

電子部品用モールド樹脂

Mold Resins for Electronic Components

渡 辺 寛* 鈴木 宏**
Yutaka Watanabe Hiroshi Suzuki

山 本 雅 幸*** 柳 原 栄 一****
Masayuki Yamamoto Eiichi Yanagihara

要 旨

電子部品のモールド用樹脂に要求される特性、その問題点、特に耐湿性、耐熱性、熱的諸性質、接着性、生産性とコスト、さらに実装上必要とされる Passivative Coating などについてそれぞれ考察した。抜群の耐湿性および熱的諸特性を備えた新しい注型用エポキシ系樹脂を開発した。その性質および応用例、また別に開発した耐湿性にすぐれた注型用可撓(とう)化樹脂について述べた。なお現在の低圧トランスファ成形材料の性質を検討した結果を述べ、それらを使用したモールド品の信頼性に関し示唆した。

1. 緒 言

電子部品のパッケージングは、大勢として従来の金属、ガラスあるいはセラミックによる気密封止から、樹脂モールドに移行しつつある。その理由としては、製品コスト低減の要請に答えようとするのが第一にあげられる。また同時に半導体などの素子の表面を安定化する技術、モールド用樹脂の改良進歩により、樹脂モールド品の信頼度が気密封止品に近づいてきたこと、さらに低圧トランスファ成形やインジェクション成形など、成形技術の進歩によって、安価なモールド品ができるようになったことも見のがせない事実である。

ところで、集積回路や半導体素子などの気密封止と樹脂封止に関する種々の問題については、すでに多くの報告や総説で解説されているし、また研究会、討論会などでも盛んにとりあげられ、焦点および今後の研究方向はかなり明らかにされているようである^{(1)~(7)}。

われわれはさきにシリコントランジスタモールド用および小形電子回路部品注型樹脂として、作業性、耐湿性、電気的、機械的性質のすぐれたエポキシ系樹脂を開発し使用してきた⁽⁸⁾。そして引き続きこれら小形電子部品モールド用樹脂の研究を進め、新しい注型用樹脂の開発に成功した。これは耐湿性、熱伝導率、膨張係数などの面で、従来の樹脂に比べ一段とすぐれたものである。本稿はこれらの樹脂の特性を中心とし、さらにその二、三の応用例について述べる。また別に耐湿性のよい注型用可撓化樹脂を開発したので紹介する。またトランスファ成形材料については、選択して使用する立場で研究を行っており、今までに得た知見の概略を述べる。

2. 電子部品のモールド材料に要求される特性と問題点

電子部品のモールド材料に要求される事項ならびに特に問題になる材料の性質は、次のように要約される。

- (1) 外部環境条件からの保護……特に耐湿性、耐熱性、耐熱衝撃性など。
- (2) 内部で発生した熱の放散……熱伝導性。
- (3) 機 械 的 強 度。
- (4) 低コスト、生産性。

これらの観点から現在のモールド材料をみると、いろいろ難点があってじゅうぶん満足とは必ずしもいえない状況である。実用され

る材料を大別すると、(a) エポキシ系、(b) シリコン系、(c) ウレタン系のものなどに分類されるが、これらの材料における具体的な問題点は次のようにまとめられる。

(i) 耐 湿 性：

樹脂の吸湿と透湿が第一の問題である。各樹脂の吸湿率および吸湿に伴う特性の変化に関してはそれぞれ調べられており、また透湿率についても報告にまとめられている⁽³⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾ので、詳細は割愛する。次に吸透湿に伴う樹脂中のイオン性不純物が半導体素子表面を汚染したり、あるいは電極、導線などを腐食したりするのも重大な問題である。さらにまた樹脂の吸湿膨潤に伴う樹脂と金属とのハク離による湿気の浸入の問題がある。したがって樹脂と金属との接着強度もじゅうぶん考慮する必要があるほか、耐湿性の樹脂を選んで使用することが重要である。

(ii) 耐 熱 性：

二次転移温度において、樹脂は一般に電気特性の低下、熱膨張係数の増大などの現象を起こし、これらが素子および部品へ悪影響を及ぼす。特に被モールド材料と樹脂の熱膨張係数の不一致は、モールド品の冷熱サイクル時、素子あるいは部品のボンディングの劣化、破壊あるいは樹脂および部品にひび割れなどの致命的不良を起こす要因となる。また前述した樹脂中のイオン性不純物の熱易動 (Thermolability) も問題である。

他方、低温特性の面では、一般に樹脂の電気的性質はすぐれており、問題は少ないようである。

(iii) 熱 伝 導 性：

モールド用樹脂の熱伝導率が大きいほど、部品の熱抵抗は小さくなり、動作信頼性に対し有利である。従来の樹脂モールド品において、樹脂表面からの熱放散と、導線を通ずる外部回路への熱放散を比べると、50% 以上(70~80% といわれる)は後者による放散とされている⁽¹⁰⁾。これは樹脂の熱伝導率が 10^{-4} cal (s cm deg) のけたであり、電子部品に通常用いられる金属類の熱伝導率より2けた以上小さいためである。したがってモールド品の導線材料の選択や、放熱板つきの構造にするなどの考慮がはらわれている実状である。

(iv) 生産性とコスト：

安定した品質、貯蔵安定性、流動性〔粘度(溶融時の粘度も含む)、構造粘性など〕、硬化性などの問題はもちろん、加工設備(型、プレス、バリ取り機など)などの面まで総合的に考える必要がある。

シリコン系材料はエポキシ系およびウレタン系などの材料より高価なので、この材料の伸び悩みの一因となっていると思わ

* 日立製作所日立研究所 理学博士

** 日立製作所日立研究所

*** 日立製作所武蔵工場

**** 日立製作所戸塚工場

表1 各種モールド方法の長所、短所の比較

モールド方法	(1) キャスト ティング	(2) ディップ ピング	(3) E-バック	(4) トランス ファ	(5) インジェク ション
(i) 材料選択の 自由度	1*	3	4	2	5
(ii) モールド品外 形の精度と変 更の自由度	3	5	1	1	1
(iii) モールドに有 する工数、時 間	3	3	2	1	1
(iv) 材料のロス	1	1	1	3	2
(v) 設 備 費	2	1	3	5	5
(vi) 鋳型加工、 保 守	1	—	—	4	3

