

半導体パッケージ基板用ビルドアップ材料の最新の技術動向

真子 玄 迅^a

^a味の素(株) バイオ・ファイン研究所(〒210-8681 神奈川県川崎市川崎区鈴木町1-1)

Recent Trend of Build-Up Dielectric Materials for IC Package Substrates

Genjin MAGO^a

^aResearch Institute for Bioscience Products & Fine Chemicals, Ajinomoto Co., Inc.(1-1, Suzuki-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 210-8681)

Keywords : Build-Up Material, IC Package Substrate, Epoxy Resin, Dielectric Material, Semi-Additive Process

1. はじめに

近年の高度情報化社会の急速な発展により、電子機器の高性能化、高速処理化、小型化が進んでいる。半導体はムーアの法則に従い集積化を高め、その半導体を搭載するパッケージ基板も、より一層の微細化・高密度化が要求されている。ビルドアップ工法はプリント配線基板の微細化・高密度化に対して非常に有効な手段であり、各社によって様々な材料や工法、構造の開発が進められ実用化に至っている^{1,2)}。半導体パッケージ基板もこのビルドアップ工法を採用し、大きな進化を遂げてきた。本稿では、半導体パッケージ基板のビルドアップ材料に求められる特性を紹介するとともに、最近の技術動向についても解説する。

2. ビルドアップ基板

ビルドアップ工法はプリント配線基板の製造方法の一つであり、FR-4などのガラスエポキシ基材を使用した内層基板の両面に絶縁層と導体層を交互に形成して多層基板を製造する方法である。1990年に日本アイ・ビー・エム社がSLC (Surface Laminar CircuitTM)の量産を始めて以降、様々な構造、プロセスやビルドアップ材料が開発されてきた。層間導通のためのビア形成をフォトリソ技術で行う感光性材料や、金属ペーストを使って層間導通を行う方法、銅箔を使用して回路形成する方法などがある。携帯電話やスマートフォンなどのマザーボードは、「エニレイヤー基板」と呼ばれるビルドアップ基板が多く使用されている。半導体パッケージ基板においては熱硬化性樹脂を使用し、レーザー加工によりビアを形成した後、銅めっきで回路形成する方法が一般的である。また絶縁層を平滑に形成できること、厚み均一性や作業性などが優れているという理由からビルドアップ材料にはフィルム形態の材料が使用されている^{2)~5)}。

3. ビルドアップ材料に要求される性能

半導体パッケージ基板のビルドアップ材料には、表1に示

すような特性が求められる。

基板の高密度化要求により配線の狭ピッチ化が進み、現在では20~30 μ mピッチでデザインされるケースも少なくない。そのため、ビルドアップ材料は狭ピッチ配線間での絶縁性が求められる(線間HAST, Highly Accelerated temperature and humidity Stress Test)。更に基板の薄型化に対応するために薄膜での絶縁性も強く要求される(層間HAST)。半導体パッケージ基板では微細配線形成を行うために、直接ビルドアップ材料上に銅めっきで回路形成するセミアディティブ法が採用されている。そのため、銅めっきとの高い密着性が必要となる。最近の半導体駆動周波数はGHzオーダーになっており、信号特性に対する要求も厳しい。そのためビルドアップ材料の比誘電率、誘電正接も目的に合わせて最適化しなければならない。環境調和の観点から、半導体と基板の接合は鉛フリーはんだを使用するケースが増えている。ビルドアップ材料では、実作業温度のばらつき等も考慮して、通常のリフロー温度設定よりも高い260~280 $^{\circ}$ Cのような高温での耐熱性も要求される。特に基板の薄型化に伴い、半導体チップ実装時の基板の反りに対する要求は非常に厳しい。反りを抑えるために熱膨張率を下げ、ヤング率を大きくする必要がる。難燃性も重要な特性の一つである。ハロゲンフリー化はもちろんのこと、絶縁信頼性や誘電特性、耐熱性、環境調和性などを兼ね備えたバランスの良い難燃素材を採用すること

表1 半導体パッケージ基板のビルドアップ材料に求められる特性一覧

項目	評価内容
絶縁性	HAST試験(層間, 線間)
銅めっき密着性	デスマリア性, ビール強度
誘電特性	比誘電率, 誘電正接
耐熱性	リフロー耐性(260 $^{\circ}$ C), 温度サイクル試験, 熱衝撃試験
チップ実装性	機械特性, 反り, 熱膨張率
難燃性	UL-94V ¹⁾ , ハロゲンフリー
回路形成	デスマリア性, フラッシュエッチング特性, DFR ²⁾ 密着性
ビア形成	レーザー加工性(炭酸ガス, UV-YAG), ビア底スマリア除去性

