ビルドアップ・プロセス技術

Manufacturing Technologies for Build-up Process

高木 清*

プリント配線板におけるビルドアップ・プロセスは、最近になって多くの企業が開発に着手してきた。この方法は1967年頃には既に開発されていたが、その後、めっきスルーホール法が大勢を占め、ビルドアップ法は薄膜基板の分野で大きく発達した。1991年にこの手法であるSLC^{1),2)}が発表されてから、プリント配線板に関して、急速に開発の気運が高まったものである。

ビルドアップ・プロセスはバイアの制限を解決し、ファインパターン、ファインピッチを実現しようとするもので、従来の基板に比べ、より高いレベルのものを狙ったものである。

ビルドアップ・プロセスによるプリント配線板について数多くの技術が関係するが、ここではその中で絶縁層におけるバイアの形成、および導体のファインパターン形成を中心に説明する。

1. ビルドアップ・プロセス

ビルドアップ・プロセスによる多層プリント配線板は導体層を絶縁層とともに一層毎に積み上げ、順次層間を接続し、配線板を製作する方法である。層間の接続にはめっきによる金属導体、あるいは導電ペーストなどが用いられる。このプロセスによる配線板は、一部を除き、配線を主とする部分と強度を保持する部分とが分離されてきている。

多くの方法はめっきを主体としているので、めっき法によるものについて説明する。導電ペーストによるものは省略した。

Fig.1 Build-up process (Photo-via/panel plating).

*Kiyoshi Takagi

高木技術士事務所/Takagi Associates

Fig. 2 Build-up process (Laser-via/Semi-additive plating).

めっきを用いたビルドアップ・プロセスでは感光性絶縁材料を用いる方法、非感光性絶縁材料を用いる方法がある^{3),4)}。

Fig. 1は最も一般的な感光性材料によるホットバイアを持つもののプロセスである。コアとなる部分には、プリント配線板としてはガラス布基材樹脂積層板による両面板、多層板が用いられる。これに、感光剤を塗布またはラミネートを行い、マスクフィルムと密着して露光、現像することにより、バイアとなるブラインド穴を形成する。光を用いるのでホットバイア（ホットバイアともいう、ここではバイアを用いる）と呼ばれる。

この後、導体を形成するために全面に無電解銅めっきなどの導通化処理を行い、電解めっき、エッチングを行って表面の導体を形成する。Fig. 1では、全面めっきに

Fig. 3 Build-up process (Copper foil masking laser-via/panel plating).

によるパネルめっき法で示した。

これで一層の導体層が完成し、この上に絶縁層を重ね、同じ工程を繰り返すことにより、層を積み上げていく。

実際には、そりねじれを防止するため、コア基板を中心に対称形に導体を形成していく。液状樹脂を積み上げる場合、次第に凹凸が拡大するので、現在のところ、片側、2～3層である。特殊な研磨などを行えばより高多層化も可能と考える。

非感光性絶縁樹脂を用いる場合には2つの方法があり、1つは銅箔を用いず、レーザビームをスキャンしてバイアの穴を明ける方法、もう1つは、銅箔を積層、接着し、この銅箔をマスクとしてレーザまたはプラズマでバイア穴を明ける方法である。銅箔を用いず樹脂層を形成する方法は、Fig. 2のようにレーザのビーム形状を調節した後、1個ずつスキャンして明けていく。この図はパターンめっき法で示した。

銅箔を用いた場合には、Fig. 3に示すように、銅箔をマスクとしビーム形状を大きくしたレーザで1個ずつスキャンする方法と、帯状のレーザでスキャンする方法が

Fig. 4 Comparison of via and pattern formation process in build-up method.

Fig.5 Plated pillar via.

