2層フレキシブルプリント配線板の特性と応用

奥川 良隆*, 山森 義之*, 鈴木 春雄*, 中尾 俊夫*

An Adhesiveless Laminate as a Circuitry Material.

Yoshitaka OKUGAWA *, Yoshiyuki YAMAMORI *,
Haruo SUZUKI * and Toshio NAKAO *

*住友ベークライト株式会社基礎研究所 (〒245 神奈川県横浜市戸塚区秋葉町495)

* Fundamental Research Laboratory, Sumitomo Bakelite Co., Ltd. (495 Akiba-cho, Totsuka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 245)

概要 近年の電子機器の小型軽量化に伴う高密度実装に対応し得る、接着剤層のない2層構造のフレキシブルプリント配線板(FPC)を開発した。このFPCは、特殊な分子構造をもつポリイミドワニスを銅箔上に直接塗布し、乾燥硬化させたものである。このようにして得られた2層FPCは、接着剤層がないため、耐熱性が優れ、長時間の熱処理でも引きはがし強度が変化しなかった。また、各種の処理における電気特性の劣化も少なく、さらに誘電率や誘電正接の周波数および温度の依存性も少なかった。このような性能をもつ2層FPCは、3層品の代替のみならず、微細線回路や高周波回路に使用が可能であり、また、ガラス転移温度の低い接着剤層がないため、ワイヤボンディングも容易である。さらに、高耐熱性のカバーコートとの組み合わせも可能となり、幅広い用途への対応が期待される。

1. まえがき

近年のエレクトロニクスの進歩に伴い、電子機器の高密度実装化は急激に進んでおり、特にフレキシブルプリント配線板(FPC)は、軽量化、小型化、薄形化と高性能化を実現するために必要不可欠な配線材料となってきた。また、FPCでは、Roll to Rollの生産方式が採用できるため、はんだ接続部の減少や、配線作業の短縮が図れることから、生産工程の合理化も期待できる。

筆者らは、特殊な分子構造をもつポリイミドワニスを銅箔上に直接塗布し、乾燥硬化させることによって接着剤層のない2層FPCを開発した。この2層FPCは、優れた耐熱性と安定した電気特性をもつことがわかったので、これらの特性と2層FPCの応用について報告する。

2. 2層フレキシブルプリント配線板の特徴

2.1 製造方法

従来のFPCは、ベースフィルム(ポリエステル、

ポリイミドなど)に銅箔を、エポキシ系やアクリル系の接着剤を用いて接着した3層構造になっている。特に耐熱性の要求されるものについては、ベースフィルムとしてポリイミドフィルムを用いることが多いが、ポリイミドを用いた場合でも銅箔との間に接着剤層が存在するため、短時間の熱処理には耐えても、長時間の処理では接着剤が劣化し、性能が大幅に低下してしまうという問題を有している。そこで各メーカーとも接着剤の開発にしのぎを削っているのが現状であるが、ポリイミドに匹敵する耐熱性を有するものは開発されていない。

2層FPCは、上述のような従来型のFPCとは作製方法も構造もまったく異なるものである。2層FPCの作製方法としては、主に、蒸着法とキャスト法の

銅箔 (35)	銅箔 (35)
エポキシ系接着剤 (25)	ポリイミド (25)
ポリイミド (25)	

(a) 3層構造

(b) 2層構造

各層()内の数値は、実験に用いたサンプルの厚さ(μm)

図1. フレキシブルプリント配線板の層構成

図2. 残留応力の発生機構

2種類の方法が行われている。我々は、ポリイミドワニスを塗布するキャスト法によって作製した。すなわち、銅箔上に直接特殊なポリイミド前駆体ワニスを塗布装置により塗布し、段階的加熱工程により乾燥、硬化を行うというものである。

このとき、一般的なポリイミド樹脂を使用した場合にはさまざまな問題点が生ずる。すなわち、加熱硬化時のイミド環の閉環反応による収縮や、銅箔とポリイミド樹脂の線膨張係数の違いによる界面での応力の発生によって、製品がカールしたり、エッチングにより回路作製を行った場合、シワが発生したりする。さらに回路の寸法変化が大きいといった問題も生ずる。

線膨張係数の違いによる応力の発生については、ポリイミド樹脂の分子構造に工夫を加え、線膨張係数を銅のそれと同一レベルにすることで解決した。また、閉環反応による収縮に対しては、硬化収縮の少ないポリイミドにする分子設計だけではなく、剛直成分と可とう性成分との共重合とするポリマーデザインと、その最適加熱プログラムの選択によって解決した^{1),2)}。

