集積回路用トランスファ成形材料

Transfer Molding Compounds for Integrated Circuits

给木 纪 Hiroshi Suzuki 元 藤 幹 夫*
Mikio Satô

久 保 悦 司** Etsuji Kubo

要旨

集積回路のレジン封止に適したトランスファ成形材料を開発した。この新成形材料は,迅速に硬化し,しかも長期間貯蔵し得るいわゆる潜在硬化性のすぐれたエポキシレジンシステムと特殊充てん剤を組合せたユニークなものである。成形時に,溶融粘度が低いのでインサートに悪影響を与えず,しかもバリがほとんど出ない。硬化物の熱的性質がすぐれている。特に膨張係数が従来の市販品に比べ一段と小さい,機械的,電気的性質もすぐれているなどの特長がある。開発した材料で成形した集積回路は,きわめて過酷なプレッシャクッカ試験,200℃ 放置試験, $150\sim-55$ ℃ 熱衝撃試験にもじゅうぶん耐え,信頼性は抜群である。

1. 緒 言

電子部品のパッケージングは、製品コスト低減の要請に答えるため、金属、ガラスあるいはセラミックによる気密封止からレジン封止に移りつつある。レジン封止は、アメリカ GE 社が昭和 38 年初めにエポキシレジン封止形トランジスタを発表したのに始ったが、当時は専ら、簡易に作業できる注型によった(1)(2)。その後、半導体素子の表面を安定化する技術(3)、封止用レジンの改良進歩(4)と相まって、レジン封止方式は注型から量産性のよいトランスファ成形に移るすう勢にある(5)。

電子部品に用いる成形材料は、繊細な構造の素子と物理的、化学的、電気的にコンパティブルであるとともに、低い圧力で迅速に成形でき、離型しやすく、かつバリの少ないなど、いわゆる成形性および貯蔵安定性の良いことが必要である。

従来,この種の成形材料には,エポキシ系,シリコーン系などのものがある⁽⁶⁾。コストの点でエポキシ系が主流であるが,成形性と成形品の信頼性の両立の点で多々問題があった。

著者らは、迅速に硬化し、長期間保存し得る潜在硬化性エポキシレジンシステム(*)と特殊充てん剤(*)(*)とを組み合せることによって諸特性のすぐれたトランスファ成形材料を開発した(*10)。

本報は,新トランスファ成形材料の成形性,硬化性および集積回 路成形品の信頼性について詳細に述べる。

2. トランスファ成形材料の開発

エポキシレジン系は、その硬化剤の種類によって酸無水物硬化形とアミン硬化形とに大別される。前者は、電気的、機械的性質および耐熱性にすぐれていることから、絶縁材料として広く賞用されている。半導体製品のモールドレジンとして従来使われたのも専ら、酸無水物硬化形エポキシ系レジンであった(1)(2)(11)(12)。この系は、一般に硬化の際に高温長時間を要するため、通常硬化促進剤を加えて硬化時間の短縮を図っている。しかし、その際常温での可使時間も同時に短くなってしまう。この不便さを解消するため、常温では不活性で、かつ加熱硬化時に促進作用を現わす促進剤いわゆる潜在性硬化促進剤の開発が宿望されていた。

著者らは、この要望にじゅうぶん適った潜在性のきわめて良好な促進剤を開発した(**)。ビスフェノールA形エポキシ・酸無水物系に新促進剤を添加した際の促進効果を従来の促進剤と比較して示したのが表1である。新促進剤を配合した系は従来の促進剤添加系に比べ、ゲル化時間で代表される硬化性がほぼ同等もしくはそれ以上で

表 1 新潜在性硬化促進剤の性能

、 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	/DY##/DIID	ゲル化時	可使時間*		
レジン系組成(重量部PHR)	促進剤(PHR)	150℃	120℃	(h)	
エピュート 828 100	新促進剤 1.5	7	29	550	
無水メチルハイミック酸 89	DMP-30 0.5	12	28	70	

