

# ロックイン赤外線発熱解析を用いた実装基板の故障解析

## Failure Analysis for Mounting Circuit Substrate using Lock-In Thermal Emission

沖エンジニアリング（株）信頼性解析事業部 ○味岡 恒夫、高森 圭、山本 剣、中村 隆治

Tsuneo AJIOKA Kei TAKAMORI Ken YAMAMOTO Takaharu NAKAMURA

Lock-In Thermal Emission (LIT) is a new powerful failure analysis tool, because it can find out an electrical failure spot in a mounting circuit substrate easily. In this presentation, the importance of LIT analysis, the failure analysis system using LIT and results of physical analysis are shown.

### 1. 目的

ロックイン赤外線発熱解析（LIT: Lock-in Thermal Emission）は発熱を高感度に検知できる故障箇所特定法で、内部で発生した熱をモールド樹脂やプリント基板を通して検知できる特徴を持っている[1]。このため、従来困難であった実装基板でも故障箇所特定が可能となり、解析時間の大幅な短縮や成功率向上が図れ、実用的な解析が可能になった[2]。

我々はLITを用いた実装基板や半導体部品の解析システムを構築し、効率的な受託解析を実施しているが[3]、実装基板の場合には物理解析の方法などいくつかの課題があることがわかった。

本発表では実際に実施した実装基板のLITを用いた解析からわかった用途や解析事例を述べ、今度の実装基板解析の足がかりとしたい。

### 2. 実装基板の故障解析の問題

図1に従来から行われている代表的な実装基板の故障解析フローを示す。故障状況から回

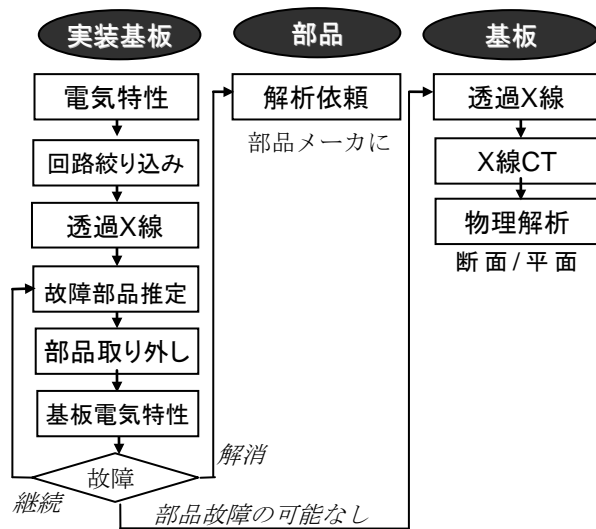


図1 従来の実装基板の故障解析フロー

路を絞りこみ、外観検査や透過X線観察で異常の有無を確認後に、最も原因に推定される部品を取りはずし、場合によっては正常な部品に差し替えて、基板の電気特性を測定する。その結果、故障が継続している場合には次に怪しい部品を推定し、同様な解析を進める。実装基板の故障が解消した場合にはその前に取り外しを

1) 沖エンジニアリング株式会社 信頼性解析事業部

〒179-0084 東京都練馬区氷川台 3-20-16 e-mail : ajioka542@oki.com

【キーワード】ロックイン赤外線発熱解析、故障解析、実装基板、

した部品の故障と判断して部品の解析に移る。故障の可能性のある部品がなくなった(少なくともなくなった)場合に基板の故障と判断する。部品の故障の場合、製造メーカーに解析を依頼することが多い。基板の場合にはX線やX線CTで観察した後、断面や平面からの加工で故障の可能性のある面や層を出して観察する。

### 3. LIT を用いた故障解析フロー

図2に LIT を用いた実装基板の故障解析フローを示す。LIT を用いた場合には電気特性で故障モードを確認した後に、LIT で箇所特定を行う。これで故障箇所が特定できればそこにフォーカスした透過 X 線観察ができる。LIT と透過 X 線の結果から、故障部位(部品、基板、接続)の特定を行う。その後は故障部位ごとの解析に移る。これ以降の解析フローは従来と同じであるが、実際には特定箇所情報から、最適な方法に変更する場合もある。図2には半導体部品の故障解析も示したが、開封前の非破壊解析の一つとして LIT が用いられている。実際には LIT 後にモールド樹脂を薄膜化し、再度 LIT を行い、発熱スポットがチップ内部であることを確認してから、チップ表面を露呈する方法を用いている。これにより、故障要素の喪失を低減することができる[3]。

