超多層板用熱硬化型ポリフェニレンエーテル樹脂

黒木 正勝*, 新井 雄史**, 石井 義行**, 横山 秀久**, 木下 昌三**, 片寄 照雄**

Thermosetting Polyphenylene Ether for Multilayer Printed Circuit Boards

Masakatsu KUROKI*, Takeshi ARAI**, Yoshiyuki ISHII**, Hidehisa YOKOYAMA**,
Shozo KINOSHITA** and Teruo KATAYOSE**

*旭化成工業株式会社基礎研究所(〒416 静岡県富士市鮫島2-1)

**旭化成工業株式会社製品技術研究所 (〒210 神奈川県川崎市川崎区夜光1-3-1)

*Central Laboratory, Asahi Chemical Industry, Co., Ltd. (2-1 Samejima, Fuji-shi, Shizuoka 416)

**Designed Products Laboratory, Asahi Chemical Industry, Co., Ltd. (1-3-1 Yako, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 210)

概要 きわめて優れた耐熱性と誘電特性を兼ね備えた超多層板材料として、熱硬化型ポリフェニレンエーテル(PPE)樹脂[S3100]を開発した。Eガラスクロスを使用したS3100プリプレグは、パウダーフリーで樹脂流れ性が良好であり、多層板がボイド等の問題なく成形できた(70 μ m銅箔使用)。S3100積層板は1MHzにおける誘電率が3.6、誘電正接が0.002、ガラス転移温度が240℃であり、熱膨張率は小さく、ショアデュロメータ硬さおよび銅箔引きはがし強度が200℃でも低下しなかった。S3100銅箔積層板は優れた誘電特性を持ちながら加工性の良いEガラスを用いているために、Dガラスを用いた基板と比較してドリル磨耗度、スルーホール内壁粗さが圧倒的に小さく、ドリル加工性が優れていた。S3100の誘電率と誘電正接(1GHz)は-20℃～80℃でまったく変動がなく、室温付近のガラス転移点による急激な誘電特性の変化が避けられないPTFEとは対照的であった。GHz領域の伝送損失を測定したところ、S3100は12GHz以下の領域において0.1dB以下の低伝送損失性を有することがわかった。24層までの多層配線板を試作し温湿度サイクル試験、はんだ耐熱試験、オイル浸せき熱衝撃試験、および冷熱衝撃試験を行ったところ、S3100はいずれの試験においてもまったく問題を生じなかった。70 μ m厚みの銅箔を用いた場合にもパターン埋め込み性試験および冷熱衝撃試験で問題はなく、S3100は70 μ m厚みの銅箔の電源層としての使用にも適することがわかった。

Abstract

Thermosetting polyphenylene ether (PPE) resin S3100 having both high glass transition temperature (240℃) and excellent dielectric characteristics, was developed as an insulating material for multilayer printed circuit boards. Powder free prepreg was obtained by impregnating S3100 into E-glass cloth. Resin flow of S3100 prepreg was good enough to produce copper clad laminates and multilayer printed wiring boards (void free with 70 μ m thickness copper foil). S3100 laminate was found to have both superior dielectric properties, such as $\epsilon=3.6$, $\tan \delta=0.002$ at 1MHz, and very small thermal expansion. S3100 showed almost equal heat resistance with polyimide, for instance, durometer hardness and copper foil peel strength of S3100 laminate did not substantially decreased at 200℃. Since S3100 (with E-glass cloth) achieved sufficient dielectric properties without D-glass cloth, which might cause very rapid corrosion of drill, S3100 laminate could be drilled much easier than other low dielectric CCLs using D glass. Dielectric constant and dissipation factor of S3100 laminate at 1GHz were constant values throughout the whole temperature range between -20℃ and 80℃, respectively, which is in sharp contrast with PTFE (drastic change in dielectricity around room temperature is inevitable). Signal transmission loss for S3100 laminate was found to be less than 0.1dB/cm below 12GHz. S3100 multilayer printed wiring board was proved to have excellent durability in temperature-humidity cycle test, solder dip test, oil dip test, and thermal shock test.

