

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には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動作が必要な製品や、実装時の加熱により部品性能の劣化が想定されるケースが出てくるようになり、はんだ接合の代替方法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の信頼性やその評価方法に関するノウハウの蓄積および、効率的な信頼性評価方法の確立を目的として、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、その有効性を確認した。その結果、定期的に加速劣化試験を中断して評価を行う方法と加速劣化試験中に連続的に評価を行う方法どちらの評価方法においてもはんだ接合部の場合と同様に評価可能であることが分かった。

1. 緒 言

導電性接着剤は、接着剤としての役割を果たす樹脂と電気的導通を得るための金属を混合することにより作られる。数十年前から存在する技術であり、実際に製品として販売されていたが、はんだと比較した場合、接合強度不足や、マイグレーションの発生などの問題があるため、はんだの代替材料として使用されることは無かった。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を使用していない鉛フリーはんだへの切り替えが行われてきた。鉛フリーはんだとしてスズ、銀、銅によるものやビスマスやインジウムを微量添加したものなど様々な種類が開発されているが、決め手となる代替はんだの確立には至っていない。これに対して、電子デバイスの多様化により、はんだの融点に近づくような高温下での動作が求められたり、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が求められたりしてきている。また、近年の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注目されるようになった。

導電性接着剤の信頼性については、鉛フリーはんだに対してどの程度の実力を持っているかなどの情報が無く、信頼性の評価に対しては依然として短期間、非破壊での評価方法が求められている。

昨年度までの研究では、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評価に用いる手法が適用可能かの検証を行った。その結果、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検出が可能であることが分かった。

平成 27 年度では、冷熱衝撃試験中のインピーダンス及び抵抗値の変化を連続的に測定し断線までの測定結果の変化の詳細について調査を行った。また、導電性接着剤の劣化によるせん断応力の低下について鉛フリーはんだとの比較を行った。

2. 実験方法

2-1 サンプル基板と試験条件

本研究で実施する連続測定を行うには、通常の冷熱衝撃試験機と昨年度用いたサンプル基板では、測定用のケーブルの距離を長くする必要がある上、測定用ケーブルとサンプル基板との接続コネクタなども冷熱衝撃にさらされてしまうことから、測定誤差の原因が増大し正確な測定を行うことは困難である。そこで、実装部品周辺部分のみに冷熱衝撃試験が行えるように、テストエリアが狭い小型冷熱衝撃試験機 (図 1) を用いた。また、サンプル基板の全長を 250 mm に伸ばすことによって、測定ケーブルの接続コネクタなどに熱が伝わりにくい構造 (図 2) にして評価を行った。

部品の実装工程についても鉛フリーはんだの実装工程と同様に厚さ 120 μm のメタルマスクによる塗布、指定温度プロファイルによるリフロー実装を行った。

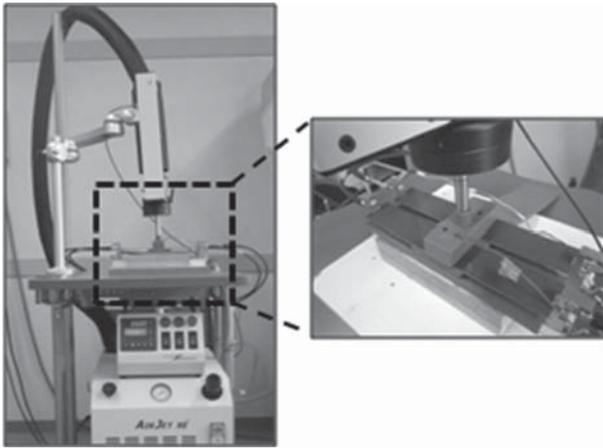


図1 小型冷熱衝撃試験機

冷熱衝撃試験の条件は高温側 120℃, 低温側 -40℃, さらし時間 20 min/cycle とし, 連続測定評価に加えて定期測定評価も実施した. 定期測定評価において抵抗値や TDR 測定などのサンプルを破壊することなく継続して冷熱衝撃試験が可能な非破壊測定は 150 サイクル程度毎に行い, サンプルを破壊して継続して試験が不可能なせん断応力の測定は 500 サイクル毎に測定を行った.

