

ロックイン発熱解析（LIT）を用いた故障解析

沖エンジニアリング株式会社

信頼性解析事業部

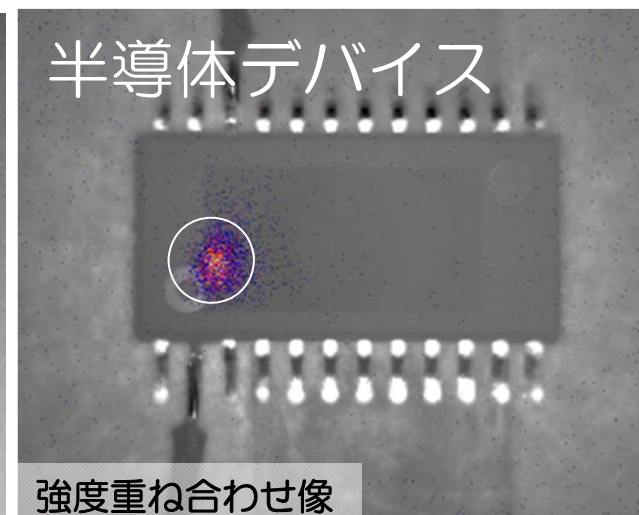
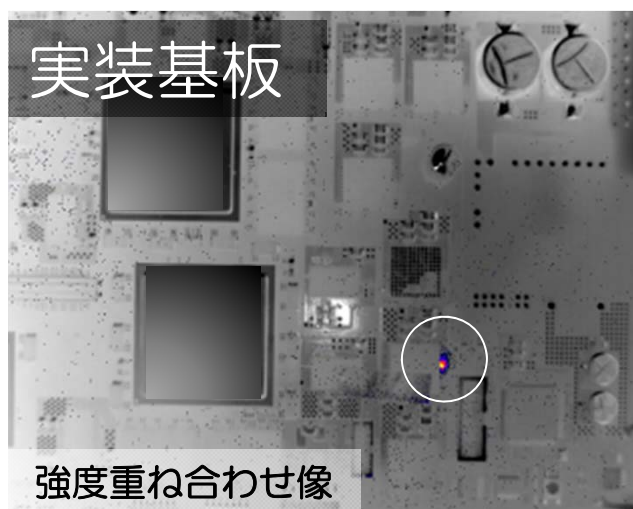
内容

- ロックイン赤外線発熱解析（LIT）
 - LITの重要性
 - LITの原理、性能
- これからの故障解析
- LIT故障解析の技術開発
 - プロービング
 - 発熱画像
 - 解析システム
 - 物理解析
 - プリント基板
- 解析事例
 - 樹脂封止された部品（IC）
 - BGA（Ball Grid Array）
 - 実装基板

ロックイン発熱解析（LIT）の有効性

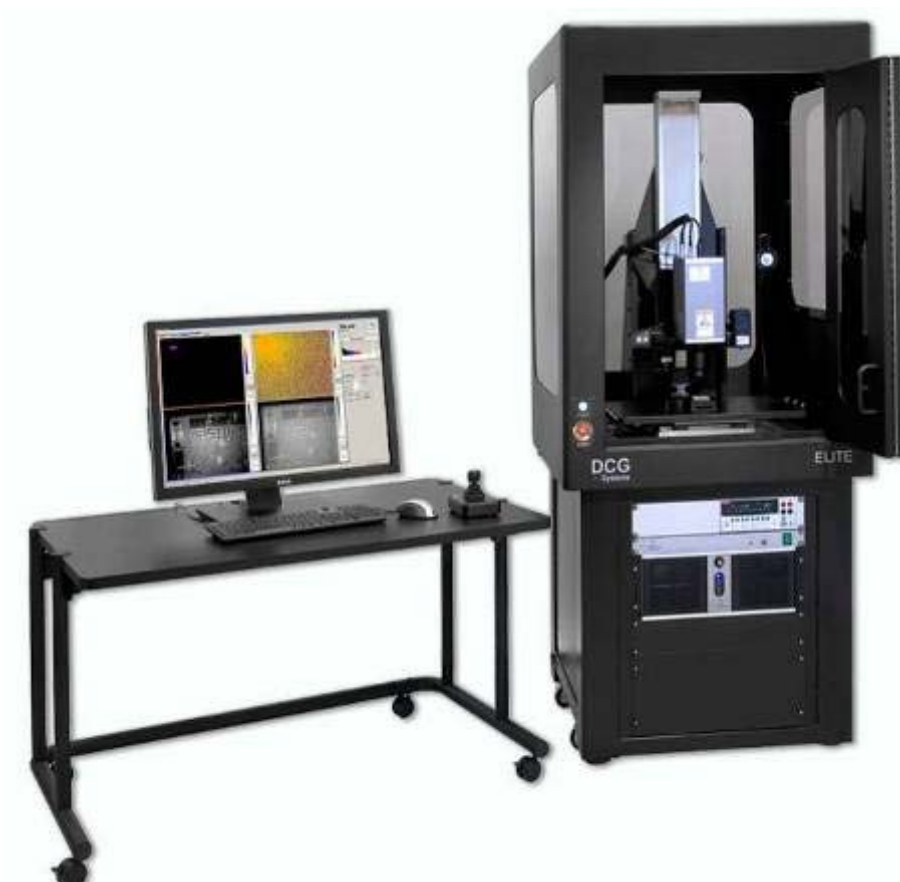
LITは従来困難だった基板や部品内部の故障箇所がわかります。

- 従来の実装基板の解析では候補の部品を取り替えて、確認しています。
 - 推定が違ふことが少なくなく、多くは原因不明
 - 判断を誤り、正常部品の解析依頼（部品メーカーに）
- LITは故障箇所を短時間で特定します。
 - “まずはLIT” LITからはじめることが、確実な内積のスタート