(注) *: 40℃ 貯蔵時に粘度が初期の 10 倍に達する時間

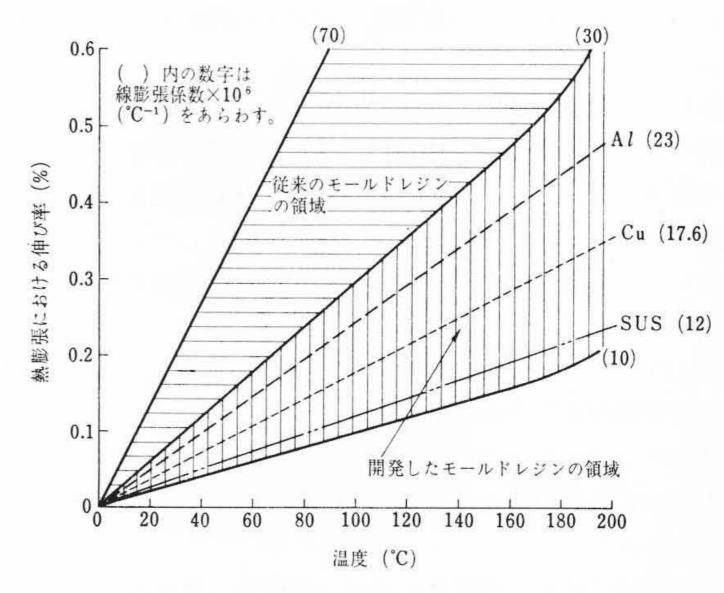


図1 開発した低膨張レジンの伸び率と温度との関係

あるにもかかわらず、可使時間が飛躍的に長い。硬化物の諸特性も 良好であり、半導体素子にも悪影響を及ぼさない。この新促進剤に よって酸無水物硬化形エポキシ系のトランスファ成形材料が容易に 製造できるようになった。

トランスファ成形材料における次の問題は硬化後の特性である。 従来の成形材料は、インサートを構成する金属やセラミックなどに 比べ、線膨張係数 α が $0.5\sim1$ けた大きく、熱伝導率 λ は $1\sim3$ けた 小さい。また、2 次転移点 T_g が $100\sim150$ で比較的低い。そのた め、成形品には、インサートと封止レジンの物性の差異に基づくス トレスが生じ、レジンがクラックしたり、内部で断線するなど、致 命的な不良発生の問題があった。

前報(4)に述べたように、著者らは、ストレスの問題を解決するためレジン・特殊充てん剤系の諸特性を研究した結果、 α は低く、 T_g 、 λ が高いなど熱的諸特性にすぐれ、耐湿性もよい、注型用エポキシ系レジンを開発した(4)(8)(9)。このレジン系は必要に応じて、流動性、硬化性などの作業性を変えることができる。また、特殊充てん剤を調整することにより α を図1に示すように電子部品に用いられる金

^{*} 日立製作所日立研究所

^{**} 日立化成工業株式会社下館工場

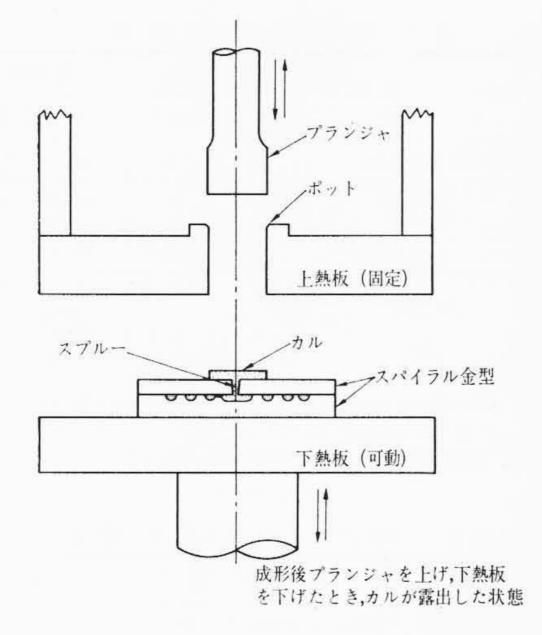
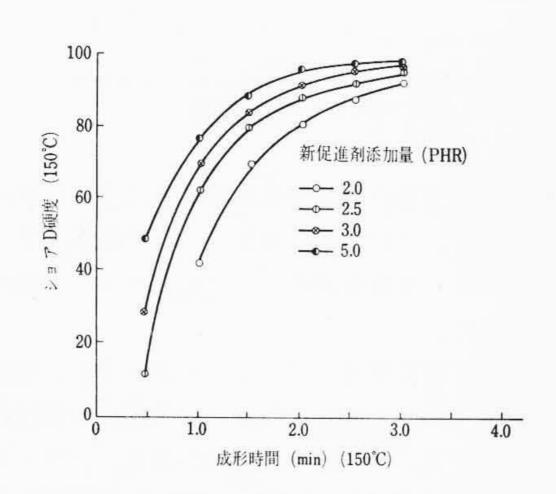


図2 トランスファ成形説明図



(開発品 No.1における実験結果)

図3 新硬化促進剤の添加量を変えたときの成形時における硬度変化

属と合わせることもできる。この低膨張率レジンの使用によって成 形品のクラック,断線および湿気の浸入などの問題を解決し,信頼 性を飛躍的に向上することができた。

そこで次に、上記特殊充填剤と潜在硬化性レジンシステムとを組合せて低圧トランスファ成形材料をつくる研究を行なった。そして、ユニークな酸無水物硬化形エポキシ系の成形材料を開発したのである⁽¹⁰⁾。新成形材料には成形性および硬化物の特性に、従来の市販材料にみられない種々の特長がある。

