

大規模論理回路の短期間試作用低コスト 多層プリント配線板開発システム

藤岡 与周*・苫米地 宣裕**

A Development System of Low-Cost Multi-Layer Printed Wiring Boards for Rapid Prototyping of Large Scale Logic Circuits

Yoshichika FUJIOKA and Nobuhiro TOMABECHI

Abstract

For rapid prototyping of large scale logic circuits such as special-purpose parallel processors for intelligent robot control, multi-layer printed wiring boards (PWBs) becomes required. In this paper, we propose a simple and low-cost prototyping method of the PWBs with four or more layers. Moreover, we constructed the development system of the multi-layer PWBs including CAD systems.

1. ま え が き

知能ロボットシステムを始めとする知能集積システムを構築するためには、膨大な計算量を要する種々の処理の演算遅れ時間を大幅に減少可能な専用プロセッサ群の開発が不可欠となる [1]-[3]。これらの専用プロセッサを開発するためには、ハードウェア化および高並列処理による演算遅れ時間の減少に有用なアルゴリズムの開発もまた重要となる。ASIC と呼ばれる特定用途向け集積回路を開発するためには、通常 CAD によるソフトウェアシミュレーションが繰り返されるが、膨大な量の演算を処理する大規模な専用並列プロセッサを開発するためには、数ヶ月単位やそれ以上の極めて多くのシミュレーション時間が必要となるため、従来の設計手法では開発が困難であった。

このように膨大なソフトウェアシミュレーション時間を短縮するため、FPGA や CPLD と呼ばれるオフラインで論理回路をプログラム可能な LSI と、配線切替用 LSI を複数個用いたハードウェアエミュレータが利用されている。しかし、ハードウェアエミュレータは極めて高価なものが多く、また汎用性が追求されているため、特定用途に適合した大規模集積回路用エミュレータの構築は必ずしも容易ではない。また、知能集積システム用の各専用プロセッサの開発に伴うハードウェア向きアルゴリズムの評価には、エミュレータやシミュレータに動画像データなどの大量のデータを入出力する必要があるが、このためのインターフェースなどは別に準備する必要がある。

本研究では、ある程度特定用途に適合させた構造の

ハードウェアエミュレータを、データ入出力インターフェースやテスト回路をも含んで容易に構築し、その上で FPGA や CPLD などの内部構造を変化させることにより、大規模専用プロセッサの開発を容易とすることを目的としている。このためのキーテクノロジーの一つとして、多層プリント配線板(多層 PWB)を低コストで試作可能な手法を提案するとともに、回路設計から多層 PWB 試作までの工程をシステム化している。

2. 多層 PWB のボイドレス接着法

2.1 多層 PWB の量産手法の問題点

多層 PWB を製造するためには、複数枚の片面あるいは両面基板(両面 PWB)を張り合わせる必要がある。また、電子部品の半田付けによる高温時でも多層 PWB の熱的変形が少ないことが要求されるため、基板材料にはガラス繊維をエポキシ樹脂で固めた複合材料が用いられる。このガラスエポキシ基板と、プリプレグと呼ばれるガラス繊維にエポキシ樹脂を含浸させて中間状態まで硬化させたシートを重ねたものを、精密温度制御機能を有するプレス機にて高温でプレスする量産手法が確立されている [4], [5]。

しかし、従来の方法で多層 PWB 内部の気泡を十分に除去して各層間を接着する、いわゆるボイドレス接着を行なうためには、 40 kg/cm^2 程度のプレス圧力と 170 度程度の精密な温度制御を必要とする。一例として 10 トンプレス機では $250 \text{ cm}^2 \approx 16 \text{ cm}$ 四方程度の面積の多層 PWB までしか製造することができない。通常は 100 トン程度の高価な精密温度制御機能付き高圧プレス機で 50 cm 四方程度の多層 PWB を製造する手法がとられており、大学の研究室などでは容易に利用することができなかった。また、多層 PWB 製造メーカーに基板試作を依

平成 10 年 12 月 21 日受理

* 八戸工業大学 電気工学科 講師

** 八戸工業大学 電気工学科 教授

頼する場合には、大型の量産工程の準備に伴うマスクフィルム代等の初期費用が高い。通常この問題は、量産による多層 PWB 一枚あたりの製造費用の低減で解決されるが、1 枚程度の試作ではこれらの費用がすべて 1 枚の多層 PWB 分の価格に反映されるため、試作結果に基づいて多層 PWB を何度も作り直すことは極めて多くの費用が必要となる。このため、大学などの研究室においては、多層 PWB の試作繰り返しによる大規模集積回路に関する実験的研究が困難であった。

