

多層フレキシブル基板用の屈曲性エポキシ樹脂付き銅箔

Flexible Resin Coated Copper for Multilayer FPC

江崎 義昭* ・ 小関 高好* ・ 石川 陽介* ・ 伊藤 克彦** ・ 福住 浩之**
 Yoshiaki Esaki Takayoshi Ozeki Yohsuke Ishikawa Katsuhiko Ito Hiroyuki Fukusumi

携帯電話等に用いられる多層フレキシブル基板（FPC）において、エポキシ樹脂に高伸び低弾性率の変性ポリアミド樹脂をポリマアロイ化することにより、エポキシ樹脂付き銅箔をフレキシブル化して折曲げを可能とするとともに、従来のカバーレイ工法に比べて、4層FPCの厚み30%減、平滑性向上、ビルドアップ工程数半減を実現する屈曲性エポキシ樹脂付き銅箔（FRCC）を開発した。また開発品は、エポキシ樹脂およびその硬化剤の骨格に燐変性を施すことにより、ハロゲンフリーで難燃化を実現した環境適合材料でもある。

この技術はFRCCだけでなく、ボンディングシートやプリプレグにも応用展開が期待される。

Flexible Resin Coated Copper (FRCC), used for the multi-layer flexible circuit boards in mobile phones, etc., has been given flexibility by a new polymer alloy made with epoxy resin and high-elongation and low-elasticity modified polyamide resin. Compared to the conventional cover-lay process, FRCC can reduce the thickness of four-layer FPC by 30%, improve the surface roughness, and need only half the number of build-up processes.

The new resin is also environment compatible, because this has achieved halogen-free flame retardancy by applying phosphor modification to the structure of epoxy resin and its curing agent. This technology is expected to be applicable not only to FRCC but also to bonding sheet and prepreg.

1. ま え が き

携帯電話等のモバイル機器に対する高機能・薄型化のニーズは年々高まっており、これに用いられる多層フレキシブル基板（以下、FPCと記す）にもさらなる薄型化と高密度化が求められている（図1）¹⁾。

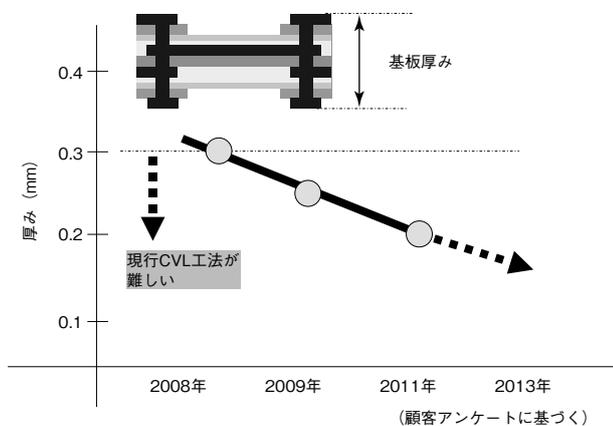


図1 4層FPCの薄型化ロードマップ

しかし、従来のカバーレイ（以下、CVLと記す）工法によるビルドアップ多層化では、1層当りの構成材料が接着剤、PIフィルム、プリプレグ、銅箔と多いため、通常用いられる4層FPC厚みを0.3mm以下にすることは困難であった。また積層プレス成形においては、CVL接着剤の内層回路やビアホールへの充填性が不十分なため、クッション材を使用する必要があり、基板表面に凹凸が発生する問題がある。さらに、積み重ねるプリプレグはガラスクロスを含むリジッド材であることから、屈曲部をくりぬいて使わねばならず、煩雑になる。

一方、リジッド多層基板に用いるエポキシ樹脂付き銅箔（以下、RCCと記す）を積層するビルドアップ工法であれば、構成材料が接着剤と銅箔のみと少なく、薄型化が可能である。しかし、従来のRCCは剛直でとても折曲げができる材料ではなく、屈曲性FPC材料として用いることは不可能であった。

多層FPCの薄型化には、屈曲性を有するエポキシ樹脂付き銅箔（以下、FRCCと記す）の開発が必須である。

* 電子材料本部 電子材料R&Dセンター Research & Development Center, Electronic Materials Business Unit

** 電子材料本部 基板材料事業部 Substrate Materials Division, Electronic Materials Business Unit

FRCCにはCVL工法で使用されるプリプレグの特性であるビルドアップ加工での耐薬品性や部品実装時の耐熱性と、CVL工法の特性である屈曲性を満足させるエポキシ樹脂が求められる。しかし、これまではエポキシ樹脂の屈曲性を高めると積層プレス成形時の充填性、耐薬品性、耐熱性が低下する問題を解決できなかった。

