

ロックイン赤外線発熱解析法を用いた故障解析サービス

高森 圭 中村 隆治
味岡 恒夫

沖エンジニアリング株式会社(OEG)は第三者機関として電子デバイスなどの信頼性評価受託サービスを実施しており、そのときどきの要求に合わせ、技術導入や開発を行い、お客様の問題解決を行ってきている。

この度、ロックイン赤外線発熱解析法(LIT: Lock-in Thermal Emission)を取り入れた故障解析システムを構築し、部品から実装基板までの故障解析受託サービスの提供を開始した。この解析システムは半導体デバイス、三次元IC、プリント基板(PCB: Printed Circuit Board)、電子ユニット・モジュールなどの設計・開発のサポートや製品の品質・信頼性の評価として有効であるだけでなく、市場で発生する故障の原因究明にも役立つものである。

ロックイン赤外線発熱解析法(LIT)¹⁾

近年、薄片化したIC/LSIチップを何層にも積層し、その間を金属接合する三次元LSI等の新構造デバイスが開発されている。また、実装基板においても多層基板上に部品を高密度に実装するものが増えている。当該品の開発や市場故障の解析においては非破壊検査で、内部に存在する故障箇所を特定しないと故障要素がわからない。表1に電子部品、電子機器の故障箇所特定法を示す。故障箇所特定は発光解析(EMS: Emission Microscopy)、液晶発熱解析(液晶法)、レーザー照射による抵抗変化解析(IR-OBIRCH)などで行われている。可視光を用いた故障箇所特定法は、使用する波長が短いため、赤外光を使用する発熱解析法などに比べて空間分解能は勝るものの、可視光は樹脂などがあると吸収されてしまうため、故障のある面を露出しないと解析ができないことが多い。また、従来の液晶法を用いた発熱解析は感度が悪く、1mW程度の発熱がないと特定できない上、手法上、基板やデバイス内部からの発熱には対応できない。

LITはショート、リーク等に伴う発熱箇所を高感度で特定する方法で、樹脂や基板材料を通した発熱も検知できる。このため、従来困難であった、三次元IC、プリント基板(PCB: Printed Circuit Board)、電子ユニット・モジュールなどにも適用できる。

表1 故障箇所特定法の比較

特徴・用途		LIT	液晶法	EMS	OBIRCH
特徴	試料の状態	モールドチップ	チップ	チップ	チップ
	感度	10 μ A	1mA	1 μ A	数十nA
	空間分解能	5 μ m	10 μ m	1 μ m	1 μ m
	最大視野	200mm	数十mm	数十mm	数十mm
用途	情報深さ	1mm	100 μ m	10 μ m	10 μ m
	半導体	○	△	○	○
	3次元IC	○	▲	×	×
	実装基板	○	×	×	×

図1にLITの構成図を示す。制御系からのトリガーを受けて、ロックイン電圧源からパルス波が試料に印加される。パルス電圧は通常、動作時の電圧(ON状態)とゼロ・バイアス(OFF状態)である。このときの試料表面像を連続的に赤外線カメラで撮影し、制御系に入力する。制御系では像をいくつかのピクセルにわけ、パルス周期と赤外線量を対比させ、強度と位相のずれを求めて像にする。ここで強度とは動作時に発生するジュール熱の強度で、ON状態とOFF状態の差を求めることにより、材料からの輻射などによる熱を除去している。また、位相とはパルス電圧と発熱の時間的なずれを示している。動作による発熱が表面に伝わる時間に関連し、表面近くに故障あるときには遅れが小さく、内部に故障がある場合には遅れが大きくなる。以上のようにLITでは動作による発熱のみを抽出することで感度を向上させ、位相像を得ることで、故障の深さ方向の推定や発生点の明確化を可能にしたものである。図2に強度像と位相像を比較して示す。これはショート不良が発生しているプリント基板にプロービング電圧印加し、解析したものである。この場合、強度像では右下に強い発熱スポットがある。一方、位相像ではそれ以外に下方と、矢印のところに発熱の始点が認められる。この強度の強い発熱スポットはプロー

ピングの接触抵抗による発熱箇所、下方はプリント基板の端からもれてきた発熱であり、実際の故障箇所ではなく、位相像に現れた矢印のところが発熱が、故障に関するものである。このように強度像だけでなく、位相像を用いて正しい故障箇所を特定することもLITの特徴である。

