半導体パッケージ基板用ビルドアップ材料

真 子 玄 迅

Build-up Material for IC Package Substrates

Genjin MAGO (Ajinomoto Fine-Techno Co., Inc. 1-2, Suzuki-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki City, Kanagawa 210-0801, Japan) genjin_mago@ajinomoto.com

The build-up substrates are generally used for IC package. As the integration of semiconductor has increased, higher performance of insulation material is required for build-up substrates. In this article, the author explains the characteristics of build-up material required for IC package and latest technology trends for next generation.

Key Words : Build-up Material, IC Package Substrate, Epoxy Resin, Insulation Material

1. は じ め に

近年の高度情報化社会の急速な発展により、電子機器の高密度化・小型化が進んでいる。半導体はムーアの法則に従い高集積化を続け、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。ビルドアップ法はプリント配線基板の微細化・高密度化の有効な手段であり、各社によって様々な材料や工法の開発が進められ実用化に至っている¹⁾。半導体パッケージ基板もこのビルドアップ法を採用する例が増え、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共に、将来の技術トレンドについても解説する。

2. ビルドアップ基板

ビルドアップ法はプリント配線基板の製造方法の一つで、コア基板と呼ばれるガラスエポキシ基材の両面に絶縁層と導体層を交互に形成して多層基板を作る方法である。1990年に日本アイ・ビー・エム社が量産を始めて以降、様々な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、あるいは銅箔を使用して回路形成する方法などがあるが、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、厚み均一性が優れているなどの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²⁻⁴⁾。

3. ビルドアップ材に要求される性能

半導体パッケージ基板のビルドアップ材料には、Table1に示すような特性が求められている。

基板の高密度化により配線の狭ピッチ化が進み、現在では20～30 μm ピッチでデザインされるケースも少なくな

Table 1 Required properties of Build-up materials for IC-Package substrate

Item	Methodology
Insulating property	HAST (Layer-to-layer, intra-layer)
Adhesion to Cu plating	Desmear processability, Peel strength of Copper plating
Dielectric property	Dielectric constant, Dissipation factor
Heat resistance	Pb free reflow compatibility, Thermal cycle test, Hot oil test
Jisso reliability (Chip assembly)	Mechanical property, Warpage, CTE
Flame retardancy	UL-94V, Halogen Free
Pattern formation	Desmear processability, Flush etching, DFR compatibility
Via formation	Laser processability ($\text{CO}_2/\text{UV-YAG}$), Via bottom smear removability

真子 玄迅；味の素ファインテクノ(株)電子材料事業部カスタマーサポートグループ長（〒210-0801 川崎市川崎区鈴木町1-2）。平成7年九州大学大学院理学研究科修士課程修了。同年味の素(株)入社、現在に至る。専門は絶縁材料。

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。更には基板の薄型化に対応するために薄膜での層間絶縁信頼性も強く要求される。絶縁層の薄膜化は基板の薄型化だけでなく電気特性の向上にも必要になっている。

半導体パッケージ基板では微細配線形成を行うために、ビルドアップ材上に銅めっきによって直接回路形成する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強度が必要となる。近年の半導体の駆動周波数は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。鉛フリーはんだは従来のスズ・鉛はんだに比べて融点が高いために、実装時のリフロー温度が260～280℃と高くなっている。ビルドアップ材料ではこのような高温での耐熱性も必要である。また半導体そのものにLow- κ チップが採用されるケースが増えていることも要求の高度化に拍車を掛けている。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難燃素材を採用することが必要である。ビルドアップ基板が世に出始めた頃は、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もあったが、近年ではレーザー加工機の加工速度も向上し、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項目の一つである。

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、ベースとなるPETフィルム(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、保護フィルムのOPPフィルム(15 μm)を合わせた3層構造になっている。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、デスミア・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 ピッチという微細配線の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。以下にその仕様と特徴について詳細に説明する。

(1) 製品形態と厚み均一性

以前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溶剤の臭気により作業性が悪いこと、②片面ずつの絶縁層形

成によりプロセスが煩雑なこと、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。

(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製造されている。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数分で行うことができ、プロセスコストを低減できるのもこの工法の大きな魅力である。

