

スルーホール銅めっき代替可能な新規スルーホール用銅ペーストの開発状況



Development progress of a new copper paste for through-hole enabling replacement from copper plated through-hole

川島啓佑 / 研究開発カンパニー研究開発センター筑波研究所
Keisuke Kawashima Tsukuba Research Laboratory, R&D Center, R&D Company

1 はじめに

電子部品業界において年々高まる低環境負荷およびコストダウンへのニーズに応えるべく開発した当社のスルーホール用銅ペーストは、主に中国をはじめとする東～東南アジア地域の顧客から高い評価を受け、この数年でシェアを大きく伸ばしている。スルーホールとは、両面に導体回路パターンが形成されたプリント配線基板の表裏を、電気的に接続するために基板に設けられた貫通孔である。

当社の銅ペーストはスルーホール内に印刷工程により充填され、硬化により基板の表裏の配線を電気的に接続する導電性材料として使用されている¹⁾。同じ用途の競合技術として、スルーホール内部に銅めっきを形成する銅めっき法および銀ペーストを用いた印刷法がある (表1)。しか

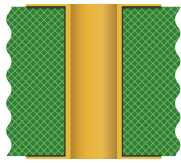
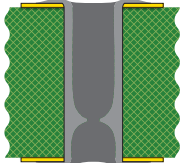
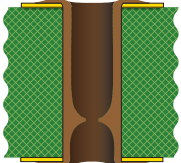
製造工程の面でのコストメリットはあるが、銀の価格が銅と比較して非常に高価なため、全体的なコスト面の優位性は小さい。また、銀はイオンマイグレーションを起こしやすいため、信頼性が劣るといった欠点がある。

当社のスルーホール用銅ペーストは、印刷法で使用でき、コストメリットのみならず競合技術と同等以上の高い信頼性により、上市以来、競合技術の課題に対するソリューションとして、家電やゲーム機等の民生機器から高い信頼性が求められる車載用途まで幅広くご使用いただいている。

一方、スルーホール用銅ペーストが使用されている民生機器、車載用途いずれにおいても、近年それら機器の高機能化および小型軽量化が進んでいる。それにともない、プリント配線基板上の回路が複雑になり、使用される両面基板のスルーホールの高密度化（スルーホールの小径化）や、両面基板で対応できない場合は基板の多層化が必要となってきた。現在、これら小径両面基板および多層基板のスルーホールでは、ペースト印刷法の適用が難しいため、一般的に銅めっき法が採用されている。

そこで、小径両面基板および多層基板のスルーホールに適用可能なスルーホール用銅ペーストを開発し、銅めっき法からの代替が進めば、より幅広い分野、用途での基板の製造において環境負荷の低減やコストダウンに貢献できる。本稿では、当社従来品と比較して大幅に信頼性が向上したスルーホール用銅ペーストの新製品および小径両面基板、4層基板への銅ペーストの適用について、その検討結果を紹介する。

表1 両面基板のスルーホール形成材の種類

種類	印刷法		
	めっき法	銅ペースト	銀ペースト
断面形状			
コスト	×	△	○
信頼性	○	×	○

しながら、これら競合技術について、銅めっき法は、工程数の多さやめっき廃液の処理に高いコストを要し、有害物質を多く含む薬液を使用するなど環境負荷が高い。一方、銀ペーストを使用する印刷法は、工程が大幅に簡略化でき、

2 スルーホール用銅ペーストの概要と新製品「CP-800S」について

2-1 銅ペーストの設計

銅ペーストは、銅粉が樹脂バインダーおよび溶剤中に分

散した混合物である (図1)。樹脂バインダーは印刷性、基材への密着性およびペーストの信頼性を向上させる設計としている。

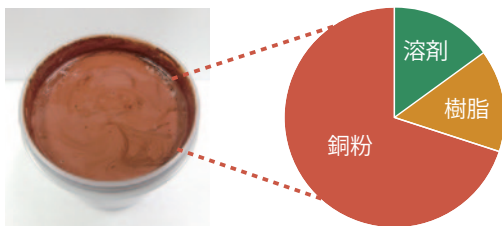


図1 銅ペーストの組成

銅ペーストの導電性の発現は、熱硬化中の樹脂バインダーの硬化収縮により銅粉同士が接触することによる。しかしながら、銅は銀と比較して容易に酸化される特性がある。通常、銅粉の表面は酸化銅や亜酸化銅の薄い酸化皮膜に覆われている。これら銅酸化物は、銅ペースト硬化物中の導通阻害の要因となるため、良好な導通を得るためには酸化皮膜を除去する工夫が必要となる。