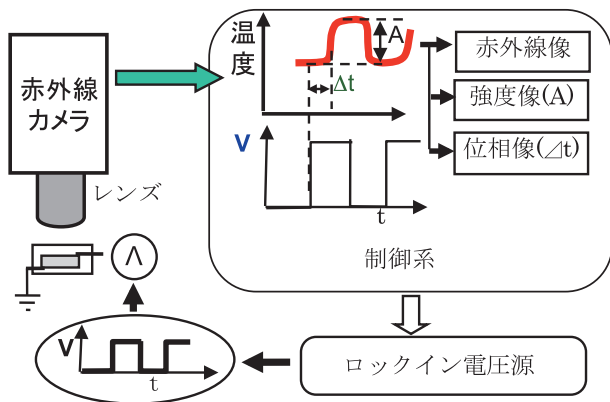


図1 LITの構成図

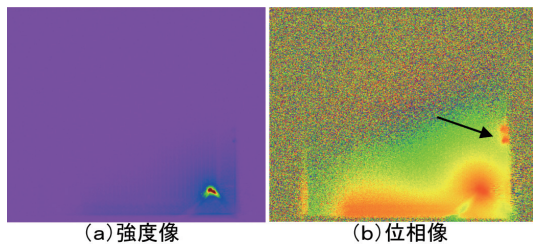


図2 強度像と位相像²⁾

LITを用いた故障解析フロー

図3にシステムの市場故障に対する故障解析のフローの例を示す。

この図では従来の故障解析とLITを加えた新たな解析を同時に示している。システムが市場で故障した場合、故障ユニットを特定し、故障部品などの特定をした後、詳細な解析を行い、故障モード、故障要素、および故障メカニズムを特定する。

従来の方法では2つの課題があった。一つはユニットの故障箇所の特定である。故障回路を追跡し、候補の部位を観察レベルの確認などにより特定するが、構造が不明な場合や複数箇所故障する可能性がある場合、違った箇所の解析を行ってしまうリスクがあった。もう一つの課題は、部品解析における開封などの破壊解析による故障要素の喪失可能性である。破壊解析実施前に故障箇所がチップであるか、パッケージ内部

にあるかにより、解析方法が異なることから、誤った解析方法により故障要素を失ってしまうという課題がある。

解析段階(手法)にLITを導入することにより、以上のような課題を解決することが可能で、ユニットレベルから部品までの故障解析を、適切且つ、効果的に進めることができる。

