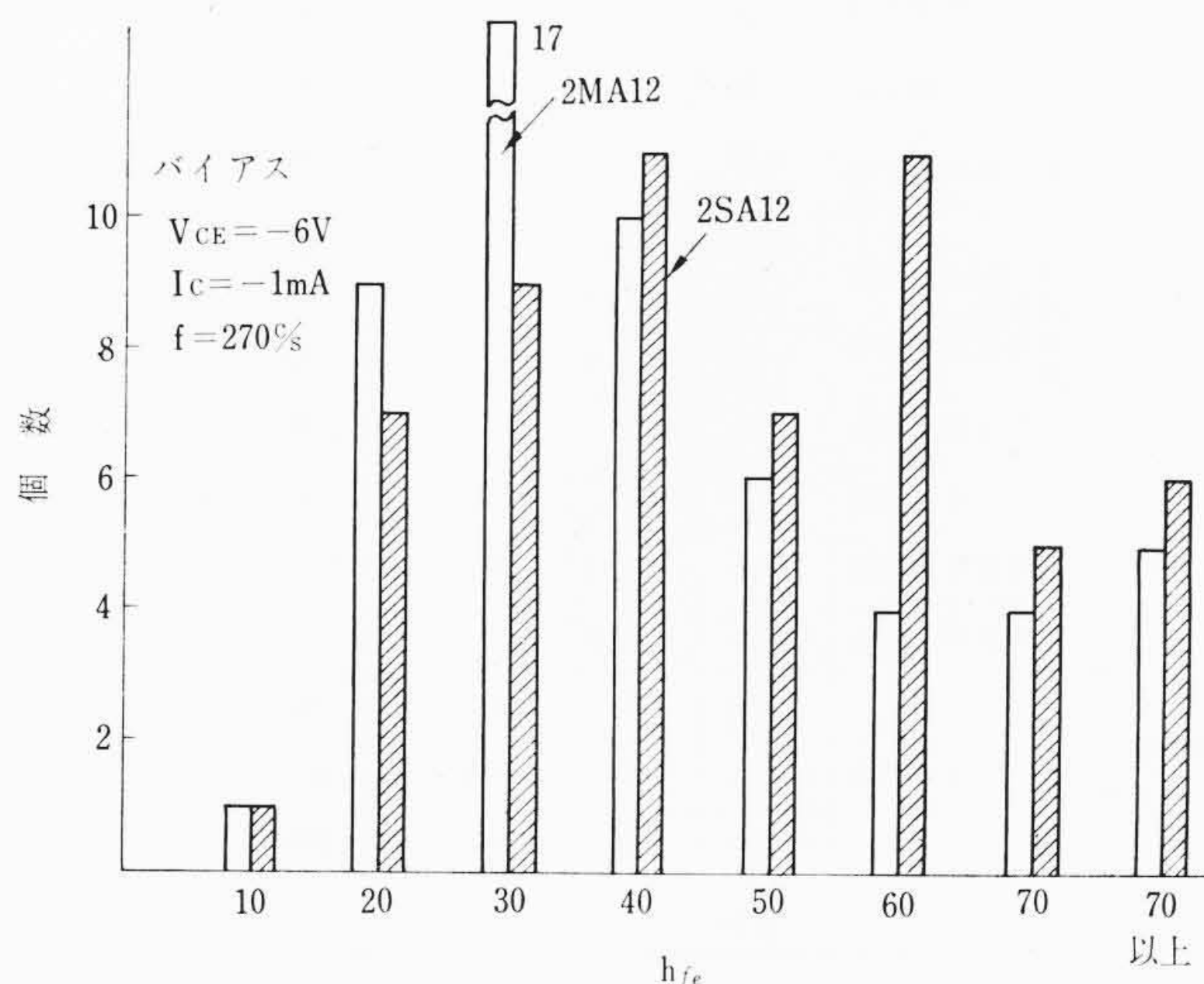
次に、通常行なわれているリングウェルド法で封止をし、リークテストを行なう。これによると気密度は $10^{-8} \sim 10^{-9} \text{ cc} \cdot \text{s} \cdot \text{atm}$ にすることができ、信頼度も向上する。このあと特性検査良品のリード線を所定の長さに切断し基板に組み立てる。最後に最終検査を行ない完成する。