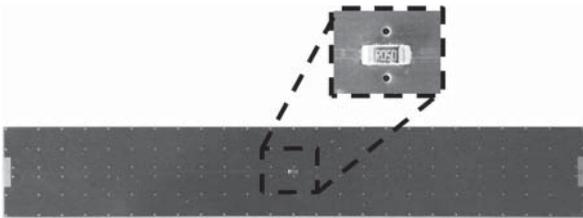


図2 作成したサンプル基板

2-2 抵抗値, TDR 連続測定システム

TDR 測定には Keysight Technologies 製の VNA (型式 5071C) を, 抵抗値の測定には KEITHELEY 製のマルチメータ (型式 2701) と昨年度までの研究で使用した機器を用いた. 測定方法も同様に抵抗値には 4 端子法による測定を行い, バイアスティで直流成分と交流成分を分割・結合することによって, それぞれの測定をコネクタやケーブルを付け替えることなく実施できるようにしている. (図3) 冷熱衝撃試験は長期間連続して行う試験のため, 測定結果の収集も自動で行えるようにする必要がある. そこで, それぞれの測定機を PC で制御を行い測定結果は逐次 PC に取り込んで保存するような制御ソフトウェアを作成した.

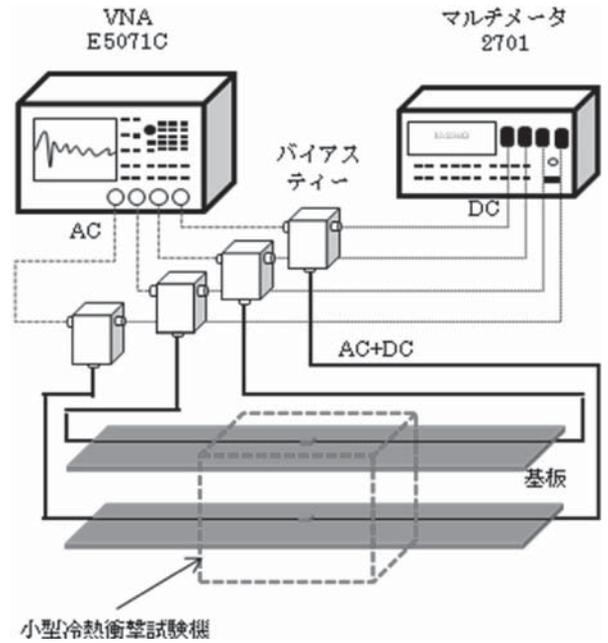


図3 抵抗値, TDR 連続測定システム

2-3 せん断応力の測定

せん断応力の測定方法については, 導電性接着剤に対応した規格が無く, 鉛フリーはんだとの相関関係を調べる目的もあることから, JIS Z3198-7「鉛フリーはんだ試験方法—第7部: チップ部品のはんだ継手せん断試験方法」に準拠した治具を用いて行った. (図4) 測定時に治具へのサンプル基板の取り付けや, せん断用治具の位置決めなどは手作業で行うため測定結果にばらつきが生じる. そこで同一条件のサンプル基板3枚に対して試験を行い, その中央値をその条件におけるせん断応力として採用し評価を行った.

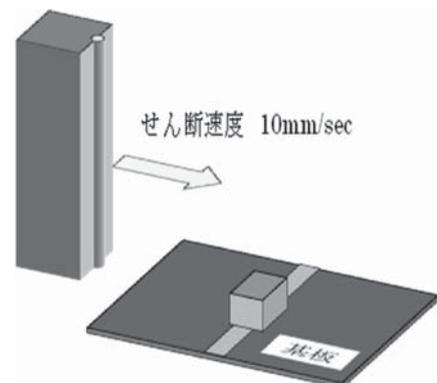


図4 せん断試験測定概念図

3. 結果と考察

3-1 抵抗値, TDR 連続測定試験

冷熱衝撃試験のさらし時間が 20 min/cycle なので, 各温度状態では 10 分滞在していることになる. この場合

2分間隔で測定を行っても各温度状態で4回以上測定を行うことになり、測定値の変化の様子を十分に観測できることから、2分間隔で図3の連続測定システムによる測定を行った。抵抗値の初期値からの変化量は図5のような結果になった。サイクル数が進むにつれて徐々に変化量が増加する傾向にあり、300サイクル付近で1度急激に上昇しているがその後すぐに正常な値に戻っている。1500サイクル付近でも高い値となっているがその後400サイクル程度の間はもとの状態に戻っており、2000サイクル付近では頻繁に高い値を示すようになってきている。