当社の銅ペーストは、銅粉分散条件の最適化および独自技術により銅粉の酸化皮膜除去と再酸化の抑制を行っており、良好な導通を得ている。

2-2 銅ペーストの特徴

当社のスルーホール用銅ペーストは、スクリーン印刷法で使用でき、導電性成分に銀を含まず銅のみであるため、銅めっき法や銀ペーストと比較してコストの低減が可能となる。また、詳細は次項で述べるが、車載基板にも対応可能な高信頼性を有している。加えて、顧客での用途に応じた多様な基材種、基板厚およびスルーホール径の基板に適用が可能である (表2)。

表2 当社スルーホール用銅ペーストの特徴

基板の製造にかかる環境負荷コストを低減可能	<ul style="list-style-type: none"> めっき法に比べて工程が簡素かつ廃液が少ない 導電性成分が100%銅であり、銀ペーストより安価
車載基板にも対応する高信頼性	<ul style="list-style-type: none"> 実装業界で求められる各種信頼性評価基準を満たしている 銀ペーストの課題であるマイグレーション耐性が良好 保管安定性が良好
多種の基板に適用可能	<ul style="list-style-type: none"> FR-4、CEM-3基板だけでなく、CEM-1基板にも適用が可能 さまざまな基板厚、スルーホール径に適用が可能

2-3 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へ塗布され、たとえば図2に示す硬化プロファイルで硬化させる。硬化条件は、大気雰囲気下にて50~60℃の2時間で溶剤を乾燥し、続いて150~165℃の1時間でバインダー樹脂を硬化させる。

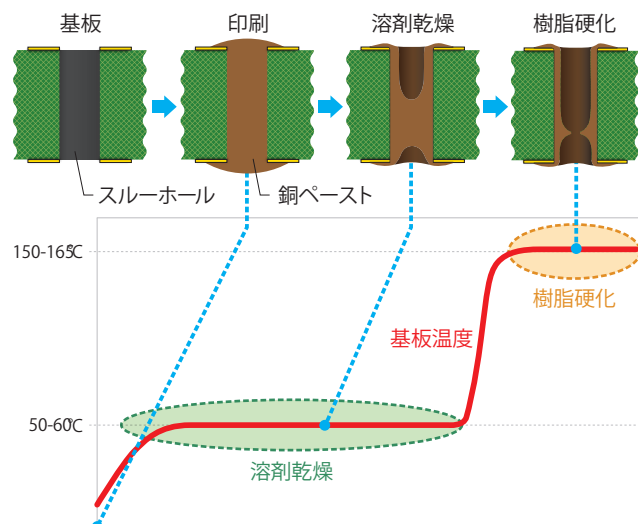


図2 銅ペーストの使用方法和硬化プロファイルの一例

2-4 新製品「CP-800S」の信頼性

新たに開発したスルーホール用銅ペーストの新製品「CP-800S」は、銅粉と樹脂バインダーの最適化により、当社従来品からの電気抵抗値の低減および信頼性の大幅な向上を達成している。銅ペーストを印刷した基板の信頼性試験は、部品が実装されたはんだ接合部の評価で実施される試験に準拠する形で行われる。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^{2)~5)}。

当社従来品においても実装業界で求められる各種信頼性評価の基準を満たしているが、CP-800Sでは各種試験において、試験前後の電気抵抗値の変化が小さく、当社従来品よりもさらに信頼性が向上する結果となっている (表3)。

