

部品実装基板のための総合解析システム

村原 大介 中嶋 龍一 今井 康雄
 中村 隆治 味岡 恒夫

沖エンジニアリング株式会社 (OEG) では、電子部品を中心とした信頼性評価および解析の受託サービスを実施している。近年では、部品実装基板 (以下、実装基板) を対象とした評価および解析の受託が増えている。電子機器の多機能化および小型化、パワーデバイスの普及等に伴い、実装基板における信頼性上の問題点が顕在化してきており、基板の設計品質向上のための評価が重要となっている。当社では、このような信頼性上の問題を解決すべく、これまでの実装基板の解析、評価技術および事例を体系化し、実装基板の信頼性向上のための総合評価システムを確立した。以下に、これまで我々が構築した、部品実装基板総合評価システムの概要および代表的な評価事例について述べる。

ため、製造段階のみならず、設計および開発段階からの品質ならびに信頼性の作り込みが重要になる。

このような問題に対応する評価技術として、実装基板全体を評価する方法 (環境試験、信頼性試験) と、実装基板の特定の部位 (基板自体、基板表面部、接続部、実装部品) 毎に想定される問題点を調査・解析する方法とがある。今回これらを包含し、実装基板に関する問題を解決することが可能となる総合評価システムとして体系化した。従来は、品質および劣化の評価を中心に構成されていたが、潜在的な故障要因を様々な角度から調査する良品解析、実装基板の放熱設計ならびに実装部品の放熱特性の調査が可能な熱過渡解析、故障箇所を特定する故障解析の手法を導入することにより、実装基板の総合評価システムとして構築した。表 1 に、実装基板の総合評価技術一覧を示す。

部品実装基板総合評価システムの概要

本システムは、基板自体の製造から部品の実装、モジュール化に至るまでの製造プロセス上の問題点と、それに対応する評価技術を体系化したものである。図 1 に、実装基板の問題点を示す。

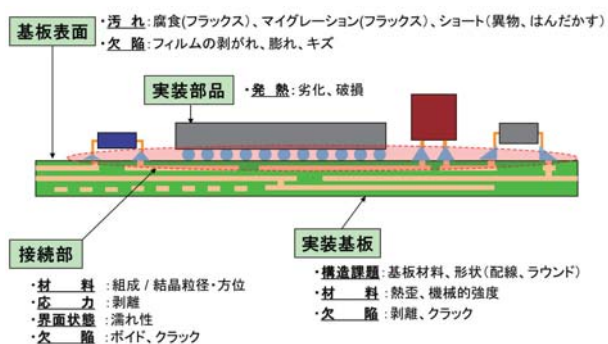


図 1 実装基板の問題点

実装基板、基板表面、接続部、実装部品の各部位について、様々な問題点が挙げられる。実装基板の小型化および高集積化に伴い、これらの問題が品質に与える影響は、より大きくなっている。中でも、配線間や配線層間の狭小化は、製造時の他、市場における故障を誘発することにより、重大な問題となる可能性がある。この

表 1 実装基板の総合評価技術一覧

評価項目	評価内容
従来の評価技術	品質評価 <ul style="list-style-type: none"> 加工品質 (基板欠陥、配線部の異常、部品搭載状態の異常、接続部の異常等の有無) 製造品質 (汚れ、剥がれ、傷等の有無) 設計課題 (発熱部品の配置)
	劣化評価 <ul style="list-style-type: none"> 接続部の抵抗増大の有無 表面上の異常 (汚れ、腐食、ウイスカ、マイグレーション) の有無 はんだ接続部異常の有無 基板自体の異常 (絶縁劣化、強度低下、反り、剥離等) の有無
新規評価技術	信頼性試験 <ul style="list-style-type: none"> 機械的試験 (振動・衝撃試験) 環境試験 (ウイスカ試験、マイグレーション試験、恒温恒湿試験、温度サイクル試験、ガス腐食試験、IP試験)
	熱過渡解析 <ul style="list-style-type: none"> 表面観察 (部品搭載状態確認、汚れや基板表面上の異常の有無) 断面観察 (はんだ断面等接続部周辺の状態確認、接続界面の状態観察、結晶粒の状態観察、組成分布) 基板の放熱設計の調査 部品の発熱および放熱特性の調査
故障解析	<ul style="list-style-type: none"> 故障箇所の特定 (ロックイン赤外線発熱解析) 不良箇所の観察 (X線観察、光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡観察) 故障要因の特定 (元素分析)

