

# はんだ接合部の非破壊検査方法に関する研究 (第1報)

清水 章良・木島 一広・河西 伸一

## Research on the Non-destructive Test Method of a Solder Junction

Akio SHIMIZU, Kazuhiro KIJIMA and Shin'ichi KASAI

### 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、短時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、ベクトルネットワークアナライザ(VNA)でタイム・ドメイン・リフレクトメトリ(TDR)測定を定期的に行うことによって、初期状態からのインピーダンスの変化を捉えることにより異常検出を行う手法を提案する。サンプル基板による抵抗値の変化での異常検出とTDR測定による異常検出との相対評価を行った。その結果、抵抗値での評価に比べて80%の期間で異常を検知することができた。

### 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するはんだに含まれる鉛が規制の対象となっている。現在、鉛を使用しない鉛フリーはんだへの切り替えが進んでおり、製造している製品について、改めて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、電子基板においては、ヒートサイクル試験やPCT試験といった温湿度環境を実使用条件より厳しい状態にして、劣化の加速を行うといった方法が取られている。しかし、試験品が故障するまで試験を継続させると1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、VNAを用いたタイムドメイン測定を行い、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実験を行った。タイムドメイン測定とは、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や伝送線路を通過して入力ポートへ伝わった信号を時間毎にインピーダンスで測定することである。伝送線路上を伝わる信号の速度などから、出力ポートからの距離が求めることができるため、異常個所の特定が可能である。

本年度は、評価用の基板を作成し、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タイムドメイン測定による評価とで実験を行い、その比較をした。

### 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による劣化を評価する際に、抵抗値の測定と、タイムドメイン測定を行うためのサンプル基板を作成した。サンプル基板は、特性インピーダンスが50Ωのコプレナ線路とし、実装する部品は3216サイズチップ抵抗(0Ω)、3216サイズローパスフィルタ5種(80M, 6000M, 6400M, 7200M, 8400MHz)を用い、合計6種類の基板を10枚ずつ作成した。(図1)

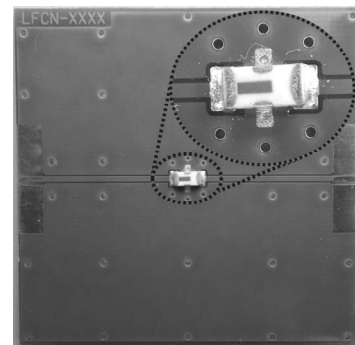


図1 サンプル基板(ローパスフィルタ実装)

#### 2-2 試験方法

本研究で対象としている電子基板の故障モードとしては、実装されているデバイス自体が、劣化や破損などに

より故障するモード，デバイス接合部であるはんだが経年劣化によりクラックが進展し断線となり故障するモードが挙げられる．デバイス自体の劣化に対しては，デバイス単体で寿命評価が行われているため本研究では実施しない．はんだ接合部の寿命の信頼性の評価を行うこととした．試験品を高温下と低温下に一定時間曝露することを繰り返すことで劣化を促進させるヒートサイクル試験を採用し試験を行った．

本研究で行うヒートサイクル試験の条件は，高温側 125℃，低温側 -20℃，さらし時間各 10 分とし，定期的に抵抗値の測定とタイムドメイン測定を行った．

抵抗値の測定には KEITHLEY のマルチメータ 2701 を使用し，タイムドメイン測定には AgilentTechnologies のベクトルネットワークアナライザ E5071C を使用した．測定時の接触抵抗による測定誤差を低減させるために，2 つの測定器による測定を同時に行う方法を開発した．VNA に内蔵されているバイアス・ティを使用することにより，抵抗値測定に必要な直流成分とタイムドメイン測定に必要な交流成分に分けることができ，抵抗値測定とタイムドメインの同時測定を可能にした．その概念図を図 2 に示す．

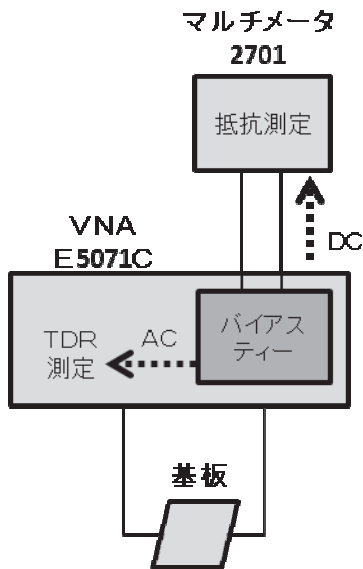


図 2 抵抗値，タイムドメイン測定同時測定概念図

試験品は 0 Ω 抵抗もしくは，ローパスフィルタであり，どちらの実装部品も低抵抗の測定になるため，4 端子法を用いて VNA 背面にあるバイアス入力端子に接続することで測定を行う．(図 3) この構成で測定を行うことによって，VNA 背面の端子部から，マルチメータまでのケーブルの抵抗成分を除外することができ，測定される値は，バイアス・ティの抵抗成分，基板と VNA を接続するケーブルの抵抗成分，基板の抵抗成分の合計となる．

