ガラスエポキシ (FR-4)

松尾 正人*

Glass Epoxy (FR-4)

Masato MATSUO*

*松下電工株式会社電子基材事業部 (〒963 福島県郡山市字石塚111)

*Electronic Materials Div., Matsushita Electric Works Ltd. (111 Aza-Ishizuka, Koriyama-shi, Fukushima 963)

1. まえがき

エレクトロニクス産業を支える電子機器の一端を担うものにプリント配線板がある。これを構成するプリント配線板用絶縁基板として、硬質のものと柔軟性のあるものがあり、前者を用いたプリント配線板をリジッドプリント配線板といい、後者を用いたプリント配線板をフレキシブルプリント配線板という。リジッドプリント配線板の絶縁基板としてガラス布基材エポキシ樹脂銅張積層板があり、紙基材フェノール樹脂積層板に次いで、日本国内の生産量は第2位を誇る。従来は産業用電子機器用途として使われていたが、近年は民生用電子機器の轻薄短小・高機能化に伴い、この分野での使用が拡大してきている。例えば、テレビのハイビジョン化、ビデオカメラのコンパクト・高機能化等に確認できる。

近年、電子機器に対する要求として、経済背景も拍車をかけ、先に述べたように産業・民生共に轻薄短小が急速に高まっていることは、事実である。このことは、電子機器の一端を担うプリント配線板についても同様ながいえ、使用される電子部品の形態および実装方式の変化等の傾向を見れば確認できる。例えば、ICパッケージの実装方式が過去30年以上にわたり実装方式の主流であった DIP・SIP に代表されるピン挿入実装方式から、SOP・QFP に代表される表面実装方式への急速な技術移行が行われている (図1、図2 参照)。

このような状況の中におけるリジッドプリント配

線板の主役として、絶縁基板である G-CCL に関し現状の製造方法を含めた轻薄短小安・高機能化への対応、および今後の方向性について説明を行う。なお、G-CCL を大きく分類すると NEMA グレード別に難燃タイプの FR-4、FR-5 と、非難燃タイプの G-10、G-11があるが、今回はその中でも使用用途が多岐にわたり、市場においても高い占有率を持つ「FR-4・G-CCL」についての取り組み方、およびこれに伴う開発例を含め説明を行う。

2. 技術動向

電子機器の轻薄短小安・高機能化に伴い、プリント配線板に要求されることとして、表面実装化がある。これは、実装電子部品の多機能化・複合化に伴い、多ピン化・狭ピン化、および液晶ディスプレイの普及による配線パターンの細線化 (配線仕様として $150\mu\text{m} \rightarrow 100\mu\text{m} \rightarrow 50 \sim 80\mu\text{m}$ ルールへ移行進行中) およびスルーホールの小径化 ($0.3 \sim 4\phi \rightarrow 0.2\phi$ の検討中) が急速に進行中である。

図1. 実装方式の変化

図2. 多ピン化と狭ピッチ化

これに対して、ガラス布基材エポキシ樹脂銅張積層板に対し、下記特性項目の改善要求が出ている。

- ① 表面清浄性
- ② 寸法安定性
- ③ 表面平滑性
- ④ 耐熱性 (吸湿耐熱含む)
- ⑤ UV 遮蔽性
- ⑥ 耐銅マイグレーション性

以上のような要求特性に対応するために、各種ガラス布基材エポキシ樹脂積層板が開発されている。

図3に電子部品および銅張積層板への要求について説明する。

3. ガラス布基材エポキシ樹脂積層板の製造方法

G-CCLは、ガラス布基材にエポキシ樹脂を含浸させた絶縁層と導電層である銅箔から構成されている。

製造方法については、図4に示すように、ワニス工程、含浸・乾燥工程、積層成形工程、仕上げ工程からなっており、各工程について説明を行う。

(1) ワニス製造工程

エポキシ樹脂と硬化剤、触媒、溶剤を管理された条件下 (配合量、時間および温度等) にてブレンドし、エポキシワニスを製造する。製造されたエポキシワニスの品質管理項目として、硬化時間 (ゲルタイムともいう)、粘度、比重、分子量分布等があげられる。

