

最近の汎用サイリスタ，ダイオードとその応用

Recent Hitachi General-use Thyristor, Diode and Their Applications

佐々木 威*
Takashi Sasaki

池田 裕彦**
Yasuhiko Ikeda

富田 滋男*
Shigeo Tomita

要 旨

汎用サイリスタ，ダイオードに要求される条件に高信頼度ならびに低価格ということがある。そのためシリコンペレット自身に安定化被膜をかぶせ従来のような気密シールに封入せずプラスチックモールドなど簡単な構造を採用した素子が次々と製品化された。安定化被膜としてガラスおよび SiO_2 と Ta_2O_5 の二重被膜が適用された。これらの膜ならびにこれの適用素子について述べた。またこれら素子のうちガラスダイオード，プラスチックサイリスタについてその用途，適用法の詳細を述べた。

1. 緒 言

家庭電気品，自動車部品のように大量生産を基盤とした商品の半導体化はめざましいものがある。1A以上のサイリスタ，ダイオードの生産量の大部分はこれら用途向けのものが占めているといっさしつかえないであろう。この種用途に使われる素子に要求されることはまず高い信頼性と低廉な価格であろう。この二点が新しい用途への適用のみならず，従来の機械的な接点を半導体に置きかえてゆくための指標となっていることは疑いない。

サイリスタ，ダイオードの小形比，低価格化の方向はハーメチックシールの廃止，プラスチックシール化ということは周知の事柄であり内外メーカーがいっせいにこの種新製品を発表し量産にのりだしている。しかしながらこれらプラスチックシール素子の問題点はその信頼性なかつく耐湿性が大きな問題であり，その製造設備が従来のキャン封じ形と全く異なることと合わせて現状はまだキャン封じ形がプラスチック形に全面切換えするまでに至っていない。

整流作用，スイッチング作用を行なうシリコンペレットは著しくふん囲気に敏感である。水蒸気や酸素が pn 接合の露出しているペレット表面に吸着し特性を変化させ，ケースリークに基づく特性劣化は半導体素子の劣化の大きな原因となっていることは周知のとおりである。高信頼度を確保するため精巧な気密シール中にペレットを封入するのが常であり，このシーリング関係のコストが素子全体に対し大きな比重を占めていた。この気密シール溶接構造を単純なプラスチックモールド方式におきかえることにより大幅な価格低減が可能となる。

この種プラスチックシールの場合，金属リードとプラスチックの接着部は熱膨張係数の相違もあっていわゆる気密的な封じは不可能であり，プラスチック自身がまた透湿性を有している。ペレットに特別な処理なしにプラスチックモールドした素子は逆耐電圧など初期特性はきわめて優秀であるが，高温高湿中で動作させると時間の経過とともに特性は劣化してくるのが普通である。すなわちシリコンペレット自身の表面になんらかの安定化処理を施し，ペレット自身が耐湿性を有するようにせぬと本質的には高信頼性を確保することが困難である。この種安定化処理は近年急速に研究が進み，燐ガラスによるプレーナ技術⁽¹⁾，ある種の金属酸化物を含む硼硅酸ガラス⁽²⁾，鉛ガラス⁽³⁾，シリコンナイトライド⁽⁴⁾などが発表され，ペレット寸法が小さくまた耐圧も比較的低いトランジスタやICに大幅に実用化⁽⁵⁾されている。

電流容量が数アンペア級のいわゆる汎用ダイオード，サイリスタ

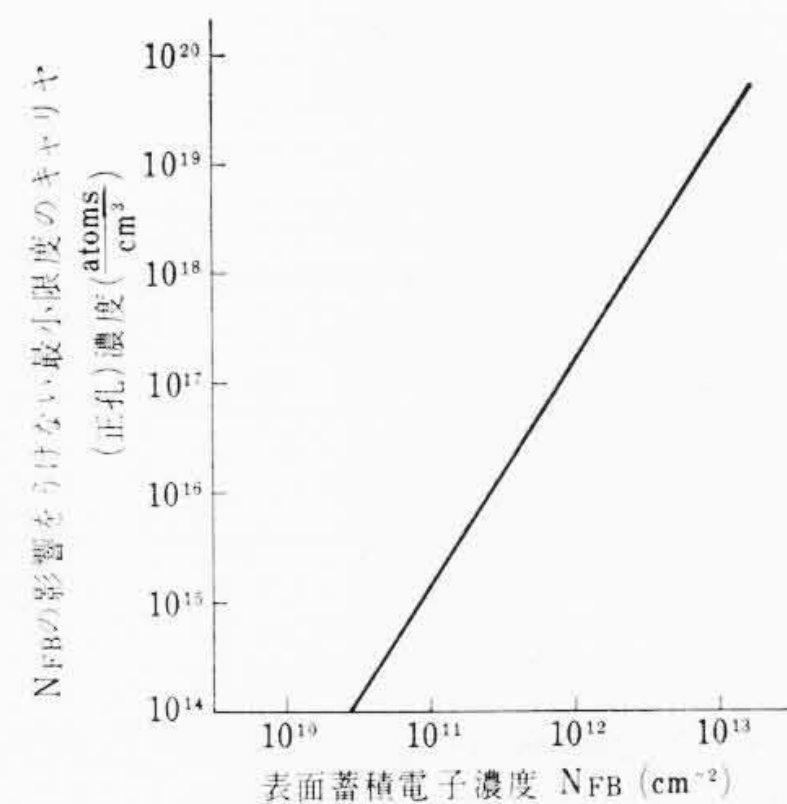


図1 N_{FB} とその影響が阻止できる最小キャリア濃度の関係

には 400V，600V といったかなり高い電圧が要求されること，またペレットの面積も大きく安定化膜とシリコンの熱膨張係数の差により膜が割れやすいといったいろいろ困難な問題があった。これらに取り組んだ結果，従来の気密シールを全くとり去った新しい汎用素子としてガラスモールドによるリード形ダイオード， SiO_2 と Ta_2O_5 二重被膜によるプラスチックダイオード，サイリスタを完成した。これら素子はすでに量産されて1年以上を経過しており，実用上高い信頼性が確認された。以下これら素子の基本的な技術と応用について述べる。

2. 安定化被膜について

サイリスタ，ダイオードのペレット表面の安定化被膜に基本的に要求されることは

- (1) 高耐圧を得るための膜の清浄さと安定性
 - (2) 耐湿性を中心としたふん囲気に対する安定性
 - (3) 作業性 作業結果の再現性とリード線の取り付けやすさ
- といったことであろう。

膜の清浄さを示すひとつの尺度として表面電荷濃度 (N_{FB}) がある。これは被膜中のイオンや固定電荷によって，それと接するシリコンの表面に誘起される単位表面積あたりの電荷量を示すもので，正符号の場合は電子，負符号の場合は正孔を表わす。この値が大きいと母材シリコンの内部と表面でキャリア濃度が大幅に異なることになる。したがって素子の特性は主としてこれら表面の状態に依存するようになり，表面漏れ電流による逆電流の増大，表面部での局所的な電界集中による耐圧劣化など好ましくない結果を示すことになる。

耐圧の高い素子を得るには膜の N_{FB} はじゅうぶん低くなければならない。図1は N_{FB} (電子) とそれによって影響を受ける高抵抗層のキャリア濃度(正孔)の関係を示したもので，汎用素子のベースキャ

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所日立研究所

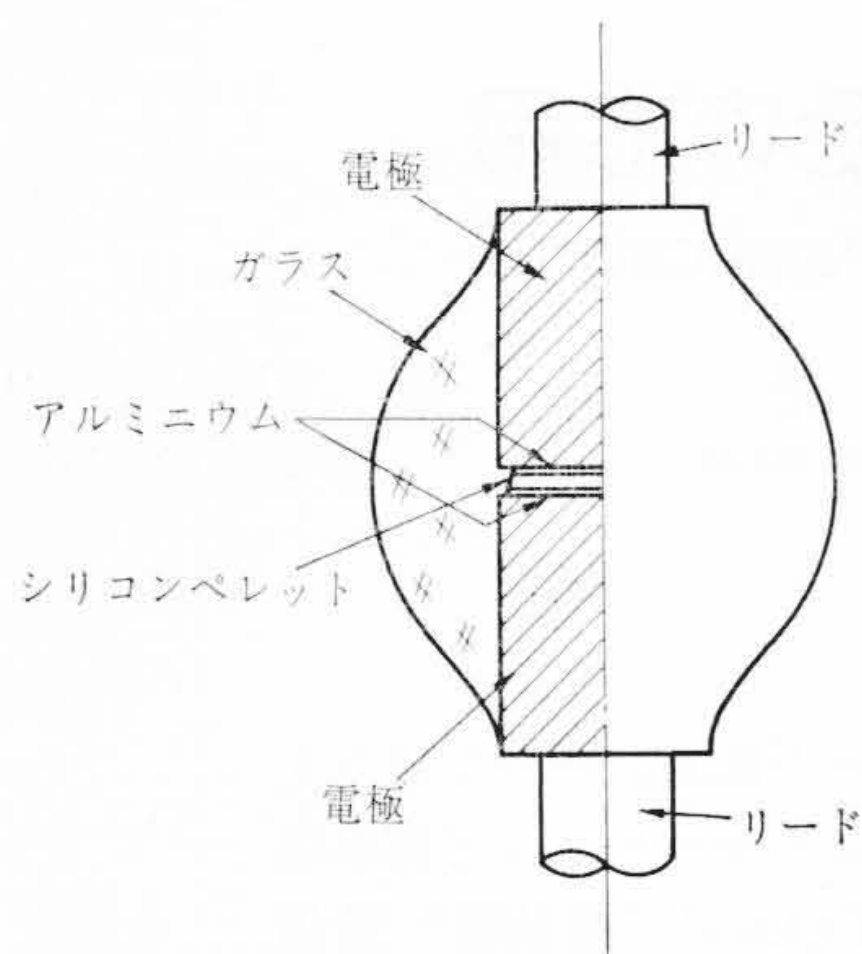


図2 ガラスダイオード構造

表1 ガラスの性質

線膨張係数 0~300°C×10 ⁻⁷ /°C	40
Fiber Softning Point (°C)	644
密度 (g/cm ³)	3.3
体積抵抗率 at 250°C (Ωcm)	10 ^{13.7}
誘電率 1MHz at 25°C	6.1