本研究では、エポキシ樹脂の調合・真空脱泡・貼り合わせの工程と、ミーリング/ドリルマシンによる配線パターン形成法を組み合わせることにより、安価な多層 PWB を試作可能な手法を考案するとともに、回路設計から多層 PWB 試作までを通したシステム構成を提案している。本手法は、大学の研究室レベルでの多層 PWB 試作を低コストで容易に実現できるため、大規模専用プロセッサ開発用ハードウェアエミュレータなどを何度も試作し直して性能向上を図ることが可能であるという特長を有する。

提案する試作手法の中心である両面 PWB のボイドレス接着工程は、大別して ① エポキシ樹脂の調合、② エポキシ樹脂の真空脱泡、③ 両面 PWB の貼り合わせ、④ 加熱接着の 4 段階に分けられる。プリプレグシートを用いた量産法と比較すると作業行程が多少複雑であるが、量産方法と比較すると多層 PWB の総合的な製造工程数を減少できるとともに、いずれの工程も特別な装置を必要としないという特長を有する。

2.2 エポキシ樹脂の調合

多層 PWB に利用される、半田付け時の高温への耐熱性が要求されるエポキシ樹脂は、硬化前であれば常温で粘度の高い液体かあるいは固体であるため、そのままでは混合が困難である。このため、調合前のエポキシ樹脂や硬化剤を予め加熱し、粘度の低い液状とした後にエポキシ樹脂と硬化剤をステンレス製ビーカー内で調合し、攪拌する。エポキシ樹脂は加熱することにより粘度が低下するが、ある温度以上まで加熱すると、調合後のエポキシ樹脂は自己発熱を伴いながら急速に硬化してしまう。また、粘度を低下させる目的でアセトンやメチルエチルケトンなどの有機溶剤に溶かしたタイプのエポキシ樹脂を利用する場合には、有機溶剤の融点以下での混合が必要となる。そこで、加熱温度は慎重に選び、かつ高精度に制御する必要がある。

エポキシ樹脂の高精度な加熱を行なうため、簡易オーブンをを用いている。図 1 に示すように、オーブン内に設置した熱電対を温度制御器に入力するとともに、オーブンの電源を温度調節器出力に接続することにより、簡易オーブンが構成される。ここで、外付けの温度調節器は、後述する多層 PWB の加熱接着時にも要求される高い温

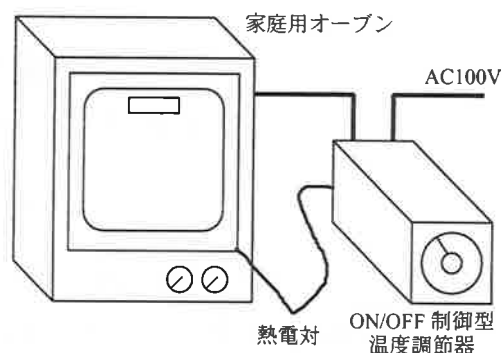


図1 簡易オーブンの構成

度制御特性を実現するために備えられている。

本来であれば、PID 制御型温度調節器がこのような高精度な温度制御に有用であるが、構築した簡易オーブンでは入手が容易であった ON/OFF 制御型温度調節器を利用している。家庭用オーブンには温度調節器とタイマーが通常備えられているが、附属の温度調節器は主にバイメタルで構成されており、制御特性があまり良くない。そこで、家庭用オーブンに附属の温度調節器については、外付け温度調節器の設定温度より高めの温度に設定しておくことにより、何らかの理由で外付けの温度調節器が異常動作を行なった場合の安全装置として利用することができる。

本来、エポキシ樹脂などの攪拌にはマグネチックスターラーなどの専用機材が用いられるが、多層 PWB の試作ではエポキシ樹脂は両面 PWB 同志を貼り合わせるための少量だけあればよいから、小型ビーカー内でガラス棒で攪拌するだけでも実用上十分に混合できると考えられる。また、調合されたエポキシ樹脂は硬化する段階で容積が増えるため、ガラスビーカー内で調合し放置すると割れる危険性がある。このため、エポキシ樹脂の調合はステンレスなどの金属製ビーカーを用いている。さらに、エポキシ樹脂の調合時には有機溶剤などが揮発するため、簡易的なドラフトを用意するなど、換気に十分注意する必要がある。

2.3 エポキシ樹脂の真空脱泡

多層 PWB の一例として、4 層 PWB は、図 2 に示すように、2 枚の両面 PWB で挟まれたガラスクロスに調合済のエポキシ樹脂を含浸させ、それらを位置ずれを起こさないように貼り合わせた後、加熱接着を行ない、スルーホール形成と外層配線パターンの形成を経て得られる。貼り合わされた 2 枚の PWB の間のガラスクロスの部分に気泡が存在する場合には、多層 PWB の各層間の接続を行うために必要となるスルーホールを形成する際に、本来必要となるスルーホールの穴の壁面に銅箔が形成されるのみならず、気泡の空間の壁面にも不必要な銅箔が形成される可能性がある。すなわち、本来絶縁され