(2) 含浸・乾燥工程

ガラス布基材にワニス工程にて製造されたエポキシワニスを含浸させ、管理された条件下 (温度、速度等) にある乾燥機内で、含浸性および硬化度の促進を行い、ガラス布基材にエポキシワニスを含浸させたプリプレグを製造する。製造されたプリプレグの品質管理項目として、樹脂含浸量、硬化時間、樹

図3. 電子部品および銅張積層板への要求

図4．ガラスエポキシ銅張積層板の製造工程

脂流れ量等があげられる。なお、本工程において次の積層成形工程での使用サイズに切断され、切断サイズも大きな品質管理項目である。

(3) 積層成形工程

要求板厚に応じて、所定枚数のプリプレグの上下に銅箔を置き、これをステンレスプレートではさんだ後、プレスに挿入し、プログラミングされた温度、圧力、真空条件の基で硬化させ、銅張積層板を製造する。なお、現在真空成形が、標準化されており、成形品のかすれ、ボイド等の成形性に関する不具合は、皆無に近いのが現状である。

(4) 仕上げ工程

積層成形完了後、銅張積層板を取り出し、要求サイズに切断し、外観・板厚検査実施後、包装を実施する。

以上、原材料を含め、ワニス製造工程～仕上げ工程までの品質管理項目を厳守することにより、安定した品質のガラス布基材エポキシ樹脂積層板が得られる。

4．ガラス布基材エポキシ樹脂積層板用の原材料

ガラス布基材エポキシ樹脂積層板を構成する主要原材料は、銅箔、ガラス布基材、エポキシ樹脂であり、これに関し、簡単に説明を行う。

(1) 銅箔

使用される銅箔は、純度99.5%以上の電解銅箔を使用し、積層板と貼り合わされる面(通称マット面)には、接着強度向上を目的とした粗面化加工が施されている。マット面の形状を図5に示す。

高密度配線化に伴って、銅箔における重要項目であるエッチング精度向上に対し、マット面の形状(山の高さ、数および均一性等)の影響が大きい。

最近では薄箔化へ移行(18→12→9 μ m)し、マット面の山の高さを小さく(ロープロファイル化)し、エッチング精度の向上を目的とした動向がある。ただし、細線化も含め必然的に銅箔引きはがし強度の絶対値が低下するため、プリント配線板加工時および使用時の熱、薬品、吸湿等による劣化を考慮した

18μm銅箔

9 μm銅箔

図5. 銅箔マット面の形状

処理が施されていることが使用銅箔決定のポイントとなる。

(2) ガラス布基材

銅張積層板用途のガラス布基材は、一般的に SiO を主成分とした径 5 ～ 9 μm のガラスフィラメントを 50 ～ 800 本束ね、1 本のガラス糸 (通称ヤーン) とし、この糸を縦、横所定の比率でもって布を織る。織り方は、平織が主流である。縦、横の比率を変えることにより銅張積層板の寸法変化率を変えることができる。

表 1 にガラス布基材の成分について示す。

ガラス布には、ガラスとエポキシ樹脂の結合力を高める目的で、シランカップリング処理が施されている。高密度配線化に伴って、シランカップリング剤の選定が耐熱性、絶縁性等の信頼性に関わる重要な技術となっている。また近年物理的加工により、ガラスフィラメントへの樹脂の充てん性向上を目的とした開繊加工が行われている (図 6)。

(3) エポキシ樹脂

一般的な銅張積層板用途のエポキシ樹脂は、ビスフェノール A とエピクロルヒドリンの重合反応に

表1. 電気絶縁用ガラス布の成分

化学成分	重量比 (%)
SiO ₂	52～56
Al ₂ O ₃	12～16
CaO	15～25
MgO	0 ～ 6
B ₂ O ₃	8 ～ 13
Na ₂ O ₃ +K ₂ O	0 ～ 1