Key Words: Dielectric Constant, Dissipation Factor, Multilayer, Microwave, Polyphenylene Ether

1. まえがき

スーパーコンピュータやデジタル交換機など、高周波で動作するハイエンドの電子機器では、数十層におよぶ超多層プリント配線板が用いられている。従来こうした用途には、誘電特性に優れたガラスクロス基材フッ素樹脂積層板 (PTFE) か、耐熱性に優れたBMI (ビスマレイミド) 系ポリイミド積層板のいずれかが有機系配線板材料として用いられてきた。しかしながら、PTFEは室温付近にガラス転移温度 (T_g) を持つため誘電特性の温度依存性が大きく、熱による寸法変化も大きい。一方のBMI系ポリイミドは耐熱性や寸法安定性は十分であるものの、誘電特性はPTFEに比べて大幅に劣る。このためBMI系ポリイミドの特徴を生かしたままで低誘電率化するために、通常は基材としてDガラス ($\epsilon=4.1$) が用いられているが、硬いDガラスを使うことで積層板のドリル加工は非常に困難になってしまっている。

将来の超多層板用配線板材料を設計する際には、PTFEとポリイミドの双方の長所を兼ね備えた上で、超多層板としての加工が容易であることが必要であり、かつ産業用機器として過酷な条件での信頼性が高いことが絶対条件となる。

ポリフェニレンエーテル (PPE) は、低誘電率 ($\epsilon=2.45$) と耐熱性 ($T_g=210^\circ\text{C}$) を兼ね備えたエンジニアリングプラスチック用樹脂として知られている。

著者らはこれまでに低誘電率 ($\epsilon=3.0\sim 3.5$; Eガラスクロスを用いた積層板としての値、以下同様)、低誘電正接 ($\tan \delta=0.002\sim 0.003$) かつ耐熱性を有する熱硬化型ポリフェニレンエーテル (PPE) 樹脂を開発し、その特性、多層板材料としての加工性および信頼性について報告してきた^{1)~5)}。

本論文では、耐熱性、寸法安定性および高周波特性の改良に重点を置いて新たに材料設計に検討を加えた熱硬化型PPE樹脂材料である[S3100]を用いた積層板の特性、その加工性、および配線板としての信頼性について述べる。[S3100]は文献⁴⁾に述べた高周波多層プリント配線板用熱硬化型PPE樹脂の設計を基本にし、高周波特性の改良に配慮し、かつガラス転移温度を 210°C からBMI系ポリイミド並の 240°C に上げることで耐熱性と寸法安定性の向上を図ったものである。

著者らは熱硬化型PPE樹脂[S3100]が、スーパーコンピュータや伝送機器などの耐熱性や高周波特性が厳しく要求される分野において、PTFEの誘電特性とBMI系ポリイミドの耐熱性を兼ね備えた超多層用プリント配線板材料として広く用いられるものと期待している。

2. 実験

2.1 プリプレグおよび積層板試料の調製

熱硬化型PPE樹脂[S3100]をトルエンに溶解してワニス

とし、ガラスクロスに含浸、溶媒を乾燥してプリプレグを得た。プリプレグは最大630mm幅まで作成した。ガラスクロスはドリル加工性を考慮して、汎用品であるFR-4基板に通常使用されているEガラス ($\epsilon=6.7$, 比重=2.54) を用いた。このプリプレグと銅箔を積層して銅張積層板を作成し、以下の評価に用いた。銅張積層板を作成するためのプレスは真空下、 200°C 、 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 、30分の条件で行った。プレス条件のプロファイルを図1に示す。

2.2 プリプレグの評価

外観、樹脂流れおよび溶融粘度について評価した。樹脂流れは10cm角のプリプレグを8枚重ね、 170°C において $22\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力にてプレスし、プレス板からはみ出した樹脂の重量をプリプレグのものの全重量で割って求めた。また、プリプレグの保存安定性を調べるために、 23°C において1年間保存した後の樹脂流れを測定した。プリプレグの溶融粘度測定にはRheometrics社のRD-II型レオメータを用いた。測定は室温から 230°C までの温度範囲を $3^\circ\text{C}/\text{分}$ で昇温させながら行った。比較のため、FR-4のプリプレグの溶融粘度も測定した。