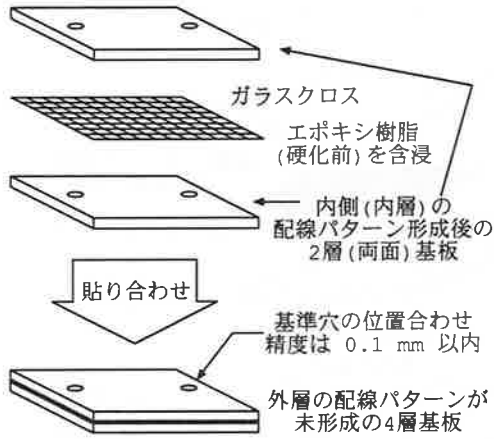


図2 両面PWBの貼り合わせ

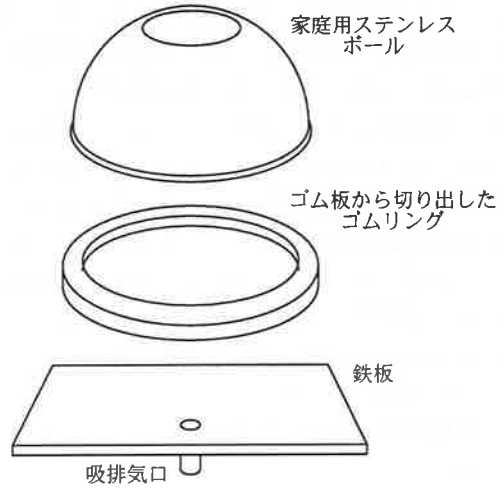


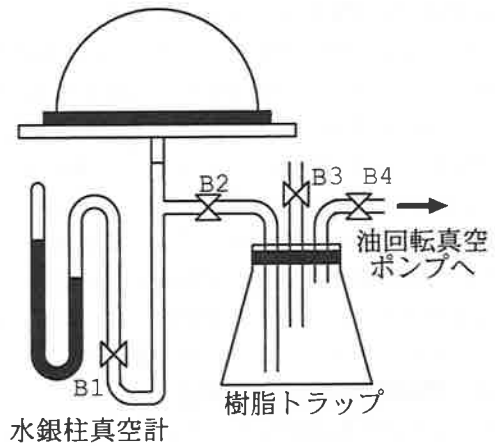
図3 簡易真空チャンバーの構成

るべき2本以上の内層配線パターンに渡って気泡が存在すれば、気泡の空間の壁面に形成された銅箔により、それらの配線パターンが電氣的に接続されるおそれがある。特に、大規模な論理回路を大型多層PWBにて試作する場合には、スルーホール個数も数百個程度となるため、これらすべてのスルーホール接続を欠陥なく実現するためには、このような気泡の発生をゼロにすることが要求される。このため、2枚の両面PWBを貼りあわせる段階に加えて、まずエポキシ樹脂の調合後にも真空脱泡を行うことにより、できるだけ気泡が生じないようにする必要がある。

エポキシ樹脂の真空脱泡には、中真空と呼ばれる程度の真空状態をつくり出す必要がある。そこで、図3に示すような簡易真空チャンバーを試作した。この簡易真空チャンバーは、エポキシ樹脂の真空脱泡に加えて、真空中での両面PWBの貼り合わせにも利用されるため、試作したい多層PWBの大きさより大きな真空空間が要求される。そこで、家庭用大型ステンレスボールが軽量で取り扱いが容易でありながら、その形状がドーム型であり内部を真空にしても容易にはつぶれにくいという点に着目し、大型真空ステンレスボールと厚手の鉄板を用いている。また、ステンレスボールと鉄板の間に、ステンレスボールの縁の直径に合わせて切り出したゴム製のリングを挟むことにより、鉄板に取り付けた吸引口より油回転真空ポンプで空気を吸い出すと、ステンレスボールと鉄板間にかかる大気圧でゴム製リングが締め付けられ、気密を保つことができる。簡易真空チャンバーを含む真空系の構成は図4のようになる。

通常、高真空を実現するためには専用のフランジとOリングおよび真空グリースによる気密保持が必要となるが、エポキシ樹脂の脱泡には中真空を実現すればよいので、このような簡易構造の真空チャンバーで十分な効果を得ることができる。なお、直径50 cmのステンレスボールと厚さ12 mmの鉄板および厚さ6 mmのゴム板を用いて試作した真空チャンバーでは約4 torrの真空

