

# 導電性接着剤を用いた電子基板の信頼性に関する研究

清水章良・木島一広・中村卓・河野裕

## Study on Reliability for PCB Using Electrically-Conductive Adhesive

Akio SHIMIZU, Kazuhiro KIJIMA, Takashi NAKAMURA and Hiroshi KONO

### 要 約

電子基板への部品実装時には利便性などから主にはんだが使用されてきた。しかし、電子機器の多様化が進み、はんだの融点に近い温度での作動が必要な製品や、はんだによる実装時の加熱により部品性能の劣化・破損などが想定されるケースが多くなり、はんだの代替品として導電性接着剤が注目されるようになってきている。

本研究では導電性接着剤による実装ノウハウの蓄積及び電子基板の新しい信頼性評価手法の検証を目的として、ベクトルネットワークアナライザ（VNA）を用いたタイムドメインリフレクトメトリ（TDR）測定を行い、インピーダンスの変化を信頼性の評価に用いる手法を提案し有効性を確認した。その結果、はんだ接合部の評価と同様に評価可能であることが分かった。

### 1. 緒 言

接合剤としての樹脂と電氣的導通を得るための金属を混合して作られる導電性接着剤はその技術としては数十年前から存在していたが、はんだと比較して接合強度が弱かったり、マイグレーションが発生したりするなどの問題からはんだの代替材料として使用されることはなかった。しかし、RoHSに代表されるような環境に有害な物質の使用を制限する取り組みが世界各国で行われるようになり、はんだにおいても鉛が有害物質として規制され鉛を使用しないはんだへの切り替えが求められるようになった。鉛の代わりに銀や銅を使用した鉛フリーはんだなどが開発されてきたが、決め手となる代替はんだが確立されていないこと、電子デバイスの多様化によりはんだの実装温度までの耐熱性を持っていないデバイスの実装ニーズが増えたこと、逆に車載部品などはんだの融点に近づくような高温下で動作させる製品が増えたことなどの社会的背景と、導電性接着剤の技術開発が進み、これらの社会ニーズに対応した特性を持たせることが可能になったことから、はんだに替わる接合方法として導電性接着剤が着目されるようになった。

導電性接着剤の信頼性に関して鉛フリーはんだと同様に高温高湿試験や冷熱衝撃試験での加速劣化試験が可能なことや導通抵抗やせん断強度の測定による劣化の評価が可能なが知られているが<sup>1)</sup>、依然として信頼性試験の課題である短期間、非破壊での評価方法が求められている。

そこで、本研究では導電性接着剤を使用した電子基板

の信頼性評価方法として、VNAを用いたTDR測定を行うことによって得られるインピーダンスの変化を信頼性評価に用いる手法を提案し、その有効性を検証するために導電性接着剤で実装を行ったサンプル基板を作成し、加速劣化試験の1つであるヒートサイクル試験を行い、劣化の評価に適用した。

### 2. 実験方法

#### 2-1 サンプル基板の作成

加速劣化試験に使用したサンプル基板は、特性インピーダンスが50Ωのコプレナ線路であり、実装する部品は3216サイズの0Ω抵抗、ローパスフィルタ（カットオフ周波数6.4GHz、8.4GHz）を使用した。（図1）

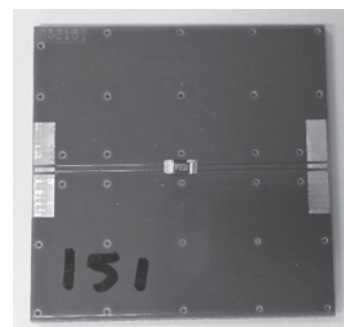


図1 試作したサンプル基板

実験に使用した導電性接着剤は、エポキシ樹脂と銀フィラを使用した100℃での実装が可能な2液混合タイプ、1液で70℃での実装が可能な低温実装タイプ、1液で

150℃での実装が可能な高温実装タイプ、1液でフィラにニッケルを使用した高温実装タイプの合計4種類を使用した。

実装作業は、はんだの時と同様に厚さ120μmのメタルマスクを使用して基板上的パターン面に導電性接着剤を塗布し、各接着剤の指定されている温度プロファイルにてリフロ炉での実装を行った。

