

両面基板用スルーホール用銅ペースト

Copper paste for through-hole of double sided circuit board

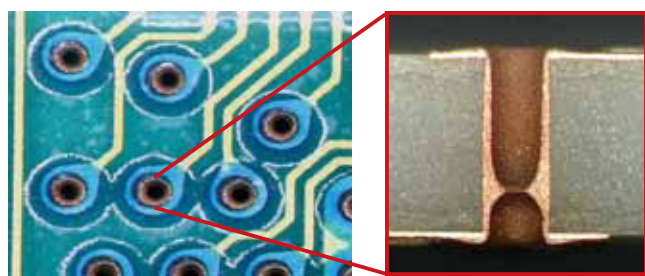
小川孝之 / 研究開発カンパニー 研究開発センター 筑波開発室
Takayuki Ogawa Tsukuba Development R&D Center R&D Company



1 はじめに

近年、エレクトロニクス業界において東アジア諸国の企業の台頭が顕著である。国内外の企業では、国際競争に競り勝つためにさまざまな取り組みを行い、日々、製品競争力を高めている。製品競争力を高める手段のひとつとして、製品のコストダウンに対する取り組みが活発に行われており、本報で述べる両面基板用銅ペーストは、コストダウンの一翼を担う材料である。

両面基板とは、電子部品を搭載するための導体パターンが形成されたプリント配線板（以後、基板）の一種であり、表面と裏面の両方に導体パターンを有している。両面基板には、基板の表裏の電気回路を電気的に接続させるための穴（スルーホール）が多数配置されている（図1）。基板



(a) 両面基板の表面 (b) スルーホールの断面

図1 銅ペースト実装した両面基板のスルーホール

の表裏を接続させる方法として、スルーホール内部に銅めっきを形成させるめっき法および導電性銀ペーストを使用する印刷法が広く採用されている（表1）。

しかしながら、めっき法については工程数が多いため製造コストが高く、環境負荷物質を含有する廃液を多量に排出するといった欠点がある（図2）。一方、銀ペーストを使用した印刷法は、めっき法の欠点を改善したが、イオンマイグレーションが発生する欠点を有しており、また昨今の銀価格の高騰により価格面での優位性がなくなってきた。

我々は、これら従来の技術で課題となっている価格面および環境面を解決することが可能な材料として銅ペースト

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	
	銀ペースト	銅ペースト
銅めっき		
△ めっきコストが高い （規模による） × 産業排水量が多い ○ マイグレーションなし	△ ペーストが高い ○ 産業排水量が少ない △ マイグレーションあり	○ ペーストが安価 ○ 産業排水量が少ない ○ マイグレーションなし