ある。また、チャンバーに入れ、プラズマによる穴明けも可能である。この場合、マスクとする銅箔のパターン形成が必要となる。

非感光材料を用いたものでも、バイアの穴を形成した後は感光性材料を用いたものと同じである。これらの関係を示したものがFig.4である。

Fig.5はバイアを柱状にしたものの断面で、ブラインドホールと比べてバイアの占める空間が小さく、配線領

域をより拡大できる方式である⁵⁾。この場合にはバイアと表面パターンの作成は別工程となる。

2. 導体パターンの仕様

プリント配線板上に再現すべきパターンの仕様を考える。

ビルドアップ法によるプリント配線板は高密度配線が前提である。高集積化、小型化の結果、単位面積あたりの配線長は飛躍的に増大を続けているので、ファインライン、ファインピッチの導体幅/間隙となり、1導体層では収容しえないので、多層化の方向に向かう。層間の接続を行うバイアを微小径のものとし、配置の自由度の大きいことが要求される。

寸法の要求仕様は次のようなものが考えられる。

パターン幅	100～25 μm
パターン間隙	100～40 μm
バイア径	200～50 μm
ランド径	300～70 μm
層間厚	100～40 μm

この仕様は信号系を示すもので、電源供給層、グラウンド層についてはその電気特性により決められる寸法となる。

導体厚は30～5 μm のものが作られているが、基板に求められる特性により仕様が決められている。

電気特性としては導体抵抗が低いこと、絶縁抵抗が高いこと、信号伝搬特性、高周波特性、EMI特性を満足すること、などがある。

部品実装において、ファインなピンピッチを持つBGA、CSPやベアチップ実装が普及すると、基板の耐熱性、寸法安定性が必要となってくる。

3. マイクロバイアの形成

3.1 絶縁材料

ビルドアップ層形成の絶縁材料はプリント配線板としての特性を左右する重要なものである。多くのコア材、塗布材料、ラミネートフィルムなどにはエポキシ樹脂が用いられている。そのほかの耐熱樹脂の適用も進んでいる。エポキシ樹脂の耐熱性も年々向上し、ガラス転移点で170℃前後となってきている。

コーティングする液状樹脂、またはラミネートする接着フィルムではガラス布を含まず、それだけ誘電率は小さくなる。最近までに発表になっているビルドアップ用の材料をTab.1に示す。絶縁抵抗は樹脂自体、あるいは積層板で $10^{13}\Omega$ 以上の値を持っている。

Tab.1 Characteristics of dielectric materials for build-up substrates.

Types		Appearances and application							Characteristics						
		Resin	Appearances	Resin layer formation	STD thickness (μm)	Via drilling Methods	Developing agent	resin roughening method	Peel ST. (KN/m)	Solder temp. resistance at 260°C.)	Glass transition temp. (°C)	Coef. of thermal expansion (ppm/°C)	Water absorption (D-24/23 (%))	Dielectric constant (1MHz)	Loss tangent (1MHz)
Photosensitive Resin	BF-8000	Epoxy	Dry film	Vacuum lamination	50,70	UV light	Alc.+water	KMnO ₄	0.8~1.2	› 60					
	BL-8000	Epoxy	Liquid		50	UV light	Alc.+water	KMnO ₄	0.8~1.2	›120					
	XP-9500CC	Epoxy	Liquid			UV light	Alkaline	MLB211 MLB213 MLB216-2	› 0.7		›180	60~70	› 0.5	3.2	
	Probiacot 5000	Epoxy	Liquid			UV light			1.0~1.4		165~175	55	0.8		
Thermosetting resin	AS-3000	Epoxy	Dry film	Vacuum lamination	50	Laser	-----		Mat side 1.56	Mat side 240	105	30 (<Tg)	1.3	3.8	0.025
	Planeset AE-3000	Epoxy	Liquid		50	Laser	-----	KMnO ₄	›12	› 60	170	60 (< Tg)	1.2	3.8	0.02
	MCF-3000E(HF)	Epoxy	Dry film	Vacuum lamination	50	Laser	-----	-----	1.3~1.5		120~130	40~50 (<Tg)		3.8	0.025
	MR-500	Epoxy	Resin coated copper foil	Press lamination	Cu:12 Resin: 30~100	Laser	-----	-----	1.32	› 60	138			3.8	0.012
Resin coated Copper foil	CAD-1880	Epoxy	Resin coated copper foil	Press lamination Roll	80	Laser	-----	-----	1.5	› 60	140		0.5	3.8	0.02
	PPE-PCC	PPE	Resin coated copper foil	Press lamination	60	Laser	-----	-----	1.8	›120	› 200	50~90	0.10 (PCT 24hrs: 0.34)	2.9	0.002

