

透明性とリフロー耐熱性を両立したフレキシブル基板

丸山 孝志

電子機器の軽量化・コンパクト化が進むなか、機器内配線の重量やスペース制限への対策として、薄くて軽く柔軟性を備えた配線材料であるフレキシブル基板（以下、FPC）は、携帯端末、パソコン、カメラなどの内部配線やロボット、マウンター、半導体製造装置など可動部の屈曲配線用として様々なアプリケーションに広く採用されている。従来のFPCは機器内部の人目に触れない箇所で使用されるケースがほとんどであったが、近年では機器のデザイン性や用途拡大にともない人目に触れる箇所で使用される要求が増えてきている。白や黒に着色されたものの利用増加に加え、フレキシブルディスプレイやタッチパネルなどのフレキシブルデバイス、LEDなどの半導体素子をリフロー実装した照明機器などに透明性を兼ね備えた配線材料が求められている。本稿ではフレキシブルデバイスはもとより、今後成長が見込まれるウェアラブル機器や医療機器などの様々な用途分野からの要求に対応し、透明性とリフロー耐熱性を両立させたFPC（以下、透明FPC）を開発したので紹介する。

透明FPCの課題

FPCの基材にはポリイミドフィルムが最も多く使用されている。ポリイミドは剛直で強固な分子構造を持ち、高分子中で最高レベルの高い熱的、機械的、化学的性質を備え、FPCの絶縁基材として最適な材料であるが、光透過率は60%程度でありフィルムの透明性に課題があった（写真1）。一方、光透過率が90%程度と高く、飲料用のボトルやフィルム、衣料用繊維などに広く用いられているポリエステルフィルムが使用されるケースもあるが、耐熱温度は120℃程度と低く、鉛フリー半田に対応する一般的なリフロー条件での本加熱温度260℃に対し、基材の反りや寸法変化が生じる問題があり（写真2）、半導体素子などの部品が実装されない単純な片面回路配線用途への適用に留まっている。

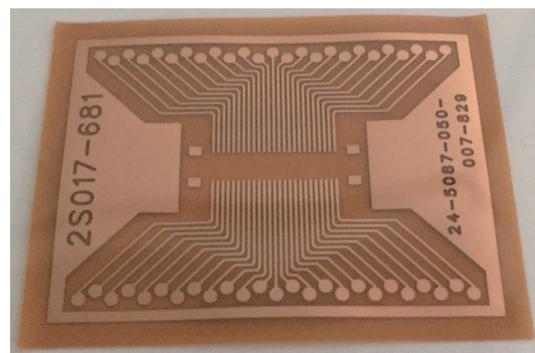


写真1 リフロー後のポリイミド基材 FPC
(回路以外がポリイミド基材で透明性が低い)

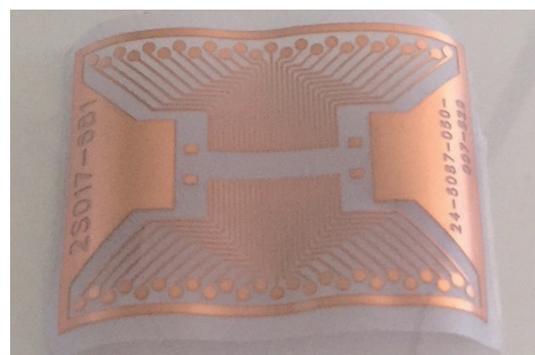


写真2 リフロー後のポリエステル基材 FPC
(熱により基材が変形する)

透明材料の開発

透明性と耐熱性を兼ね備えたFPCの実現にあたっては、従来同様に薄く柔軟性をもったフィルムと、回路を形成するための銅箔（はく）からなる銅張積層板の開発が必要となる。当社では、従来の色調とは異なる透明性をもったポリイミドフィルムを評価選定し、フィルム上に直接めっき処理することで銅箔を形成する方式を開発した。一般的な銅張積層板の製造方法は、フィルムと銅箔を接着剤で貼り合わせるが、接着剤を介することで透明性が劣ってしまう（図1）。銅箔をめっき法によりフィルムに直接形成することにより、フィルム素材自体の高い透明性を維持した（図2）。



図1 フィルムに接着剤で銅箔を貼った FPC 断面



図2 フィルムに直接銅箔を形成した FPC 断面

銅張積層板の開発にあたっては、FPCの表面処理をはじめ、特殊表面処理・先端めっき技術開発メーカーである株式会社 旭電化研究所(本社:立川市)及びDKN Research LLC(本社:米国マサチューセッツ州)との共同開発により実現した。

ポリイミドフィルム表面に独自の光学的、化学的処理を施す事により、フィルム上に銅箔を形成することを可能にした。フィルムと銅箔の接着強度はFPCの製造上や使用上問題ない特性を実現している。

透明FPCの特徴

今回採用したポリイミドフィルムは光透過率88%、耐熱温度は300℃であり、ポリエステルフィルム相当の高い透明性を持ちながら、リフロー時の熱ストレス下でも変形し難い特徴をもつ。写真3にリフロー温度260℃で処理したFPCを示す。従来のFPC同様に基材の反りや変形はなく、背景を十分透過することが分かる。