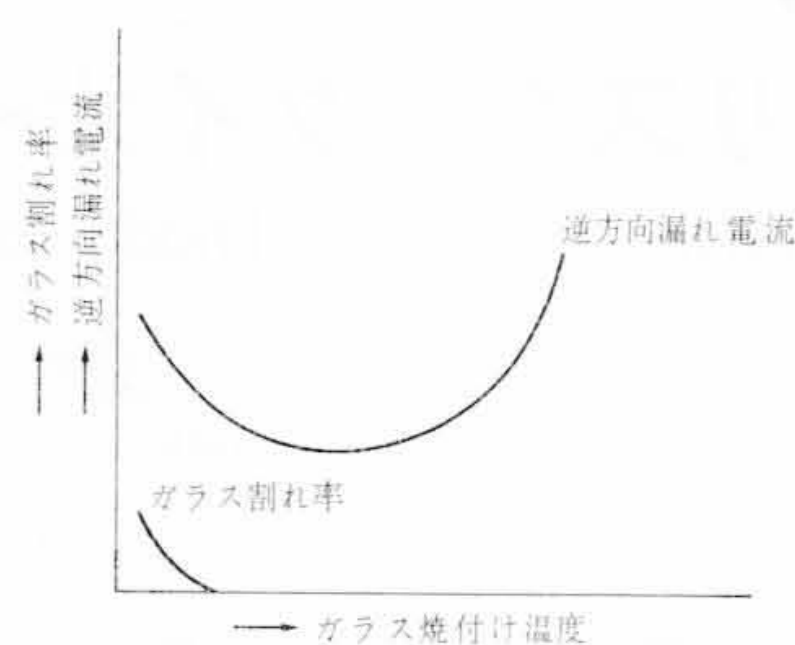


図3 ガラス焼付け温度の効果

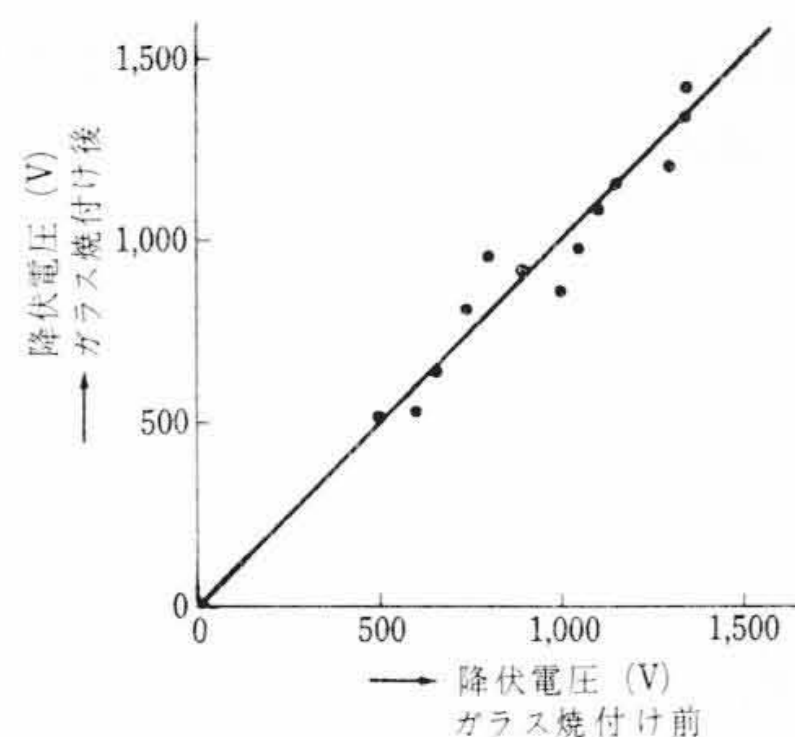


図4 ガラス焼付け前後の降伏電圧 (at 2 μA)

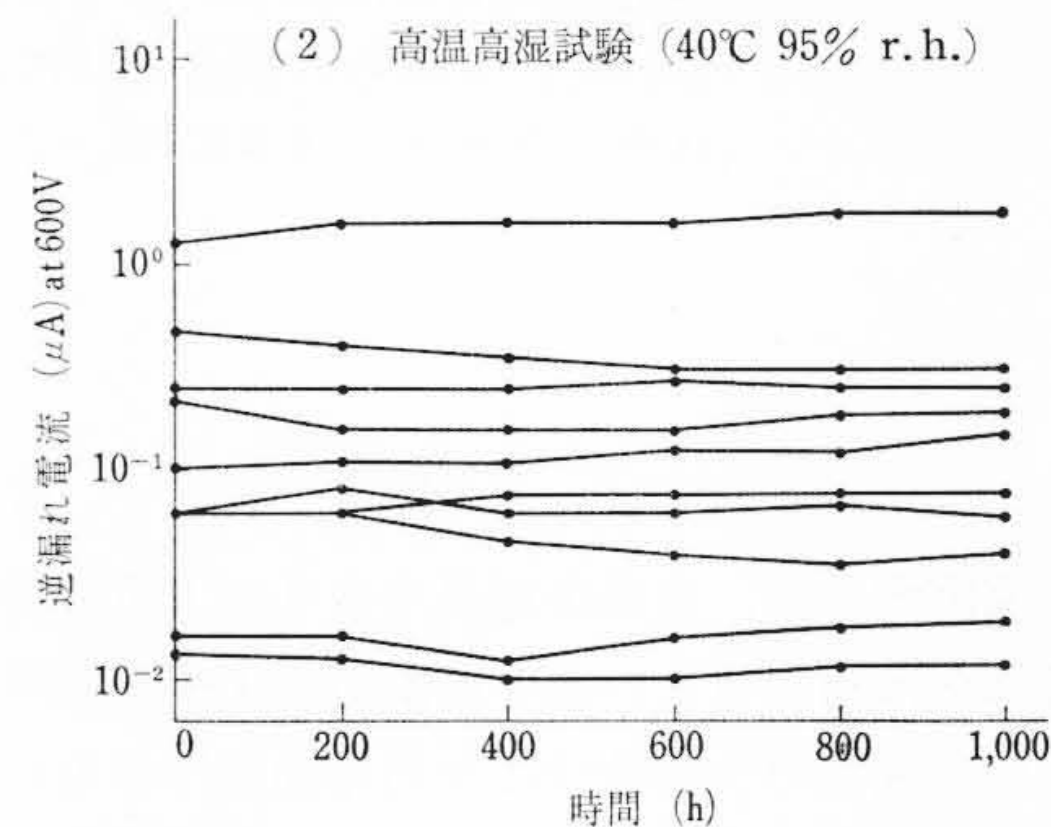
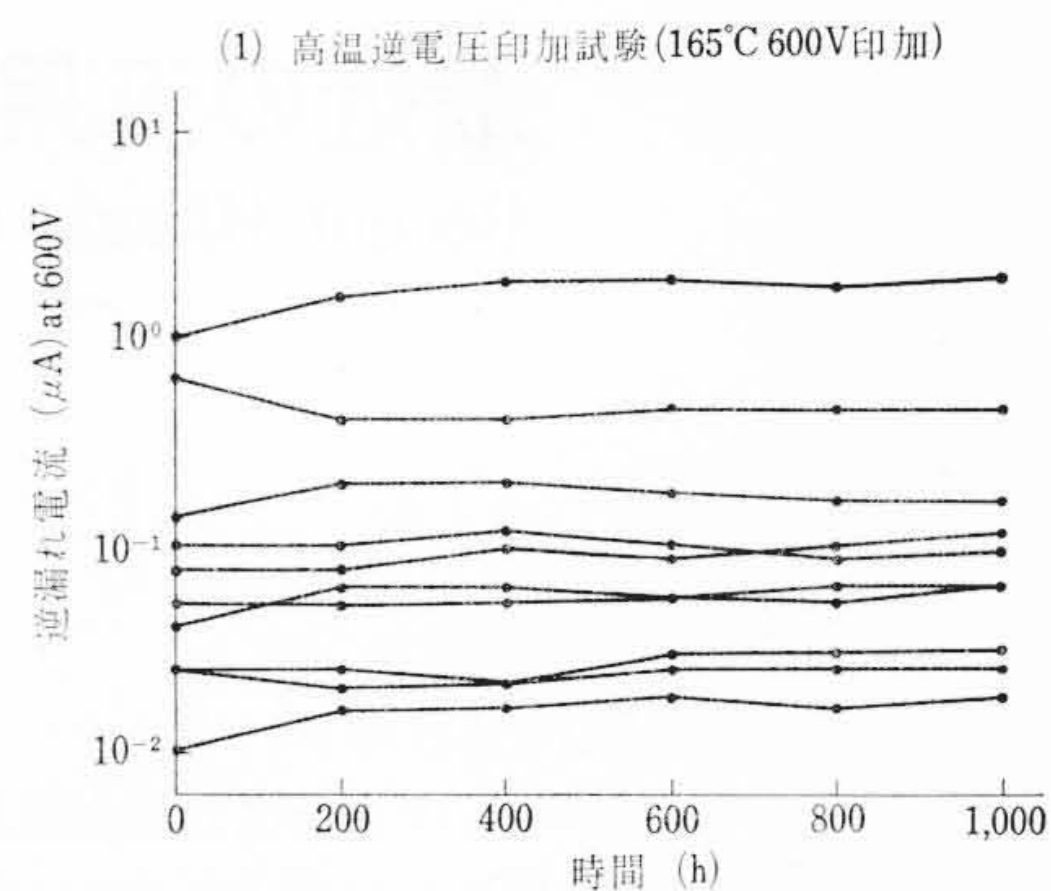


図5 ガラスダイオードの信頼度試験結果

リヤ濃度は $10^{14} \sim 10^{15}$ Atoms/cm³ であるから N_{FB} は 10^{11} cm⁻² 台以下でなければならない。

素子の逆方向に電圧がかかるときには膜中にも同時に高い電界がかかることになるが、この電界によって膜中の電荷が動けばそれによって N_{FB} も変化するため素子の特性は常に変化することになり、安定な特性の素子が得られなくなる。すなわち素子の動作中においても特性が変化することのない安定な膜が必要である。膜はまたどれかひとつがよいというものではなくて適用する素子の特性、構造によって、それに最適なものを選んで作業法を確立する必要があるであろう。

2.1 ガラス

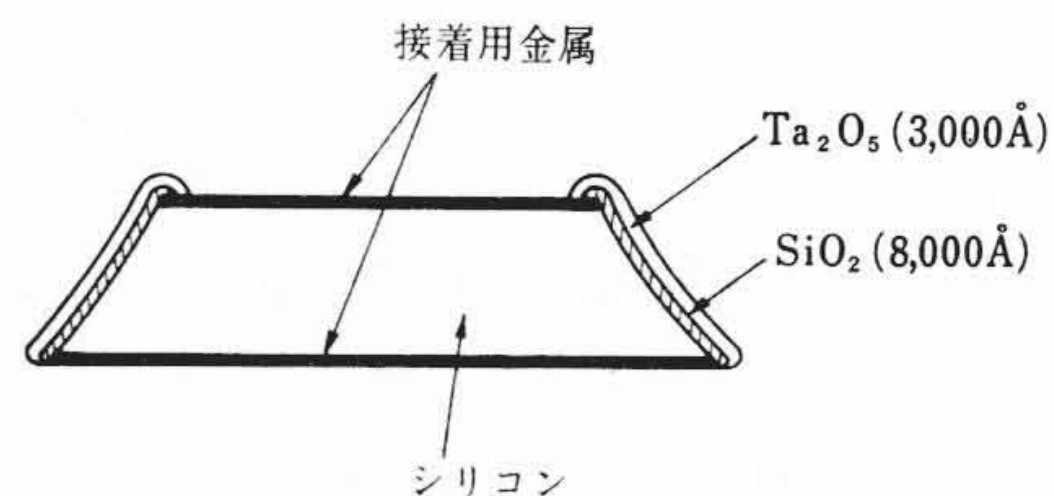
ペレット径 1.5 mm 級のダイオードに適用したもので、この構造を図2に示す。シリコンペレットの両側にシリコンと熱膨張係数の近似なW電極をAlで接着したのち、Wおよびシリコン表面に溶剤にといたガラス粉末を巻きつけ不活性ふん囲気中でガラスの軟化点以上に温度を上げて焼き付けるものである。ガラスはシリコン表面の安定化とリード線の保持、固定といった二つの役目を兼ねている。表1はモールドガラスの性質を示したものである。ガラスは素子の逆特性にきわめて敏感に影響し、熱膨張のわずかのズレによりガラスにクラックを生じた。ガラス焼付けの条件も性能に敏感であり、図3に示すようにガラスの焼付けには最適温度が存在する。幅広い最適条件を得ようガラスを適切に選び、作業条件を検討した結果、熱サイクルに強い、逆特性の安定な素子を得ることができた。

