

高Tg・ハロゲンフリーの高周波対応多層基板材料

High-Tg Halogen-Free High-Frequency Multi-Layer Circuit Board Materials

山口 真魚* ・ 垣内 秀隆* ・ 有沢 達也* ・ 中村 善彦*
Mao Yamaguchi Hidetaka Kakiuchi Tatsuya Arisawa Yoshihiko Nakamura

高速伝送と高耐熱性を両立し、ハロゲンフリーでありながら難燃性を有する環境対応型電子回路基板材料を実現するため、誘電率の低い新規分子骨格をエポキシ樹脂中に加え、特殊な反応を行うことによって、高 Tg で電気特性に優れ、硬化物の硬化度と均一性や耐薬品性も向上させた多層基板材料を開発した。

従来のハロゲンフリー材料が Tg 148 °C、誘電率 4.6 であるのに対し、開発品では Tg 170 °C、誘電率 4.1 と性能が向上している。また GHz 帯での伝送損失の評価でも、従来品に比べて優れた伝送特性を示している。さらに 40 層の高多層テスト基板は、260 °C のリフロー試験でも従来品に比べて優れた耐熱性を示し、鉛フリーはんだ実装に対応可能である。

In order to produce environment-conscious electronic circuit board material that meets the requirements for high transmission speed and high heat resistivity along with flame retardation without using halogen compound, multi-layer board material with high Tg and excellent electrical characteristics, a uniform hardness and anti-chemical strength has been developed by adding a new molecular structure of low dielectric constant in the epoxy resin and by special chemical reaction.

While the conventional halogen-free material shows a Tg value of 148 °C and a dielectric constant of 4.6, the developed material shows improved performance, with a Tg value of 170 °C and a dielectric constant 4.1. In addition, the 40-layer multi-layer board indicates superior heat resistivity to the conventional board in the 260 °C reflow test, suggesting compatibility with lead-free soldering.

1. ま え が き

昨今、環境問題への取組みに対する世界的な気運の高まりが電子機器にも波及しており、電子回路基板に対しても環境対応が要求されている。代表的な例としては RoHS 指令（2006 年 7 月 1 日施行）があり、EU においては鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニル（PBB）、ポリ臭化ジフェニルエーテル（PBDE）の 6 物質を規定値以上含む電子機器は上市できなくなっている。このため、電子回路基板に使用されるはんだも鉛フリーはんだへの切替が進んでいる。

鉛フリーはんだは従来のはんだに比べて融点が高いため、部品を実装する際のリフロー温度も高くする必要がある。したがって、従来に比べて電子回路基板材料の耐熱性も向上させなければならない。また電子回路基板材料そのものにおいても、焼却時にダイオキシン等の有害物質を発生す

る懸念のある PBB や PBDE といった臭素系難燃剤を使用しないハロゲンフリー材料の採用が拡大している。

当社は電子回路基板材料メーカーとして、業界に先駆けて 10 年以上前から汎用 FR-4 グレードのハロゲンフリー材料である「R-1566」を販売してきた。積極的に環境対応を目指すセットメーカーでの採用を皮切りに、現在では携帯電話やデジタル家電など多岐にわたる電子機器の電子回路基板材料としてグローバルに使用されている。

このようにハロゲンフリー材料の採用が拡大するなか、これまで臭素系電子回路基板材料が採用されていた通信機器のサーバや携帯電話基地局といった分野でもハロゲンフリー化の要求が少しずつ高まってきている。

一般的に、サーバや携帯電話基地局に使用される電子回路基板は取り扱う情報量が多いため、高性能の半導体が多数搭載される。そのため電子回路基板の設計は複雑化し、20 層を超えるような高多層化が進んでいる。そして高多

* 電子材料事業本部 電子基材事業部 Circuit Board Materials Division, Electronic Materials Unit

層化に伴い、電子回路基板にはより高い耐熱性や信頼性が求められ、鉛フリーはんだの採用がさらにこれを後押ししている。

また、高速の信号を扱う必要があることから、電子回路基板の伝送特性の向上も要求される。これに対しては、導体層と絶縁層の両面からのアプローチがあるが、絶縁層となる材料に対しては誘電率および誘電正接の低減が有効な手段となる¹⁾。

筆者らはこのような新規分野からの要求仕様に対応するため、ガラス転移温度 (Tg) や熱分解温度といった耐熱性と電気特性の向上を図るハロゲンフリーの電子回路基板材料「R-1577」を開発した。

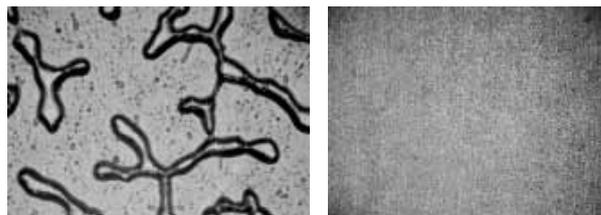
本稿では、「R-1577」の開発コンセプトとその特性を述べ、さらにこれを用いた電子回路基板の伝送特性および耐熱特性などについて報告する。