ロックイン赤外線発熱解析装置

- 装置 Lock-In Thermal Emission (LIT)
ELITE

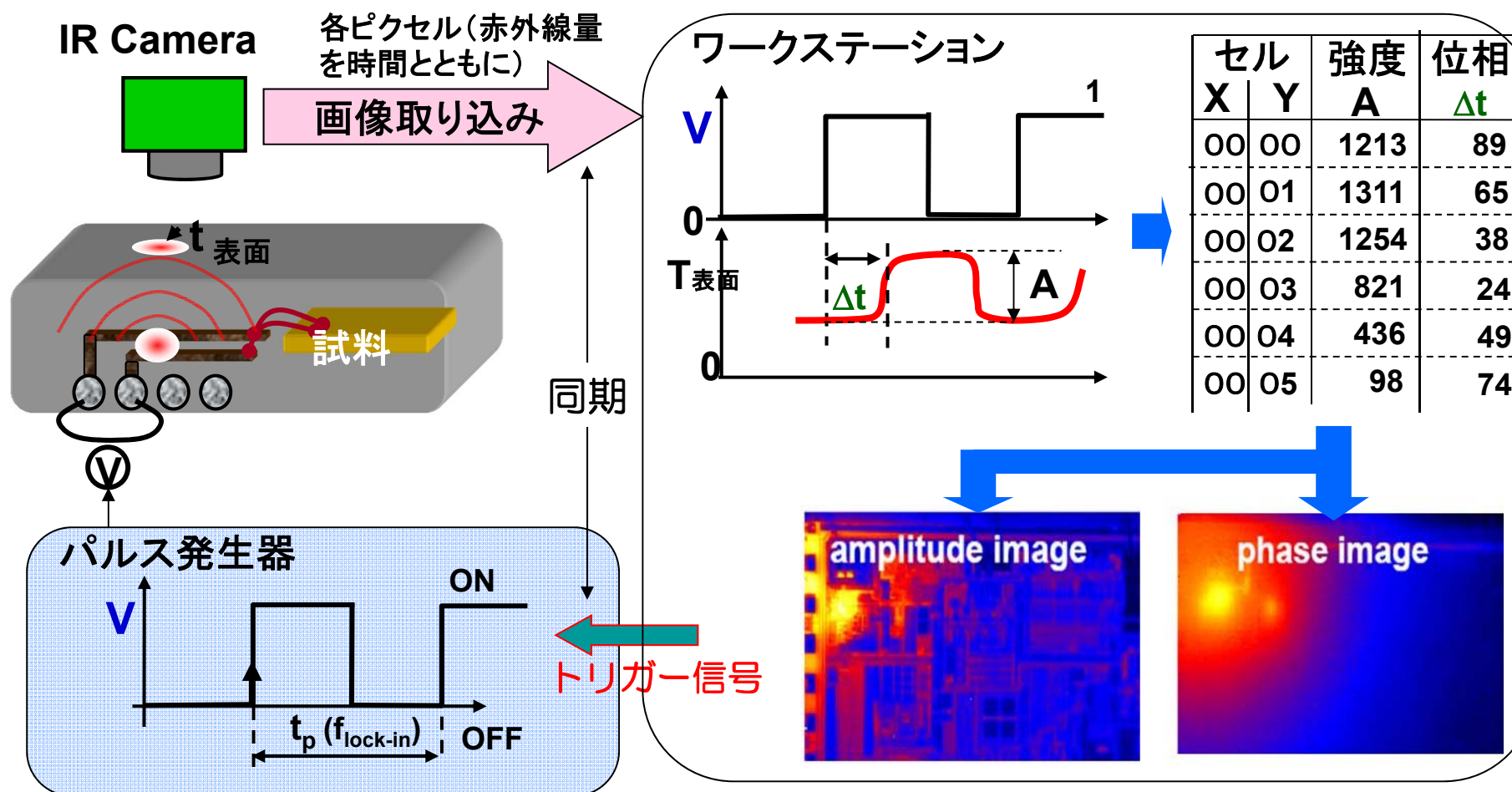


ロックイン電圧供給電源



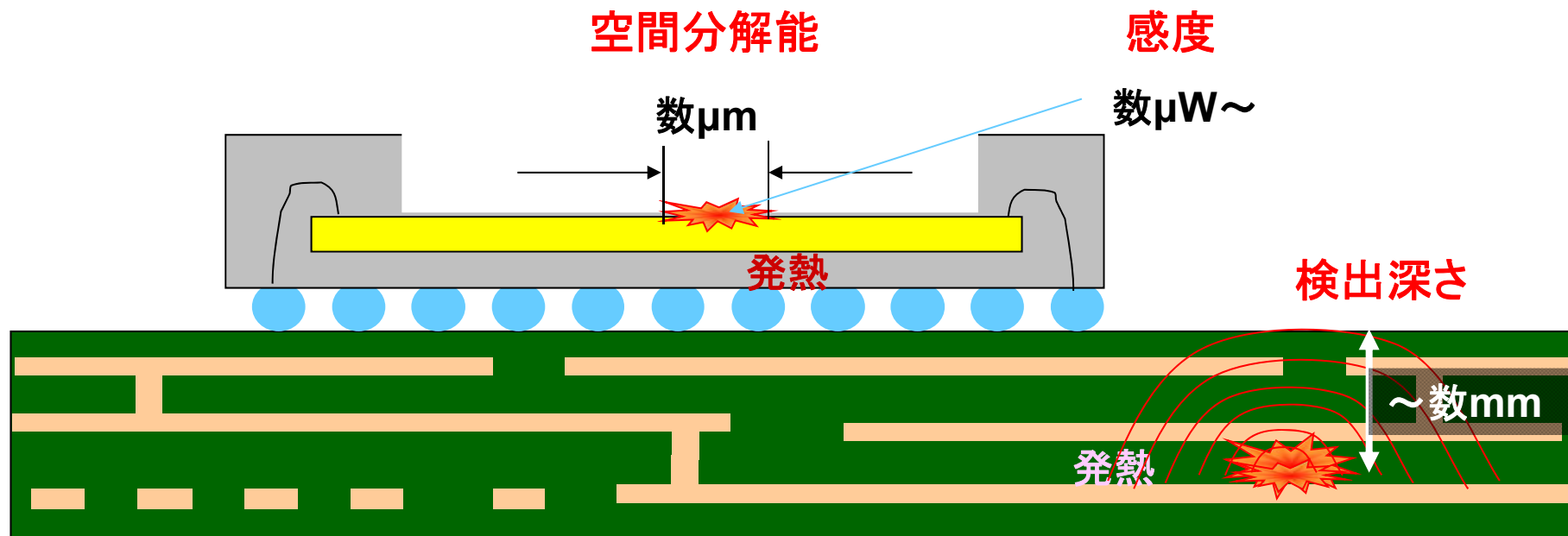
ロックイン発熱解析の原理

ロックイン方式の発熱解析で、透過性がよい発熱を高感度で検出
⇒封止樹脂や基板内部から動作時発熱を検知



ロックイン発熱解析の性能

ステージ : 最大視野サイズ=190mmx150mm (ステージサイズ=550mmx370mm)
赤外線カメラ : InSb (測定波長帯 : 3-5 μ m) , 640x512 pixel (15 μ m/pixel)
レンズ : wide、 x1、 x5
ロックイン電源 : 200V - 1A (3000V-20mA) 、 1-25Hz

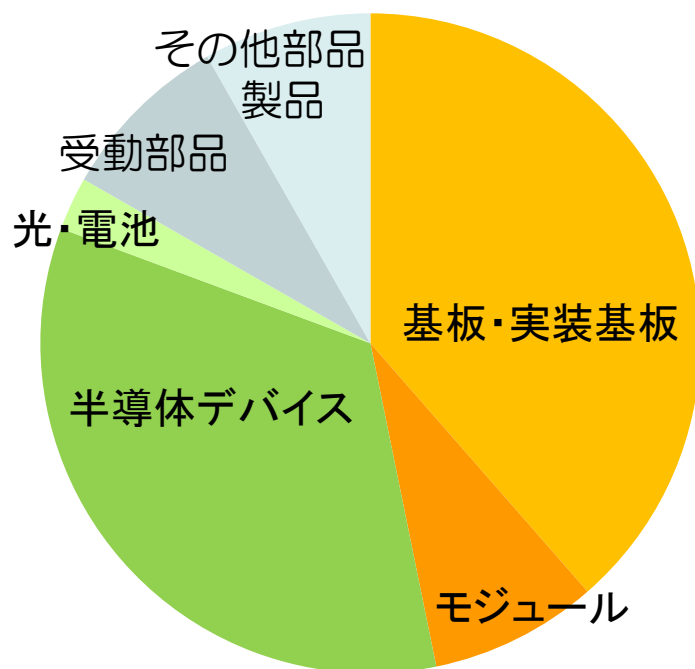


内容

- ロックイン赤外線発熱解析（LIT）
 - LITの重要性
 - LITの原理、性能
- これからの故障解析
- LIT故障解析の技術開発
 - プロービング
 - 発熱画像
 - 解析システム
 - 物理解析
 - プリント基板
- 解析事例
 - 樹脂封止された部品（IC）
 - BGA（Ball Grid Array）
 - 実装基板