¹⁾ UL-94V: 米 Underwriters Laboratories 社の定める難燃性に関する規格。

²⁾ DFR: Dry Film Resist

が必要である。ビルドアップ基板黎明期には感光性絶縁材料を用いてフォトリソ技術でビアを一括形成する工法が採用されるケースが多かったが、近年ではレーザー加工機の加工速度が格段に向上し、レーザーにてビアを形成し層間の導通を取るケースが多い。従ってレーザー加工性も重要な指標の一つである。

4. ビルドアップ材料の仕様と特性

現在半導体パッケージ基板に使用されているビルドアップ材料は、ベースフィルム(PET, 38 μm)、エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂を主成分とする樹脂組成物、保護フィルム(15 μm)をあわせた3層構造になっている(図1)。ガラスエポキシ基材などを使用した内層基板の両面に、専用の真空ラミネータを使用してビルドアップ材料を両面同時積層する。所定の熱硬化を行った後、レーザーによるブラインドビアの形成、デスマ・銅めっき処理にて回路形成を行い、その工程を繰り返すことで多層化していくのが一般的なプロセスである。半導体パッケージ基板の場合、その多くは20~30 μm ピッチという微細な配線形成が必要なことから、セミアディティブ法が採用されている。以下にビルドアップ材料の仕様と特徴およびビルドアップ工法について詳細に説明する。

4.1 製品形態

初期には液状のビルドアップ材料が使用され、スクリーン印刷やカーテンコーターなどの方法によって絶縁層を形成してきた。しかしながら液状材料を使用する場合、①溶剤の臭気による問題、②片面ずつの絶縁層形成によりプロセスが煩雑で長いこと、③絶縁樹脂が回路の凸凹に追従して平滑性が悪く微細回路形成に適していないことなど、いくつか課題があった。フィルム材料はこれらの課題を全てクリアできるため、現在では多く採用されている(図2)。

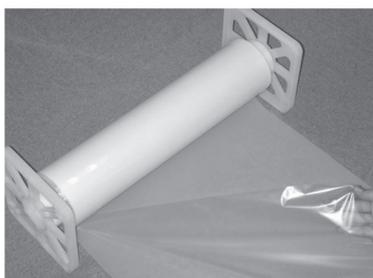
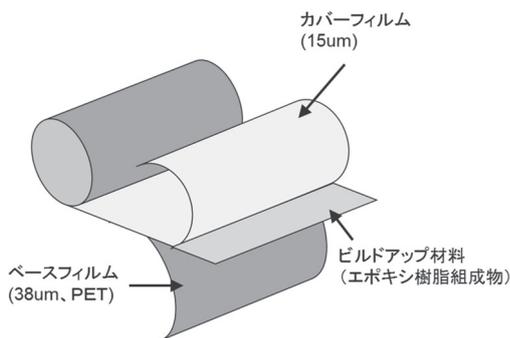


図1 ビルドアップ材料の3層構造

4.2 真空ラミネータによる積層

従来の多層基板は高圧の真空熱プレスによって積層されている。しかしながらこのプロセスは作業が煩雑である上に、作業時間も長く生産効率が悪い。フィルム状のビルドアップ材料を使用する場合、真空ラミネータを使用して、低圧で効率よく多層基板を作ることが出来る。2段チャンバー式の真空ラミネータが広く使用されており、最初の真空チャンバーでビルドアップ材料を内層基板に積層する。真空チャンバーを使用することで、気泡などを含むことなく積層することができる。続いて2番目のチャンバーで鏡面仕立てのステンレス板を使って熱プレスを行い、ビルドアップ材料の表面を平滑化する。この積層と平滑化をわずかに数分で行うことができ、タクトタイムを短くすることができる。

4.3 レーザー加工性

前述の通り、層間導通のためのビアはレーザー加工によって形成するのが一般的である。加工には専用の炭酸ガスレーザーやUV-YAGレーザーが使用されている。現在は開口径が65~50 μm 程度であるが、近い将来には50 μm 以下のビア径も必要になってくる。レーザー加工の際にビア底部分にスミアと呼ばれる樹脂残渣が発生する。このスミアは後のデスマ工程で確実に除去されなければならないが、もし除去が不十分だと銅めっきによる層間導通が確保できなくなる。従ってビルドアップ材料には十分なスミア除去性が求められる。