表3 CP-800Sの各信頼性試験の結果

項目	代表値	備考
高温放置	試験終了後 30mΩ/穴以下	100℃/2,000時間
低温放置	試験終了後 30mΩ/穴以下	-55℃/2,000時間
プレッシャークッカーテスト	試験終了後 30mΩ/穴以下	121℃/98%RH/196kPa/16時間
ホットオイル	試験終了後 30mΩ/穴以下	260℃/10秒+20℃/10秒、X200回
冷熱衝撃	試験終了後30mΩ/穴以下	-65℃/30分+125℃/30分、X2,000回
リフロー耐熱	試験終了後 30mΩ/穴以下	250℃×6回
曲げ強度	試験終了後 30mΩ/穴以下	5%wrap×100回
はんだ耐熱	試験終了後 30mΩ/穴以下	260℃/5秒×6回
高温高湿バイアス	1.45mmピッチ 2,000hr後 9×10 ¹¹ Ω・cm以上	60℃/90%RH/DC50V//2,000時間

(CEM-3基板、基板厚1.6mm、スルーホール径0.5mm)

3 小径両面基板および4層基板への適用性

3-1 評価基板の仕様

銅めっき法が幅広いスルーホール径に適用されているのに対し、現在スルーホール用銅ペーストが使用されている両面基板の主なスルーホール径は、0.4~0.6mmとなっている(図3)。

当社では、銅めっきスルーホール代替の適用範囲を広げるために、スルーホール径が0.4mmより小さい両面基板および4層基板へのCP-800Sの適用性を評価した。本稿では、当社で実施した評価の抜粋として、小径両面基板および4層基板合わせて以下の5種の基板を使用した際の結果を紹介する。

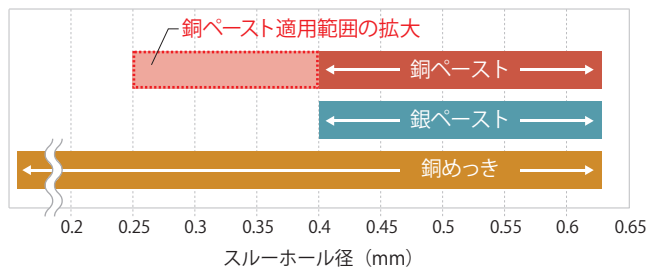


図3 スルーホール径に対する適用可能スルーホール形成材

当社での評価に用いた基板の仕様は、FR-4基材を使用し、両面基板では板厚1.6mmでスルーホール径が0.3mmおよび板厚1.0mmでスルーホール径0.25mmの2種類である。また、4層基板は以下の表4に示す仕様の3種類の基板を使用した。

表4 当社評価4層基板の仕様

仕様	①	②	③
穴径 (mm)	0.4	0.3	0.25
板厚 (mm)	1.0		
ピッチ (mm)	1.0		
銅箔厚 (μm)	1層 (L1)	35	
	2層 (L2)		
	3層 (L3)		
	4層 (L4)		

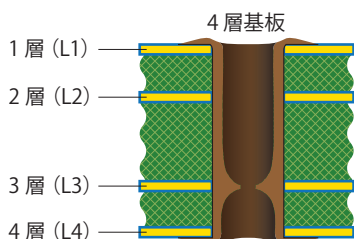


図4 4層基板の断面概略図

3-2 技術課題

スルーホール径が小さく、かつ基板の厚みが増すほど(アスペクト比が高くなる)、スルーホール内部に銅ペースト

を充填することが難しくなる。当社の銅ペーストは、レオロジー制御により、アスペクト比が高いスルーホールに対して良好な印刷性が得られる。また、アスペクト比が高いスルーホールでは、溶剤乾燥工程において溶剤蒸気の抜けが悪くなり、銅ペースト硬化膜の形状不良の原因となる。当社では印刷性と乾燥性を両立した最適な処方設計により、この課題をクリアしている(図5)。

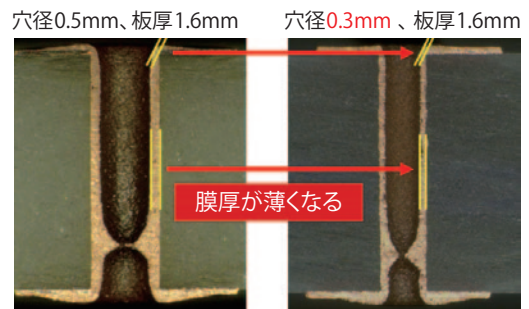


図5 両面基板スルーホール断面

スルーホール径が小さくなると、スルーホール内に充填される銅ペーストの量が少なくなるため、銅ペーストの硬化膜の膜厚が薄くなる傾向がある(図5中の黄色線はスルーホール角部と壁面の銅ペースト硬化膜の厚みを示している)。通常、銅ペーストは、硬化膜の膜厚が薄くなるにつれて電気抵抗値が上昇する。