そこで筆者らは、変性ポリアミド樹脂をポリマアロイ化することにより、求められるこれらの特性を確保する多層FPC用のFRCCを開発したので以下に報告する。

2. FRCCの開発目標

2.1 薄膜絶縁層

4層FPCの厚みを0.3 mm以下にするため、絶縁層厚みの目標は、従来CVL工法の80 μm以上から半減の40 μm以下とする。その構成は、エポキシ樹脂接着剤層(Ad)単独の汎用タイプ(図2(a))と、ポリイミドフィルム(PI)層も有する高信頼性タイプ(図2(b))の2種類とする。

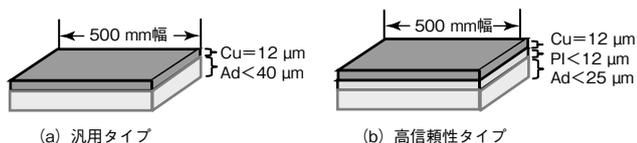


図2 開発するFRCCの種類

2.2 折曲げ耐性

多層FPCとしたときに屈曲性の一つである折曲げ屈曲性に耐えるエポキシ樹脂接着剤を開発することがポイントである。折曲げ屈曲性の目標は、図3に示す繰返し曲げテスト(MIT試験)で、内層回路パターン断線までのサイクル数を100回以上とする。

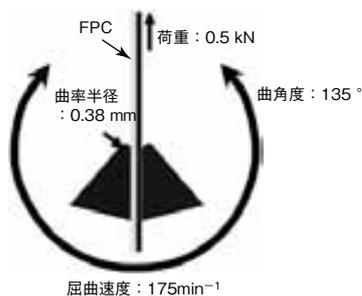


図3 MIT試験

2.3 表面平滑性

顧客のビルドアップ加工性や部品実装性の向上のため、FPC表面うねり(Rz)の目標を10 μm以下とする。これを実現するため、図4(a)に示すとおり、FRCC積層プレス成形ではCVL工法で必須のクッション材を使用しない。

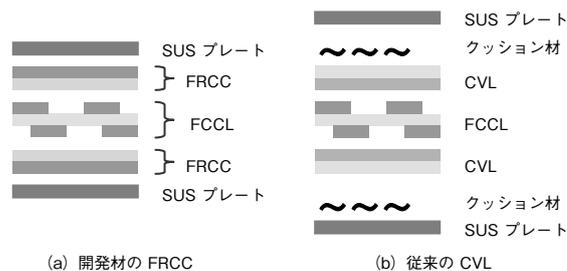


図4 FPCの積層構成

3. FRCCの開発

FRCC開発について、以下で詳細に説明する。

3.1 接着剤ワニス

屈曲性に優れ、耐薬品性と耐熱性を損なわず、積層プレス成形性が良好なFRCCの塗工用エポキシ樹脂接着剤ワニスを開発する。

3.1.1 ポリアミド樹脂

屈曲性を確保するためには、剛直なエポキシ樹脂によく伸びる弾性率の低いリニアな高分子(可塑性樹脂)成分を導入してフレキシブル化することが不可欠である。

従来からNBRやABS等のゴム成分を用いて屈曲性を確保することは知られているが、これらの方法ではエポキシ樹脂のT_gを著しく低下させ、耐薬品性や耐熱性が損なわれる。また、ゴム成分にはあらかじめ分子中にカルボキシル基を導入してエポキシ樹脂との相溶性の悪さを改善しているが、このカルボキシル基がエポキシ樹脂と反応しやすいことから、積層プレス成形性の確保が困難である。さらにゴムはよく燃え、難燃化が難しい問題もある。

そこで筆者らは種々の可塑性樹脂の検討から、ポリアミド樹脂とエポキシ樹脂をポリマアロイ化した樹脂がT_gを著しく低下させることなく屈曲性をも有するのを見いだした。しかし、このポリアミド樹脂はエポキシ樹脂との相溶性が悪く、ワニス安定性もなく実用性に欠けている。また、折曲げは可能であるが、目標とする屈曲性には至らない。そこで当該ポリアミド樹脂を、柔軟性を有し、かつエポキシ樹脂と相溶性が高い骨格に変性させ、溶剤系も相溶性の高い複合系に改善した。この変性ポリアミド樹脂は、ポリマアロイ化したエポキシ樹脂のT_g低下を抑制し、150℃以上を確保している。またこの配合ワニスは、高伸び率(20%)低弾性率(0.5 GPa)であることから屈曲性も期待でき、エポキシ樹脂との相溶性も問題なく良好な保存安定性を示している。

3.1.2 エポキシ樹脂

エポキシ樹脂は、リジッド多層基板に用いられるように、本来は耐薬品性や耐熱性はもちろん、耐湿性や絶縁性にも優れ、クッション材を必要としない良好な積層プレス成形性を有している。開発品では、このエポキシ樹脂本来の特

