一括積層FPC

中尾 知*

Multi-Layer Flexible Printed Circuit with Co-Lamination Process

Osamu NAKAO*

*株式会社フジクラ電子デバイス研究所 (〒285-8550 千葉県佐倉市六崎1440)

*Electron Device Laboratory, Fujikura Ltd. (1440 Mutsusaki, Sakura-shi, Chiba 285-8550)

1. はじめに

プリント配線板への部品実装のトレンドは、スルーホール付き配線板にピンを差し込む挿入タイプから、近年では表面実装が主流となっている。さらに多層プリント配線板を用いることによって部品の占有面積を実装プリント配線板の面積に限りなく接近させてきた。近年の多層板の製造技術において、一括積層法は、ビルドアップ法とともに高密度化を牽引する工法のひとつとして期待が高まっている^{1),2)}。フレキシブルプリント配線板（以下、FPC）はもとも機器へのアセンブルの自由度やケーブルとの一体化など可とう性の利用に加え、厚さ方向での高密度化に有利な配線材料である。多層板においてもトータルの厚さを最小限にできる材料として注目されている。FPC用のフィルム材料を用いた一括積層法は、セラミック多層板そして有機リジッド多層板に続いて2000年頃から発表されており、絶縁材料や導電性ペースト材料など一括積層に適合した材料やプロセスの開発がなされてきている。

本稿では、はじめに一括積層法の特徴と利点および課題をあげ、次にこれまでに報告されている一括積層FPCの作製方法を比較しながら詳細に紹介する。最後に一括積層技術についてのまとめと今後の方向について述べる。

2. 一括積層法の特徴

2.1 一括積層法とは

一括積層法は、おのこの層における回路と隣接層間を接続するビア部をあらかじめ形成しておき、すべての回路層を一括で積層プレスして接着すると同時にビアにより層間を接続する多層プリント配線板の作製方法である。一括積層法に対して、絶縁層および導体層の積層と回路形成を交互に行いながら多層化する方法を逐次積層法またはビルドアップ法と称することもある。

2.2 一括積層法の利点

スルーホールは多層板に広く適用されている技術であるが、微細化と配線の自由度の面で制約があり、高密度配線が要求される配線板にはIVH (Interstitial Via Hole) 多層板が採用されている。一括積層板は、層ごとにビアを形成するので全層IVH構造となり高密度化を達成できる。

多層板の層数の増加に伴い、逐次積層法では層数に比例して工程が長くなる問題がある。一括積層法では、すべての配線層の加工を並行して行えると同時に、配線の層数に関係なく真空プレスが1度で済むため加工期間の短縮が可能である。この利点は配線層数が4層を超えて層数が増えるほど大きくなる（図1）。

図1. 多層板の加工工程の比較

配線層の積層と回路形成を交互に繰り返す多層板の製造においては、各配線層を加工するごとにその不良率が累積されるため、歩留まりの低下を招きやすい。一括積層法の工程では、積層プレス前に各層のスクリーニングを実施することにより工程不良の累積を回避し、歩留まりを向上できる可能性がある。この改善についても層数が増大するほど顕著になる。

工程の短縮により仕掛かり品は削減されるが、一方で配線層に相当する多種の基材の保管・管理が必要となる。

その他の特長として、一括積層板はコアを中心に表裏対称となるよう積層していく必要がないため、層構成の自由度の高い設計が可能な点があげられる。また、キュアやプレスなど材料に与える熱・機械的な加工履歴が多層板全体にわたって同一となるため、材料特性を制御しやすいことに加え、特性の均質化ができる。例えば、逐次積層のとき、内層の樹脂に対して繰り返し加えられる熱処理などによる材料の変化（劣化）などを回避できる。

2.3 一括積層法の課題

一括積層では、接合するすべての層において同時に接着剤をフローさせるため、回路の平坦性と接着層厚の均一性、特に内層回路の平坦性を維持することが難しく、注意深いプレス条件の制御が必要である。このような平坦性の問題は、回路のデザインにも依存するが、層数が増加するほど難易度も上昇する。

一括積層板の配線密度は各層のアライメント精度に依存する。アライメント精度には各層の基材の伸縮に伴う基準マークのシフト、アライメント工程での機械的な合わせ精度、プレス工程における接着剤のフローと材料の熱膨張・収縮に起因する変形などが影響を及ぼす。単位層の層厚が減少するほど寸法精度を維持することが難しくなるため、この課題は薄形化を制約する要因にもなる。