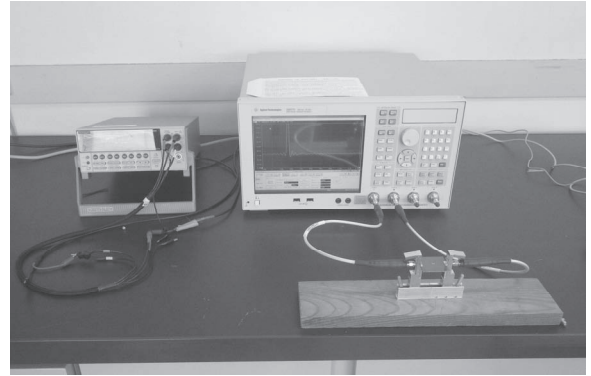


図 3 抵抗値，タイムドメイン測定風景

### 3. 結果

#### 3-1 抵抗値の変化

ヒートサイクル試験を 250 サイクル毎に中断し，その時点の抵抗値を測定した．その結果，3000 サイクル経過時までには，全 60 サンプル中，8 サンプルについて抵抗値が測定限界を超えた状態（断線状態）となった．(表 1)

表 1 断線したサンプル一覧

	試験品	断線を確認したサイクル数
A	80MHz-9	1000
B	6000MHz-6	750
C	6000MHz-10	500
D	6400MHz-6	500
E	7200MHz-4	2500
F	7200MHz-10	750
G	8400MHz-7	3000
H	8400MHz-8	3000

750 サイクル以下で断線状態となったサンプルは，250 サイクルの時点で，抵抗値が初期値より 0.5Ω 近くの上昇が見られているので，実装時に不具合があったものと考えられる．(図 4)

750 サイクル以上で断線状態となったものについては，抵抗値が初期値から微増傾向にあるが，ほとんど変化がない状態から，断線状態となっている．

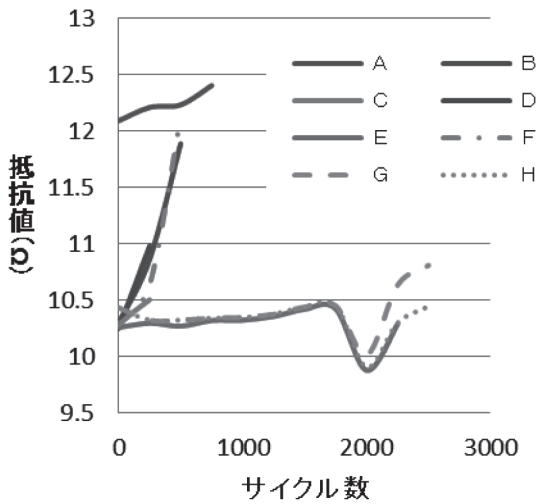


図4 抵抗値の経時変化1

初期値とあまり変わらず断線に至ったデータについて、断線していないサンプルの抵抗値との差異が見られるかどうかを調査するために、3000 サイクル経過時にも断線に至らなかったサンプルとの比較を行った。(図5, 6)

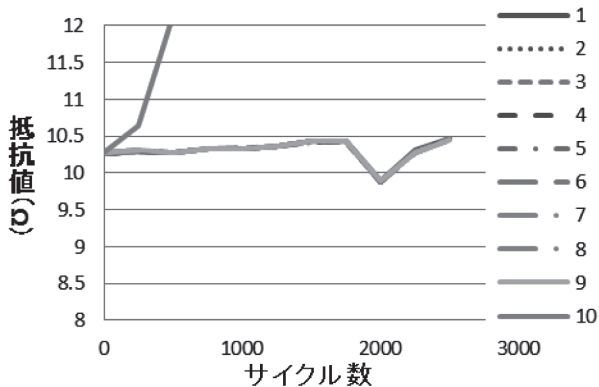


図5 抵抗値の経時変化(7200M)

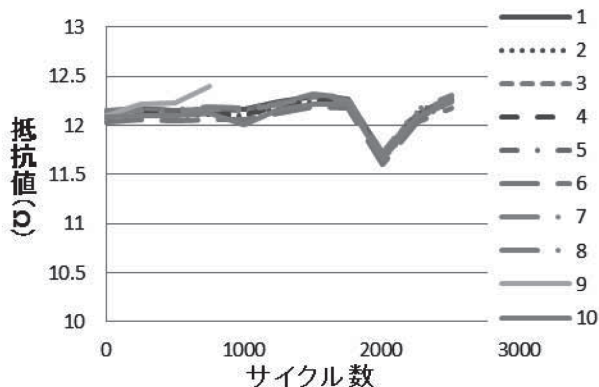


図6 抵抗値の経時変化(80M)