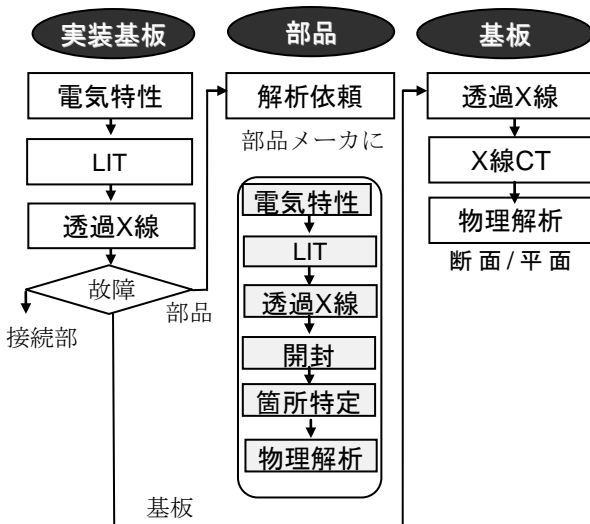


図2 LIT を用いた実装基板の解析フロー

### 4. LIT を用いた解析の利点

LIT を用いた実装基板の故障解析では故障箇所の特정이簡単にできるため、大幅な解析 TAT の短縮ができる[2]。後で述べる 7.1 項の事例のように透過 X 線で異常が見つかる場合には 2 時間程度で異常の存在が確認できる。また、7.2 項の事例のように界面に異物が存在する場合には加工と観察を繰り返す方法で故障要素を見つける方法が実施されるが、箇所が特定されていない場合には観察範囲が広く、見逃してしまうことが多い。

もう一つの重要なことは故障している部位が明確になることである。LSI の故障の場合には製造しているデバイスメーカーに解析依頼することが多いが、半数以上が不再現(正常)になる場合もある。この原因としては LSI の故障が不安定な場合もあるが、搭載されるシステムの問題や接続部の故障など LSI 以外の問題が多く含まれている。このように不安定な故障が想定される解析では前段階で確実に故障部位を特定しないと不再現ということでは進まなくなる(故障を再現させるようなことはしない)。また、不再現が多発すると、デバイスメーカーが不信感を持ち、そのセットメーカーの故障解析の優先度が低くなる要因にもなる。

この解決のためには実装基板の状態での LIT による故障部位の特定を行うことが、肝要である。

### 5. LIT による故障部位の切り分け

図3は実装基板を LIT 解析した例である。この場合、LSI の端に発熱しているため、部品の故障と接続の故障が考えられる。この場合には LSI の故障を想定し、部品を取り外し、その解析を行ったが、電気特性、透過 X 線、および LIT の結果、正常品と差異がなかった。