簡易真空チャンバー



⊗: 真空バルブ

B1: 水銀柱保護バルブ

B2: 真空保持バルブ

B3: 真空解除バルブ

B4: 真空ポンプ逆流防止バルブ

図4 真空系の構成

度を得ることができた。原理的には、ステンレスボールの直径を大きくし、大型のオープンを利用するだけで、一般に多層PWBメーカーなどで作られている50 cm×50 cm程度の大型多層PWBをも試作可能と考えられる。しかし、簡易試作チャンバーに利用している家庭用ステンレスボールの機械的強度が不明であるため、このシステムを利用するためには強度に関する評価を十分に行なうとともに、爆縮事故の危険を避けるため、利用時にもきずやへこみをつけないよう細心の注意が必要である。今回のシステム構成では、便宜的にステンレスボールを用いて真空チャンバーを実現したが、安全性という観点から考察すると、実用的にはより構造的に強い真空チャンバーの利用も検討する必要があると考えられる。

調合後のエポキシ樹脂の真空脱泡を効率良く行なうた

めには、自己発熱を伴う急激な硬化が起こらない程度の十分高い温度まで加熱し、エポキシ樹脂の粘度を十分低くする必要がある。このため、予め簡易オープンにて熱していた金属板などに、調合したエポキシ樹脂をいれたビーカーを接触させるなどして、真空中でもエポキシ樹脂の温度をある程度高温に保つ工夫をしている。ただし、本格的には温度調節機能付きのヒータをビーカーに取り付けるなどの必要があると考えられる。また、真空脱泡時にはエポキシ樹脂内に含まれる種々の有機物質が蒸発後簡易真空チャンバーの壁面に付着する。従って、予め真空チャンバー内部にテフロンコーティングなどをして、付着した有機物質を容易に洗浄できるような工夫もまた重要となる。

2.4 両面 PWB の貼り合わせ

2枚の両面 PWB を気泡を発生せずに貼り合わせるため、真空中での PWB 貼り合わせを実現している。ここで、2枚の両面 PWB の貼り合わせには 0.1 mm 程度の高い精度での基準穴の位置合わせが必要となる。また、貼り合わせに利用されない余分なエポキシ樹脂が完成後の多層 PWB の表面に付着しないようにする必要がある。さらに、2枚の両面 PWB を貼り合わせた後、エポキシ樹脂を硬化させるために簡易オープン中で加熱する必要があるが、この段階でも気泡が PWB に入り込まないようにする必要がある。このような条件下での貼り合わせを実現するため、次のような手法を考案した。

2.4.1 書籍開閉型位置合わせ法

2枚の両面 PWB の貼り合わせには、ガラスクロスの部分に気泡が含まれないようにするのみならず、図2に示すように 0.1 mm 以内という高い基準穴の位置合わせ精度が要求される。気泡を含まないように貼り合わせる手法の一つとして簡易真空チャンバー内部で貼り合わせる方法が考えられるが、この場合簡易真空チャンバー内部での高精度な位置合わせをも実現しなければならない。

そこで、図5に示すように、2枚の両面 PWB の間にガラスクロスを挟み、基準穴にガイドピンを通して高精度な位置合わせをした後に、一つの辺を選びそこにシリコン接着剤を塗布し、乾燥させる。シリコン接着剤を使用する理由は、貼り合わせ後に PWB 全体を 170°C 程度に加熱してエポキシ樹脂を硬化させる際に、この温度に耐えて位置ずれを起こさないようにするためと、乾燥後の両面 PWB の開閉に必要な柔軟性を有するためである。接着剤が乾燥した後は、図6に示すように、ちょうど本を開くような形態で2枚の両面 PWB 間に隙間を開けることができるとともに、本を閉じると各ページがそろうのと同様に精度よく2枚の両面 PWB を再び重ね合わせることが可能となる。本の背の部分に該当する糊付け面全体で両面 PWB 開閉時の動作を拘束できるため、この