フィルム上に直接銅箔を形成することで従来のFPCと比較し、次の4つの特徴を合わせもっている。

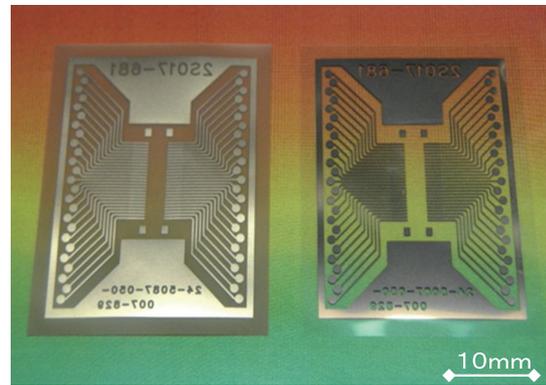


写真3 リフロー後の FPC の状態
左が従来の FPC、右が透明 FPC

(1) 薄型化

接着剤レス構造により従来比30%減の薄型化を実現した。FPCに求められる柔軟性がより向上した配線材料である。

(2) 信号伝送特性向上

平坦なフィルム上に直接銅箔を形成することで銅箔層も平坦となり、高周波信号の表皮効果による伝送損失を抑制する構造である(図3)。



図3 表皮効果による高速伝送損失の概略モデル

(3) 高密度配線

銅箔の薄膜形成が容易なため微細配線に有利な材料である。現在量産されている銅張積層板の銅箔厚は薄いもので9μm程度である。本材料は2μm程度の薄膜化も可能であり、特に両面回路配線仕様は、従来と同プロセスでも微細な回路形成が容易である(図4)。

(4) 接続作業性の向上

FPCは硬質基板に実装されたコネクタに接続される場合や、半田、異方性導電フィルム(以下、ACF)などを介して直接接続される。後者には接続先との位置合わせ工程が生じるが、フィルムが透明なことで接続位置精度の向上や、接続信頼性検査として行われるX線検査を要せずに検査が可能である。配線組み立て工程でも、周辺モジュールとの位置関係が容易に認識可能で、組立て作業性の向上にも寄与する(図5)。

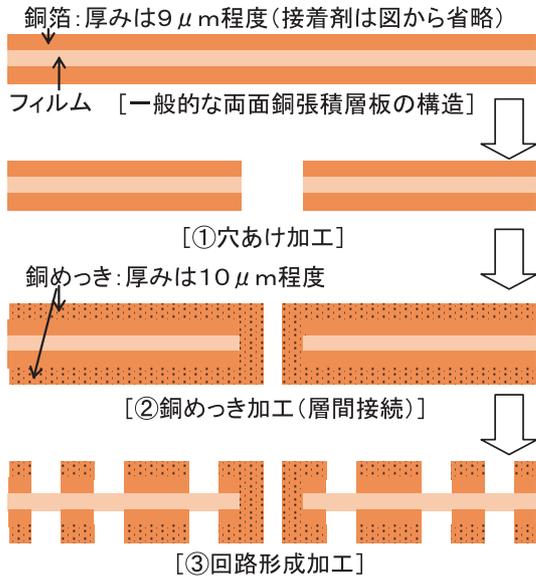


図4(a) 両面配線の回路形成フロー「従来材料」

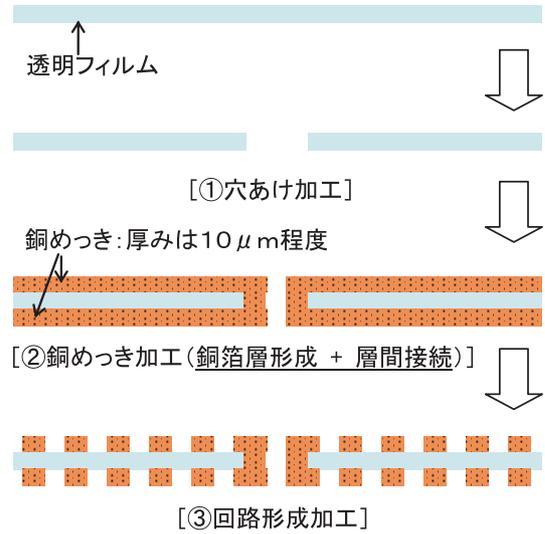
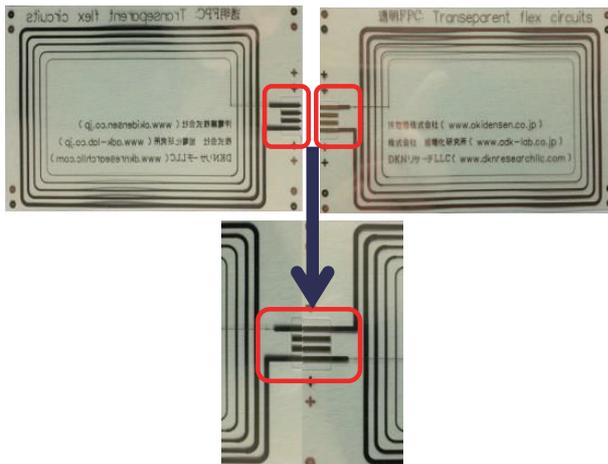


