

# 両面基板スルーホール用 銅ペーストの開発

—紙フェノール基板使用時に発生する不具合と対策—

Development of copper paste for through-hole of double sided circuit board  
- Defections and countermeasures occurred when using Paper-phenol board -



平山悠斗

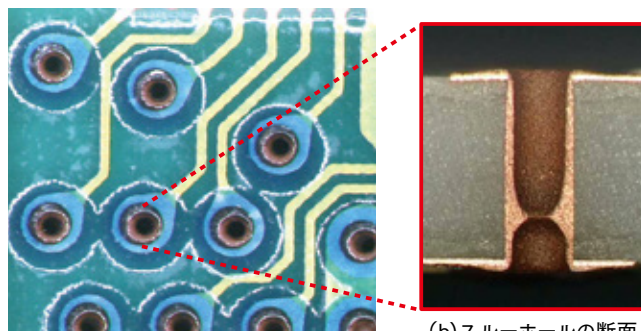
齊藤 寛

平山悠斗 齊藤 寛 / 研究開発カンパニー 研究開発センター 電子材料開発室  
Yuto Hirayama Hiroshi Saito Electronics Materials Development, R&D Center, R&D Company

## 1 はじめに

家電製品や自動車等に欠かすことができない重要な部品の1つであるプリント配線板は、主に東南アジア地域で生産されており、環境負荷低減やコストダウンに対する取り組みが活発に行われている。プリント配線板には、材質や用途によってさまざまな種類がある。絶縁材料でできた板を用いたリジッド基板は、表面や内部に銅箔などの導電体で回路パターンが形成されており、集積回路やコンデンサーをはんだ付けにより固定して部品間を接続することで、信号を伝えたり、電力を送ったりするなどの役割を果たしている。

基板の中で表裏両面に回路パターンが形成された両面基板には、スルーホールと呼ばれる貫通孔が多数設けられている。当社の銅ペーストは、スクリーン印刷工法によりスルーホールに充填され、熱を加えることで樹脂が硬化収縮することにより銅粉同士が接触して導電性が発現し、基板の表面と裏面の回路を電氣的に接続するために使用されている(図1)。スルーホールに使用される他の工法として、スルーホール内部に銅めっきを形成する銅めっき法や印刷により銀ペーストを充填する方法が広く知られている(表1)。



(a)両面基板の表面

(b)スルーホールの断面

図1 銅ペーストで形成された両面基板のスルーホール

表1 両面基板のスルーホール形成材の種類

めっき法	印刷法	
銅めっき	銀ペースト	銅ペースト
<ul style="list-style-type: none"> <li>△めっきコストが高い(規模による)</li> <li>×廃液が多い</li> <li>○マイグレーションなし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△ペーストコストが高い</li> <li>○廃液が少ない</li> <li>△マイグレーションあり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ペーストコストが安価</li> <li>○廃液が少ない</li> <li>○マイグレーションなし</li> </ul>

これらの工法の中で銅めっき法は、工程数が多く、環境負荷物質を含む多量の廃液処理が必要であり、製造コストがかかるなどの欠点がある。一方、銀ペーストを印刷する工法は、めっき法に比べて工程数や廃液が少ないなどのメリットはあるが、銀はイオンマイグレーションを起こしやすいため、スルーホール間の距離が短い基板などへの適用は難しい。また、近年銀価格が高騰しており、銅と比較して非常に高価なため、めっき法に対して全体的なコスト面での優位性は小さくなっている。

当社が開発したスルーホール用銅ペーストは、従来技術に比べて環境負荷の低減およびコストダウンを両立できる材料として、家電製品や音響機器、PC周辺機器をはじめ、高信頼性が要求される自動車用途まで幅広くご使用いただいている。

