近年のMCM実装基板技術の動向

高木 清*

Recent Technology Trends on MCM Organic Substrates

Kiyoshi TAKAGI*

*高木技術士事務所 (〒247 神奈川県横浜市栄区本郷台4-12-10)

*TAKAGI Associates (4-12-10 Hongodai, Sakae-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 247)

電子機器の高速化、高性能化がLSIの高集積化、高性能化によって促進され、ソフトウェアの進歩と表裏一体になって、電子産業は目覚ましい発展をとげている。電子機器はマイクロプロセッサを中心に、高速、高機能のものになってきており、このため、実装においては高密度実装が必然的である。半導体素子は従来のパッケージに入れたものでは高密度実装、短距離配線を実現することが困難になり、ベアチップ実装による電子回路実装が現実のものとなってきている。

特定の回路、特に高度の特性を必要とする回路について、ベアチップをマザーボードであるプリント配線板上に搭載することも実用化している。しかし、表面実装部品と混載することを一般化することは難しい。このため、ベアチップ搭載部分をパッケージに入れ、マルチチップモジュール(MCM)として配線板に搭載している。MCMの概念は広いものがあるが、「2個以上のLSIベアチップを配線板上に搭載し、これをパッケージに入れ、気密処理、放熱対策を行ったもの」と定義した¹⁾。このLSIを搭載する基板は高密度の配線を持つプリント配線板である。基板については材料、プロセスにより、多くのバリエーションがあるが、ここでは、有機樹脂基板を中心に技術の動きを考えることにする。

1. MCMの必要性

電子機器の回路には処理の高速性、高機能性が求められ、特性の向上を必要とする特定の電子回路を区切って、モジュールとしている。これは、LSIが高性能になり、高速処理を行い、高周波の領域で動作するようになり、また、高集積化して入出力ピンの数も増加しているためである。電気特性のためチップ間の距離を短くし、数多くの信号の配線をするために、微細パターンによる高密度配線が必要になった。このため、裸のLSIチップを直接搭載する方向となった。部品を搭載する基板は次のような各種のものがある。

1) MCM-D: 金属、セラミックの支持基板上に真空蒸

着、スパッタなどの薄膜法とめっきを併用して導体を形成する方法。ファイン化が可能であるが、導体が薄く、抵抗が高い。

・MCM-D/C: MCM-Dのうち、基板として、厚膜法配線したセラミックプリント配線板の上に薄膜法で回路を形成したものをいうものがある。

・MCM-D/Si: シリコンウエハをベースの基板として薄膜法で配線を行い、モジュールとしたもの。

2) MCM-C: 厚膜法で導体を形成したセラミックプリント配線板を基板として、モジュールを構成したもの。

3) MCM-L: 有機樹脂積層板をベースとしたもので、いわゆる多層プリント配線板を用いて、モジュール化したもの。

・MCM-D/L: MCM-Lのうち、特にビルドアップ法により導体パターンを形成するものを、このように言うことがある。

モジュールはこれらの基板にLSI、その他の部品を搭載し、パッケージ化している。LSIの接続は次の3種類に大別できる。

1) Wire Bonding (WB)

2) Tape Automated Bonding (TAB)

3) Flip Chip (FC)

これらの方法で、基板上にチップを搭載し、これをいわゆるマザーボードであるプリント配線板に搭載するために、次のようなパッケージ形態とする。

1) Quad Flat Package (QFP)

2) Pin Grid Array (PGA)

3) Ball Grid Array (BGA)

これらの選択は機器の性能、配線の容易さ、放熱性、製造性などを考えて行われる。

MCMにより、プリント配線板搭載における混載の問題は回避できるが、ベアチップの流通性、特にKGDや修復性については今後も問題となる。

このように、MCMは特に電気特性の厳しく要求されるものを集約して使用するもので、配線を行う基板材料につ

いても、無機材料、金属材料、有機材料と数多くのものが開発されている。このなかで、有機樹脂基板は比誘電率を小さくし、導体に銅が使用できるので導体抵抗を小さくすることができる、多層プリント配線板のプロセスで加工され、形状の加工性が良いなどの点で優れている。これまでも、半導体のパッケージ材料はセラミック材より有機材料へと変化する歴史があり、今後期待される。

