TAB, FPCのマイクロ接合 (ノジュールコネクション)

石井 正人*, 片岡 龍男*

Micro Connection of TABs or FPCs (Nodular Connection)

Masahito ISHII* and Tatsuo KATAOKA*

*三井金属鉱業株式会社総合研究所 (〒362 埼玉県上尾市原市1333-2)

*Corporate Research and Development Center, Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd. (1333-2 Haraichi, Ageo-shi, Saitama 362)

概要 ファインピッチのFPCの端子やTABのアウトターリードを接合する“新しいマイクロ接続技術”として、ノジュールコネクションという方法を開発した。この方法は、まず、FPCの端子やTABのアウトターリード上に、特殊な銅めっき浴を用いて、電着によって垂直なデンドライト (ノジュール) を形成する。次にシート状または液状の接着剤をはさんで、相手方の回路 (ITO透明電極やPCBの端子) と位置合わせした後、加熱プレスすると、デンドライトが接着剤層を突き破って相手方の回路に接触し、電気接続を図る方法である。Cu 8g/l, H₂SO₄ 100g/l, α または β ナフトキノリン50mg/lを含む電解浴で、電着条件を選択することによって、ノジュールコネクションに適したデンドライトが作成できた。このデンドライトを用いてノジュールコネクションを行い、環境テストにより接着の信頼性を評価した。ノジュールコネクションにおける接触抵抗は、従来の異方性導電性フィルム (ACF) よりも1桁あるいは2桁抵抗が低く、十分に実用に耐えることが証明された。

Abstract

New Micro Connection Technology called “Nodular Connection” was developed for fine pitch FPC terminals or for TAB outer leads. Nodular Connection consists of the following processes. Dendrites (nodules) were formed vertically on the outer leads or the terminals by the electro-deposition in a special copper plating bath. An adhesive, liquid or sheet, was placed between TAB (or FPC) with dendrites on outer leads (terminals) and ITO transparent electrodes (or PCB terminals). After position adjustment, compressive force was applied to close the gap between both circuits so that electric contact was obtained through the dendrites. The suitable dendrites formation was obtained under a plating bath composition; Cu:8g/l, H₂SO₄: 100g/l, α or β -Naphthoquinoline:50 mg/l, and special electrolytic condition. Using these dendrites, Nodular Connections were carried out and their reliability and characteristics were determined by the environmental tests. The contact resistance of Nodular Connection was 1/10 to 1/100 of those of the common ACFs (Anisotropic Conductive Films).

1. はじめに

ICあるいはLSIの高集積度化、多ピン化によって、これを実装するプリント配線板、TABを始めとするパッケージング材料の実装密度の向上や導体のピッチのファイン化が要求されるようになった。特にICを直接実装するTABやCOB配線板においては、ICの bumps 間距離と同等の配線ピッチが必要である。1990年代に入ってICの bumps 間ピッチはすでに100 μ mを切り、50 μ mピッチのものも開発されつつある。例えばこれに対応するTABの例をあげると、インナーリード (ILフィンガー部) はこのICとピッチが完全に一致しなければならないというまでもないが、むしろこれを接続するアウトターリード (OL) の接続技術が問題である。

しかも、図1に示すように、最近TABにおいては、ILとOLのピッチ間距離がますます接近してきている。

現在一般的にはOLの接続ははんだ付けや異方性導電性フィルム (ACF) を使用する方法が採用されているが、は

んだ付け法でははんだブリッジの問題、ACFでは、導体間ギャップが小さくなると分散している導体粒子の接近により絶縁抵抗の低下をきたすため、現行技術では限界がある。

OLのピッチ間隔を広げると、TABそのものが大型化し、高密度に逆行し、信号の遅延、ノイズの発生など大きな問題が発生する。

図1. TABのインナーおよびアウトターリードピッチ幅の変遷

この問題を解決するひとつの手段として、電着技術を用い、接続すべきパッドあるいはパターン上にノジュール（デンドライト）を形成し、シート糊をはさむか、あるいは液状糊を塗布し、プレス時に針状のノジュールが糊層を突き破って相手方と接触するノジュラーコネクション法（NC法）を開発した^{1)~4)}。