以下に,新トランスファ成形材料の成形性,硬化性および集積回 路成形品の信頼性について詳しく述べる。

3. 成形性および貯蔵安定性

3.1 硬 化 性

硬化性の評価法には成形品の成形直後の高温でのかたさを測定して物理的に判定する方法と、未反応物を抽出定量して化学的に判定する方法がある。そのほか、高化式フローテスタによる方法 $^{(13)}$, 超音波減衰速度測定による方法 $^{(13)}$ がある。著者らは簡便で実用的と思われる硬度法で評価した。すなわち、トランスファ成形機を用い、150 で所定の圧力、時間で成形したあと、型を開いたとき露出したカル(ポットに残ったレジン部、図 2) の表面硬度を約 10 s 以内にショア D 硬度で測定した。

新硬化促進剤の配合比を変えたときの成形時間と硬度の関係を示したのが 図 3 である。 ショア D 硬度が 60 以上あれば,成形品を変形せずに金型から取出せる。よって,硬度が 60 になるまでの時間を

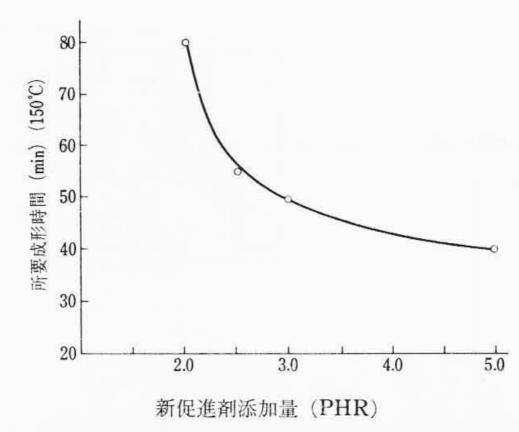


図 4 新硬化促進剤の添加量と 150℃ における 所要成形時間との関係

表2 流動性および貯蔵安定性

材料名		開 発 品			従来の市販品		
項	II .	No. 1	No. 2	No. 3	A	В	С
製造	スパイラルフロー*2 (in)	60	40	30	35	25	16
直後	溶融粘度*3 (Poise)	45	250	500	500	520	830
4個月後*1	スパイラルフロー*2 (in)	30	20	20	18	5	0

) *1: 20℃ で密閉貯蔵

*2: EMMI 1-66, 150℃, 26 kg/cm², 2~5 min で成形, 仕込量 20 g

*3: 高化式フローテスタ⁽¹⁴⁾ 150℃, 10 kg/cm², 1¢×10 mm ノズル, 2gサンプル, 15 秒予熱

所要成形時間とした。図3から求めた所要成形時間と新促進剤の配合比の関係を示すと図4になる。新促進剤の配合比を調整することによって、150℃における所要成形時間を40~80sに変えることができる。新成形材料の硬化性は従来材料と比べ同等もしくはそれ以上である。

3.2 流 動 性

電子部品用成形材料の流動性は繊細な構造の素子,特にコネクタワイヤ,端子など突起している部分に損傷を与えることなく成形できるかどうかを支配する重要な性質である。粘度が低く,流動性の良い材料を低い圧力でゆっくり流し込むことが好ましい。

低圧成形材料の流動性は一般にスパイラルフロー(*)として長さで表わされ、金型内でどれほどのパスに流れたかを評価するのに有効である。しかし、これは溶融粘度とゲル化時間の二つの因子で決まるのでコネクタワイヤなどインサートに及ぼす流動時のストレスを考える際には適当でない。そこで、著者らは流動性をスパイラルフローのほか溶融粘度で評価した。前者は、EMMI-66に準拠して求め、後者は高化式フローテスタ(14)を用いて測定した。

開発した成形材料の150℃におけるスパイラルフローおよび溶融 粘度は表2に示すとおりである。この表には比較のために、従来の 市販品の値も記載した。 開発品の粘度は500 Poise 以下である。 No. 1,2 は特に低粘性であるため、成形時にコネクタワイヤを曲げ るなどの流動によるストレスの問題はない。 開発品のスパイラルフ ローも大きく良好である。

3.3 貯蔵安定性

貯蔵安定は20℃に4個月間保存したときのスパイラルフローの 低下の程度から評価した。保存後のスパイラルフローを保存前の値 とともに表2に合せて示した。 開発品のスパイラルフローは貯蔵

(*) 1964 年 SPI (The Society of the Plastics Industy) に EMMI (Epoxy Molding Material Institute) が設置され, Thermosetting epoxymolding compounds の流動性を評価 するのに定められた方法, EMMI 1-66

