高耐熱・低誘電率多層基板材料

今井 雅夫*, 藤澤 洋之*, 田宮 裕記*, 米本 神夫*

High Heat-Resistant, Low Dielectric Multi-layer Circuit Board Materials

Masao IMAI*, Hiroyuki FUJISAWA*, Hiroki TAMIYA*, and Tatsuo YONEMOTO*

* パナソニック電工株式会社電子材料本部電子基材事業部 (〒963-8556 福島県郡山市字石塚111)

* Circuit Board Materials, Division Electronic Materials Business Unit, Panasonic Electric Works Co., Ltd. (111 Azaishizuka, Koriyama-shi, Fukushima 963-8556)

1. 序論

近年、電子回路基板材料に求められる性能や品質は電子機器の高機能化にともない、一層高性能化かつ複雑化の一途をたどっている。例として、軽薄短小化が進む携帯機器においてはビルドアップ基板材料、通信インフラストラクチャ機器においては低誘電低損失材料、車載機器においては高耐熱、高信頼性材料、半導体パッケージにおいては微細回路形成や狭ピッチスルーホール信頼性に対応した材料が求められる。

また各材料に対し、鉛フリーはんだ対応やハロゲンフリー化など環境負荷低減のための対応が要求されている。このようなニーズの多様化に対応するためには開発のスピードアップと開発投資の効率化が重視される。市場のニーズに的確に対応するためには、樹脂設計技術と高度な評価技術の導入が鍵となる^{1),2)}。

2. 電子機器の多様化と電子回路基板材料のニーズ

1970年代、電子回路基板（以下、基板と記す）は主にブラウン管テレビなどの家電製品に用いられていた。当時の基板に要求されていた機能は、比較的大型の部品を実装できることと大容量の電力を流すことができる配線とすることの2点であり、種類としては片面基板や両面基板が主であった。

2000年代にはいと、携帯電話に代表されるパーソナル電子機器やサーバ、ルータといった通信インフラストラクチャ、さらにはカーエレクトロニクスへトレンドが移り変わり、多層基板が圧倒的なシェアを占めるようになった。

現在に至っては多岐にわたる電子機器のニーズに対応する基板が必要とされその性能を確保するための材料設計が求められている。JMSデータに基づく世界の基板の種類別市場規模を図1に示す。最近の傾向では、多層基板用の一般FR-4が減少して高耐熱材料や高周波材料（低誘電率材

図1. 電子回路基板の種類別市場規模

料)が伸張している。一般的な材料が多様な基板に適用されるのではなく、細分化した電子機器に対して基板材料にも多様なニーズが求められている^{3)~5)}。

3. 低誘電率・低損失基板材料

3.1 低誘電率・低損失基板の動向

情報ネットワーク技術の進歩は目覚ましく、取り扱われる情報量も大容量化の一途をたどっており、電子機器に求められる処理速度も高速化している。この分野では、CPUの高性能化に対応して、基板内での信号伝播速度を高速化するために低誘電率が求められる。高密度化された基板は大規模なものになると一辺の長さが1mにもなり、積層される回路は26層から40層を超えるものもある。こういった背景から、長距離配線による信号の減衰や発熱を防止するために低損失化が求められ、高多層化にも対応する高度な加工性や信頼性も必要となる。

3.2 低誘電率、低損失樹脂設計

表1に各種材料の誘電特性を示す。基板材料に多く用いられている熱硬化性樹脂のエポキシやポリイミドは、ネットワーク構造を形成するため、極性基を多く含むことから低誘電化の達成が非常に難しいとされている。また、フッ素の導入による低誘電化の検討もなされているが、現状では工業化が難しいためあまり普及していない。熱可塑性樹

表1. 各種樹脂の誘電特性

樹脂	比誘電率 (at 1 GHz)	誘電正接 (at 1 GHz)
エポキシ	3~5	0.01~0.03
ポリイミド	3~5	0.005~0.01
PPE	2.5	0.002
PE	2.3	0.001
PTFE	2.1	0.0005