実際には LSI 端に発熱ある場合にはチップの故障ではなく(チップの場合には 7.3 項の事例のように LSI の内部で発熱する)、LSI 端子

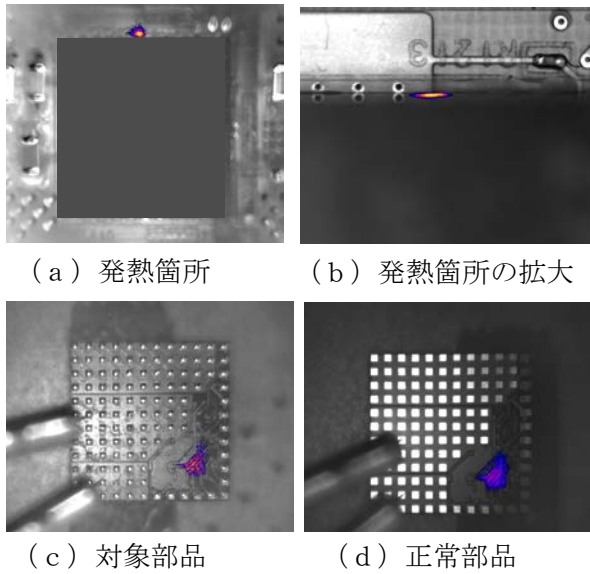


図3 実装基板のLIT解析

間のショートや基板のショートが考えられるため、取り外すべきではなく、透過 X 線やレイアウト図でショート箇所を推定し、そこを中心に解析を進めるべきである。

このように故障部位の特定は LIT の発熱状況を理解すれば可能である。

## 6. 基板の物理解析

LITにより故障箇所の特定ができるようになり、特定箇所にフォーカスして物理解析を進めることができるため、成功率が飛躍的に向上することが期待できる。プリント基板の物理解析は異物のような厚みのあるものであれば容易にわかるが、イオンマイグレーションのような薄い層になっている場合には3次元的に故障部位を特定して平面研磨により物理解析を進める必要がある。断面からの観察では加工時に界面が選択的に加工されるため、異常があってもわかりにくい。

また、実際には上記の方法で特定箇所を入念に見ても異常が観察できないことがあり、基板の物理解析技術の確立が必要である。

## 7. 実装基板の解析例

### 7.1 異物による基板のショート

図4に実装基板の異物によるショート不良

の解析の例を示す。LITにより、スルーホール部で発熱していることがわかった (a)。実装基板では部品の影になって表面では発熱が確認できないことがあるために、裏面側からもLIT解析を行った。その結果、同じスルーホールが発熱し、他の箇所からの発熱はなかったため、ここがショート箇所であることがわかった。次に特定箇所を透過 X 線で解析したが、異常な陰影がスルーホールを横切ったように存在していた (b)。この部分を中心に切り出し、X 線 CT で観察した結果、配線の残渣によりスルーホール間でショートしていることがわかった。このように LIT で箇所を特定することにより、短時間（この場合には2時間程度）で異常が確認でき、箇所かわかるため、X 線 CT の詳細解析も容易できた。

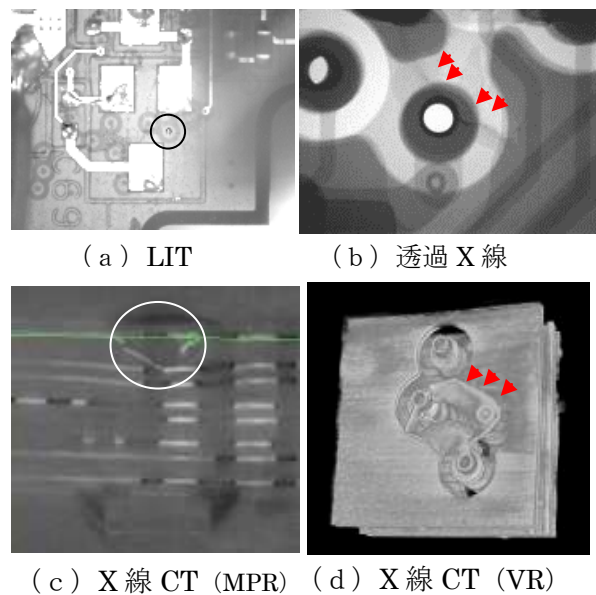


図4 実装基板のスルーホール異常の解析

### 7.2 界面に存在する異物

図5に別の実装基板の解析事例を示す。まず、実装基板をLITで解析した結果、太い配線の下で発熱しており、中心点がわからなかった

(a)。そこで、配線の一部を除去して再度LIT解析を行った結果、箇所の絞り込みができた (b)。この箇所は (a) の○で囲んだ箇所

ある。次にこの箇所を透過 X 線で観察したが、異常の観察ができなかった (c)。しかしながら、特定箇所が内部にある配線間と一致しており、平面研磨でこの深さまで削り、観察することにした。このため事前に別の箇所を断面加工し、表面からこの配線層の深さを求めた。配線のある近くまで研磨し、その後、精密研磨と光学顕微鏡 (光顕) 観察を繰り返した。光学顕微鏡は樹脂に対する透過性がよく、故障箇所には達しなくても、金属部の観察ができる。今回の結果では、はじめに配線が観察され、その後、配線間に異常の観察できた。さらに研磨を進める (d) のように故障部の観察ができた。この結果は配線間に銅があり、イオンマイグレーションを示唆している。