2-2 TDR 測定および抵抗値測定

TDR 測定には Keysight Technologies 製の VNA(型式 E5071C)を、抵抗値の測定には KEITHLEY 製のマルチメータ(型式 2701)を用いた。二つの測定を一度に行えるようにサンプル基板に接続するコネクタ部分にバイアスティを挿入して、TDR 測定に必要な高周波成分と抵抗値測定に必要な直流成分とに分割したシステムを構築し測定を行った。(図2)

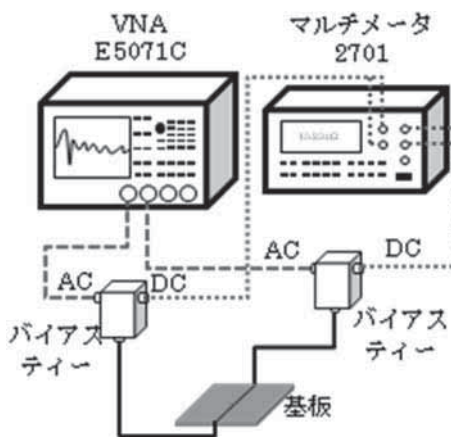


図2 TDR, 抵抗値同時測定システム

実装した部品は0Ωの抵抗および、LC型のローパスフィルタであるため、両部品とも部品自体の抵抗値が低く、ケーブル自体の抵抗や接触抵抗などの外乱による影響を極力低減させる必要があり、バイアスティのDC端子部分から2端子ずつ取り出す4端子法での測定を行った。

図3はVNAのE-TDR機能を用いてTDR測定を行った画面であるが、高周波の信号が伝わる部分には全て50Ωの同軸ケーブルを使用し、基板上的伝送線路も50Ωになるように設計してあり、VNAのキャリブレーションはバイアスティと基板の間で行っている。よって、縦軸のインピーダンスが50Ωから大きく外れて観測されるのは基板の伝送線路へプロービングしている部分と導電性接着剤、実装した部品であると推測でき、実際に図3の波形で最も高くなっている部分がプロービングしている部分に相当し、低くなっている部分が導電性接着剤接合部及び実装した部品に相当している。



図3 TDR 測定画面

2-3 加速劣化試験方法

本研究で行ったヒートサイクル試験は、気槽型の冷熱衝撃試験機を用いて、低温側を-40℃、高温側を120℃、さらし時間を各10分にて実施した。150サイクル毎に試験をいったん中断し、室温状態に戻したのちに抵抗値測定とTDR測定を行う手順にて評価を実施した。

3. 結果と考察

3-1 ヒートサイクル試験結果

今年度は1500サイクルまでヒートサイクル試験を行い、表1に示すように6つのサンプル基板で導通不良が発生した。150サイクル目の測定で異常を検出したサンプルは初期値との比較しか行えないので除外し300サイクル以降に不良となった基板について断面観察、抵抗値やTDR測定の結果の評価を実施した。

表1 異常検出したサイクル数

接着剤	実装部品			
	0Ω抵抗	ローパスフィルタA (6.4GHz)	ローパスフィルタB (6.4GHz)	ローパスフィルタC (8.4GHz)
2液混合銀フィラ	○	○	○	1500
低温実装銀フィラ	○	○	○	1500
高温実装銀フィラ	○	○	○	○
高温実装ニッケルフィラ	150	300	450	150

※○は1500サイクルまでに異常検出せず

3-2 外観, 断面観察結果

リフロ炉での実装の様子を、高温観察装置を使用して基板の側面方向から観察を行った。図4がリフロを行う前の様子であるが、はんだペーストで実装を行った時と同様に実装部品が接着剤の上に乗っているだけである。

