次世代微細配線回路形成への表面処理技術からの提案

山 崎 宣 広^a^a(株) JCU 総合研究所(〒 215-0033 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-4-3)The Proposals of Next Generation Fine Pitch Circuit Formation
from a Standpoint of Surface Treatment TechnologyNobuhiro YAMAZAKI^a^a R & D Center, JCU Corporation(2-4-3, Kurigi, Asao-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 215-0033)

Keywords : Fine Pitch, Semi Additive, Low Profile, Etching, Adhesion

1. はじめに

近年のスマートフォンに代表される電子機器の高密度化・高性能化要求により、内蔵されるプリント配線、および搭載されるフリップチップ(以下、FC)基板は更なる微細化が要求されている。そのような背景の中、FC-CSPやFC-BGA等の回路微細化には様々な工夫が必要である。

そこで我々材料メーカーとしては、各製造プロセスに適した薬品の開発と、前後工程の最適化を考慮して、微細配線化に向けたプロセスの提案が必須である。

2. セミアディティブプロセスについて

セミアディティブプロセスは、一般的なプリント配線を形成するサブトラクティブプロセス(絶縁樹脂上に銅箔が接着されている状態からパターンレジストを形成して、エッチング処理のみで回路を形成する)に比べ、回路形成に必要なエッチング処理量が少ないので、回路部の損失が少なく、より微細な回路が形成可能である(図1)。

ここでセミアディティブプロセスの製造工程および要求性

図1 工法別PWB製造プロセス

能を表1に示す。

まず初めに、絶縁材(樹脂)に層間接続用のブラインドバイアホール(以下、VIA)をレーザーにて形成し、残渣除去と樹脂表層の粗面化を目的として化学的にエッチング(デスマリア)を施して凹凸を形成し、そのアンカー(投錨)効果によってシード層(無電解銅めっき)を形成する。その後、ドライフィルムをラミネートし、露光・現像を経て電解銅めっきにて、パターンめっきを施す。ドライフィルムを剥離した後にシード層をエッチングして、単独回路を形成し、積層またはソルダーレジスト工程前に銅表面との密着向上として粗化处理を施し樹脂との密着性を向上させる。

3. セミアディティブプロセスの課題

本プロセスは細線回路の形成に最も有効である。しかしながら、近年は更なるファイン化や伝送損失低減、および耐衝撃性能向上等が要求され、FC製造メーカーは困難を極めているのが状況である。

また、近年は表皮効果(高周波電流が導体表面のみを流れるようになる現象)の影響低減のための回路表面の粗度低下や、CTE(熱膨張係数)の低下要求により様々な樹脂が市場に紹介されている。

そのような背景の中、ラインアンドスペース(以下、L/S)

表1 セミアディティブプロセスの工程と目的

工程	プロセス目的
VIA レーザー加工	層間接続用導通孔形成
デスマリア	樹脂表面粗化、およびVIA底部のスミア除去
無電解銅めっき	パターンめっき用のシード層形成
ドライフィルムラミネート	パターンめっき用レジスト形成
露光・現像	
電解銅めっき	パターンめっき
ドライフィルム剥離	レジスト除去
回路形成エッチング	シード層除去(単独回路形成)
パラジウム触媒除去	回路間金属除去
ソルダーレジスト/積層前処理	銅表面粗化
ソルダーレジスト露光/現像	最外層レジスト形成
ニッケル/金めっき	最外層の最終表面処理

表2 セミアディティブプロセスの工程とファイン化に対する懸念点

工程	懸念点
デスマー無電解銅めっき	低粗度樹脂と無電解銅めっきの界面密着力
ドライフィルムラミネート前処理	低粗度化に伴う、無電解銅めっきとドライフィルムの密着力
ドライフィルム露光/現像	ファインピッチ回路の露光精度、および現像性残渣
電解銅めっき	パターンめっきのVIAフィリング性、および粗密パターン部の膜厚面内均一性
ドライフィルム剥離	ファインピッチ間のドライフィルム剥離性
回路形成エッチング	回路部へのエッチング侵食による縮小化、および回路剥れ
パラジウム除去	回路間の樹脂上に残留したパラジウム除去に伴う回路部への過剰侵食＝縮小化・回路剥れ
ソルダーレジスト/積層前処理	表皮効果の影響低減要求による、回路表面の粗化度低下(樹脂との密着性は確保)
ソルダーレジスト露光/現像	ソルダーレジストの露光精度、および現像残渣