2. 高Tg・ハロゲンフリー電子回路基板材料

2.1 エポキシ樹脂の均一性向上

一般的に電子回路基板に使用される材料としては、コストパフォーマンスの兼ね合いから熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂が使用されることが多い。しかし、エポキシ樹脂の硬化物は水酸基を多数有する分子構造であるため、誘電率や誘電正接を飛躍的に改善することは難しい。また、誘電率の良い新規分子骨格の樹脂をエポキシ樹脂中に加えることで性能の改善を検討したが、この新規樹脂はエポキシ樹脂との反応性が悪く、図1 (a) のように分離する問題がある。

そこで筆者らは特殊な反応制御を行い、硬化物としての特性の向上を図った。これにより図1 (b) のように分散状態が均一となり、硬化度や耐薬品性も向上できる。



(a) 改善前 (b) 改善後

図1 エポキシ樹脂の相分離写真

2.2 高Tgと難燃性の両立

臭素系難燃剤を使用しないハロゲンフリー材料を実現するため、種々の難燃ソースのなかから、コストパフォーマンスと実績を考慮して燐系のものを使用する。

この燐系難燃ソースはエポキシ樹脂との反応性を有しており、難燃性を維持しながらTgを向上させることや、耐薬品性等の特性も確保することができる。

2.3 フィラーの選定

最近では、電子回路基板の熱膨張を抑制したり剛性や耐熱性の向上を図る目的から、フィラーを用いることが一般的になってきている。開発材においてもフィラーを用いているが、以下のような点に留意して種類と配合量を選定している。

- (1) 電気特性の向上が見込めること
- (2) 難燃性を付与できること
- (3) 成形時の流動性を確保できること
- (4) 熱分解温度が高いこと
- (5) 酸やアルカリに対する耐性があること

3. 銅張積層板の特性

前章の開発成果に基づいて実現した銅張積層板の一般特性を表1に記す。

表1 各材料の銅張積層板特性

試験項目	試験方法	単位	「R-1577」開発材	「R-1566」従来材	「R-1755 V」高Tg材	「R-5725」低誘電率材
誘電率 (1GHz)	IPC TM-650 2.5.5.9	—	4.1	4.6	4.4	3.8
誘電正接 (1GHz)	IPC TM-650 2.5.5.9	—	0.010	0.010	0.016	0.005
銅箔引剥がし強度	JIS C 6481	kN/m	1.3	1.8	1.5	1.2
ガラス転移温度 (Tg)	DMA 法	°C	190	170	190	210
	DSC 法	°C	170	148	173	176
	TMA 法	°C	165	145	165	170
熱膨張率 (CTE)	TMA 法	10 ⁻⁶ /°C	34	40	44	35
熱分解温度 (5%重量減)	TG / DTA 法	°C	380	350	350	360
耐熱性 (60分限界温度)	JIS C 6481	—	265°Cふくれなし	245°Cふくれなし	265°Cふくれなし	280°Cふくれなし
T-288 (銅付き)	IPC TM-650	min	18	3	20	30
はんだ耐熱性 (260°C)	JIS C 6481	s	120以上	120以上	120以上	120以上
難燃性	UL94	—	V-0	V-0	V-0	V-0
樹脂系	—	—	ハロゲンフリー	ハロゲンフリー	臭素系	臭素系

評価は板厚 0.8 mm, 銅箔 35 μm の両面板で行う。比較する当社従来品は、汎用ハロゲンフリー材料「R-1566」、ハロゲン含有高 Tg 材料「R-1755V」、ハロゲン含有低誘電率材「R-5725 (MEGTRON4)」の 3 品種である。なお、「R-1755V」と「R-5725」は臭素を含んだタイプである。

電気特性に関しては、誘電率が「R-1566」の 4.6 に比べて 4.1 と低減している。また誘電正接は 0.01 で「R-1566」とほぼ同等であるが、汎用サーバ等のプリント基板として主に使用されている「R-1755V」の 0.016 に比べると十分に低減できている。この効果は後述する電子回路基板の伝送損失に反映される。

耐熱性に関する特性においては、「R-1566」に比べて Tg が約 20 $^{\circ}\text{C}$ 、熱分解温度が 30 $^{\circ}\text{C}$ 向上している。その他の耐熱特性も「R-1755V」とほぼ同等の結果が得られており、開発材は高い耐熱性を有していることがわかる。

4. 電子回路基板での特性

4.1 伝送特性

「R-1577」の適用が想定されるサーバ等では高周波信号が用いられ、さらに電子回路基板のサイズも大きく配線長も長いことから、伝送損失をいかに低減できるかが重要となる。