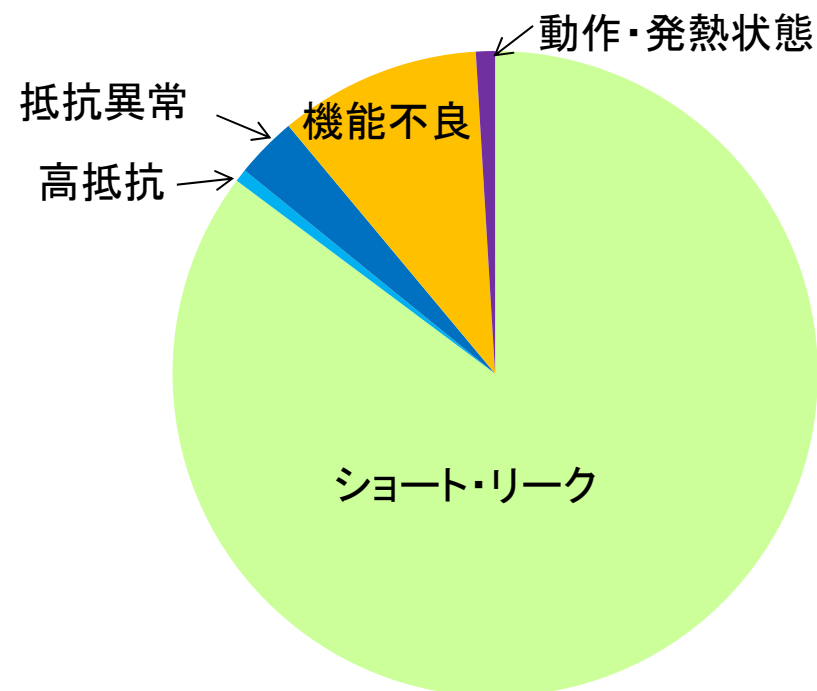
LITを用いた受託解析「実績」

対象品



プリント基板、実装基板、モジュール、半導体デバイス（パワーデバイス）が多い

故障モード



ショート・リークが多いが、
高抵抗や抵抗異常も可能。
機能故障（良品と不良品の動作状態評価）が増

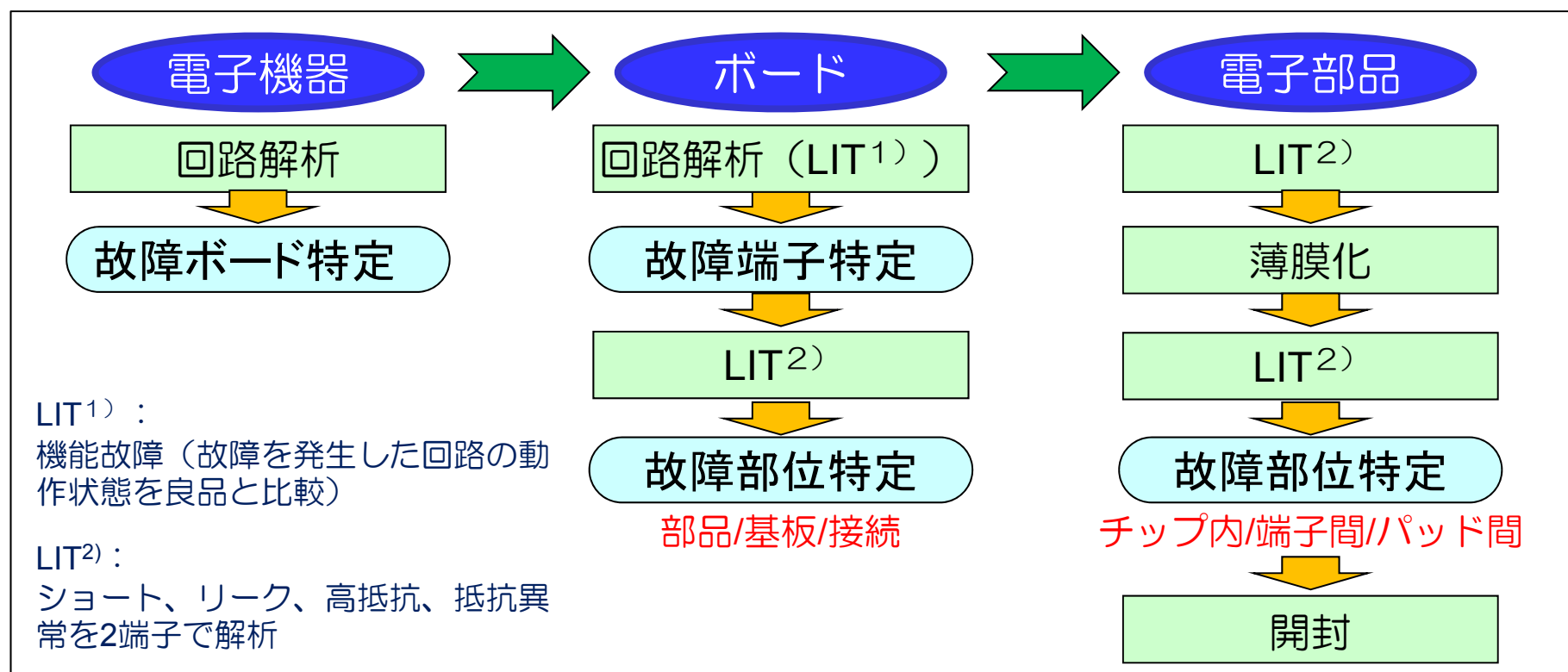
これらの故障解析

■ 電子機器から電子部品・材料まで

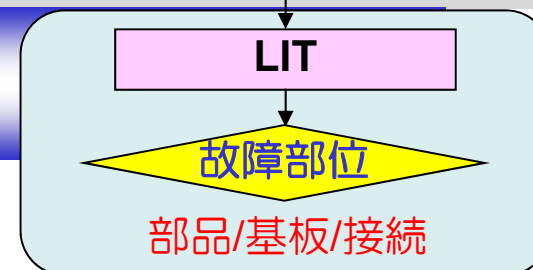
⇒LITによるボード(実装基板)の故障箇所特定

■ 解析のミス防止

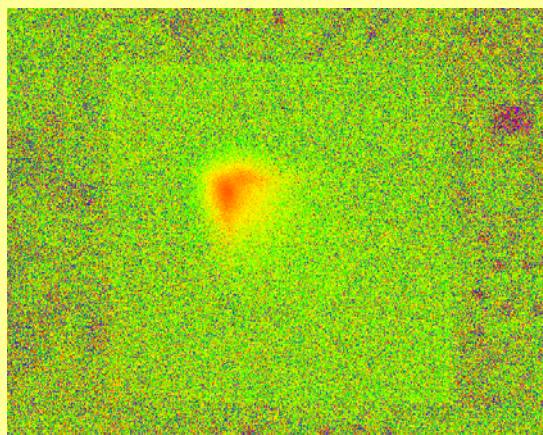
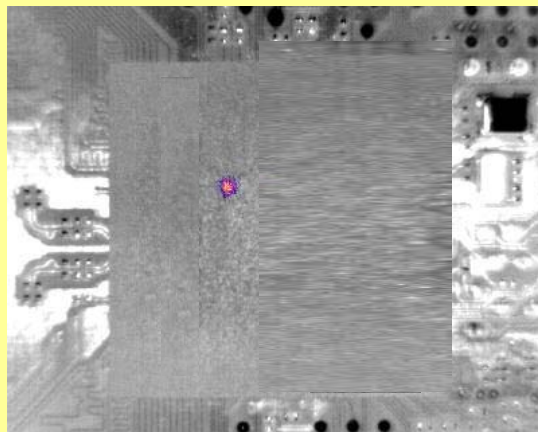
⇒LITのよる故障部位の確認(実装基板、電子部品の非破壊解析)



LITによる故障部位の特定

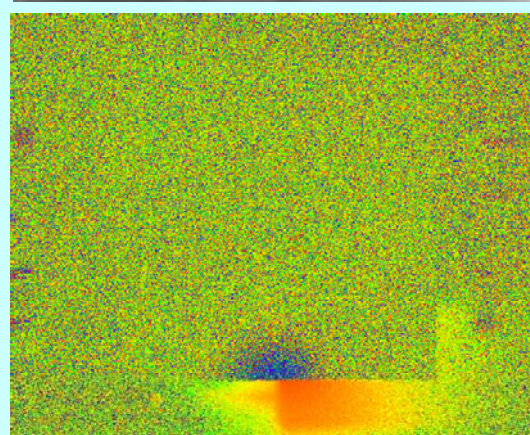
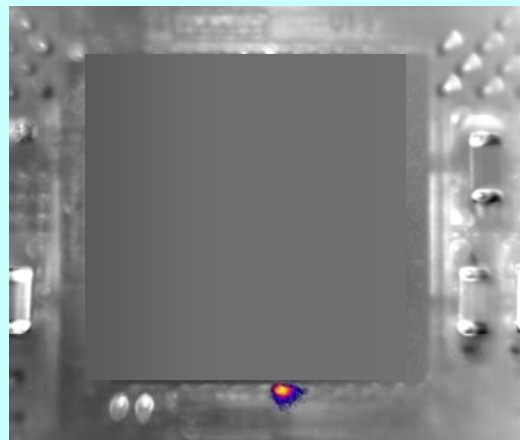


チップ内リーク



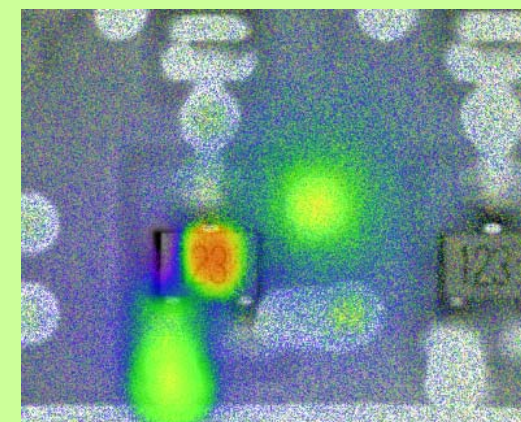
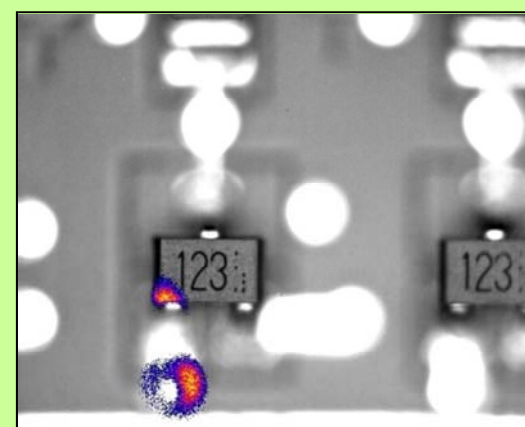
部品内部で発熱
⇒チップ端近傍でのリーク

リード間リーク



部品外側に漏れた発熱
⇒裏側のリード間でのリーク

部品のリーク



発熱中心が部品（位相）
⇒部品全体でリーク

内容

- ロックイン赤外線発熱解析（LIT）
 - LITの重要性
 - LITの原理、性能
- これからの故障解析
- LIT故障解析の技術開発
 - プロービング
 - 発熱画像
 - 解析システム
 - 物理解析
 - プリント基板
- 解析事例
 - 樹脂封止された部品（IC）
 - BGA（Ball Grid Array）
 - 実装基板

LIT故障解析の技術開発

プロービング

開発したプロービング

- プロービング
—実体顕微鏡付き
- 裏面プロービング
—BGAなどに適用
- チップ部品観察治具
—多面観察用

発熱画像

LITの付属として、発熱像を連続して測定

- 動作状態の異常解析
- 発熱状態の評価
(時間変化、発熱分布)

LIT

解析システム

LITと組み合わせて、効率的な解析

- 解析
 - 電気特性
 - 透過X線
 - 光学顕微鏡観察
- 加工
 - 樹脂薄膜化（レーザー）
 - 薬液開封
 - 部品外し
 - その他

物理解析

LITで特定箇所近傍を最適な方法で加工、観察・分析

- 透過解析
 - X線CT
- 界層解析
 - 加工：研磨
 - 観察：光顕、SEM
- 断面観察
 - 加工：FIB
研磨、イオンミリング
 - 観察：SEM、TEM
- 元素分析
 - EPMA、EDX

プロービング

プロービングに関する装置開発を行いました。
(販売可能)

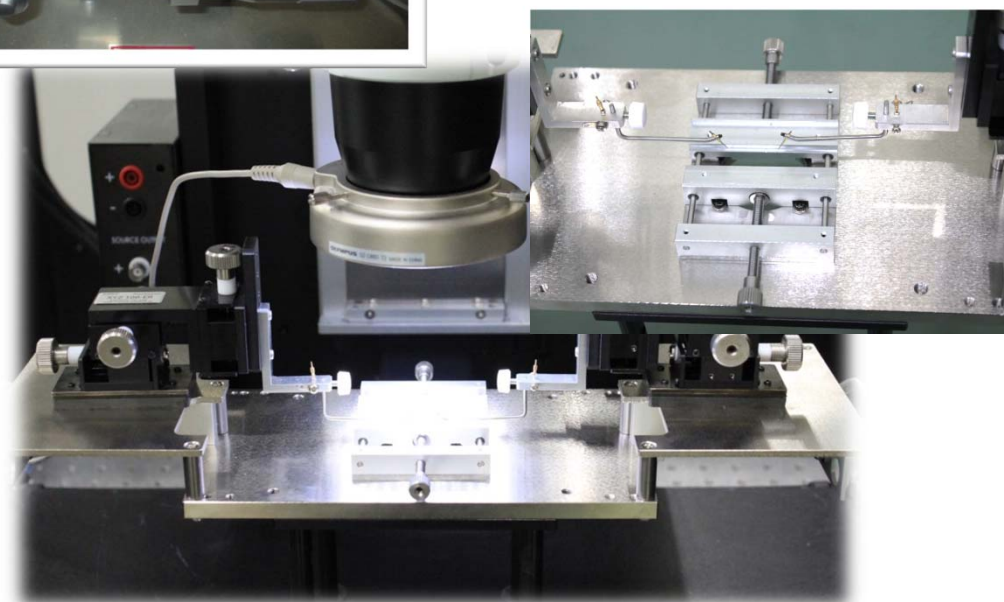
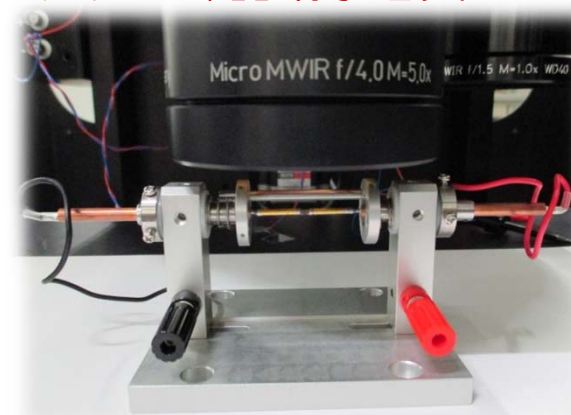
プロービングシステム