= 8 μm /8 μm 以下の回路形成についての懸念点を表2に記す。

4. セミアディティブプロセス最適化の提案

種々の課題に対して、我々薬品メーカーは各々の工程に限らず、前後工程との最適化、ひいては全体最適を目標として、以下を提案する。

4.1 デスマー無電解銅めっき処理工程

デスマーでの樹脂粗化において、VIA底のスミア除去および樹脂表面の粗化を兼ね備えて且つ、低粗度で仕上げる必要がある。また、その樹脂上に析出させる化学銅の密着性を確保することが必須である。過剰な粗化処理を行わないことで、後の工程でのシード層除去エッチング性が向上する。また、その後のPd除去性にも有効である。(図2参照)

4.2 ドライフィルム前処理工程

平滑に形成された樹脂上の無電解銅めっきの表面に対して、ドライフィルムはアンカー効果が得られず、密着性が低下してしまうことが懸念されている。従来は粗さRaとして0.6 μm 前後の粗度を有していたので、酸洗浄程度の前処理で特に問題視されることはなかったが、近年の樹脂粗度低下に伴い、Ra:0.4 μm 以下になるとドライフィルムの密着性が極端に低下してしまう。なお、無電解銅めっきは通常1 μm 以下の薄い膜厚のため、 μm 単位の粗化系エッチングは使用できない。そこでナノ(nm)単位でエッチングし、超微細な凹凸を形成させて、ドライフィルムに対してアンカー効果を付与させる方法が有効であると考えられる。また、エッチング量としては50～100 nm(重量法換算)が良い。理由として、前記の通り、膜厚の薄い無電解銅めっきに対して、特にVIA底付近は析出性が弱いために更に薄くなる傾向なので、極力エッチング量を抑えた方が良い。その一例を図3に記す。

4.3 現像後のプラズマ処理工程

ドライフィルム現像は非常に重要な工程である。適切な現

像を行わないと、ドライフィルム由来の有機物が銅表面上に残留し、後の電解銅めっき(パターンめっき)形成時に回路底部にそのまま残留し、シード層除去エッチングの際に過剰腐食として、「アンダーカット」や「回路剥れ」を生じさせてしまう。そのため、銅表面に残留させない現像処理が必須である。しかしながら、ファイン化に伴いドライフィルムの狭ピッチ間の現像液流動性は低下してしまうので液の循環が滞ってしまう。また過剰な現像処理はドライフィルムを銅表面から引き剥がしてしまうので、非常に難しい管理となる。その対応として、ドライエッチングであるプラズマ処理が有効である。銅表面に残留したドライフィルム由来の有機物をプラズマエネルギーで分解し、除去することができる。また、ドライフィルムパターン底部に生じた裾引きについても、同部のエッチングができるので、その後の電解めっき銅のパターン形成にも有効である(図4)。

4.4 パターンめっき処理工程

低膜厚で且つ、パターンの粗密に影響し難い電解銅めっき液の選定が必要である。要求としては、低膜厚でVIAフィリングができ、また粗密パターンの膜厚バラツキも低減できるものが良い。また、浴中の硫酸濃度が中濃度で管理できる液が管理も容易で、まためっき添加剤の分析管理が非常に容易であることも重要である(図5)。

図3 ナノ単位での微粗化写真(表面および断面)

図2 デスマー無電解銅めっき後の断面写真

図4 プラズマ処理前後の比較写真(ドライフィルム底部)