* 数字の小さいほど有利なことを示す。

表2 新注型用エポキシ樹脂の特性一覧

項 目	新たに開発した注型 用エポキシ系樹脂			同種の市販樹脂	
	#1	#2	#3	A	B
(1) 作 業 性 粘 度 (P, 30°C)	100	100	150	200	130
(2) 熱的性質 膨張係数 ($\times 10^5, ^\circ\text{C}^{-1}$)	2.9	2.0	1.3	3.2	4.5
熱伝導率 [$\times 10^4, \text{cal}(\text{s cm deg})$]	14	16	21	15	9
二次転移点 ($^\circ\text{C}$)	185	190	180	150	150
(3) 電気的性質 (30°C) 誘 電 率 (1 MHz)	5.1	6.1	7.6	5.3	3.4
誘 電 正 接 (% (1 MHz))	1.1	1.2	0.9	1.9	1.6
体積抵抗率 ($\Omega \text{ cm}$)	9.1×10^{16}	4.6×10^{15}	3.0×10^{15}	1.1×10^{15}	2.0×10^{15}
(4) 耐湿性 (沸騰水 25 h 測定: 30°C) 誘 電 率 (1 MHz)	5.5	7.7	7.8	8.8	3.9
誘 電 正 接 (% (1 MHz))	1.9	2.4	1.4	2.4	6.6
体積抵抗率 ($\Omega \text{ cm}$)	9.1×10^{13}	4.3×10^{13}	2.5×10^{14}	10^{10} 以下	4×10^{14}
吸 湿 量 (mg/cm^3)	14	21	12	52	14
(5) 機械的性質 (30°C) 曲げ弾性率 ($\times 10^{-4}$, kg/cm^2)	13.8	21.5	25.8	12.2	5.7
曲げ強さ (kg/cm^2)	1,050	1,200	800	1,000	1,100
曲げたわみ (%)	0.8	0.8	0.4	1.0	1.1
熱衝撃抵抗 (C字埋金)	-50°Cパス	-60°Cパス	-80°Cパス	-10°Cで クラック	室温で クラック

れる。

(v) 半導体素子表面などの Passivative Coating の問題:

各種の添加剤を含め、モールド樹脂には有機官能基およびイオン性不純物が含まれている。したがってこれらが半導体の接合あるいは表面を汚染し、接合リーク電流の増加、電流増幅率の変化などを起こす現象がしばしばみられる。またモールド樹脂から受ける被モールド物のひずみを緩和する必要がある場合も多い。これらの問題を解決するため、半導体素子あるいは被モールド部品をシリコン樹脂やシリコンゴムなどでコーティングする。

ところでこの種の一連の Passivative Coating 材料は、主として Dow Corning 社から供給されている。その最適品種の決定、コーティング条件などは、経験的要素がきわめて多い。シリコン系以外のこの種材料として、ポリフッ化オレフィン系材料⁽¹¹⁾およびポリパラキシレン⁽¹²⁾などの適用が試みられているのは興味深い。

3. モールド方法

電子部品のモールド方法について簡単に述べる。方法としては(1)注型(キャストイング)、(2)ディッピング、(3)E-バックによる封止、(4)トランスファ成形などのほか、最近では(5)インジェクション成形⁽⁷⁾も考えられている。これらの方法のそれぞれのおもな長所、短所を定性的に比較すると表1のようになる。従来は(1)が多かったが、最近では(4)に移行するすう勢にある。これは(1)において使用する樹脂は、要求特性に合わせて適当に選べる自由度が

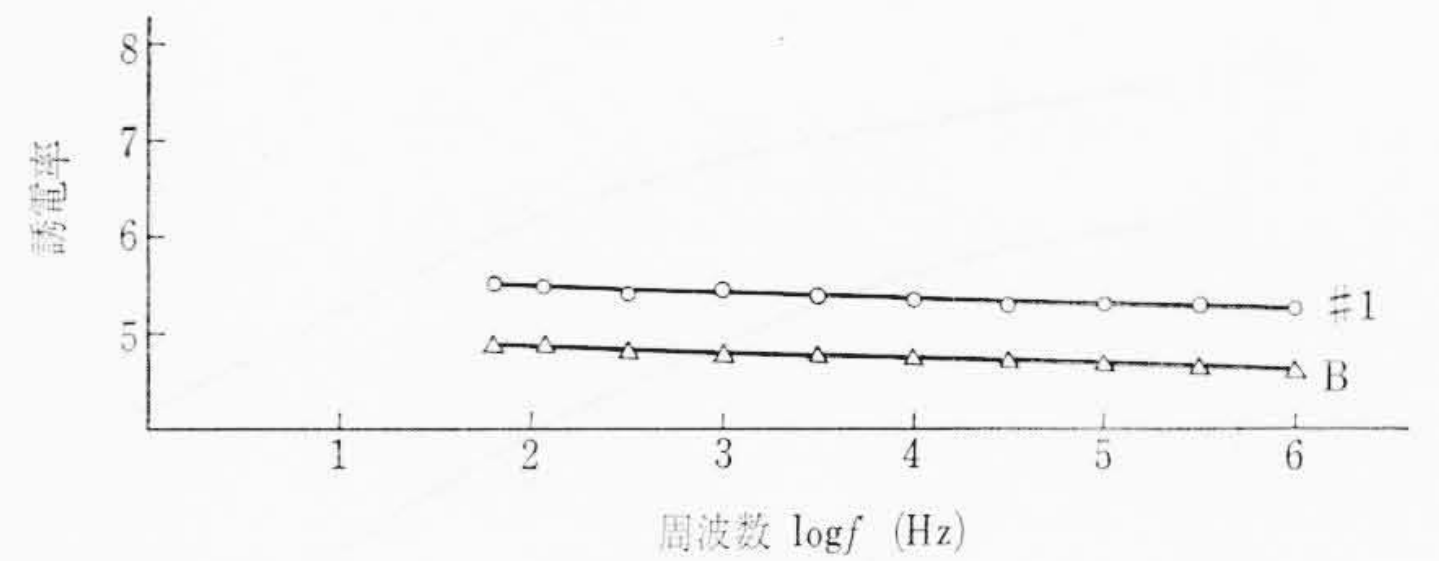


図1 誘電率、誘電正接の周波数依存性 (室温)