2.3 両面銅張積層板

2.3.1 一般的な特性値

誘電率 (1MHz)、誘電正接 (1MHz)、体積抵抗率、はんだ耐熱性、銅箔引きはがし強さ、吸水率、ガラス転移温度、ショアデュロメータ硬さ、Z方向線膨張率、難燃性および比重を測定した。誘電率および誘電正接は横河ヒューレット・パッカード社の4192型のインピーダンスアナライザ (自動平衡ブリッジ型) を用いて室温で測定した。体積抵抗率の測定には川口電機製作所製R-503型超絶縁計を用いた。はんだ耐熱性の評価には 260°C のはんだ浴を用いた。銅箔引きはがし強さの測定にはNMBミネベア製TCM-500型引張試験機を用いた。体積抵抗率、はんだ耐熱性、銅箔引きはがし強さおよび吸水率の測定はJIS C 6481に従った。ガラス転移温度の測定は、オリエンテック社製の動的粘弾性測定装置を用い、昇温速度 $2^\circ\text{C}/\text{分}$ 、 35Hz の条件で行った。Z方向線膨張率の測定は、セイコー電子工業社製のTMA-10型熱機械分析装置 (TMA) を用い、 $10^\circ\text{C}/\text{分}$ の昇温速度で行った。燃焼性の評価方法はUL-94に従った。

2.3.2 ドリル加工性

0.8mm厚の両面銅張積層板を用いて、ドリル加工性の評

図1. S3100銅張積層板のプレス成形条件

価を行った。両面銅張積層板を3枚重ね、0.4mmφおよび1.0mmφのスルーホールをあけた。ドリルの条件は0.4mmφについてはドリル回転数60000回転/分、送り速度1.5m/分、1.0mmφについてはドリル回転数40000回転/分、送り速度2.6m/分とした。比較のためFR4両面銅張積層板と、ガラスクロスにDガラスを用いた市販高周波基板（BMI系ポリイミド）も同様に加工した。ドリルの磨耗度は走査型電子顕微鏡観察により調べた。スルーホール内壁粗さは、常法に従いマイクロセクション試料を作成して金属顕微鏡観察により測定した。

2.3.3 GHz領域の誘電特性の評価

GHz領域の誘電特性の測定には、横河ヒューレット・パッカード社のネットワークアナライザHP8510Bシステムと自作の温度調節可能な試料固定治具を用いた。誘電率、誘電正接の温度依存性、および伝送損失の測定方法は既報³⁾に詳述した。

2.3.4 信頼性の評価

めっきスルーホール両面配線板としての信頼性を確認するために、温湿度サイクル試験、熱衝撃試験を行った。

評価用資料作成のためのドリル加工、エッチングによるパターン形成、スルーホール銅めっき工程は汎用品であるFR4と同じ条件で行った。温湿度サイクル試験評価用試料の導体パターンはJPCA-RB02（1988）を用いた。温湿度サイクル試験の条件はJIS C 5024に従い、10サイクル行った前後で絶縁抵抗を測定した。熱衝撃試験はオイル浸せき試験および冷熱衝撃試験を行った。試験用パターンはJPCA-RB02（1988）を用いた。オイル浸せき試験は260℃のシリコンオイルに20秒浸せきと空冷1分間のサイクルを15回繰り返した。冷熱衝撃試験は低温側-65℃、高温側125℃、各槽の保持時間を30分として100回往復させた。熱衝撃試験の前後でめっきスルーホールの抵抗値を測定して、スルーホールの信頼性を調べた。

プレッシャクッカー試験については0.8mm厚の試料に121℃、2気圧、100%相対湿度下、1000時間の加湿を行い、吸湿率、はんだ耐熱性、および1MHzにおける誘電特性の変化を調べた。比較試料としてはFR4とBMI系ポリイミドを用いた。

2.4 多層基板

S3100樹脂による多層基板の加工性と信頼性を評価した。S3100樹脂基板のプレス、穴あけ、デスミア、めっき等の作業はすべてFR4用の設備を用いて行った。S3100樹脂プリプレグを用いた多層成形の条件を図2に示す。デスミア、めっきの条件は汎用品であるFR4の条件に従った。

