新層間接続法による高密度プリント配線板の開発

大平 洋*, 笹岡 賢司*, 今村 英治*, 田中 一安**

Development of High Density PWB by a New Layer Interconnection Method

Hiroshi ODAIRA*, Kenji SASAOKA*, Eiji IMAMURA* and Kazuyasu TANAKA**

*株式会社東芝半導体事業本部回路部品事業部（〒210 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地）

**株式会社東芝半導体事業本部半導体品質保証部（〒183 東京都府中市東芝町1番地）

*PWB & Module Division, Semiconductor Group, Toshiba Corporation (1 Komukai-Toshibacho, Saiwai-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 210)

**Semiconductor Quality Assurance Department, Semiconductor Group, Toshiba Corporation (1 Toshibacho, Fuchu-shi, Tokyo 183)

概要 銅スルーホールめっき法による層間接続技術に代わる接続方法として、導電性バンプによる新層間接続法を開発し、この技術を使って、多層プリント配線板の新しい製法を開発した。この開発したプリント配線板は高密度化とコストパフォーマンスの向上という要求に答えるものである。本報告では、この新層間接続の機構と、この方法により開発したプリント配線板プロセス、構成、特徴、信頼性およびデザインルールなどにつき報告する。

Abstract

Authors developed a new interconnection method between layers with conductive bumps instead of Copper-plated through hole method, and also developed a new multi-layer PWB by the new interconnection method. In the future, customers will be satisfied by this developed new PWB with high density and cost performance. This paper describes the mechanism of new interconnection method between layers, and describes the construction, process, features, reliability and the design rule of new developed PWB.

1. まえがき

マルチメディアの時代を迎えて、ICの狭ピッチ多ピンパッケージあるいはベアチップの高密度実装¹⁾が盛んに検討されている。これに伴い、高密度プリント配線板への要求はレベルの高いものになり、ライン幅が50 μm 、ビアのランド径300 μm という高密度多層プリント配線板が要求されるようになってきた。しかしながら、現行の銅スルーホールめっき法によるプリント配線板はエッチングのアスペクト比の関係から75～100 μm のライン幅が限界で、よりファインラインを要求される高密度プリント配線板にはこの技術では困難な状況を迎えている。

ファイン化技術だけ考えれば、薄膜プロセスとフォトリソによるMCM-C/Dの基板技術があるが、この技術は低コスト化に限界があり、量産規模が大きく、低コスト指向の強い電子機器の用途では利用しにくい技術である。

このような状況から、最近ではプリント配線板のファイン化のアプローチとして、フルアディティブめっきによる法²⁾、サブトラクティブ法であるが、感光性樹脂を用いて微小孔を形成し、めっき法で接続するビルドアップ法³⁾、レーザ光で絶縁樹脂層に微小孔を形成し、めっきで接続する法⁴⁾、パターン転写法⁵⁾などの高密度配線板が研究され、一部実用され始めた。しかし、まだ生産性、歩留まり、配

線板構成、環境対策さらには実装対応性など解決すべき課題も抱えている状況にある。報告者らはコストパフォーマンスが良く、環境にもやさしいことを念頭に、これからのファイン化要求にも適応できる高密度多層プリント配線板の製法を確立することを目的として、新しい発想にもとづく層間接続技術の開発と、この技術を応用して、Buried Bump Interconnection Technology（以後B²itと略記する）と名付けた新しい多層プリント配線板製造法を開発したので報告する^{6)～8)}。

2. 新層間接続技術

2.1 新層間接続

層間接続を簡便な工法でかつ微小化に対応できる技術として、銅箔の層間に微小の導電性バンプを形成し、それを介して上下の銅箔パターンとの接続を図る方法を考案した。この導電性バンプとしてめっきなど種々の方法を検討した結果、導電性ペーストを印刷して、バンプを形成させる方法が最も簡便であり、生産性の高いことから、この方法の開発に取り組んだ。印刷法には次のような利点がある。

- (1) 層間接続の生産性が高いこと。導電性バンプの数に関係なく、一回の印刷で全接続点を形成できる。またそれに要する時間はたかだか数十秒であること。
- (2) めっきなどのウェット処理を削減できること。