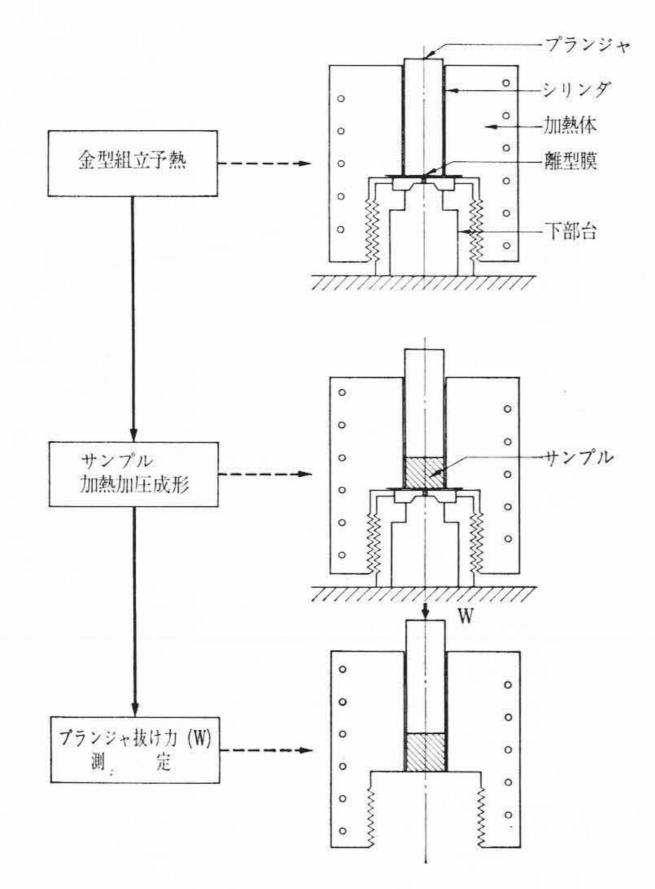


図 5 高化式フローテストによる離型性測定操作手順

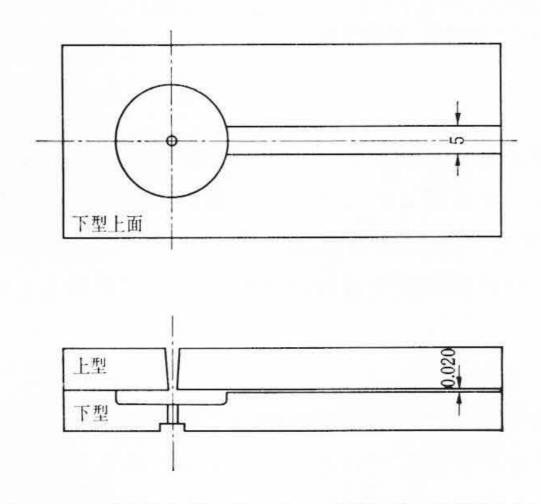


図 6 バリ測定金型 (スリット断面, 0.020×5 mm)

中,若干低下するが,従来品に比べ良好である。スパイラルフローは $10\sim15$ in 以上あれば使用可能なので,開発品の貯蔵寿命は 20 $\mathbb C$ で 4 個月以上あり,実用上じゅうぶんである。

3.4 離型性

成形時の離型性の良否は作業能率を支配するので重要な問題であるが、これは、金型の表面状態、形状、材質などの影響をうけるので、評価がむずかしい。従来は実際に成形品を金型から取出すときの難易から定性的に評価された。

著者らは、低圧トランスファ成形材料の離型性を定量的に評価するため種々検討を行なった。その結果、高化式フローテスタを利用することによって簡便に定量的評価のできることがわかった。この方法にはバリのきわめて出やすい材料の場合若干問題はあるが、実機で成形したときの離型性とほぼ対応がとれた。以下に高化式フローテスタを用いて離型性を測定する方法について詳しく述べる。

測定操作手順は図5に示すとおりである。試料を加熱加圧するところまでの手順は従来の高化式フロー測定と同じである。ただし、金型を組立てるときに、それまでの前歴の影響を受けぬようにするため金型表面を清浄にする。また、試料を流出させないようにすることおよび下部台の取はずしを円滑にするためにノズルの上に離型膜を入れて金型を組立てる。所定条件で成形した後、重錘(おもり)

表3 離型性評価結果

項目		材料名	開 発 品		従来の市販品		
			No. 1	No. 2	A	В	С
トラン	スファ成刑	じ 時の離型性良否	良	良	良	不良	やや良
高化成 フロー テスタ に 発型性 予 熱	プランジヤ抜け力*1 (kg/cm²)	4	5	30	25	12	
	(mm) y *2	0.9	0.8	16	2.5	2	
	プランジヤ抜け力*1 (kg/cm²)	5	5	4	20	10	
	有*3	(mm) y *2	0.8	0.7	1.5	2.3	2.1

(注) *1: 図5による

*2: 図 5 におけるプランジャとシリンダ間 (20~30 µ のすき間)

に発生するバリ

*3: 予熱時間(s)=ゲル化時間(s)-10(s)