2.3 ゴールドボンド形ダイオード

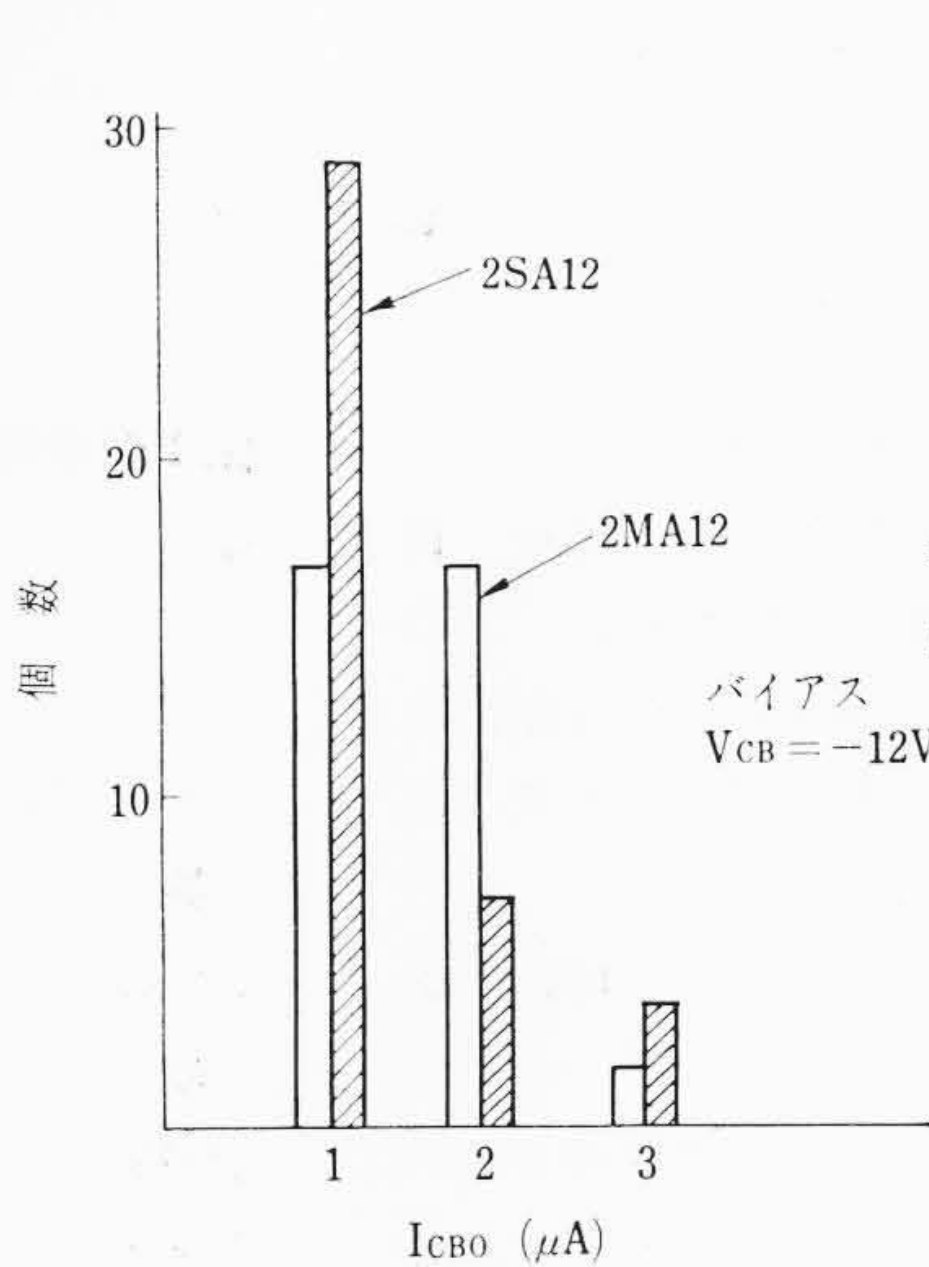
第6図はゴールドボンド形ダイオードの製造工程である。はじめ