図4はガラス焼付け前後のなだれ電圧の変化を示したもので、1,000V 近いなだれ電圧がガラス焼付け後も維持されていることがわかる。このガラスの N_{FB} は焼付け条件によって大きな変化はなく 10^{10} cm⁻² のオーダーである。

図5は高温逆電圧印加試験および高温高湿試験における逆流の変化を示したものである。この試験は一種の加速試験であり電界によって膜(ガラス)の変化は全くない。また耐湿性もきわめてすぐれているということができよう。

2.2 SiO₂, Ta₂O₅ 二重被膜

SiO₂, Ta₂O₅ の二重被膜は綿密な基礎研究および素子への適用技

図6 SiO₂, Ta₂O₅ 二重被膜ペレットの構造

術の開発ののち1年有余にわたる慎重な実用化試験を経たのち昭和44年初めから量産を開始したもので、全く独自の新しい技術に基づいた安定な表面処理被膜である。これははんだ付け用の金属メッキをしたままその機能を失わせることなく、ごく低い温度で素子に適用できるという大きな利点を有している。

この膜は2~20A級のダイオード、サイリスタに適用し好成績を得ている。この構造は図6に示すように電界強度を低減するために端面を斜めにカットしたペレットの表面にSiO₂をかぶせ、その上にさらにTa₂O₅を重ねたものである。SiO₂は単独ではシリコンペレットの特性安定化に効果があるが耐湿性のよくないことがよく知られている。Ta₂O₅は耐薬品性にすぐれ耐湿性は抜群に良いが、シリコンへ直接つけると逆特性があまりよくない。SiO₂とTa₂O₅の二重被膜は両者の長が重なり合い、きわめて特性がよく耐湿性に富んだ膜が得られる。

SiO₂はC.V.D. (Chemical Vapour Deposition) として知られる図7のような方法、Ta₂O₅は図8に示すような反応性スパッタリング(Reactive Sputtering)によって付着させる。

図9は10A級ダイオードにこの処理を適用した際の膜づけプロセス中および冷却ベースへ取り付けるとき(マウント)の逆流の変化を示したものである。図10はこれの信頼度試験の結果である。製造工程で逆特性は安定しており、電界、湿度による逆特性の劣化は全くみられず気密シールなしでも高い信頼度を確認した。