表 4 バリの多少とバリ取りの要否

材料名	開	界 発 品		従来の市販品		
項目	No. 1	No. 2	No. 3	A	В	С
トランスファ成形後の バリ取り要否	不要	不要	不要	要	要	要
バ リ* (mm) (スリット 20μ×5 mm)	0.9	0.7	0.5	50	1.5	1.9

(注) 図6に示した金型使用し, 150℃, 26 kg/cm², 2.5 min で 成形したのち, 下型のみぞに出た長さを測定した。

架を取り去り速かに下部台を加熱体から取りはずす。次にナイフエッジに重錘をつるす。これを漸次増加し、成形品がプランジャとともに抜け落ちたときの荷重を求め、これをプランジャ抜け力とし、離型性の目安にした。

開発した材料および従来品のプランジャ抜け力と,実機による離型性評価との関係を示すと表 3になる。プランジャ抜け力は実機評価とほぼ一致している。開発品は離型性が良く,プランジャ抜け力が $4\sim5$ kg/cm² で最も小さい。ただし,従来の市販品中 A だけは実機での離型性は良いにもかかわらず,プランジャ抜け力が 30 kg/cm² と異常に大きい。 A は他に比べバリがきわめて多量に発生した(プランジャとシリンダのすき間 $20\sim30\mu$ に約 16 mm 出た)。よって,A のプランジャ抜け力が異常に大きく出たのは,このバリによるものと考えられる。そこで,バリの多い材料については,予熱(ゲル化点に至る 10 s 前まで)して増粘し,バリ発生を押えて加圧成形することを検討した。その結果,実機での評価と対応した。

以上のように、高化式フローテスタを用い、成形後のプランジヤ 抜け力から離型性を簡便に定量的に評価できることがわかった。こ の場合、プランジャやシリンダ面の仕上げ状態、既往の型キズ、公 差などによりプランジャ抜け力に差異が生ずると予想される。よっ て、プランジャ抜け力を絶対値としてでなく、相対値としてとらえ るべきであることを付記しておく。

3.5 バリの多少

前節ですでにバリの問題が出たが、バリとは材料の一部が成形時に金型間または金型とインサートフレーム間に流出し、または押出されて硬化したものを意味する。従来の成形材料では、大なり小な発生したバリを成形後取り除くことは当然と考えられていた。しかし、バリの発生を押え、バリ取り作業をはぶくことができれば作業能率を大幅に向上できると期待される。

開発した材料は、レジン・充てん剤の相互作用を利用し、粘度がきわめて低いにもかかわらず、バリが出ないように工夫されている。バリの多少は、金型間のすき間を想定し、深さ 20μ 、幅 $5\,\mathrm{mm}$ のみぞをつけた金型(図 6)を使い、150°C、 $26\,\mathrm{kg/cm^2}$ 、 $2.5\,\mathrm{min}$ の条件で成形したとき、みぞに流れ出た長さから評価した。

開発品および従来の市販品について,バリを測定した結果とバリ取り作業要否の関係を示したのが表 4 である。開発した材料のバリはきわめて少なく,バリ取り作業は不要である。

表 5 硬化物の諸特性測定用試験片寸法, 試験方法

555-1A - 21	NOTICE OF THE PERSON OF THE PE			
項目	試 片 寸 法 (mm)	試 験 方 法		
2次転移点線膨張係数	$12\phi \times 100$	ASTM D 696		
熱 伝 導 率	100×100×15	ASTM C177-45		
曲げ強性率	13×5×140	JIS K 6911 支点間 80 mm, 荷重速度 0.5 mm/min		
$arepsilon$ tan δ	$50\phi imes 2$	JIS K 6911		
$ ho_v$	$100\phi \times 2$	JIS K 6911		

(注) 各試片成形条件: 150℃, 26~78 kg/cm², 2~5 min で成形したのち

150℃で16hアフタキュアした。

ε: 誘 電 率 tanδ: 誘電正接(%)

 ρ_v : 体積抵抗率 ($\Omega \cdot cm$) (DC100V 1分值)

表6 硬化物の諸特性

材料名 項 目		開	開 発 品			従来の市販品			
		No. 1	No. 2	No. 3	A	В	С		
±1.	2次転	移点 (℃)	160	165	170	150	115	145	
熱 的 性 質	線膨張	係数×10 ⁵ (℃ ⁻¹)	2.0	1.6	1.0	3.0	3.7	3.3	
任 貝		享率×10³ al/cm·s·℃)	1.1	1.3	1.8	1.3	1.1	1.5	
機械的	曲げる	曲 げ 強 さ (kg/cm ²) 曲げ弾性率×10 ⁻⁵ (kg/cm ²)		1,150	1,250	1,200	1,300	500	
性 質	曲げ弾			1.7	2.5	1.7	1.3	1.3	
		ε (1MHz)	3. 4	3.4	3.5	3.8	3.8	5.3	
	常態	tan δ (%, 1 MHz)	0.9	1.3	0.9	1.4	1.1	1.6	
電気的		$(\Omega \cdot \text{cm})$	8×10 ¹⁶	8×10 ¹⁶	1×10 ¹⁷	9×10 ¹⁵	5×10 ¹⁵	5×10 ¹⁵	
性 質	煮沸水	ε (1MHz)	3.5	3.7	3.9	4.7	4.8	5.6	
	27 h	$\tan \delta$ (%, 1 MHz)	2.6	2.7	2.9	3. 2	11.0	3.0	
	仅俱恢	浸漬後 $\frac{\rho_v}{\rho_v}$ $(\Omega \cdot \text{cm})$	3×10 ¹³	6×10 ¹³	2×10 ¹³	2×10 ¹²	5×10 ¹¹	6×10 ¹³	
吸水率 (煮沸	(ωt%) B水 25 h 8	是漬後)	0.51	0.40	0.33	0.97	1.30	0.66	