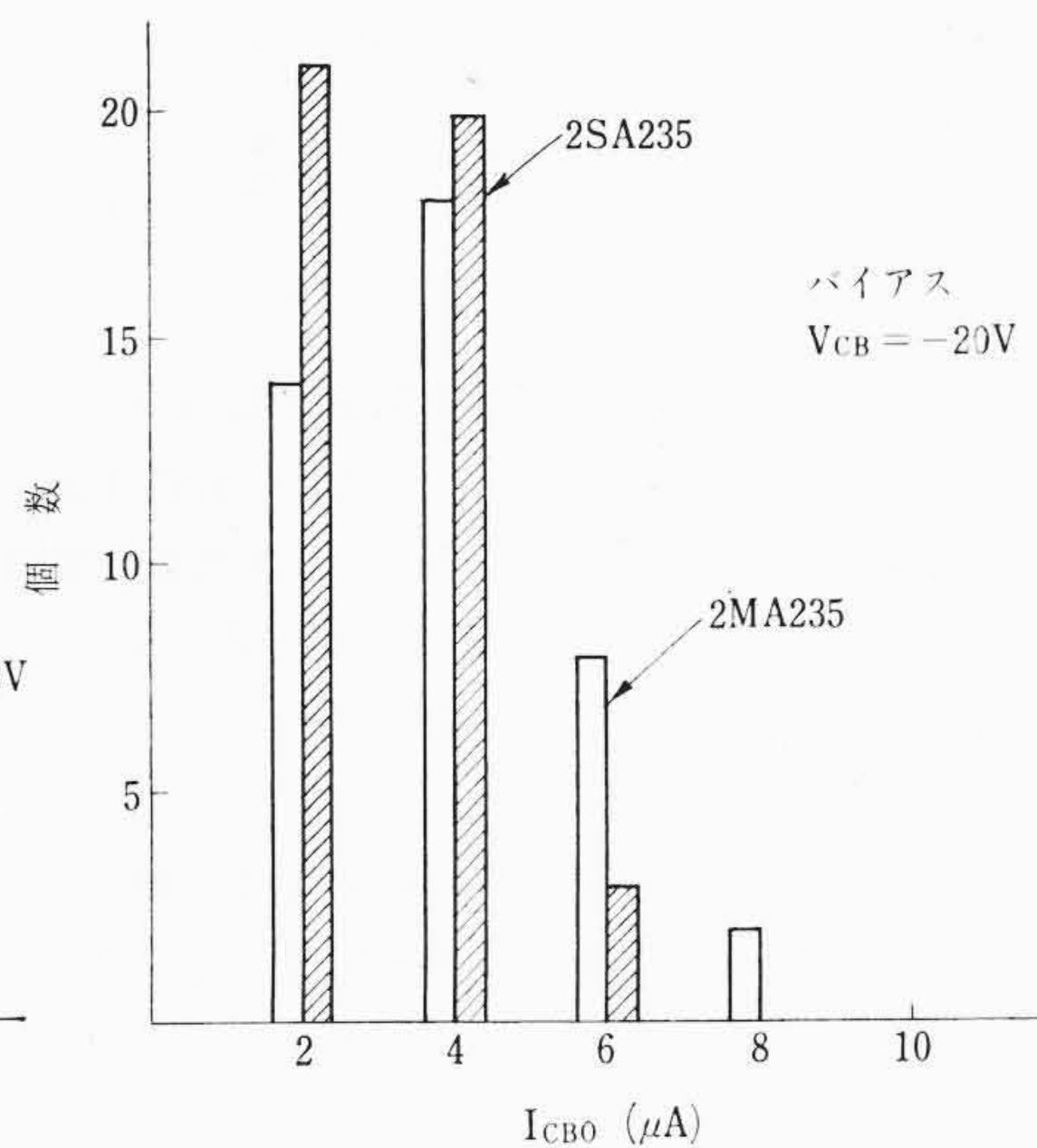
第7図 ゴールドボンド形ダイオード (H S 1001) フォーミング時間 (t)—静特性の関係