4.4 微細配線形成性

プリント基板の回路形成方法には大別してサブトラクティブ法とアディティブ法がある。サブトラクティブ法は基板全面に形成された銅から不要な部分をエッチングで取り除いて回路を形成する方法である。しかしながらサブトラクティブ法はエッチング時に配線が細りやすく、微細配線形成には向いていない。一方アディティブ法は絶縁材料上の必要な部分だけに回路を形成するため、配線が細る問題もなく、微細配線形成に向いており、半導体パッケージ基板の製造プロセスに広く採用されている。その一種であるセミアディティブ法は、絶縁材料上に直接形成した無電解銅めっき層を給電層として利用し、電解銅めっきで配線形成を行う⁶⁾。絶縁樹脂上に直接銅めっきを形成するこの手法においては、絶縁樹脂であるビルドアップ材料と銅めっきの密着強度が非常に重要である。

4.5 ビルドアップ材料の硬化物特性

表2に現在使用されている代表的なビルドアップ材料の硬化物特性値をまとめた。

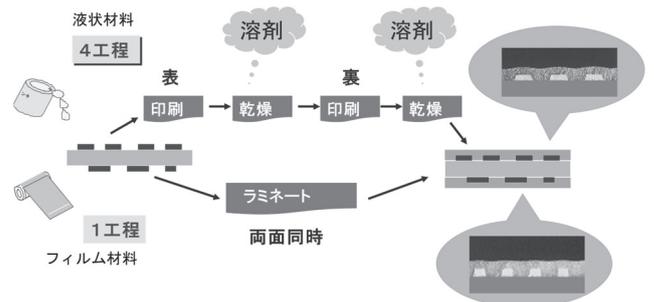


図2 液状材料とフィルム材料のプロセスの比較

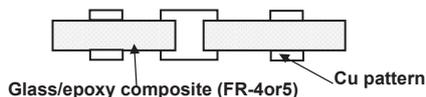
表2 ビルドアップ材料の硬化物特性

項目	エポキシフェノール系			エポキシシアネート系
	標準タイプ	低粗度タイプ	低CTEタイプ	高周波タイプ
	ABF-GX13	ABF-GX92	ABF-GXT31	ABF-GZ41
熱膨張係数(ppm/K)	46	39	23	20
T _g (TMA)(degC)	156	153	154	176
ヤング率(GPa)	4.0	5.0	7.5	9.0
引張強度(MPa)	93	98	104	120
伸び(%)	5.0	5.6	2.4	1.7
比誘電率(1GHz)	3.3	3.4	3.4	3.3
誘電正接(1GHz)	0.020	0.017	0.014	0.0074
難燃性(UL94)	V0	V0	V0	V0

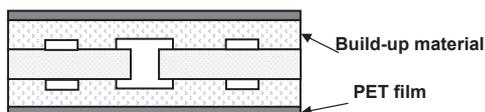
5. ビルドアップ工法による多層基板の製造プロセス

フィルム状のビルドアップ材料を用いた製造プロセスについて図3に示す。まず内層回路基板を準備する。一般的にFR-4あるいは5相当のガラスエポキシ基材をベースとする基板が使用される。次にフィルム状のビルドアップ材料から保護フィルムを剥離し、PETフィルムが付いたままの状態、真空ラミネータを用いて内層基板の両面に絶縁樹脂をラミネートする。ラミネートした絶縁樹脂からPETフィルムを剥離し、熱硬化を行う。その後レーザー加工によりビアを形成し、デスマア処理に進む。デスマア処理は一般的にアルカリ水溶液による膨潤工程、過マンガン酸エッチングによる酸化工程、還元剤によるマンガン残渣除去の還元工程の3工程から成っている。デスマア処理の目的はビア底部のスミア(レーザー加工時の樹脂残渣)除去を行うだけでなく、絶縁樹脂の表面をエッチングし、均一な粗さの凸凹形状をつくる

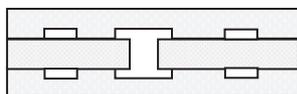
1; Preparation of inner board & Pre-drying (130degCx30min)