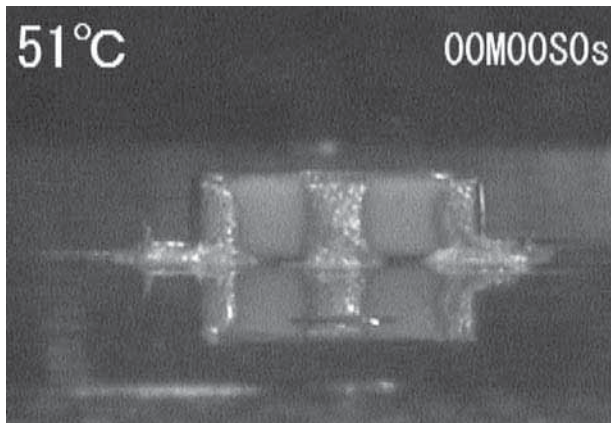


図4 実装時の様子（リフロ前）

図5はリフロ工程を終えた直後の側面方向からの画像であるが、図4の時と比較して変化が見られない。接合部の詳細を調べるために実装直後の基板の断面観察を行ったが（図6）はんだペースト比べて僅かではあるが実装部品の電極部分にぬれ上がってフィレットを形成している。

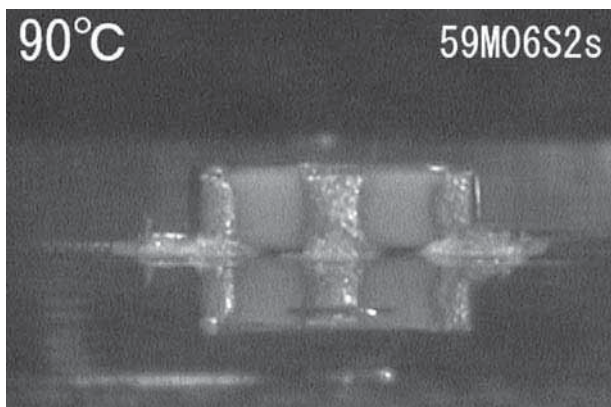


図5 実装時の様子（リフロ後）

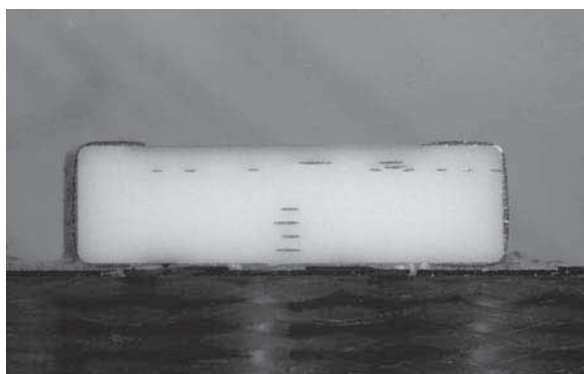


図6 実装後の断面

はんだペーストの場合だと、リフロ工程中にはんだペーストが融点に達し液状化した瞬間に実装部品の電極部分にぬれ上がるによりフィレット形状を形成、位置ずれの補正がなされるが、導電性接着剤の場合は、粘度

が高い状態のまま硬化するため、ぬれ上がりが少なく、位置ずれの補正が行われることなくそのままの状態を実装される。

ヒートサイクル試験が1500サイクル経過した時点での抵抗値測定で導通不良となったサンプル（2液混合タイプ、ローパスフィルタC）の断面観察を行った結果、実装部品の電極部分と導電性接着剤の界面にクラックが伸びており導通不良個所の特定ができた。（図7）

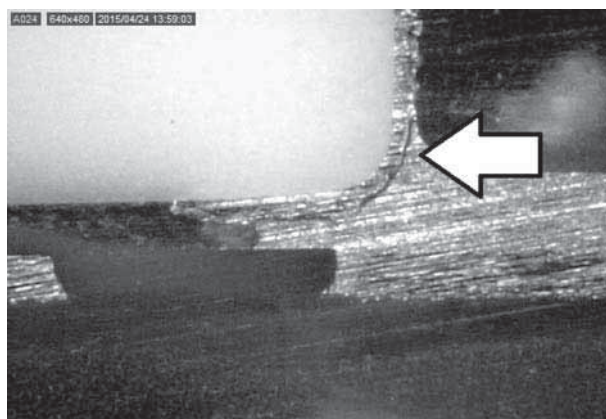


図7 導通不良部分の拡大図（2液混合、ローパスフィルタC）

### 3-3 抵抗値, TDR 測定結果

図8はニッケルフィラで実装を行ったサンプルの抵抗値の測定結果で、実装直後の測定値を基準値としてその変化量を表しているが、ローパスフィルタA実装基板は300サイクル時の測定で抵抗値が測定限界以上（断線状態）となり、ローパスフィルタB実装基板は450サイクル時の測定で断線状態となっている。