A. 小信号電流増幅率 (h_{fe})



B. コレクタ遮断電流 (I_{CBO})

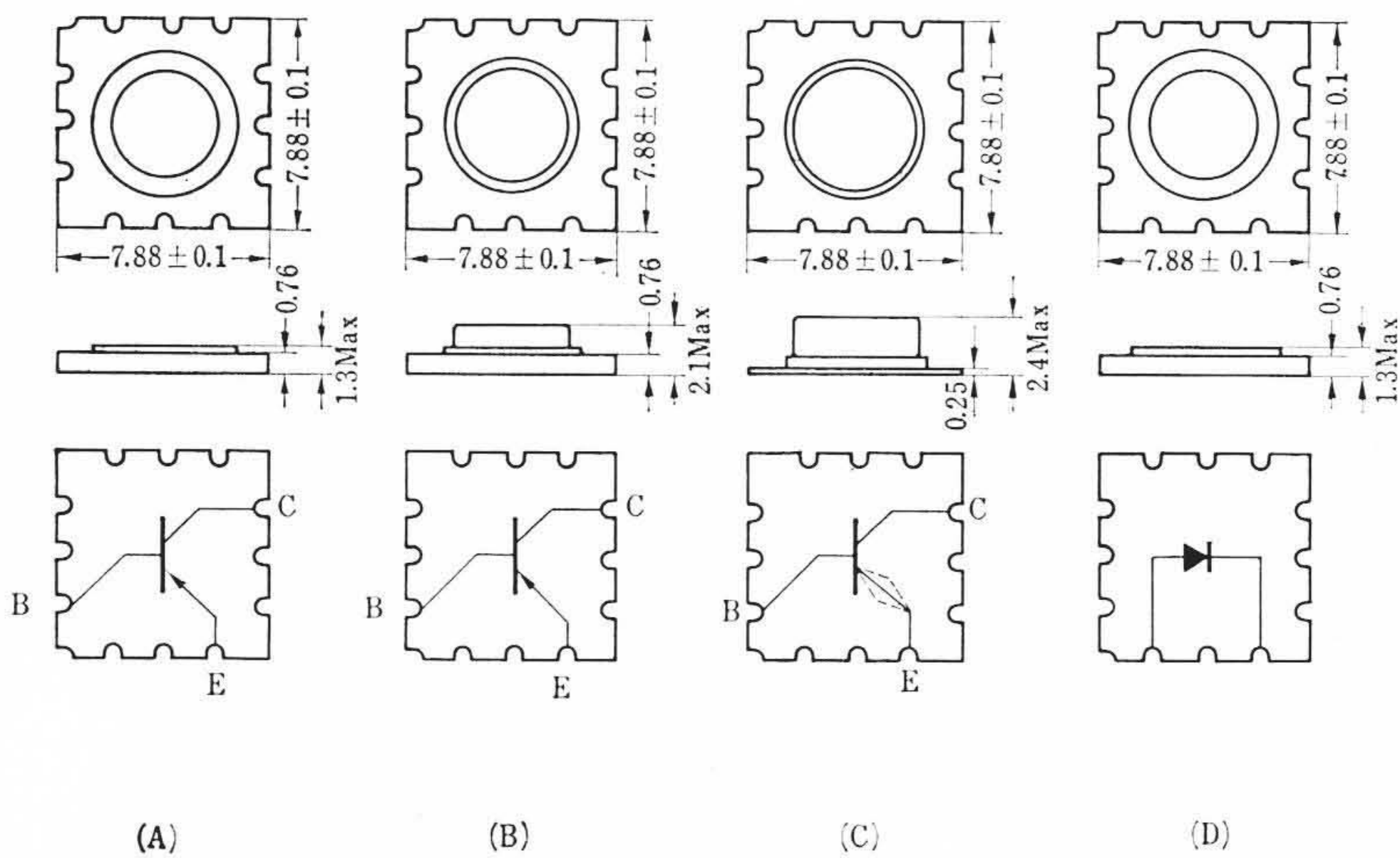


C. コレクタ遮断電流 (I_{CBO})

第9図 マイクロモジュールトランジスタと一般トランジスタとの特性比較

N形Ge単結晶ペレット (比抵抗 $4 \sim 7 \Omega \cdot \text{cm}$) をセラミック基板にハンダ付けしオーミックコンタクトを作る。

