

はんだ接合部の非破壊検査方法に関する研究 (第2報)

清水 章良・木島 一広・河野 裕

Research on the Non-Destructive Test Method of a Solder Junction (2nd Report)

Akio SHIMIZU, Kazuhiro KIJIMA and Hiroshi KONO

要 約

電子基板の信頼性を確かめるために、ヒートサイクル試験や PCT 試験などの加速劣化試験で劣化を促進させて評価を行っているが、従来の評価手法では異常を検出するまでに多大な費用と時間を要してしまうため、短期間で試料を破壊することなく評価できる手法が求められている。本研究では、短期間・非破壊という課題を解決する手法としてベクトルネットワークアナライザ (VNA) のタイム・ドメイン・リフレクトメトリ (TDR) 測定結果を劣化の指標に用いて、故障検出を行う手法を提案した。サンプル基板を用いて、従来からの評価手法である抵抗値の変化による異常検出と本研究で提案する TDR 測定による異常検出との比較を行い、従来手法より早期に異常検知が可能であることがわかり、加速劣化試験中に連続して測定を行うことにより故障に至るまでの変化を捉えることができた。

1. 緒 言

RoHS 指令など、世界各地で環境に悪影響を及ぼす物質の使用の低減もしくは廃止が求められており、電子基板においても、電子部品を実装する際に使用されるはんだに含まれている鉛が規制の対象となっている。電子機器を製造している企業においては、部品の実装にはんだは必要不可欠であり、鉛を使用しない鉛フリーはんだへの切り替えが進んでいる。そのため、製造している製品について、改めて設計どおりの信頼性を確保できているかどうかの試験を行う必要に迫られている。

経年劣化に対する信頼性を調査するために、ヒートサイクル試験や PCT 試験など、製品に対して温湿度を実使用条件より厳しい状態にさらし、劣化の加速を行うといった方法が取られている。しかし、近年の製品は高品質化しており、試験品が故障するまで試験を実施すると、場合によっては数ヶ月以上かかる場合もあり、より短時間で評価できる方法が求められている。

そこで、本研究では、電子基板の信頼性評価方法として、TDR 測定によるインピーダンスの変化を劣化の評価に用いる手法を提案し、その有効性について検証を行った。TDR 測定とは、出力ポートから出力された高周波信号が、伝送線路上で反射され、出力ポートに戻ってきた信号を計測することで、時間領域におけるインピーダンスを求めることができる測定法であり、伝送線路上を伝わる信号の伝播速度との関係から、出力ポートからの距離

を求めることができるため、異常個所の特定が可能である。

平成 23 年度は、評価用のサンプル基板を作製し、ヒートサイクル試験によるはんだ接合部の劣化の過程を、従来から行われているはんだ接合部の抵抗値の評価と本研究で提案する TDR 測定による評価を 250 サイクル毎に行う定期抜き取り試験を実施し、その比較をした。その結果、インピーダンスを評価に用いる手法でも、異常を検出することが可能であり、抵抗値測定よりも、短い期間で異常を検出することができた。

平成 24 年度は、加速劣化試験中のインピーダンス及び抵抗値の変化を連続的にその場測定することにより、定期抜き取り検査では分からなかった、試験中の値の変化を捉えることにより、従来より早期に故障検出することが可能か試みた。

2. 実験方法

2-1 サンプル基板の作製

ヒートサイクル試験中に、抵抗値とインピーダンスの連続測定を可能にするために、サンプル基板を作製した。

サンプル基板は、昨年度同様に特性インピーダンスが 50 Ω のコプレナ線路とし、実装する部品は 3216 サイズの 0 Ω チップ抵抗を用いた。

また測定機器にヒートサイクル試験の温度負荷の影響が及ばないようにするために、基板の長さを 250 mm とし

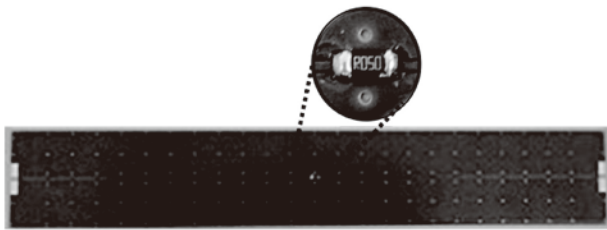


図1 作製したサンプル基板

た。(図1)

2-2 試験方法

本研究で実施するヒートサイクル試験中の連続測定は、測定する項目が抵抗値とインピーダンスであるので、測定機器に関しては昨年度同様に、ベクトルネットワークアナライザ (Agilent Technologies, E5071C) とデジタルマルチメータ (KEITHLEY, 2701) を使用した。抵抗値の測定に関しては接触抵抗や測定ケーブル自体の抵抗値など、測定誤差の要因となるものは低減させるようにVNAのバイアスティを使用し、4端子法を用いて計測を行った。今年度は連続測定を行うため、それぞれの装置をPCとGPIB接続し測定タイミング、測定データの取り込みなどを行う構成とした(図2)。