この処理はサイリスタにも適用可能である。2A級のサイリスタに適したものでは図11に示すように一度プレーナ技術で接合を作

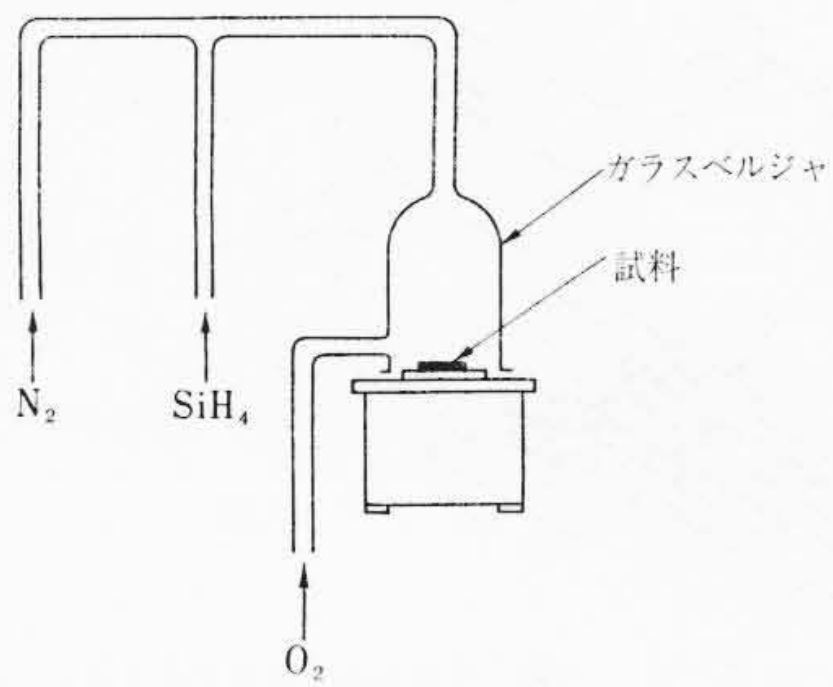


図7 気相反応(C.V.D.)装置

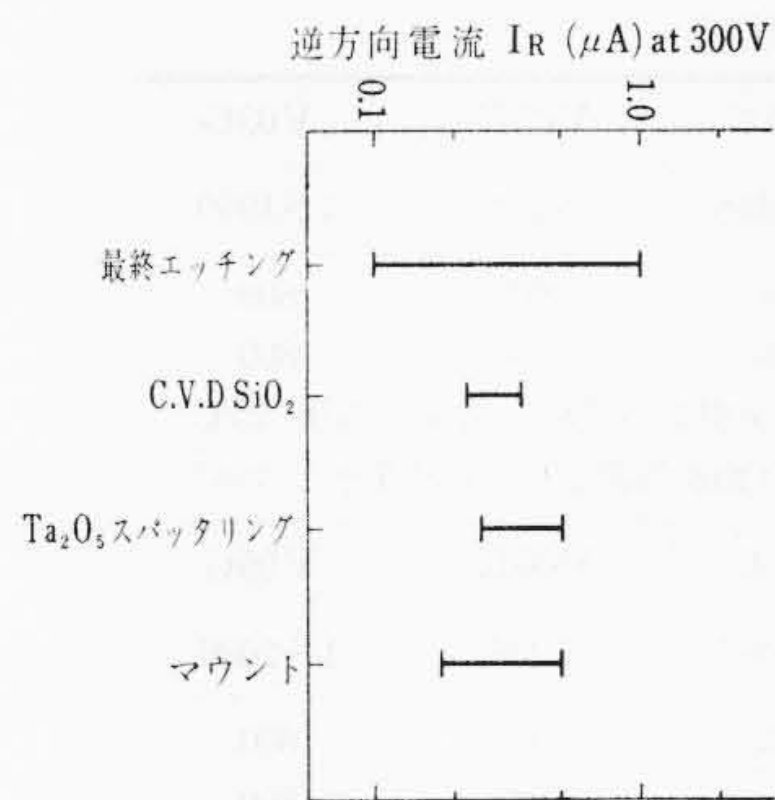
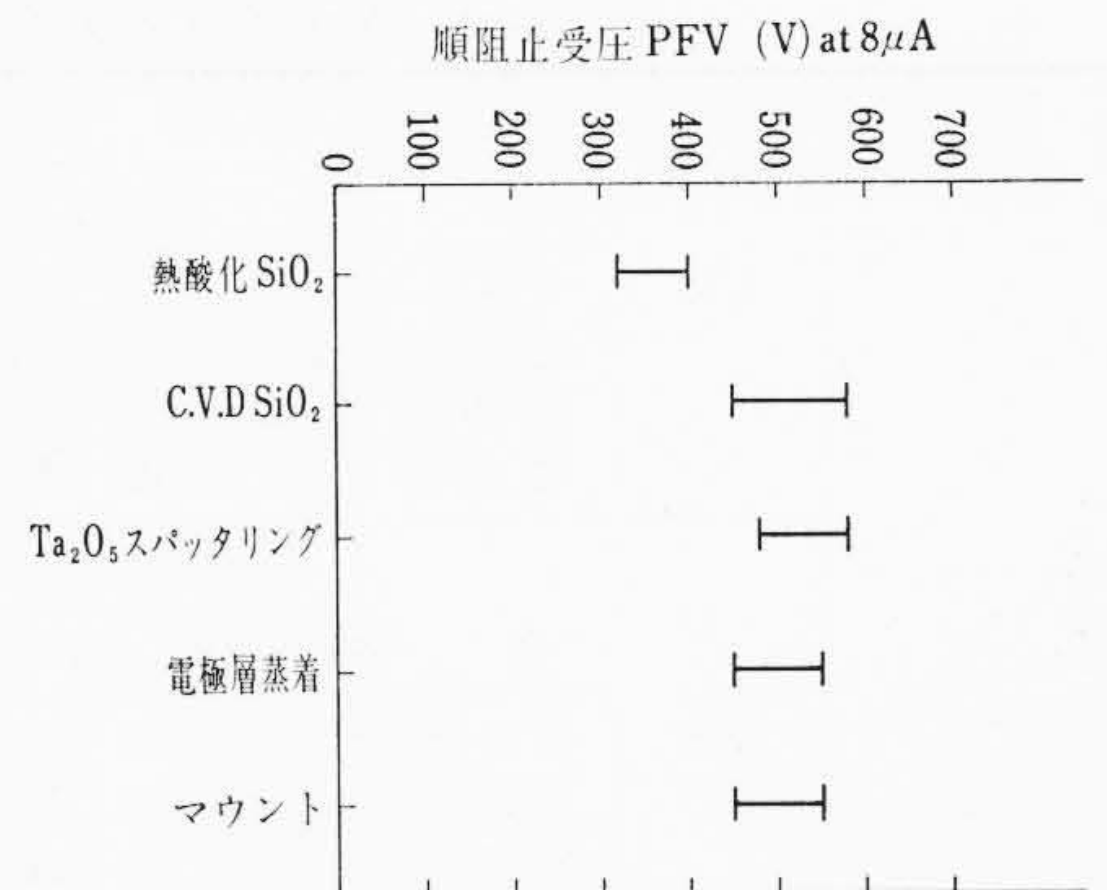
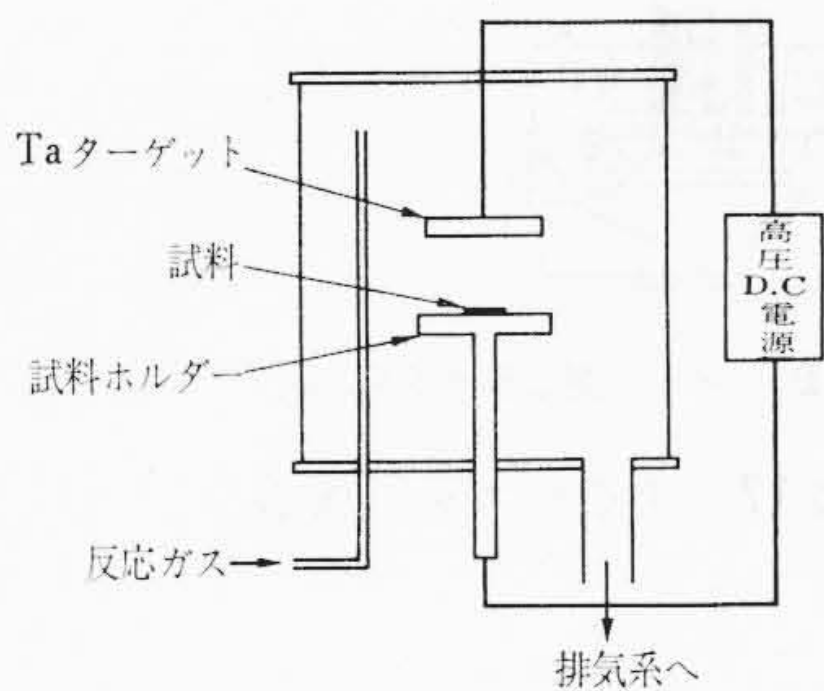
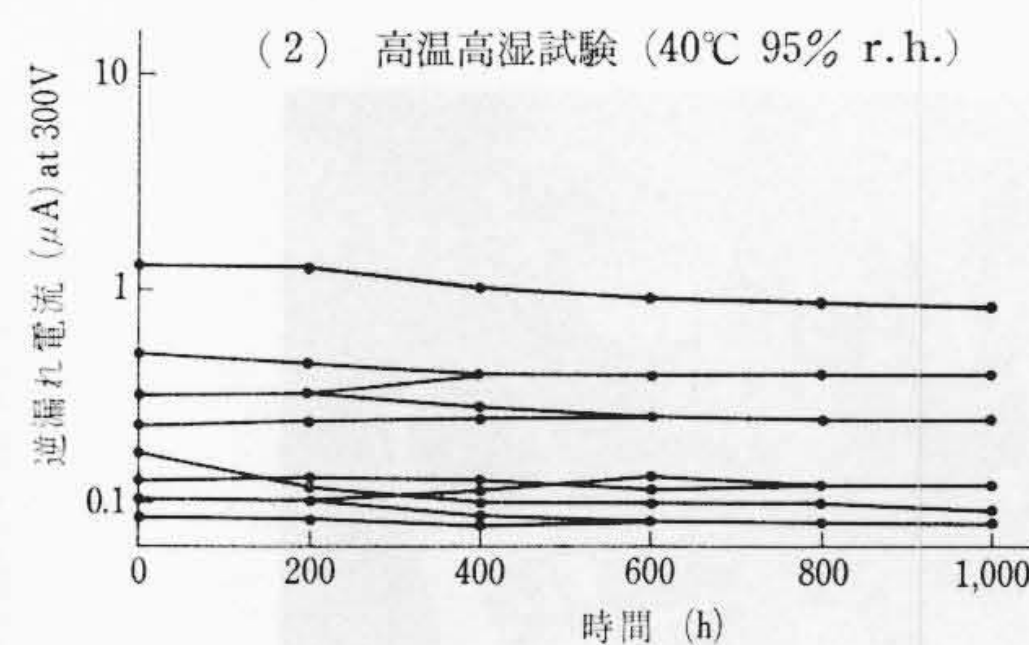
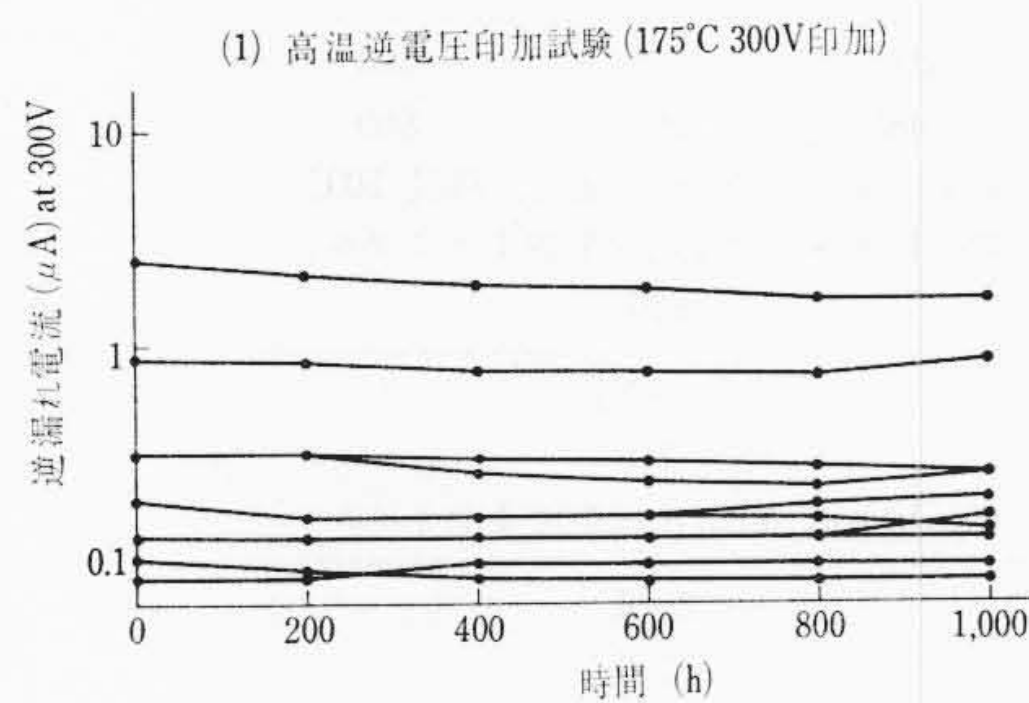
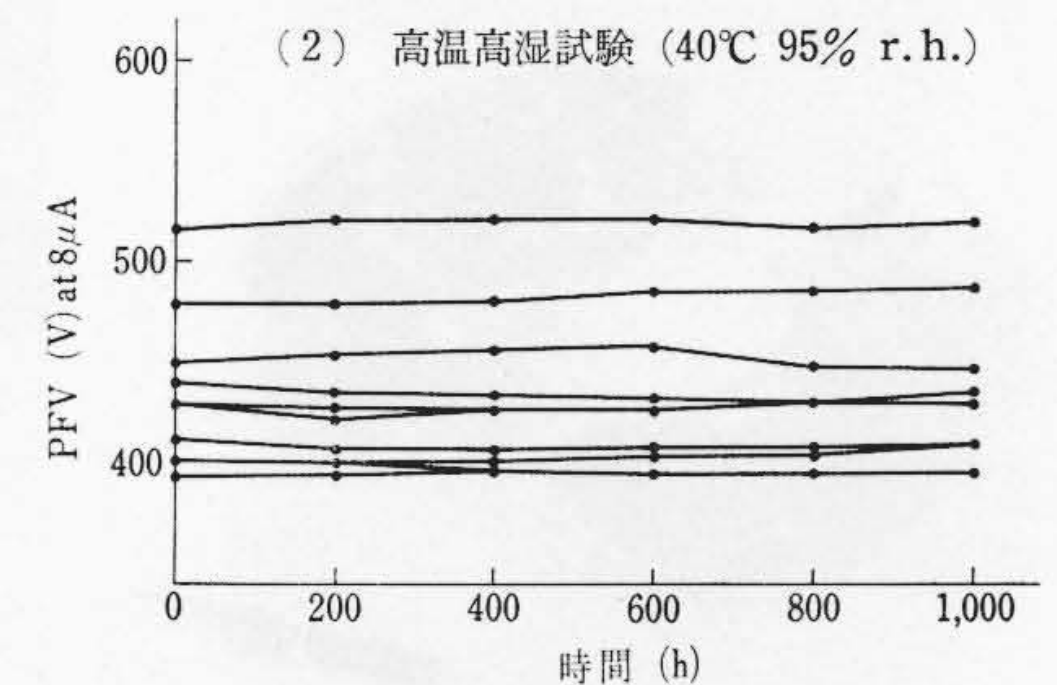
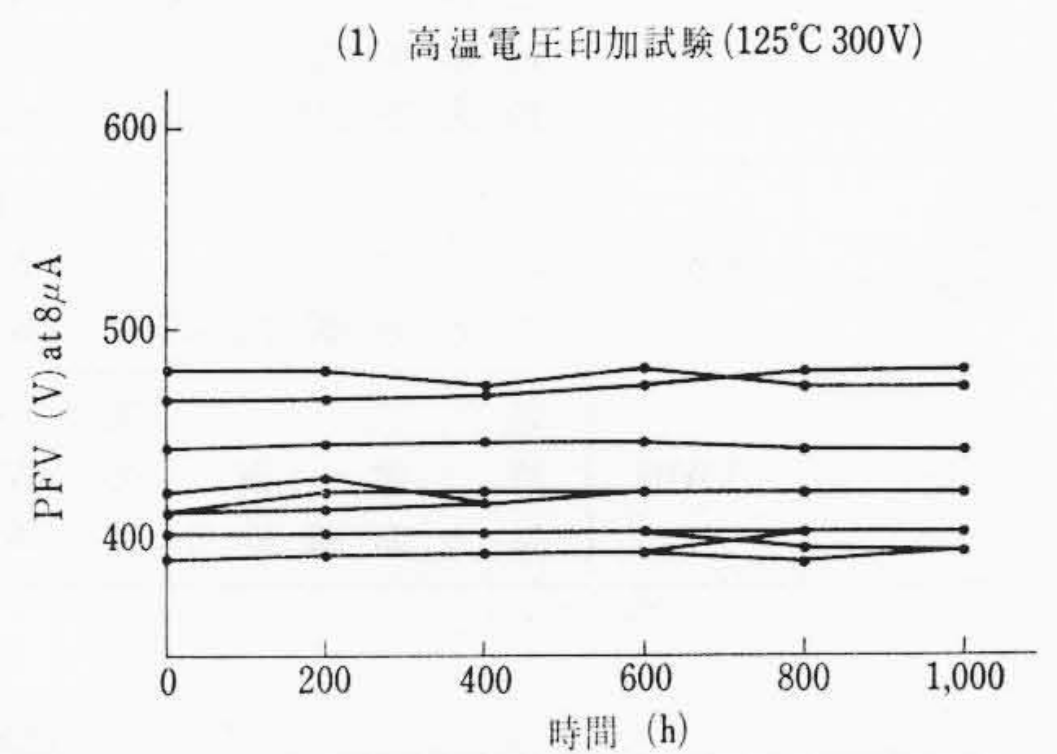
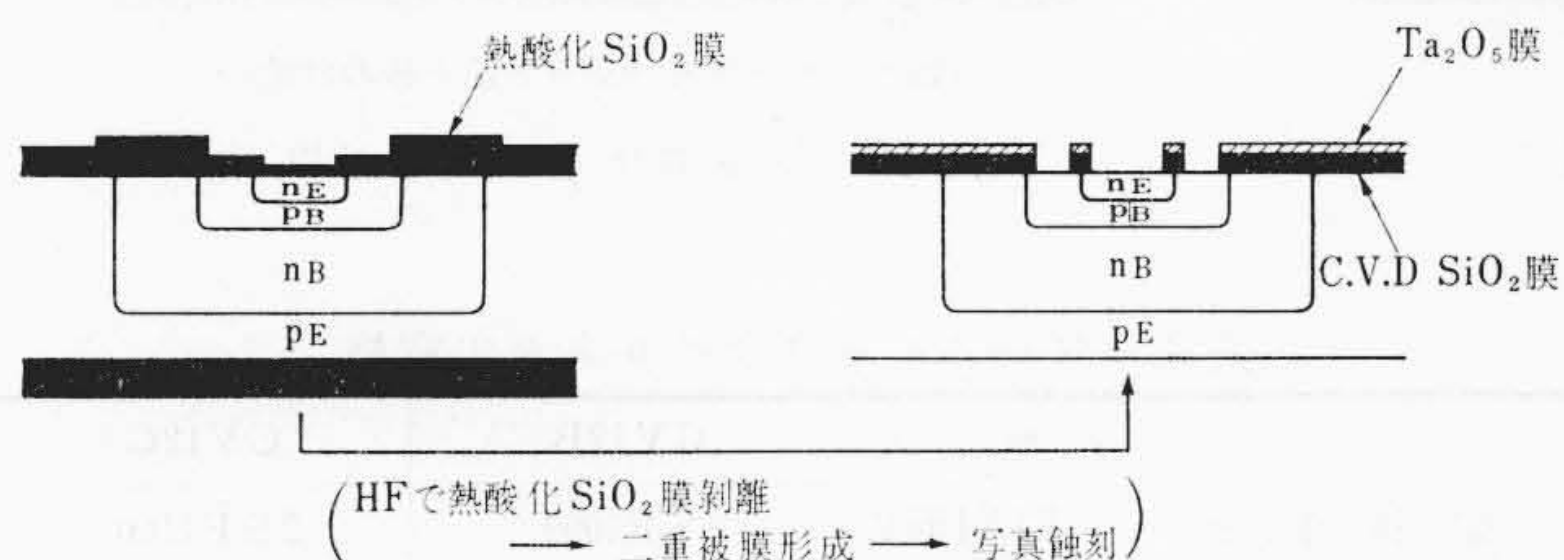
図9 膜づけ工程中の I_R 変化
(10A級ダイオード)図12 膜づけプロセス中のサイリスタ
PFVの変化(2A級サイリスタ)