(3) ドリルあるいはレーザなどの穴あけ工程が省略できること。

以下、新層間接続技術でB²it技術のプロセスを簡単に説明する。

最初に一方の面の回路層となる銅箔を準備し、この粗化面に導電ペーストを印刷し、導電性のバンプを形成する。次に、絶縁樹脂層を重ねて、さらに他方の回路層となる銅箔を積層し、熱プレスすることで、図1(a)のような構成の層間接続が形成できる。図1(b)は実際にこの方法で形成した導電性バンプの断面写真である。上下の銅箔の粗化面に導電性バンプが空隙なく食い込んだ接合状態になる。

2.2 導電機構

前項ではB²itのプロセスを説明したが、この項では導電の機構を考察する。

図2(a)に示したように電子は一端の銅箔層から銅と銀粒子の界面、銀粒子同士の界面、銀の粒子と銅の界面を介して他端の銅箔層に移動する。ここで銀-樹脂系のコンポジット導体は導電樹脂として使用実績が多く、銀-樹脂の導体での銀粒子同士が溶剤の揮発、樹脂の収縮で接触し導電すると理解されているので、ここでは取り上げない。

問題となるのは銅と銀の粒子の界面である。単なる銅と銀粒子の接触は図2(a)に示したように初期の接続は十分であっても、熱的、湿的なエージングによって図2(b)のように銅内表面に酸化膜など電気的なバリア層が形成され、導電性が不安定になることをDr.K.Gilleoは指摘している⁹⁾。

また安定な導電性をはかる方法として、図2(c)に示すような比較的固い導電粒子をペネトレーション粒子として銅層に食い込ませることで疑似的な金属結合を形成し、安定な導電性がはかれると述べている。

B²itプロセスでプリント配線板を作製した場合、各種の信頼性加速試験においても導電性は安定したものが簡単に

図1. 新層間接続技術 (B²it) の構成

達成できる。この点を考察すると、B²itプロセスにおいては、計算上積層プレス時に導電性バンプに約1t/cm²の高圧が作用することになるので、Dr.K.Gilleoが提唱するようなペネトレーション粒子としての役割を銀粒子が果たし、銅箔に食い込むことが考えられる。

これを検証するために、銅と銀粒子の界面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。図3(a)はバンプ上部のつきあたり面の界面であり、図3(b)はバンプ下部の印刷面の界

図2. K.Gilleoによる導体の劣化モデル

図3. 銅箔と銀粒子の界面SEM写真

面写真である。部分的に銅と銀粒子が固着しているのが観察できる。この金属同士の固着の面を介して、電流が流れるものと考えられる。

さらに詳細に観察するために、パンプつきあたり面の接合面を透過型電子顕微鏡(TEM)観察したものを図4(a)、(b)に示した。図4(a)は銅と銀の粒子の界面構成である。銅のコブめっきが壊れている様子と銅と銀が固着している様子がさらに鮮明に観察できる。図4(b)は図4(a)の矢印部分Aをさらに拡大したもので、銀の粒子が銅層に食い込んでいるところが観察できた。銅と銀の界面を挟んで20nmスポットの領域におけるエネルギー分散スペクトル(EDS)での元素分析の結果、Cu, Ag, Si, Sが検出された。また界面から50nm離れた銀の粒子のところで、20nmスポットで観察した結果ではAg, Cu, Sが検出された。この観察から銅と銀の接合は、金属同士が直接圧接され、少なくとも疑似的に金属接合しているものと考えられる。なおこの分析でSiは銅箔の処理材であるシランカップリング剤から、またSは銅箔形成が硫酸銅めっき浴からの痕跡として検出されたものと推定した。

通常、プリント配線板に使用される銅箔はその表面に防

(a) 接合部（パンプつきあたり面）のTEM写真

(b) 銀粒子が銅層に食い込んでいる個所のTEM写真

図4. 銀-銅接合界面観察

錆のために数nmの酸化層を積極的に形成している。このため導電性ペーストをこの銅箔面に印刷し、硬化させただけでは、導電性パンプと銅の接合面で数十mΩ～数百mΩの界面抵抗が生ずる。またこの状態で接続抵抗は熱的、湿的エージングで容易に数kΩないし無限大の抵抗を呈するようになる。しかし本B²itプロセスでの接続では銀粒子の圧接ないし食い込みのため、界面抵抗が無視できるほど小さく、またエージングに対しても安定な導電性を維持するものと解釈できる。ちなみに0.3mm径のパンプを0.1mm厚のガラスエポキシプリプレグを使い形成したビアの1個の抵抗値は約1mΩである。この値は導電樹脂の固有抵抗 $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ から計算した値とほぼ一致し、界面抵抗はあったとしても非常に小さい。