3. 2 感光性絶縁材料によるバイア形成

この工程は表面パターンを形成する工程と類似している。Fig. 6のようにバイア穴を形成するために絶縁樹脂をコートするコア基板もプリント配線板で、導体パターンの凹凸を持つ表面である。接着性を向上するために、機械的な研磨、脱脂の後、銅表面をわずかに溶解するマイクロエッチング、酸洗を行う。これらの各処理後には必ず純水洗を行う。コア基板の厚さが小さい場合、機械的研磨を省略している。また、脱脂はパネル表面の状態により省くことがある。銅面の接着性を向上するために黒色酸化処理やその還元処理、あるいは、凹凸のある無電解銅めっきなどを行うことが多い。

このように処理したパネルは乾燥後、感光樹脂に対し安全光の照明のクリーンルームで樹脂をコートする。液状の場合には、スクリーン印刷、スプレーコート、ロールコート、押出しコート、カーテンコートなどの各種の方法でコーティングする。ドライフィルムは真空ラミネーターによりラミネートする。樹脂の性質によりそのまま露光す

Fig. 6 Viahole formation with photosensitive resin.

Tab.2 Characteristics of laser drilling equipment.

Items \ Types		IMPACT GS500H	INPACT LAVIA150	ML-508GT-5003D	NLC-1B21
Drilling speed	Total Drilling speed	2400 holes/min	3000 holes/min	4000holes/min	4000 holes/min
	Galvano-positioning speed	150 holes/sec	300 holes/sec	400 holes/sec	250 holes/sec
Positioning accuracy	Total Positioning accuracy	$\pm 30\mu\text{ m}$	$\pm 30\mu\text{ m}$	$\pm 30\mu\text{ m}$	-
	Galvano-positioning accuracy	$\pm 20\text{ m}$	$\pm 20\text{ m}$	$\pm 20\text{ m}$	$\pm 20\text{ m}$
Drilling hole diameter		max : $400\mu\text{ m}$ min : $50\mu\text{ m}$	max : $400\mu\text{ m}$ min : $50\mu\text{ m}$	max : $400\mu\text{ m}$ min : $50\mu\text{ m}$	max : $400\mu\text{ m}$ min : $50\mu\text{ m}$
Drilling area	Galvano-positioning area	50x50mm	50x50mm	30x30mm	50x50mm
	Max. Drilling area	500x550mm	500x550mm	500x500mm	535x690mm
Oscillator	System	TEA	TEA	3axis rectangular SD	RF oscillation
	Frequency	150Hz	150Hz	8~1000Hz	10~1000Hz
	Wave length	9.6m m	9.6m m	10.6m m	10.6m m
	Peak power	1x10 ⁷ W	1x10 ⁷ W	5000W	500W
	Puls width	100ns	4~255m s	1~100m s	-
Drilling materials	Epoxy resin	fair	fair	fair	fair
	Glass-epoxy	fair	fair	fair	fair
	Other resins	fair	fair	fair	fair