4. 5 ドライフィルム剥離

めっきにて形成されたパターンの狭ピッチ間に挟まれたドライフィルムは、基本膨潤破壊に因る分細剥離が基本である。このため、無機アルカリである水酸化ナトリウム(NaOH)では、分細剥離ができないため、有機アミンを用いた剥離液が主流になってきている(図6)。有機アミン系を主成分とした液は、ドライフィルムを微細に粉碎し、狭い回路間を効果的に除去することができる。

4. 6 回路形成エッチング

狭ピッチ回路を形成させるためには、シード層を優先的にエッチング除去し、回路部の侵食を抑制させる選択性能を有するエッチングが必要である。その理由として、回路である導体部のエッチングによる縮小化を抑制することができる(図7)。

4. 7 パラジウム除去

パラジウムが残留することで、イオンマイグレーションの発生原因となりうることや最外層の場合はニッケル/金めっき時に回路間に無電解ニッケルめっきが析出し、回路間のブリッジ現象(ニッケルめっきのショート)が発生してしまうので、パラジウム除去工程は必須である(図8)。従来はシアン系溶液でパラジウムを除去しているが、使用原料が毒物に指

定されているため、管理面や環境面に注意が必要である。また、銅も多少溶解するため、回路部の溶解が懸念される。最近ではシアン系原料を含有しないタイプのパラジウムの除去液も開発されている。なお、銅の溶解を抑制できることが望ましい。

4. 8 回路表面の粗化処理工程

従来は μm 単位でエッチング粗化を行い、積層樹脂やソルダーレジストとの密着力を得ていたが、ファイン化要求に伴い回路の伝送損失を低減させるべく、回路部の平滑化が要求されている。 nm 単位での粗化とし、粗さとして R_a は 200 nm 以下とすることで表皮効果の影響を低減でき、かつ、超微細な凹凸によるアンカー効果で物理的な密着を確保できる(図9)。

4. 9 ソルダーレジスト現像後のプラズマ処理

前記ドライフィルムの現像残渣同様、ソルダーレジストの現像残渣も除去する必要がある。また、近年の実装(搭載)されるチップサイズも極小化してきており、銅上の設置面積も非常に小面積のため、ソルダーレジストの裾引き等の余分な箇所は除去する必要がある。これらを解決するためにも、プラズマ処理を行って銅表面上の有機物残渣を除去することを推奨する。また、プラズマ処理を施すことで銅表面の濡れ性が向上するので、均一なニッケル/金めっきが形成できる(図10)。

5. 推奨プロセス組み合わせによる全体最適化

前記各工程の最適化について記述したが、特にファインピッチ回路形成については、「デスマー-無電解銅めっき処理」、「ドライフィルムラミネート前処理」、「プラズマ処理」、「回路形成エッチング処理」、各工程の関連が重要である。

図5 VIA フィリングめっき
硫酸銅 / 硫酸 / 塩素 = 120 (g/L) / 180 (g/L) / 30 (ppm)

(a) NaOHによる剥離 (b) 有機アミン系による剥離

図6 ドライフィルム剥離片サイズの違い

(a) 一般ソフトエッチ処理 (b) 選択性を有したエッチ処理

図7 ソフトエッチ液別の回路形成仕上がり比較(各 $1\mu\text{m}$ 処理)

(a) (b)

図8 パラジウム除去処理別無電解ニッケルの回路間析出比較
(L/S = 20/20)

(a) 回路間にニッケルの析出が観られる
(b) 回路間のニッケル析出が無い

(a) 微粗化処理後の回路 (b) 回路表面拡大

図9 ナノ単位での微粗化エッチング後の表面写真

「デスマー無電解銅めっき処理」については、低粗度・高密着が必要である。これは4.1項でも記したが、後工程である「回路形成エッチング処理」、および「パラジウム除去処理」にも大きく影響する。理由として、近年の樹脂はCTEを下げるために、フィラーを多く含有させている。このため、デスマーで過剰な処理を施すとフィラー周辺の樹脂がエッチングされ、フィラーと樹脂にわずかな隙間が生じ、無電解銅めっきプロセスにてPdおよび無電解銅めっきが奥深く浸透してしまう。一見、深いアンカー効果によって高密着が得られると思えるが、その後のシード層エッチングおよびパラジウム除去で困難を極める(図11)。低粗度・高密着のデスマー無電解銅めっきプロセスは、後工程に与える不適合要因を低減させることが可能である。