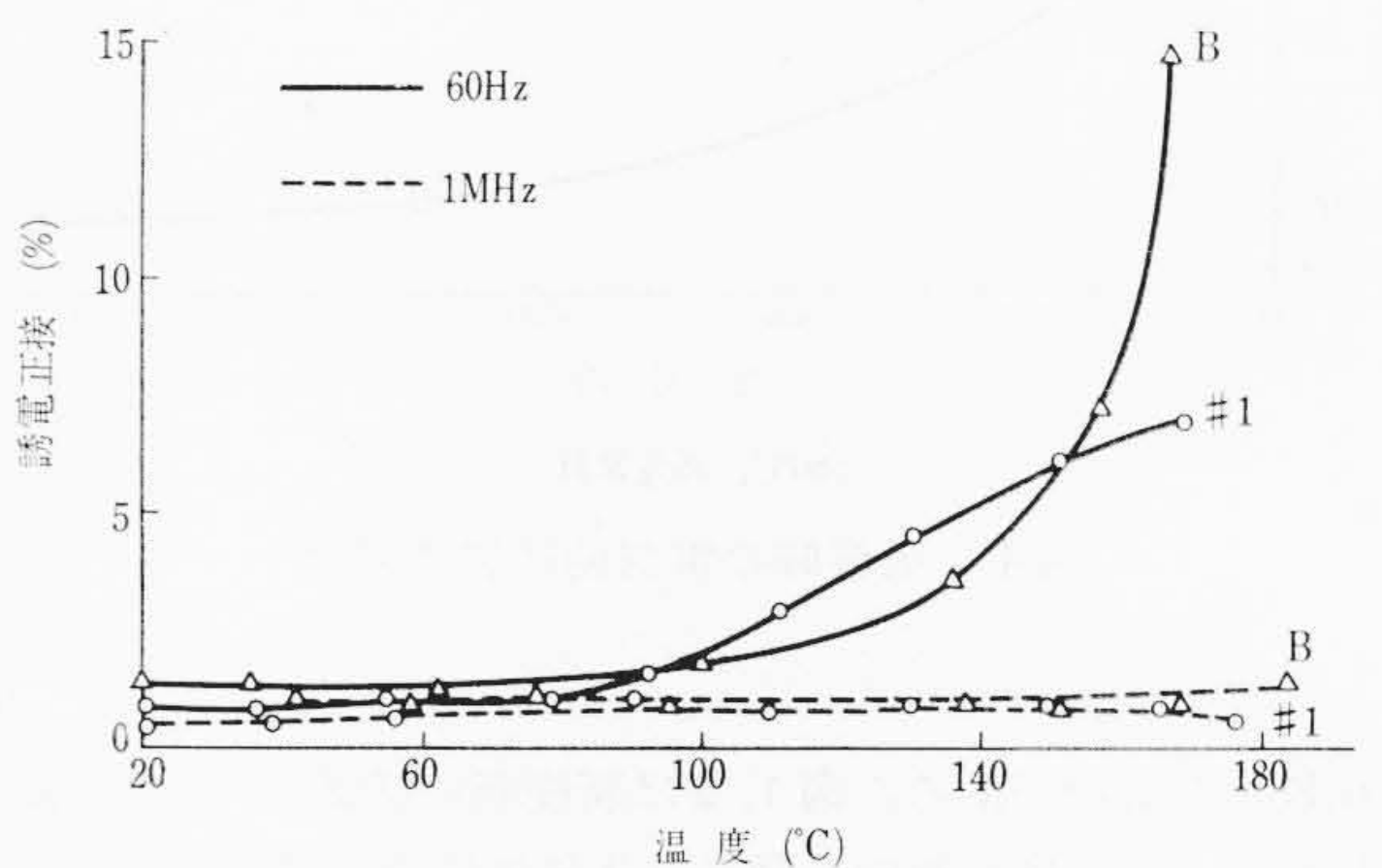
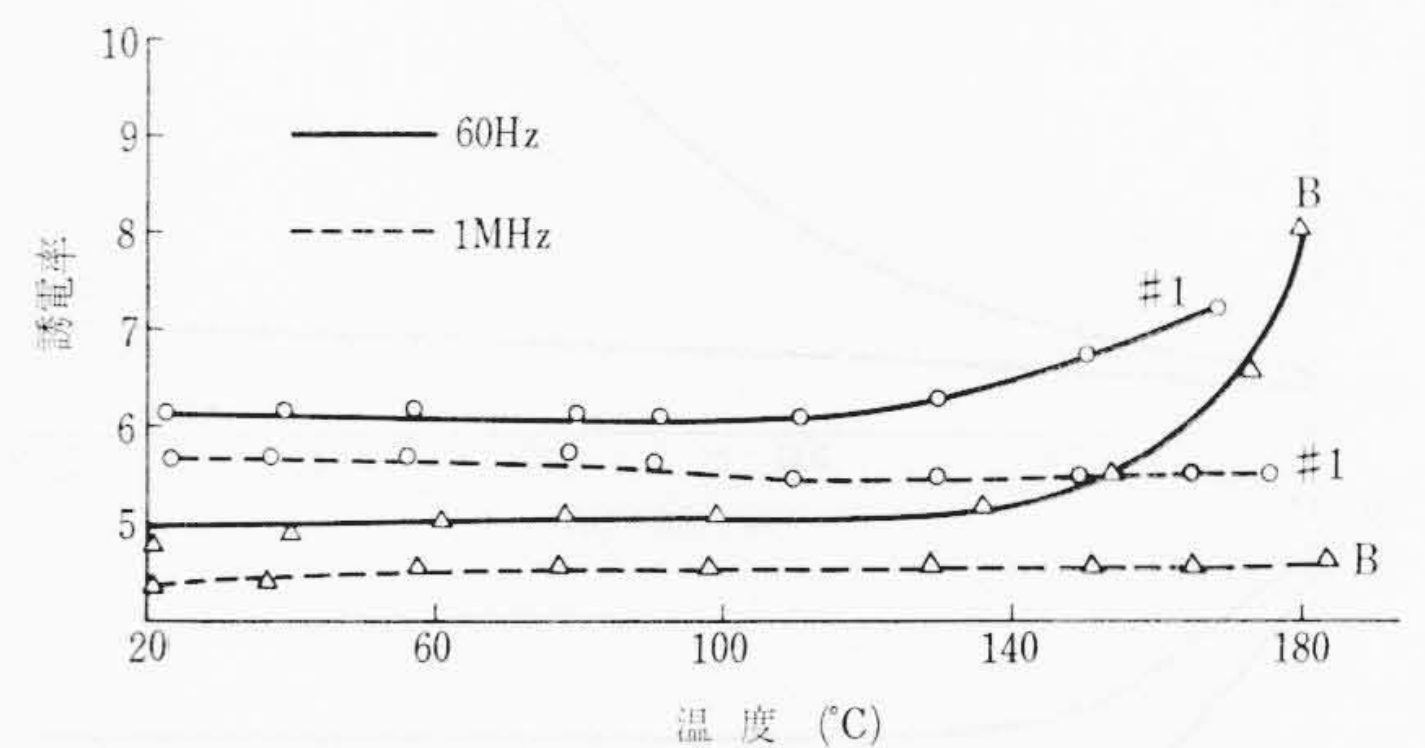


図2 誘電率、誘電正接の温度依存性

多いが、樹脂を定量的に高速、連続的に注入する技術がまだじゅうぶんには確立されていない状況なのに対し、(4)においては、最近国産成形機の開発をはじめとし各種設備、治具類を国内でも調達しやすくなったこと、および(1)より大量生産の面で適していること、またデュアルインラインタイプの集積回路モールドに必要なためなどがおもな理由と考えられる。

4. 新注型用エポキシ系樹脂

電子部品のモールド樹脂に必要な性質、および具体的に特に問題になる諸点についてはすでに述べた。そしてこれらの諸要求を満たす樹脂の組成について種々検討し、新しいエポキシ系注型用樹脂を開発した。この樹脂組成物は、イオン性不純物を少なくすることや、熱的諸性質の改良などに特に考慮がはらわれている。