高温ステージ

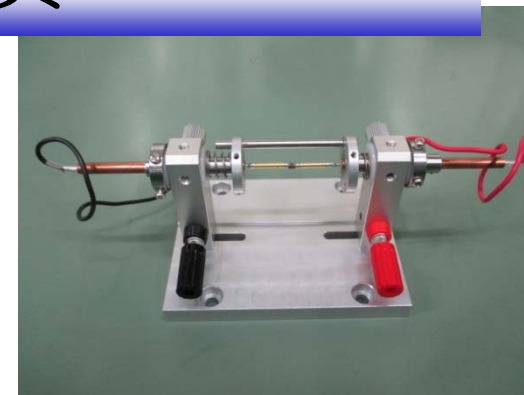


チップ部品観察冶具

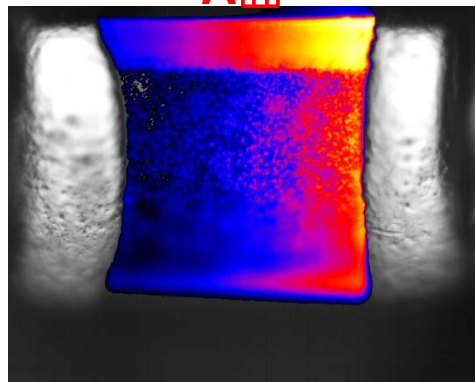


チップ部品多面解析用治具

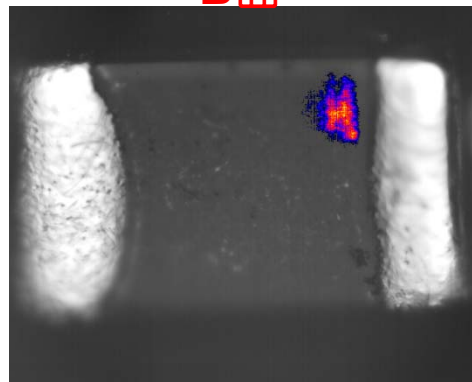
チップ部品では多面からLIT解析を行い、3次的に箇所を特定することが重要



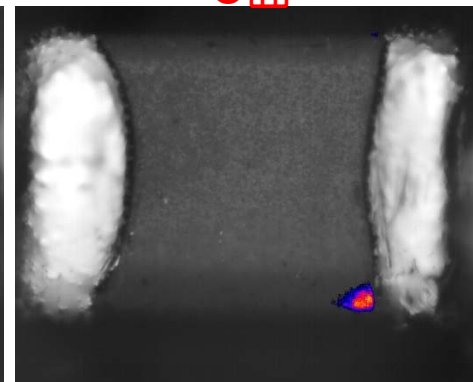
A面



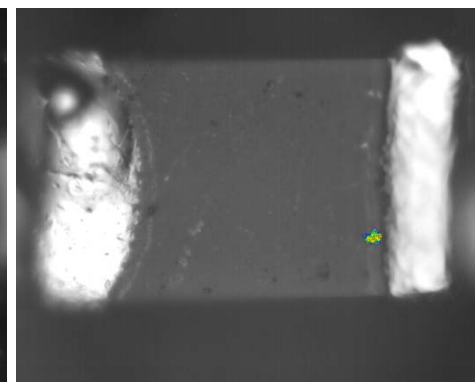
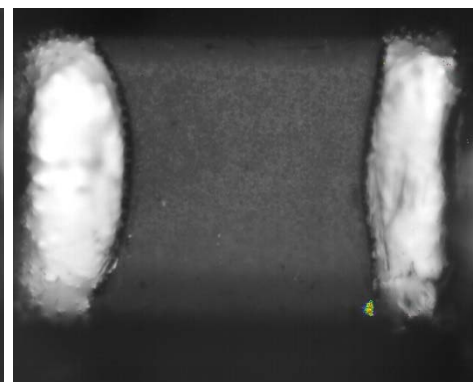
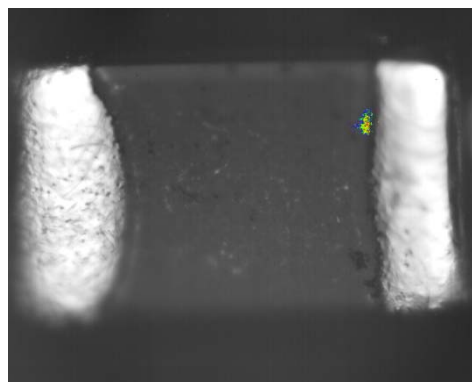
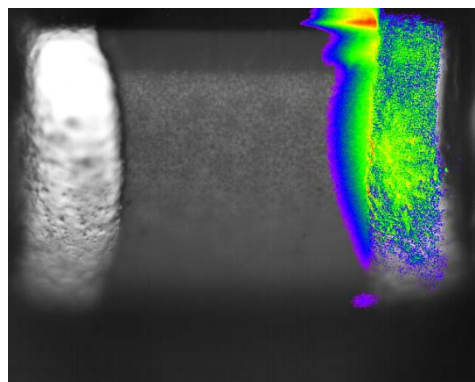
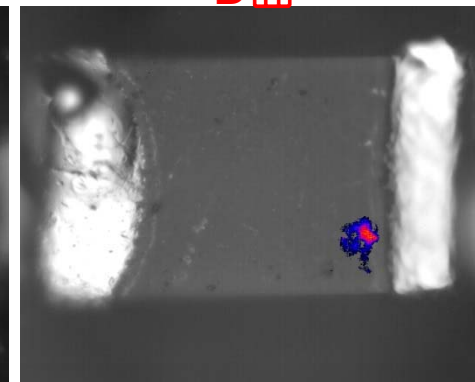
B面



C面

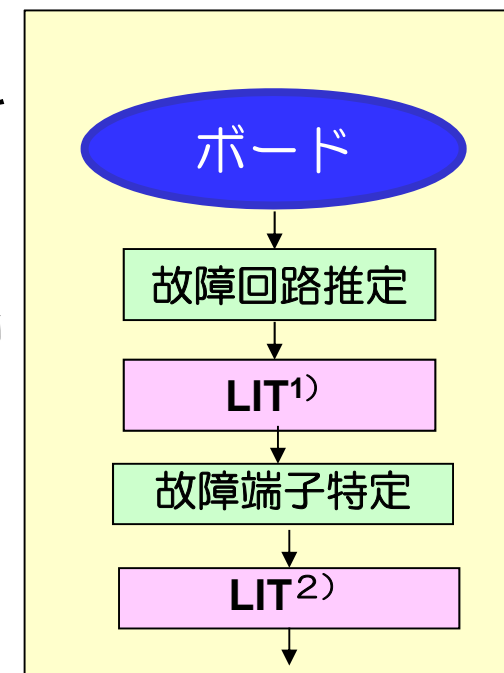


D面



発熱画像 —動作状態の異常解析方法—

- LIT²⁾で故障箇所特定を行うためにはロックインパルスを印加する2端子を決める必要がある。
 - 回路図からの推定では困難な場合がある。
- 動作状態の確認 (LIT¹⁾: 故障品の動作状態を発熱により観察)
 - 実機での動作
 - ▶ 発熱解析(ロックインなしでも)で抵抗体、LSI/IC、ダイオードのON状態がわかる。
 - ▶ 回路や正常品との比較から動作不良を観察
 - ▶ 故障発生原因となる故障部品の推測
 - ▶ LITによる確認
- LITによる動作状態の観察
 - PCなどで外部電圧を印加し、動作時の発熱像を取り込み
 - 100Hzで連続発熱画像取り込み可



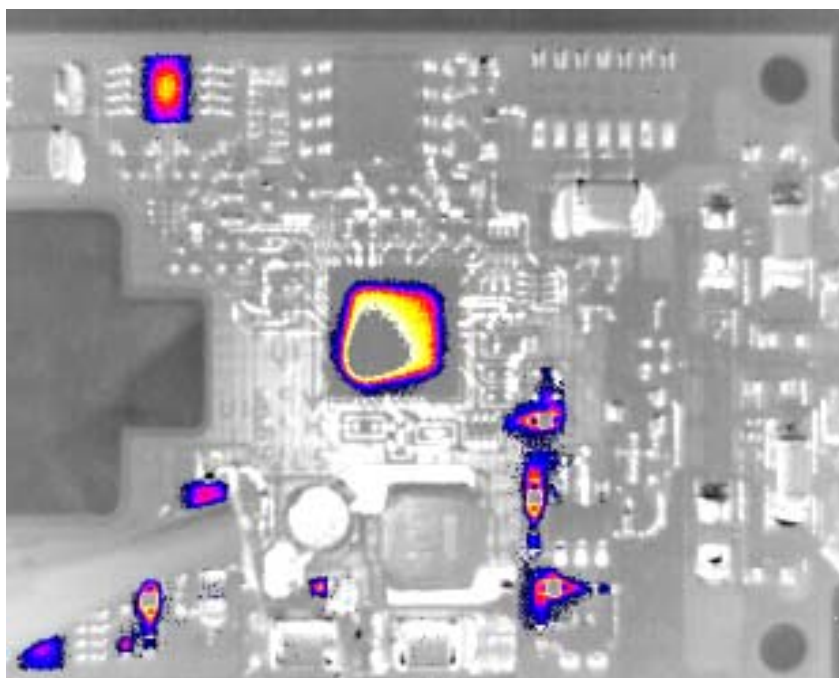
発熱画像 —動作状態の異常解析事例—

ショートした実装基板の一つの端子に外部から電圧を印加し、ショートしている端子にロックインパルスを印加してLIT解析

LIT電圧: 0V-30mV

30mVのときにリーク電流: 1 μ A(正常品)、32mA(故障品)

正常品



発熱している部品が動作している。

故障品



ある抵抗が発熱 (ショート箇所は検出できず)
容量がショートし、入力信号が反転?