評価は一般に35μm厚の銅箔を用いたサンプルで行ったが、産業用機器では電源層の一部に50μm以上の厚みの銅箔を用いる場合も多いため、多層成型時のパターン埋め込み評価や冷熱衝撃試験における樹脂の耐久信頼性などは70μm厚銅箔での評価も並行して行った。

図2. S3100多層化プレス条件

2.4.1 耐銅イオンマイグレーション性

絶縁材料の基本特性として耐銅イオンマイグレーション性を調べた。4層基板の内層に対向楕円パターンを形成し、楕円パターン電極間100μmおよび楕円パターンと内層材（100μm厚）裏側の接地層の間に、直流30Vの電圧を印加した。サンプルを85℃、相対湿度85%に1000時間保ち、試験前後で抵抗値を測定して比較した。

2.4.2 多層基板のドリル加工性（スミア）

多層基板のドリル加工性のスミア評価には4層板を試作して用いた。比較のため、FR4の同一構成の4層板も作成して試験した。用いた4層板は1.6mm厚で、内・外層のスルーホール位置に1.4mmφの孤立ランドパターンを設けたものである。それを2枚重ねで1.0mmφスルーホールを2000穴ドリリングし、洗浄、デスミアを含むめっき工程によりスルーホールめっきを行い、最後の10穴の内層ランドとスルーホールめっきの接続部分を顕微鏡観察した。ドリル加工条件は50000rpm、送り速度2.5m/分とした。

2.4.3 温湿度サイクル試験ならびに熱衝撃試験

温湿度サイクル試験ならびに熱衝撃試験による信頼性の評価を行った。これらの試験には4層板、6層板および24層板を試作して用いた。4層板および24層板は内層にすべて電源パターンを使用し、熱衝撃時の樹脂に対する熱応力が大きくなるようにして樹脂の耐久信頼性を調べた。用いた4層板および24層板の層構成を図3に示す。6層板は

図3. 試験用4層基板および24層基板の層構成

JPCA規格（JPCA-RB-01）の試験用配線パターンを用いた。

温湿度サイクル試験は6層板を用い、JIS C 5024に従い、10サイクル行った。

熱衝撃試験ははんだ耐熱性試験、オイル浸せき試験、および冷熱衝撃試験を行った。はんだ耐熱性試験には4層板を用い、沸騰水に1時間浸せき後270℃、280℃あるいは290℃のはんだ浴に1分間浸せきした。オイル浸せき試験は6層板を用い、260℃のシリコンオイルに20秒浸せきと空冷1分間のサイクルを15回繰り返した。冷熱衝撃試験は6層板および24層板を用い、低温側-65℃、高温側125℃、各槽の保持時間を30分とし、100回往復させた。評価としては外観の観察、常法に従ったマイクロセクション観察およびスルーホール抵抗値測定を行った。また、特に電源層での冷熱衝撃試験に対する樹脂の耐久信頼性を見るため、銅箔厚みを70 μ mとして熱応力を大きくした場合のテストも行った。

3. 結果と考察

3.1 プリプレグ

S3100組成の樹脂から得られたプリプレグは表面がなめらかでべたつきのないフィルム状であり、FR-4などにみられるパウダーは発生しなかった。この特性は積層などの作業時の取り扱いを容易にすると共に、ファインパターン化が進み銅箔表面のパウダーによる汚染が問題になりつつある現在、好ましい性質であると考えられる。

樹脂流れは樹脂量57～59%のプリプレグについて11～12%であり、23℃の室内において1年間保存しても変化しなかった（図4）。S3100は室温での保存安定性に優れているといえる。

多層基板の接着層として用いるプリプレグには、配線パターンの段差を樹脂で埋めるためにプレス時に十分に樹脂が流動する必要がある。レオメータによる樹脂の熔融粘度の測定結果を図5に示す。熔融粘度が最低となる点においてはFR-4は1500ポイズ（150℃）、S3100は270000ポイズ（147℃）であった。