第 1 表 マイクロモジュールトランジスタダイオード一覧表
A. 外形寸法



B マイクロモジュールトランジスタ特性一覧表

形 名	構 造	用 途	最 大 定 格 (T _a =25℃)							電 気 的 特 性 (T _a =25℃)								外形寸法	摘 要
			BV _{CBO} (V)	BV _{EBO} (V)	I _C (mA)	I _E (mA)	P _C (mW)	T _j (℃)	動 作 点		h _{fe}	NF (dB)	f _{ab} (Mc)	C _{ob} (pF)	γ _{bb'} (Ω)	I _{CBO} max (μA)	V _{CB} (V)		
									V _{CE} (V)	I _E (mA)									
2 MA 12	PNP 合金接合	中波中間周波増幅	−16	− 0.5	− 15	15	80	85	−6	1	60		7	10	90	− 6	−12	A	
2 MA 15		中波周波数変換	−16	− 0.5	− 15	15	80	85	−6	1	60		10	10	110	− 6	−12	A	
2 MA 17		短波周波数変換	−12	−12	− 15	15	80	85	−6	1	100		15	10	110	− 7	−12	A	
2 MA 18		スイッチング用	−21	−12	− 15	15	80	85	−6	1	140		15	10	110	− 7	−21	A	
2 MA234	PNP ベース拡散	10.7Mc 中間周波増幅	−20	− 0.5	− 10	10	80	85	−6	1	60		110	2.3	80	−20	−20	C	
2 MA235		超短波高周波増幅	−20	− 0.5	− 10	10	80	85	−6	1	80		125	2.3	60	−20	−20	C	
2 MB 75	PNP 合金接合	低周波電圧増幅	−25	−12	− 70	70	80	85	−6	1	45	7	1.0			−14	−30	B	
2 MB 77		低周波電力増幅	−25	−12	− 70	70	80	85	−6	1	60		1.0			−14	−30	B	
2 MB155		低周波電圧増幅	−16	− 2.5	−300	300	80	85	−4	1	35	7	1.0			−14	−12	B	
2 MB156		低周波電力増幅	−16	− 2.5	−300	300	80	85	−4	1	50		1.0			−14	−12	B	
2 MC150	NPN ベース拡散	高 周 波 増 幅	20	5	100	−100	200	175	6	−10	50		100	7	70	10	20	C	
2 MC151			40	5	100	−100	200	175	6	−10	50		130	7	70	10	40	C	
2 MC152			60	5	100	−100	200	175	6	−10	50		160	7	55	10	60	C	

C マイクロモジュールダイオード特性一覧表

形 名	構 造	用 途	最 大 定 格 (25℃)					電 気 的 特 性 (T _a =25℃)						外形寸法
			E ₀ (V)	I _p (mA)	I ₀ (mA)	I _s (mA)	T _a (℃)	LI _b max (μA)	E _b (V)	I _F min (mA)	E _F (V)	C _α (pF)	E _B (V)	
HS1001	ゴールドボン ド形ゲルマニウム	一 般 用	-60	180	60	250	70	- 30	-10	5	1	1.5	-1	D
1MS77		計 算 機 通 信 工 業 用	-60	180	60	250	70	-250	-60	25	1	1.5	-1	D
1MS78			-40	240	80	350	70	-200	-40	50	1	1.5	-1	D