(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、将来的には50 μm 以下のビア径も必要になるであろう。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。この樹脂残渣は後のデスミア工程で除去されなければならないが、もし除去が不十分である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) 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必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方法であり、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として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、電気銅めっきで配線形成を行う。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。

(5) ビルドアップ材料の硬化物特性

Table2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をまとめた。

Table 2 Characteristics of Build-up materials

Item	Standard	Low roughness	Low CTE	Low Df
	ABF-GX13	ABF-GX92	ABF-GXT31	ABF-GZ41
CTE (ppm/K)	46	39	23	20
T _g (TMA) (degC)	156	153	154	176
Young's modulus (GPa)	4.0	5.0	7.5	9.0
Tensile strength (MPa)	93	98	104	120
Elongation (%)	5.0	5.6	2.4	1.7
Dk@1GHz	3.3	3.4	3.4	3.3
Df@1GHz	0.020	0.017	0.014	0.0074
Flame retardancy (UL94)	V0	V0	≒ V0	≒ V0

5. ビルドアップ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多層基板の製造プロセスについてFigure1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FR-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する。その後のデスミア処理はビア底部のスミア除去を行うだけでなく、絶縁樹脂の表面を過マンガン酸でエッチングし、均一な粗さの凸凹形状をつくる (Figure 2) 目的がある。この均一な粗さの凸凹形状により、銅めっきとの密着を確保す

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 Desmear & Cu plating (Semi-additive process)

6; Repeat 1 ~ 5 for multi layered PWB

Figure 1 Manufacturing process of multi layered PWB by build-up method.

Standard type

(ABF-GX13)

Low roughness type

(ABF-GX92)

Low CTE type

(ABF-GX-T31)

Figure 2 SEM photographs of insulation resin surface after desmear process.

ることができる。無電解銅めっきによる給電層の形成後に回路形成用のドライフィルムをラミネートし、露光・現像した後、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170～190℃で1時間程度の熱処理である。これにより実用上十分なメッキ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す行う。

6. 次世代層間絶縁材料への要求性能

(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、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。Figure 2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。現世代の標準タイプに比べて、次世代向けの低粗度タイプおよび低CTEタイプのビルドアップ材料は表面粗度が小さくなっている。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10 μm以下の超微細な配線形成も可能になる。

(2) ビア小径化のための低熱膨張化

回路密度を向上させるためには、回路ピッチを小さくするだけでなく、ビアを小径化することも必要になってくる。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は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確保にとって重要である。

(3) 高周波対応のための低誘電正接化

半導体の高性能化は集積密度の向上だけでなく、処理速度の向上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に低誘電正接が求められている。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大きくなる。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

Figure 3

化によるトリアジン環の生成と、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 (Figure 3)。トリアジン環もオキサゾリン環も比較的極性の低い構造であるために、硬化物の誘電正接が低く抑えることができる。Table 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。

(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なくした、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をもたせるものが必要になる。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の形態で供給され、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。

References

- 1) Takagi, K.: "Birudoappu tasou purinto Haisenban Gijutsu", Nikkan Kogyo Shimbun Ltd. (2000)
- 2) Takeuchi, K.: Electronics Jisso Gijutsu, **14**, 43 (1998)
- 3) Mago, G.: Denshi Zairyo, **44**, 57 (2005)
- 4) Mago, G.: Denshi Zairyo, **48**, 16 (2009)

日本語表記参考文献

- 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) 竹内光二：ビルドアップ用層間絶縁材料, エレクトロニクス実装技術, **14**, 43 (1998)
- 3) 真子玄迅：電子材料, **44**, 57 (2005)
- 4) 真子玄迅：電子材料, **48**, 16 (2009)

本会発行出版物ご案内

ゴ ム 工 業 便 覧

(第四版)

B 5 版 1350 頁

(1994.1 発行)

定 価 36,750 円 (税込)

会員価格 33,075 円 (税込)

送 料 (当方負担)

〔 ゴムの物性から製造, 加工, 製品, 測定, 分析に至るまでを, 現在第一線で活躍中の斯界の権威者150余名の執筆陣により, 最も新しいゴムの科学・技術を提供いたします。 〕

* お申込の場合は, 必要事項(送付先住所, 勤務先, 氏名, 電話番号など)をご記入のうえ, FAXして下さい。

社団法人 日本ゴム協会 図書係あて
FAX 03 (3401) 4143