総合評価システムによる評価事例

前章で説明した総合評価システムの主要技術および評価事例について、新規に実装基板の評価に導入した技術を中心に紹介する。

(1) 良品解析

良品解析とは、良品として出荷されている製品に対して実施する解析であり、良品の中に潜む将来的な故障要因の検出や、製品の作り込みの比較のために

実施されているものである。我々は、車載、航空、宇宙用等、高信頼性が要求される電子デバイスに関し、多くの解析事例を持っているが、実装基板についても同様の解析手法を適用することにより、基板自体の作り込みや、実装部品のはんだ接続状態等を評価することが可能である。主な内容は、表面観察および断面観察であり、オプションとしてパターン間の絶縁抵抗測定、赤外線サーモグラフによる実使用時の発熱状態の観察を実施している。図2に、市販のUSBメモリについて、良品解析を実施した事例を示す。

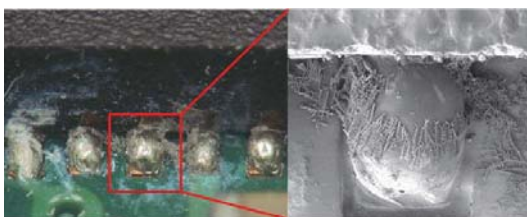


図2 USBメモリの良品解析事例

内部メモリチップのはんだ接続部に、デンドライト（樹枝状結晶）が観察されており、エネルギー分散型X線分析（EDX: Energy Dispersive X-ray spectrometry）による元素分析の結果、Sn-Agはんだ材料であるSn系化合物の結晶であることが確認された。このような結晶がはんだバンプ間を跨いで存在している場合、端子間の短絡が発生する可能性があることから、注意が必要である。良品として出荷されているUSBメモリであっても、このような異常が内在している可能性があることから、良品解析の重要性が理解されよう。

(2) 熱過渡解析¹⁾

近年、電子部品やそれらを組み合わせた製品の小型化およびハイパワー化により、これまで以上に熱の問題が重要視されている。一般的に半導体素子では、さまざまな接合部分の温度（ T_j ）が増加すると、短寿命化・故障率の増加（信頼性の低下）が顕著な問題となって現れてくる。発熱する電子部品の放熱方法にはさまざまなものがあるが、その中でも実装基板を介しての放熱は、システムの小型化という点で重要な方法の一つである。

放熱の効果を定量的に把握するために重要なパラメーターの一つが熱抵抗である。我々は、熱電対を使用しない熱過渡解析法を活用し、基板の熱抵抗を高精度に測定している。この方法は発熱源である半導体デバイスからパッケージ、基板、ヒートシンク（あるいは大気）

までの熱経路に存在する各材料の熱抵抗と熱容量を、デバイスの接合温度の変化を元に測定する方法である。この方法のメリットは、実装基板を構成する各部位の熱抵抗を、出力された構造関数グラフの比較から読み出すことが可能なことである。特に、実際の実装基板では、基板材料や放熱構造部単体として高い熱伝導性を持ったものを使用しているにもかかわらず、様々な要因のために構造全体として熱伝導性が低くなってしまふ場合があるが、熱過渡解析法では構成材ごとの特性を評価することが可能なため、そのような問題の解決にも有効である。

製品の熱設計は、最終的にシミュレーションで行われることが一般的で、測定結果を基に高精度のデバイスモデルを作成することが求められる。本手法は、熱流体シミュレーションとのインターフェイスにも優れており、高精度なデバイスモデルを作成することが可能である。我々は、さらに高精度の要求に対応して、測定誤差となる対流による放熱成分を除去することを目的とし、真空（減圧）状態下での熱抵抗測定も提案している。²⁾ 図3に、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor）実装基板の熱抵抗測定結果を示す。

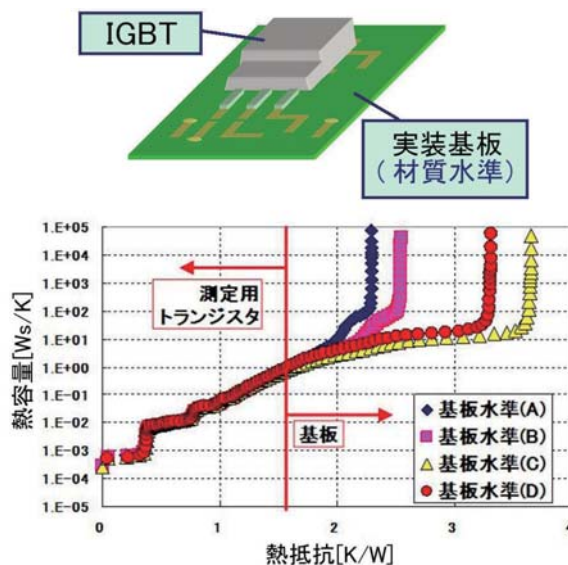


図3 IGBT実装基板の熱過渡解析事例

熱抵抗値1.5[K/W]付近を境に、左側がIGBTの放熱特性、右側が基板部の放熱特性を示しており、熱容量の値が発散するときの熱抵抗の数値により、放熱性が判定される。本測定では、基板水準(A)が最も放熱性に優れているという結果となった。