るもの、露光前キュアを行うもの、保持時間を必要とするものなどがある。

露光はマスクフィルムと真空中で密着させ、紫外光で露光する。その条件は樹脂の特性と厚さを考慮し決定する。露光は放物面鏡を用いた平行光線を用いる。

露光後、樹脂に適合した現像液で現像し、パイアの穴を完成させる。一般に樹脂はアルカリ可溶性のものを用いるので、現像液は炭酸ナトリウム、または水酸化ナトリウム溶液を用いている。水洗乾燥後、樹脂を完全に硬化させるために、紫外線または熱によりキュアを行う。ほかに、溶剤現像のものもある。キュア完了後、導通化処理被膜との密着性を高めるため、過マンガン酸カリ溶液などで樹脂面の粗化を行う。キュア条件、粗化条件は樹脂の性状により決められる。

3. 3 非感光性絶縁材料によるパイア形成

(1)銅箔を用いない場合

非感光性絶縁材料で銅箔を使用しないでパイア穴を明ける場合、レーザを走査して、樹脂を化学的に分解し穴を形成する。レーザとして、炭酸ガスレーザが主として用いられている。その特性をTab.2に示した³⁾。レーザは高出力のパルス波で、ガルバノミラーで、50~30mm[□]

をスキャンする方式である。穴の形状はレーザの発振器に依存し、条件を調整、真円度、テーパーを整える。全体の速度は2400~4000穴／分程度である。

樹脂のコーティングは前項と同じように、基板表面の清浄化、各種の方法による塗布を行う。塗布後、位置を合わせレーザ加工を行う。

レーザ加工後、穴内が清浄なことが必要で、加工条件で樹脂を除去するのが理想である。残留している場合、これを除去する工程が必要で、樹脂粗化と同時に行っている。この組成、条件の検討が必要である。

(2)銅箔を用いる場合

銅箔を用いる場合、Tab.2のように銅箔に樹脂をコーティングしたものを使用するか、あるいは、銅箔と接着シートを、積層プレスで積層接着する。パイアの穴を明ける場合、ここで接着した銅箔をマスクにするので、Fig.3のように、あらかじめホトエッチング法で銅箔にパイアパターンを形成する。

銅箔のマスクを通して、レーザまたはプラズマにより穴を明ける。レーザとしては、前記、炭酸ガスレーザのほかに、エキシマレーザ⁶⁾、Nd:YAGレーザ⁷⁾などが用いられる。エキシマレーザはスポットを照射する場合と

帯状のレーザスキャンする場合とがある。Nd:YAGレーザは赤外光のため、第3高調波や第4高調波の紫外光が用いられる。レーザの照射条件は樹脂の除去、穴壁の形状、下部導体よりの反射などを考慮して決められる。

プラズマの場合、真空チャンバーに入れ、O₂、CF₄などのガスによるプラズマで樹脂を除去する。

銅箔をマスクとする場合、樹脂が除去されると、オーバーハングとなり、スリパー（sliver）となることがある。これを防ぐために、処理後、銅箔のハーフェッチングを行い発生を防いでいるが下層導体の減少に注意する。

銅箔を用いると、表面に銅箔があるため、樹脂との密着性を高める樹脂の粗化工程は不要になる。

以上により、バイア形成の穴が完成する。

4. ファインパターンの形成とめっきプロセス

ビルドアップ・プロセスによるプリント配線板はバイアが微小になっているために、ファインパターンを持つことが必要である。しかし、ビルドアップ法自体はファイン化の方法ではない。ファイン化を達成するためには、パターン形成法と、導体を形成するめっきとが密接な関係がある。

4.1 めっきによる導体形成

柱状のバイアを除き、バイアのめっきと表面パターンの導体とは同時に作成される。

バイアの穴の完成したパネルは各種の導通化処理法により導電性を与える。方法として、長い間使われてきている無電解銅めっき法、最近注目されてきているダイレクトプレーティング法がある。後者は急速に発達しているが、ここには無電解銅めっき法によるプロセスをFig. 7に示した。始めに、導通膜との密着性を向上するために樹脂の膨潤、過マンガン酸カリなど酸化剤による処理を行い、粗面化する。その後、樹脂表面の調整を行い、パラジウムによる触媒化、活性化を行い、無電解銅めっきを行う。