これは、銅ペースト硬化膜中の銅粉同士の接触による導通パスが減少することと、加熱硬化工程中の酸化の影響が大きくなることに起因する。図6は、電気抵抗値の膜厚依存性を示している。CP-800Sは、当社従来品と比較して薄膜化した際の電気抵抗値の上昇が抑制されている。

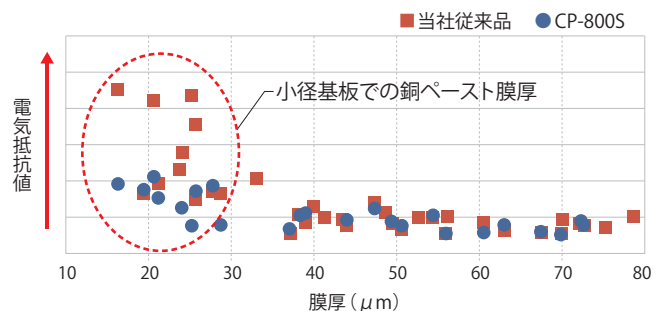


図6 硬化膜厚の電気抵抗値への影響

3-3 信頼性試験

小径両面基板の信頼性試験の結果を図7に示す。評価で使用した基板は、小径両面基板、4層基板それぞれ3-1項で述べた基板となる。小径両面基板の信頼性評価では、冷熱サイクル試験、高温高湿放置試験、高温放置試験のいずれにおいてもCP-800Sは、スルーホール径0.3mmの基板では、当社従来品と比較して良好な結果となった。

この結果から、より小さいスルーホール径へのCP-800S適用の可能性を検証するため、板厚が1.0mmでスルーホール径が0.25mmの基板で信頼性試験を実施した。ス

スルーホール径が0.25mmの基板では、初期抵抗値は板厚1.6mmでスルーホール径が0.3mmの基板と同等であるが、特に冷熱サイクル試験後の電気抵抗値の上昇が大きい結果となった(図8)。

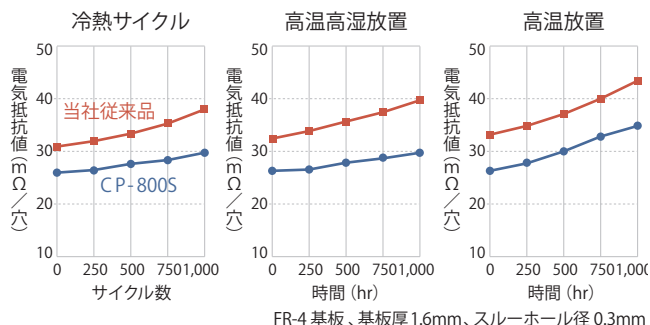


図7 両面基板におけるCP-800Sと当社従来品の信頼性試験結果

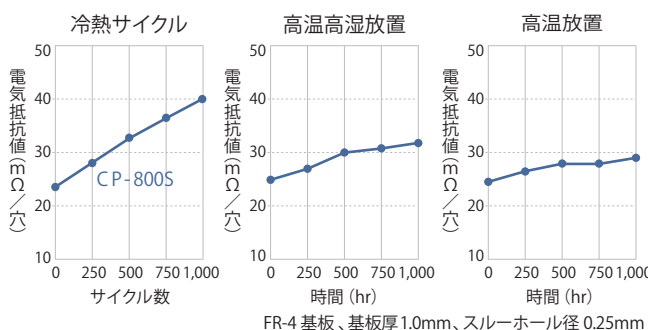


図8 CP-800Sの小径両面基板における信頼性試験結果

次に、4層基板における信頼性評価の結果を表5に示す。表中の変化率は、各信頼性試験の実施前後における電気抵抗値の変化率を表している。スルーホール径0.4mmの基板では、両面基板と同様の1層目と4層目間(L1-L4間)だけでなく、1層目と2層目回路間(L1-L2間)および3層目と4層目間(L3-L4間)の電気抵抗値に大きな変化はない。また、L1-L2間およびL3-L4間の電気抵抗値から、2層目および3層目の銅箔回路と銅ペーストの電気接続性は良好であることが確認できた。