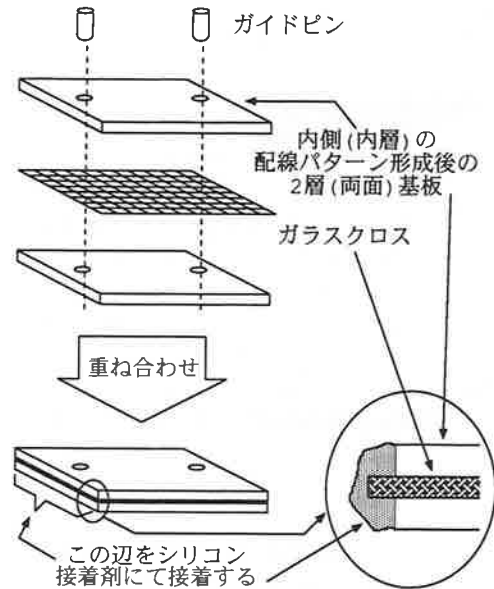


図5 書籍開閉型位置合わせ法

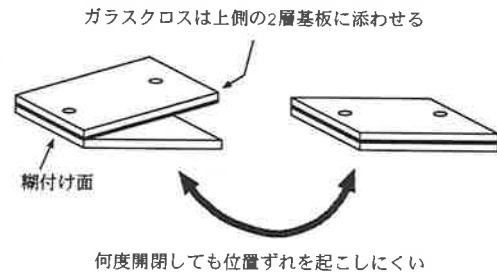


図6 両面 PWB の開閉

ように精度よく重ね合わせることが可能となる。

内層間の配線パターン同士の短絡を防ぐため、2枚の両面 PWB 間にガラスクロスを挟み、各層間の間隔を確保している。また、これによりエポキシ樹脂だけでは不足する機械的強度を補うことが可能となる。プリプレグを利用した多層 PWB 製造法では、大型 PWB を作成する場合の気泡を流し出すために十分な量の余分なエポキシ樹脂を確保する必要があり、複数枚のプリプレグを重ねる必要がある。これに対し、硬化前のエポキシ樹脂を流し込んで多層 PWB を作成する本手法では、真空脱泡により気泡の発生を十分少なくすることができるのみならず、ガラスクロスの枚数とは関係なく十分な量のエポキシ樹脂を両面 PWB 間に流し入れることができるため、標準的な 0.2 mm 厚の多層 PWB 製造用ガラスクロスを1枚のみ挟んでいる。

2.4.2 真空中での再脱泡と貼り合わせ

2枚の両面 PWB を気泡なく貼り合わせるため、紙製のトレーをアルミ箔にて包んだ容器と簡易真空チャンバーを用いて次のような工程にて貼り合わせを行う。

まず、図7に示すように、簡易真空チャンバーのステ

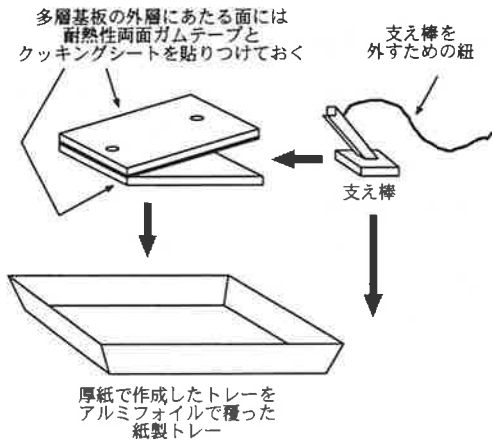


図7 紙製トレーと2枚の両面PWBの設置

ンレスボールをはずした状態で、シリコン接着剤にて一辺を接着した2枚の両面PWBのセットを紙製のトレーの中に入れて鉄板上に配置する。このとき、下側の両面PWBとガラスクロスと間にエポキシ樹脂を流し込むため、ガラスクロスと上側の両面PWBをいっしょにして支え棒で支えておく。この支え棒には、支え棒を真空中にてはずすために紐がつけられている。この支え棒を外すことにより、上側の両面PWBとガラスクロスが下側の両面PWBの上に倒れ込み、硬化前の脱泡済エポキシ樹脂がガラスクロスに含浸した状態で下側の両面PWBと高精度な位置合わせ状態で貼り合わされる仕組みとなっている。

ここで、両面PWBの間から溢れ出す余分なエポキシ樹脂が完成後の多層PWBの表面に付着しないようにするため、表面にあたる面には耐熱性接着剤付き両面ガムテープを隙間なく貼り、その上にシリコン樹脂含浸紙(クッキングシート)を貼りつけている。この結果、余分なエポキシ樹脂がクッキングシートの上から付着して硬化しても、シリコン樹脂の良好な離型性により容易にはがすことができるとともに、その下の両面ガムテープをはがすことによりまったくエポキシ樹脂を付着させずに多層PWBの貼り合わせを実現できる。ただし、有機溶剤を利用してガムテープの糊を除去する必要がある。

次に、図8に示すように脱泡後のエポキシ樹脂を紙製トレーに流し込み、下側の両面PWBがすべて軽くエポキシ樹脂に沈む状態とする。ここまでの作業は、現状では空気中で行なう必要があるため、再度真空中で脱泡後2枚の両面PWBを貼り合わせる必要がある。そこで、簡易真空チャンバーのステンレスボールを装着して内部を真空ポンプにて真空にすることにより、エポキシ樹脂からの脱泡を行なう。すでにエポキシ樹脂を調合した段階でほとんどの気泡を除去しており、また、この段階ではエポキシ樹脂を薄く延ばした状態であるため、短時間で脱泡が終了する。