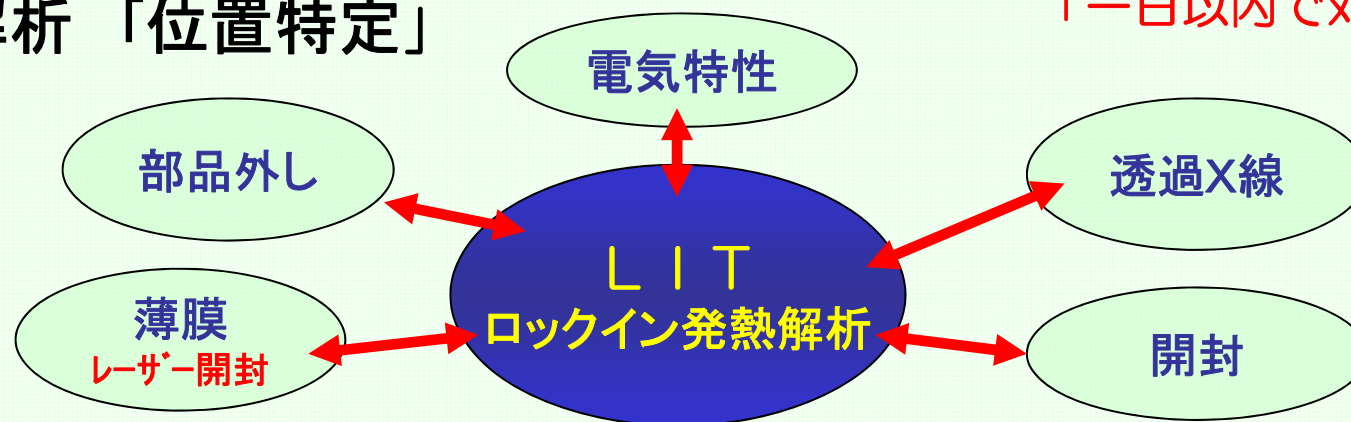
内容

- ロックイン赤外線発熱解析（LIT）
 - LITの重要性
 - LITの原理、性能
- 周辺技術開発
 - プロービング
 - LITを用いた解析システム（LIT解析）
 - 動作状態の解析
- 実装基板からの故障解析
- LIT解析
 - 解析事例
 - 正常品と比較による解析

解析システム ー装置、ツールー

一次解析 「位置特定」

「一日以内で対応」



解析結果を見ながら、物理解析が可能なレベルまで、故障位置を特定

二次解析 「物理解析」

X線CT

(実装基板、PCB、

半導体デバイス実装部)

詳細箇所特定

EMS/IR-OBIRCH

(半導体デバイスチップ部)

加工 (物理解析用)

エッチバック

イオンポリッシング

観察

SEM/TEM

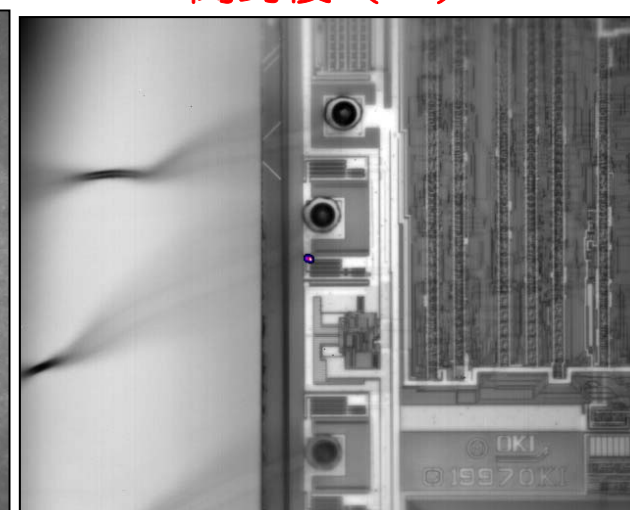
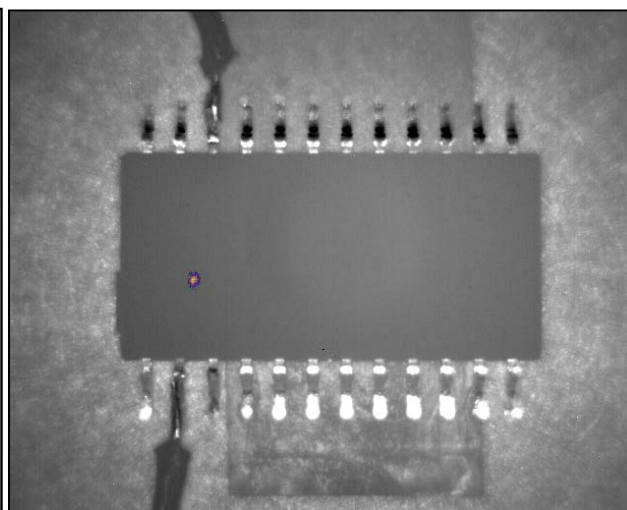
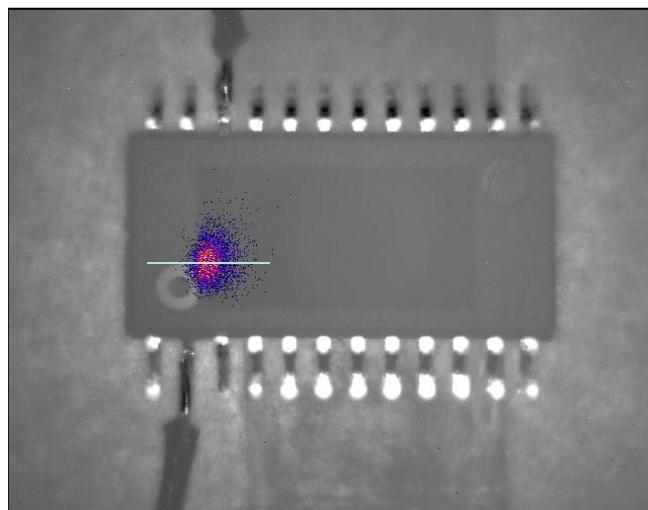
解析システム — 薄膜化（１） —