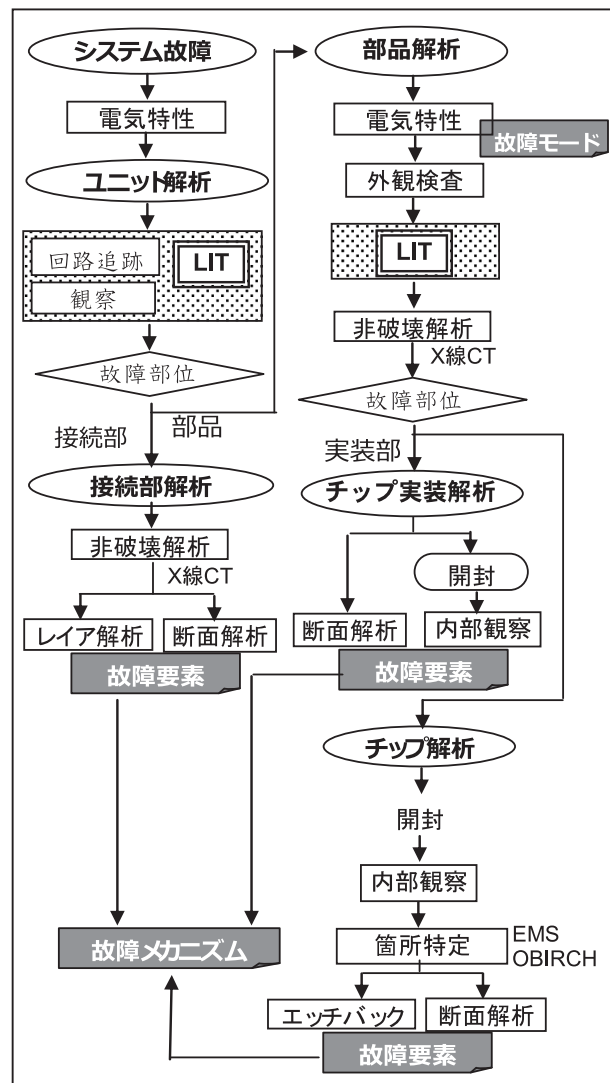


図3 市場故障解析フローの一例

LITを用いた故障解析事例

(1) プリント基板のLIT解析

LITでは広視野の解析も可能で200mm程度の視野で一度に解析ができる。また、微量な発熱が検知できることから、数mmの深さについても故障箇所からの発熱でも観察できる。

図4はプリント基板(10層、板厚:1.6mm)のショート不良の解析例であるが、はじめに幅190mmの範囲の視野で故障箇所を特定し、その箇所を拡大して観察した。図は強度像と赤外線像の重ね合わせと同じ箇所の位相像を示す。広角の像ではプリント基板のほぼ全体の像が得られ、右端に発熱ポイントが認められた。また、拡大像で得られた発熱箇所は、表面層ではなく、内部でショートしていることがわかる。また、発熱箇所は強度と位相でやや異なった位置になっている。ショート不良により内部で発生した熱は拡がりながら表面に到達するが、内部構造により、到達速度や強度が異なる。すなわち、発熱点の上部に金属があると、到達速度が速くなるが、吸熱により、強度は低下すると考えられる。

以上のことから、この場合のショート箇所は位相像で観察された箇所の内部にある。なお、ショート箇所上部に金属配線があるため、隣接した配線の無い部分で強度が高くなっていると考えられる。

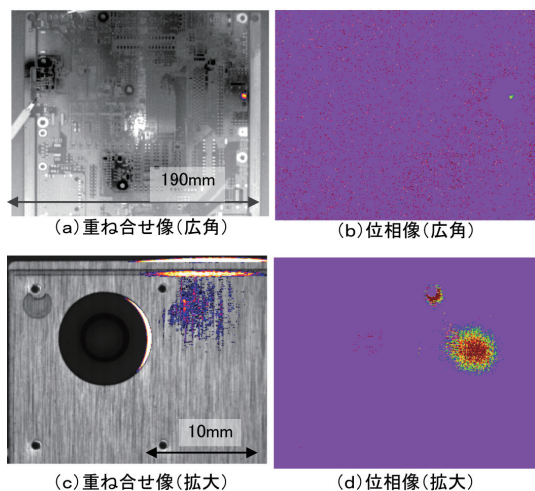


図4 プリント基板のLIT解析事例

(2) BGAの故障解析²⁾

図5はBGA(Ball Grid Array)パッケージを用いたLSIの解析事例である。LIT解析により発熱箇所がチップ領域の外側にあることが確認されたことから、ワイヤリングの不良を推定し、透過X線で、異常観察を実施した。その結果、発熱箇所周辺でボンディングワイヤの断線が観察され、この陰影から断線したボンディングワイヤが隣接したボンディングワイヤに接触した故障要素の可能性が高いことがわかった。透過X線は従来から基板やチップ実装の異常を観察するために有効な方法であるが、情報量が多く、単独で故障解析をする場合

には異常発見率が低かった。今回の事例のようにLITで故障箇所を特定できればその部分に集中して観察できるため、接続やプリント基板などの故障解析にはLITと透過X線やX線CTとの組み合わせが効果的な方法と考えられる。

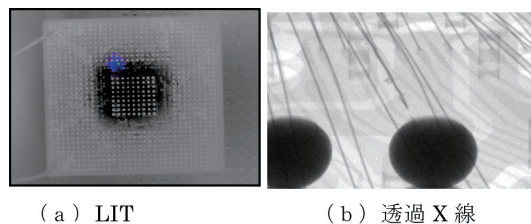


図5 BGAの故障解析²⁾

(3) ICの故障解析

前述のようにIC・LSIやパワー素子などの半導体デバイスの故障解析では非破壊でのだいたいの箇所を特定し、開封後により詳細な箇所特定を行うこと効果的であり、且つ、要求される。そこで、ESDにより故障を発生させ、擬似的に解析を進めた。その結果を図6に示す。