図5は750 サイクルと2500 サイクルで断線したサンプルを含む7200MHzのローパスフィルタの全データ

であるが、2500 サイクルで断線したサンプルのデータと正常なデータに差異が見られなかった。

図6は1000 サイクルで断線した80MHzローパスフィルタの全データであるが、他のサンプルと比べて0.2~0.3Ω程度上昇が見られているが、他のサンプルが同程度の抵抗値になっても断線に至っていないことから、断線前に劣化の度合いの判別を行うことは困難である。

### 3-2 タイムドメイン測定

ベクトルネットワークアナライザのタイムドメイン測定は、測定前に行うキャリブレーションの時に設定する入力ポートと出力ポートの基準面を0とした時の経過時間毎のインピーダンス変化量の形式でデータが得られる。ヒートサイクル試験を行った後に測定した結果をグラフ上に重ね合わせるにより、インピーダンスの変化を観測することができる。

図7および図8は、2500 サイクル目の測定で抵抗値が異常となったサンプルの反射特性  $S_{22}$  (図7) と伝送特性  $S_{12}$  データ (図8) のグラフである。両方のグラフとも初期時から2000 サイクル目の結果までは特に変化が見られない。反射特性のデータでは、2250 サイクル時になると、インピーダンスのピーク部分がさらに上昇し、100Ω以上にまで上昇している。図8においても同様に、インピーダンスのピーク部分が2000 サイクル時の測定から値の上昇が見られ100Ωを超える値となった。2250 サイクル時の測定では、100Ω以下になり、ピーク部分が0へシフトする結果となった。

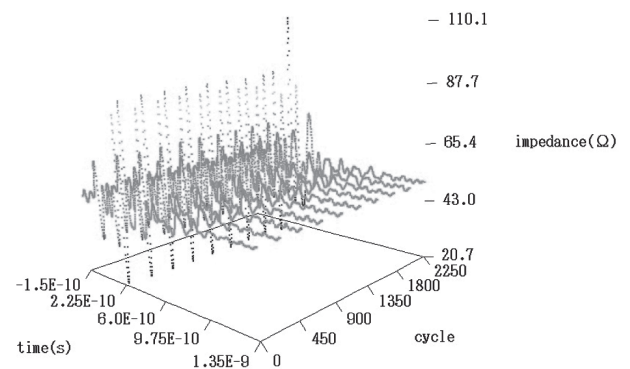


図7 タイムドメイン測定結果  $S_{22}$  (7200M)

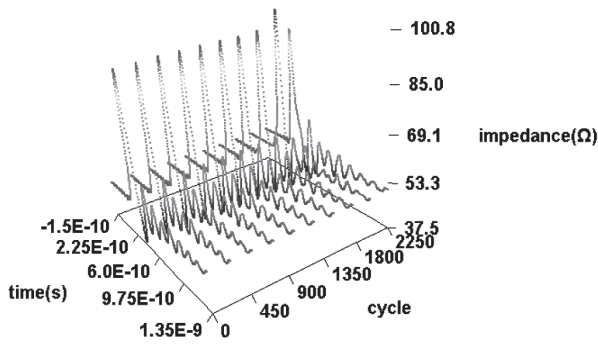


図 8 タイムドメイン測定結果  $S_{12}$  (7200M)

図 9 および図 10 は 1000 サイクル目の測定で、抵抗値が異常となったサンプルの反射特性  $S_{11}$  (図 9) と伝送特性  $S_{21}$  (図 10) を示したグラフである。

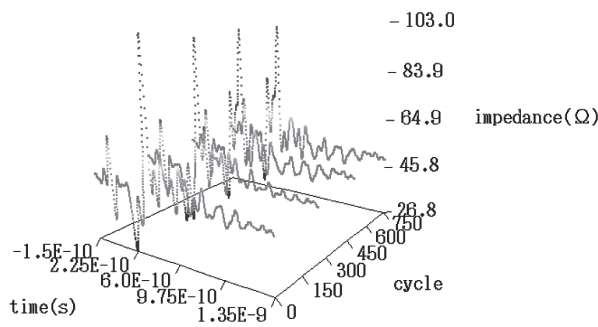


図 9 タイムドメイン測定結果  $S_{11}$  (80M)