2.2 一般特性

2層FPCの特長は次のようなものである。

- 1) 耐熱性に優れ、難燃性である。
- 2) 誘電率、誘電正接が小さく、周波数依存性、温度依存性が少なく、各種の処理を施しても安定である。
- 3) 表面、体積抵抗値が大きく、各種処理に対しても安定である。
- 4) イオン性不純物が少なく、高信頼性である。
- 5) 寸法変化率が小さい。
- 6) ワイヤボンディングが容易である。

表1に、吸水率、イオン性不純物、樹脂の熱分解

表1. FPCの特性

	2層	3層*	測定方法
吸水率(%)	1.6	3.4	JIS-K-6911
イオン性不純物(μm)	Na ⁺	<1	熱水抽出
	Cl ⁻	<5	
	Fe ²⁺	<0.5	
熱分解開始温度(°C)	480	340	熱天秤
熱分解温度(°C)	560	380	

* 3層品はTFC-1320(ポリイミド25μm/接着剤25μm/銅箔35μm—住友バークライト社製)を用いた。

図3. 引きはがし強度の熱処理経時変化

温度を示した。3層品としてTFC1320（ポリイミド25μm/接着剤25μm/銅箔35μm—住友バークライト社製）を比較に用いた。2層FPCでは接着剤に由来するイオン性不純物の含有率が3層品に比べて低く、微細線回路での信頼性が高い。また、2層FPCは耐熱性の劣る接着剤層を有しないため、熱分解開始温度および熱分解温度とも3層品に比べ著しく高く、耐熱性に優れている。実際に両者のFPCに熱処理（200°C、100 hr）を行うと、3層品では接着剤層が炭化、黒変するが、2層FPCではまったく変化が見られず、性能の劣化もなかった。

2.3 引きはがし強度

図3に引きはがし強度の150°C熱処理経時変化を示した。3層品では、上述のように接着剤層が熱劣化するために、引きはがし強度は処理時間とともに急激に低下してしまい、約500時間で完全に銅箔がはがれ落ちてしまうが、一方、2層FPCは1000時間の処理でも引きはがし強度はまったく低下しなかった。

図4に加熱時の引きはがし強度を示した。3層品は、常温での引きはがし強度は2層品に比べて大き

図4．加熱時引きはがし強度

図5．表面抵抗のC処理による経時変化

図6．体積抵抗率のC処理による経時変化

図7．誘電率のD処理による経時変化

図8．誘電正接のD処理による経時変化

いが、150°C加熱時には上述のように接着剤層が劣化するために、著しく低下してしまう。2層品では、200°Cの加熱時でも0.6kg/cmの引きはがし強度を保っていた。

2.4 電気特性

図5、6にJIS-C-6481に基づくC処理(40°C, 90%)を行ったときの表面、体積抵抗率の経時変化を示した。また、図7、8にD処理(50°C)を行ったときの誘電率、誘電正接の経時変化を示した。これらの処理に対しても、2層FPCは3層品に比べて各電気特性が安定していることがわかる。

図9、10に誘電率および誘電正接の周波数依存性を、また、図11、12に温度依存性を示した。3層品は周波数によって誘電率や誘電正接が大きく変化しているが、2層FPCでは広い周波数範囲にわたって

図9. 誘電率の周波数依存性(25°C)

図11. 誘電率の温度依存性(1 MHz)

図10. 誘電正接の周波数依存性(25°C)

図12. 誘電正接の温度依存性(1 MHz)

一定している。さらに、2層FPCでは0°Cから200°Cの広い温度範囲で誘電正接が低く、また、誘電率も安定している。

3. 2層FPCの応用

以上のような特長をもつ2層FPCは、従来のFPCの代替のみならず、各種の耐性や信頼性の点でFPCの使用が困難であった分野への応用が考えられる。

3.1 微細線回路

近年、表面実装が進み、回路の細線化が進んでいる。2層FPCは、高純度、低吸湿という特徴から、微細線回路での信頼性も高いが、そのほかにも、従来型FPCに比べて導体回路の許容電流値を大きくすることができるという特徴がある。これは、許容電流値は、電流を流したときの温度上昇値に基づいて決定されるが、従来型FPCは、接着剤層の耐熱性が低いために、一般に温度上昇値は10°C前後に抑えて回路設計がなされていたのに対し、2層FPCでは、その優れた耐熱性ゆえに、温度上昇値をより大きく