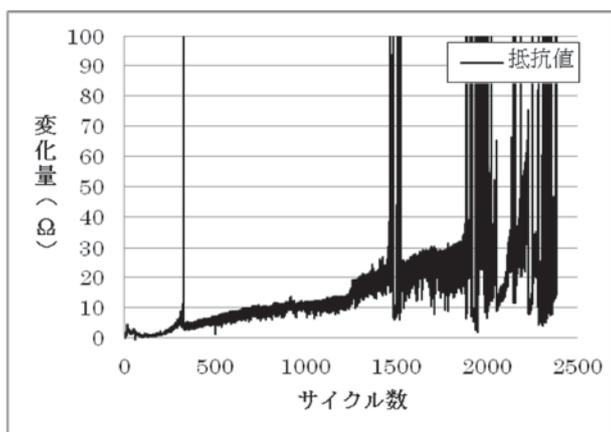


図5 抵抗値の変化量

また、TDR測定で得られるインピーダンスは基準地点からの距離とインピーダンスの波形データとして得られる。そこで、導電性接着剤の接合部分に該当する地点におけるインピーダンスについて初期値との変化量だけ抽出した結果を図6に示す。抵抗値の場合と同様に徐々に変化量が増加する傾向にあり、300サイクル付近で一度急激に上昇するがその後はもとの状態に戻っている。その後の様子も抵抗値と同様の傾向を示しており異常検出の時期に差異を見出すことはできなかった。

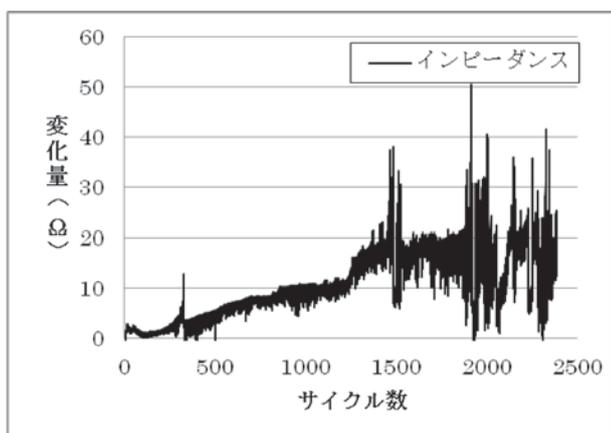


図6 インピーダンスの変化量

300サイクルで一度大きく上昇しているが、その後すぐに元の値に戻っているため、クラックによる断線が発生したものとは考えにくく、導電性接着剤のフィラー同士の接触が瞬間的に途切れたのではないかと推察される。

変化量がゆるやかな増加を示している部分に関しては冷熱衝撃試験による膨張、収縮の結果、導電性接着剤の接合部分にクラックが入りそれが進展することによる上昇だと考えられ、特に1300サイクル付近で数Ω程度上昇がみられるのはクラックが大きく進んだのではないかと推察される。

3-2 定期測定結果の比較

昨年度から行ってきた定期抜き取り試験でインピーダンス測定による有効性を検討するため、抵抗値測定結果と比較を行った。その結果図7のようにインピーダンス測定が3100サイクル時、抵抗値測定が3300サイクル時の測定で初期値より大きく上昇し異常と判断できる結果となりインピーダンスを測定することにより早い段階で異常を検知することが可能となった。他のサンプル基板でもインピーダンス測定結果は抵抗値測定と比較して同じサイクル数か、それより早いサイクル数で異常と判断可能であった。

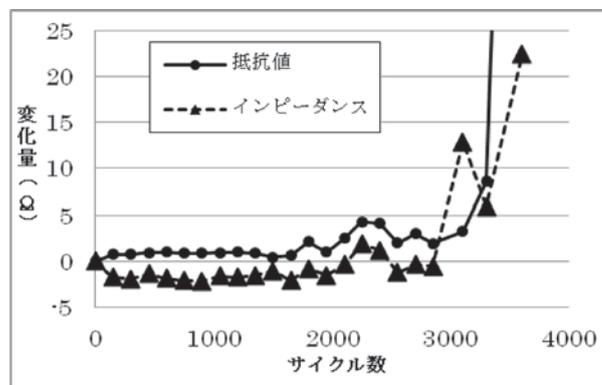


図7 定期測定結果の比較

3-3 せん断応力と断面観察

導電性接着剤2種と鉛フリーはんだに対するせん断応力測定結果を、図8に示す。

初期状態では、鉛フリーはんだと同等のせん断応力を示した接着剤Bは、冷熱衝撃試験による低下が激しく500サイクルの時点で初期状態から50%以上低下している。しかし、その後は顕著な低下が起こることなく、ほぼ同程度の値を保ち続けている。接着剤Aの1000サイクル時の結果や接着剤Bの500サイクル時の結果ははんだに比べてばらつきが大きいですが、鉛フリーはんだに関してはばらつきが小さくまとまっている。