表2は、今回開発した樹脂の性質と、同種の代表的汎用樹脂の性

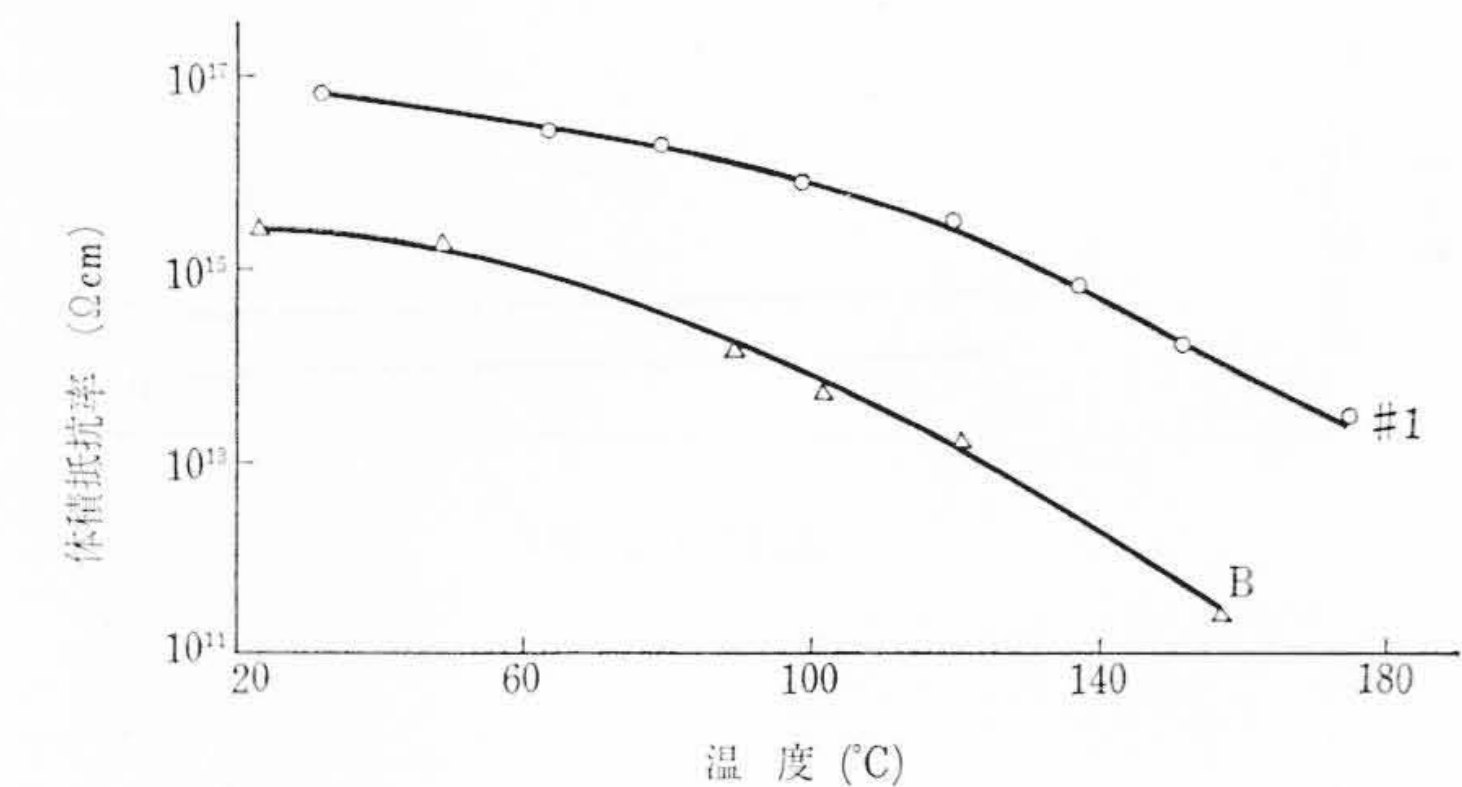


図3 体積抵抗率の温度依存性

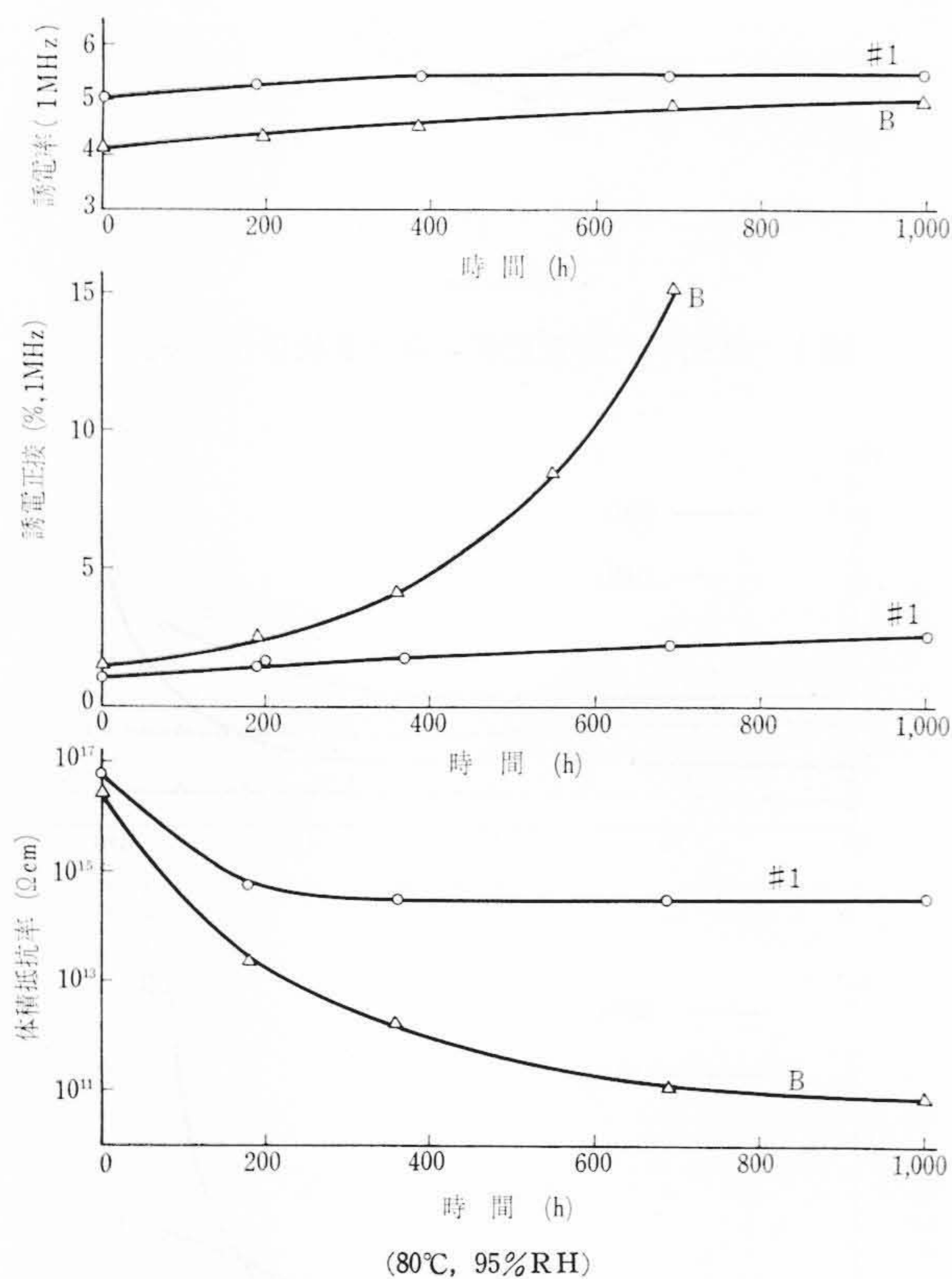


図4 吸湿時の電氣的性質の変化

質を比較したものである。図1, 2は新樹脂の誘電率, 誘電正接の周波数特性および温度特性を, 図3は体積抵抗率の温度特性を, さらに図4は吸湿時(80°C, 95% RH)の電氣的性質の変化を示したものである。