しかし、エポキシ樹脂の温度が低いと粘度が高く脱泡

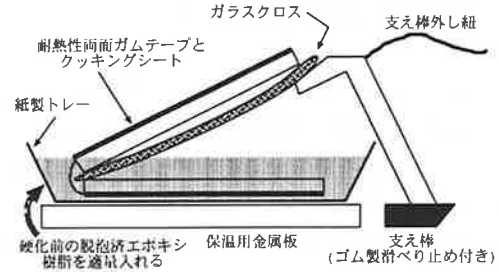


図8 エポキシ樹脂の注入

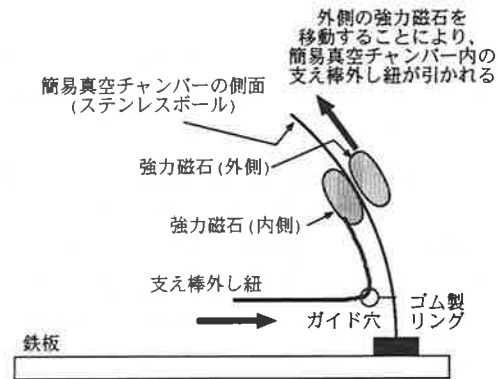


図9 真空中での支え棒の外し方

が困難となる。さらに、薄く延ばした状態で脱泡を行なうと、気泡が抜ける際にエポキシ樹脂がクレータ状にはじかれる部分が発生するが、粘度が高いと周囲からのエポキシ樹脂の流れ込みが阻害される。従って、再脱泡時にも硬化せずかつ粘度が十分低くなるようにエポキシ樹脂の温度を保つ必要がある。そのための方法の一つとして、エポキシ樹脂を予め加熱しておくことと、簡易真空チャンバー内部での紙製トレーの下に加熱された金属板を置く方法を採用している。

真空中での脱泡が終了後、真空状態を保ったまま支え棒の紐を引くことにより、気泡のない両面PWBの貼り合わせが可能となる。支え棒の紐を真空中で引く方法として、図9に示すようにステンレスボールの内側と外側に強力磁石を設置し、磁石の吸引力を利用してステンレスボールの外側の磁石を動かし、それに追従して動く内側の磁石に支え棒の紐を結び付けることにより、真空状態での2枚の両面PWBの貼り合わせを可能としている。ただし、ステンレスの材質としては18-8ステンレス鋼などの磁石につかないものを選ぶ必要がある。

高圧プレス機による多層PWBの製造法における、プリプレグから発生する気泡の除去メカニズムは、プリプレグに付着する余分なエポキシ樹脂をプレスによりPWB間から押し出し、そのエポキシ樹脂とともに気泡をも流し出すという基本原理に基づいている。このため、PWBが大型になればなるほど高圧を要するのみならず、PWB面積に応じてプリプレグに含まれるエポキシ

樹脂の量を慎重に選択する必要がある。これに対し、提案するシステムではガラスクロスにエポキシ樹脂を含浸させる前に十分に脱泡を行なうため、PWBの大きさに関わらずほぼ同じ条件で多層PWBを試作することができる。このことは、所望とする形状や大きさの多層PWBを容易に試作できることを意味しており、小量かつ多サイズの試作が要求される研究室レベルでの多層PWBの試作を、材料の無駄なく比較的容易に行なうことができるという特長を有する。

2.5 加熱接着

2枚の両面PWBを貼り合わせた後、エポキシ樹脂を高温で硬化させ、2枚の両面PWBを接着する必要がある。また、接着時にPWB上の温度分布が一定でないと、硬化時にPWB各部に残った残留ストレスにより接着後にPWBの反りや捻れが発生する。従来の高圧プレスを利用した量産法では、温度分布を高度に制御可能なプレート間に、ガイドピンを利用して位置ずれが起こらないように多層PWBとプリプレグを挟んだ後加熱、高圧プレス、硬化、除冷を行なうため、反りや捻りの発生が押えられる。

これに対して、提案する手法では、反りや捻りの発生を押えるためとPWB上の温度分布の偏差をできるだけ小さくするため、図10に示すようにクッキングシートで表面を覆ったアルミ板とクリップで多層PWBを挟んでいる。また、比較的大型の簡易オープンを利用して、オープン内部の空気対流による温度分布の一定化を図っている。

この方法では、真空中で貼り合わせた多層PWBを空气中に曝す必要があるが、真空中で2枚の両面PWBを貼り合わせた後では、図10に示すように紙製トレー内の余分なエポキシ樹脂に多層PWBが完全に浸っている状態となるため、余分なエポキシ樹脂の表面から若干の気泡がエポキシ樹脂内に溶け込むくらいで、この段階で気泡が再び多層PWBの層間に入り込むことがないという特長を有する。また、真空脱泡にて抜け切らなかった極少量の小さな気泡は、大気中に置いた段階で大気圧で押し潰されることから、高圧プレスを用いなくても気泡のない良好なボイドレス接着が可能である。