図5は0.3mm径の導電性パンプで形成したビア1000個を上下に銅パターンを介して直列に形成した両面配線板の試料に電流を流し、微小電流計と電圧計で計測したI/V特性である。μVオーダまで直線性を維持していた。このことは、銀と銅の界面に半導性の物質を介さない接続であることを、間接的に示しているものと考えられる。

次に熱の応力に対する導電性の挙動を見るために、4608個の導電性パンプからなるビアを、上下の銅箔パターンを介して直列に接続した両面配線板のテストピースを作成した。これに厳しい熱応力試験であるホットオイルテストを行うと、図6に示したように、1サイクルごとの低温時での抵抗値がまったく変化しない場合(a)と抵抗値が徐々に

図5. I/V特性

(a) 抵抗が変化しない場合

(b) 抵抗が上昇する場合

図6. ホットオイルテスト結果 (260℃ 10sec ↔ 20℃ 20sec)

上昇する場合(b)との、2通りの挙動が観察された。もちろんここでは抵抗値の変化しないことが配線板には求められる。

図7は導電性バンプの断面を模式的に示したものである。バンプの押しつぶし量が少ない場合、すなわち元のバンプの高さが低く圧力の作用が十分でなかった場合、図7(a)のように銅箔層に軽くコンタクトしている状態になり、初期の電導性は問題ないが、図6(b)に示したように繰り返し熱応力のために抵抗が徐々に増大する結果となる。

一方、図7(b)のようにバンプの押しつぶし量が多い場合は、図6(a)のようにホットオイルテストでも安定な抵抗値を示す。またその他の、熱的、湿的ライフ試験でもこの抵抗値は安定である。

このようにバンプの押しつぶし量の大きい場合は、導電性バンプ自身も変形しながら、銅箔面の酸化層を破壊し、銅の粗化面のマイクロ構造も一部崩し、銅と銀の金属接合が形成され、熱的にも湿的にも安定な接続が得られるものと解釈できる。このため、B²itプロセスでは初期の導電性バンプの高さが、導電性バンプに加わる最終圧力および形状を決めるので、導電性バンプの高さのコントロールと均一性はB²itの配線板を実用する上で重要な要素技術となる。

一方、印刷面側の導電性バンプは導電ペーストが液状のため、銅箔の粗化面にならって形成される。このため、つきあたり面よりあらかじめ銀粒子と銅箔が近接しており、接続性という面では有利な状況にある。さらに熱プレスによって導電性バンプの底面が押し広げられる。SEMの観察では、粗化面のコブも一部崩壊している様子が観察できた。このため、つきあたり側と同様に、銅箔の新生面と銀粒子が直接金属接合しているものと考えた。

3. B²it技術のプリント配線板への適用

3.1 B²itプロセス

B²itプロセスの概要を図8に示した。まず最初に、銅箔

図7. 導電性バンプの押しつぶし量の違い

に導電性バンプを形成する。ついでこの比較的固い導電性バンプで絶縁樹脂層を貫通し、さらにこの上に銅箔をレイアップして熱プレスする。最後に銅箔を通常の方法でパターンニングすることで両面配線板ができる。

この工程を繰り返せば、多層化も容易に図れる。以下各要素工程を詳細に記述する。

a) 導電性バンプの形成

導電性バンプの形成は、スクリーン印刷法による。導電性ペーストは銀-樹脂系でチクソトロピック性の比較的高いものを特別に調整した。この導電性ペーストを印刷して、円錐形のバンプを形成する。

図9には、実際に形成した導電性バンプの写真を示した。この写真では導電性バンプは300 μ m径の底面で、高さは約250 μ mのほぼ円錐形を形成している。この印刷工程でのポイントは印刷全面にわたる印刷形状の均一性である。版の精度、ペーストのレオロジー特性をコントロールすること

図8. B²itプロセス

図9. 導電性バンプ列

で、±10%の高さ制御ができる。印刷形状を円錐形にするのは、次のバンブ貫通工程でプリプレグ中のガラスクロスを通させるため先端が尖っている必要があるためである。次に導電性バンブを加熱して硬化させる。なおここで、印刷の支持体が金属箔なのでバンブの位置精度は狂いにくいという点が、この方法の特徴である。

b) バンブの貫通

次に絶縁樹脂層としてのガラスエポキシのプリプレグ(FR-4)を使用する場合に、導電性バンブをプリプレグに貫通させる簡単な工程を設けている。この工程が必要な理由は、もしこの工程を省略すると、熱プレスした後、銅箔とバンブの接合部にガラスクロスが残り、接合が不完全になる場合があるためである。なおガラスクロスのない樹脂フィルムの場合はこの工程は省略できる。