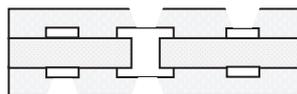
2; Lamination of Build-up material



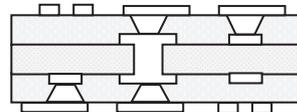
3; Removal of PET, cure in hot oven 170~180degCx30min



4; Via formation; CO₂ or UV-YAG laser



5; Pattern formation by Desemar & Cu plating (Semi-additive process)



6; Repeat 1~5 for multi layered PWB

図3 ビルドアップ工法による多層基板の製造方法

(図4)ことにある。この凸凹形状により、銅めっきとの密着を確保することができる。無電解銅めっきによる給電層の形成後、回路形成用の感光性ドライフィルムをラミネートし、露光・現像してネガパターンを形成した後、電解銅めっきによりパターンめっきを行う。ドライフィルムを剥離し、フラッシュエッチングで給電層を除去すると回路形成が完了する。最後に樹脂の本硬化と銅めっきのアニール処理を兼ねてポストキュアを行う。ポストキュアは180~200℃で1時間程度の熱処理である。これにより実用上十分なめっき密着性を得ることができる。更なる多層化を行う場合は、これらの工程を繰り返し行う(図3)。

6. 次世代層間絶縁材料への要求性能

6.1 微細配線形成のための低粗度化

セミアディティブ法では給電層を形成するためにビルドアップ材料の表面をデスマア処理した後に無電解めっきを施すが、銅めっきとビルドアップ材料の密着の観点からデスマア処理後の表面粗度は大きい方が望ましい。一方でフラッシュエッチングを行う際に表面粗度が大きいと無電解銅めっきを除去する時間が長くなり、回路自体もエッチングされ配線形状が細くなってしまふ。配線幅が微細化されてくるとフラッシュエッチングによる配線細りの問題が顕在化してくる。そこでより微細な配線形成を行うためには、めっき密着性を確保しながら表面粗度を小さくするという、相反する性能を実現する必要がある。図4は次世代向けの超微細配線対応として開発されたビルドアップ材料のデスマア処理後の表面SEM写真である。標準タイプに比べて、次世代用の低粗度タイプおよび低CTEタイプは表面粗度が小さくなっている。

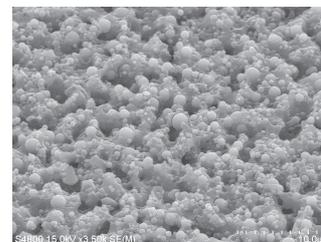
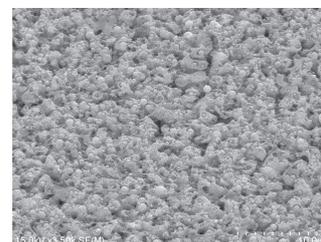
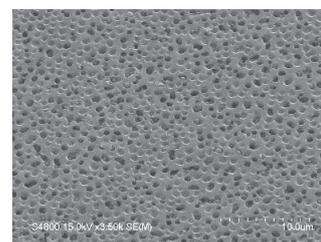
Standard type
(ABF-GX13)Low roughness type
(ABF-GX92)Low CTE type
(ABF-GX-T31)

図4 デスマア処理後のビルドアップ材料表面形状

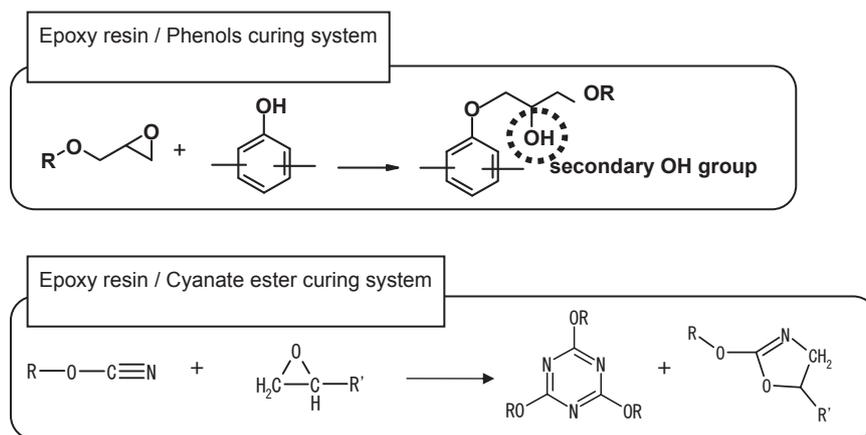


図5 エポキシ/フェノール系とエポキシ/シアネートエステル系の反応機構の違い

デスマア処理はアルカリ性過マンガン酸水溶液により樹脂表面を化学的にエッチングする工程であるが、親水性の高い樹脂が選択的にエッチングされる傾向がある。そこで樹脂の化学構造を変更し疎水性を上げる事により低粗度化を実現している。これにより線幅 10 μm 以下の超微細な配線形成も可能になる。