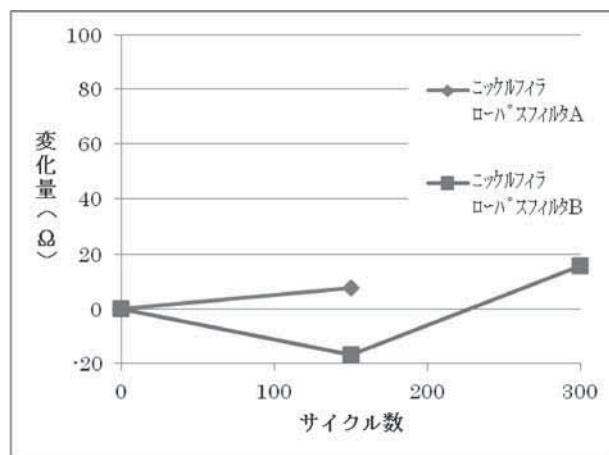


図8 抵抗値の変化量（ニッケル）

両サンプルとも断線状態となる前のサイクルでの測定値は初期値よりは数Ωの上昇は見られるが、ローパスフィルタB実装基板においては150サイクル時の測定で初期値より減少していることから数Ω程度の増減は測定



時のプロービング等の影響によっても起こり得る変化と考えられ、その段階で異常と判定を行うのは困難である。

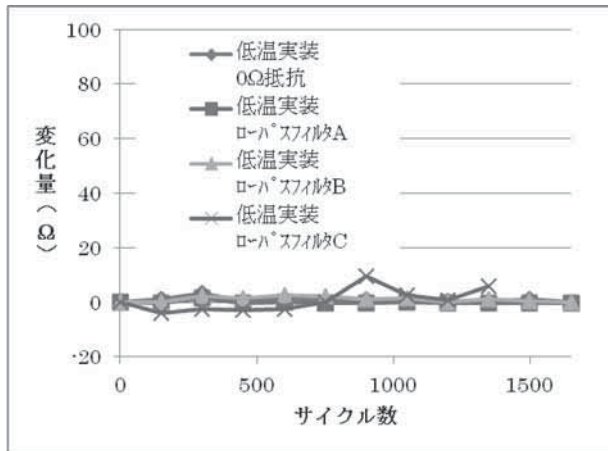


図9 抵抗値の変化量 (低温実装タイプ)

図9は低温実装タイプのサンプル基板の抵抗値の変化量であるが、1650サイクルまでの測定した時点ではローパスフィルタC実装基板のみが断線状態となり、それ以外のサンプルは正常状態のため引き続きヒートサイクル試験を実施している。ローパスフィルタC実装基板は900サイクルの時点では値が増加しているが、その次の1050サイクルの時点では減少して基準値とそれほど変わらない値となっており、この場合も断線状態となる以前に異常と判定するのは困難となっている。

TDR測定はVNAの測定ポートから出力される高周波信号が伝送線路上のインピーダンスの不整合により起こる反射によって、高周波信号を出力したポートに戻ってくる信号を測定することにより、時間軸に対するインピーダンスを求める測定方法であり、測定ポート毎に測定結果が得られるので、1つのサンプルに対してポート1からの波形T11とポート2からの波形T22が測定できる。抵抗値測定で1500サイクルの測定で断線状態となった低温実装、ローパスフィルタC実装基板のT11を並べて表示したのが図10になるが、抵抗値の時と同様に1500サイクル目の波形でインピーダンスが大きく上昇しており異常と判定することができたが1350サイクルまでの結果からは大きく変化している点を観測することができなかった。

また図7の断面観察を行ったサンプルについて1500サイクル経過時のT11とT22を比較したところ、図11の点線で示したT22の測定結果の方が横軸の時間軸が早い段階で上昇が早く観測されている。TDRにおける時間軸はキャリブレーションを実施した位置(校正面)から出力された高周波信号が伝送線路上の不整合により反射してくるまでの時間であることから、時間が早けれ