性を保持しつつ、新規の変性ポリアミドと相溶性に優れた高T_g多官能エポキシ樹脂を見だし、使用している。この多官能エポキシ樹脂は、多くの芳香環を含み高T_gであるが、韌性のある骨格を有している。

3.1.3 難燃剤

環境対応のため、ハロゲンフリー難燃化を行っている。添加型難燃剤は、積層プレス成形性や屈曲性には効果的であるが、ブリードの発生や耐熱性の劣化を著しくする。そこで、エポキシ樹脂およびその硬化剤の骨格に燐変性を施し、耐熱性も考慮した難燃化を実現している。

3.1.4 ワニス

開発したポリアミド樹脂やエポキシ樹脂等の必要な原材料を硬化剤や希釈溶剤と合わせて攪拌した後、塗工用エポキシ樹脂接着剤ワニスを作製する²⁾。このワニスは良好な相溶性と保存安定性を示している。

3.2 ワニス塗工

開発した変性エポキシ樹脂接着剤ワニスをコーターマシンで銅箔および片面FCCLにロールツーロールの塗工・乾燥を行い、図5に示す2種類のFRCCを得る。

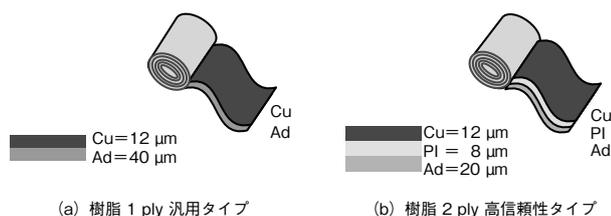


図5 FRCCの構成

レジフローを制御したFRCCは良好な作業性と保存安定性を示している。

4. 多層FPC作製と特性

得られたFRCCを用いて4層FPCを試作し、基板特性を評価する。

4.1 積層プレス成形と表面平滑性

あらかじめ、両面銅箔フレキシブル積層板 (FCCL) をパターン回路形成した内層材に、FRCCを両面からラミネートした後、SUSプレートで挟み込む。なお、CVL工法では必須のクッション材は使用しない。

ラミネート品は、図6に示す一般FR-4の積層プレス条件で、デイライトプレス機を用いてFRCCを熱硬化した。

得られた4層板の表面状態は従来CVL工法に比べて、明らかに平滑性に優れている (図7)。

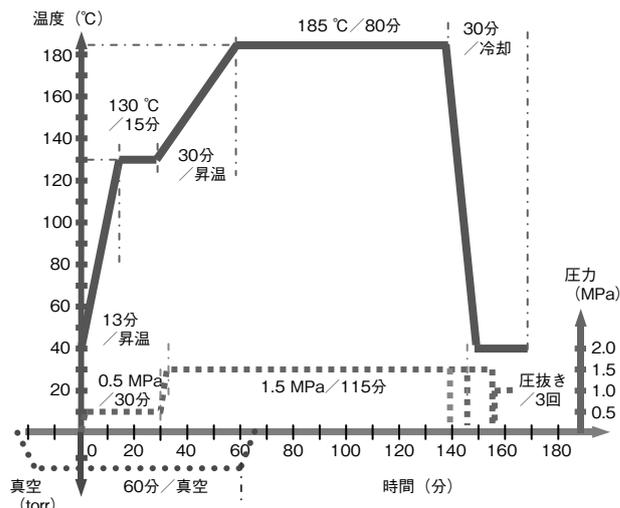


図6 積層プレス成形条件

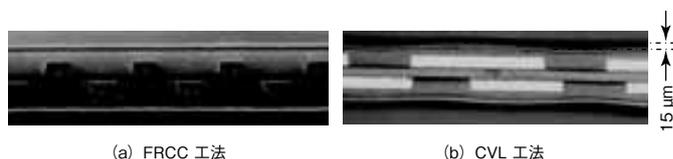


図7 積層プレス後の平滑性

4.2 レーザ穴あけビアホール

積層プレス成形した4層板に対し、コンフォーマルマスクでビアホール部の表面銅箔をエッチングした後に炭酸ガスレーザーを照射してFRCC樹脂の穴あけをする。穴底の樹脂残渣は過マンガン酸カリ溶液を使用したデスミア工法で除去する。特別な仕様の機器や処理条件を用いなくても、良好なビアホール形状を得ることができた (図8)。