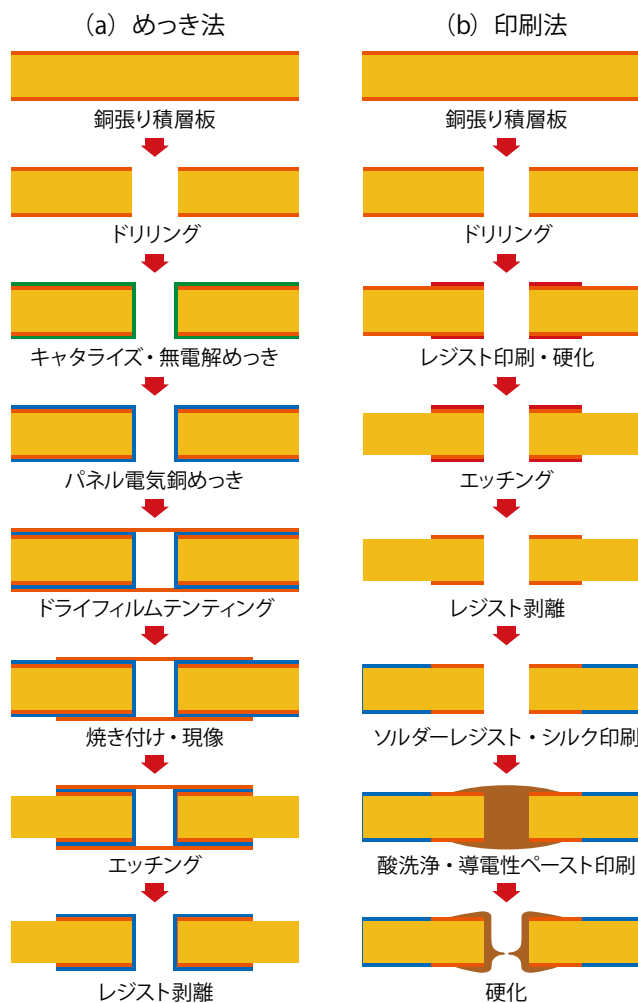


図2 スルーホールの製造フロー

CP-700を開発し上市している。本報では、銅ペーストについて実用化を可能にしたペースト設計と特性について報告する。

2 スルーホール用銅ペーストの設計

2.1.銅ペーストの特徴

銅ペーストとは、樹脂バインダに導電機能を持つ金属粒子（銅粒子）を分散した複合材である（図3）。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し、銅粒子同士が接触することで導電性のパスが形成されて電気が流れる。しかしながら、銅は大気中の酸素により容易に酸化され、その表面には酸化皮膜が形成されている（図4）。

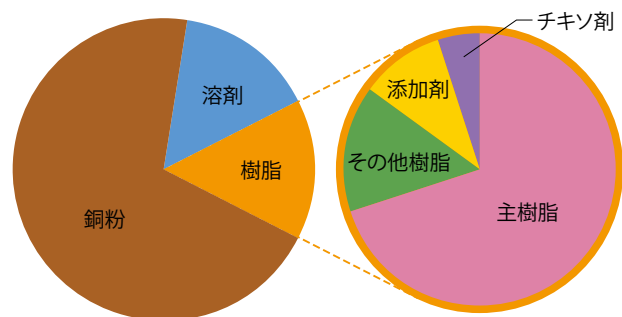


図3 銅ペーストの組成

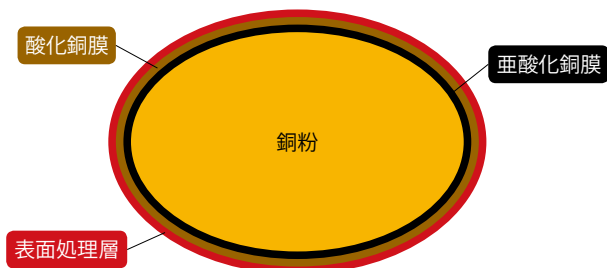


図4 銅粉の表面状態

そのため、先に述べた樹脂による硬化収縮だけでは実装業界で必要とされる低い電気抵抗値にはならない。酸化皮膜による影響をいかに克服するかが銅ペーストの設計の鍵となる。

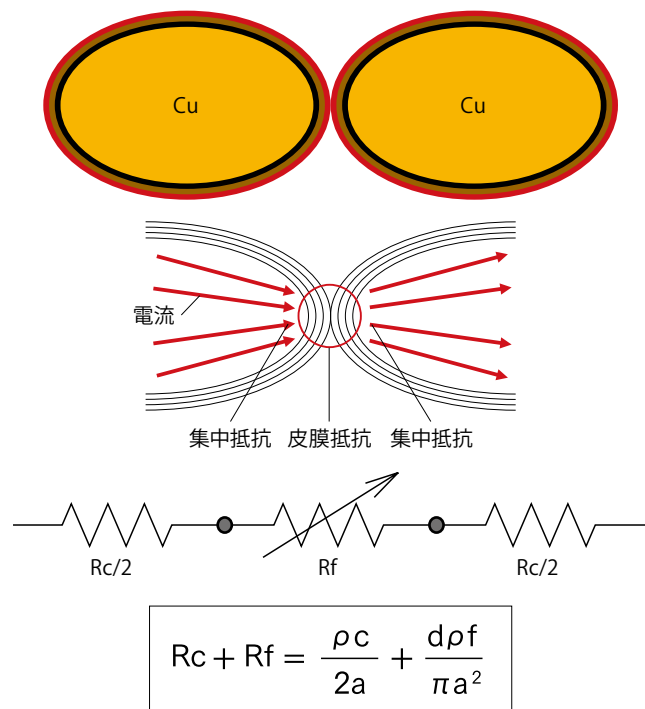
2.2.銅ペーストの設計

図5に銅粒子同士の接触面における電気の流れについて単純モデルを示す。2個の銅粒子が樹脂の収縮によって締め付けられ、ある面で接していると仮定した際、銅粒子中を流れている電流は小さな接触面に向かい集中し、そこで集中抵抗が発生する。また、銅粒子間には酸化皮膜が存在するため、ここに皮膜抵抗が発生する。接触抵抗はこの集中抵抗と皮膜抵抗の総和として表すことができる。