一般にはパネルめっき法により導体層を形成しているので、続けて、電解銅めっきにより所定の厚さの導体とする。この後、エッチングレジストのパターンを形成、エッチングにより導体パターンを作成する。

このほかに、無電解銅めっき後、めっきレジストによりパターンを作成、パターンめっきを行うものと³⁾、触媒化後、耐めっきレジストによるパターン形成を行い、無電解銅めっきによって、導体パターンを形成するフルアディティブ法プリント配線板⁹⁾とする場合のものがある。

Fig.7 Conductive layer formation with electroless copper deposition.

4.2 パターン形成法

めっきにより製造パネル全面を導通化した後、Fig. 8のプロセスにより表面のパターンを形成する。

樹脂表面を無電解銅めっき被膜を形成したもの、銅箔を持ち、穴内を無電解銅めっきで導通化したものについて、Fig. 8に示すように、始めにレジストの密着性を向上するために銅表面の整面を行う。このパネルに感光性のレジスト被膜を形成する。レジストは液状ものと、ドライフィルムがある。液状レジストでは現在使用されているものはEDレジスト（Electrophoretic Deposited Resist）である。感光性ポリマーをコロイド状に分散した液を用い、電界をかけ、電気泳動により電極にレジスト膜を析出させるものである。密着性がよく、均一な被膜を得ることができ、ファインパターンに適している。感光性ポリマーには光により硬化するネガタイプと、溶

解するポジタイプがある。平面のパターン作成にはネガ型を、穴内を保護するものにはポジ型が用いられる。

ドライフィルムはポリエステル (PET) とポリエチレン (PE) のフィルムの間に感光剤を挟んだサンドイッチ状のものになっており、PEフィルムをはがしながら、熱ロールによりパネルにラミネートする。フィルムは穴をまたがってテント状に張られる。マスクのずれに対応するために、レジストが穴の中に流入するような粘性としている。パターンめっき法を行う場合にはめっき厚とレジスト厚とを適合させるため、ドライフィルムが使用される。感光剤にはコート後、一定の条件での保持の時間を必要とするものがある。

感光剤をコートしたパネルはパターンマスクを通して露光を行う。マスクフィルムを密着させ、平行光を用いて露光する。感光剤の感度を上昇させ、レーザのスキャンニングで直接露光する方法も実用化されており、この場合、マスクが不要となるので精度が向上する¹⁰⁾。

この後、パネルめっきでは現像、エッチングすること

で、導体パターンを完成する。エッチングは導体の厚さに応じ時間を調整する。コンベア、スプレー方式が一般的で、エッチング液の種類、濃度、温度、圧力、その他の条件を十分に検討のうえ、安定したエッチングとなるように管理している。ファインパターンとする場合、導体厚は通常薄いことが多い。

パターンめっき方式による場合、レジストパターンの作成後、電解によりパターン部のめっきを行い、レジストを剥離後、エッチングを行う。無電解銅めっきのみでパターンを形成すると、エッチング量は2～3μmで短時間でエッチングが完了する。

アディティブ法ではFig. 7において、触媒化の完了したところで、耐アルカリ性のめっきレジストのパターンを形成し、必要とする導体厚まで無電解銅めっきを行う。レジストは永久レジストである。

ビルドアップ法におけるプリント配線板のパターン幅／間隙が従来のものに比べ飛躍的に微細になっているので、製作の環境が重要で、パターン形成工程における前処理、感光剤コート、露光工程における防塵対策、アートワーク、感光剤コート、露光の作業室の温湿度の管理、めっき工程の室の防塵、各種処理液の超微細濾過の必要性など工程全体にわたって従来と異なる方策が要求される。