表2および図1~4の電氣的, 機械的性質はいずれも前報⁽⁸⁾の場合と同じ方法で測定されている。また膨張係数と熱伝導率は, それぞれ ASTM D-696-44 および ASTM C-177-45 の方法に基づいている。熱衝撃抵抗に関しては, 穴山氏^(13-a) および佐藤氏^(13-b) の方法に従い, C字形埋金を被検樹脂で成型して試片をつくり, これに冷熱サイクルを行ない, 樹脂のわれの発生温度を調べた。

次に #1 樹脂および対照実験用樹脂AおよびBを用い, シリコンプレーナトランジスタを成型し, 強制冷熱サイクル試験を行ない, 断線発生率を比較した。表3はその結果を示したものである。A, B樹脂モールド品では断線不良を起こしたが, #1 樹脂モールド品は断線しない。また同時につくった別試料の 80°C, 95% RH での耐湿性を検討した。その結果, 表4に示すように #1 モールド品は異常ないのに対し, A, B 樹脂モールド品はいずれもコレクタ遮断電流(I_{CBO})あるいは逆方向電圧電流特性の劣化が起こった。そのほかト

表3 モールドトランジスタの断線発生率
試料数: 100
Passivative Coating なし

樹脂の種類	熱衝撃 サイクル数 -65°C ~ 150°C		
	100	200	300
#1 樹脂	0	0	0
A 樹脂	1	2	3
B 樹脂	0	2	2

表4 モールドトランジスタの耐湿
試験時不良発生率
試料数: 100
Passivative Coating なし

樹脂の種類	80°C, 90% RH		
	168 h	500 h	1,000 h
#1 樹脂	0	0	0
A 樹脂	30	100	—
B 樹脂	0	20	25

表5 注型用可撓性新樹脂の特性一覧

項 目	可 撓 性 樹 脂		対 照 脂 樹	
	# 4	# 5	C	D
(1) 作業性 粘 度 (P, 30°C)	14	1.7	290	35
(2) 機械的性質 (30°C) 引張り強さ (kg/cm ²) 伸 び か た さ	380 2.8 シヨア D 70	25 120 シヨア A 40	490 1.9 シヨア D 87	20 210 シヨア A 45
(3) 電氣的性質 (30°C) 誘 電 率 (1 MHz) 誘 電 正 接 (% 1 MHz) 体積抵抗率 (Ω cm)	3.4 2.0 10 ¹⁶ 以上	3.9 5.3 5×10 ¹⁴	4.5 2.3 1.5×10 ¹⁵	3.2 5.1 2×10 ¹⁴
(4) 耐 湿 性 (測定: 30°C) 誘 電 率 (1 MHz) 誘 電 正 接 (% 1 MHz) 体積抵抗率 (Ω cm) 吸 湿 率 (%)	(70°C, 95% RH, 500 h) 3.6 4.1 1.7×10 ¹⁴ 1.4	(40°C, 95% RH, 24 h) 4.0 7.4 1.1×10 ¹³ 0.4	(70°C, 95% RH, 500 h) 4.6 9.0 10 ¹⁰ 以下 2.1	(40°C, 95% RH, 24 h) 6.5 30以上 10 ¹⁰ 以下 1.0
(5) その他の性質 熱変形温度 (°C)	84	室温以下	74	室温以下

ランジスタに課せられる通常の特 性試験^(8-b)では, 三者とも不良は発生しなかった。

このように #1 樹脂は, トランジスタ注型用樹脂としてきわめてすぐれている。

ところで #1~#3 のような物性をもつ樹脂とは別に, 可撓性のある(収縮応力の小さい)樹脂が必要な場合もある。そのとき使用する注型用樹脂として, 別に表5に示すような物性をもつ #4 および #5 樹脂も開発した。表5には #4, #5 レジンとそれぞれほぼ類似の初期特性をもつ汎用の可撓化レジン C, D の耐湿性を比較のため示した。#4, #5 レジンの耐湿性はすぐれている。

5. トランスファ成形材料

トランスファ成形材料には, 一般に離型剤が配合されているので樹脂を導線やインサートと良好に接着させることは期待できない。この点は樹脂に離型剤を配合しないで使う注型用樹脂あるいは E-ペレットなどの場合と大きく異なる。樹脂と導線とがうまく接着しないことは, この界面から湿気が容易に素子まで浸入し到達するの

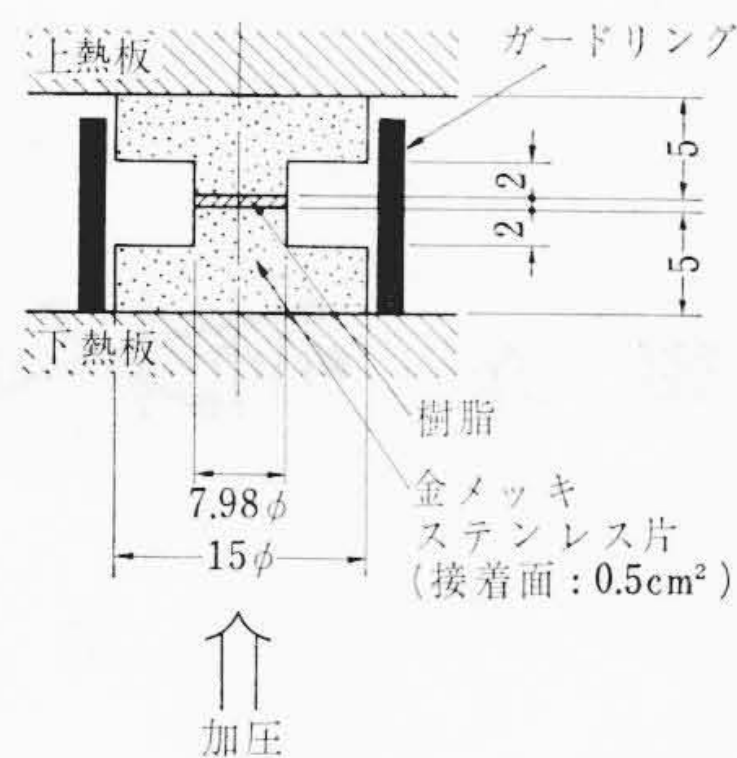
表6 トランスファ成形材料の金に対する接着試験

試験した成形材料	市販のエポキシ系 (E)	シリコン系 (DC)
成形条件		
温度 (°C)	130	160
圧力 (kg/cm ²)	80	80
時間 (min)	3	3
後キュア (°C/h)	120/3	200/3
接着した試片* 個数 (14個中)		
成形後	14	2
後キュア後	14	1 (1個はハク離)
抗張接着強さ** (kg/0.5 cm ² , 30°C)	30 ~ 60	5
ハク離状況	樹脂と金メッキ面での界面ハク離と、金メッキ面と地金(ステンレス)間のハク離が同数	樹脂と金メッキ面での界面ハク離
接着層膜厚 (mm)	0.1 ~ 0.2	