これらの総和を低減させるには、接触面積を増大させることおよび皮膜厚みを削減させることが有効である。我々は、これらを達成するために樹脂の収縮による物理的圧縮

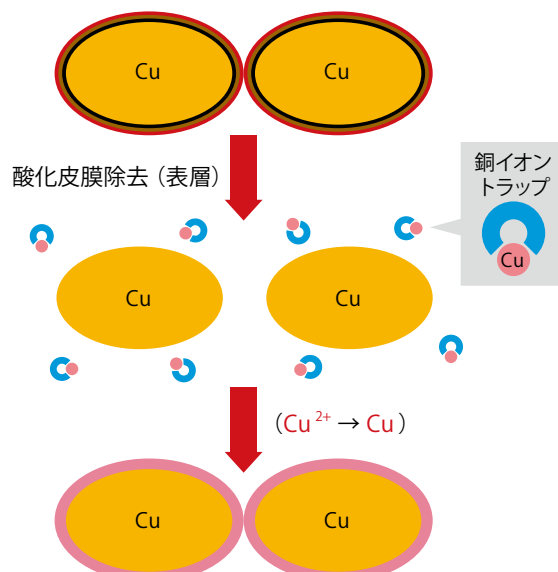
だけでなく、銅粒子の物理的研磨を行い、それを安定化させる手法をとった。

物理的研磨は、銅粒子を樹脂に分散させる工程において高速遊星ミルによる、せん断条件の調整でなされることを見出した。物理的研磨により銅粒子の酸化皮膜が除去および薄膜化されるが、放置すると再び酸化が進行し、酸化皮膜の再形成および成長が起こるため、再酸化に対抗する安定化策が必要である。安定化の方法として、キレート形成物質を配合した（図6）。再酸化が起こる過程において、



ρc : 銅の比抵抗 d : 皮膜の厚み a : 接触面を円形としたときの半径
 ρf : 皮膜の比抵抗... $f(V,T,d)$

図5 銅粉接触面の等価回路



銅粉の接触点を強化

図6 銅ペーストの低抵抗化メカニズム

物理的研磨の際に発生した酸化皮膜由来の銅イオンも酸化の要因のひとつになる。

そこで銅イオンとキレートを形成する物質を配合することで、酸化皮膜の形成を一部抑制した。また、銅イオンのキレート化合物は比較的高温領域までキレート状態を保持する。そのため、銅ペーストの硬化の際に銅粒子同士が近接し始めてからキレート結合が切断され銅が再析出し、銅粒子間の接触面積が増大して接触抵抗が良好になる。