有機樹脂積層板を用いたものでは、LSIチップと配線板との熱膨張係数が大きく異なり、搭載が難しいと考えられていたが、チップと配線板との空間を樹脂で充填するアンダーフィルの方法が開発されて以来、十分に使用し得ることが確認された²⁾。

2. MCMの基板

有機樹脂を用いたMCMの基板はこれまでの多層プリント配線板の延長上にあるものである。しかし、ベアチップ搭載を行うために、配線板に対する要求はより厳しいものとなってくる。

2.1 基板としての要求

有機材料の基板に要求されることは、高速信号の伝送に適した電気特性、ファインピッチの高密度配線、ベアチップ搭載を行うに必要な耐熱性、平坦性、あるいは信頼性などである。

回路の集積度が大きくなると、その素子、あるいは、モジュールより引き出される、接続ピンの数 p は次式によって

$$p = \beta \cdot G^\alpha$$

ここで、 G はゲート数、 α, β は定数である。この式は経験則であるが、RENTの法則として長い間知られ、今日でも適用できるとされている。高い集積度のベアチップは入出力ピンが多くなり、小さい面積に集中するので、部品間の接続は必然的に高密度配線となる。基板製造でもファインピッチテクノロジーを必要としてくる。

モジュールの電気特性として、直流的には導体の抵抗は低く、導体間の絶縁抵抗は高い。さらに、交流的には信号の高速伝送に対応し、基板材料の比誘電率、特性インピーダンスの制御が、これまでのプリント配線板以上に厳しいものとなる。基本的には次式によるが、実際には複雑な式を用いて計算される。

$$\text{伝送速度 (v)} \quad v = k / \sqrt{\epsilon_r}$$

$$\text{特性インピーダンス (Z}_0\text{)}$$

$$Z_0 = \sqrt{(R + j\omega L) / (G + j\omega C)}$$

また、高周波対応として、基材の誘電損失、配線パターンの平滑な仕上がりが要求される。

MCMの基板はベアチップを搭載するので、実装におけるはんだ付けなどで熱のかかり方が複雑になる。基板材料

として耐熱の高いものが望まれる。また、高温時の樹脂層間の接着強度、導体-樹脂間のピール強度に高いことが必要となる。さらに、これまで以上に部品搭載面の平坦性、板のそり・ねじれの小さいことが求められる。

化学的特性として耐燃性、耐フラックス性、などが考えられる。

2.2 設計仕様

ベアチップ搭載のモジュール基板としてファイン化に対応して次のような仕様が求められる。

パターン幅/間隙	0.1~0.03mm
ビア穴径	0.15~0.05mm
貫通ビア穴径	0.3~0.2mm
ランド径	0.25~0.15mm
層間厚さ	0.1~0.03mm

全板厚は0.8~0.3mmが多いが、配線板の重量、搭載部品の重量に応じた強度、そり・ねじれ、たわみの程度により決められるものである。

寸法以外のものとして、ビアの配置に自由度が重要なこととなる。

3. プリント配線板の種類

MCMの基板として対象になるのは多層プリント配線板で、その種類は表1の通りである。またそれぞれの代表的なものを図1に示した。この表で、従来型は銅張積層板を主材料としためっきスルーホール法による配線板である。IVHの適用で、ビアを増加させ、Pad On Holeなどにより配線領域を拡大し、めっき、エッチングの技術向上によりファインパターンを実現、MCMに適用している。展開型はめっきスルーホール技術を用いているが、基板材料に特殊なものを用いたもので、厚い金属コアを用い、高放熱性、大電流対応を実現している。

フレキシブル材による多層化基板では、ユニークな構成

表1. 多層・高密度プリント配線板の種類

従来型 (めっきスルーホール方式)	
中多層プリント配線板 (4~10層板)	
高多層プリント配線板 (10~20+層板)	
薄形多層プリント配線板 (4~8層板)	
IVHスルーホール、シーケンシャル積層板	
Buried Via, Blind Via	
Surface (Buried) Via Hole (SVH)	
Pad On Hole (Chip On Hole)	
展開型 (めっきスルーホール方式)	
金属コア/ベース多層プリント配線板	
フレックスリジッド多層プリント配線板	
フレキシブル多層プリント配線板	
新方式 (有機樹脂ベース型)	
ビルドアップ方式多層プリント配線板	
フォトビア方式、レーザビア法、ビアポスト法	
転写方式多層プリント配線板	
転写・ビルドアップ方式組み合わせ型多層プリント配線板	
ALIVH多層プリント配線板	
B ² t多層プリント配線板