4. 硬化物の諸特性

硬化物の熱的,電気的,機械的性質は、150℃、26~78 kg/cm²、2~5 min で各試片をトランスファ成形し、次いで150℃、15 h アフタキュアしたものについて測定した。試行寸法、測定法などは表 5 に示すとおりである。

4.1 熱的性質

開発した材料の2次転移点 T_g ,線膨張係数 α ,熱伝導率 λ などの熱的性質を示したものが表6である。この表には、比較のために従来の市販品の値も記載した。

開発品は従来品に比べ、 T_g が高く、 λ は同等以上である。また、No. 1, 2, 3 の α は それぞれ、アルミニウム(α は 2.3×10^{-5} °C⁻¹)、 銅(1.7×10^{-5} °C⁻¹)、鉄(1.0×10^{-5} °C⁻¹)とほぼ同じで、きわめて低膨張率である。この α は、鉄、アルミナ(0.8×10^{-5} °C⁻¹)とほぼ同じところまで任意に調整することができる。

4.2 機械的性質

開発した成形材料の曲げ強さ、曲げ弾性率を従来品の値とともに 表6に示した。

開発品の機械的性質は、従来品と比べ同等もしくはそれ以上で良好である。開発品 No. 3 の曲げ弾性率が他に比べ大きいのは、充てん剤の影響による。

4.3 電気的性質

開発した材料の誘電率 ε , 誘電正接 $\tan \delta$, 体積抵抗率 ρ_v も従来品の値とともに表 δ に示されている。 ε , $\tan \delta$ および ρ_v の温度特性は図 $7\sim9$ に ε , $\tan \delta$ の周波数特性は図 10, 11 に示すとおりである。