(3) ロックイン赤外線発熱解析³⁾

ロックイン赤外線発熱解析 (LIT : Lock-In Thermal emission) は、電子部品の動作による発熱を像として観察する方法であり、ショート、リーク、高抵抗等の異常箇所が特に発熱することを利用して故障箇所を特定する、故障解析の一方法である。従来の方法では、故障回路にある部品について、故障の可能性の高い順に取り外しあるいは交換を実施し、故障が収束した場合に当該部品が故障品であるという判断をしていた。この方法の問題点は、故障が実装基板自体にある場合には特定が不可能であること、故障箇所が部品接続部の場合は交換により故障要素が消失すること、故障箇所が特定できるまで繰り返すため解析時間が長くなるということである。LITを用いることにより、故障箇所を当該部の発熱のみで検出できることから、その後の故障解析に至るまでの時間を大幅に短縮することが可能となった。図4に実装基板のLIT解析事例を示す。

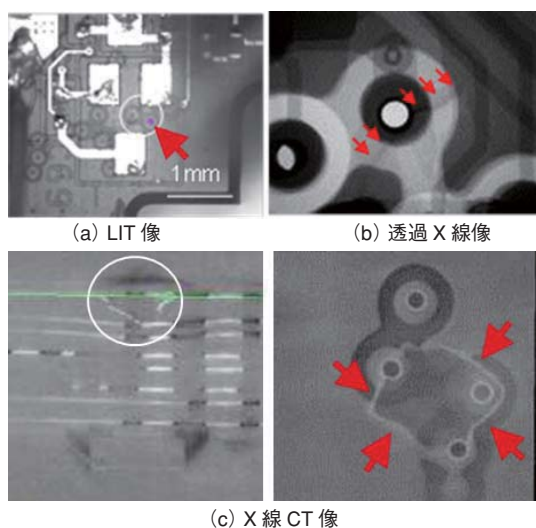


図4 基板の故障解析事例

LITを用いた解析の結果、図4(a)矢印部のスルーホールで発熱が確認された。実装基板の場合には、部品の下部や裏面の発熱が表面まで達しない場合があるため、両面からLIT解析を実施し、同じ箇所でのみ発熱スポットが観察されたため、ここが短絡箇所であると判断した。その後、透過X線検査装置を用いて当該箇所を観察した結果、発熱したスルーホールで図4(b)矢印部に示すような異常な陰影が確認された。さらに、X線CTで詳細な解析を行った結果、図4(c)に示すような配線の残渣と思われる異物がスルーホール間に存在しており、それにより短絡していることが分かった。このようなスルー

ホールの異常箇所を、透過X線検査だけで検出することは非常に困難であり、LITによる故障箇所検出の有効性が発揮された事例である。

(4) その他の評価事例

①信頼性試験

信頼性試験を実施したサンプルに対しての評価としては、ウイスカ試験とマイグレーション試験が代表例である。

ウイスカとは、結晶表面からその外側に向けて成長したヒゲ状の結晶である。近年、Sn-Ag系はんだに代表される鉛フリー素材の使用に伴い、ウイスカによる端子間の短絡が問題視されるようになっており、実装基板の品質評価の一環として、ウイスカ試験の重要性が増している。ウイスカ試験では、恒温恒湿試験あるいは温度サイクル試験を実施した後に、はんだ接続部やめっき部の光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) 観察を行う。図5に、ウイスカ試験の事例を示す。温度サイクル試験を実施した基板に実装されたICのリード表面 (Snめっき部) にウイスカが発生していることが確認される。

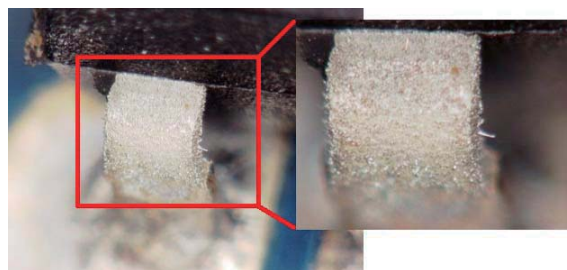
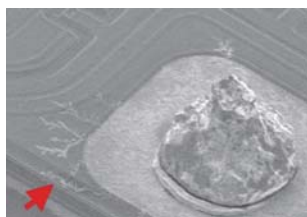