図6. ガラス布の表面状態

よって得られ、テトラブロムビスフェノール A とさらに重合させて Br 化エポキシ樹脂を得、FR-4 グレードの銅張積層板に使用される。また、耐熱性および Tg 特性の向上を目的とし、ノボラックタイプのエポキシ樹脂が併用されることがある。

図 7 に代表的な構造について示す。

エポキシ樹脂、硬化剤の選択および配合割合等により広範囲の特性を得ることができ、電気特性、耐湿性、耐薬品性等の基本特性に大きく影響を与える。さらに、高密度配線化が進むに伴い耐熱性と同時にマイグレーションに対する改善要望がでており、対策として、イオン性不純物の低減、最適分子量分布等の検討がなされている。

図7. エポキシ樹脂の代表的構造

5. ガラス布基材エポキシ樹脂積層板からの対応

プリント配線板の高密度化に伴う、銅張積層板への要求特性および要求特性に対応して開発された事例を紹介する。

(1) 表面清浄性

微細配線形成に伴う重要な項目にエッチング性があり、先に述べたように配線パターンが、50~80 μ m (Line / Spase 共)化へ移行している現在、銅張積層板の銅箔表面に微細な付着物によるパターンショート不良発生の原因となる。

従来、JIS 等にて定められている外観基準レベルでは、近年の細線パターンに対応できなくなってきた。

(2) 寸法安定性

微細配線形成に伴う重要な項目であることはもちろんのことだが、液晶ディスプレイへの採用に伴いパターンピッチ間精度に対する要求が高い。さらに、銅張積層板の寸法変化における異方性をなくすことによって、ワーク取りによるロス削減等の要求があり、微細配線形成を行う上で非常に重要なファクタとなっている。

(3) 表面平滑性¹⁾

ガラス布の縦、横糸の交点と隙間の凹凸により発生する表面粗さは、ドライフィルムとの密着不良により発生する断線不良の要因の1つである。これは微細配線形成化に伴い採用されつつある銅箔の薄箔化により、さらにクローズアップするものと考えられる。

(4) 耐熱性

吸湿したプリント配線板をリフロー等の加熱条件にさらすとミーズリング等の不具合が発生する場合があります。特に軽薄短小化に伴うプリント配線板の薄板化および表面実装化によるはんだリフローの採用等により、この現象が顕著になってきた。

さらに、高密度化によりコネクタタブ方式からコネクタ実装方式が進んでおり、コネクタ部分へのスポットはんだ付けは、非常に厳しい熱ストレスが加わり、ミーズリング発生の原因となっている。さらに吸湿することにより発生頻度が高くなることが確認されている。図8にコネクタ実装方式について示

す。

(5) UV 遮蔽性

実装用電子部品が多ピン化およびこれに伴うソルダレジスト印刷の精度アップを目的とし、紫外線(UV)を用いた写真法が採用されている。これに伴い、生産性向上を目的とした両面同時露光方式が採用され、裏焼け等によるトラブルが発生している。

(6) 耐銅マイグレーション²⁾

高密度化により、配線パターン間、スルーホール間の距離が狭くなった。この結果、パターン間で発生するデンドライトおよびスルーホール間で発生するCAFが問題視されてきた。特に、CAF(Conductive Anodic Filament)については、銅張積層板の要因も大きく、現在最もクローズアップされている特性の1つである。

CAFとは、高温、高湿度雰囲気中でプリント配線板の回路間またはスルーホール間にPCバイアスを継続印加された場合、アノード側のmから、ガラスフィラメントに沿って成長する導電性の物質のことをいう。

図9に発生モデルを示す。

観察してみるとガラス布基材と樹脂の界面で発生していることが確認され、ガラス布基材と樹脂の結合力(接着性)、先に原材料の中で述べた樹脂中のイオン性不純物等によるところが大きいと考えられている。