4. 3 めっきプロセスとパターン

現在、製造パネル全面にめっき層を構成し、これをエッチングレジストでエッチングすることで、導体パターンを得ている。

パネルめっき法をFig. 9(a)に示す。樹脂表面を導通化し、全面にめっきし、レジストによりエッチングしたもので、めっきした銅層の厚さをエッチングしている。同じく(b)は銅箔をもつもののパネルめっき品で、めっきと銅箔の厚さを加えたものをエッチングしている。エッチング液の圧力により速度は異なるが、進行スピードは等方的で、下方とサイド方向とに進行する。したがって、厚さに比べパターン幅が小さいとパターン形状の変化が大きくなるので、微細パターンを得るために導体厚さを必要最小限に小さくしている。

(c)はめっきレジストを用いて、パターンめっきにより形成したものである。電解めっき法ではパネル全面に2～3μmの無電解銅めっきを行い、レジストパターンを

Fig. 8 Pattern formation with photo etching process.

Fig.9 Plating method and pattern formation.

形成して、パターン部のみ電解めっきをする。したがって、パターンの精度はレジストの解像度に依存し、高精度なパターンを得ることができる。この方法はセミアディティブ法といわれている。パターンの粗密により電流を調整しなければならず、また、パターンの粗な部分、縁端部分で厚さの不均一が大きくなり、管理が困難で普及していない。

ファインパターンの作成にはフルアディティブ法が注目されている。Fig. 9(c)において、触媒化後にめっきレジストのパターンを形成し、無電解銅めっきで所定の

厚さとする。レジストのパターンにしたがった、全面に均一な厚さのパターンとなる。この方法は無電解銅めっきの物性と密着性、レジストの耐アルカリ性が問題であるが、最近では解決されてきている。

☆ ☆

以上、ビルドアップ・プロセスにおけるバイア形成とパターン形成を中心に関連の技術を概観した。現在、発展途上の技術で、ファインパターン、ファインピッチに対する要求は強く、今後の信頼性の検討とともに、製造技術上の技術的発展が期待できる。付加価値を大きくし、適用分野も拡大していくことが期待される。

参考文献

- 1) 塚田：表層プリント配線板 (SLC) とフリップチップ実装技術、表面実装技術, 1, No10, p. 28, 1991
- 2) Y. Tsukada, S. Tsuchida, Y. Mashimoto: Surface Laminar Circuit and Flip Chip Attach Packaging, Proc. 7th IMC, June 3~5, p. 252, 1992
- 3) 高木：ビルドアップ多層プリント配線板の開発動向、表面実装技術, 6, No1, p. 2, 1997
- 4) 高木：近年のMCM実装基板技術の動向、回路実装学会誌, 11, No5, p. 311, 1996
- 5) Y. Uno, Y. Takahashi, S. Ozawa, K. Nakakuki, Y. Iguchi, T. Kanamori, Y. Kasuya: High Density Interconnection Technology for Thin Film Multilayer Substrate, IMC 1994 Proc., WB1-4, p. 61, April 1994
- 6) H. Brösamle, B. Brabetz: Technology for a Microwiring Substrate, Siemens Forsch. Entwickl. Ber., 17, No5, p. 249, 1988
- 7) W. Schmidt: The Application of Plasma for the Production of Low-Cost, High-Density PWBs and MCM Substrates, Proc. PCWC VII, 1-10, May 21~24, Basel, 1996
- 8) 石原, 樋口：フリップチップ実装対応ビルドアップ基板, 電子材料, 35, No10, p. 35, 1996
- 9) 高崎：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回路実装学会講演論文集, 15A-01, March 13~15, 1996
- 10) 奥山：ダイレクトイメージング・システムと実用例, 表面実装技術, 6, No5, p. 42, 1996

【執筆者紹介】

高木 清 (たかぎ きよし) 当協会正会員
1955年、横浜国立大学・工学部応用化学科卒。同年、富士通(株)入社。電子材料、多層プリント配線板製造技術の開発に従事。1989年より高木技術士事務所、技術士、回路実装学会会員。