図1. 代表的多層プリント配線板の断面

をとったものなどがある。

新方式には、配線導体を一層ずつ積み上げていくビルドアップ法を分類した。この方法では、ビアを層ごとに任意の位置に設定できるという特徴がある。Z方向の接続は、めっきや導体ペーストにより行っている。しかし、面方向はめっき、フォトリソ技術を用いて作成している。

4. ビルドアップ法

MCM用基板としてファイン化を実現できる、表1の新方式のビルドアッププロセスプリント配線板が注目されている。ビルドアップ法ではビアの径を小さくし、配置を自由にできる。パターンファイン化はビルドアップ法のために可能になるわけではないが、作成法を十分に検討することにより高密度配線が可能となる。

ビルドアップ法は図1 (b) のごとく、ビアの接続はめっきによって行い、また、従来のめっきスルーホール法との組み合わせで作られる。使用する絶縁材料との関連で、次の3方法が主なものである。

1) 感光性樹脂上に形成する方法

ビルドアップ法の最も一般的なプロセスで、図2に示すように、絶縁性の感光性樹脂をコートし、マスクを通し紫外線で露光することにより、ビアを明け、めっきでビアの接続と表面導体パターンを形成する方法である^{3)~5)}。このビアをフォトビアと言っている。銅箔を含まないので、銅のエッチング量が少なく、銅層の厚さによってファイン化が容易になる。特に、パターンめっき法によれば、急速エッチングも可能である。この方法の欠点は、樹脂に感光性を持たせるために、樹脂の物性に影響すること、および、めっきとの密着性を確保するために、表面にアンカー効果処理を必要とすることである。この方法は、絶縁樹脂が得られれば、従来の設備のレベルアップにより対処できる。

図2. ビルドアッププロセス (フォトビア/パネルめっき法)

2) 非感光性樹脂を用いる方法

図3のごとく、紫外線露光の代わりにエキシマまたはCO₂などのレーザを用い、これをスキャンすることで穴をあけていくものである⁹⁾。この穴をレーザビアということがある。めっきの密着性の確保はフォトビアと同じ処理が必要であるが、感光性が不要のため、絶縁樹脂の選択の幅が大きくなる。CO₂レーザが多いが、樹脂配線板用のレーザ機器が開発されてくると、広く普及することが考えられる。めっき以降はフォトビア法と同じである。

3) 銅箔を積層する方法

樹脂付き銅箔を各層ごとに積層する方法、あるいは接着フィルムと銅箔を積層する方法により積み上げて行く方法である。銅箔と接着剤付きポリイミドフィルムを用い、プレスによって接着したもの^{7),8)}、あるいは、ポリフェニルエーテルの樹脂付き銅箔をプレス積層したもの⁹⁾、エポキシ樹脂を用いたもの^{10),11)}、がある。この方法では銅箔の接着面の処理を最適に選べば、接着力を確保することができる。ビアの穴は、銅箔をマスクとし、レーザを用いている。レーザは初期にはエキシマレーザが用いられたが、最近ではCO₂レーザが多くなってきている。パターン作成工程として、マイクロビアと信号パターン作成の2工程を必要とし、また、ビアの接続に必要なめっき厚を確保すると、表面パターンは銅箔を含めたエッチングする銅層の厚さが大きく、ファインパターンを得るには高度の技術を必要とする。

このほかの方法として、図1 (b) のビアをめっきにより柱状に形成するビアポスト法¹²⁾、プリプレグにレーザで穴

図3. ビルドアッププロセス(レーザビア/パターンめっき法)

をあけ導電ペーストを充填、銅箔とともに積層し、積み上げるALIVH法¹³⁾、導電ペーストで円錐状の接続柱を形成、積層により銅箔と圧接させ、積み上げていくB²it法¹⁴⁾、ステンレス板にパターンを形成、一層ごとに転写する転写法¹⁵⁾、などがある。