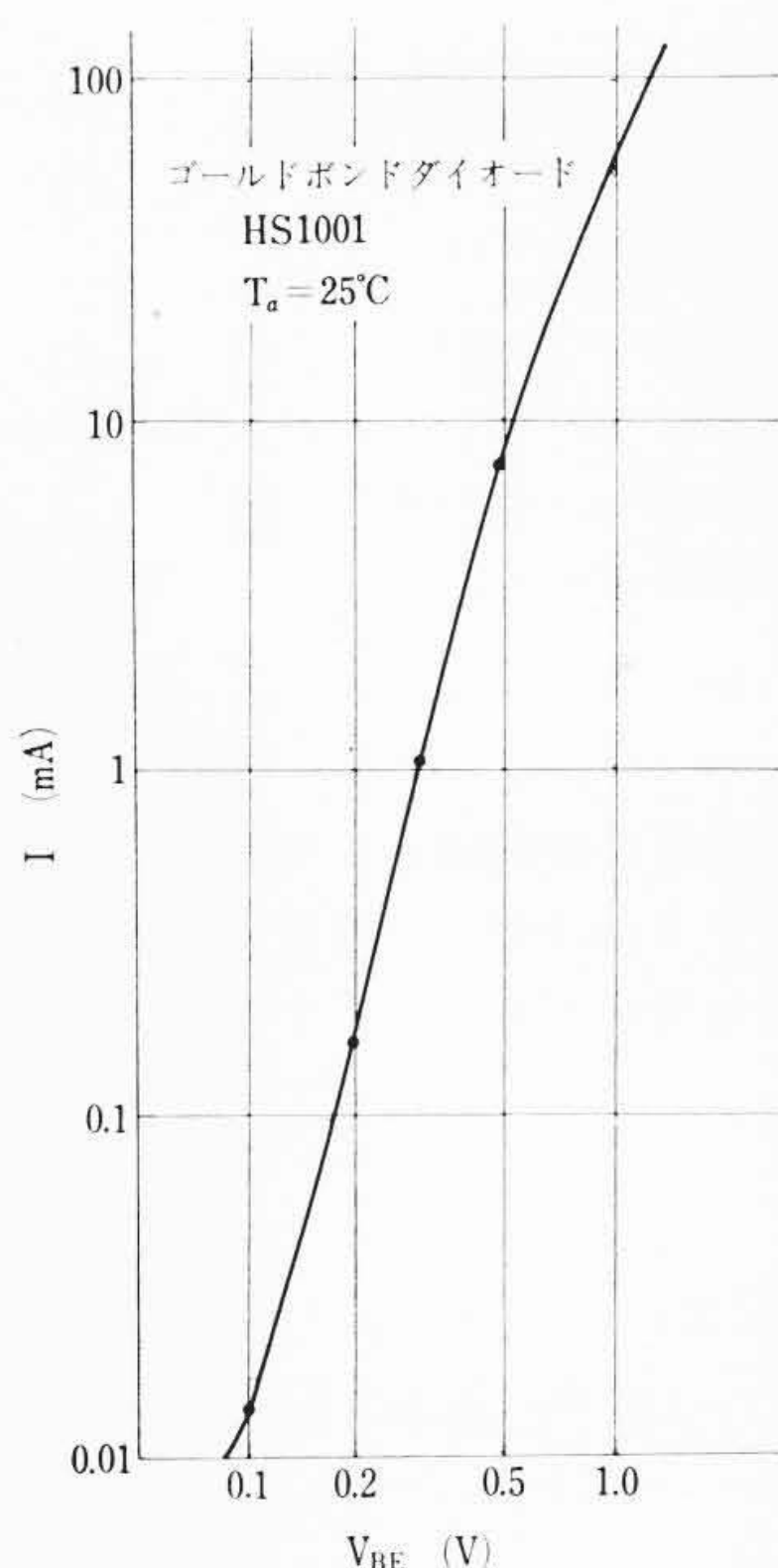
ハンダ付けは還元性ふん囲気 (H_2 ガス) 中 280°C で行なう。
次に Ge 単結晶ペレットに Au-Ga 線 (Ga2~3%) を接触させ、直流 100V の電圧パルス を 50Ω の直列抵抗を通して印加する。これをフォーミングと称する。このときペレット-Au 線間の接触点を流れる電流により、Au 線がペレットに溶着し PN 接合が形成される。
フォーミング時間と静特性の関係は第 7 図のとおりで、時間が長くなると順方向電流、逆方向電流ともに増加する。
300 ms 以上では Au 線が溶断し、また 70 ms 以下では金線がペレットと溶着しにくくなり、溶着しても Au 線を折り曲げるときに離脱するものが多くなる。したがって本実験から要求特性に応じ 100~200ms の間でフォーミングを行なうとよいことがわかる。
フォーミングを終えたものは金線を折り曲げて第 8 図のように超音波溶接法で Au 線-Cu 板を接続する。
このあとシリコンオイルで接合表面をうすく被覆する。封止方