脂の代表例でもあるPE（ポリエチレン）やPTFE（ポリテトラフルオロエチレン）は、非常に良好な誘電特性を有するが、多層成形性や耐熱性に大きな課題を有している。

その中で、ポリフェニレンエーテル（以下、PPEと記す）を熱硬化変性することにより、電気特性と耐熱性を両立させる設計技術が注目されている。エポキシ樹脂に代表される熱硬化性樹脂を共通構造としネットワークポリマーを形成させることで、多様なニーズに対応可能な基板の設計が可能となる。

図2にPPE-エポキシ樹脂系の比誘電率と誘電正接の設計例を示す。これらの耐熱性に優れ、広い範囲の誘電特性に対応できる共通樹脂構造をベースとして、Tgや熱膨張量を設計に反映させることにより、多様なニーズに対応するための樹脂材料の開発が可能となる。

表2にサーバルータなど、高機能機種をターゲットにしたPPE-エポキシ系の低誘電材料と一般FR-4の材料特性表を示す。一般FR-4と比較しても、比誘電率、誘電正接が優れているだけでなく、Tgや熱分解温度などの耐熱性にも優れた性能を示していることがわかる。

3.3 伝送損失

材料のニーズとして重要な特性が伝送損失である。良好な伝送損失を与えるためには比誘電率(Dk)，誘電正接(Df)を低くすることだけではなく、銅箔粗度を小さくして導体損失を低減させることが有効である。

伝送損失 α は信号が伝達する導体で生じる導体損失 α_c と、誘電体と接することで生じる誘電体損失 α_d の2つの和になる。

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_d \quad (1)$$

Wolffらによれば、上記伝送損失は以下のように表される。

$$\alpha_c \propto \varepsilon \times R_s(f) \quad (2)$$

$$\alpha_d \propto \sqrt{\varepsilon} \times \tan \delta \quad (3)$$

ε は比誘電率、 $\tan \delta$ は誘電正接、 R_s は導体表皮抵抗、 f は周波数を表す。式からもわかるように比誘電率や誘電正接、および導体表皮抵抗を小さくすると伝送損失が小さくなり良好になることがわかる。そこで、図3に示すようなストリップライン多層基板を作製して伝送特性評価を行った。

さらに図4に各材料の伝送損失の周波数特性を示す。5

図2. 1 GHzにおける各種基板材料の誘電特性

表2. 材料特性表

項目	測定条件	単位	PPE-エポキシ	一般FR-4
誘電率	1 GHz	—	3.8	4.6
誘電正接	1 GHz	—	0.005	0.016
Tg	DMA	°C	210	190
熱膨張係数	TMA (α_1)	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	35	60
熱分解温度	5% 重量減	°C	360	315
耐熱性	1時間処理	°C	280	280
銅箔ピール強度	銅箔 35 μm 厚	kN/m	1.2	2.0
難燃性	UL	—	94V-0	94V-0

図3. ストリップライン構成（断面図）

図4. 材料別伝送損失

GHzにおいては、一般FR-4と比べて、PPE-エポキシ樹脂は非常に優れた高周波特性を有していることがわかる。

4. 高多層化に向けて要求される材料特性

4.1 鉛フリーはんだ対応を指向した耐熱性評価手法

一般的に基板は高多層化されると、基板の膨張や密着不良が原因で界面剥離や回路断線が発生することがある。そのため材料の高Tg化、低熱膨張化、高熱分解化を実現させることで、鉛フリーはんだ対応可能な材料として利用が可能となる。

評価方法の一例を紹介する。図5に示すような40層基板を作製し、はんだディップ試験を実施し、デラミネーションの有無を確認する。

参考としてわれわれの開発材Aと一般FR-4との比較結果を表3に示す。この試験で用いた評価基板は総厚みが5mm、スルーホール径が0.25~0.80mm、スルーホール壁間は0.5mmである。開発材Aは288°C×10秒はんだフロートを6回処理後、デラミネーションなどの異常は発生せず良好であった。

4.2 通信インフラストラクチャ用基板の耐熱特性

通信インフラストラクチャ用のサーバや大型コンピュータに用いられる基板では、配線の高多層化によって取り扱う通信の高速化や情報の大容量化に対応するために、その厚みが4mmを超えるものがある。

また、層間の接続構成は高多層化と内層回路の高密度化を両立するためにインナビアホール(IVH)やTHを多用して複雑なものになっている。このような基板を製造するためにはその積層工程を一括多層にとどまらず、一度多層成型