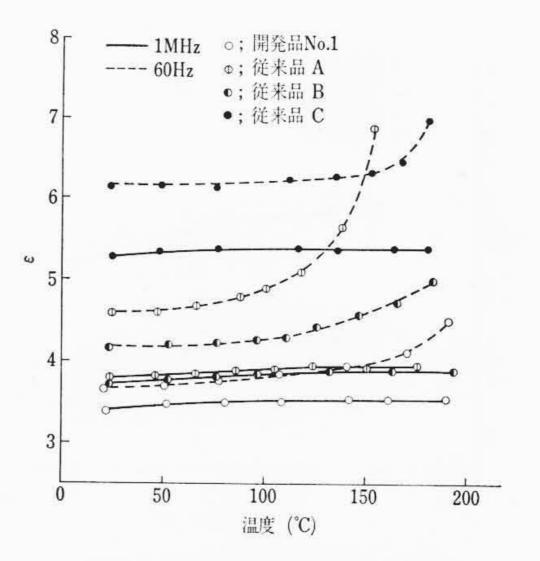


図7 誘電率 ε の温度特性

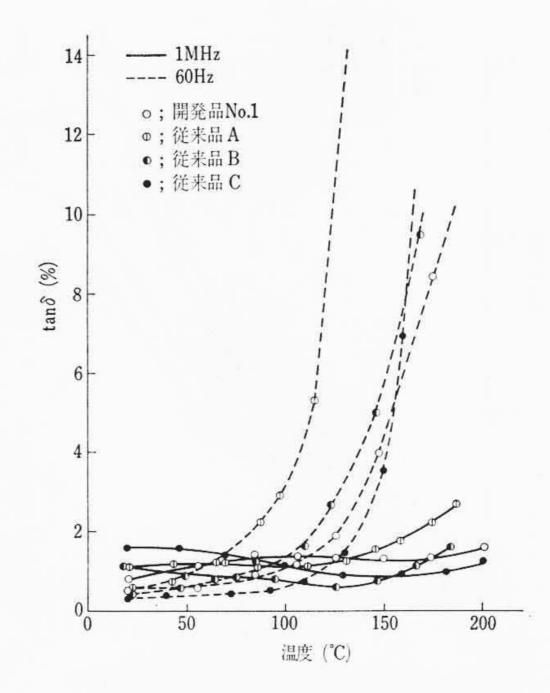


図8 誘電正接 tan δ の温度特性

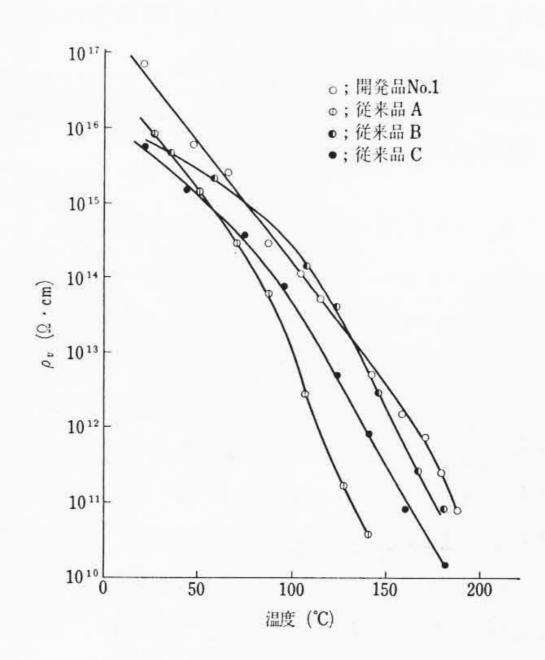


図 9 体積抵抗率 ρッの温度特性

開発品の電気的諸特性は従来品に比べ、同等もしくはそれ以上で良好である。従来品Cの ε が他に比べ大きいのは充てん剤の影響によると思われる。

4.4 耐 湿 性

硬化物の耐湿性は,板状試片を煮沸水に25h浸漬したときの電気

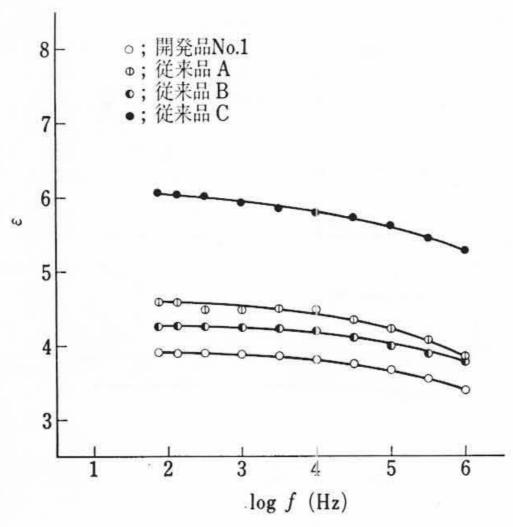


図10 誘電率 ε の周波数 f 特性

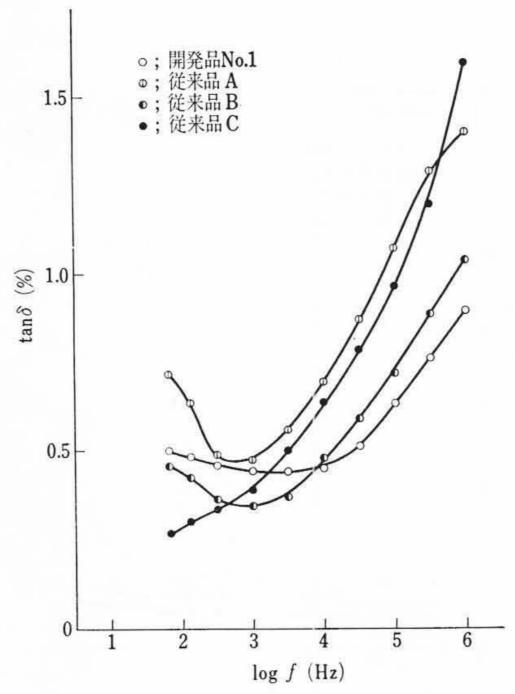


図 11 誘電正接 $an \delta$ の周波数 f 特性

的性質の変化の程度および吸水率から評価した。

煮沸水に 25 h 浸漬後の ε , $\tan \delta$, ρ_v も表 δ に示されている。また、この期間における吸水率も記載されている。

開発品は従来品に比べ,吸水率が小さく,吸水後の電気的性質が 良好であり,耐湿性がすぐれている。

5. バイポーラ IC 成形品の信頼性

開発した材料でバイポーラ形集積回路 (IC) をトランスファ成形し、その信頼性について検討した。 150° C、 $2\sim5$ min で成形し、次いで 150° C、15 h アフタキュアしたものを試料とした。 これについて、プレッシャクッカ試験 (120° C、2 atm. の水蒸気中に $10\sim20$ h さらす)、高温加熱試験 (200° C 下に 500 h さらす)、熱衝撃試験 (150° C、5 min $\sim-55^{\circ}$ C、5 min、 $400\sim800$ サイクル)の各試験を行ない、コレクタしゃ断電流 (I_{CBO})、逆方向電圧電流特性、断線、半断線、ショートなどをチェックし、信頼性を検討した。これらの試験結果は表7に示すとおりである。表7には比較のために、従来の市販品で成形した IC の信頼性も記載してある。