レーザー開封機によるモールド樹脂の薄膜化や開封により、発熱スポットが大きく変化する

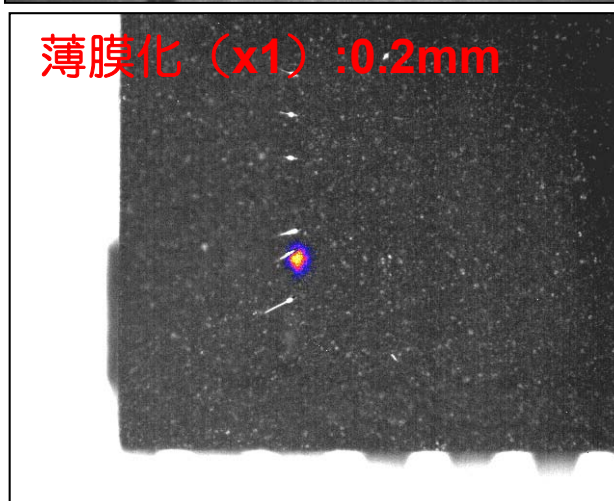
未加工（wide）：0.8mm

薄膜化（wide）：0.2mm

開封後（x1）



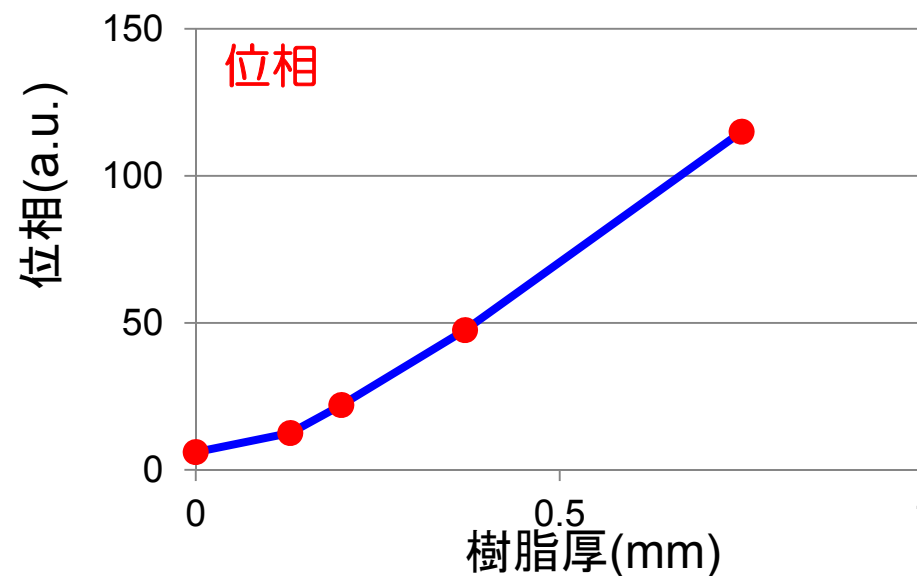
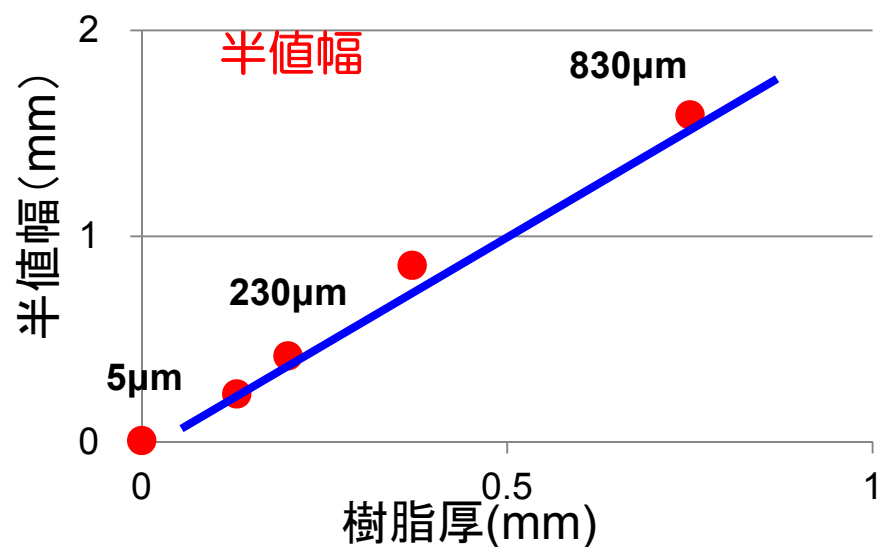
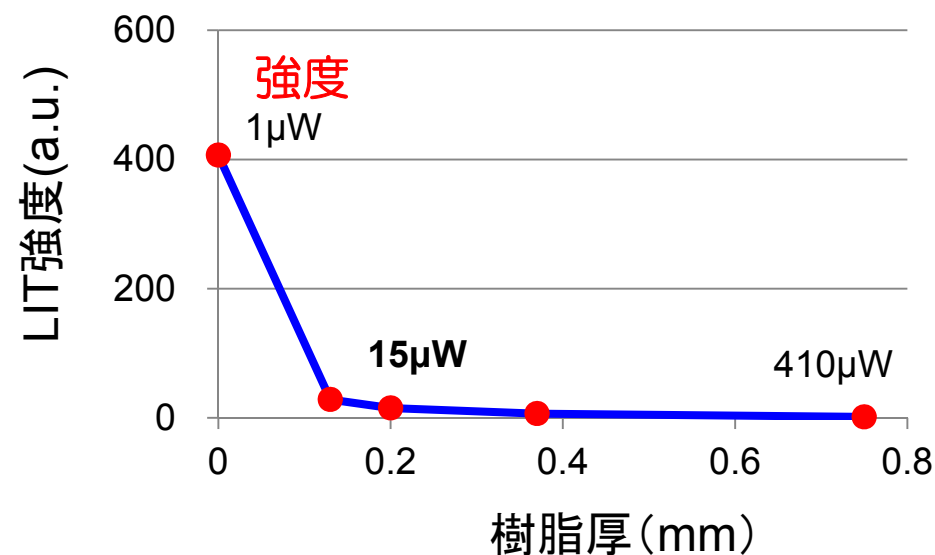
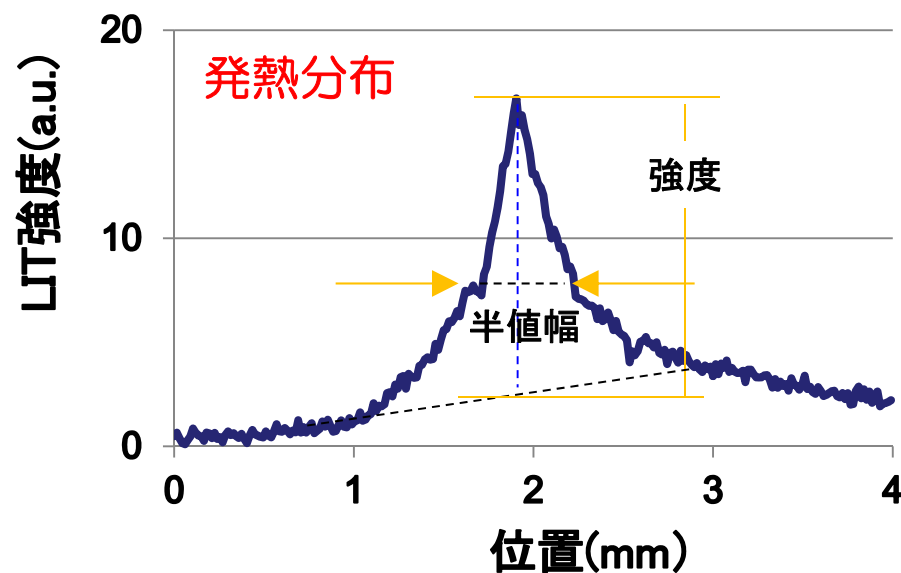
薄膜化（x1）：0.2mm



開封後（x5）



解析システム — 薄膜化 (2) —



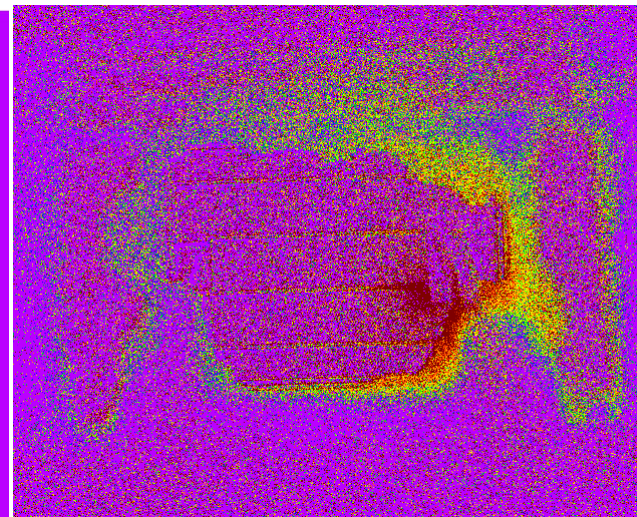
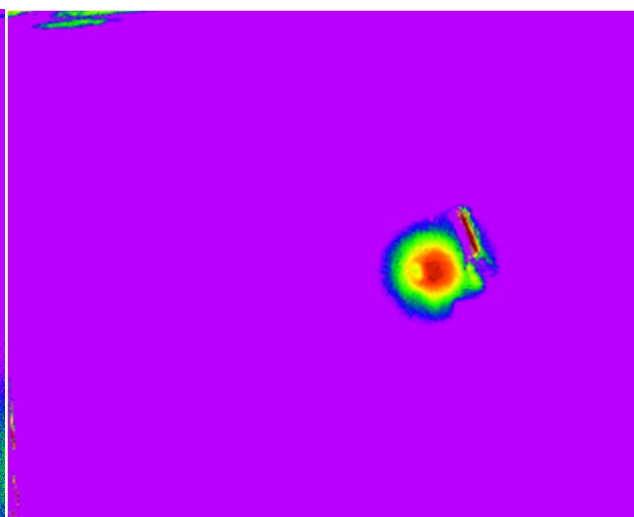
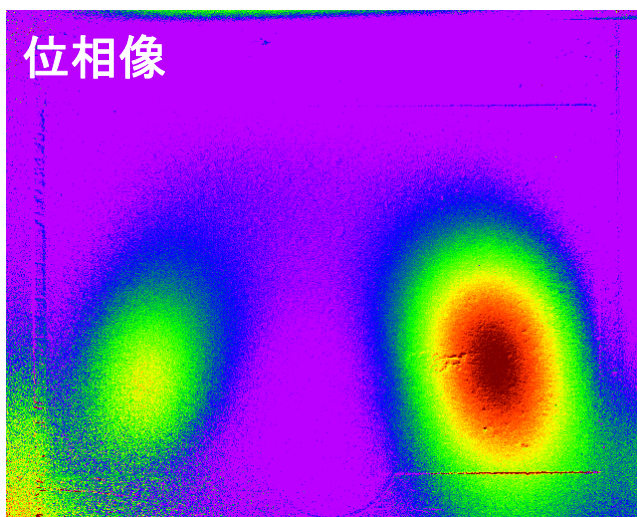
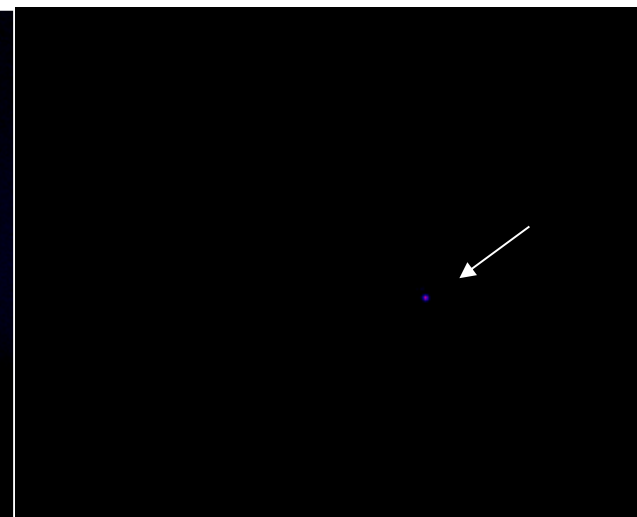
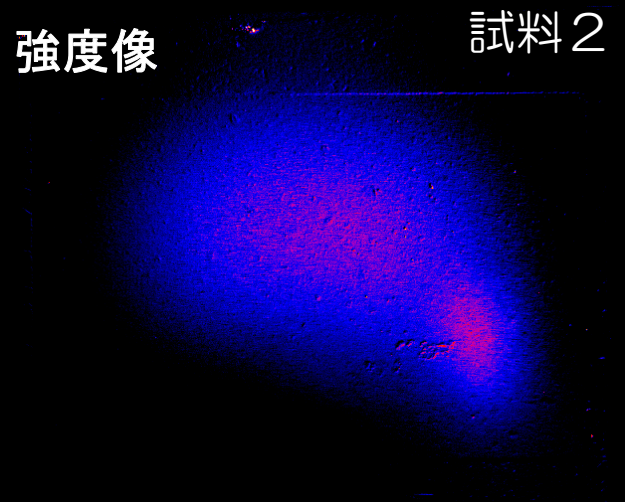
解析システム — 薄膜化事例（パワーMOSFET）（1） —