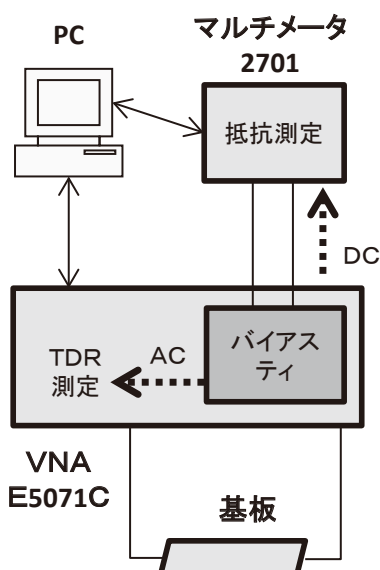


図2 連続測定装置イメージ図

抵抗値の測定だけであれば、耐熱ケーブルを用いた4端子法による測定を行うことで、ケーブルと基板の接続部分の接触抵抗やケーブル自身が温度負荷による劣化などの測定に影響を与える要素を排除したはんだ接合部付近のみの抵抗値測定システムを構築することで従来の槽型の冷熱衝撃試験機の中に基板を配置して測定用のケーブルを外部に取り出して測定を行うといった構成が可能であったが¹⁾、今回はベクトルネット

ワークアナライザによる測定も同時に行うためサンプル基板と測定ケーブルの接続部分に温度負荷を加えるインピーダンスの測定値に影響が出るため槽型の冷熱衝撃試験機を使用することができない。そこで、温度負荷を加える装置を一般的にヒートサイクル試験で用いられる槽型の冷熱衝撃試験機ではなく、局所的に温度負荷を加えることができる小型の冷熱衝撃試験機を使用した。図3が使用した小型冷熱衝撃試験機であるが、制御方式自体は通常の冷熱衝撃試験機と同様に温度調節された空気をテストエリア(図3の右側の拡大部分)上部のノズルからテストエリア内に流入させることにより試験対象に温度負荷を与える気槽型の冷熱衝撃試験機になっている。サンプル基板がテストエリアよりも大きいので測定用ケーブルと基板の接続は冷熱衝撃試験機の温度の影響が及ばない部分で行うことが可能となる。サンプル基板の部品が実装されている周辺はなるべく温度ムラが生じないようにするため、サンプル基板の裏面はテストエリアの底面から浮かせた状態に配置して、空気が流入するように配置した。

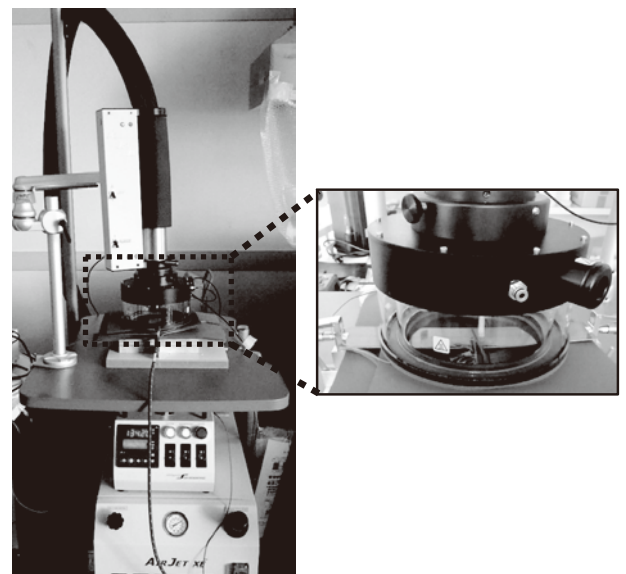


図3 小型冷熱衝撃試験器

試験条件はJIS規格の試験で用いられている高温側が120℃、低温側が-40℃の温度を採用し、さらし時間は、はんだ接合部付近に配置した温度測定用の熱電対が試験温度に達してから1分経過するまでとした。

測定機器を制御し測定データを取り込むソフトウェア(図4)はVisualBasicで作成し、任意の時間間隔で各測定器から取得したデータは画面に表示するとともに、その都度ファイルに書き込んでいき、一定データ数に達したところで別のファイルに書き込むことにより、連続