導電性バンブの貫通には、エポキシ樹脂を硬化特性に影響しない程度の短時間軟化状態にして貫通する。導電性バンブは、容易にガラスクロスをかき分けてプリプレグの上に頭を出し、プリプレグは銅箔と密着し、一体化したものとなる。図10はバンブの貫通後の外観である。適正な装置、条件でバンブ貫通を行えば、簡単にかつ全数完全に貫通できる。当然であるが、バンブがガラスクロスのクロス部に位置しても問題ない。

c) 積層プレス

前記工程で銅箔とプリプレグをラミネートしたものに、さらに銅箔をレイアップし熱プレスする。

通常のプリプレグに推奨される樹脂圧より、バンブを押しつぶす圧力の分だけ高めた樹脂圧を作用させたが、基本的には通常の熱プレスと異なることはない。

d) 後工程

積層後のフォトリソ工程、エッチング工程、ソルダレジスト工程、表面処理工程、外形加工、電気検査工程などは、通常の銅スルーホール法の工程となんら変わるところはないので省略する。

e) 多層化工程

図8の下の方に示したように、まずB²itプロセスで2, 3のコア層を最初作成し、ついで1層および、4層に相当する銅箔に導電性バンブを形成し、プリプレグを貫通させたものを前記コア層の両面にレイアップし、熱プレスして、パターンエッチングして4層プリント配線板ができる。この4層プリント配線板をコア層としてさらに前記工程を繰

図10. 導電性バンブ貫通後の外観SEM写真

り返すことで、6, 8層と多層プリント配線板ができる。この工法は、ビルドアップ方式となるが、コア層を別々に作成し、導電性バンブをコア層に印刷し、プリプレグを介して積層する多層化方法も可能である。

3.2 B²itプリント配線板の構成

図11にはB²itプリント配線板の代表的構成を示した。

(a)は、B²itプロセスでの最も単純な両面配線板構成である。表面に穴のない、薄板の配線板ができる。

(b)は、B²itプロセスで多層配線板の構成例である。

この種類のプリント配線板はすべてIVH構成になる。これを我々はオールB²itプリント配線板と呼んでいる。この種類のプリント配線板は層間接続が自由にとれるため、設計の自由度が大きいこと、また板厚の薄い穴なし基板が構成できること、銅めっきがないのでファインライン形成ができることなど、従来の配線板にない際立った特徴がある。

(c)は表層IVH構成のプリント配線板である。この製法を補足説明すると、1, 2層および5, 6層を各々両面板として別にB²itプロセスで作成し、3, 4層に相当する両面エッチング板とを、プリプレグを介して熱プレスで積層プレスし、最後に銅スルーホールめっき法で貫通スルーホールを形成したものである。この構成を我々はコンビネーションB²itプリント配線板と呼んでいる。最終の板厚を内層のコア層ないし中間プリプレグ枚数で調整できるということと、銅スルーホールがあるのでデスクリート部品が残る場合の実装に適するという特徴がある。