* 試片の形状および作成法

- (i) 金メッキステンレス片はトリグレンで洗浄後 100°C/24h 乾燥
(ii) 粉末にした成形材料 (0.15 g) を、1,500 kg/cm² で断面約 1 cm²、厚さ 1 mm のタブレットに予備成形し、その約 1/4 の破片を右図のように 2 個のステンレス片間にはさむ。
(iii) 表の温度、圧力下で加熱硬化
(iv) でき上がった試片は塩化カルシウムデシケータ中に測定するまで保存。

** テンシロン万能型試験機使用、引張り速度: 0.5 mm/min、接着部が破壊したときの荷重。



で、モールド品の耐湿性向上の面で別のくふうや処置が必要である。

離型性の良否には、材料の成形収縮の寄与もある。収縮の大きい材料を用いることは離型の面でやや有利であるが、部品に与えるひずみが大きく、また硬化樹脂の残留ひずみも大きいとめひび割れしやすい。

繊細な構造をもつ部品類は、熔融粘度がなるべく小さく、しかも低圧で成形できる材料でモールドする必要がある。このような場合は、通常成形品にバリが出やすい。

ところで市販の電子部品用トランスファ成形材料の標準的な成形条件は、おおよそ 130~170°C、5~20 kg/cm²、2~3 分程度と考えられる。そしてこの程度の硬化性で、しかも保存できる期間のできるだけ長いものが望まれる。保存安定性は一般にその材料の流動性の変動の大きさに評価され、それには Society of Plastics Industry, Inc. によるスパイラル・フローテスト^{(9)(b)(14)}を行なうのが無難のようである。さて、ここで流動性と保存安定性の両立が問題になる。代表的な各社のエポキシ系材料をこの見地に基づいて観察すると、いわゆる B-stage のものより、A-stage のもののほうが、流動性と保存安定性を両立させるのには有利のようである。

流動性がよく、しかも熔融粘度の小さい成形材料が必要なことは前に述べたが、それには充てん剤の種類と配合量を適切にすることが必要である。充てん剤は粒状のものが通常用いられるが、繊維状のものも配合される。最近には特に耐クラック性のよい成形材料が求められるので、ガラス短繊維を配合したものが出ている。しかしガラス繊維は一般にかなりのアルカリ分を含有しているので、半導体などを内蔵する部品に適用する場合には、モールド品の耐湿性および動作安定性などの面で問題がありそうである。他方ガラス短繊維を含む成形材料を使用しても、金型の摩耗が激しくなるという心配は今のところないといわれている。

さて電子部品用の低圧トランスファ成形材料は、国内外の数多くのメーカーでつくられており、これらの材料の性質は、すでに広く紹介されている^{(2)(9)(b)}。その記事により、各社の材料の性質はおお

表7 エポキシおよびシリコン系材料硬化物の吸湿性と透湿率 (70°C, 95% RH, 850h)

成形材料	比重 d_4^{25}	吸湿率 (%)	吸湿量* (mg/cm ³)	透湿率** (g・cm/cm ² ・h) (40°C)
市販のエポキシ系	1.74	1.06	18.4	$2.8 \pm 0.2 \times 10^{-7}$
シリコン系	1.86	0.30	5.6	$1.9 \pm 0.1 \times 10^{-6}$

* 吸湿量=吸湿率×比重×10

** 試片: 圧縮成形し、さらに後キュア (表6と同様) してつくった約 60 mmφ、厚さ 0.3 mm の薄膜。

測定法: JIS Z0208 に準じた重量法。

よそは握できるが、材料の性質を実際に測定してみると、かなり意外な結果をうることもあるので、実用に際しては基本的性質をじっくり検討しておくことが好ましい。

エポキシ系およびシリコン系トランスファ成形材料のそれぞれの長所、短所に関し、従来提出された諸見解^{(1)(2)(9)(b)(10)} およびわれわれの検討した結果をまとめると、次のようにいえる。

- (1) エポキシ系がシリコン系より金属に対する接着性はすぐれている (表6)。
- (2) シリコン系がエポキシ系より耐熱性はすぐれている (ただし、エポキシ系において急速な改良研究が行なわれている⁽¹⁵⁾)。
- (3) シリコン系の吸湿率はエポキシ系の約 1/3 であるが、透湿率は約 10 倍である (表7)。
- (4) シリコン系のほうが成形収縮および熱膨張係数とも、エポキシ系よりいくらか大きいようである。
- (5) エポキシ系のほうがシリコン系より機械的性質の要求に対し品種選択の幅が大きい。特に耐クラック性の面で、現在のシリコン系材料は不じゅうぶんの場合がある。
- (6) 成形時のバリはシリコン系のほうが少ないようである。

このようにエポキシ系、シリコン系成形材料とも改良すべき面がまだかなりある。けれどもモールド前にセラミックや金属(導線)をプライマで処理して樹脂の接着性を向上させる、あるいは素子および部品をじゅうぶんに Passivate Coating するなどを行なったうえ、吟味した材料で成形すれば、耐湿性、耐熱性、耐熱衝撃性などの面で信頼性のじゅうぶん高いモールド品をつくることのできる。

なおトランスファ成形機など、作業に必要な設備類に関しては、浅香氏などによりよくまとめられているので⁽²⁾⁽¹⁶⁾、それらを参照されたい。

6. 結 言

電子部品のモールド用樹脂について研究した結果、耐湿性および熱的諸特性のすぐれた新しい注型用エポキシ系樹脂を開発した。この樹脂は、必要に応じ流動性、硬化性などの作業性をかえることができる。また充てん剤の調整により、樹脂硬化物の膨張係数を電子部品に用いられる通常の金属 (たとえばアルミニウム、銀、銅、金、ニッケル、鉄など) の膨張係数 $[(2.4 \sim 1.2) \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}]$ と合わせることもできる。

別に耐湿性のすぐれた注型用可撓化樹脂も開発した。この樹脂は収縮応力が問題になるような素子あるいは部品類のモールドに有用である。

低圧トランスファ成形材料の性質に関しては、まだ改良の余地がかなり多いことを示した。また Passivative Coating やプライマ処理などにより、モールド品の信頼性をじゅうぶん高くできることを示唆した。

終わりにご助言、ご激励を賜った日立製作所田口武夫博士、日立製作所武蔵工場伴野工場長、佐藤部長、日立研究所桑山所長、小林副所長、中牟田部長に厚く感謝する。

参考文献

- (1) 山本ほか2名：電子材料 6, 5, 15, 20 (昭42-9)
- (2) 第398回工経連講座テキスト：(昭42-11, 日本工業経済連盟)
- (3) J. J. Licari, G. V. Browning: Electronics, 40, 101 (Apr. 1967)
- (4) F. J. Lockhart: National Electronic Packaging and Production Conference, p. 355, (1967, Electronic Packaging and Production Magazine)
- (5) R. H. Smith: IEEE 32c 79-70
- (6) R. F. Zeher: IEEE 32c 79-15
- (7) Modern Plastics, 45, 226 (Oct. 1967): Chem. Week, 102, 55 (Apr. 20, 1968)
- (8) (a) 北川ほか3名：日立評論 46, 1206 (昭40-7); (b) 庄司ほか4名：同誌, 47, 1471 (昭41-8)