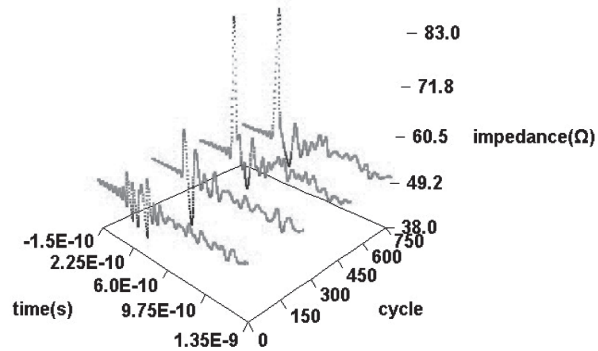


図 10 タイムドメイン測定結果  $S_{21}$  (80M)

反射特性では 500 サイクル時からインピーダンスのピーク部分ではなく、ピーク部分より 0 に近い所で 75  $\Omega$  程度まで上昇している地点が見られる。伝送特性のグラフでは 500 サイクル時から 80  $\Omega$  程度までインピーダンスが上昇している部分が見られた。

今回の測定結果でインピーダンスが上昇している箇所は、全て初期状態が 50  $\Omega$  から外れ始めている箇所であるため、フットプリント部 (はんだ実装されている部分) に異常が発生したと考えられる。

タイムドメインの測定結果は時間対インピーダンス

で示されているが、比誘電率と真空中の光の速度の関係式を用いることにより、時間を距離に変換することができる。実際に計算すると図 7, 8 のサンプルでは基準点から 1.9 mm, 図 9, 10 のサンプルでは 2.0 mm の位置であり、フットプリント部に相当する距離であった。

#### 4. 考察

タイムドメインの測定で得られるインピーダンスの変化を劣化の指標に用いて異常を検出することは可能ということが判った。従来の評価手法である抵抗値での評価との優位性について検討を行った。

図 11 は、図 5 の 4 と図 7 のデータについて、初期値を 0 となるように正規化して、比較を行った結果であるが、抵抗値は 2500 サイクル時 (断線時) の測定で変化を確認することができるのに対してタイムドメインでの測定では、その 20% 手前の 2000 サイクル時で変化を確認することができた。

図 12 は、図 6 の 9 と、図 8 とのデータを同様に正規化して比較を行ったものであるが、抵抗値では、750 サイクル時のわずかながらに変化があるのに比べて、タイムドメインの測定では、その半分以下の期間の 250 サイクル時から、10  $\Omega$  近く値が上昇しており、異常を確認することができる。

抵抗値測定の結果より早期に異常が検出できた理由として考えられるのは、はんだ部のクラックが進展することによる、伝送線路の形状変化が、インピーダンスの上昇を生じさせると考えられる。

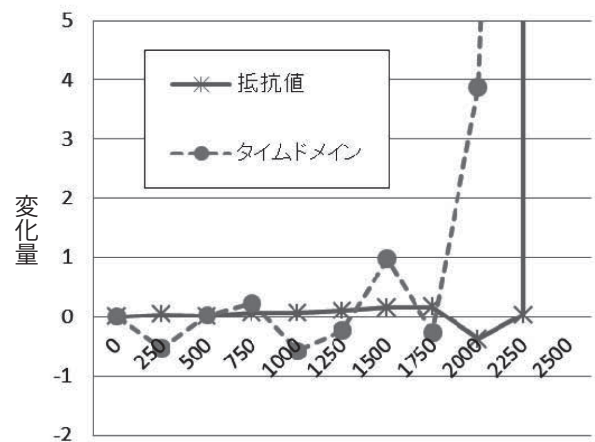


図 11 変化量の比較 (7200M)

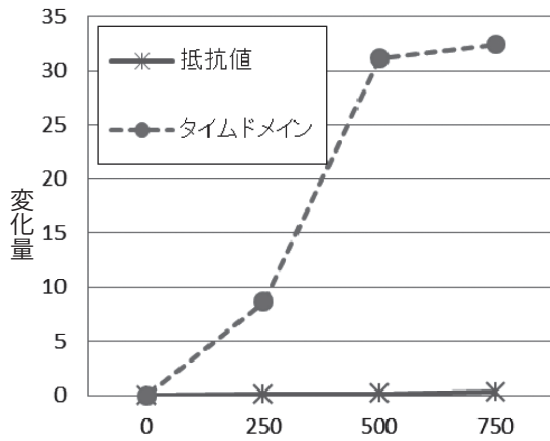


図 12 変化量の比較 (80M)

## 5. 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、VNAを使用したタイムドメイン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と比較を行った。

その結果、抵抗値では断線するまで劣化が判らないような場合でも、タイムドメイン測定では、早期に異常として検出が可能であることが判った。

次年度は連続測定を実施し、インピーダンスの上昇とはんだ部のクラックの進展度合いの調査を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 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)