図8 スパッタリング装置

図10 SiO_2 , Ta_2O_5 二重被膜ダイオードの
信頼度試験結果(10A級ダイオード)図13 SiO_2 , Ta_2O_5 二重被膜ダイオードの
信頼度試験結果(2A級サイリスタ)図11 サイリスタペレットへの SiO_2 , Ta_2O_5 二重被膜の適用

り熱酸化 SiO_2 の膜をとり去り、そのかわり本処理を行なうものである。

図12に膜づけ各プロセスでの順阻止電圧(PFV)の変化を示す。もとのプレーナ膜をつけたときより耐圧は向上し、非常に安定な特性を得ることができた。図13は信頼度試験結果を示したもので、サイリスタでも気密シールなしで安定な動作を確認した。

3. 素子の特性

3.1 ガラスダイオード

図14は従来のリード形ダイオードとガラスダイオードの外観を比較して示したものである。ガラスダイオードは構造が単純であり、リード形ダイオードが普通持っているいわゆるSバンド、Whiskerといったリード線を内部に有せずきわめて堅ろうである。左右対象な構造でペレットの両側に電極があるため過電流耐量、冷却能力が大きい。従来のキャン封じ形に比べ重量で1/4、最大径で

図14 ガラスダイオードとキャン封じ形ダイオード

1/3と小形化され実装密度を大幅にあげるといった特長がある。またプラスチックモールドに比べ気密性にすぐれ高温まで安定に動作させることができる。

表2はこれら素子の代表的な定格特性を示したものである。

3.2 プラスチックダイオード

図15は10~20A級ダイオードへ適用したもので、(a)は従来のキャン封じ素子がフィンに圧入されているものであり(b)は気密シールを全く使わずに安定化処理をほどこしたペレットを使って出力30Aの三相全波整流回路を形成したものである。

素子は図16に示すようにフィンへ直接はんだづけされ、表面の機械的な保護のためシリコンラバーがコーティングされている。ある

表 2 各種ガラスダイオードの主定格

ダイオード		定 格	形 式	V03C	V03E	V03G
			E I A J 形 名	1S1948	1S1949	1S1950
ダイオード	V03	定格せん頭逆耐電圧 (Vp)		200	400	600
		定格過渡せん頭逆耐電圧 (Vp)		300	500	800
		定格平均順電流 (Aave)		1.3 (单相半波 180° 通流, 周温 25℃)		
		定格瞬時過電流 (Ap)		30 (10 ms 通流, 正弦半波 1 サイクル)		
	V06		形 式	V06C	V06E	V06G
			E I A J 形 名	1S2080	1S2081	1S2080
		定格せん頭逆耐電圧 (Vp)		200	400	600
		定格過渡せん頭逆耐電圧 (Vp)		300	500	800
高速ダイオード	V09	定格平均順電流 (Aave)		1.1 (单相半波 180° 通流, 周温 20℃)		
		定格瞬時過電流 (Ap)		25 (10 ms 通流, 正弦半波 1 サイクル)		
		最大逆回復時間 (ns)		800		
	AW01	電 圧 (Vp)		6~33		
		許 容 損 失 (W)		1.0		
		逆 方 向 瞬 間 損 失 (Wp)		80 (10 ms 通流, 正弦半波 1 サイクル)		
	AW03	電 圧 (Vp)		2~5		
		許 容 損 失 (W)		1.0		
定電圧ダイオード		逆 方 向 瞬 時 損 失 (Wp)		80 (10 ms 通流, 正弦半波 1 サイクル)		