上記構成を組み合わせることで、より複雑な配線板構成も可能となる。

3.3 B²itプリント配線板の信頼性

B²itプロセスで製作したプリント配線板の信頼性を評価した。

特に層間の電気接続信頼性とビア間の絶縁信頼性に重点をおいて試験評価を行った。

・B²itプリント配線板テストピース

a) 層数 両面板

(a) B²it両面プリント配線板

(b) オールB²it6層プリント配線板

(c) コンビネーションB²it6層プリント配線板

図11. B²itプリント配線板の種類

表1. B²itプリント配線板信頼性評価結果

試験項目	試験条件	初期抵抗	試験時間	試験後抵抗値	変化率	判定
1) 接続信頼性						
ホットオイル試験	260℃(5sec)↔20℃(20sec)	25.7Ω*	100c/s	25.2Ω*	-2.0%	OK
気相熱衝撃試験	125℃(30min)↔-65℃(30min)	26.5Ω*	2500c/s	26.4Ω*	-0.4%	OK
はんだ耐熱性試験	288℃(10sec)	25.9Ω*	1c/s	25.5Ω*	-1.5%	OK
高温通電試験	0.3A, 110℃	26.2Ω*	4000h	25.6Ω*	-1.7%	OK
2) 絶縁信頼性試験						
高温高湿バイアス試験	-85℃, 85%, 12VDC and 60VDC	>10 ⁹ Ω	3000h	>10 ⁹ Ω		OK
温湿度サイクル試験	25℃↔65℃, 90-98%RH, 12VDC	>10 ⁹ Ω	50c/s	>10 ⁹ Ω		OK
腐食ガス環境試験	H ₂ Sガス(0.1ppm), SO ₂ ガス(0.5ppm)40℃/85%RH, 12VDC	>10 ⁹ Ω	500h	>10 ⁹ Ω		OK

*は4608個のビアを銅パターンで直列につないだものの抵抗値を示す(n=5)

- b) 基材 ガラスエポキシ(FR-4)
- c) 板厚 0.12mm (絶縁層厚)
- d) 銅箔厚さ 0.018mm
- e) ビア径 0.3mm φ
- f) ランド径 0.5mm φ

・信頼性試験項目と評価結果

表1に信頼性試験項目、実施条件および評価結果を示した。

信頼性評価結果をみるとB²itプリント配線板の接続信頼性は、一般の銅スルーホールめっき法によるプリント配線板と同等もしくはそれ以上の信頼性があり、また絶縁信頼性においてもB²itプリント配線板は一般の銅スルーホールめっき法によるプリント配線板と同等もしくはそれ以上の信頼性があった。

銀導体を使用するための銀のマイグレーションに対する問題は特に注意して評価を行ったが、まったく問題は生じなかった。この理由として考えられるのは、B²itプロセスでは導電性バンプ貫通後、エポキシ樹脂を再溶融し、賦形され硬化するので、ドリル穴あけ法で問題になるCAF(Conductive Anodic Filament)現象が起こりにくいためと考ええる。

さらにコンビネーションB²it多層プリント配線板も同様な信頼性評価でまったく問題はなく、実用性能を確認できた。

3.4 B²itプリント配線板の特徴とデザインルール

B²itプリント配線板の特徴を、従来の銅スルーホールめっき法によるプリント配線板に比較して記述すると、以下のようにまとめられる。

- (1) 銅のパターンめっきを行わないので、薄い銅箔をそのままエッチングでき、ファインパターン形成が容易であること。また導電性バンプは微小化が可能であるので、銅スルーホールめっき法によるプリント配線板に比較して、格段に高密度プリント配線板が製造できる。
- (2) 導電性バンプ上の銅箔は実装パッドとして利用できるため、パッドオンビアが可能となり、部品実装密度の高い配線板が構成できる。
- (3) 層間の接続が自由に形成できるので、配線の引き回

しが楽になり、設計上の制約が少なくなる。このため設計時間の大幅な短縮が図れる。

- (4) プリント配線板の必要特性にあわせて、基材を選定できる。例えばガラスエポキシ樹脂、BT樹脂、PPE樹脂、紙エポキシ樹脂、ガラスポリイミド樹脂、フェノール樹脂などもB²itプロセスでプリント配線板が構成できる。
- (5) 穴あけ工程、めっき工程を省略、ないし削減できる。
- (6) 化学的プロセスが少なく、導電性バンプの形状は外觀形状管理となるので、品質管理が容易となる。
- (7) 従来のプリント配線板製造設備が有効活用できる。

現在、開発の完了したB²itプリント配線板の設計ルールは、表2のようである。また、より高密度化のため、0.15mmφの導電性バンプ径、ビアのランド径300μmの技術確立を進めている。

3.5 B²itプリント配線板応用分野

B²itプリント配線板は、製品の形では従来の銅スルーホールめっき法によるプリント配線板と同様な基材、銅箔パターン、表面処理で構成できる。実装側では従来と同様の実装機、リフロー法で実装でき、またリペアも従来法で問題なくできる。また従来の銅スルーホールめっき法によるプリント配線板と同様な内層回路、所要の板厚さもコンビネーションB²itプリント配線板では実現できるので、基本的には従来のガラスエポキシ系多層プリント配線板の用途をすべてカバーできる。さらにファインパターン、多層化が可能のため、従来以上の高密度プリント配線板が可能となるので、従来の銅スルーホールめっき法によるプリント配線板では製造が困難であったMCM用途、全IVHのプリント配線板、多ピンBGA(Ball Grid Array)、CSP(Chip Size