プリント配線板には、ガラス布・ガラス不織布複合基材を使用してエポキシ樹脂を絶縁材料として用いたCEM-3や紙基材に絶縁材料としてフェノール樹脂を含浸させて製造されたFR-1等がある。CEM-3は、打ち抜き加工性や耐トラッキング性に優れており、車載や家電製品、一部の産業機器等で使用されている。また、FR-1は、CEM-3に比べて安価であるが、耐熱性や電氣的特性は劣っており、主に

白物家電やゲーム機等の用途で使われている。CEM-3は、めっき法によりスルーホール内部に銅めっきを形成することができるが、FR-1では、めっき液が基板中に染み込んでしまうため、スルーホールへの銅めっき法の適用はできない。一方、当社が開発した銅ペーストは、紙基材を用いたFR-1に対してもスクリーン印刷によりスルーホールに充填し、硬化することで、基板の表面と裏面の回路を電氣的に接続することができるが、導電性が著しく低下することがある。本稿では、FR-1等の紙基材で起こる抵抗値不良の原因を解析し、その対策について検討した結果を報告する。

## 2 スルーホール用銅ペーストの概要について

### 2-1 銅ペーストの設計

当社が開発した銅ペーストは、樹脂バインダー、溶剤および添加剤中に銅粉が分散しており、そのままでは絶縁体であるが、硬化反応により樹脂が収縮することで銅粉同士が接触し、導電性が発現する(図2)。しかしながら、銅は大気中で容易に酸化される性質があり、銅粉の表面には酸化銅や亜酸化銅が存在する。通常、銅粉はこれらの薄い酸化皮膜で覆われているため、銅粉同士が接触しても電気は流れない。そのため、先に述べた樹脂の硬化収縮だけでは、十分な導電性を確保することはできない。銅ペーストを設計するうえでこの酸化皮膜を除去し、良好な導電性を得る工夫が必要となる。我々は、銅粉を分散させる際に表面の酸化皮膜を除去し、再酸化を抑制する技術を独自に開発することで、スルーホールで要求される性能を満足する良好な導電性を得ている。

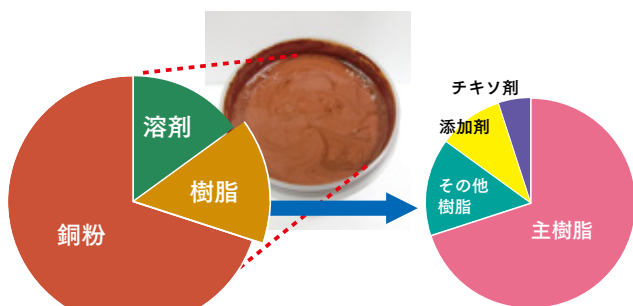


図2 銅ペーストの組成

### 2-2 銅ペーストの使用方法

銅ペーストは、スクリーン印刷により基板のスルーホールに充填される。図3に銅ペーストの硬化条件例を示す。加熱は、溶剤乾燥工程と樹脂硬化の2段階で行われる。溶剤乾燥工程において、銅ペーストに含まれる溶剤が揮発してスルーホールの形状が形成されるため、溶剤乾燥の温度および時間の最適化は、良好な導電性を確保するために、非常に重要である。