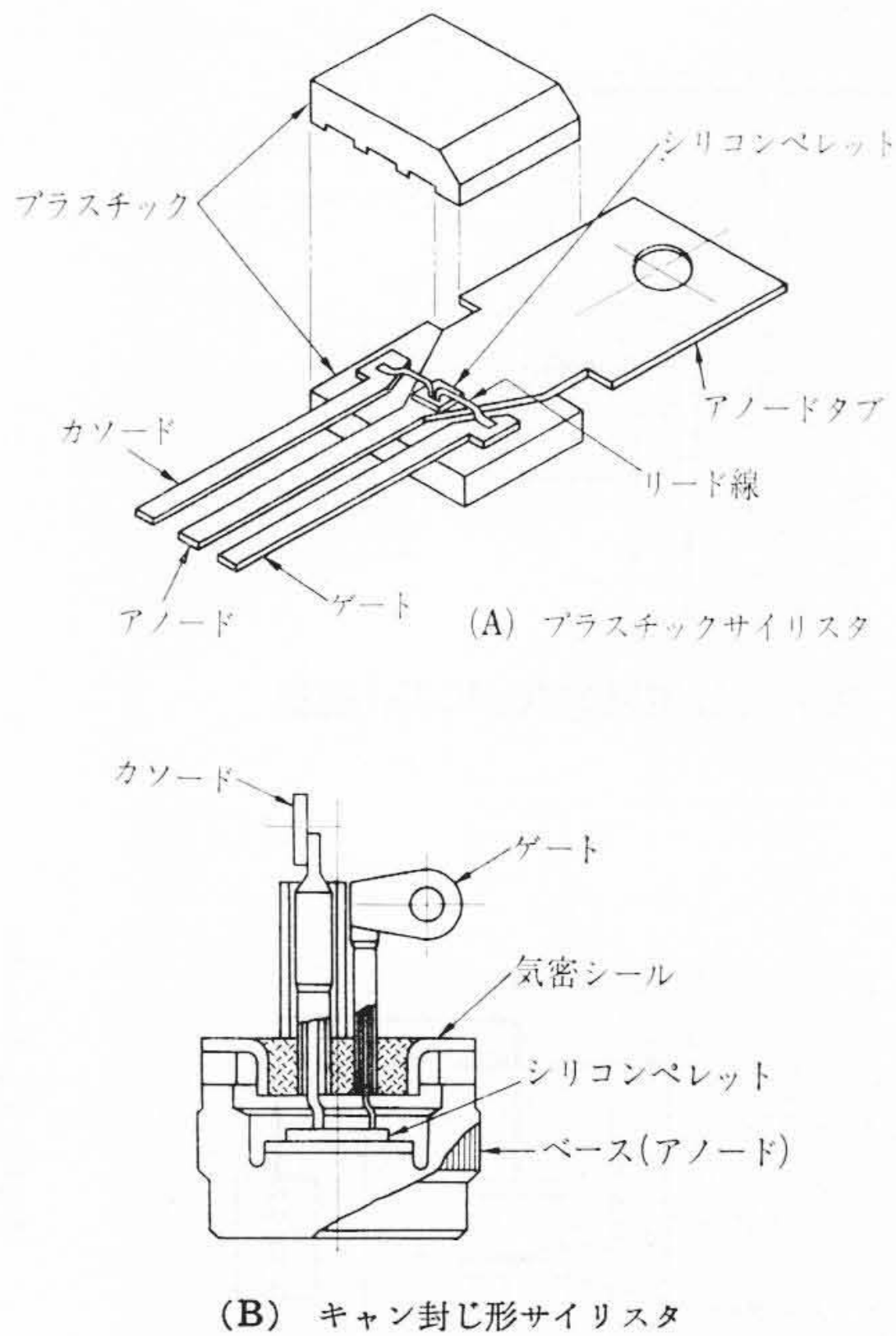


図 17 サイリスタの構造

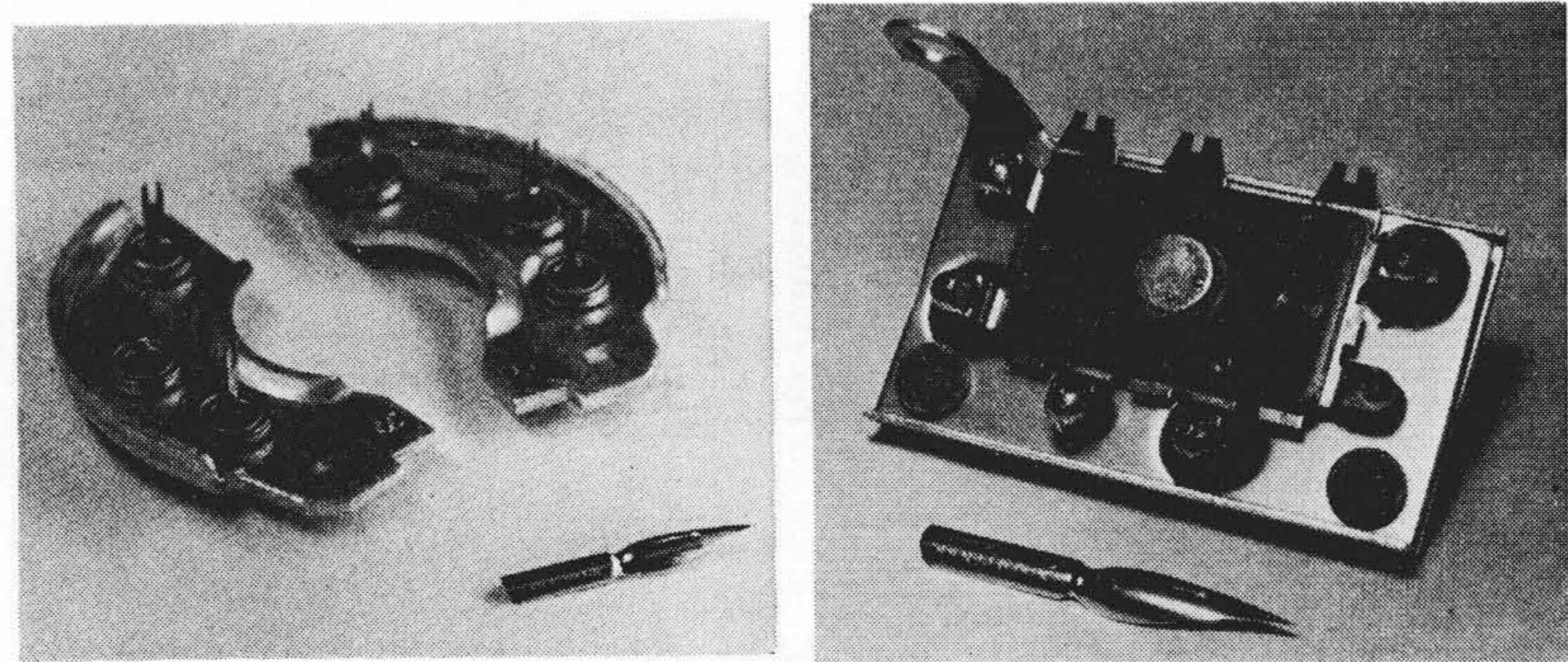


図 15 キャン封じ形およびプラスチック封じ形ダイオード (10A 級)

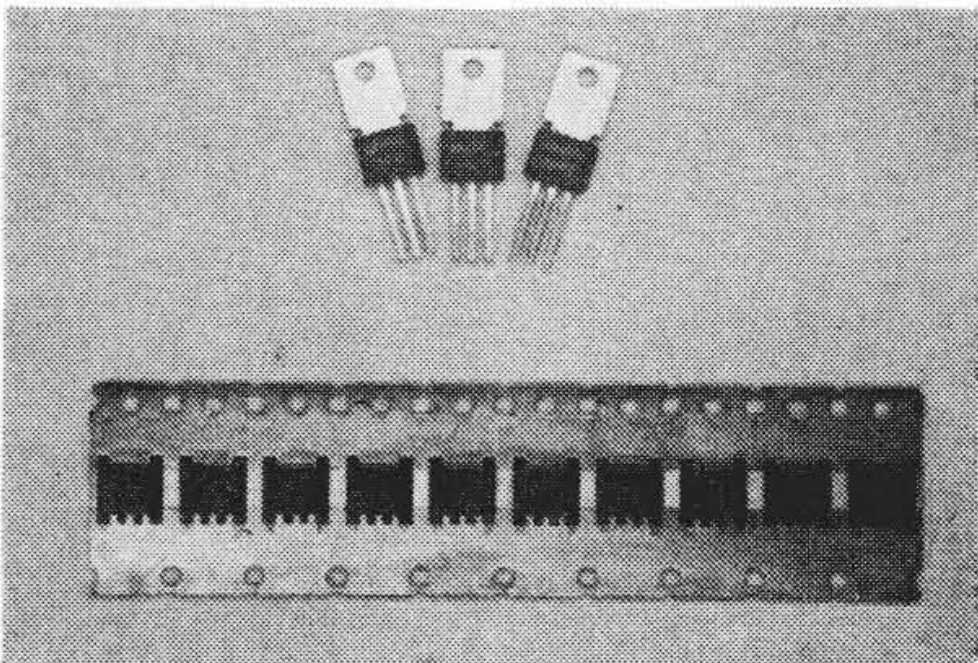


図 18 プラスチックサイリスタ

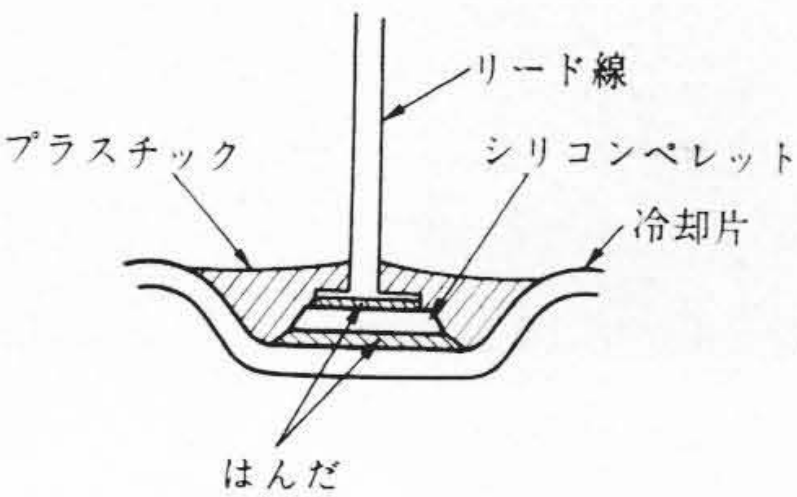


図 16 プラスチックダイオードの構造

種の用途の素子はここ 1 年のうちに大半がこの方式に置きかわってゆくであろう。

3.3 プラスチックサイリスタ

図 17 はこのサイリスタの構造を従来の気密封じ形素子と比較して示したものである。

プラスチックサイリスタは帯状の銅板に安定化処理をしたペレットを取り付け、そのあとでプラスチックでモールドしプレスによりセパレートするものであって連続作業が可能であり、きわめて量産的な構造となっている。

図 18 にモールド後とセパレートした完成品を並べて示した。

表 3 はこの素子の定格特性を示したものである。

表 3 プラスチックサイリスタ主定格

定 格 条 項	形 式	CV12B	CV12C
	EIAJ 形名	2S F1099	2S F1100
定格せん頭逆耐電圧 (V) peak		100	200
定格せん頭過渡逆耐電圧 (V) peak		200	300
定格せん頭順阻止電圧 (V) peak		100	200
定格平均順電流 (A) ave		2 (单相半波 180° 通流, TC: -40~+35℃)	
定格瞬時過電流 (A) peak		20 (10 ms 通流, 正弦半波 1 サイクル)	
I ² t 限 界 値 (A ² s)		1.6 (時間: 2~10 ms, I: RMS 値)	
最大順電圧降下 (V) peak		2.2 (单相半波せん頭値 4 A, 通流角 180° Tj: 110℃)	
定格せん頭ゲート入力 (W) peak		0.5	
定格平均ゲート入力 (W) ave		0.1	
定格せん頭ゲート電圧 (V) peak		順方向: 6, 逆方向: 6	
定格せん頭ゲート電流 (A) peak		0.2	
最小ゲートトリガ電圧 (V) DC		0.8 (Tj: 25℃, AK間順電圧 6 V DC)	
最大ゲート非トリガ電圧 (V) DC		0.2 (Tj: -40~+110℃, AK間順電圧 6 V DC)	
最小ゲートトリガ電流 (mA) DC		1.0 (Tj: 25℃, AK間順電圧 6 V DC)	
最大ゲート非トリガ電流 (mA) DC		0.15 (Tj: -40~+110℃, AK間順電圧 6 V DC)	
動作接合温度 (℃)		-40~+110	
保管温度 (℃)		-40~+110	
接合ケース間熱抵抗 (℃/W)		10 (ボデーより 1.6 mm 離れたアノードタブ位置)	
接合空気間熱抵抗 (℃/W)		80	
重 量 (g)		1.5	