ポリイミド樹脂やエポキシ樹脂と異なり、S3100はポリマーをベースとした組成物であるため熔融粘度が著しく高くなっているが、70 μ m厚みの銅箔を用いた多層板でも埋め込みでは問題なかった（3.3節で後述）。

3.2 両面銅張積層板

3.2.1 両面銅張積層板の一般的な特性値

両面銅張積層板を試作し、評価した結果を表1に示す。比較のために汎用品であるFR-4、熱硬化型PPE[S2100]、およびガラスクロス基材フッ素樹脂基板（PTFE）の値を併記してある。FR-4と比較すれば、S3100樹脂を用いた銅張積層板は、誘電率、誘電正接、ガラス転移温度およびZ方向線膨張率において圧倒的にFR-4に優っている。また、従来の熱硬化型PPE[S2100]と比較してS3100では誘電特性

図4. プリプレグの保存安定性

図5. プリプレグの熔融粘度

は同等のままで、T_gは30℃上昇し、Z方向線膨張率は大幅に小さくなっている。一方、PTFEは低誘電率材料として実用されているが、ガラス転移温度が低く、Z方向線膨張率が著しく大きい。このようにS3100樹脂銅張積層板は低誘電率と高耐熱性を兼ね備えていることが大きな特徴である。

加工を容易にするために誘電率の高いEガラスを用いているにもかかわらず、誘電率および誘電正接が良好な値であったことはS3100樹脂が低誘電率材料として有望であることを示している。

表1に示したとおり、板厚の精度をFR-4銅張積層板と比較したところ、0.1mm厚においてレンジ（板厚測定値の最大と最小の差を平均板厚で割った値）が8%と、FR-4の15%より優れていた。樹脂の熔融粘度がFR-4より高いため、プレス成型時に樹脂が周囲からほとんど流出しない結果、板厚精度がFR-4より向上したと考えられ、多層化に適した材料であるといえる。

ショアデュロメータ硬さと銅箔引きはがし強さの温度依存性をそれぞれ図6、図7に示す。比較のためにポリイミド積層板とFR-4のデータを併記した。

BMI系ポリイミド積層板、FR-4、S3100積層板のガラス転移温度がそれぞれ250℃、160℃、240℃であり、S3100がBMI系ポリイミドに非常に近い耐熱性を有していることがこれらのデータに現れている。ショアデュロメータ硬さ、

表1. 両面銅張積層板の特性値および両面スルーホール配線板の信頼性試験結果

評価項目	単位	処理条件	S3100	FR-4	S2100	PTFE
難燃性 (UL94)		A	V-0	V-0	V-0	V-0
誘電率 1 MHz		A	3.6	4.7~5.0	3.5	2.6
1 GHz			3.4	4.3	3.3	—
誘電正接 1 MHz		A	0.0020	0.015~0.019	0.0020~0.0025	0.0010~0.0015
1 GHz			0.004	0.022	0.005	—
ガラス転移温度	℃	A	240	160	210	25
Z方向線膨張率 (30~150℃)	ppm/℃	A	65	145	80	240
はんだ耐熱 (260℃)	秒	A	120以上	120以上	120以上	120以上
銅箔引きはがし強さ (35 μ m銅箔)	kg/cm	A	1.5	1.9~2.3	1.5	2.2
吸水率	%	E-24/50 +D-24/23	0.37	0.05~0.10	0.36	—
		PCT 121℃ 2 気圧 6 Hr (+S4)	0.27 (外観良好)	0.91 (プリスタ)	0.32 (外観良好)	—
比重		A	1.7	1.9	1.6	2.2
板厚精度 (0.1mm積層板)	%	A	8	15	7	—
温湿度サイクル試験 (絶縁抵抗)*	Ω	試験前 5 サイクル 10 サイクル	6.3×10^{12} 5.0×10^{10} 7.0×10^{10}	1.7×10^{12} 6.4×10^9 1.6×10^9	2.8×10^{10} 3.5×10^9 1.7×10^9	—
熱オイル浸せき試験 (スルーホール抵抗)	m Ω	試験前 試験後	274, 270 253, 250	270, 284 275, 287**	257, 264 260, 268	—
冷熱衝撃試験 (スルーホール抵抗)	m Ω	試験前 試験後	267, 261 255, 253	280, 275 281, 277	258, 263 259, 265	—