逐次積層法では、積層後に下地となる回路を基準にパターンを露光して回路を形成するため、積層時のずれを考慮する必要がない。また、表層回路形成の際、加工に伴う下地基材の伸縮を表層回路のマスク寸法にフィードバックして補正することにより、アライメント誤差をさらに縮小することができる。

一括積層板では、まず積層前における基材の加工に伴う伸縮を把握し、材料とプロセスを管理することによってばらつきを制御することが必要である。同時に、単位層間の位置合わせ精度を向上させるとともに、プレス方法の適正化によって接着時の伸縮および層間のずれを最小限に抑えることが重要となる。

3. 一括積層板の材料

セラミック基板では絶縁層、面内の回路および層間接続導体など基板の構成材料としてグリーンシートや金属粉などを含んだペーストを用い、各々の回路形成を行った後、

全層を積層してすべての材料を同時に焼成することによって一体化するため、構成材料の焼結温度や収縮率などの特性を合致させる必要がある。有機材料を用いる配線板でも同様のことが言え、さまざまな接着剤や導電性ペースト、低融点合金などが開発され、一括積層技術に適用されている。

リジッド一括積層板では接着剤を介してガラスエポキシ基板を接合する方法と絶縁層にプリプレグを用いる方法とがある。層間接続は金属または導電性ペーストを充てんしたビアによって行われる。

フレキシブル一括積層板については後で詳細に紹介するので、ここではその種類のみを列挙するにとどめる。まず、絶縁層材料には、熱可塑性樹脂を用いる場合と基材および接着剤の2層材料から構成する場合とがある。前者の材料としては、結晶性高分子と非晶性高分子の混合材料や液晶ポリマーなどがある。後者の基材としてポリイミドを、接着層には熱可塑性ポリイミドや熱硬化性樹脂を用いる。

層間導通には、金属のみから構成されるペーストまたは金属と樹脂成分からなるペーストが採用されている。金属のみのペーストとしては、SnやSn系合金にAgやCuを混合した材料が用いられる。低融点金属のSnは、積層プレス過程で溶融してフィラー同士はもとより銅箔とも拡散接合するため、信頼性の高い接続が可能とされている。拡散によって生成した金属は高融点で、後のリフロープロセスでは溶融しない。一方、樹脂を含むものには銀や銅フィラーにエポキシ樹脂など熱硬化性樹脂を混合した材料と、前記低融点金属を含むフィラーに樹脂を混合した材料とがある。

4. 一括積層板の製造方法

4.1 一括積層による工法の種類

一括積層板は片面板を積層単位とするものと、両面板を単位とするものに区別できる。片面板の場合、絶縁層を熱可塑性樹脂として、積層・加熱することにより絶縁層全体を軟化させて接合する方法と、ポリイミドのような耐熱フィルムからなる片面FPCを接着剤によって貼り合わせる方法がある。両面板の場合は、ポリイミドフィルムなどを基材とする両面板同士を接着剤によって接合する。それぞれの詳細な構造と工法の特徴をこれまでに報告されている開発例をあげて説明する。

4.2 片面板を単位とし絶縁層に熱可塑性樹脂を用いる方法^{3),4)}

図2に示すように、片面銅張積層板(CCL)を出発材料とする。CCLの絶縁基材にはPEEK (Poly Ether Ether Keton)とPEI (Poly Ether Imide)の混合材料を用いている。結晶性高分子と非晶性高分子である両者の適当な混合比を選択することにより、ガラス転位温度(Tg)を143~216°Cの間に変化させ、低温プロセスで多層板を作製したり、高温はんだ

図2. 熱可塑性樹脂の片面板を単位とする一括積層板の加工工程

耐熱性を付与することができるとしている。上記以外の熱可塑性樹脂材料として液晶ポリマー、熱可塑性ポリイミド、PPS (Poly Phenylene Sulfide) が有力候補とされている。これらの材料は200~300℃で軟化して、接着性を示す。また、高温で再加熱することにより樹脂成分のみを抽出しやすいため、リサイクル方法についても検討されている。

片面CCLの銅箔をエッチングして回路を形成した後、回路と反対面の樹脂側にレーザ加工によってビアホールを開口する。この穴に金属粉と溶剤のみからなるペーストを充てんする。金属粉として、低温で焼結して銅回路部とも拡散接合するような金属を用いていることが特徴である。焼結後の金属の融点は約800℃となり、はんだリフロー工程で溶融することはない。