条件: G-K間そう入抵抗 R_{GK}: 1kΩ

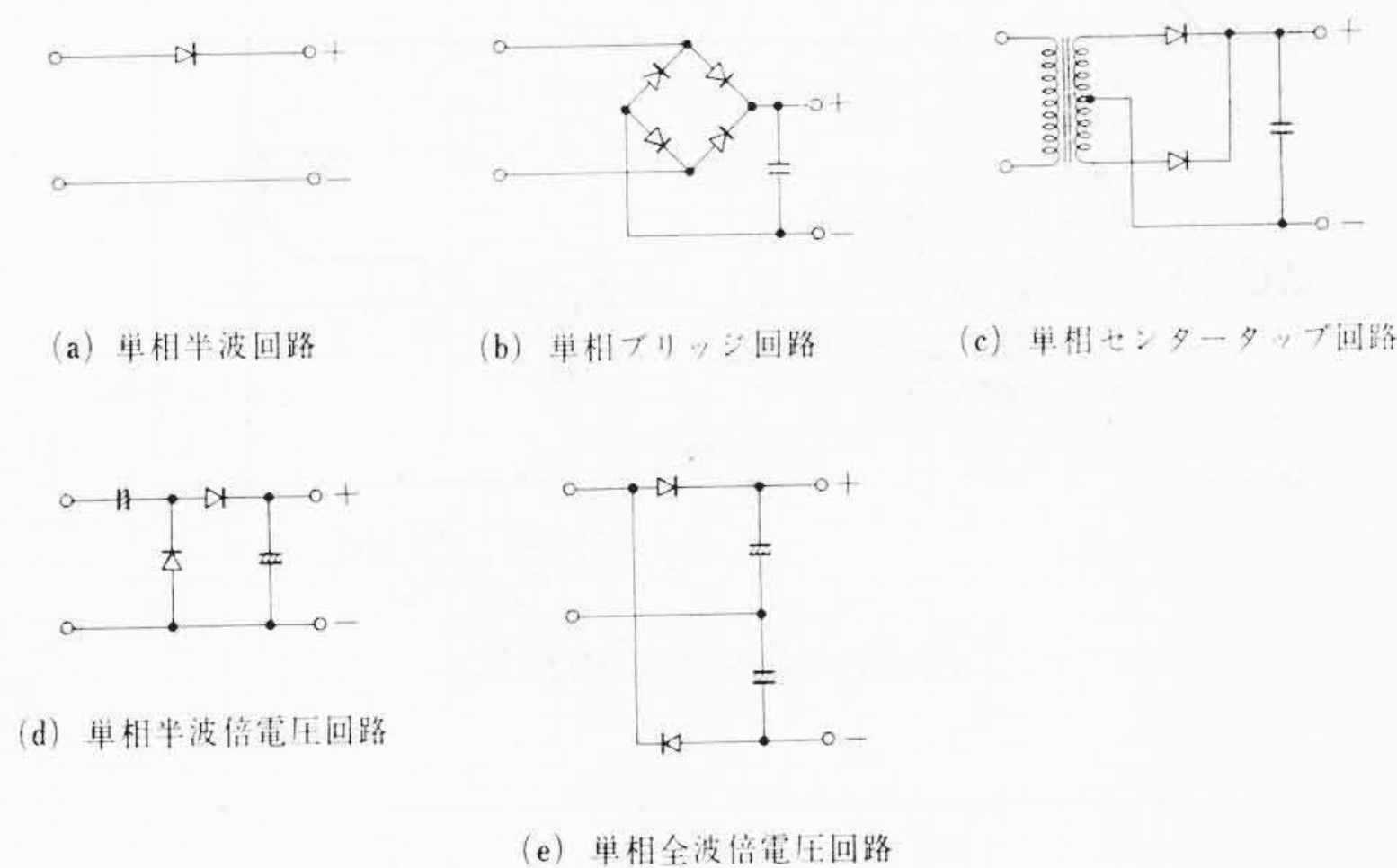


図19 整流回路

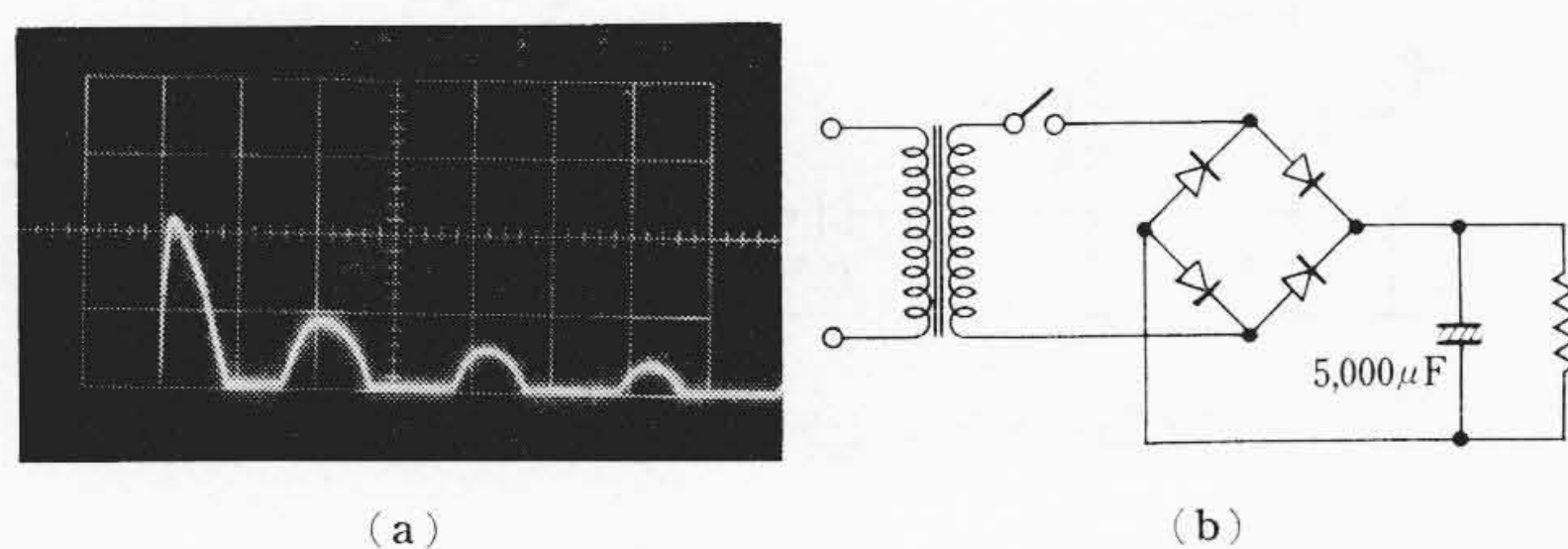


図20 整流回路とコンデンサ突入電流

4. ガラスダイオードの応用

1 A程度の小形シリコン整流素子の一般的応用は、小形制御用電源、トランジスタTV用直流電源、音響機器用直流電源、小形通信機用直流電源、計測機用直流電源、一般直流電源などで、その範囲は広く、直流が必要とされているところには必ず使用される。電源の交流入力単相が大部分で、その整流方式は、用途、機種、経済性から決定され、単相半波、単相ブリッジ、単相センタータップ（トランスを使用した、センタータップ方式）、倍電圧方式が一般的である。図19はその方式を示したものである。制御電源として用いられることが多いため、整流波形をそのまま使用することではなく、平滑回路を通したフラットな直流として用いられる。

以下に平滑回路を用いた場合の問題点について述べる。

4.1 コンデンサの突入電流について

突入電流の大きさは電源開閉器の投入位相によって変化する。V03形ダイオードを図20(b)に示す回路で使用した場合、突入電流とそれによる素子の接合部温度上昇は図21のようになる。電源投入位相が5 ms(90度)のとき突入電流は最高値を示す。これは電源電圧のせん頭値のところでの投入であるため当然である。しかし、接合部温度からみると突入電流が最高となる投入位相90度のところよりも、投入位相の小さい（逆にいえば通流角の大きいところ）ほど、接合部温度は高くなる。これは損失、過渡熱抵抗とも大きくなるためである。

突入電流の波形の一例は図20(a)に示すとおりである。この波形より考察すると、第二発目の突入電流は、第一発目の突入電流に比較して約40%ほどに減少し、そのときの接合部温度の変化は、図22に示すように、第一発目の突入電流による接合部温度が最も高くなり、第二発目の電流による接合部温度が、第一発目の接合部温度を越すことはない。このように一般的に突入電流による接合部の温度上昇は、第一発目の突入電流で電源開閉投入位相の小さい時を考慮すればよい。この第一発目の接合部の温度は定格接合温度以下に押えなければならない。また、逆に第一発目の突入電流は接合部温度が定格温度を越えないように突入電流を押える必要がある。平滑コンデンサの容量が大きいときは、突入電流を押える目的でコ

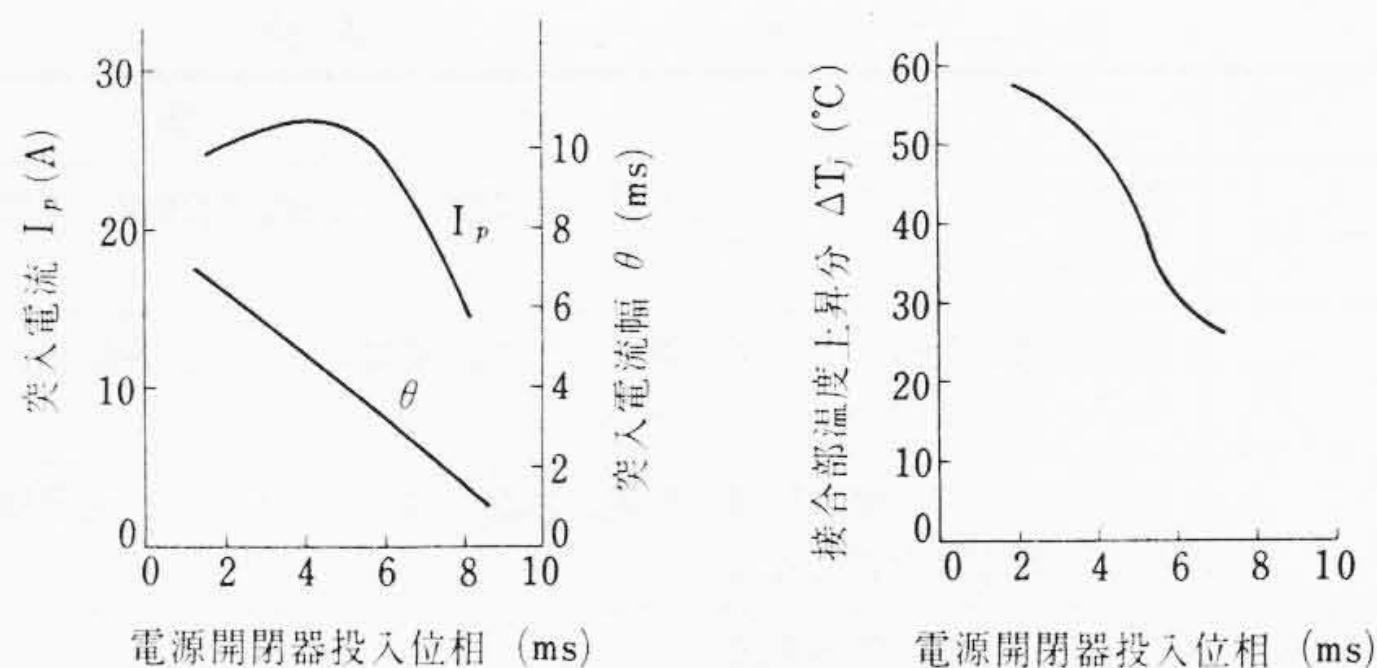


図21 電源開閉器投入位相と、突入電流、接合部温度上昇の関係

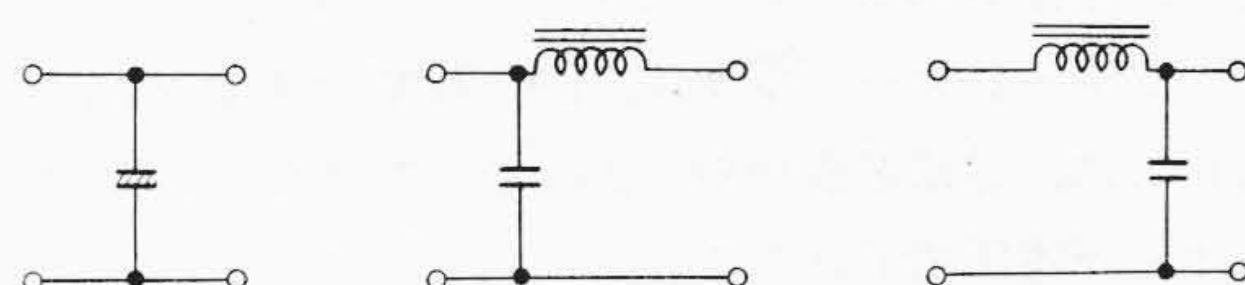
図22 突入電流と接合部温度(T_j)の変化

図23 平滑回路

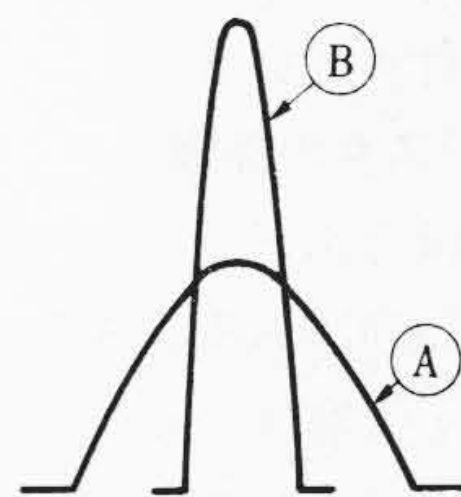


図24 素子電流

ンデンサに直列に抵抗を入れる必要もでてくる。

4.2 平滑回路使用時の電流低減

平滑回路の方式には、図23に示すような方式がある。コンデンサ入りの平滑回路を用いた場合は、素子の電流値は、純抵抗負荷のときよりも下げて使用する必要がある。

純抵抗時の素子電流波形とコンデンサがある場合の素子の電流波形を比較すると、図24のようになる。素子の電流が平均値で同じでも、抵抗負荷の場合のAは、コンデンサがはいってくると、Bのようになり、接合部温度はBのほうが高くなる。平滑用のコンデンサがある場合は、平均値で定格電流まで流すと、接合部温度は、許容値を越えてしまうことになる。このような場合、電流を低減し、接合部温度を定格以内に押える必要がある。