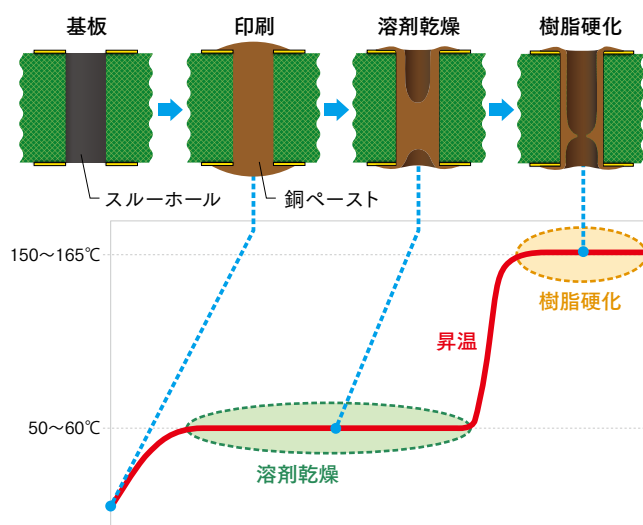


図3 銅ペーストの硬化条件

## 3 FR-1基板への適用性について

### 3-1 既存ペーストでのFR-1基板への適用性

「はじめに」で述べたように、銅ペーストの使用範囲を広げるため銅めっき法では適用不可能であるFR-1基板について既存ペーストでの適用性検証を実施した。検証の結果、特定の基板において抵抗値不良が発生してしまうことが確認された。

この要因を確かめるべく、抵抗値不良が発生している箇所印刷面および裏面を確認したところ、印刷面および裏面の両箇所銅ペーストが膨れたような異常な形状が観察された(図4)。そこで、スルーホール箇所の断面観察により内部形状を観察した。図4で示すように抵抗値不良箇所では、基板内で銅ペーストが破裂したような異常形状となっていた。3-2では、このような異常形状が起きる要因を明確にし、対策を講じた新規ペーストを開発し、FR-1基板への適用性を確認した。

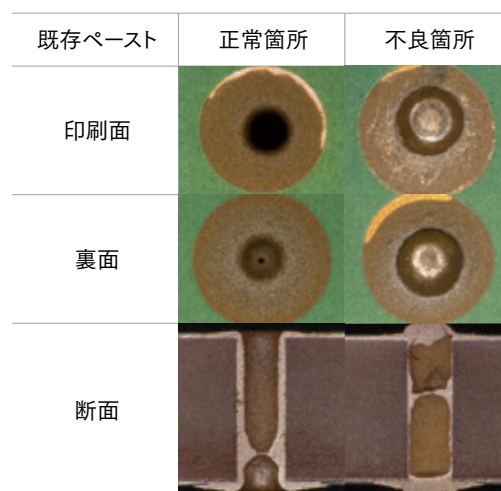


図4 既存ペーストで処理した際のスルーホール形状 (FR-1基板使用)

### 3-2 異常形状発生要因説明

異常形状発生要因を明確化するために、不良箇所におけるスルーホール内部の挙動を加熱制御機能が付いたX線装置の透過観察により確認した。観察時の加熱プロファイルに関しては、**図5**に示すような溶剤乾燥過程であるSTEP1と昇温過程であるSTEP2の2段階に分けて実施した。

観察結果を**図6**に示す。STEP1の初めでは、ごく少量の小さい気泡が複数確認された。これらの小さい気泡は、銅ペースト内に含まれる溶剤もしくは基板から発生するアウトガス、印刷時に発生する泡かみであることが推測される。その後、それらの気泡は合一し、内部で徐々に拡大されることが確認され、STEP1の最後では**図4**で示されるような異常形状となっていた。その後のSTEP2では、樹脂硬化にともないその形状が維持されていた。

以上より、課題であった異常形状の発生は、STEP1で形成され、その形状を維持したまま樹脂硬化してしまうことで起きる現象であることが実証された。異常形状の発生要因である気泡に関しては、ガラス布・ガラス不織布複合基材で作製されたCEM-3基板では、異常形状が確認されていないことから、紙基材で作製されたFR-1基板から発生したアウトガスが原因であると考えられる。