材料構成 : コア材0.10mm, プリプレグ0.10mm, 銅箔18 μ m
スルーホール径 : 0.25, 0.45, 0.65, 0.80mm ϕ
スルーホール壁間 : 0.50mm

図5. 高多層耐熱性評価基板の構成（断面）

表3. 40層板の耐熱性評価試験

	はんだフロート	デラミネーション	クラック
開発材A	288°C×3回	OK	OK
	288°C×6回	OK	OK
一般FR-4	288°C×3回	NG	NG
	288°C×6回	NG	NG

を行った後にめっきやエッチングによる回路形成を実施して、さらに多層化するシーケンシャル成型も多用されている。新工法などで成型を実施する際は、基板の製造中に受ける熱履歴から、樹脂やガラスクロスや銅配線との界面へのダメージについても十分に考察する必要がある。

また機器の使用時における耐熱性については、他の電子機器のように使用環境からの影響を考慮するのではなく、大型でかつ大電流を消費するために内部の配線からの自己発熱による影響を考慮する必要がある。

以上のように、大型高多層基板に関しては特有の熱的要因を考慮してその信頼性を正確に評価して予測する必要がある。その有効な評価技術としてInter Connect Stress Test（以下、ISTと記す）が挙げられる。

実際の基板を想定したうえで、図6にIPCの規格に準拠して作成した試験用基板の構造を示す。

このISTでは、基板内部に導通確認用の信号線THと模擬発熱用電力線THとを交互に配している。電力線の内部発熱による急加熱と冷却ガスによる急冷却とを繰り返しながら基板内に発生する異常を信号線で観測する。この冷熱サイクルを繰り返すことによって、実際の大型基板に起こる熱的問題を評価、確認することができ、この情報を材料の設計にフィードバックすることができる。

5. 総括

高耐熱、低誘電率基板材料のトレンドとニーズについて述べた。電気特性に低誘電率、低損失が要求される基板材料の用途は、携帯用の端末から超大型の情報処理用の機器までと多岐にわたっている。小型情報端末においては単に従来の材料に求められる特性だけではなく、携行を容易にする軽量性や耐衝撃性といった性能も重視される。

将来的には、さらに高速伝送性が求められる部分を光導波路で構成して光信号で伝送するとともに、低速電気信号

図6. ISTクーポンと内部配線構造

と電力は銅配線で伝送する光・電気複合基板の登場が予想される。

また環境負荷低減といった新たなトレンドが創出され、鉛フリーはんだ対応を指向した高耐熱性やハロゲンフリー対応と基板に求められる特性や組み合わせの多様化は進むばかりである。

ゆえに材料開発においては、特に効率的な設計が求められ、基本特性の優れた基本構造の樹脂を複数準備し、必要に応じた材料設計で機能の分化を試みることが重要である。

比誘電率に限らず、耐熱性が重視される基板材料ではその用途によって求められる内容も大きく異なる。材料の使用環境から決定される温度条件に正確に対応していく必要があり、高多層基板についてはその加工条件や内部発熱による熱ストレスへの対応が求められる。それらを正確に評価できる技術を確立することで、得られた情報を材料設計に落とし込む必要がある。

筆者らは、多様で複雑化する市場と顧客のニーズに対応

するために、材料設計と精密な評価技術の確立をユーザとともに適合確認をしながら基板材料の開発に邁進する所存である。

(2010.5.6-受理)

文 献

- 1) 藤原弘明, 北井佑季, 今井雅夫, 藤澤洋之, 田宮裕記: “特集・電子材料技術 低誘電・高耐熱多層プリント配線基板材料,” パナソニック電工技報, Vol. **56**, No. 4, pp. 24-28, 2008
- 2) 今井雅夫: “多層プリント配線板材料,” 第25回エレクトロニクス実装学会春季講演大会論文集, pp. 356-357, 2010
- 3) 電子情報技術産業協会, 2009年度版日本実装技術ロードマッププリント配線板編
- 4) 電子情報技術産業協会, 2009年度版日本実装技術ロードマップ
- 5) 情報通信総合研究所, 2003-8 発表広報資料