図4(b) 両面FPCの回路形成フロー「透明材料」

図4(a)は、従来の一般的な銅張積層板を用いた両面配線FPCの回路形成フローである。銅箔に層間接続に必要な銅めっきを施すため、全体の銅箔厚みが厚くなり微細回路形成の足かせとなる。

図4(b)は、透明フィルムをもちいた両面配線FPCの回路形成フロー例である。回路となる銅箔と層間接続が同時にめっきにより形成できるため、図4(a)のプロセスと比較して、銅箔厚を50%程度に薄くできる。当社での一般的な銅張積層板を用いた最小回路幅は40 μmであったが、透明フィルム材料を用いたプロセスでは回路幅30 μmを実現できた。

図5は、接続用端子を持った透明FPCを重ね、リフローにより半田接続した例である。フィルムが透明であるため回路が鮮明に認識でき、位置合わせ精度や接続状態の確認が容易となる。半田接続に限らずACFなどを使用したガラス基板や硬質基板との接続にも同様の効果が得られる。



上段 接続端子(四角枠内)を持った透明FPC
下段 端子部を重ね半田接続した状態(端子部拡大)
図5 透明FPCの半田接続例

透明FPCの性能

表1は透明FPCの仕様である。本製品の最大の特徴である光透過率は最大で88%を実現した。比較として、自動車フロントガラスの光透過率は車検の基準で70%以上と定められており、一般的なフロントガラスで75%~80%程度で設計されている。また、家庭用の窓ガラスの光透過率は90%程度であり、今回開発した透明FPCの光透過性は、これらに類する特性を満足できた。写真4は透明FPCにLED素子をリフローし、透過背景を交えたものである。ガラスレベルの透明性を実現しているのが確認できる。

表1 透明FPCの製品仕様

項目	単位	仕様
配線層数	層	1~2
銅箔厚み	μm	2~18
フィルム厚み	μm	25
光透過率(全光線)	%	>85
はんだ耐熱性	-	260°C×5 sec.
銅箔接着強度	N/m	>490
ガラス転移温度	°C	300



写真4 透明FPCにLED素子を実装した状態

表2 耐環境性試験結果

項目	単位	条件 ¹⁾	試験時間			
			初期	250h.	500h.	1000h.
光透過率	%	85°Cdry	88.0	87.9	87.9	87.7
		85°C85%RH	87.8	87.9	87.8	87.9
ヘイズ	%	85°Cdry	7.1	7.0	7.1	7.1
		85°C85%RH	7.1	7.1	6.9	7.2
色相 b*	-	85°Cdry	7.1	8.1	8.1	8.1
		85°C85%RH	7.1	7.7	7.6	7.8
マイグレーション	Ω	85°C85%RH	2×10 ¹¹	1×10 ¹¹	1×10 ¹¹	1×10 ¹¹

表2は耐環境特性の試験結果である。フィルムの透明性に関する指標で、光の拡散する割合を表すヘイズや、物体の色を表すb*（ビースター：黄色がプラス方向の数値、青色はマイナス方向の数値を表し、数値が大きくなるにしたがい色が鮮明になる）にも大きな劣化は認められない。また、長期絶縁信頼性評価である高温高湿環境下でのマイグレーション試験（条件DC100V印加、回路間隔50μm）も十分な絶縁性能が確保されている。

以上の透明性及び絶縁性の耐環境試験結果から、今回開発した透明FPCは、従来の機器内配線に限定されず、機器外部での配線材料としても採用されるに十分な性能をもっていると判断する。

今後の展開

FPCは屈曲性をもった薄く柔軟なフィルム基材をベースとして構成される。近年、高周波信号に対応したフィルムや強誘電性を持つなどの高機能フィルムが次々と開発されており、本稿での透明ポリイミドフィルムに留まらず、今後もアプリケーションに応じたFPCの開発に取り組んでいく。◆◆

参考文献

1) JIS規格：C5016 pp. 1100-1114

筆者紹介

丸山孝志：Takashi Maruyama. 沖電線株式会社 FPC事業部

TiPo 【基本用語解説】

リフロー（英：reflow）

プリント基板に半田ペーストを印刷し、その上に部品を載せてから熱を加えて半田を溶かす方法。

表皮効果（英：skin effect）

電流が導体を流れるとき、電流密度が導体の表面で高く、表面から離れると低くなる現象。周波数が高くなるほど電流が導体表面に集中する。

異方性導電フィルム（ACF）

（英：Anisotropic Conductive Film）

熱硬化樹脂に微細な金属粒子を混ぜ合わせたフィルム。液晶ディスプレイのガラス基板やプリント基板にFPCを接続する際に使用される。

マイグレーション（英：migration）

湿度が多い環境条件にプリント基板を設置した状態で電圧印加した場合、回路間をイオン化した金属が移動し短絡が生じる現象。