ば早いほど校正面からの距離が近いということであり、図11の結果からこの基板はポート2に近い方の電極部分に断線が生じていると推測され、断面観察の結果とも一致した結果となった。

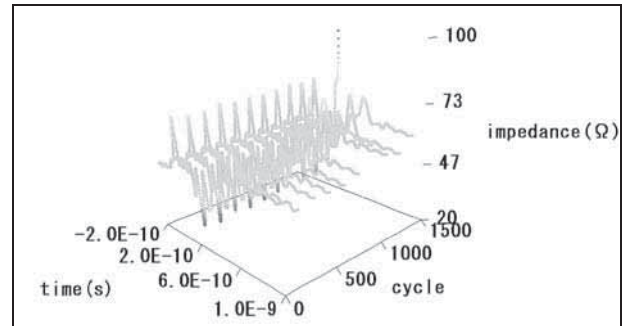


図10 TDR測定画面 (T11, 低温実装, ローパスフィルタC)

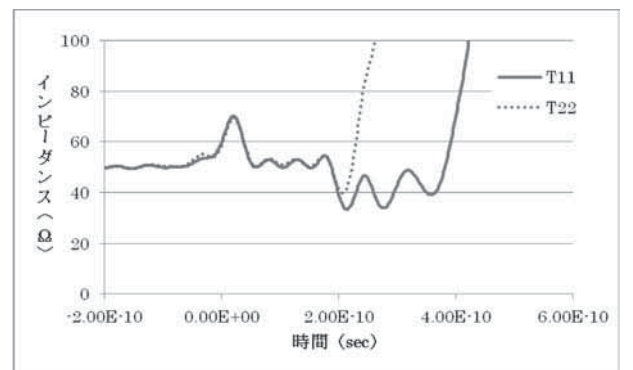


図11 TDR結果の比較 (2液混合タイプ)

しかし、ニッケルフィラのローパスフィルタB実装基板についてT11とT22を比較した結果、図12にあるように時間軸上の差が見られなかった。ニッケルフィラのローパスフィルタA実装基板についても比較したところ、図12と同様に時間軸上の差を見られなかった。

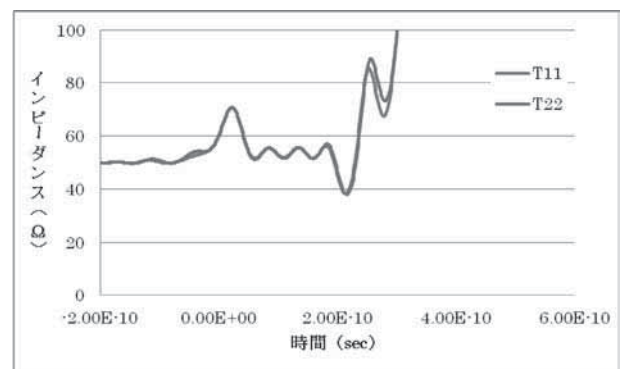


図12 TDR結果の比較 (ニッケルB)

ニッケルフィラのローパスフィルタ実装基板A,Bともに断面観察を行ったが、図7で観察できたようなクラックを確認することはできなかった。しかし、TDR

測定結果も抵抗値測定結果からも断線状態になっていると考えられるので次年度以降も引き続き原因究明を行っていく。

#### 4. 結 言

本研究では、導電性接着剤を使用した電子基板について、信頼性を評価する新しい手法として TDR 測定によるインピーダンスの変化を使用する手法を提案し、その有効性の検証と導電性接着剤の実装ノウハウの蓄積を試みた。

その結果、導電性接着剤による実装基板でも異常発生時にはインピーダンスが大きく上昇することが確認され異常の検出をすることは可能であった。抵抗値を用いる従来手法に比べての優位性、TDR 測定の利点である故障個所の特定などについては次年度以降の研究課題として取り組んでいく。

#### 参考文献

1) 平田拓哉, 田中浩: 「導電性接着剤実装の接続信頼性試験」, エスペック技術情報 No.54, P. 11-19 (2008)