表2. B²itプリント配線板の設計ルール

項目	現在(95/7)	将来(96)
ライン/スペース	75/75 μm	50/50 μm
バンプ径	300 μm	150 μm
バンプピッチ	700 μm	400 μm
ランド径	400~600 μm	250~300 μm
電流量	0.3A/バンプ	0.1A/バンプ
層間絶縁層厚	90~150 μm	60~300 μm (ただし厚くなるとファイン度は低下)
パッドオンビア	700 μmピッチまで	400 μmピッチまで
表面処理	はんだ/Au/フラックス	はんだ/Au/フラックス
層数	2~6層	2~8層

(a) コンビネーションB²itプリント配線板

(b) オールB²itプリント配線板

図12. B²itプリント配線板試作例

Package)のようなICパッケージを実装できる高密度プリント配線板、さらには半導体パッケージの分野にも応用が可能である。

またポリイミド基材、熱可塑性樹脂などを基材にすることでフレキシブルプリント配線板用途にも応用可能である。さらにドリル加工性、デスミア工程でのアンマッチングなどの問題もないので、異種基材を特性に合わせて組み合わせることも可能となる。

図12(a)はB²itプロセスで作成した、携帯電話用のMCM用のプリント配線板試作例である。絶縁材はガラスエポキシ(FR-4)で、最小ラインと最小スペースは100 μ mで、導電性バンプ径は印刷面で300 μ m ϕ である。層数は4層である。QFN(Quad Flat Non-lead)パッケージ構造にするため、銅スルーホール法を併用したコンビネーションB²itプリント配線板の構成となった。図12(b)はオールB²itプリント配線板で構成したメモ리카ード用配線板の試作例である。これは6層構成のプリント配線板でガラスクロス入りのBT樹脂プリプレグを使用している。なおプリント配線板厚さは0.5mmである。

4. 結び

新層間接続とその材料／プロセスを開発し、この技術を実用化した新しいプリント配線板の新製法を確立し、その実装性能を確認した。

今回開発したB²itの基本プロセスは、現在の銅スルーホールめっき法によるプリント配線板のプロセス技術の高密度化とコストパフォーマンスの限界を、ブレークスルーする1つの方法を示せたものと考えている。今後、この技術の高度化と応用展開を図る予定である。

謝 辞

本開発にあたり、導電機構につき有益なディスカッションをいただきました東京大学先端科学技術研究センターの須賀教授、およびTEMの撮影をいただきました東芝マイクロエレクトロニクス・解析ラボラトリの鈴木氏に感謝致します。
(1995.7.13-受理 1995.10.2-再受理)

文 献

- 1) “パッケージと同等の信頼性を保証したベアチップが手に入る”, 日経エレクトロニクス, No.635, pp.160-165,(1995)
- 2) 榎本 克, 浅井元雄, 坂口芳和, 大橋千恵: “無電解めっきを用いたビルドアップ多層印刷配線板”, サークキットテクノロジー, Vol.5, No.2, pp.90-93(1990)
- 3) 塚田 裕: “ビルドアップ法プリント配線板”, サークキットテクノロジー, Vol.9, No.5, pp.364-368(1994)
- 4) 西浦慎一, 池浦憲治: “プリント配線板のレーザ加工”, サークキットテクノロジー, Vol.5, No.2, pp.82-89(1990)
- 5) 福富直樹, 坪松良明, 中山 肇, 吉野 篤, 石黒 智: “転写法配線板”, サークキットテクノロジー, Vol.9, No.5, pp.369-375(1994)
- 6) 大平 洋, 今村英治, 和田裕助: “新製法(B²it)によるプリント配線板の提案”, 第9回路実装学術講演大会論文集, pp.55-56,(1995)
- 7) 笹岡賢司, 池ヶ谷文敏, 森 崇浩, 田中一安: “新層間接続法によるプリント配線板の開発”, MES'95, pp.155-158, (1995)
- 8) 田中一安, 長島健二, 佐藤由純, 大平 洋: “新層間接続法プリント配線板と銅スルーホール基板の寿命比較”, MES'95, pp.159-162,(1995)
- 9) Ken Gilleo: “Assembly with conductive adhesives”, IPC News & Technology Review, Vol.35, No.10, pp.20-28, (1994)