本論文では、デンドライトの電解制御とこれを用いたマイクロ接続法の特性について報告する。

NC法の原理を図2に示した。

TABのOLを、液晶ディスプレイの透明ガラス電極（ITO回路）に接続する例をあげて説明すると、ACFを使用する場合は、TABのOLであるポリイミドフィルム上の銅パターンとガラス上のITOパターンを正確に位置合わせをした後、ACFをはさんでホットプレスで数十秒加熱圧着する。この場合、銅パターンとITOパターンの隙間は回路のないスペース部に比べてずっと小さくなるので、ACF中に含まれる導電粒子が厚さ方向に互いに接触して、その部所のみが導通する。隙間中の導電粒子は1個の場合もあるし数個の場合もある。

一方NC法の場合は、銅パターン上に針状の突起物をあらかじめ形成し、ACFの代わりに通常のシート糊をはさんでプレスする。ノジュラーコネクションは接続箇所が針状突起物とITO膜との一箇所だけであるため、ACFの数個の導電性微粒子の接続に比較して、その接触抵抗がきわめて小さいことが推定される。

本研究では図3に示すような、均一に分布し、高さが揃い、水平方向の成長がなく、垂直方向にそろったノジュール（デンドライト）を、OLの銅パターン上に電解でいかに作るかが最大の目標である。

2. 研究の目的

新規提案のノジュラーコネクションを実用化するため、電着技術により、いかなるデンドライトを生成すれば最も抵抗が小さくて、回路間ショートがなく、経時変化のない

信頼性の高い接続ができるかを研究し、また実際に得られたデンドライトの生成技術を、フレキシブルプリント回路（FPC）あるいはTABのOLとITO回路の接続に適用して、その性能を実証することを目的とした。

3. 実験装置および方法

3.1 ノジュール（デンドライト）の生成

デンドライト生成のための電解槽は、陽極として不溶性の白金めっきチタン板を有する単純な電解槽で、あらかじめFPC、あるいはTAB上の陰極となるパターンの面積を測定して陰極電流密度を決定した。これらの銅パターン上に生成されるデンドライトのうち、銅デンドライトの場合はその上にニッケルおよび金めっきを施した。また直接銅パターン上にニッケル、金のデンドライトの生成も試みた。実験に用いた各種電解浴や均一なデンドライトを得るための添加剤については、従来の銅めっき浴の添加剤としてテストされたものからある程度推測できるものに限定して実験した。各種電解浴、添加剤や電解条件で生成したデンドライトをSEMで観察した。

生成したデンドライトについて、簡単に折れるものは回路間ショートの原因になるため、デンドライトの折損試験としてセロハンテープを張り付けた後、はく離してセロハンテープ上にデンドライトの破片が付着しているかどうかで判断した。

3.2 接続装置および方法

接続装置は従来からACFに用いられているパルスヒートタイプのボンダー（日本アビオニクス社製Model TCW-125）を用いた。これを図4に示す。

各種デンドライトを生成させた回路を有するFPCおよびTABとITO膜回路を有するガラス基板との接着は、30 μ m厚のエポキシ系シート糊（Bステージ）あるいは熱可塑性のシート糊を用いて、150g/mm²から1600g/mm²のボンディング圧の加熱温度範囲で最適条件を求めた。

接続の信頼性は、プリント回路材料において一般的に求

図2. 異方性導電フィルムとノジュラーコネクションの接続原理

図3. 理想的なノジュールの形

①パルスヒータ ④モニターテレビ
②移動テーブル ⑤テレビカメラ
③自動アライメントテーブル ⑥圧縮空気調整装置

図4. パルスヒートボンダー

められる耐熱性、耐湿性、熱サイクル（熱衝撃性）、耐溶剤性、耐電流電圧性、絶縁性などの特性についてテストした。接続の状況を観察するため、接続面の断層のSEM写真を撮った。

4. 実験結果

4.1 電解浴、添加剤および電解条件とデンドライトの形状

銅めっきでデンドライトが生成することは厳禁であって、いかにして平滑で均一なめっきを行うかに焦点が絞られている。本研究ではこれとまったく逆で、いかにしてノジュラーコネクションに適したデンドライトを作るかに焦点を絞った。デンドライトは電解銅粉の製造や銅箔の裏面処理に使用されているが、目的がまったく異なるため、要求特性もまったく異なり、かかる観点からデンドライトを研究した例は見あたらない。

ノジュラーコネクションによるICパッケージのILまたはOLの接続は、裸のICと直接接触あるいはごく近傍にICが存在するため、シリコン結晶に拡散しやすい金属やマイグレーションしやすい銀などの材料を避けなければならない。したがって本研究では、銅（ニッケル、金は銅デンドライトの上へのめっきに使用）に限って試験した。