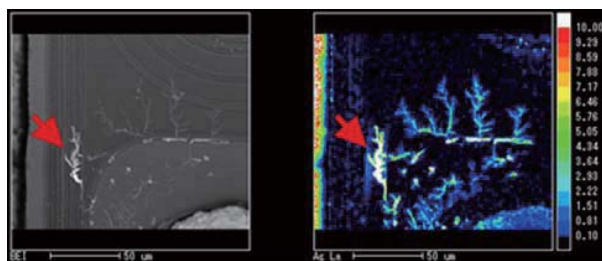
図5 ICリード部のウイスカ検出事例

マイグレーション (エレクトロケミカルマイグレーション: ECM) とは、基板に電圧を印加した際に、電極間をイオン化した金属が移動することにより、配線間に短絡を生じる現象である。電子部品の電極や配線パターンの狭ピッチ化が進み、パターン間の電氣的絶縁の評価がより重要となっている。図6は、市場で発生したECMによる故障箇所について、電子線マイクロアナライザ (EPMA: Electron Probe MicroAnalyzer) で元素分析した事例である。図6(a)では、故障が発生した半導体デバイスのパッド周辺に、ECMで発生する典型的なデンドライトが確認されている。また、図6(b)はEPMAによるマッピング像であるが、左側の二次電子像で見られるデンドライトの形状と同一の形状が、右側のAgの元素マッピング像で見られていることから、デン

ドライト形状がAgの元素マッピングと一致していると判断される(各図における同一の観察点を矢印で示す)。これにより、ECMが起こったことが推測される。



(a) 走査型電子顕微鏡(SEM)像



(b) 電子線マイクロアナライザ(EPMA)マッピング像

図6 ECM検出事例

②はんだ接合部の評価

はんだの鉛フリー化に伴う問題として、はんだの選定およびリフロー条件の不備が原因による、接合強度の低下と接合部の不具合(ぬれ不足、ボイド、リフトオフ等)が挙げられる。図7に、はんだ接合部のボイド検出事例を示す。はんだの選定あるいはリフロー条件の不具合により、リフロー時に発生するこのようなボイドは、はんだ接合強度低下の要因となる。



図7 はんだ接合部のボイド検出事例

図8に、はんだぬれ不足の検出事例を示す。同様の不具合によりパッドに十分にはんだがぬれていない状態で接合されたため、接合強度が不足し部品のリード部が剥離した状態が確認されている。

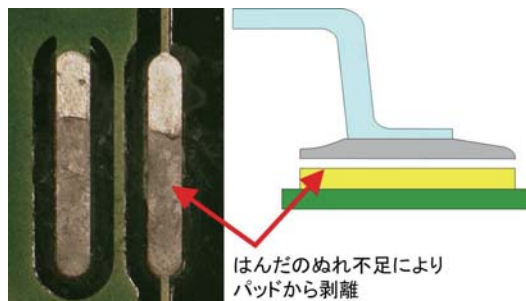


図8 はんだぬれ不足の検出事例

まとめ

実装基板の小型化および高集積化に伴う信頼性上の課題が増えている中で、これらの課題を解決するため、実装基板の総合評価システムを確立し、新たに導入した技術を中心に用いた評価事例について説明した。本システムを適用することにより、製造現場においては基板製造品質向上や作り込みの比較、部品実装現場においてはウスカやマイグレーション等の劣化因子の確認等、実装基板の品質を効率的かつ客観的に評価し、信頼性向上に役立てられるものと考えている。OEGは、今後もユーザーの皆様の信頼性に対する要求に応えられるよう、評価設備および技術を向上させていく所存である。

参考文献

- 1) 清水互他：新たなデバイスの評価手法としての熱過渡解析法，第20回RCJ信頼性シンポジウム，2010年
- 2) 清水互：電子機器の信頼性向上のための熱特性解析，第23回マイクロエレクトロニクスワークショップ，2010年
- 3) 中村隆治他：モジュール、実装基板に対する新たな故障解析システムの構築，第23回RCJ信頼性シンポジウム，2013年

筆者紹介

村原大介：Daisuke Murahara. 沖エンジニアリング株式会社 システム評価事業部

中村隆治：Takaharu Nakamura. 沖エンジニアリング株式会社 信頼性解析事業部

中嶋龍一：Ryuichi Nakajima. 沖エンジニアリング株式会社 システム評価事業部

味岡恒夫：Tsuneo Ajioka. 沖エンジニアリング株式会社 信頼性解析事業部

今井康雄：Yasuo Imai. 沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業統括部