モールド樹脂を薄くしたり、除去することで、故障よる発熱が検知でき、絞り込める

未加工 (2.6mm)

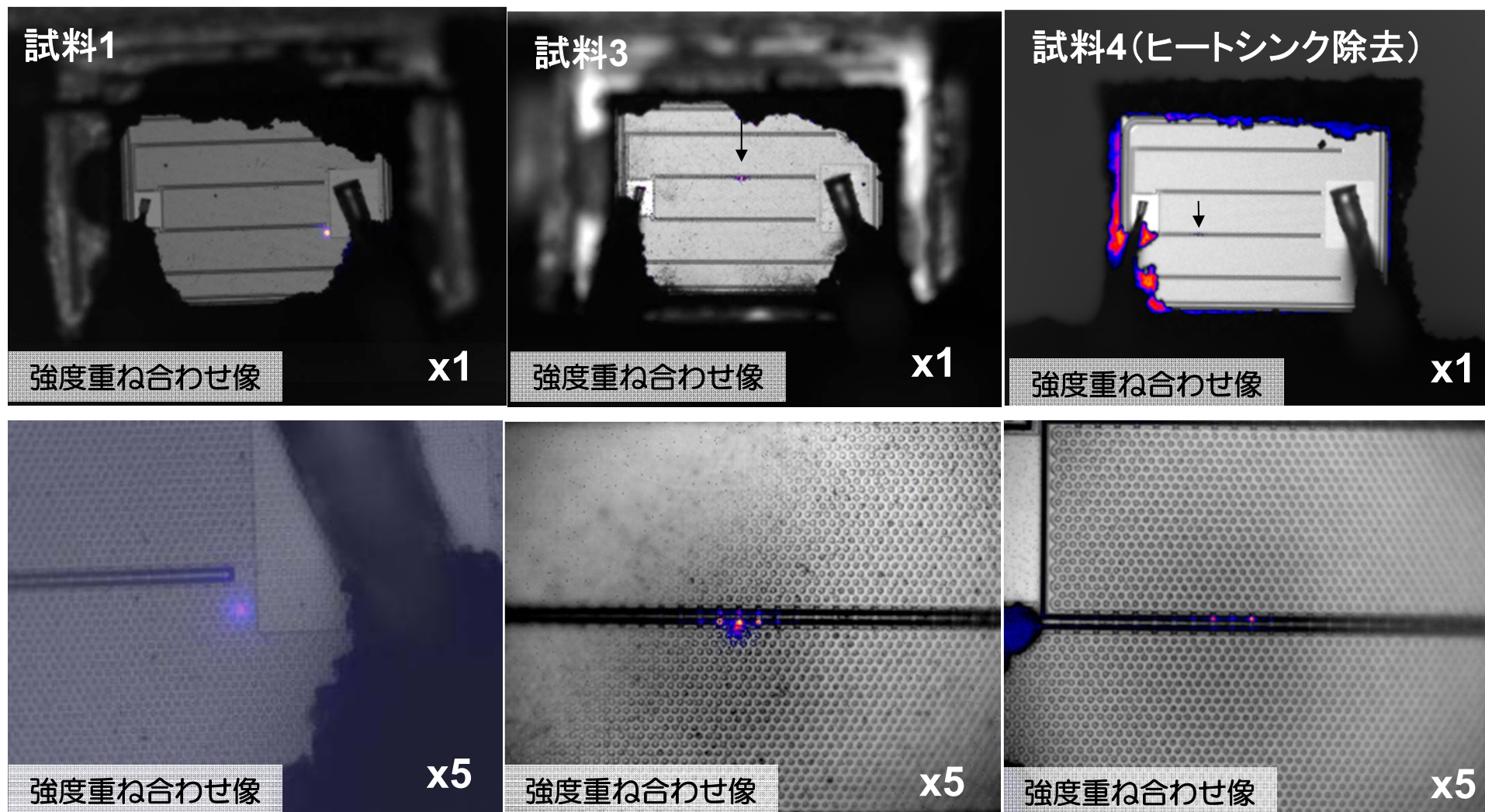
薄膜化 (0.3mm)

開封



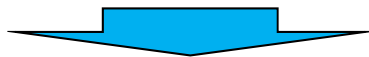
解析システム — 薄膜化事例（パワーMOSFET）（2） —

開封後では数 μm まで絞り込むことができる

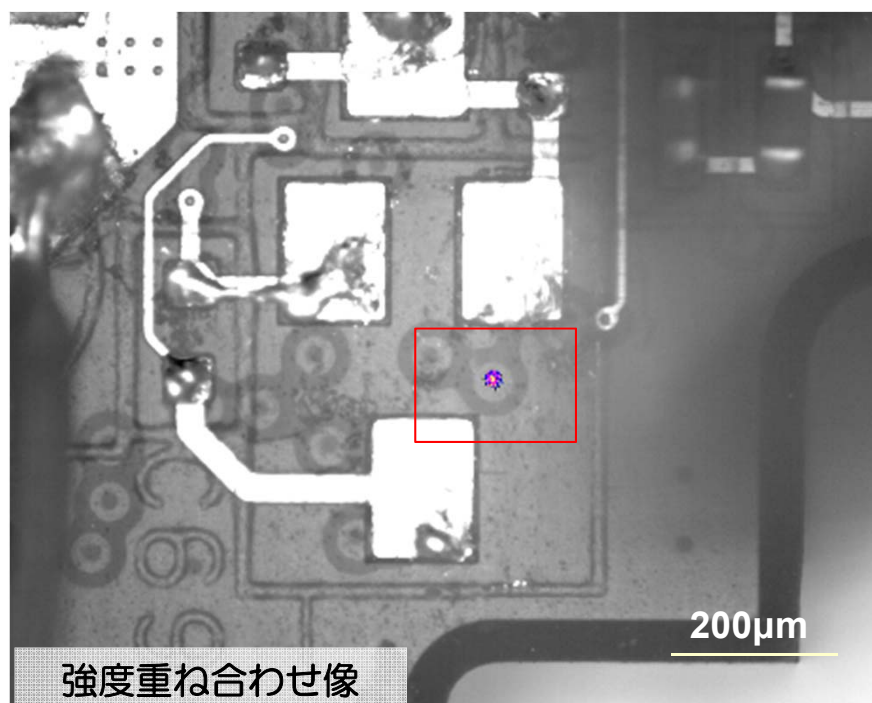


解析システム —透過X線—

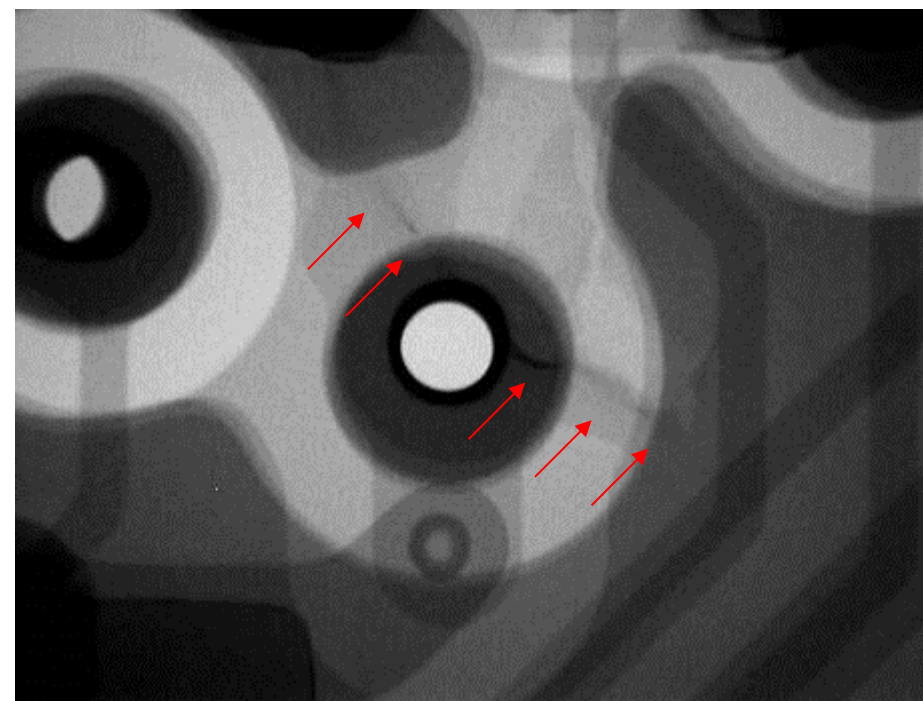
LITで特定したスルーホールを直ちに透過X線で観察
⇒異常なコントラストを観察し、これがショートの原因と推定