6.2 ビア小径化のための低熱膨張化

回路密度を高めるためには、配線ピッチを小さくするだけでなく、ビアの小径化も必要になる。このことは下層回路と上層回路との接続面積が小さくなることを意味しており、部品実装時のリフロー工程の際に接続不良を招く懸念がある。回路である銅とビルドアップ材料の熱膨張係数(CTE)に差があるためである。この懸念を回避するためにビルドアップ材料のCTEを下げる必要がある。またデスマア時の小径ビア底部分の樹脂残渣クリーニング性を向上させることもビアの接続信頼性にとって重要である。

6.3 高速伝送対応のための低誘電正接化

半導体の高性能化は高集積度化だけでなく、駆動周波数の高速化によっても図られる。近年では半導体チップ内だけでなくプリント基板内部でもGHz帯の高周波信号が流れるケースが多く、ビルドアップ材料にも高周波対応のための低誘電正接化が求められている。高周波数の電気信号が流れる場合、ビルドアップ材料の誘電正接が大きいと電気エネルギーが熱エネルギーに変換され、電気信号が損失し更に発熱も多くなる。従ってビルドアップ材料の低誘電正接化が必要になってくる。従来のビルドアップ材料は「エポキシ/フェノール」硬化システムを採用していたが、低誘電正接化には「エポキシ/シアネート」硬化システムを採用する。エポキシ/フェノール系では硬化反応時に2級水酸基が生成するが、この水酸基の極性が高いために誘電正接を下げるのが難しい。これに対しエポキシ樹脂とシアネート樹脂の組み合わせでは①シアネート樹脂の3量化によるトリアジン環の形成と、②エポキシ樹脂とシアネート樹脂の反応によるオキサゾリン環の生成が起こる(図5)。トリアジン環もオキサゾリン環も環状構造であるため比較的極性が低く、硬化物の誘電正接が低く抑えることができる。表2を見るとエポキシ・フェノール系よりもエポキシ・シアネート系の誘電正接が小さくなっていることが分かる。

ル系よりもエポキシ・シアネート系の誘電正接が小さくなっていることが分かる。

6.4 ガラスクロス入りビルドアップ材料

半導体パッケージ基板の薄型化として、コア基材を廃したいいわゆる「コアレス基板」が注目されている。ビルドアップ基板でコアレス構造を採用する場合、基板での剛性確保のためにビルドアップ材料に剛性が必要になる。そこでガラスクロスを補強材として含むプリプレグタイプのビルドアップ材料が開発されている。このプリプレグタイプのビルドアップ材料は、通常のビルドアップ材料と同様にフィルム形態で供給され、同様の加工設備とプロセスの適用が可能である。コアレス基板はスマートフォンに代表されるような薄型機器の高性能化に寄与できると期待されている他、コア基材を廃することによる電気特性の向上、更にはコストダウンにも対応でき、大きな期待を集めている。

7. おわりに

ビルドアップ材料は半導体パッケージ基板の高集積化・高速化・高機能化、ひいてはモバイル機器の発展において非常に重要な役割を果たしてきた。今後も半導体の進化を支えるために、ビルドアップ材料も進化していかなければならない。一方で持続可能な社会の実現のために、温室効果ガスの削減や省エネルギーによる環境負荷低減など、環境調和に配慮した材料やプロセス開発の必要性も高まってきている。高性能化と環境配慮の両立した材料およびプロセスの開発に期待したい。

(Received June 30, 2014)

文 献

- 1) 高木 清; ビルドアップ多層プリント配線板技術, (日刊工業新聞社, 2000).
- 2) 高木 清; 表面技術, 59, 570 (2008).
- 3) 竹内光二; エレクトロニクス実装技術, 14, 43 (1998).
- 4) 真子玄迅; 電子材料, 44, 57 (2005).
- 5) 真子玄迅; 電子材料, 48, 16 (2009).
- 6) 高木 清; 表面技術, 61, 350 (2010).