法は合金接合形マイクロモジュールトランジスタの場合と同じである。

3. 試 作 結 果

3.1 電 気 的 特 性

第 1 表は試作されたマイクロモジュールトランジスタの寸法および代表的特性をまとめたものである。
最大定格は 2 MC 150 系の最大消費電力 P_c を除きすべて一般品 (形名中 M を S にかえると対応する一般品名となる。たとえばマイクロモジュール品 2 MA 12 は、一般品 2 SA 12 と同等) と同一の値でマイクロモジュール化したことによる最大定格の変動はほとんどない。
電気的特性中高周波特性すなわちベース遮断周波数 f_a 、コレクタ容量 C_c およびベース抵抗 $r_{bb'}$ についても同様本質的な相違はなく、すべて製造条件のばらつき範囲内で一般品と一致する。しかし静特

第10図 順方向電圧 (V_{BE})—電流 (I) の関係

性については多少分布上の差異がみられる。第9図Aは2MA 12の小信号電流増幅率 h_{fe} の分布を2SA 12と比較したものである。2MA 12はほぼ10%程度電流増幅率 h_{fe} が小さくなっている。

第9図B, Cはコレクタ遮断電流 I_{CBO} を2MA 12と2SA 12および2MA 235と2SA 235について比較したものであるが、いずれの場合もマイクロモジュール品の I_{CBO} の分布は大きいほうへずれている。

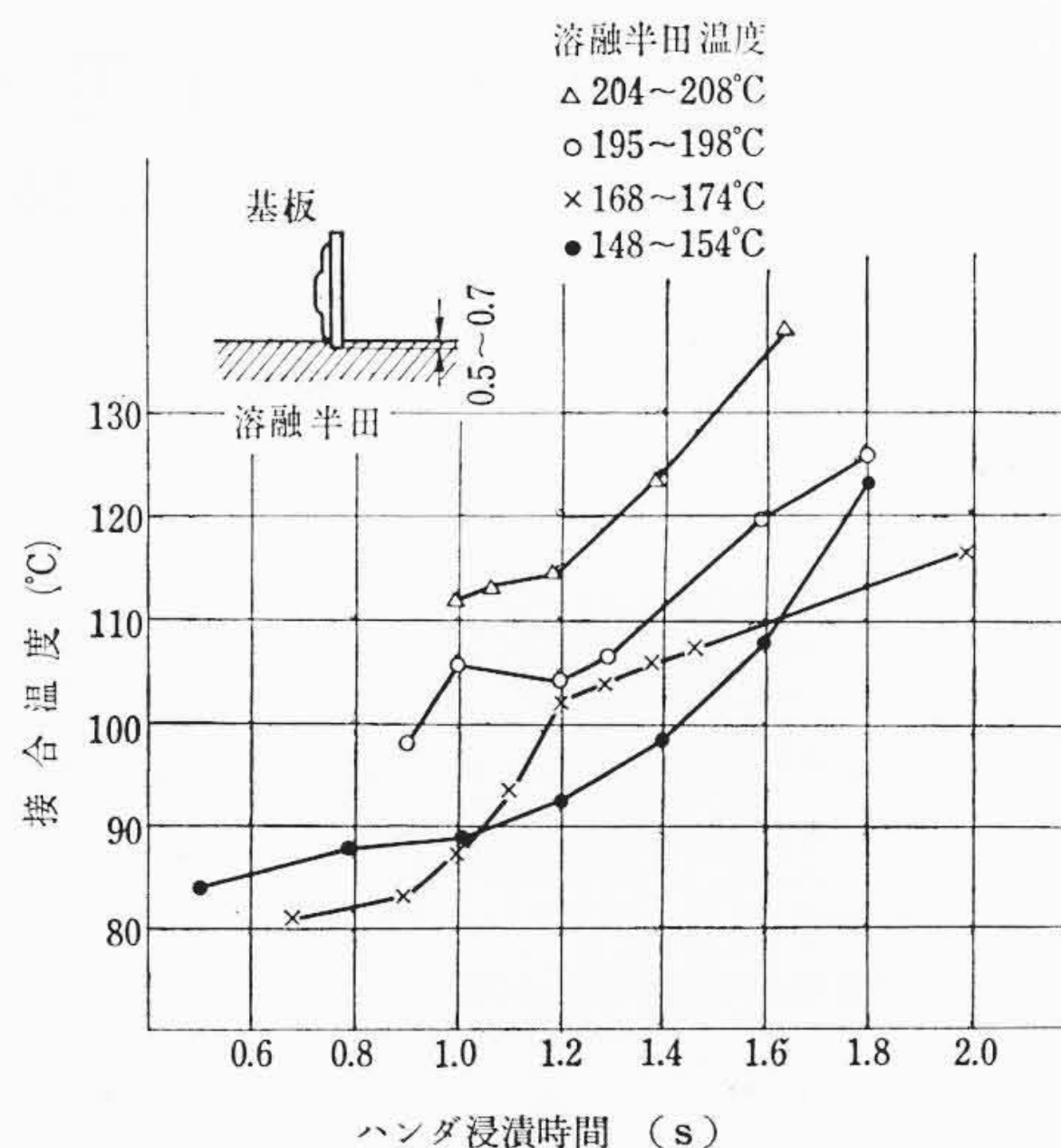
これらの原因はマイクロモジュールトランジスタでは製造上熱処理の時間が長く、接合表面での小数キャリア再結合速度が速くなっているためと解釈される。