3 両面基板への適用性

3.1.銅ペーストの使用法

図7に銅ペーストの使用法を、図8に推奨する硬化プロファイルを示す。銅ペーストはスクリーン印刷法により

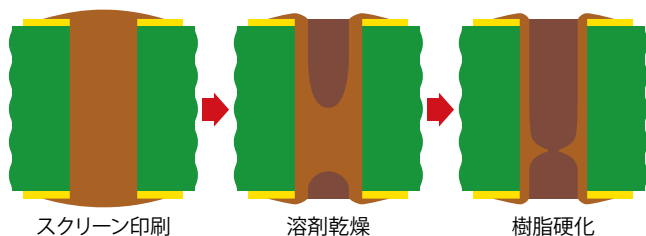


図7 銅ペーストの使用法

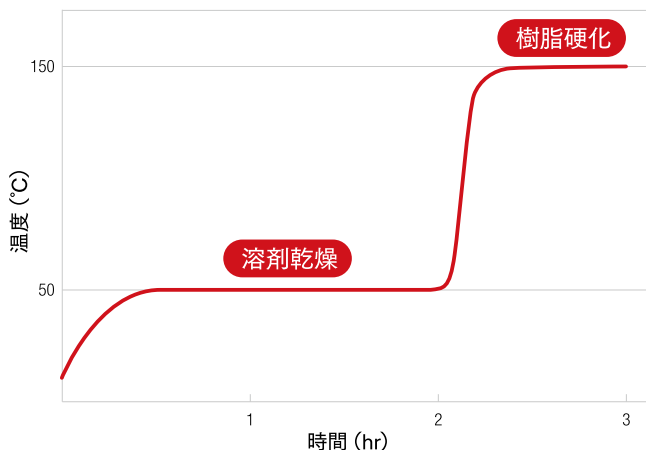


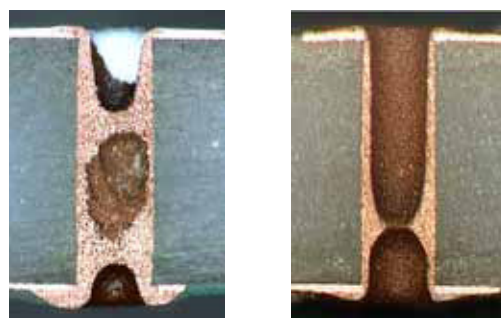
図8 推奨する硬化プロファイル

両面基板のスルーホールに塗布し、所定の硬化条件で硬化させる。硬化条件は、50℃で2時間の溶剤乾燥を行い、次いで150℃以上で1時間の樹脂硬化を行う。

溶剤乾燥の工程は、銅ペーストに含有される溶剤を揮発させるために必要である。溶剤乾燥を行わなかった場合は、スルーホールに充填された銅ペーストの表面が早々に乾燥してしまい、内部に残存する溶剤が揮発する際に外部に抜けるパスがないために銅ペースト内部で蒸気爆発を起こし、電気接続性の低下を引き起こす。そのため、銅ペーストの使用にあたり、溶剤乾燥の温度および時間の設定は非常に重要である。

3.2.銅ペーストの最適な溶剤乾燥条件

図9に蒸気爆発を起こしたスルーホールおよび正常なスルーホールの断面形状を示す。蒸気爆発を起こしたスルーホールは、空洞や小さなクラックが発生すると同時に硬化物の膜厚が不均一となり、電気接続性を低下させる場合がある。図10に溶剤乾燥の条件による銅ペーストのスルー



(a) 異常な形状 (b) 正常な形状

図9 スルーホールの断面形状

溶剤乾燥時間	溶剤乾燥温度		
	50℃	55℃	60℃
0.5hr			
1.0hr			
1.5hr			
2.0hr			
3.0hr			

形状安定

図10 溶剤乾燥によるスルーホール形状への影響

ホール断面形状への影響を示す。

溶剤乾燥温度を50℃、55℃、60℃に設定し、溶剤乾燥時間を0.5時間～3.0時間まで変動させた際のスルーホールの断面形状を評価した。結果、溶剤乾燥温度を50℃に設定した際は、溶剤乾燥時間を2.0時間以上とすることで、スルーホール形状が安定した。55℃に設定した際は1.5時間以上、60℃に設定した際は1.0時間以上でスルーホール形状が安定した。溶剤乾燥温度を60℃以上に設定した際は、既述したように銅ペーストの表面が乾燥してしまい蒸気爆発が発生し形状異常が起きることを確認しており溶剤乾燥の条件としては不適であった。

3.3.特性

銅ペーストを実装した両面基板の性能評価は、主にはんだ接合部の評価で用いられる信頼性試験を基本としている。図11に信頼性試験の一例を示す。信頼性試験には、大別して接合信頼性と絶縁信頼性試験がある。接合信頼性試験の例としては、評価の対象とする試料を高温高湿雰囲気下や高温および冷温を繰り返す雰囲気下に設置し、抵抗変化率の推移で判定する方法等が行われている¹⁻³⁾。