* 5×10^8 以上であることが必要

**樹脂面が青から茶色に変色した

図6. ショアデュロメータ硬さの温度依存性

銅箔引きはがし強さとともにS3100積層板は200℃まで著しい劣化を生じなかった。特に銅箔引きはがし強度については、室温で良好な接着強度を示すFR-4が、そのガラス転移温度である160℃以上では極端な性能低下を示すので、160℃以上の温度ではS3100積層板の方が銅箔引きはがし強度が大きくなっている。

3.2.2 ドリル加工性

ドリル加工時のドリル磨耗量とスルーホール内壁粗さの評価結果を、図8、図9に示す。

図7. 銅箔引きはがし強さの温度依存性

比較として入れた市販BMI系ポリイミド基板では、基材として(低誘電率ではあるが)硬いDガラスを用いているためにドリルの磨耗が激しく、これに伴ってスルーホール内壁の平滑性も急速に劣化している。S3100でもドリルの磨耗に伴う内壁粗さの増大は見られるが、Eガラスを用いているためにドリル加工性としては汎用品のFR-4に近いレ

図8. 穴あけ加工時のドリルの磨耗量

図9. スルーホール内壁粗さの加工数依存性

ベルにあり、数千ヒットの穴あけ加工が従来プロセスを用いて良好にできるといえる。

3.2.3 GHz領域の誘電特性

GHz領域の誘電率および誘電正接の周波数依存性をそれぞれ図10、図11に示す。FR-4およびPTFE積層板と比較すると、S3100の誘電特性はPTFEに近いといえる。S3100の誘電正接は10GHzまでの範囲で0.01を大きく下回っており、10GHzまたはそれ以上の周波数を扱う配線板に十分適用可能であると考えられる。

1 GHzで測定した誘電率および誘電正接の温度依存性をそれぞれ図12、図13に示す。S3100の誘電率および誘電正接は-20℃～80℃の温度範囲ではそれぞれ3.4および0.004の一定値であり、高周波回路用材料として広い温度範囲で利用できる好ましい温度特性を持つことがわかった。PTFE積層板の比誘電率は室温付近でガラス転移温度に対応する階段状の変化を示している³⁾。また、ガラス転移温度が低

図10. 23℃における比誘電率の周波数依存性

図11. 23℃における誘電正接の周波数依存性

図12. 比誘電率の温度依存性 (1 GHz)

図13. 誘電正接の温度依存性 (1 GHz)

く(160℃),線膨張率の大きいFR-4では熱膨張に由来する連続的な比誘電率と誘電正接の変化が見られるが,S3100では特性に変化は見られない。

S3100,PTFEおよびFR-4各銅張積層板のGHz領域の伝送損失を図14に示す。S3100はPTFEに肉薄する低伝送損失の材料であることがわかる。12GHzにおけるS3100の伝送損失値は0.1dB/cmであり,部品の端子部分での損失を考慮に入れたとしても,10GHzを越える周波数でPTFE基板と同様に使用可能であると考えられる。

3.2.4 信頼性の評価

温湿度サイクル試験,オイル浸せき試験,および冷熱衝撃試験の結果を表1に示す。S3100樹脂による両面スルーホール配線板は,いずれの試験でもまったく問題を生じなかった。これらの試験ではFR-4でも電気的な問題は発生しなかったものの,オイル浸せき試験では茶色に変色していた。S3100の耐熱性が高く,吸水率が低いことが信頼性を上げていると考えられる。

プレッシャクッカー加湿試験の吸湿率変化およびはんだ耐熱性試験の結果を図15に示す。同じプレッシャクッカー加湿試験の間の1MHzにおける誘電率および誘電正接の値の変化を,それぞれ図16および図17に示す。S3100積層板は1000時間加湿後においても0.3%という低い吸湿率