電解条件、浴組成、添加剤を変化させて、デンドライトの最適の形状を調査するわけであるが、その組み合わせは無限にあるため、代表的なものだけについて例示した。

硫酸銅浴（銅8g/l、硫酸100g/l）の浴に、添加剤を数十

ppm添加した電解液中で数十秒間電解してデンドライトをパターン上に電着させた。添加剤の種類、電解条件によって様々な形状や分布のデンドライトが得られたので、図5～12にこれらを示した。

図5は、添加剤として何も加えない基本めっき浴において、電流密度4A/dm²で10秒間電着させた場合のデンドライトの析出形態を示したもので、上述のように銅めっき浴中の2価の銅イオン濃度が薄いと、ノジュール状に電着する。しかし大きな瘤と小さいものが混在し、形も小さい。

図6は、基本めっき浴において、電流密度と電析時間を高めた場合のものである（8A/dm²×15秒）。基本浴で、電解時間を延長すると、デンドライト（針状）に成長する。大きさはそろっていない。またこの状態では密着性および強度が弱く、デンドライトが簡単に折損する。

図7は、8A/dm²×15秒の電解条件で、基本浴に塩酸をCl⁻に換算して30ppm添加した場合で、ノジュール形状は無添加の場合に比べて一変し、銅表面は赤みをおびた色となる。樹枝状だがブランチが多く、特に折損しやすい。

図8は、同上条件で、基本浴にチオ尿素50ppmを添加した。チオ尿素は一般に銅イオンの錯化剤や光沢剤に使われているが、この程度の添加では、無添加とあまり変わらなかった。しかしやや丸みを帯びたノジュールが成長する。大きさは不ぞろいであった。

図9は、同上条件で基本浴にサッカリン50ppmを添加したもので、ノジュールの大きさの制御にはまったく効果がなかった。

図10は、同上条件で、基本浴にβ-ナフトキノリン50ppmを添加したものであるが、ノジュールの大きさの制御にはまったく効果がなかった。

図11は、同上条件で、基本浴にβ-ナフトキノリン50ppmを添加したものである。写真に示されるように、きわめて高さ、大きさのそろったノジュールが形成された。β-ナフトキノリンとβ-ナフトキノンはベンゼン核の一部にNかOが入っているだけの違いであるが、その効果がまったく違う。

図12は同条件で、基本浴にα-ナフトキノリンを50ppm添加したものである。β-ナフトキノリンの場合よりも、形状も小さく、均一で、枝分かれも少なかった。

β-ナフトキノリンは出発原料がβ-ナフトールで発癌

図5. 基本めっき浴（4A/dm²×10秒）

図6. 基本めっき浴（8A/dm²×15秒）

図7. 塩素イオン添加（30ppm）

図8. チオ尿素添加 (50ppm)

図9. サッカリン添加 (50ppm)

図10. β-ナフトキノン添加 (50ppm)

図11. β-ナフトキノリン添加 (50ppm)

図12. α-ナフトキノリン添加 (50ppm)

性物質であるため、工業原料として入手しがたいことがわかり、Nの位置をβからαに替えたα-ナフトキノリンを使用した。

これらの写真からもわかるように、最も好ましいデンドライトの形状は、高さが均一で、折損しがたく、垂直方向に伸びているものが良い。添加剤の種類によってデンドライトの形状が著しく異なっているが、効果のあったものは、αまたはβ-ナフトキノリンであった^{5),6)}。電流密度と電解時間もデンドライトの形状には大きく影響したが、電流密度と電解時間の積である電気量が大きくなると、すべての条件において枝分かれしたデンドライトが生成し、折損した。

以上のノジュール形成技術を実際の接続パターン上に施した例を図13に示す。またその断面写真を図14に示した。

製造条件は、ノジュラーめっきを施す部分だけを残し、回路全体にレジストをコーティングした配線板に、前述の基本浴にα-ナフトキノリンを50ppm添加した浴を用い、8A/dm²で10秒、1A/dm²で10秒かぶせ、めっきを施し、その上に0.5μmのニッケルめっき、0.3~0.5μmの金めっきを施した。

4.2 接着圧と接触抵抗

接着圧力を150g/mm²から1600g/mm²に変化させ、図13で示したノジュラーコネクションの接触抵抗を測定した。比較材料として、従来から使用されている異方性導電フィル

図13 (a). 銅パターン上のノジュール

図13 (b). 銅パターン上のノジュール

図14 (a). ノジュール断面写真 (プレス前)

図14 (b). ノジュール断面写真 (プレス後)