上記各試験は、いずれもきわめて過酷であるが、従来の市販材料による成形品には、耐湿性、耐熱性、耐熱衝撃性の面で不良が多発した。これに対し、開発した材料で成形したものでは、いずれの試験においても不良は全く発生せず信頼性は抜群に高い。

開発した新トランスファ成形材料は、上記バイポーラ IC のほか、表面のきわめて鋭敏な MOS 形 IC にも悪影響を及ぼさず、適用することができる。さらに、大規模集積回路(LSI)、混成集積回路(HIC)

表7 バイポーラ形 I C 成形品の信頼性 (不良率%)

材料名		開 発 品			従	従来の市販品		
項目		No. 1	No. 2	No. 3	A	В	С	
プレッシャクッカ試験 (120℃, 2 atm.) 水蒸気中	10 h	0	0	0	3	30	0	
	20 h	0	0	0	98	100	0	
高温加熱試験 (200℃, 500h)		0	0	0	0	0	0.3	
熱衝擊試驗 (150℃/5 min~ -55℃/5 min)	400≈	0	0	0	2	6	1	
	800∼	0	0	0	8	42	5	

(注) トランスファ成形条件: 150℃, 2~5 min で成形した。次いで 150℃, 16hアフタキユアした。

信 頼 性 チ ェ ッ ク: コレクタしゃ断電流(I_{CBO}), 逆方向電圧電流特性, 断線, 半断線, ショートなどを調べた。

のパッケージにも適用可能である。もちろん,これらの集積回路の ほかにトランジスタ,ダイオード,サイリスタなどの電子部品,各 種電気機器の成形にも広く使用することができる。

6. 結 言

集積回路のトランスファ成形に適した,酸無水物硬化形エポキシ 系の新成形材料を開発した。

開発した材料は迅速に硬化し長期間貯蔵できる。成形時には、溶 融粘度が低いのでインサートに対し悪影響を全く与えない。また、 バリがほとんど出ないので成形後のバリ取り作業が不要である。

硬化物は従来の市販材料に比べ,2次転移点および熱伝導率が高く,線膨張係数は一段と小さい。電気的,機械的性質および耐湿性もすぐれている。

新成形材料で成形したバイポーラ形集積回路(IC)は、きわめて過酷なプレッシャクッカ試験、200 放置試験、150 ~-55 の熱衝撃試験の各試験にもじゅうぶんに耐え、信頼性が抜群に高い。

開発した材料は、バイポーラ形 IC のほか MOS 形 IC、大規模集積回路(LSI)、混成集積回路(HIC)などにも適用可能である。

終わりに臨み,本研究について多大のご援助を受けた日立製作所 横浜研究所,半導体事業部の関係各位に深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 庄司ほか: レジンモールド Si トランジスタ 日立評論 47, 1471 (昭 40-8)
- (2) 岡部ほか: エポキシ封止トランジスタ電子材料 4, No. 3,79 (1965)
- (3) 山本ほか: LTP レジンモールドトランジスタの開発 日立 評論 51, 231 (昭 44-3)
- (4) 渡辺ほか: 電子部品用モールド樹脂 日立評論 50, 1126 (昭 43-12)
- R. F. Zecher: A Cost and Performance Analysis of Encapsulation by Transfer Molding; Advances in Electronic Circuit Packaging 5, 87 (1965)
 R. F. Zecher: What Does Transfer Molding Offer Today?; Insulation Jan. 37 (1967)
- (6) 英: 半導体電子部品封止用樹脂; 高分子 19, No. 11, 936 (1970)
- (7) エポキシレジンの新潜在性硬化保進剤の開発 日立評論 **53**, 6 (昭 46-1)
- (8) 特殊樹脂 日立評論 52, 6 (昭 45-1)
- (9) 低膨張率レジン: 1970年代をひらく日立技術展 p. 34(1970, 10月)(日立製作所 技術資料)
- (10) 電子部品用低圧トランスフア成形材料の開発 日立評論 **54**, 50 (昭 47-1)
- (11) J. J. Licari and G. V. Browning: Plastic for Packaging, Handle with Care; Electronics 40, No. 8, 101 (1967)
- (12) R. C. Olberg: The Effect of Epoxy Encapsulant Composition on Semiconductor Device Stability; J. Electrochem. Soc.; Solid State Science, 118, No. 1, 129 (1971)
- (13) 門永ほか: 速硬性フェノール樹脂成形材料の実用化(第1報)電気通信研究所成果報告,第2569号(1966)
- (14) T. Arai: A Guide to the Testing of Rheological Properties with Koka Flow Tester (1958) Maruzen Co., Ltd.