本多層板の設計ルールはビア径100 μm 、ビアランド径300 μm 、最小ライン幅/間隔=75/75 μm 、層厚は8層において0.4~1.0mmとなっている。アプリケーションとして高多層プリント配線板(リジッド)、多層FPCやフレックスリジッドタイププリント配線板などを目標に開発が進められている。

4.3 片面板を単位とし絶縁層にポリイミドフィルムと接着剤を用いる方法^{5),6)}

基本的な加工工程は前述の熱可塑性樹脂を用いたタイプと同様である(図3)。ポリイミドを絶縁基材とする片面CCLをエッチングして回路を形成する。この片面FPCの回路と反対側の基材面に接着剤層を形成し、レーザ加工によって基材、接着剤層にビアホールを開口する。次に、ビアホールを開口した側からスクリーン印刷法などを用いて

図3. 絶縁フィルム/接着剤の片面板を単位とする一括積層板の加工工程

導電性ペーストを充てんする。このときビアホール底面となる銅ランドに小さな穴を設けておくことにより、大気中でもビアホールへのペースト充てんを確実にする。

単位プリント配線板が絶縁フィルムと接着剤の2層からなる場合、絶縁フィルムにはポリイミド以外にもPET (Poly Ethylene Terephthalate), PEN (Poly Ethylene Naphthalate), アラミドフィルムや低誘電率が注目されている液晶ポリマーなど広範囲な材料を選択できる。接着剤にはポリイミド系樹脂を用いている。導電性ペーストとしては金属フィラーと樹脂を混合したタイプの材料を採用しており、高温はんだに対するリフロー耐性も付与されている。

設計ルールはビア径/ビアランド径=100/300 μm 、ライン幅/間隔=50/50 μm 、1層あたりの層厚を50 μm としている。アプリケーションとして、部分多層FPCやパッケージ基板を目指して開発が行われている。

片面板を単位として表裏対称構造の多層板を作製する場合、内層においてビア同士を接続するか内層単位プリント配線板または表層単位プリント配線板の1層を両面配線にする必要がある。本構造の場合、片面板の裏面に微小ビアと微細回路を形成したものを、フリップチップタイプのパッケージ基板用として提案している(図4)。

4.4 両面板を単位とする方法^{7),8)}

スルーホール付き両面板を単位とする方法で、片面板を単位とする場合に比べ層数や配線の自由度にこそ多少の制約があるものの、多層化後の表面は必然的に導体層となること、トータルの厚さを薄くしやすいなどの利点を持つ。本報告の多層板は後述する層間接続の方法に特徴がある。

図4. 表面に微細回路を形成した例

図5. 両面板を単位とする一括積層板の加工工程

加工工程を図5に示す。まず積層単位となる両面板にスルーホールを含む回路形成を行ったのち、その片面に接着剤兼絶縁層となる樹脂層を形成する。樹脂層は未硬化状態の熱硬化性材料である。この樹脂層にレーザ加工によりビアホールを形成したのち、層間を接続するはんだペーストを充てんする。はんだペーストははんだ粉末と溶剤成分のみからなり、充てん後に乾燥させ溶剤を除去してから、積層する。圧着すると同時に昇温して、まず熱硬化性接着剤を硬化させたのち、はんだを溶融させて銅回路同士をつなぐ金属ビアを形成する。はんだにはSn-Ag-Cu系の鉛フリーはんだを用いているが、はんだとは別に銅などの金属粉末を混入しておき高融点の合金を生成させることにより、高温のリフローに対する耐性を付与させることも行われている。

設計ルールはビア径／ビアランド径＝150/350 μm 、ライン幅／間隔＝50/50 μm で、6層板の厚さは0.25mmと最も薄形化を達成している。本技術は、多層FPCとしての用途に加えて、メタルコアを絶縁層中に配した低膨張プリント配線板技術と組み合わせた低膨張多層プリント配線板にも適用されており⁹⁾、高信頼性のフリップチップ実装用多層ブ

図6. 両面に接着層を有するフィルムを基材とする一括積層板の加工工程

リント配線板としても検討されている。

4.5 その他の一括積層技術

パッケージ基板用途として、低熱膨張性フィルムに接着剤層を形成した絶縁シートを基材として、めっきで充てんしたビアによって銅回路を接続する方法が報告されている¹⁰⁾。図6に加工工程を示す。全芳香族アラミドフィルム両面にBステージ接着剤層を形成した積層シートにレーザ加工によって貫通ビアホールを開口する。片面に銅箔をラミネートしたのち、ビアホール内に底面の銅箔から電解めっき法で銅ポストを成長させてビアを充てんする。続いて銅ポストの表面にはんだをめっきする。銅箔をエッチングして回路を形成したものを単位として、接着剤をはさんで一括積層する。接着剤を硬化させると同時に、はんだを溶融させて層間を接続するものである。この方法ではビアを金属銅としているため、ペーストに比べ導電率を高くでき、特に高周波における伝送損失の低減に有利であると思われる。