図14. 伝送損失の周波数依存性

図15. プレッシャクッカー加湿時間と吸湿量の関係

であった。この際,はんだ耐熱試験を吸湿6時間で取り出したサンプルを用いて行ったが何ら問題なかった。この結果からS3100の信頼性は,わずか3時間で吸湿率0.7%に達し,はんだ耐熱試験でふくれ(プリスタ)を発生するFR-4基板や,6時間の吸湿でプリスタを発生し,1000時間では吸湿率2.2%に達するBMI系ポリイミドに比べて格段に高いといえる。誘電特性もS3100は安定している。

3.3 多層基板

3.1節で述べたとおりS3100樹脂はエポキシ樹脂等に比較して熔融粘度が高いため,内層回路銅箔が多層成型時に十分埋め込まれるかどうかを調べるのが重要である。本研究において試作した多層基板(使用銅箔35 μ m)の断面を顕微鏡で観察したところ,埋め込み性は良好でボイド等の成型不良はなかった(図18)。また,70 μ mの銅箔を用いても埋め込み不良は見られず,24層基板の信頼性評価用積層板もボイドレスで成型できた。これらはS3100樹脂が多層配線板材料として十分な樹脂流れ性を有しており,電源層の厚物銅箔にも対応できることを示している。

また,S3100プリプレグが広い範囲の樹脂量でなめらかなフィルム状として得られるために(樹脂量40~80%),樹脂量をコントロールすることで,使用する銅箔厚みや配線パターン,およびビアホールの有無にかかわらずボイドレ

図16. プレッシャクッカー加湿時間と誘電率(1MHz)の関係

図17. プレッシャクッカー加湿時間と誘電正接(1MHz)の関係

スの埋め込みが可能である。

3.3.1 耐銅イオンマイグレーション試験

抵抗値は試験前に楕形パターン間（層内）で $2 \times 10^{13} \Omega$ ，層間で $2 \times 10^{12} \Omega$ ，試験後に層内で $8 \times 10^{11} \Omega$ ，層間で $6 \times 10^{11} \Omega$ であり，絶縁劣化は生じなかった。また外観にも樹枝状銅結晶の析出等の異常は見いだされなかった。S3100の吸湿率が低いことも考えると，絶縁体として信頼性が高い材料と言える。

3.3.2 多層基板のドリル加工性（スミア）

従来，代表的な低誘電材料として高周波用の配線板に用いられてきたガラスクロス基材フッ素樹脂基板は，PTFEの特殊な性質から汎用のエポキシ基板の製造設備や手法はまったく適用できず，工程の複雑化とコスト高を招いていた。そこで，S3100について，ドリル加工からスルーホールめっきまでを実際にFR4と同一の条件で行い，スルーホール接続欠陥（レジンスミア）を調べて積層板としての加工性を確認した。レジンスミアはFR4およびS3100樹脂の両方の4層板についてまったく観測されなかった。内層接続箇所のマイクロセクションの例を図19に示す。S3100はFR4と同等のスルーホール加工性を有していることが確かめられた。

図18. 24層板の断面

図19. 内層接続箇所の断面（0.4mmφスルーホール）

3.3.3 温湿度サイクル試験ならびに熱衝撃試験

S3100を用いて作成した多層配線板の信頼性を確認するために，温湿度サイクル試験と熱衝撃試験を行った。結果を表2に示す。いずれの試験においてもS3100樹脂の4層，6層および24層配線板はなんらの問題も示さなかった。

24層板の冷熱衝撃試験では，樹脂部に発生する熱応力が大きくなると考えられる70μm厚みの銅箔を用いた場合も並行してテストしたが，樹脂割れ等の問題はまったく発生しなかった。S3100は，産業用機器の電源層部分にも適した十分な信頼性を有しているといえる。

4. まとめ

PTFEに匹敵する良好な誘電特性とポリイミドと同等な耐熱性を兼ね備えた多層配線板材料として，熱硬化型ポリフェニレンエーテル（PPE）樹脂[S3100]を開発した。S3100をガラスクロスに含浸したところ，べたつきのないパウダーフリーのプリプレグが得られた。プリプレグの樹脂流れ性は良好で，両面銅張積層板および多層配線板（銅箔70μm）が問題なく成型できた。S3100積層板は加工が容易なEガラスクロスを用いているためドリル加工性良好であった。S3100の誘電率と誘電正接の温度依存性を測定したところ，-20℃～80℃の温度範囲ではそれぞれ3.4，および0.004の一定値であった。GHz領域の伝送損失を測定したところ，S3100は12GHz以下の領域において0.1dB/cm以下の低伝送損失を有することがわかった。FR4と同一の設備・資材で多層板を作成し温湿度サイクル試験，はんだ耐熱試験，オイル浸せき試験，および冷熱衝撃試験を行ったところ，S3100はいずれの試験においてもまったく問題を生じなかった。