図10 プラズマ有無によるNi/Auめっき後の仕上がり

図11 過剰デスマー粗化の断面写真

しかしながら、平滑樹脂に対して低粗度の仕上がりでは、次工程のドライフィルムラミネートにて銅表面との密着性の低下が懸念される。そこで、「ドライフィルムラミネート前処理」には、エッチング量も50～100nm程度の微粗化処理を推奨する。この程度のエッチング量であれば、懸念されるVIA底部付近の無電解銅めっきが完全除去されることも無いので、電解銅めっきの未析出やVIAフィリング性に問題を生じることは無い。逆にエッチング量を100nm以上になると、銅表面の粗化度が増加し、ドライフィルムの追従性が低下して密着低下となることや、追従した場合でも、後工程のドライフィルムの剥離性が低下することが懸念される。

「プラズマ処理」に関しては、唯一ドライ工程になるが、銅表面に残留したドライフィルム由来の有機物を効果的に除去でき、また、ドライフィルムパターン底部に生じた裾引きについても、適切にエッチングができるので、その後の電解めっき銅のパターン形状が矩形に仕上がる。なお、「プラズマ処理」は気体処理なので、液体では困難であった微細配線間に効率的に入り込み有機物残渣除去が可能となる。更には銅表面の濡れ性も向上するので、後工程のパターンめっきにも有効である。

「回路形成エッチング」については、前記の通り無電解銅めっき優先エッチング性能を有しているエッチング液が有効である。しかし、無電解銅めっき優先エッチング性能は、回路底部の無電解銅めっきへの侵食も過剰進行してしまうこともあり、アンダーカットと称する現象が発生しやすい。更に無電解銅めっきと電解銅めっきの界面にドライフィルム由来の有機物残渣があると、回路形成エッチング処理によって回路剥れが生じることがある(図12)。これは粒界腐食作用によって、同界面付近への過剰侵食が生じてしまうことと考える。このような現象を生じさせず、無電解銅めっきの優先エッチング性能を発揮させるためにも、ドライフィルム現像後に

図12 ドライフィルム残渣による回路形成エッチング後の回路剥れ写真

図13 全体最適化されたセミナディティブプロセスで形成した回路断面写真(L/S = 6/6)

プラズマ処理を行うことは有効な手段である。

上記のように各工程を部分最適化するだけでなく、前後工程との関連をふまえて最適化することで、全体最適化となりファインピッチ回路が形成可能となる(図 13)。

6. おわりに

FC-CSP や FC-BGA のファイン化に向けて、各工程を最適化しても部分最適となり、前後工程に対して負の影響が生じることがある。そのような事態にならないよう、プロセス全体を通して、各プロセスおよびプロセス間のパフォーマンスを向上させないとファインピッチの回路形成はできないと考える。本稿では記載しなかったが、ベースの樹脂の選定においても、特性だけではなく加工性についての考慮も必要で、またイメージングの要であるドライフィルムについても解像性能だけではなく、現像性能(残渣除去性)や剥離性についても考慮した製品設計が必要である。近年はシリコンインターポーザやガラスインターポーザ(半導体チップとパッケージ基板の間に挿入し、半導体チップの微細パターンとパッケー

図 14 オーガニックインターポーザの回路断面例(L/S = 3/3)

ジ基板の粗パターンのピッチを変換)が有力視されてきたが、有機材料としてオーガニックインターポーザも注目されており、この製造プロセスにもセミアディティブプロセスを用いた L/S = 3/3 の回路形成対応が検討されている(図 14)。

我々としても、今後の技術躍進に関して可能な限りプロセスサポートおよび新提案を用意し、更なるファイン化に貢献したい。

(Received June 24, 2014)