- (9) (a) L. L. Rosine, ed.: Adv. in Electronic Circuit Packaging, 5, 1 (1965, Plenum Press); (b) プラスチックス 18, 55 (昭42-6); (c) J. Bardeleben: Kunststoffe, 53, 162 (1963); (d) 田中ほか2名：工化 69, 1208 (昭41-6); (e) 鈴木ほか2名：日本化学会 第19年会 5X216 (昭41-3); (f) 柳原ほか2名：日本化学会 第20年会 4Q223 (昭42-3); (g) 山口, 秋本：同4Q222 (昭42-3)
- (10) W. M. Robinson, H. R. Lee: Insulation, 13, 43 (Dec. 1967)
- (11) Engineering: 205, 953 (June, 1967)
- (12) U. C. C.: 日本特公 43-11984
- (13) (a) 穴山, 寺谷：三菱電機 36, 906 (昭37-7); (b) M. Sato, et al.: Tech. Papers, 13, 20 (1967, Soc. of Plastics Engineers, Inc.)
- (14) Modern Plastics, 45, 104 (Feb. 1968)
- (15) F. M. Bell: Electronic Packaging & Production, 8, 57 (June, 1968)
- (16) 電子材料 6, 88 (昭42-6)



特許の紹介



特許第487078号 (特公昭41-533号)

猪瀬文之

制

御

器

オンオフ調節器で、たとえば電気炉の温度制御を行なう場合、調節器のオンオフ動作特性が図1に示すような場合には調節系はリミットサイクルをもつことを避けがたい。このリミットサイクルは図2に示すように偏差が小さい範囲で比例帯を付加すれば実用上無視できる程度に小さくなる。

本発明は図2に示す特性を有する制御器を得ることを目的とするものであって、図3に示すように、偏差信号を普通の増幅器に加え、その増幅器の出力から入力側に進相特性を有する要素を介して正帰還を施すように構成したものである。このように構成した場合は偏差信号の大きさと、進相特性を有する要素の過渡現象との相互的な関連によって図4に示すような出力が得られる。すなわち、偏差が比例帯の下限以下のときは同図の(a)、下限以上で小さいときは(b)、中間的のときは(c)、上限に近い場合は(d)、上限をこえるときは(e)のような出力を生じ、プロセスに加えられる操作量は平均化されるので、図2に示す比例帯が等価的に実現されたことになる。

この発明はきわめて簡単な構成でオンオフ制御の精度を高め得る点において特に実用的効果が大きい。(井沢)