一括積層法に適した回路形成法として、回路形成転写テープ上にエッチングによって作製した回路を、あらかじめ貫通孔に導電性材料を充てんした絶縁基材に転写して積層単位となる片面板を作製する方法が提案されている¹¹⁾。この転写法は、回路形成時に基材の寸法安定性を確保しやすいこと、サブトラクティブ法による回路形成の際、回路間隙のエッチング残さの影響が少ないこと、転写後の回路断面が逆台形になることなど微細配線形成に有利な方法とされている。

5. まとめと今後の方向

FPCの一括積層法はビルドアップ法と並んで、多層プリント配線板の高密度化と薄形化を推進する有望な工法である。一括積層法は1層1層加工を進めるビルドアップ法に比べ、工期・コストの面では有利であるが、層間接続を含む回路形成の精度では一步譲る。実際のアプリケーションでは、要求に応じて両方を使い分けることが現実的であると思われる。今後も回路の高精細度化は着実に進むと予想され、一括積層法によってその要求に応えるために、工法に適した材料の開発やプロセスの改良は不可欠である。また近年の開発例として報告されている多層板には、いずれもペーストを用いたビア形成技術が適用されており、これらのファイン化への対応も今後の課題である。

システム・イン・パッケージやモジュール用途としてICや受動部品を内蔵した多層プリント配線板が検討されている。個々の配線層をまったく別の材料やプロセスを用いて作製でき、1層ごとに検査・測定を実施できる一括積層法は、上述の配線板に対してもその特徴を十分発揮できるものと期待される。

(2004.5.6受理)

文 献

- 1) 長野県工科短大，長野県工科短大教育研究振興会：“最新の高性能多層基板技術”，長野県工科短大公開技術講演会資料，2002.7
- 2) 高木 清：“一括積層基板技術の種類と特徴”，電子材料，pp. 6-9, 2002.10
- 3) 花井嶺郎，小島史夫，近藤宏司：“μレポート [パッケー

ジ]”，NIKKEI MICRODEVICES, pp. 196-199, 2001.12

- 4) 近藤宏司，上村力也：“熱可塑性フィルムを用いる多層プリント基板とその材料リサイクルシステムの開発”，デンソーテクニカルレビュー，Vol. 7, No. 1, pp. 91-95, 2002
- 5) 伊藤彰二，岡本誠裕，樋口令史，中尾 知：“銅箔付きポリイミド基材からなる一括積層のIVH多層配線板”，第16回エレクトロニクス実装学術講演大会予稿集，18A-16, pp. 31-32, 2002.3
- 6) 中尾 知：“全層ポリイミドIVH一括積層FPC”，Electronic Journal 71th Technical Symposium 講演予稿集，2004.2
- 7) 中村 圭，馬場俊和，福岡孝博，谷川 聡：“新規はんだ接続技術を用いた一括積層型オールフレキシブル多層回路基板”，第16回エレクトロニクス実装学術講演大会予稿集，18C-13, pp. 91-92, 2002.3
- 8) 中村 圭：“新規はんだ接続技術を用いた一括積層型オールフレキシブル多層回路基板”，長野県工科短大公開技術講演会資料，pp. 83-94, 2002.7
- 9) 井上泰史，杉本正和，長沢 徳，寺田好夫，中村 圭：“低熱膨張性多層基板の開発”，NITTO TECHNICAL REPORT, Vol. 36, No. 1, pp. 20-23, 1998.5
- 10) 小山利徳，小林和貴，片桐規貴：“全層微細ピッチIVHを有するパッケージ”，長野県工科短大公開技術講演会資料，pp. 15-27, 2002.7
- 11) 大石基之：“What's New “SIPに朗報””，NIKKEI ELECTRONICS, pp. 26-27, 2002.3

中尾 知（なかお おさむ）

昭和33年生まれ。昭和58年，名古屋大学大学院工学研究科結晶材料工学専攻修士課程修了。現在，株式会社フジクラ電子デバイス研究所において，電子部材の開発，特に高密度実装プリント配線板の開発に従事。