以上の(1)~(6)の要求項目に対し銅張積層板メーカーでの取り組み事例を紹介する。

●高寸法安定 FR-4

特徴：

(1) 加工時の寸法安定性

図10に加工工程中の寸法挙動を表す、大きな特徴として、縦≒横であり、かつ最終レベラー後で縦≒横≒0%の収縮率が達成されている。

図8. コネクタ実装方式

図9. CAF発生モデル

(2) 反り・ねじれの低減

従来材と比較し、反り・ねじれが低減している。

図11に示す。

● UV 遮蔽 FR-4

特徴：実装用電子部品の多ピン化およびこれに伴うソルダレジスト印刷の精度アップを目的とし、紫外線（UV）を用いた写真法が採用されている。

これに伴い、生産性向上を目的とした両面同時露光方式が採用され、裏焼け等によるトラブルを防止する目的にて前述の高寸法安定 FR-4 の加工時の特長を保持し、かつ UV 遮蔽特性を付加させている。このことは、図12、図13に示している。

●超ファインパターン対応 FR-4^{1),2)}

特徴：パソコン、ワープロ等のディスプレイの液晶化に伴い、さらに配線のファイン化が進み、50～80 μm となり、高密度化によりコネクタブ方式からコ

ネクタ実装方式が進んでおり、コネクタ部分へのスポットはんだ付けは、非常に厳しい熱ストレスが加わるため、ミーズリング発生の原因となっている。これらの要求項目に対応することを目的として、前出の高寸法 FR-4 に表面平滑性、表面清浄性、耐熱性、耐 CAF 性の特性が付加されている。

・表面清浄性については、クリアプレグ（粉飛散防止対応プリプレグ）工法、および徹底した工程内のクリーン化等の複合作用にて表面の清浄化が図られている。

・表面平滑性については、図14に示す表面粗さはレーザ方式表面形状測定機に立体的に測定を行っており、凹凸の差が非常に小さいことがわかる。

・耐熱性については、図15に示すように吸湿処理後のはんだおよびリフロー耐熱において向上しているのはもちろんのこと、コネクタ実装工程におけるミーズリング発生の異方性がなくなっていることが確認されている。

・耐 CAF 性に関して、図16に示すように、従来品と比較し、PCBT 法、110°C、85%RH / 100V 印加の条件下で200時間以上の実力を有している。

●超ファインパターン対応 UV 遮蔽 FR-4

特徴：前出の超ファインパターン対応 FR-4 の加工時の特徴を保持し、かつ UV 遮蔽特性を付加さ

※加工工程における寸法変化率の処理条件

* 1 は130°C 15分間の3回処理後

* 2 は230°C 3秒間処理

図10. 寸法変化

《反り, ねじれ》 (板厚さ: 1.6mm, 銅箔: 0.018mm, PCBサイズ: 250×250mm)

図11. 反り, ねじれ

図12. UV遮蔽性

図13. UV遮蔽性

〈表面粗度〉

	縦方向	横方向	斜め方向
開発品	1.7 μ m	2.0 μ m	2.6 μ m
従来品	3.8 μ m	3.5 μ m	4.8 μ m

鳥観図

図14. 表面粗度

吸湿処理後耐熱性

項 目	吸湿処理	開発品	従来品
はんだ耐熱性 (260°C30秒ディップ)	PCT 2atm (133°C)	4hrOK	2hrOK
リフロー耐熱性 (max270°C)		4 hrOK	2 hrOK
部分はんた耐熱性 (260°C10秒ディップ)	MIL-STD-202F 106E	7daysOK	7daysOK
		7daysOK	7daysミーズリング発生