ム（熱可塑性ACF;Niめっきプラスチック粒子，熱硬化性ACF;微小はんだ粒子を含む）を使用した。系全体の接触抵抗を4端子デジタルマルチメータで測定した後，この系全体の抵抗からリード回路とITO膜の抵抗を差し引いてノジュラーコネクションの接触抵抗とした。この結果を図15に示す。

このグラフから，ノジュラーコネクションの場合は接着圧力を増加すれば，接触抵抗は急激に減少し，400g/mm²で0.1Ω/mm²程度になる。

1600g/mm²の場合は，測定下限の0Ω近くに達する。これに比べて，従来の異方性導電膜（熱可塑性）の場合は，1600g/mm²の場合においても1Ω/mm²である。したがって，ノジュラーコネクションの場合，きわめて接触抵抗の低いことが証明された。

4.3 加熱温度と接触抵抗

接着圧力800g/mm²において接続された試験片を，60℃か

図15. 接着時の接着圧力と接触抵抗の関係
(ノジュラーコネクションとACFの比較)

図16. ノジュラーコネクションとACFの耐熱性比較
(加熱温度と接触抵抗の関係)

ら250℃で1時間加熱した後常温にもどして，接触抵抗を測定した。この結果を図16に示した。この図からわかるように，高温に加熱すれば接触抵抗は増加するが，ACFの熱可塑性および熱硬化性のいずれのタイプに比べても，抵抗はある数値（1.7Ω/mm²）に落ち着き，その値はきわめて低いことがわかる。

4.4 高温保持テストと接触抵抗

800g/mm²の接着圧で接続した試験片を100℃で1000時間までオープン中に保持し，200時間ごとに取り出して接触抵抗を測定した。この結果を図17に示した。接触抵抗はいずれも増加はしたが，従来のACFに比べると格段に優れた結果を示した。

4.5 低温保持テスト

800g/mm²の接着圧で接続した試験片を，-40℃のフリーザー中に1000時間保持して，200時間ごとにサンプルを取り出し，接触抵抗を測定した。その結果を図18に示した。いずれもわずかの抵抗の増加が認められたが，ACFよりは

図17. ノジュラーコネクションとACFの耐熱性比較
(100℃保持時間と接触抵抗)

図18. ノジュラーコネクションとACFの
-40℃における耐寒性比較

格段に良い結果を示した。

4.6 熱サイクルテスト

800g/mm²の接着圧で接続した試験片を、MIL規格に準じたヒートショックタイプの熱サイクルテストにかけた。サンプルを-40℃で30分保持し、その後直ちに+100℃で30分加熱、1サイクル60分を1000サイクル繰り返した。サンプルは取り出されると同時に測定された。この結果を図19に示す。

図19からわかるように、ノジュラーコネクションの場合、250～300サイクルにおいて接触抵抗は最大値を示したが、その後はきわめて安定な経過をたどり、熱可塑性や熱硬化性のいずれのタイプのACFに比べても、1桁ないし2桁低い、きわめて良好な接触抵抗の安定性を示した。

4.7 溶剤浸せきテスト

4.6の試験サンプルを1,1,1-トリクロロエタンの溶剤中に16℃、30分間浸せきし、室温でその接触抵抗を測定した。

図19. ノジュラーコネクションとACFの耐熱衝撃性比較 (熱サイクル数と接触抵抗)

図20. ノジュラーコネクションとACFの耐溶剤性比較 (溶剤浸せき時間と接触抵抗)

図20に示すようにACFの場合は浸せき時間と共に接触抵抗は増加するが、ノジュラーコネクションの場合はほんのわずかの増加しか認められなかった。

4.8 負荷電流テスト

4.6のサンプル試験片に直流を1分間通電した後、その接触抵抗を測定した。その結果を図21に示した。0.3Aの通電で、すべての試験片は急激な接触抵抗の増加を示した。これはACF、ノジュラーコネクションの両方にまったく同じ傾向が見られることから、ITO膜の回路やリードの回路が発熱し、これが接触抵抗に影響したものと考えられる。

4.9 絶縁ならびに耐電圧テスト

100VDCを1分間試験片に負荷した後、ライン間の絶縁抵抗を測定した。その結果を図22に示した。150μmのライン間スペースの場合はACF、ノジュラーコネクション共に10¹²Ωの絶縁抵抗を示し、差異が認められなかった。