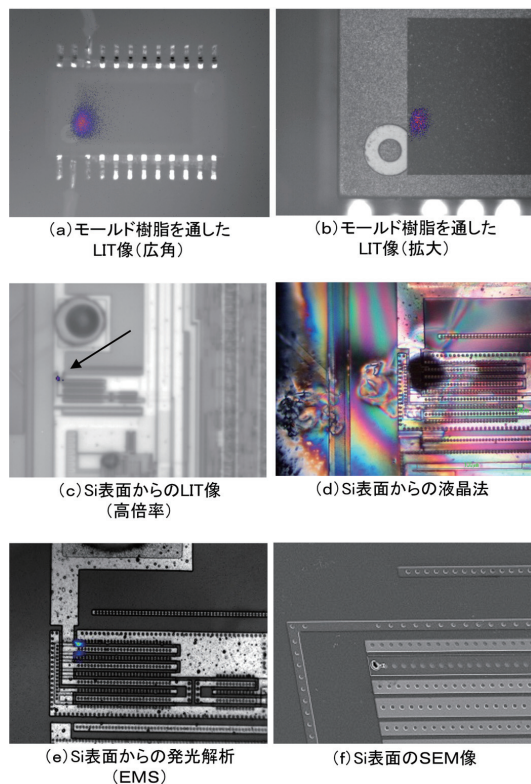


図6 ICの故障解析事例

ここでは非破壊状態（モールド樹脂越し）でのLIT解析（赤外線像と強度像の重ね合わせ）、開封後のSi表面からのLIT解析、液晶法、発光解析(EMS)による箇所特定結果、エッチバック法で、IC上の膜を全て除去したSi表面のSEM（走査型電子顕微鏡）観察結果を示す。

この結果、モールド樹脂（厚さ：1.5mm）上からでもLITで発熱箇所の特定ができることを確認した。ただし、モールド樹脂が厚いため、表面で発熱箇所が広がり、チップ端の近傍におけるショートであることから、LSIチップ内部の故障であるか、実装部の故障であるかの切り分けが難しい。開封後のチップ表面の故障箇所特定では液晶法よりも絞れているが、EMSには劣る。この箇所の物理解析ではESDによる破壊痕が観察された。このようにチップ表面のLITで発熱箇所が絞り込むことができれば、わずかな破壊痕でも非破壊で観察できる可能性が大きい。

LITを用いた解析の展開

LITを用いた故障解析ではLITのための加工や物理解析のための前処理も重要になってくる。解析対象となる実装基板では熱が表面に届きにくいものも少なくないため、適切な加工や、モールド樹脂の除去などが重要になる。また、今後、より微細な欠陥がショートの原因になるため、物理解析においても精度のよい加工技術が必要である。OEGでは機械研磨、レーザー加工、イオンミリング加工、開封加工など多くの加工技術と透過X線（X線CT）観察技術を有しており、適切な加工が可能である。

また、故障解析で得たユニット・モジュールの問題は、製品の信頼性試験や良品解析の検査ツールとしてフィードバックし、より実用的な評価にしていくつもりである。

まとめ

ロックイン赤外線発熱解析(LIT)を用いた故障解析に関して以下にまとめる。

- (1) LITは発熱を用いて、ショートやリーク不良の箇所を特定する方法で、従来の発熱解析に比べ、感度が高く、深い箇所が発生した故障の箇所も特定できる。
- (2) このため、従来から行われている半導体デバイスだけでなく、プリント基板、三次元IC、ユニット・モジュールの故障解析も可能である。
- (3) システムの市場故障に関する解析フローを示したが、ユニット内の故障部位特定や開封前の部品の故障箇所特定にLITを用いることで、適切な故障解析ができる。

- (4) LITを用いた故障解析を実施する上で、LITのための前加工や物理解析の前処理を重要である。

謝辞

本発表にあたり、資料を御提供いただいた丸文株式会社 清宮様、LITのデモ評価を実施していただいたDCGシステムズの一宮様に感謝の意を表します。◆◆

参考文献

- 1) 長友、一宮、茂木、R.Schlanen：第30回LSIテストインギンポジウム、p.121（2010）
- 2) 清宮：丸文非破壊解析フォーラム資料（2012）

筆者紹介

高森 圭：Kei Takamori.

沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業部

中村隆治：Takaharu Nakamura.

沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業部

味岡 恒夫：Tsuneo Ajioka.

沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業部