MIL-STD-202F 106E処理

リフロー条件

図15. 吸湿処理後耐熱性

せる形で開発されている。このことは、図12、図13に示している。

開発事例として紹介したガラス布基材エポキシ樹脂銅張積層板についての仕様および一般特性について表2、表3に示す。

6. まとめ

近年の電子機器の使用用途、加工条件等の変化により、さらなる表面実装、超ファイン化に加えて、コストパフォーマンスの優れた銅張積層板という要

・テストサンプル

上図のように、
穴径0.9φ、
壁間距離300μmのプリント配線板作成

- ・処理条件 PCB法 110°C 85%RH 100V印加
- ・測定方法 湿中にて測定 (測定電圧100V)

図16. 耐CAF性

表 2 . 一般特性

試 験 項 目		処 理 条 件	高寸法安定FR-4
体積抵抗率 (Ω・cm)		C-96/20/65	1×10 ¹⁵ ~1×10 ¹⁶
		C-96/20/65+C-96/40/90	1×10 ¹⁴ ~1×10 ¹⁵
表面抵抗 (Ω) (積層板面)		C-96/20/65	1×10 ¹³ ~1×10 ¹⁴
		C-96/20/65+C-96/40/90	1×10 ¹³ ~1×10 ¹⁴
絶縁抵抗 (Ω)		C-96/20/65	1×10 ¹⁴ ~1×10 ¹⁵
		C-96/20/65+D-2/100	1×10 ¹² ~1×10 ¹³
誘電率 (1MHz)		C-96/20/65	4.7~5.0
		C-96/20/65+D-48/50	4.8~5.1
誘電正接 (1MHz)		C-96/20/65	0.016~0.020
		C-96/20/65+D-48/50	0.017~0.021
はんだ耐熱性 (260℃) (秒)		A	120以上
引きはがし強度 (kgf/cm)	銅箔 (0.012mm)	A	1.65
		S ₄	1.60
	銅箔 (0.018mm)	A	1.3~1.6
		S ₄	1.3~1.6
	銅箔 (0.035mm)	A	1.9~2.3
		S ₄	1.9~2.3
耐 熱 性		A	250℃C30分ふくれなし
曲げ強度 (横方向) kg/mm ²		A	45~55
吸 水 率 (%)		E-24/50+D-24/23	0.05~0.10
難燃性 (UL法) (秒)		AおよびE-168/30	$\bar{x}$ 1~3 max 4~8
耐トリクロロエチレン性		煮沸トリクロロエチレン浸漬(5分)	異常なし

(注) ※銅箔0.012mmの引きはがし強度はトータル厚さ0.035mmにめっき後の測定値である。

求が一段と厳しくなることを考慮していかなければならない。また、現在考えられるプリント配線板の使用環境以外での使用が増えてくることが考えられ、長期信頼性に対する配慮が必要となる。これに

対して原材料を含めた、耐電食性・耐候性等を考慮した銅張積層板の技術開発が今後のポイントとなる。

(1993. 4 . 7 -受理)

表 3 . FR-4 開発事例品の仕様

品 番	高寸法安定・UV遮蔽	超ファインパターン対応
ANSIグレード (NEMA)	FR-4	FR-4
製造厚さ (mm)	0.4~2.0	0.4~1.6
銅箔厚さ	0.012, 0.018, 0.035, 0.070	0.012, 0.018, 0.035
UL94フレイムクラス	94V-0	94V-0
最高使用温度 (°C)	130	130
定尺寸法 (mm) (縦×横)	1000×1000, 1000×1200	1000×1000, 1000×1200
寸法許容差	+20 - 0	+20 - 0

文 献

- 1) 福本恭之：“50~100 μ ファインパターンに対応する両面プリント配線板用ガラスエポキシ銅張積層板”，電子技術，1991年10月号，p.49
- 2) 小島甚昭：“小型、高性能ニーズから進む高密度ファイン回路対応ガラスエポキシ銅張積層板”，表面実装技術，1992年3月号，p.74

松尾 正人

昭和33年生まれ。昭和53年，佐世保工業高等専門学校工業化学科卒業。現在，松下電工株式会社電子基材事業部において，両面，多層板用ガラス CCL に関する製造技術の開発に従事。