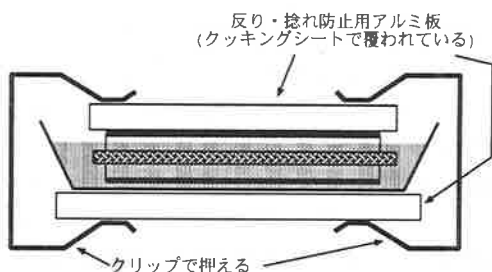


図10 加熱接着時の構成

2.6 貼り合わせ実験

本システムの有用性を評価するため、両面PWBの代わりにガラス板を利用して一連の工程を実施した。この結果、2枚のガラス板とガラスクロスについては事前アセトンなどの有機溶剤で指紋などの脂分や塵を十分に除去することにより、ほとんど気泡を含まない多層PWBを試作できることが明らかとなった。

高圧プレス機を利用して、ガラス板とプリプレグを用いて量産法と同様に試作した結果と比較すると、現状では高圧プレスを利用した方が気泡の発生は少ないが、提案する手法の方がガラスクロスの各繊維間までエポキシ樹脂が十分に染み込むことが確認された。提案する手法にて若干発生する気泡のほとんどは、真空中での2枚の両面PWBの貼り合わせの際、再脱泡前にガラスクロスがエポキシ樹脂に一部接触してその部分の脱泡ができないために発生する。この問題を解決するためには、PWB面積が広がるほど、ガラスクロスと上側の両面PWBを広い範囲にわたり、ガラスクロスがたわんでエポキシ樹脂に接触しないように支え棒でうまく支えなくてはならず、そのままではある程度の熟練を要する。これに対し、ガラスクロスがたわまずに上側の両面PWBにつくように、各辺の部分にシリコン接着剤で予め仮止めしておけば、高圧プレスを利用する方法と比較してより品質の高い、ほとんど気泡の含まれない多層PWBを試作できると考えられる。

本システムで試作できる多層PWBの最大サイズは、簡易真空チャンバーと簡易オープンの大きさにより決定される。実際に試作した50cmの直径のステンレスボールを利用した簡易真空チャンバーでは、約35cm×25cm=875cm²程度の貼り合わせが可能である。家庭用市販オープンに温度調節器を接続した現状の簡易オープンでは、約25cm×20cm程度のサイズの多層PWBのエポキシ樹脂を硬化させることができるが、より大型のオープンも容易に入手可能と考えられる。従って、A4サイズよりひとまわり大きめの多層PWBを試作できることが明らかとなった。このサイズの多層PWBを高圧プレスを用いて作成する場合には、最低でも35トンの圧力を発生できる高価な装置が必要である。よって、提案する多層PWB試作システムは、工程上多少複雑でありかつある程度の熟練を必要とするものの、低コストな装置により原価の低い多層PWBを試作することが可能である。ただし、簡易オープンを用いる加熱方法は、周囲の空気を温めて間接的に多層PWBの加熱を行なうため、電力消費が大きいという問題がある。このため、より効率良くかつ温度制御性能の高い加熱方法の開発が望まれる。

3. 多層 PWB 試作システム

多層 PWB を試作するためには、複数の両面 PWB のボイドレス接着を含む下記のような工程が必要となる[6]。

1. 回路設計
2. 多層配線パターン設計
3. 多層 PWB 試作
 - (a) 内層配線パターン形成
 - (b) ボイドレス接着
 - (c) 穴開け
 - (d) スルーホール形成
 - (e) 外層配線パターン形成
 - (f) 半田レジスト膜形成
 - (g) シルク印刷

大規模論理回路の設計と配線パターン設計については、市販の多層 PWB 設計 CAD を用いる必要がある。特に、大規模論理の動作確認に限れば、自動配線 CAD を利用することにより配線パターンを短時間で設計可能である。

大規模論理回路、高速・高周波回路、精密アナログ回路などは、多層 PWB を用いることにより、安定した電源やグラウンドを実現できる。また、配線が非常に複雑するような複雑な回路でも、広めの多層 PWB を利用し、配線層数を増やすことにより、部品の配置や配線を容易に行なうことができるため、設計時間を大幅に短縮可能である。提案する試作システムでは、低コストでありながら容易に大型多層 PWB を試作できるとともに、真空中での両面 PWB の貼り合わせ枚数を増やすことにより、容易に 6 層以上の多層 PWB を試作することができるため、小規模で高性能なアナログ/デジタル回路の試作のみならず、大規模論理回路の論理エミュレータをも容易に試作できるという利点がある。

両面 PWB 上への配線パターンの形成方法については、大別して酸化第二鉄溶液などを用いるエッチング法と、NC ミーリング/ドリルマシンを用いるミーリング法がある。エッチング法は短時間でパターン形成を行なえるという利点があるが、CAD により作成した配線パターンを PWB 上に転写するために高価な感光基板を使う必要がある。また、片面や両面の感光基板については厚さ 1.6 mm のものが容易に入手可能であるが、多層 PWB に利用される 0.6 mm などの厚さの感光基板については特注扱いとなり入手が困難である。さらに、多層 PWB のスルーホール形成には、内層だけをまずパターン形成して貼り合わせた後、穴開け、スルーホール形成、外層のパターン形成という手順が効率的であるが、スルーホール形成後に感光剤を改めて均一に塗布する必要があることと、パターン形成後の穴開けを正確に行なうためには別に NC ドリルマシンが必要となるという問題点があ