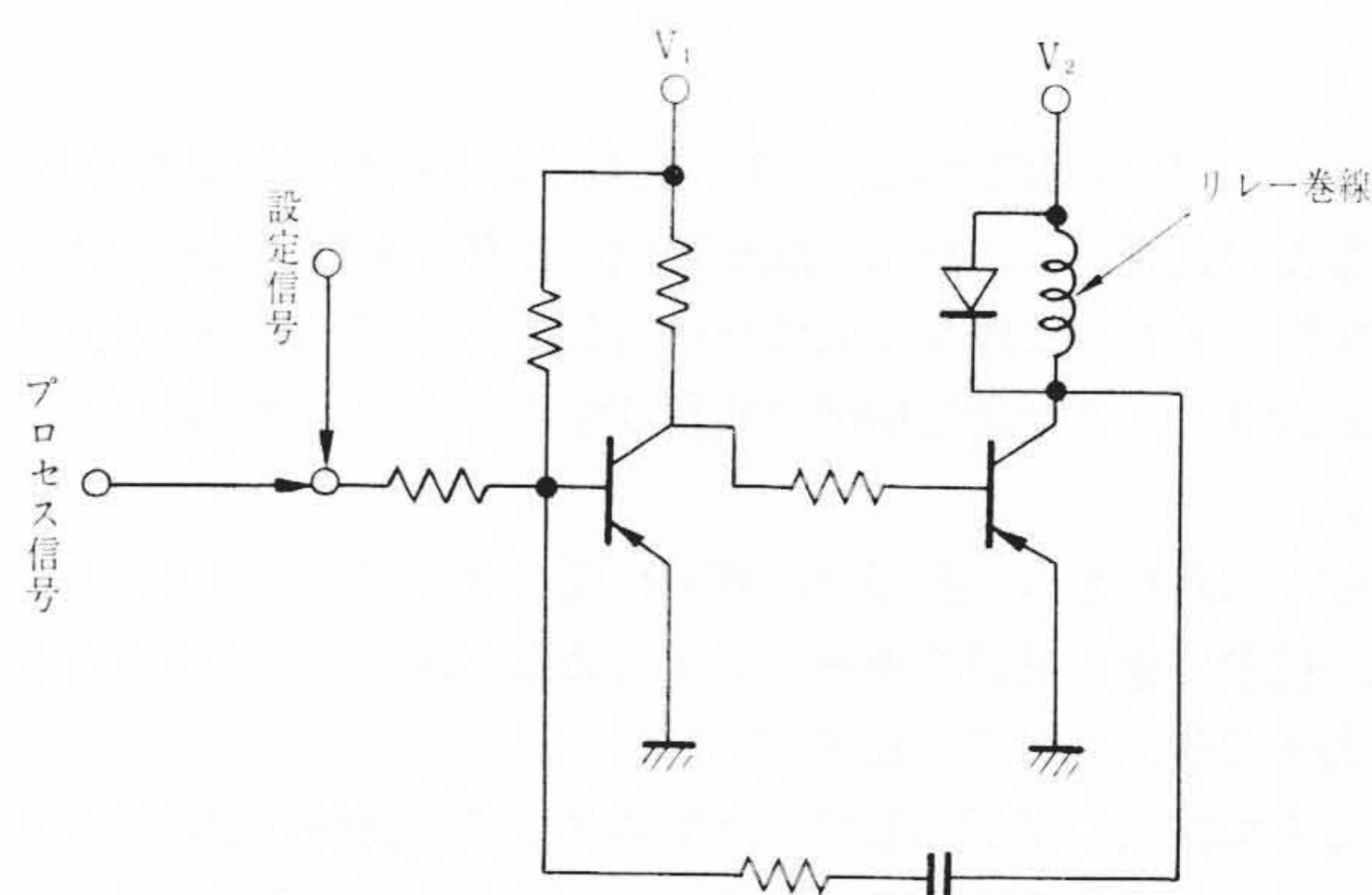


図 3

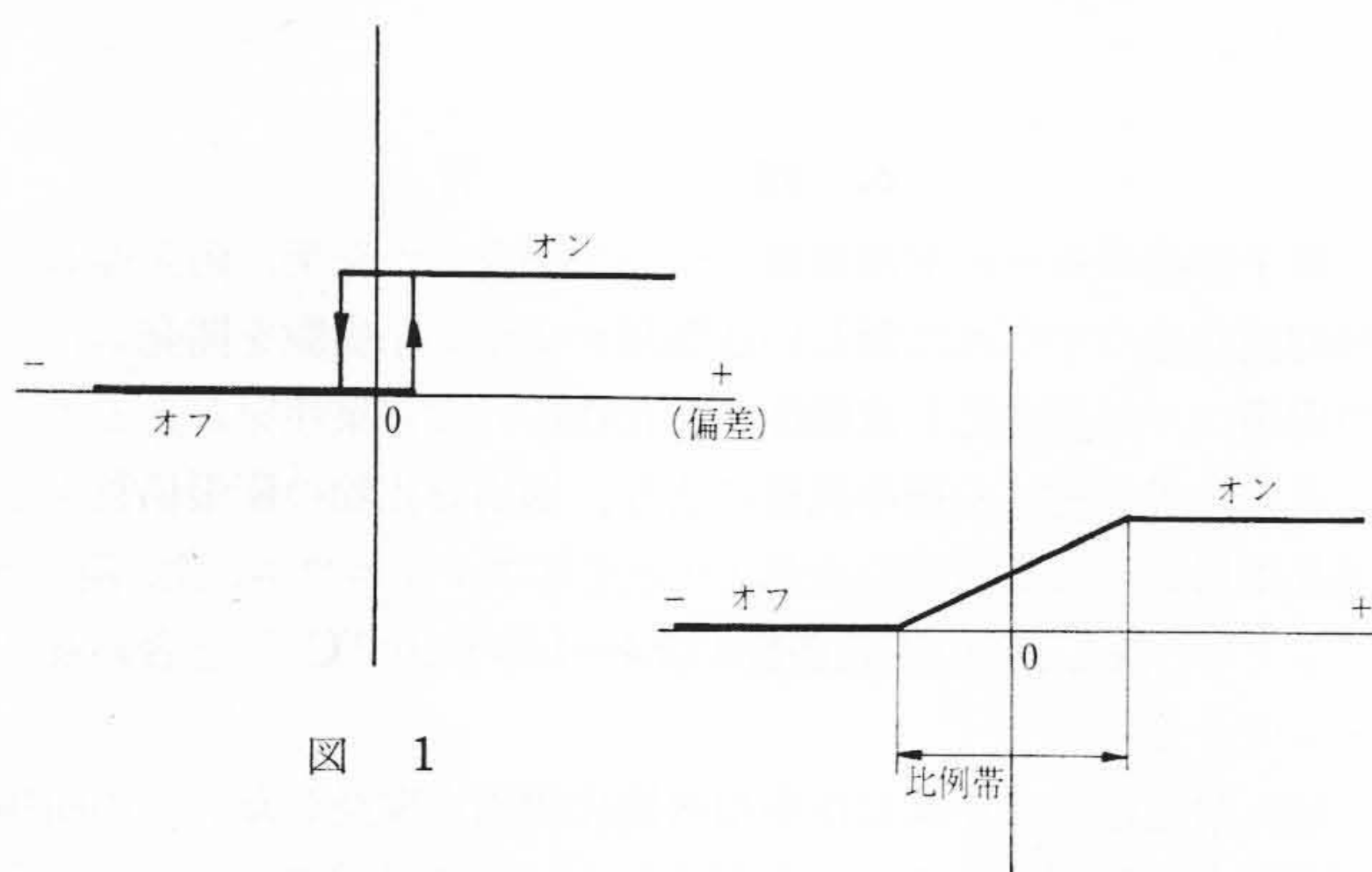


図 1

図 2

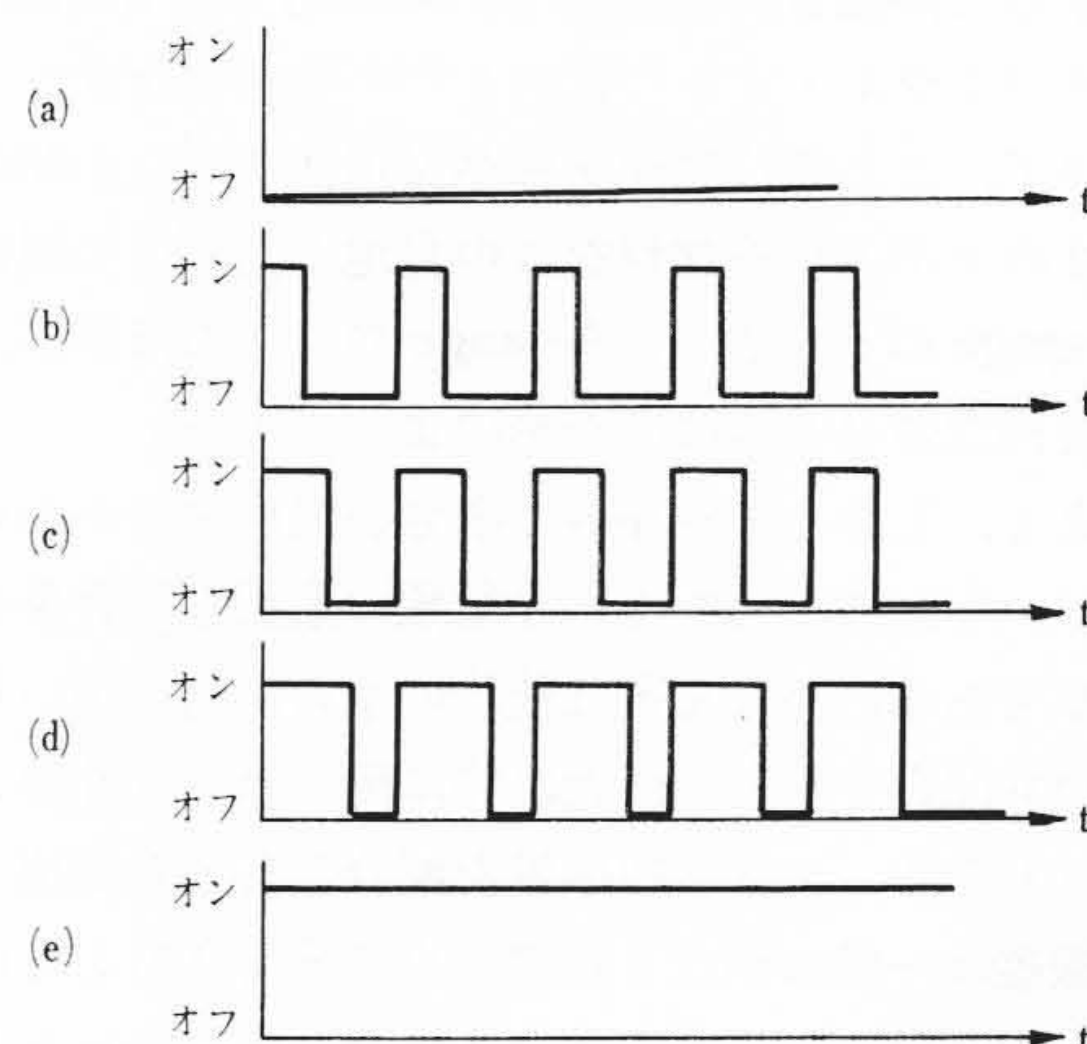


図 4