しかしながら、スルーホール径が0.3mmおよび0.25mmと小さくなるにつれて、スルーホール径0.4mmの基板と比較すると電気抵抗値の変化率が高くなる傾向となった。これは、スルーホール径が0.25mmの小径両面基板の結果と同様に、スルーホール径が小さくなり、スルーホール内に充填される銅ペーストの量が少なくなることで硬化後の銅ペーストの厚みが薄くなったことが原因であると考えている。

これらの結果から、スルーホール径が小さい基板への銅ペーストの適用には、銅ペーストが薄膜化した際の信頼性が、現状では不十分であることが示された。CP-800Sは、当社従来品と比較して薄膜化した際の電気抵抗値の上昇は抑えられているが、スルーホール径が小さい基板への適用には、この点でさらなる改良が必要である。当社では、現在この課題をクリアすべく銅ペーストの改良を進めている。

表5 4層基板信頼性試験後の電気抵抗値変化率

測定位置	スルーホール径0.4mm			付記
	1層目-4層目間 (L1-L4間)	1層目-2層目間 (L1-L2間)	3層目-4層目間 (L3-L4間)	
冷熱サイクル試験	変化率5%	変化率10%	変化率-10%	基材：FR-4 基板厚：1.0mm -55℃/30分+125℃/30分、×1,000回
高温放置試験	変化率5%	変化率11%	変化率0%	100℃×1,000時間
高温高湿放置試験	変化率-2%	変化率1%	変化率-10%	85℃×85%RH ×1,000時間
はんだ耐熱試験	変化率-3%	変化率-13%	変化率-20%	260℃/5秒 X6回
測定位置	スルーホール径0.3mm			付記
	1層目-4層目間 (L1-L4間)	1層目-2層目間 (L1-L2間)	3層目-4層目間 (L3-L4間)	
冷熱サイクル試験	変化率49%	変化率62%	変化率29%	基材：FR-4 基板厚：1.0mm -55℃/30分+125℃/30分、×1,000回
高温放置試験	変化率16%	変化率19%	変化率15%	100℃×1,000時間
高温高湿放置試験	変化率18%	変化率28%	変化率-3%	85℃×85%RH ×1,000時間
はんだ耐熱試験	変化率2%	変化率12%	変化率-1%	260℃/5秒 X6回
測定位置	スルーホール径0.25mm			付記
	1層目-4層目間 (L1-L4間)	1層目-2層目間 (L1-L2間)	3層目-4層目間 (L3-L4間)	
冷熱サイクル試験	変化率66%	変化率72%	変化率45%	基材：FR-4 基板厚：1.0mm -55℃/30分+125℃/30分、×1,000回
高温放置試験	変化率21%	変化率34%	変化率14%	100℃×1,000時間
高温高湿放置試験	変化率26%	変化率47%	変化率14%	85℃×85%RH ×1,000時間
はんだ耐熱試験	変化率11%	変化率13%	変化率8%	260℃/5秒 X6回

4 おわりに

本稿で紹介したスルーホール用銅ペーストの新製品CP-800Sでは、銅粉と樹脂バインダーの最適化により、当社従来品から電気導電性および信頼性を大幅に向上させることが可能となった。また、小径スルーホール基板や4層基板への適用の可能性により、銅めっき法からの代替の可能性を大きく広げ、顧客におけるコスト削減や環境負荷の低減に貢献できると考えている。

現在、印刷法では困難とされる、より小径基板への銅ペーストの適用を目指して、銅ペーストの改良を進めている。スルーホール用銅ペーストのトップメーカーとして、今後も顧客のうれしさにつながる製品開発を進めていきたい。

<参考文献>

- 1) 小川孝之、Harima Quarterly No.115 (2013 ハリマ化成グループ株式会社)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)