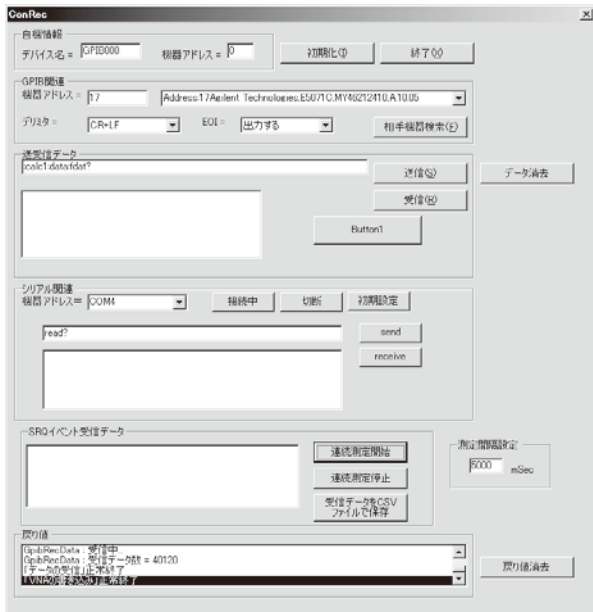


図4 連続測定ソフトウェア

測定中でも過去のデータの検証が行える構成とした。

温度測定用の熱電対とは別にテストエリア内に熱電対を取り付け、抵抗値、インピーダンスの測定とともに温度の記録も行った。

3. 結果と考察

3-1 抵抗値の初期変化

図5はヒートサイクル試験開始時から5サイクル目までの抵抗値の測定結果のグラフである。点線で描かれているのが、雰囲気温度であり縦軸は第1軸の目盛を使用している。実線で描かれているのが、抵抗値の測定データであり、縦軸は第2軸の目盛を使用している。

サンプル基板に実装されている部品は 0Ω の抵抗であるが、4端子法で測定しているが4端子となっているのは、ベクトルネットワークアナライザに接続される部分までであり、測定される抵抗値に含まれているのは、バイアスティ、ベクトルネットワークアナライザからサンプル基板までのケーブル部、サンプル基板となっているため、初期状態においても 4.2Ω 程度の抵抗値を示す。

初期状態では抵抗値は温度が急激に変化する時に変化しているが、高温さらし状態に切り替わる時に最も低い抵抗値になり、低温さらし状態に切り替わる時に最も高い抵抗値になる。しかし、さらし状態が切り替わり、試験温度まで到達する間は初期状態の 4.2Ω に収束するようになる。実装されている部品自体は温度特性を持っており測定したところ負の温度特性であった。温度特性による影響であれば、温度が緩やかに上昇している部分においても急激に上昇しているところと同様に緩やかに低下するはずだが測定結果は逆の傾向を示した。これは部

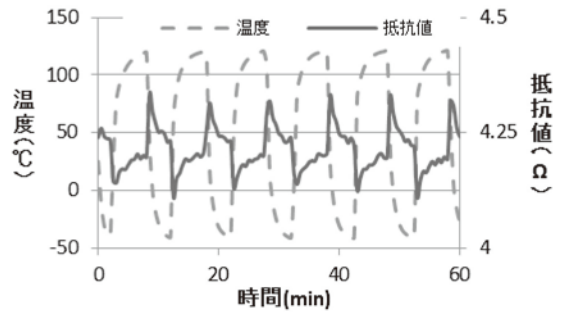


図5 抵抗値の初期変化

品の温度特性以外の要因によって、抵抗値が変化していることを示しており、はんだ接合部の状態変化が影響しているものと考えられる。

3-2 インピーダンスの初期変化

図6は初期状態のTDR法でのインピーダンス測定結果である。TDR法で測定を行っているため測定データは、測定基準面となるサンプル基板とケーブルの接続部分からの時間領域におけるインピーダンスの値が取得できる。サンプル基板の伝送線路は 50Ω に設計したため 1.45ps 秒までと 1.65ps 秒以降はほぼ 50Ω となっており、はんだ接合部と表面実装部品に相当する部分は低い値となっている。よって 50Ω より低くなっている部分に着目して連続測定の結果を見ることにより、はんだ接合部の変化を捉えることができる。

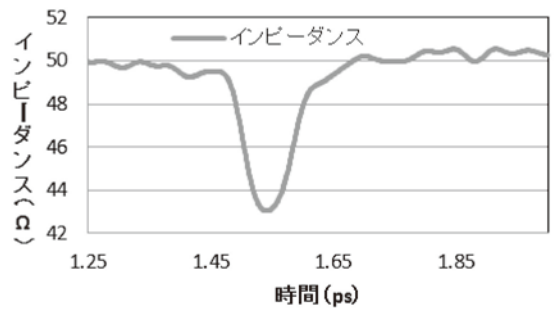


図6 初期状態のTDR測定結果

図7はヒートサイクル試験開始時から5サイクル目まではんだ接合部のインピーダンスの変化である。点線で描かれているのが、温度であり縦軸は第1軸の目盛を使用している。実線で描かれているのが、インピーダンスの測定データであり、縦軸は第2軸の目盛を使用している。