### 3-3 新規ペーストの設計指針

新規ペーストの開発指針として、STEP1で発生した気

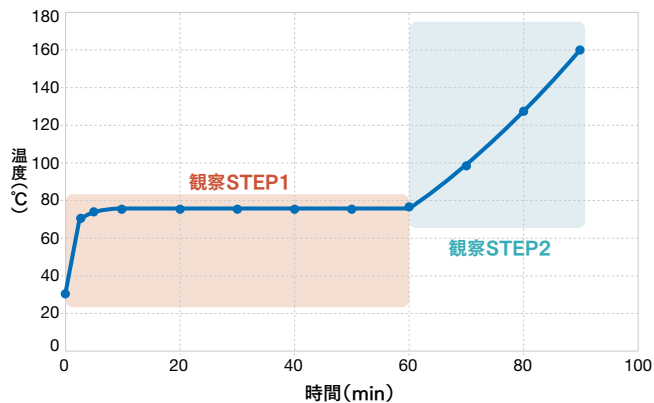


図5 X線透過観察に使用した温度プロファイル

泡が外へ逃げるような銅ペーストにすることを目的にした。そこで、STEP1下における銅ペーストの粘度変化に注目した。STEP1下では、溶剤の揮発および緩やかな樹脂硬化による粘度上昇が予測され、この粘度上昇を抑えることができれば、ペースト内の流動性が向上し気泡が系外へ放出されやすくなる考えた。

粘度変化測定に関しては、粘弾性測定装置であるレオメーターを使用した。測定条件に関しては、温度はSTEP1を模擬し、ペーストに与える歪みおよび回転周波数を一定にして測定した。新規ペーストと既存ペーストとの測定結果を**図7**に示す。青い曲線を既存ペースト、赤い曲線を新規ペーストとして表している。新規ペーストは既存ペーストよりも粘度上昇率が低く、絶対的な粘度値においても15 Pa・s程度の差異が生じていることが確認された。そのため、新規ペーストはSTEP1下で流動性が高くなっていることが示唆され、気泡が系外へ放出されやすくなり異常形状が発生しにくいペーストであることが期待される。

### 3-4 新規ペーストにおける形状確認

前述したX線透過観察によって、新規ペーストにおける気泡の状態を確認した。**図8**に結果を示す。新規ペーストは、既存ペーストと同様にSTEP1下の初めで小さな気泡が発生していた。その後既存ペーストでは気泡は合一ペースト内に残存していたが、新規ペーストでは、気泡はスルー

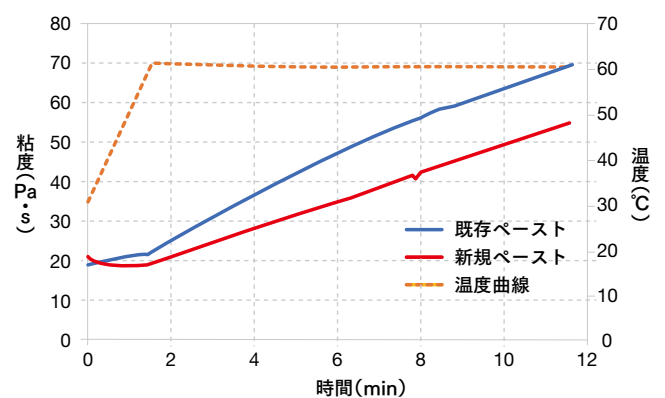


図7 STEP1下における新規および既存ペーストの粘度変化

昇温ステップ	STEP1							STEP2			
基板温度	30~33°C	70°C	74°C	75°C	75°C	75°C	75°C	98°C	128°C	160°C	
時間	0分	2.5分	5分	10分	20分	40分	60分	70分	80分	90分	
既存ペースト	ごく少量の小さい気泡	気泡合一・成長し、内部で徐々に拡大					膨れを確認 (形状不良発生)				

図6 既存ペーストにおけるX線透過観察結果



昇温ステップ	STEP1							STEP2		
基板温度	30~33℃	70℃	74℃	75℃	75℃	75℃	75℃	98℃	128℃	160℃
時間	0分	2.5分	5分	10分	20分	40分	60分	70分	80分	90分
新規ペースト	ごく少量の小さい気泡	気泡の移動	陥没確認	陥没進行	形状ほぼ完成					

図8 新規ペーストにおけるX線透過観察結果

ホール外部に移動している様子を確認することができた。そのため、気泡は内部に残存せず、STEP2に至るまでに図1や図4で示すような正常なスルーホールの形状となっていた。