5. 汎用プラスチックサイリスタの応用

5.1 民生機器への用途

CV12形素子など、汎用小形サイリスタの民生機器への用途についての調査結果は表4に示すとおりである。CV12は、価格、使いやすさの点で、今後、民生機器の電子化の普及にさらに拍車をかけることと思われる。

5.2 CV12応用例

汎用小形サイリスタの民生機器への用途例は、表4に示したと

表4 民生機器への用途例

制 御	用 途	例
モーター	電動ミシン、ミキサー、扇風機、洗濯機、掃除機、冷蔵庫、電気ドリル模型電車、レーシングカー	
温 度	電気毛布、電気ストーブ、電気こたつ、電気アイロン、保温器、ヘアードライヤー、トースター	
光	電気スタンド、家庭用調光装置、自動車用フラッシャー、火災探知機、蛍光灯の瞬時点灯	
開 閉	タイマー、写真引伸機用	
そ の 他	点火回路、自動販売機 安定化電源	

おりであるが、このうち、最近実用化されたものにつき説明する。

5.2.1 電気毛布

電気毛布の回路図は図25に示すとおりである。

電気毛布の容量は、120 W 程度であり、CV 12 の用途としてはもっとも適した製品であろうと考えられる。CV 12 のゲート点弧素子には、ネオンランプが使用されているが、この素子は、ゲート感度が非常に高いため、ゲート信号としては、大きな信号は必要ではなく、ネオンランプでじゅうぶんまにあう。また、ネオンランプは、ブレイクオーバー電圧が、60~70 V と非常に高いが、電気毛布としては、さほど広角の制御は必要ではなく、この程度のブレイクオーバー電圧でじゅうぶんまにあう。

電気毛布では、毛布内の発熱線と信号線の間で形成されるインピーダンスを利用し、温度の変化をキャッチして、サイリスタを自動的に位相制御し、毛布の自動温度制御を行なう。また、電気毛布は、事故発生時人体に与える影響が大きいため、素子破壊時の保護がなされており、ラジオ周波ノイズに対しては、対策として防止用のフィルタを付けている。

5.2.2 パワートランジスタの保護

最近のステレオは、ほとんどが、オールトランジスタ化され、出力パワーも増大する傾向にある。ステレオの最終段に使用されるパワートランジスタも大容量のものが使用され、価格的にも相当高価である。高価なトランジスタを過電流より守るため、サイリスタを使って過電流防止回路が組まれている。回路例は図26に示すとおりである。

トランジスタ回路になんらかの原因で過電流が流れると、その電流による電圧降下を R_2 の両端よりピックアップして、サイリスタのゲートに加えてやる。トランジスタに流れる電流が、あるレベル以上になったら、サイリスタが動作するよう、VR によって設定しておけば、サイリスタの動作によってリレーが動作し、

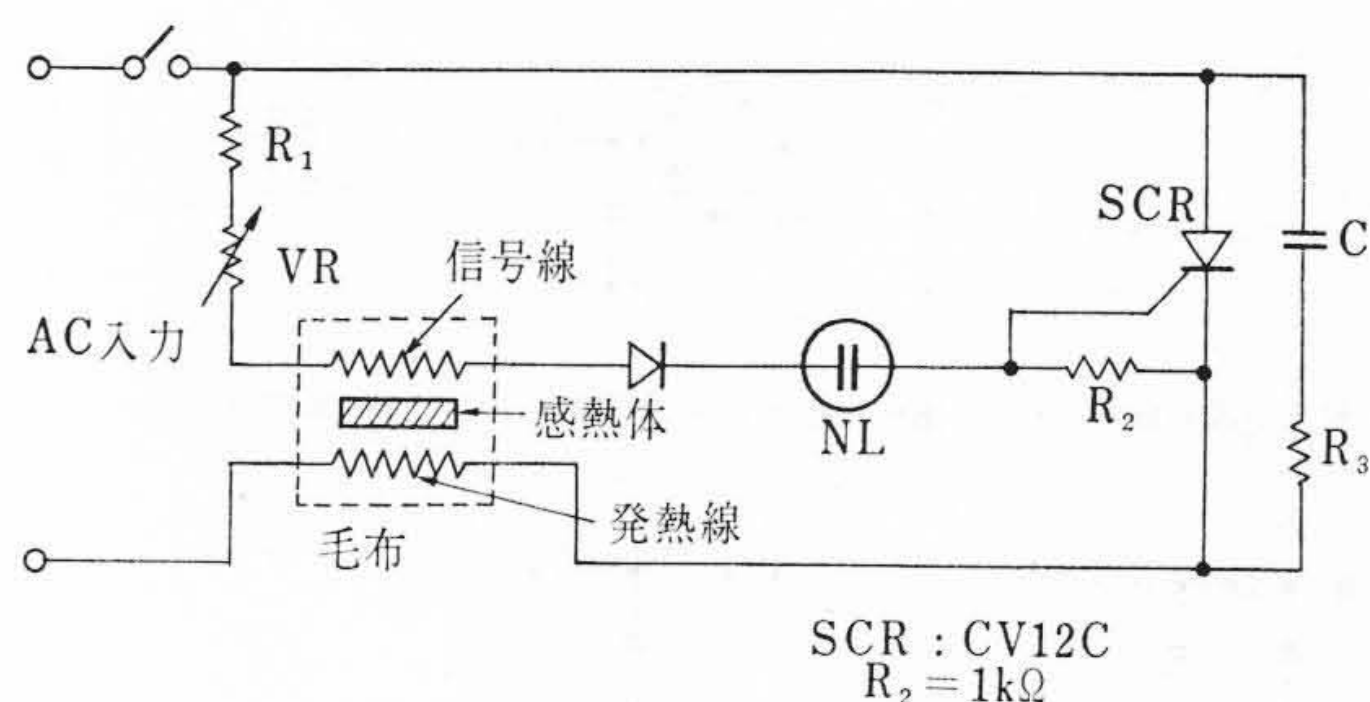


図25 電気毛布回路図

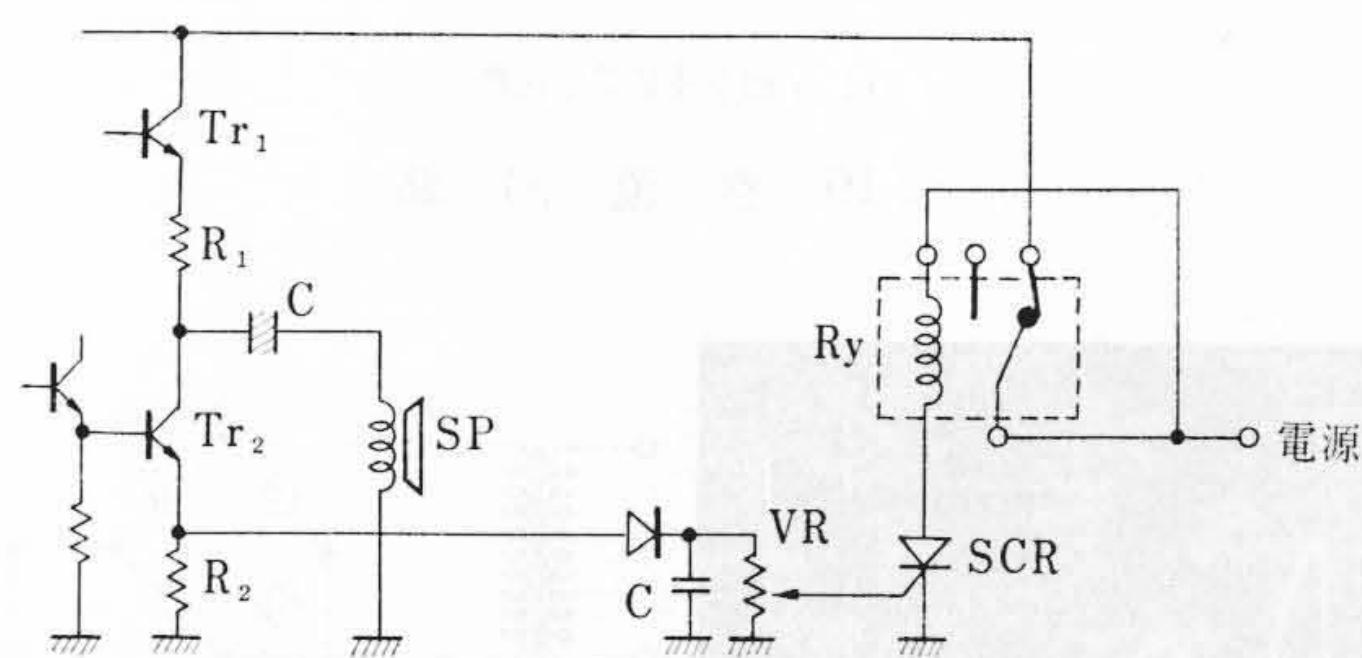


図26 ステレオ用過電流保護回路

回路が電源部より切りはなされ、トランジスタの保護がなされる。この回路で注意を要するところは、サイリスタの温度特性により動作点が変わること、変わっても良いところに設定点を選ぶ必要がある。

6. 結 言

現在日立製作所において製品化された新しい汎用サイリスタ、ダイオードの技術と応用について述べた。

ペレットに表面安定化処理をほどこしパッケージを簡略化してゆくという方向は汎用素子には必須の方向であろう。家電用のサイリスタの場合、コスト高のために一部用途で機械的接点がなかなかサイリスタに変わりにくいところがあるが、この種低価格サイリスタの量産技術確立によりサイリスタの用途はさらに拡大することが予想されよう。

参 考 文 献

- (1) D.R. Kerr et al: IBM Journal, 8 No. 4, 376 (1964)
- (2) 特公 39-9023
- (3) 徳山: 電気通信学会誌, 49, 87 (1966)
- (4) N.J. Grieco et al: J. Electrochem. Society, 115 No. 5, 525 (1968)
- (5) 山本ほか: 日立評論 51, 231 (1969)
- (6) 林ほか: 電気試験所彙報, 30 No. 1, 66