MCMの基板としていずれのものが適用されるか、今後の動きにより決まるが、それには、材料、プロセスの要素

技術、環境対策などの多くの検討が必要になる。

5. 材料とプロセス技術

5.1 絶縁材料

誘電率を中心とした耐熱材料の代表的なものを表2に示した。ここではガラス基材の積層板の特性であるが、樹脂のみで用いれば、より低い比誘電率となる。液状のコーティング剤、フィルム接着剤、あるいは接着剤樹脂コート銅箔などとしてビルドアッププロセスに適合する形とすることにより、耐熱性、電気特性のよいビルドアッププリント配線板とすることができる。しかし、絶縁材料には、完成品や製造上において非常に多くの要求特性があり、また、プロセスが複雑になっているため、材料を製造するノウハウも多岐にわたっている。現状ではユーザ/メーカー間で、個別に開発されているので、普及を妨げている。早急な標準化とオープン化が必要である。

5.2 ダイレクトイメージング

パターン作成において、フォトリソを介せず、直接CADデータにより描画できる方法で、従来、多品種少量生産に適していたが、基準系が単純になり、精度が向上し、微細パターン、微小径穴を持つMCM基板の作成に大きく寄与すると考えられる。アルゴンレーザを用いて露光するが、高速走査のためには高感度のレジストを必要とし、これらの開発が進められ、精度の良いものを得ている¹⁶⁾。

5.3 無電解銅めっき

導体パターンの作成にはめっき技術が採用されている。これは真空などの容器を必要とせず、厚い導体が容易に得られることによる。電解めっきが最も手軽なものであるが、パターンめっきでは数多くのパターンに対して厚さの均一性を得ることが難しい。パネルめっきでは均一な厚さとなるが、これをエッチングし、ファインパターンを得るためには、厳しい条件設定、管理が必要である。今後ファイン

表2. 低誘電率材積層板の特性比較

樹脂系	グレード	ϵ_r	$\tan \delta$	Tg(°C)	ガラス布
ポリイミド系	R4705	3.4(1MHz)	0.004(1MHz)	220~230	D
BT樹脂系	CCL-H810	4.2~4.5(1MHz)	0.0055(1MHz)	200~230	E
	CCL-H870	3.8(1MHz)	0.0015~0.0025(1MHz)	180	E
	CCL-HL870	3.5(1MHz)	0.001~0.002(1MHz)	190	D
	CCL-HL950	3.5(1MHz)	0.0012~0.0022(1MHz)	220	D
熱硬化PPE系	PPE(U)	3.2~3.6(1MHz)	0.0025(1MHz)	230~250	E
	PPE(E)	3.9~4.1(1MHz)	0.01(1MHz)	120~140	E
	TLC-W-596	3.6(1MHz)	0.002(1MHz)	160	E
熱硬化PPO系	R-4726	3.5~3.65(1MHz)	0.002~0.004(1MHz)		E
	R-4755	3.9	0.003		E
PTFE系	R-4737	2.6~2.7(1MHz)	0.0005~0.0009(1MHz)		E
	MCL-T-68	2.7	0.0025		E
	R03003	3(10GHz)	0.0013(10GHz)		E
MS樹脂系	MCL-V-67	3.4~3.7		>230	S
変性エポキシ系	L-6901C	3.9(1MHz)	0.007~0.008(1MHz)	170	E
	MCL-E-65	3.5(1MHz)	0.01~0.015(1MHz)		
	ELC-4778	3.9(1MHz)	0.006(1MHz)	153	E

化が進むとパターンめっき法が優位となると思われ、この技術の検討が必要である。

電解法では通電のリードを設けるため、パターン形状、製造プロセスが複雑になる。これに対し、無電解めっきではパターンに応じて、任意の位置にめっきを析出させることができる。微細パターンをフルアディティブ法により作成されている。また、微小径穴を触媒化することなく無電解銅めっきをすると柱状ビアの形成が可能で、ビア空間を小さくできる。穴内のめっき液の供給¹⁷⁾、銅面の酸化物の除去¹⁸⁾など、十分な検討により、興味あるものが得られている。