5. 考察

ノジュラーコネクションは接着樹脂の収縮応力を利用して接触を保持できるものであるため、高温で樹脂が熱膨張

図21. ノジュラーコネクションとACFの通電抵抗比較 (直流を1分間通電した場合の接触抵抗変化)

図22. 各種接続方法における電気絶縁抵抗の比較

した際、接触抵抗が増加しないためには、ノジュラー（デンドライト）そのものがある程度のバネ性を持った復元力のあるものでなければならない。かかる観点からデンドライトの形態が針状か瘤状（球状）か再検討の必要がある。

理想的なノジュールの生成には基礎的な研究が不可避であるが、この方面の研究例はあまり多くない。伊藤、平田、倉智らおよび金子らは電解で生成する樹枝状金属微粒子や金属葉の研究において、フラクタル現象（全体を見ても、その一部を取って見てもすべて相似形をしている）の観点から研究を行っている^{7),8)}。彼らは樹枝晶の形態は陰極付近で枝分かれなく1次元的に成長する領域と、枝分かれしながら2次元的に成長する領域の2つに大別されることを指摘している。本研究の目的のノジュールは、枝分かれのない、折損し難い1次元的成長領域の樹枝晶が好ましい。添加剤によってデンドライトの形態が極端に異なる。

β -ナフトキノンと、 α , β -ナフトキノリンの違いは、ベンゼン環のCの1つがOとNの違いだけであるが、銅のデンドライト生成に対する影響は大きく異なる。Cuは電子雲の広がり、FeやNiなどに比べて大きい。NはOに比べて電子雲の広がりが大きい。広がりが大きいものの結合、広がりが小さいものの結合が、互いに相性が良いので、キノリンの方が、より強くCu表面に吸着するものと思われる。チオ尿素やサッカリンは=NHが存在するため、これも吸着力は強い方であるが、分子の大きさが小さいことが、キノリンとの差と考えられる。また、実際工業的には、微細ピッチのTABやFPCのリードや端子にショートを起こさずに、上方向だけにデンドライトを生成させる技術が必要である。パターンの形状によっては、同時に発生する水素ガスを利用して、横方向のデンドライトの成長を防止することは可能であるが、信頼性においてきわめて不安である。

また、ノジュラーコネクションの実用化には、糊剤としてシート状糊か液状糊のどちらが適するかを明確にしなければならず、糊はノジュールの隅々まで完全に濡れなければならない。もしごく微少なりといえども濡れていない箇所があると、その後の特性に著しい影響を与える。また糊の濡れ性はノジュールの形態とサイズによる。上述のようにノジュールの形態やサイズと糊剤の種類について、さらなる研究が必要である。

6. むすび

- (1) ノジュラーコネクションにおける接触抵抗は熱硬化性、熱可塑性のいずれのACFよりも1桁あるいは2桁抵抗が低く、十分に実用に耐えることが証明された。
- (2) ノジュラーコネクションに適したデンドライトは銅溶液に α あるいは β ナフトキノリンの添加で、適的な電流密度と電解時間を適用すれば、目的とする形状のものが得られた。
- (3) 添加剤の光沢めっきに対する作用機構は、ある程度解明されつつあるが、均一なデンドライトの生成機構に関してはなおデータ不足であり、今後の研究課題である。
- (4) 実用化に際しては、狭ピッチの銅リードまたは端子上にいかにより短の危険性なく、上方向だけにデンドライトを成長させるかが、今後の課題である。

(1995.4.11—受理 1995.4.26—再受理)

文 献

- 1) 石井正人：“コネクター機能を有するフレキシブルプリント配線板”，特公平6-82905.
- 2) 石井正人，片岡龍男，田中志隆：“ICチップの実装方法”，特公平5-855.
- 3) 石井正人，片岡龍男，田中志隆：“実装基板の製造方法”，特開平2-73690.
- 4) M.Ishii, T.Kataoka：“Ultra fine pitch pattern connecting technology employing “Nodule””, 8th European Hybrid Microelectronics Conference, Rotterdam, The Netherlands. May 28-31, 1991.pp.444-451.
- 5) 石井正人，氷室貢二：“銅箔の表面処理法”，特開昭55-29128.
- 6) 石井正人，氷室貢二，広沢裕：“銅箔の表面処理法”，特公昭56-41196.
- 7) 伊藤龍象，平田雄志，他：“電解法による樹枝状金属微粒子”，大阪大学基工資料，Vol.18,pp.46-51(1988).
- 8) 金子広征：“金属葉の形態”，日本金属学会会報，Vol.30, No.12,pp.985-992(1991).