第10図はゴールドボンド形ダイオード HS 1001 の順方向電圧—電流の関係をとったもので、ゴールドボンド形ダイオード一般品 (1S77 など) とほとんどかわりない。

3.2 ブロック組立の際のマイクロモジュール半導体素子の温度上昇

マイクロモジュール半導体素子は比較的熱伝導のよいアルミナ基板に組み立てられているため、最大消費電力は必ずしも低下しない。

しかし逆に外部からの熱による素子の温度上昇はかなり速い。第11図は浸漬法によるハンダ付けの際のトランジスタの接合温度上昇を示したものである。内部トランジスタ素子を破壊せずに組み立てを行なうためにはハンダ温度205°Cの場合1秒以内、150°Cの場合1.5秒以内で行なわなければならない。



第11図 ハンダ付けによるマイクロモジュールトランジスタの温度上昇

4. 結 言

マイクロモジュールトランジスタ、ダイオードはそれに相当する一般品の最大定格、電気的特性とほとんど同一の特性を有する。

製作方法を要約すると次のとおりである。

(1) 合金接合形トランジスタは超音波溶接法で基板に組み立て、高周波加熱法で封止を行なう。この場合の気密度は 1×10^{-8} cc/s·atm が限界に近い。

(2) メサ形トランジスタは従来トランジスタと同一製法でパンケーキ構造 (TO-46 形) に組み立て、封止完成品をセラミック標準基板と組み合わせマイクロモジュールトランジスタとする。

気密度は $10^{-8} \sim 10^{-9}$ cc/s·atm 程度であり、信頼度は向上する。

(3) ダイオードはゴールドボンド形で Au 線を Ge 単結晶ペレットに電気溶着したのち、超音波溶接法で組み立て高周波加熱法で封止する。

(4) マイクロモジュールブロック組み立ての際、ハンダ付けの熱によるトランジスタ素子の破壊を防ぐために、ハンダ付けは 1~1.5 秒以内に行なわなければならない。

終わりに本試作にあたり終始ご指導いただいた日立製作所武蔵工場河島部長、桑田部長、阿部課長ならびに直接実験に協力くださった吾妻孝氏、清水明夫氏に深謝する。

参 考 文 献

- (1) H. G. Scheffer, W. H. Liederback: RCA Report No. ST-1837 (Dec. 1962)
- (2) B. E. Noltingk: Welding and Metal Fabric, 8-7, 260 (1960)
- (3) W. C. Potthoff: Welding Journal, 39-2, 131 (1960)