無電解銅めっきは還元剤の新しいものが開発されており、今後も発展する重要な技術である。

5.4 防塵対策

MCM基板は初期のLSI内部の配線に近づいてきている。プリント配線板に用いる材料の純度は高くなってきているが、シリコンウエハのように高純度のものではない。また、ワークパネル自体より塵埃が発生しやすい。このため、作業環境は従来に比べ、飛躍的に改善した防塵対策が必要になる。

ファインパターン、微小ビアを作成する工程ではパターン作成の環境、樹脂コーティングの環境など、洗浄方法も含めて、塵埃のクラスをより向上させるとともに、クリーンベンチなどの有効活用が必要である。めっき環境も重要で、外気より遮断されたセミクリーンな環境、各種溶液の精密ろ過などにより、常に清浄な液とすることが、加工の高精度化、歩留まり向上に寄与すると考える。

6. おわりに

以上、MCM実装基板について、有機樹脂基板の可能性と、製造の技術について概観した。高付加価値製品として、このようなものが伸長していくことが望まれ、これに少しでも参考になれば幸いである。

(1996.5.9—受理)

文 献

- 1) 高木清：“MCM/LSI実装の概念と最近の動き”，サーキットテクノロジー，9，No.5，p.319，1994.
- 2) Y.Tsukada, N.Watanuki, S.Okamoto, I.Syouji：“The Design of Flipchip Joint by Other Metal Bump—Flip Chip Attach Technology”，Proc. 8th IMC, p.419, April 20-22, 1994.
- 3) T. Tsukada, S. Tsuchida, Y. Mashimoto：“Surface Laminar Circuit and Flip Chip Attach Packaging”，Proc. 7th IMC, p.252, June 3-5, 1992.
- 4) 高崎義徳：“フルアディティブ法を用いたビルドアッププリント配線板”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，15A-01, March 13～15, 1996.
- 5) 川本峰雄，ほか：“超小径フォトビアプリント配線板と感光

性材料”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，15A-05, March 13～15, 1996, など.

- 6) 矢内正訓：“VIL超高密度ビルドアップ多層基板”，電子材料，35, No.4, p.63, 1996.
- 7) H.Brösamle, B.Brabetz：“Technology for a Microwiring Substrate”，Siemens Forsch. Entwickl. Ber.17, No.5, p.249, 1988.
- 8) 竹ノ内敏一，ほか：“ポリイミドフィルム多層基板の開発”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，15A-10, March 13～15, 1996.
- 9) 新井雄史，ほか：“熱硬化性PPE樹脂ビルドアップ多層配線板の開発”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，15A-02, March 13～15, 1996.
- 10) 広田清貴，ほか：“新方式による薄板プリント配線板”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，15A-06, March 13～15, 1996.
- 11) 菅野雅雄，ほか：“アディティブ法内層板を利用した小径IVH付多層配線板”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，15A-04, March 13～15, 1996.
- 12) Y. Uno, Y. Takahashi, S. Ozawa, K. Nakakuki, Y. Iguchi, T. Kanamori, Y. Kasuya：“High Density Interconnect Technology for Thin Film Multilayer Substrate”，Proc. 8th IMC, p.61, April 20-22, 1994.
- 13) 中谷誠一，ほか：“全層IVH構造を有する樹脂多層基板”，9th 回路実装学術講演大会講演論文集，15A-11, March 14～16, 1995.
- 14) 大平洋，ほか：“新製法(B²it)によるプリント配線板の提案”，9th 回路実装学術講演大会講演論文集，15A-10, March 14～16, 1995.
- 15) N.Kawauchi, T.Wada, T.Miki：“Manufacturing of Printed Wiring Boards by Ultra-High Speed Electroforming”，PCWC-5, B4/2, UK, 1990.
- 16) 柳ヶ瀬昭，ほか：“レーザ直接描画用ドライフィルムレジストのパターン形成”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，14A-08, March 13～15, 1996.
- 17) 阿部真二，ほか：“フィルム積層方式による薄膜多層配線基板”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，14A-02, March 13～15, 1996.
- 18) 板橋武之，ほか：“微小バイアホールの無電解めっき”，10th 回路実装学術講演大会講演論文集，14B-08, March 13～15, 1996.

高木 清 (たかぎ きよし)

昭和7年生まれ。昭和30年，横浜国立大学工学部応用化学科卒業。現在，高木技術士事務所所長。多層プリント配線板関係の技術コンサルタント。