実際に形状不良が発生した特定の基板に新規ペーストを印刷し、スルーホール断面の観察を行った。その結果、異常形状は発生せず図9で示すような正常なスルーホールの形状となることを再確認した。

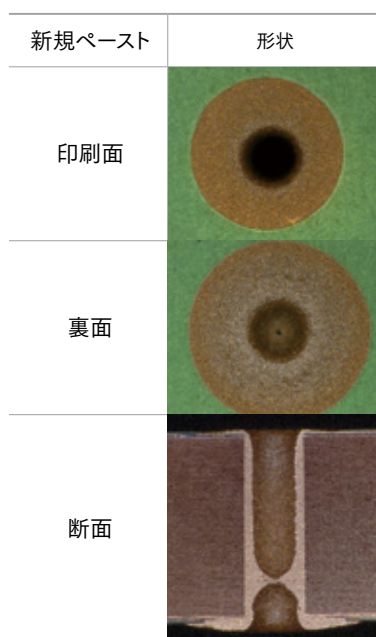


図9 新規ペーストで処理した際のスルーホール形状 (FR-1基板使用)

### 3-5 新規ペーストにおける信頼性試験結果

次に、新規ペーストの信頼性 (FR-1基板使用) を評価した。信頼性試験は、高温高湿条件や高温、冷温を繰り返した際の電気抵抗値変化の推移で評価する接合信頼性試験と高温高湿条件下において電圧を印加し続けた際の絶縁性を評価する絶縁信頼性試験に分けられる<sup>1)~4)</sup>。今回は接合信頼性試験の例として代表的である、高温放置試験 (125℃下で1000時間放置)、高温高湿放置試験 (85℃および85%湿潤下で1000時間放置)、冷熱衝撃試験 (-55℃/30

分、125℃/30分を1000回)、はんだ耐熱 (260℃のはんだに5秒間浸透を6回) の4項目を実施した。また、本評価では、スルーホール径が0.5 mm、基板の厚さが1.6 mmのテストピースを使用し、試験を実施した。

結果について表2に示す。新規ペーストの物性は各種試験において抵抗値が1穴当たり50 mΩ以下と良好であり、実使用に問題のない水準を満たしていた。

表2 新規ペーストにおける信頼性試験結果

試験項目	参考値	備考
高温放置	50 mΩ/穴 以下	125℃×1000時間
高温高湿放置	50 mΩ/穴 以下	85℃・85% RH ×1000時間
冷熱衝撃	50 mΩ/穴 以下	-55℃/30分+125℃/30分×1000回
はんだ耐熱	20 mΩ/穴 以下	260℃/5秒×6回

4

## おわりに

本稿で紹介した新規ペーストは、ペースト内に発生する気泡を外へ放出しやすい設計としたことによって、めっき法が採用できない安価なFR-1基板の適用性を向上することに成功した。現在の市場は、めっき法が多く採用されている状況である。しかし、本稿で紹介したようなめっき法で実現できない技術を開発していくことで、優位性を拡張していき、めっき法からの代替をスルーホール用銅ペーストのトップメーカーとして牽引していきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 田中浩和、“導電性接着剤を用いた表面実装基板の信頼性試験”、日本接着学会誌、vol. 43、No.5、pp.187-194、2007
- 2) 平田拓哉、小林晶子、田中浩和、“導電性接着剤の実装信頼性試験方法の検討”、第17回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集、pp.231-238、2007
- 3) 田中浩和、“導電性接着剤実装の信頼性評価技術”、エレクトロニクス実装学会誌、vol. 11、No.3、pp.231-238、2008
- 4) 大鳥利行、“プリント回路板の絶縁劣化要因としてのイオンマイグレーション—その発生メカニズムと抑制策—”、回路実装学会誌、Vol.10、No.2、pp.80-86、1995