そこで各材料を用いて電子回路基板を作製し、ストリップラインによる伝送損失を測定した結果を図 2 に示す。「R-1577」は当社ハロゲン含有低誘電率材である「R-5725」には及ばないものの、「R-1755V」や「R-1566」に比べて優れた伝送損失を有しており、誘電率と誘電正接の序列と同様の傾向を示している。

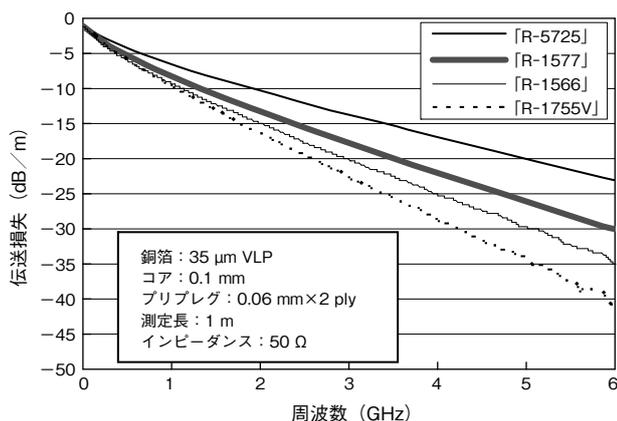


図 2 各材料の伝送損失比較

またサーバの実使用環境は、部品の発熱等により高温になることも考えられる。すなわち、実使用時は温度上昇により伝送損失がさらに悪化することを考慮する必要がある。図 3 は 23 $^{\circ}\text{C}$ と 100 $^{\circ}\text{C}$ における伝送損失の測定結果である。23 $^{\circ}\text{C}$ に比べると 100 $^{\circ}\text{C}$ では伝送損失は悪化するが、その程度を比較すると「R-1566」よりも「R-1577」のほ

うが低減されていることがわかる。たとえば、5 GHz での損失差を比較すると、「R-1566」では 23 $^{\circ}\text{C}$ で -30.3 dB/m、100 $^{\circ}\text{C}$ では -41.1 dB/m となり、差分が 10.8 dB/m であるのに対し、「R-1577」ではそれぞれ -27.1 dB/m と -35.0 dB/m で差分は 7.9 dB/m と改善される。これは Tg の向上が寄与しているものと推測される。

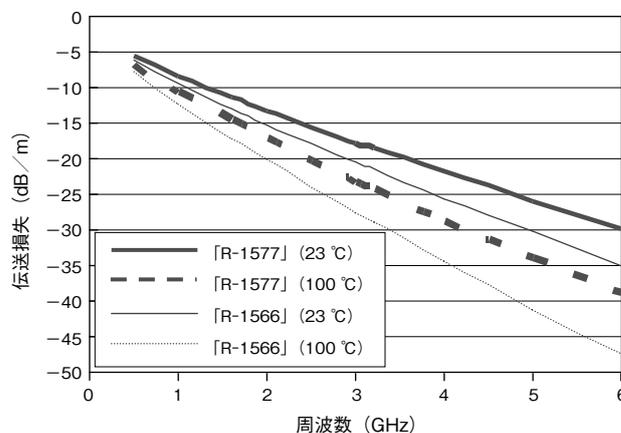


図 3 伝送損失の温度依存性

4.2 耐熱特性

高多層化された電子回路基板は必然的に内層銅と絶縁層の界面が多く、スルーホールのアスペクト比も高い。さらに、熱処理等で発生する分解ガス等も抜けにくいいため、両面板や低多層品に比べて高い耐熱性が要求される。

そこで図 4 のような 40 層の高多層基板（厚み約 4.5 mm）を作製し、リフロー耐熱試験を行う。この試験は、鉛フリーはんだの使用を想定したピーク温度 260 $^{\circ}\text{C}$ 、10 秒以上で 6 サイクルのリフローを実施後、断面観察により異常がないかの確認を行うものである。観察箇所は一つのスルーホールを 1 穴とカウントし、合計 10 穴で行い、この結果を表 2 に、また異常のあったスルーホールの断面写真を図 5 に示す。

表 2 に示すとおり、スルーホールの穴径が大きく壁間距離が短くなると、「R-1566」では図 5 のようなクラックが生じるのに対し、「R-1577」ではいずれの条件においてもクラックの発生はみられない。Tg の向上と熱膨張の低減、さらに熱分解温度を向上させることで「R-1577」は高い耐熱性を有し、高多層されても鉛フリーはんだに十分適応するものと考えられる。