一方、絶縁信頼性は、高温高湿雰囲気下で電圧を印加し、耐マイグレーション性を評価する方法等が行われている⁴⁾。

銅ペーストCP-700について、各種の信頼性試験を行った。評価は、スルーホール径が0.5mmのCEM-3基材（ガラス布とガラス不織布の混合物にエポキシ樹脂を含浸させた基材）にCP-700を印刷して硬化させた試料を使用した。表2に結果を示す。CP-700の物性は各種の試験において、抵抗変化率がいずれも30%未満と良好であり、車載用としても使用可能な高い水準を満たしていた。

表 2 主な信頼性試験の結果一覧 (CEM-3材使用)

試験項目	特性	備考
高温放置	変化率30%未満	100℃/2000時間
低温放置	変化率30%未満	-55℃/2000時間
プレッシャーッカー	変化率30%未満	121℃/98RH%/196kPa/16時間
ホットオイル	変化率30%未満	260℃/10秒+20℃/10秒、 ×200
冷熱衝撃	変化率30%未満	-65℃/30分+125℃/30分、 ×2000
リフロア耐熱	変化率30%未満	250℃×6回
曲げ強度	変化率30%未満	5%wrap×100回
はんだ耐熱	変化率30%未満	260℃/5秒×6回
高温高湿バイアス	1.45mmピッチ 2000hr後 9×10 ¹¹ Ω・cm以上	60℃/90%RH/DC50V/ 2000時間

3.4.適用可能な両面基板

スルーホール形成材（銅めっき、銀ペースト、銅ペースト等）の性能は、使用する両面基板の材質に大きく影響を受ける。ガラス布にエポキシ樹脂を含浸させた基板であるFR-4材、ガラス布とガラス不織布の混合物にエポキシ樹脂を含浸させた基材であるCEM-3材などを使用した場合は、基板の寸法変化が小さく、吸湿性が低い等の性能を有しているため、信頼性試験で基板にかかる熱履歴や高温状態による影響が少ないが、コストは比較的高くなる。

一方、紙にフェノール樹脂を含浸させた基材であるFR-1材、紙にエポキシ樹脂を含浸させた基材であるCEM-1材は、寸法変化が大きく、吸湿性も高いが、FR-4材やCEM-3材と比較して安価である。銅ペーストCP-700は、FR-4材およびCEM-3材に加え、FR-1材とCEM-1材も適用が可能である。

4

おわりに

銅ペーストCP-700は、両面基板のスルーホールに使用した際に基板の製造コストを低減させることが期待できる。従来技術である銅めっきおよび銀ペーストの代替材料として適用可能であり、安価な基板（FR-1材、CEM-1材）で使用することも可能である。これら特性の実現は、当社独自の銅イオンのキレート化技術で、銅粒子間の接触抵抗を改善したことに起因する。今後、市場に潜在するニーズをより早く察知し、顧客に必要とされる高機能な銅ペースト製品の開発に取り組んでいきたい。

<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) 大島利行, "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

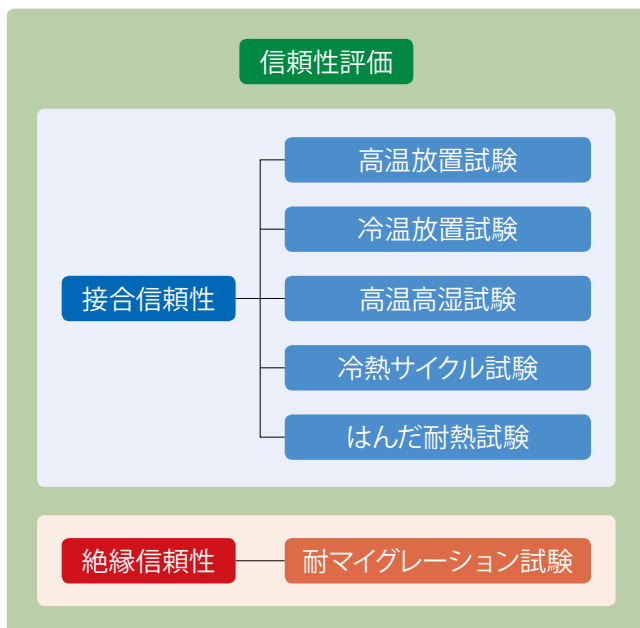


図11 信頼性試験の一例