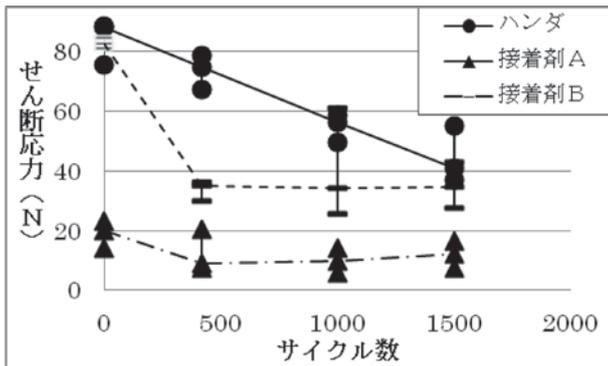


図8 せん断応力の変化

同一条件で実装を行っているにもかかわらず、ばらつきが生じる原因として、接合面積の差が考えられることから、実装直後のサンプル基板の接合部の断面を観察した。鉛フリーはんだについては図9に示すとおり実装部品の電極部分全体と基板の伝送線路部分全体にはんだが広がっており、きれいなフィレットが形成されていた。複数のサンプル基板の断面を観察してもこの傾向が変わることはなかった。はんだのリフロー工程ではんだが溶融した際に電極部分にぬれ上がり、実装部品の位置がずれていてもぬれ上がる時に最適な位置に動いて実装されるため、ばらつきが少なくなると推察される。

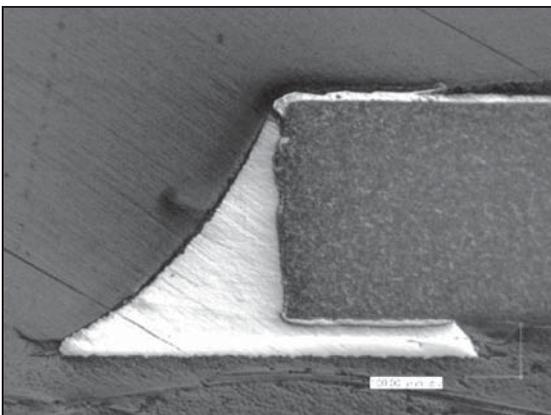


図9 鉛フリーはんだの断面

導電性接着剤の断面を図10に示す。実装部品の電極部分の側面の半分以下しか接着しておらず、複数のサンプル基板について観察を行ったが、電極の側面部分の接触面積は均一ではなかった。

接着剤A, Bはともに100℃以上でリフロー実装する種類の導電性接着剤であるが、はんだと違って溶融することがない。そのため、ぬれ上がる量が少なく実装する際に位置がずれてしまえばそのままの位置で実装され、また押しつけるように実装すれば底面部分の導電性接着剤がはみ出して電極以外の部分にまで広がり接着される。以上のような接合強度のばらつきが生じる要素がはんだに比べて多い

ため、図8のような結果になったと考えられる。

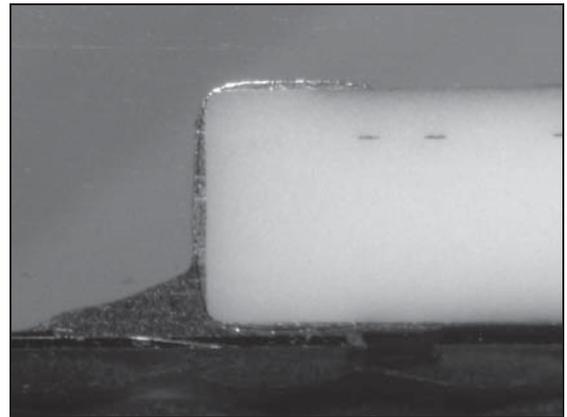


図10 導電性接着剤の断面

4. 結言

本研究では、導電性接着剤を用いた電子基板について、その接続信頼性に関するノウハウの蓄積及び、短期間、非破壊で評価可能な新しい評価手法として TDR 測定によるインピーダンスの変化を用いる方法の有効性について検証を行った。

その結果、導電性接着剤を実装した実装基板の信頼性評価にインピーダンスの変化は抵抗値の評価に比べて同時か、それより早期に異常検出が可能であることが分かった。また、導電性接着剤は実装直後の接着強度が高くても経年劣化による低下が著しいが、冷熱衝撃試験での信頼性は鉛フリーはんだと遜色ないことから、振動などの外部からの力が予想される環境以外での使用であれば、はんだの代替えとしての使用は可能である。

参考文献

- 1) 清水章良, 木島一広, 河西伸一: 山梨県工業技術センター研究報告, No.26, pp.31-33 (2012)
- 2) 清水章良, 木島一広, 河野裕: 山梨県工業技術センター研究報告, No.27, pp.1-4 (2013)
- 3) 清水章良, 木島一広, 中村卓, 河野裕: 山梨県工業技術センター研究報告, No.29, pp.64-68 (2015)