このように LIT で箇所が特定できれば配線のある層界面に異常があっても観察することが可能である。

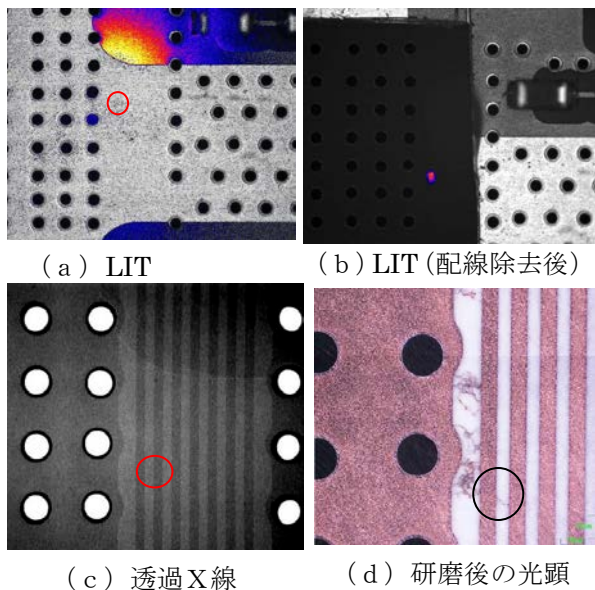


図 5 実装基板の界面異物の解析事例

### 7.3 部品の故障

次に実装基板に搭載された部品が異常であった場合の事例を図 6 に示す。LIT の結果を (a) に示すが、部品の半分が発熱しており、部品内部でショートしていることがわかる。透過 X 線で観察した結果、異常は観察されなかったが、2 つのチップがあることがわかり、この

一つ (LIT の像では下側のチップ) が故障し、発熱していることがわかった。この部品を取り出し、I-V 特性をした結果、ソース-ゲート間でショートしていた (デバイスは MOSFET)。そこで、この端子間で LIT を行い、発熱を観察した結果 (b)、取り外し前と同様チップ全体が発熱していた。そこで、レーザー開封機を用いてモールド樹脂を薄膜化した再度 LIT を行った結果、発光スポットを絞ることができた (c)。この箇所はソース電極とゲート電極の間であり、パッド間のショートとチップ内部のショートの両方の可能性がある。パッド間の異常は開封により喪失してしまう可能性があるため、再度、透過 X 線で観察したが、異常は認められなかった。今回は開封し、解析を進めることにした。開封後、チップ表面のパッド間を SEM 観察した結果 (d)、樹枝状結晶 (デンド

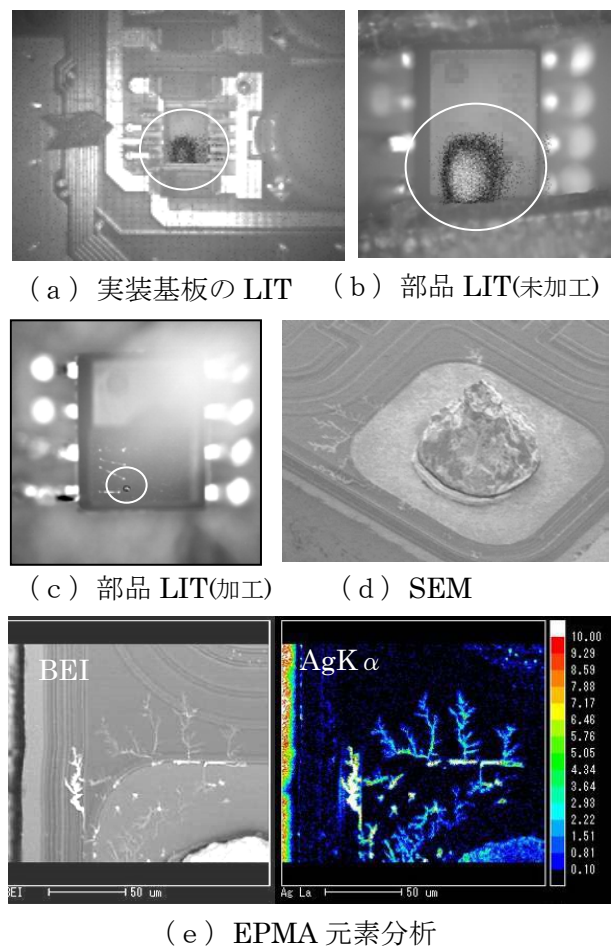


図 6 実装基板の搭載部品の解析事例

ライト)が認められた。この原因を調査するために EPMA 分析を行ったが、樹枝状結晶は Ag の分布と一致していた。このことから、本結果はダイボンド材である Ag ペーストが吸湿により水分に溶解込み、パッド間の電位差でイオンマイグレーションを起こしたと考えられる。