図8 レーザ穴あけビアホール

層間導通のためのビアホール銅めっきにおいても、一般のパネルめっき工法の条件で実施し、良好なめっき形状および電気導通抵抗を得ることができた (図9)。

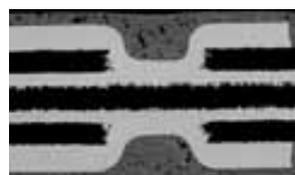


図9 ビアホール銅めっき

4.3 薄型化4層FPC

表層回路エッチング、最後にソルダレジストを施して4層FPCを完成した(図10)。

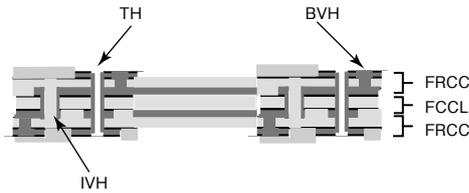


図10 4層FPC基板

この4層FPCの厚みは目標の0.3mm以下をクリアする0.25mmであった。

次に、絶縁信頼性について調べた結果を図11に示す。

85℃、85%RHの恒温槽内で50V負荷のもと、1000時間連続計測して良好な結果を得た。とくに高信頼性タイプ(2ply仕様)は非常に高い電気絶縁信頼性を示している。

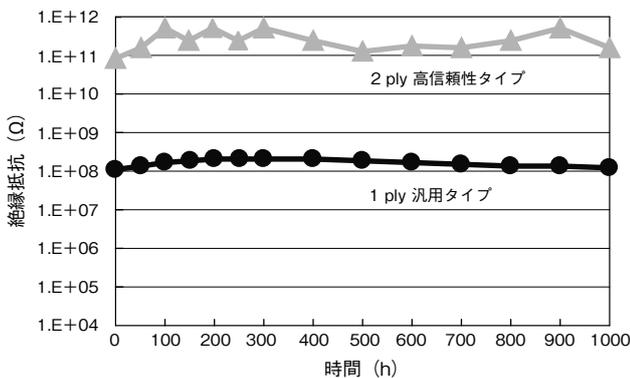


図11 THB電気絶縁信頼性

折曲げ耐性についても、MIT試験において内層回路パターン断線に至るまでのサイクル数100回以上の目標をクリアしている。

今回得られたFRCCおよび4層FPCの品質特性を表1に示す。今後、FRCCを用いる多層FPC基板はめっき工法や材料改善により、より一層の薄型化が可能である。

表1 FRCCおよび4層FPCの基板特性

4層FPC品質特性			ビルドアップ工法比較		
特性	評価項目	目標値	FRCC工法	2ply (PI/Ad)	3ply (Ad/PI/Ad)
ビルドアップ材料特性	樹脂構成	2ply以下	1ply (Ad)	2ply (PI/Ad)	3ply (Ad/PI/Ad)
	樹脂厚み	40μm以下	40μm	30μm	80μm
	レジソフロー	5~20%任意	Pass	Pass	NG
	ライフ	3ヶ月以上/5℃	Pass	Pass	Pass
安全環境特性	難燃性	94VTM-0	Pass	Pass	Pass
	ハロゲンフリー	ハロゲンフリー	Pass	Pass	Pass
ビルドアップ加工特性	プレス成形性	クッション材フリー	Pass	Pass	NG
	デスミア性	緩和条件適合	Pass	Pass	Pass
	レーザー加工性	φ100μm/Via	Pass	Pass	Pass
端子部基板特性	基板厚み	0.3mm以下	0.26mm	0.25mm	0.35mm
	ピール強度	0.6kN/m以上	Pass	Pass	Pass
	吸湿耐熱性	2回リフロー	Pass	Pass	Pass
	THB絶縁性	10 ⁷ Ω以上	Pass	Pass	Pass
	平滑性 (Rz)	10μm以下	Pass	Pass	NG
基板特性	MIT	100回	Pass	Pass	Pass
	はぜ折り断線	10回	Pass	Pass	Pass

5. あとがき

携帯電話等に用いられる多層FPCにおいて、エポキシ樹脂に高伸び低弾性率の変性ポリアミド樹脂をポリマアロイ化することにより、RCCをフレキシブル化して折曲げを可能とするとともに、従来のカバーレイ工法に比べて、4層FPCの厚み30%減、平滑性向上、ビルドアップ工程数半減を実現した。また、エポキシ樹脂およびその硬化剤の骨格に燐変性を施すことにより、ハロゲンフリーで難燃化を実現した。

この技術はFRCCだけでなく、ボンディングシートやプリプレグにも応用展開が期待される。

*参考文献

- 1) 日経BP社：日経エレクトロニクス，2007年12月31日号，p.99-107（2007）
- 2) プリント配線板用エポキシ樹脂組成物，PCT，JP2009，059692

◆執筆者紹介



江崎 義昭
電子材料 R & D センター



小関 高好
電子材料 R & D センター



石川 陽介
電子材料 R & D センター



伊藤 克彦
基板材料事業部



福住 浩之
基板材料事業部