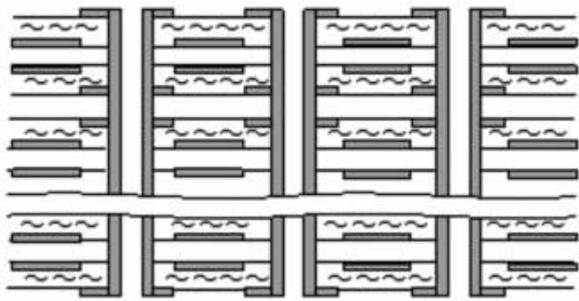


図4 高多層基板モデル図

表2 40層基板のリフロー耐熱性試験結果(クラック発生率)

穴径 (mm)	材料	壁間距離 (mm)				
		0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
0.3	[R-1577]	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	[R-1566]	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
0.5	[R-1577]	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	[R-1566]	10/10	10/10	5/10	0/10	0/10

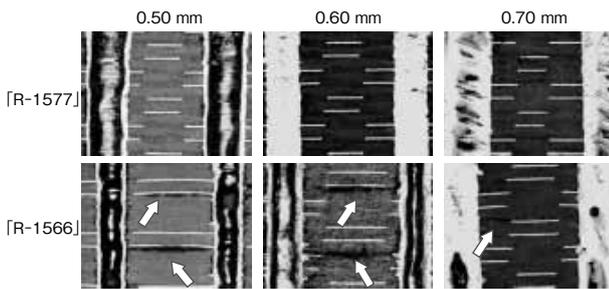


図5 スルーホール断面写真

4.3 絶縁信頼性

電子回路基板に使用される材料には高い絶縁信頼性が求められる。今回はガラスクロススタイル 2116 タイプのものを 8 枚使用し、図 6 のような断面の両面電子回路基板を作製して評価を行う (n = 4)。

処理条件は温度 85 °C、湿度 85 % で、0.30 mm のスルーホール壁間に 50 V を印加、試験槽中で連続して絶縁抵抗の変化を測定する。

試験の結果、図 7 のように 1000 時間を経過しても絶縁性の低下はみられず、「R-1577」は優れた絶縁信頼性を有していることがわかる。

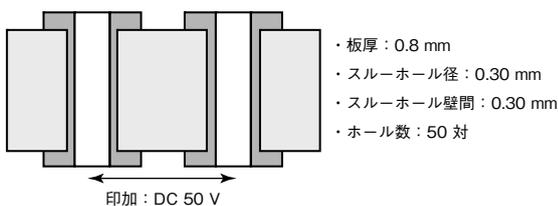


図6 絶縁性評価基板断面図

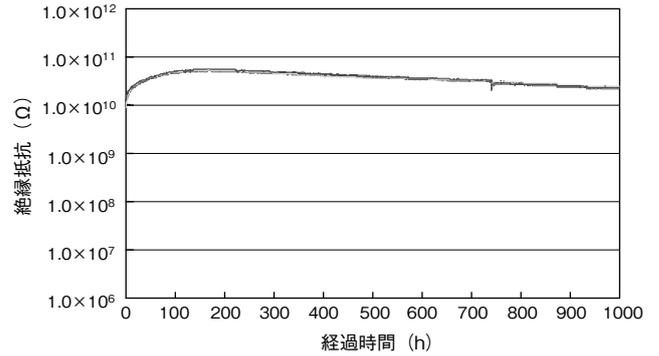


図7 絶縁性評価結果

5. あとがき

高速伝送と高耐熱性を両立し、ハロゲンフリーでありながら難燃性を有する環境対応型電子回路基板材料を実現するため、誘電率の低い新規分子骨格をエポキシ樹脂中に加え、特殊な反応を行うことによって、高 Tg で電気特性に優れ、硬化物の硬化度と均一性や耐薬品性も向上させた多層基板材料を開発した。

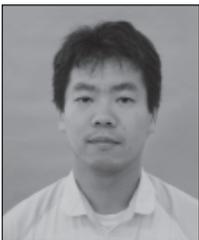
従来のハロゲンフリー材料が Tg 148 °C、誘電率 4.6 であるのに対し、開発材では Tg 170 °C、誘電率 4.1 と性能が向上した。また GHz 帯での伝送損失の評価でも、従来品に比べて優れた伝送特性を示している。さらに 40 層の高多層テスト基板は、260 °C のリフロー試験でも従来品に比べて優れた耐熱性を示し、鉛フリーはんだ実装に対応可能である。

今後もさらにニーズが高まるハイエンドのハロゲンフリー材料の開発に際し、今回提案した技術の応用が可能と考える。

***参考文献**

1) 古森 清孝, 田宮 裕記: IT ネットワーク機器用高速伝送基板材料, パナソニック電工技報, Vol. 56, No. 4, p. 29-33 (2008)

◆執筆者紹介



山口 真魚
電子基材事業部



垣内 秀隆
電子基材事業部



有沢 達也
電子基材事業部



中村 善彦
電子基材事業部