謝 辞

GHz帯高周波特性の温度調節可能な測定治具の設計・製作および測定にあたった旭化成工業・樋山豊一氏，両面／多層配線板の加工性・信頼性評価にあたった旭化成工業・関根了氏，樹脂組成の開発にあたった旭化成工業・坂本勉氏に感謝します。（1996.12.16-受理 1997.2.28-再受理）

表2. 多層板の信頼性試験結果

試験条件	単位	処理条件	S3100	FR-4	S2100	基準値
4 層板						
はんだ耐熱性 (煮沸 1 時間後)	—	270℃×1 分 280℃×1 分 290℃×1 分	異常なし 異常なし 異常なし	異常なし 異常なし ブリスト	異常なし 異常なし 異常なし	
JPCA6層板						
めっき密着性 (セロテープはく離試験)	—	A	異常なし	異常なし	異常なし	
温湿度サイクル試験 (層間絶縁抵抗)	Ω	A 5 サイクル 10 サイクル	8~12×10 ¹³ 2~3×10 ¹³ 2~3×10 ¹³	3~5×10 ¹³ 1~4×10 ¹³ 1~4×10 ¹³	3~5×10 ¹³ 2~4×10 ¹³ 1~4×10 ¹³	10 ⁹ 以上 5×10 ⁸ 以上 5×10 ⁸ 以上
(層内絶縁抵抗)	Ω	A 5 サイクル 10 サイクル	3~4×10 ¹³ 0.7~1×10 ¹³ 0.7~1×10 ¹³	1~3×10 ¹³ 1~4×10 ¹³ 0.7~3×10 ¹³	2~19×10 ¹³ 2~12×10 ¹³ 1~8×10 ¹³	10 ⁹ 以上 5×10 ⁸ 以上 5×10 ⁸ 以上
熱オイル浸せき試験 (接統抵抗)	m Ω	A 浸せき後 状態	125 133 外観異常なし	111 112 外観異常なし	132 137 外観異常なし	変化率 10%以内
冷熱衝撃試験 (接統抵抗)	m Ω	A 試験後 状態	140 145 内外観異常なし	105 107 内外観異常なし	132 133 内外観異常なし	変化率 10%以内
24層板						
冷熱衝撃試験 (状態)	—	試験後	内外観異常なし	—	内外観異常なし	

文 献

- Hiroji Oda, Takeshi Arai, Haruhisa Sasaki, Teruo Katayose :
“Unique Allylated Polyphenylene Ether for Low Dielectric
Printed Circuit Boards”, Proceeding of Printed Circuit World
Convention VI, T6-1(1993)
- 新井雄史, 小田弘治, 片寄照雄: “低誘電率プリント配線板
用アリル化ポリフェニレンエーテル”, サーキットテクノロ
ジ, **9** [6], 429(1994)
- 新井雄史, 横山秀久, 木下昌三, 片寄照雄: “熱硬化型PPE
樹脂積層板の高周波領域の誘電特性の安定性”, 回路実装学
会誌, **10** [2], 113(1995)
- 新井雄史, 石井義行, 黒木正勝, 横山秀久, 木下昌三, 片
寄照雄: “高周波多層プリント配線板用熱硬化型ポリフェニ
レンエーテル樹脂の特性評価”, 回路実装学会誌, **10** [3],
153(1995)
- Yoshiyuki Ishii, Hiroji Oda, Takeshi Arai, Teruo Katayose :
“Synthesis and Properties of Allylated Poly(2,6-dimethyl-1,4-
phenylene ether), ACS Sym., Ser. **614**, 485(1996)