高温さらし状態に切り替わる時に最も低い値になり、低温さらし状態に切り替わる時に最も高い値を示す。温度負荷が切り替わる時以外にも低温さらし時に設定温度まで到達する最中に減少していた値が上昇する現象が見られる。

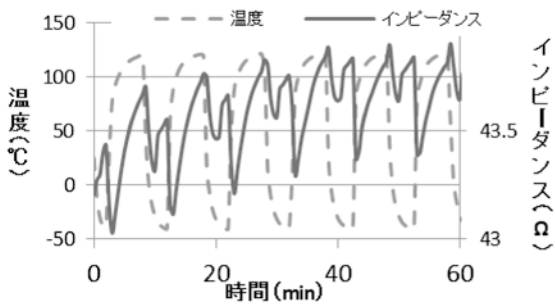


図7 インピーダンスの初期変化

本研究においてインピーダンスの測定は 20GHz までの高周波の信号を用いているため、表皮効果によりはんだ接合部表面の形状変化の影響が測定値に現れやすい。はんだの主成分である Sn は基板上の配線 (Cu) や実装部品、基板と熱膨張率が異なるために発生する応力の影響で低温さらし時にインピーダンス上昇が起これと考えられる。

3-3 1500 サイクル経過時の変化

図 8 はヒートサイクル試験開始時から 1500 サイクル経過した時点での抵抗値とインピーダンスの測定結果のグラフである。点線で描かれているのが抵抗値であり縦軸は第 1 軸の目盛を使用している。実線で描かれているのが、インピーダンスの測定データであり縦軸は第 2 軸の目盛を使用している。

高温さらし時のインピーダンスは初期変化と同様の傾向であるが、低温さらし時には設定温度に到達する途中で見られた値の上昇がほとんど見られなくなり、抵抗値においてはさらし状態が切り替わる時の急激な変化が見られなくなり、インピーダンスで見られていた低温さらし時の途中で値の上昇が確認されるようになった。

ヒートサイクル試験中に抵抗値を連続測定して劣化を検証した際には、断線に至る前に高温さらし時に値が上昇して低温さらし時や試験を中断し常温に放置した状態時には正常な値を示すことが分かっており¹⁾、

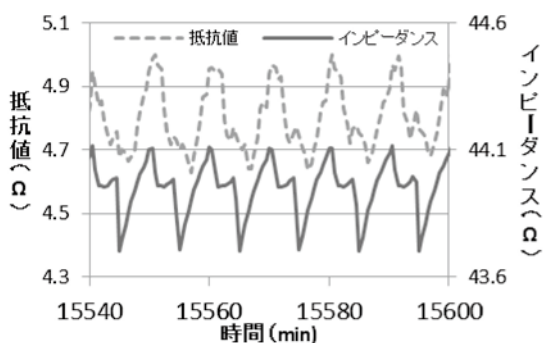


図8 1500 サイクル経過時の変化

本研究においても、図 8 で示した 1500 サイクル以降、1600 サイクル付近を経過したあたりから高温さらし時に抵抗値の上昇が起き、低温さらし時に正常の値に戻るサイクルが続いた。

高温さらし時に抵抗値に異常が見られる前に低温さらし時のインピーダンスの変化が起こることから、この現象を捉える事により、抵抗値の変化を測定するよりも早期に異常を検出することができる。今後は試験対象や試験条件を変えて試行回数を増やして検証を行っていくことが必要である。

4. 結 言

本研究では、非破壊、短期間での電子基板の信頼性評価の手法として、ベクトルネットワークアナライザを使用した TDR 測定を用いることを提案し、従来の非破壊検査手法である抵抗値の変化を用いる手法との比較を行った。

その結果、定期抜き取り検査においては抵抗値では断線するまで劣化が分からないような場合でも、TDR 測定を用いることにより、早期に異常として検出が可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 清水 章良, 宮本 博永, 平川 寛之, 鈴木 大介 : 山梨県工業技術センター研究報告, No.23, p. 104-107 (2009)
- 2) 清水 章良, 宮本 博永, 平川 寛之, 鈴木 大介 : 山梨県工業技術センター研究報告, No.24, p. 21-24 (2010)
- 3) 清水 章良, 宮本 博永, 平川 寛之, 米山 陽, 勝又 信行 : 山梨県工業技術センター研究報告, No. 25, p. 13-17 (2011)
- 4) 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, p. 31-35 (2012)