## 8. 実装基板の解析

表 1 にいままでの実装基板に関する解析結果をまとめた。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 故障モードはほとんどがショートであるが、高抵抗不良も含まれている。
- (2) LIT 解析で箇所特定できたものに関しては○印をつけた。ショート不良の場合にはほとんど LIT で特定できているが、解析前、または解析中に故障モードが回復してしま

ったものもいくつかある。

- (3) 故障部位はプリント基板が多いが、部品の場合や接続不良もあった。
- (4) 透過 X 線で異常が観察されたものに○印を、できなかったものには×印をつけたが、透過 X 線で観察されない場合が多い。透過 X 線で観察されなくとも X 線 CT で見つかるものもある。透過 X 線、または X 線 CT で観察されたものは厚みのある異物である。
- (5) 物理解析としては透過 X 線で観察できたものに関しては X 線 CT で構造がわかる場合もある。透過 X 線や X 線 CT で観察できた異物は断面解析でも検出できるが、それ以外の場合には断面では観察しにくく、ほとんどの場合、平面解析で行った。ただし、平面解析で見つからない場合もあった。

表 1 実装基板の解析結果一覧

試料	LIT	部位	X 線	物理解析	要素
A	○	部品	—	—	サージ?
B	回復	—	—	—	不明
C	○	基板	—	平面解析	(観察できず)
D	○	基板	×	X 線 CT⇒断面解析	異物
E	○	基板	×	平面解析	アライメント不良
F	○	基板	×	平面解析	イオンマイグレーション
G	○(不安定)	基板	×	—	—
H	○	部品	×	チップ表面	イオンマイグレーション
I	○	接続	×	—	—
J	○	基板	○	X 線 CT	配線残渣
K	回復	—	—	—	—
L	○	基板	×	断面解析	(観察できず)
M	○	基板	○	—	異物
N	○(高抵抗)	基板	○	—	—

## 9. まとめ

ロックイン発熱解析 (LIT) の実装基板への適用を検討した。重要な点を以下にまとめる。

(1) LIT の用いた実装基板の解析は従来の解析に比べ、解析 TAT の大幅な短縮、成功率の向上ができる。

(2) セットメーカーがデバイスメーカーに解析を依頼する場合に LIT を用いると故障部品が明確なため、デバイスメーカーも納得して解析を進めることができる。

(3) LIT 解析はショート故障だけでなく、高抵抗不良も可能で、故障維持されればほとんどの場合、解析が可能である。

(4) いままでの我々の解析ではプリント基板の故障が多かった。

(5) LIT 解析によりプリント基板内で故障を特定した場合、透過 X 線解析が効果的である。ただし、検出できるのは厚みのある異物である。

(6) 透過 X 線や X 線 CT で観察できない場合にはある層の界面で異常 (異物) が成長していることが多く、平面解析のほうが検出できる可能性が高い。平面解析でも観察できないこと

もあった。

## 参考文献

[1] 長友俊信、一宮尚至、茂木忍、R.Schlanen : 『ロックイン赤外線サーモグラフィ (ELITE) のご紹介』、第 30 回 LSI テスティングシンポジウム、p.121 (2010)

[2] 西向一也、佐藤幸男、一宮尚至、長友俊信 『車載ニュートン非破壊不良解析へのロックインサーモグラフィの応用』、第 33 回 LSI テスティングシンポジウム、p.37 (2013)

[3] 高森圭、山本剣、味岡恒夫、清宮直樹、一宮尚至: 『ロックイン赤外線発熱解析を用いた故障解析』、第 43 回信頼性保全性シンポジウム、セッション 1-4 (2013)