とることができるためである。さらにこのことは、逆に、同一許容電流値で考える場合には、より一層の微細線化が可能であることを意味している。例えば、導体厚みが35μmで電流値を3Aとして考えると、温度上昇10°Cでは導体幅は2mmとなるが、温度上昇を20°Cとして設計すれば、導体幅は1.0mmまで細線化可能となる³⁾。

3.2 ワイヤボンディング

半導体素子をFPC上に表面実装し、直接ワイヤボンディングするCOF技術が、高密度実装化、薄形化手段として注目されているが、従来型のFPCでは、接着剤層のガラス転移温度(Tg)が低いため、ボンディング時に基板を加熱すると軟化してしまい、通常のネールヘッドボンディングではワイヤボンディングが困難であった⁴⁾。2層FPCでは、ポリイミドはTgが300°C以上と高く、また接着剤層もないため、通常のボンディング条件でも十分な接合を得ることができる。図13に実際に2層FPC上でワイヤボンディングを行い、ワイヤの引っ張りテストを行った結果

図13. ワイヤボンディング引っ張り試験

を示した。すべてのワイヤがB, Cモードで切れ、A, Eモードはなかった。また、接合強度も5 g以上であった。

3.3 高周波回路

デジタル回路などパルス信号を扱う回路では、そのフーリエ成分には数100 MHz 帯の成分が含まれる。このような場合に、従来型のFPCでは誘電特性が周波数によって大きく異なるために、高周波成分が減衰し、結果的に元のパルス信号が正確に伝達できなくなる。2層FPCは、前述のように誘電特性が広い周波数範囲、温度範囲で安定であるため、このような高周波回路への応用も可能である。

また、近年、衛星放送の普及などでマイクロ波領域での信号伝送用素材への要求が高まってきた。表2に各種素材の12 GHzにおける信号伝送ロスを示した^{5),6)}。信号伝送ロスは、通常のAl/PETの場合、2から3 dB/mであるが、2層FPCでは、1.0から1.2 dB/mと、ウェーブガイドタイプに次いで優れた値となっている。これは、2層FPCは、本来接着剤層がなく、樹脂層が3層品に比べて薄く、樹脂層の誘電特性の影響が少ないが、さらに作製方法を工夫することによって樹脂層を7～8 μmまで薄くしたことにより達成したものである。

3.4 高耐熱性カバーコート

従来のFPCでは、接着剤層の耐熱性が劣るために、

表2. 高周波信号伝送ロス(12GHz)

フィードライン	素 材	ロス(dB/m)
サスペンディッドライン ⁵⁾	2層品 Al/PET	1.0～1.2 2～3
トリプレートライン ⁶⁾	テフロン/ガラス	5.6
	ポリオレフィン	2.7
	架橋ポリスチレン	3.3
	ガラス-ポリスチレン	4.8
マイクロストリップライン ⁶⁾	テフロン/ガラス	4～6
ウェーブガイド	OFHC COPPER WR75	0.2

インクカバーコートとして高温硬化形のポリイミドのような耐熱樹脂を用いることができなかった。2層FPCでは接着剤層がなく、しかもベースフィルムの耐熱性も非常に優れているため、インクカバーコートにも様々なタイプの樹脂の中から用途に適したものを選ぶことができ、例えばポリイミド系のものを選んだ場合には、ベースフィルム、カバーコートともにポリイミドで、しかも接着剤層が間に存在しないため、300℃以上の高耐熱性を実現でき、また、導体上下層のバランスも良いため、耐折性にも優れたプリント配線板を作ることができる。

4. ま と め

2層FPCは、接着剤層がないために非常に優れた耐熱性をもち、また、誘電特性などの電気的特性にも優れている。これらの特性を生かし、表面実装や細線回路への応用や、高周波回路での使用が期待される。

(1990. 3. 8 - 受理)

文 献

- 1) 朝隅, 都甲: “特殊耐熱フレキシブルプリント配線板”, 電子材料, 10月, p. 70, 1987
- 2) T. Nakao: 1989 JAPAN IEMT symp. proc., p.134, 1989
- 3) 増山, 本田: “サーフェイスマウントテクノロジー”, 工業調査会, 1986
- 4) 御所, 小川: “チップオンボード”, サーキットテクノロジー, Vol. 5, No. 3, 1990
- 5) 田中, 徳田, 柴草: 平1信学秋全大C-382
- 6) H. Tanaka, F. Okada: IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. IM-38, pp. 509, 1989