る。

このため、本システムでは配線パターン形成の手段としてミーリング法を採用している。ミーリング法は片面ずつミーリングマシンによって配線パターンを削りだしていく方法であり、穴開けも可能である。従って、多層 PWB の試作に要求される、片側が全面同箔で逆側だけ配線パターンを形成することを容易に行える。また、市販の安価な両面 PWB を利用できるため、試作コストを抑えることが可能である。表裏の配線パターンの位置ずれをできるだけなくすことや、狭いピッチでの配線パターン形成の場合のバリとりなどに多少の熟練を要することと、装置が高価であるという問題があるが、感光基板を利用する場合にも高価な NC ドリルマシンが必要となる。また、ミーリング法を用いると多層 PWB の総合的な作業工程が大幅に簡略化できるため、比較するとミーリング法の方が有用となる。

多層 PWB への代表的なスルーホール形成法としては、導電性ペーストを穴に埋め込み、焼成して表面と裏面の導通を実現する方法と、電気銅メッキによる方法がある。導電性ペーストは高価で保存期間が短く取扱いが容易ではないことと、多層 PWB の内層の接続の信頼性がはっきりとわからないため、本システムでは標準的なスルーホール形成法であるパネルメッキ法と呼ばれる電気銅メッキを採用している。

本手法に基づくスルーホールの形成過程は次のとおりである。まず、予め内層の配線パターンを形成して貼り合わせた後の、外層にあたる最上面と最下面のみがまだパターン形成されていない銅箔のみの状態の段階で、スルーホールを形成するための穴開けを行なう。次に、触媒などに浸し、無電解銅メッキと電気銅メッキを行なうことで、穴開けされたすべての部分に銅箔が形成され、表面と裏面が電気的に接続される。この時、穴開け時に内層のパターンにも同時に穴が開くようにしておけば、穴の断面に内層パターンの銅箔の一部が露出するため、外層と内層を含むすべての任意の層間での電気的接続が可能となる。このようにパネルメッキ法はマスクフィルムの製作や感光剤の塗布などを必要とせず一度にすべてのスルーホールを形成できるという特長を有する。また、基本的には薬品と電気銅メッキを行なうための低電圧大電流直流電源があれば良いため、システムの価格は低く押えることが可能である。

スルーホール形成後、最終段階として外層の配線パターン形成をミーリングマシンによって行なうことにより、多層 PWB が完成する。この後、必要であれば半田レジストの塗布やシルク印刷などを行ない、電子部品の半田付けを行なう。

本システムの現状は、各要素技術の開発とそのシステム化が終了した段階である。実際に容易に本システムを利用するためには、例えば CAD 間のデータフォーマッ

ト変更を自動で行なうソフトウェアの開発や、エポキシ樹脂の調合などを手軽に行なえるような機器の開発などが今後必要となる。

積システムのための種々の専用プロセッサを試作することにより、理論のみならず実際の実験を通じた研究の推進に極めて有用である。

4. む す び

本稿では、高価な数十トン～100トン程度の精密温度制御機能付き高圧プレス機を利用することなしに、所望とする形状や大きさの多層PWBを安価に試作可能な手法とそのシステム構成を示した。この結果、従来数ヶ月程度も必要とした大規模論理回路のソフトウェアシミュレーションについても、複数個のFPGAや汎用電子部品を用いたハードウェアエミュレータを、多層PWBを用いて周辺のテスト回路などをも含めて試作することにより、シミュレーション速度を100万～1,000万倍程度高速化することが容易に可能となる。また、知能ロボットシステムを始めとする、膨大な計算量を必要とする知能集

参 考 文 献

- 1) 今井：“ASIC技術の基礎と応用”，電子情報通信学会，pp. 118-140 (1994).
- 2) 藤岡，亀山，苫米地：“再構成可能並列プロセッサと知能ロボット制御への応用”，日本ロボット学会誌，13，6，pp. 112-119 (1995).
- 3) 亀山，藤岡：“ロボット用VLSIプロセッサシステム”，日本ロボット学会誌，14，1，pp. 22-25 (1996).
- 4) 福田，高雄，影山：“高性能複合材料の実験的評価”，古今書院，pp. 25-28 (1990).
- 5) 伊藤：“プリント配線板製造入門”，日刊工業新聞社，pp. 77-112 (1995).
- 6) 小西：“プリント回路設計”，日刊工業新聞社，pp. 1-7 (1993).