LIT解析システムにより短時間（1-2時間）で異常の観察ができた。



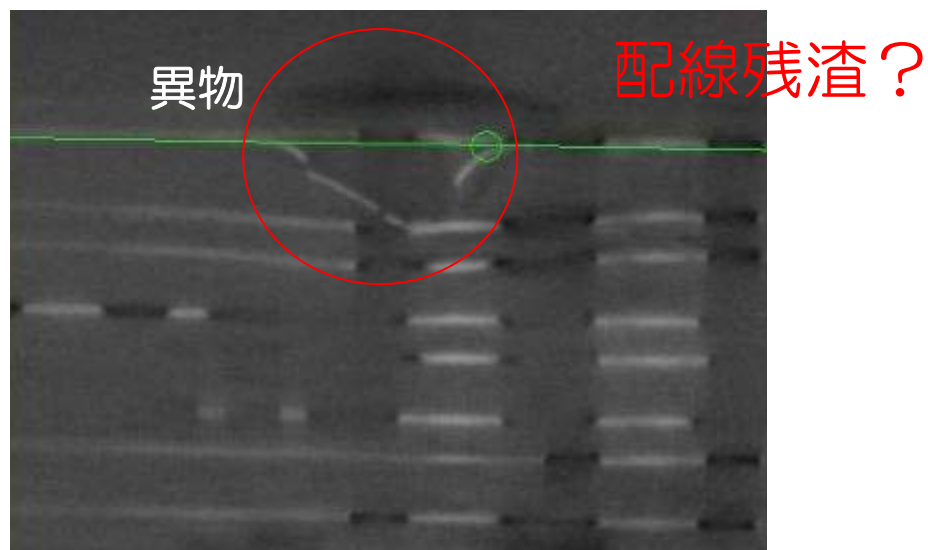
LIT



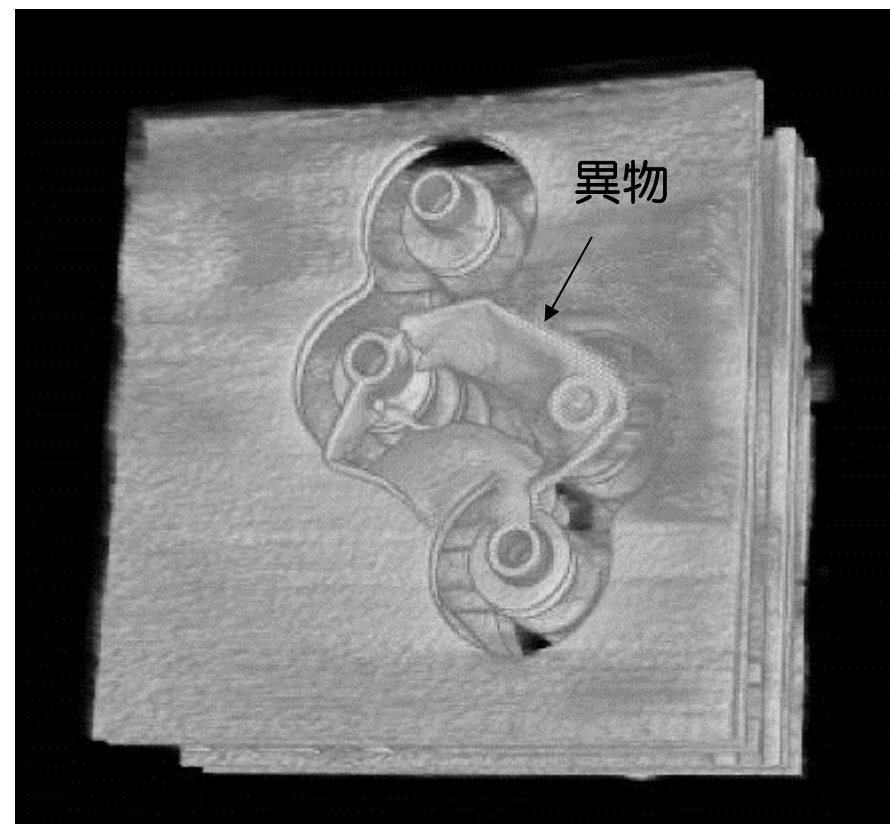
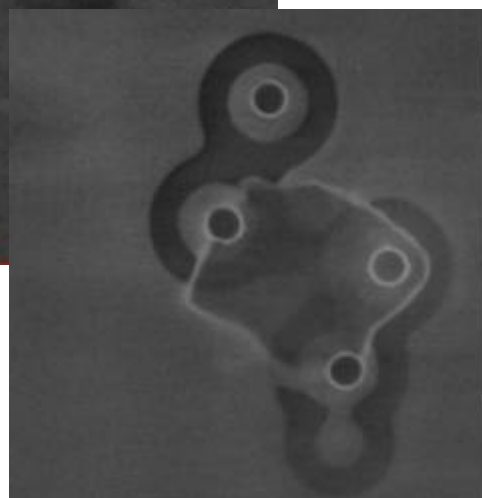
透過X線

物理解析 —異常のX線CT—

透過X線で観察された異常(前述) に対し、X線CTで詳細観察



MPR像

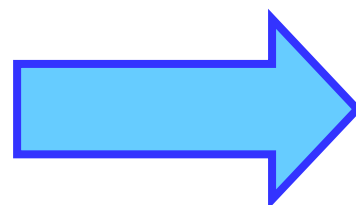
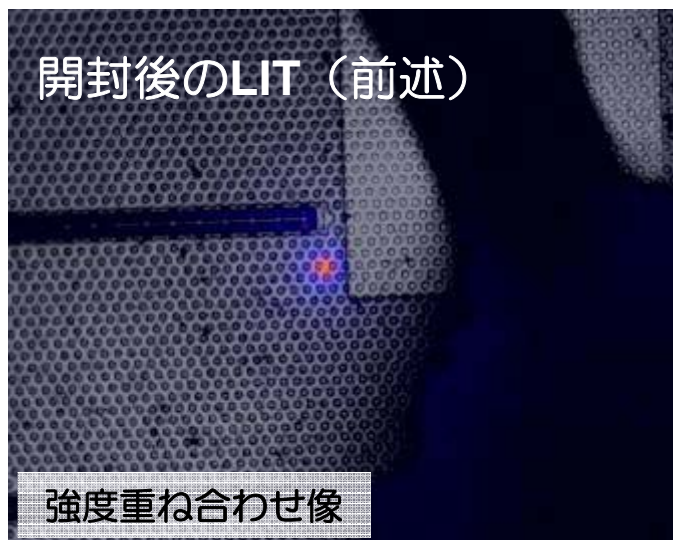


VR像

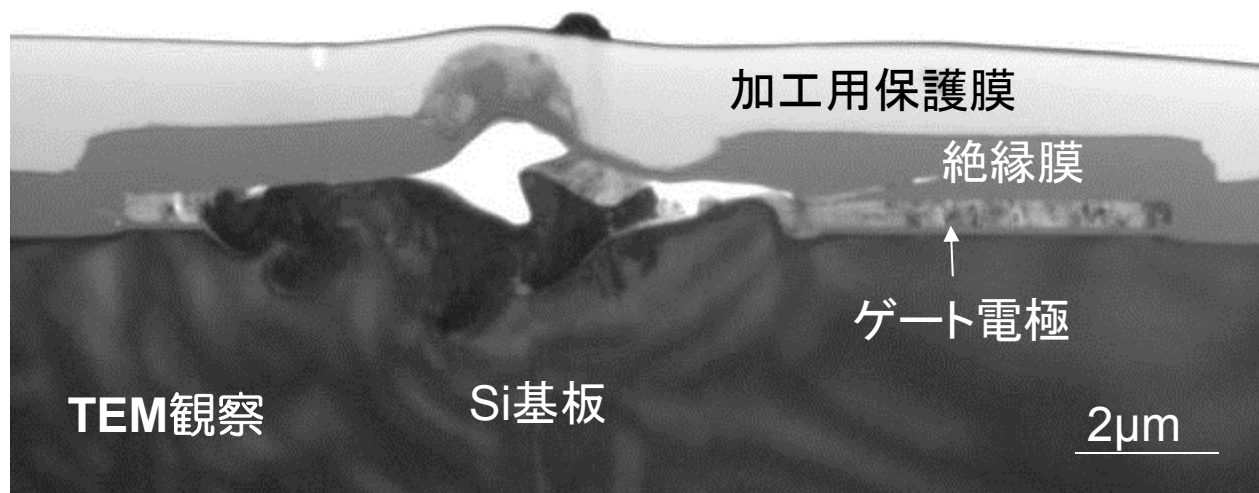
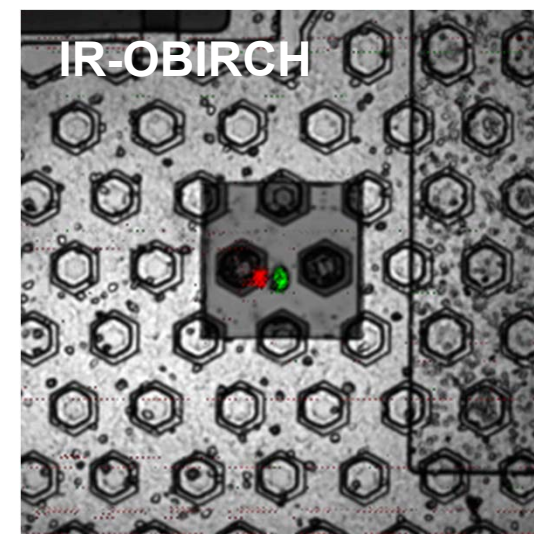
スルーホールを繋ぐように異物が存在している

物理解析 —パワーデバイスの断面観察—

パワーデバイスでは表面が電極で覆われているため、光を用いた箇所特定が困難である。
⇒LITを併用することにより、TEM断面観察も可能に！



LIT特定箇所近傍の電極除去



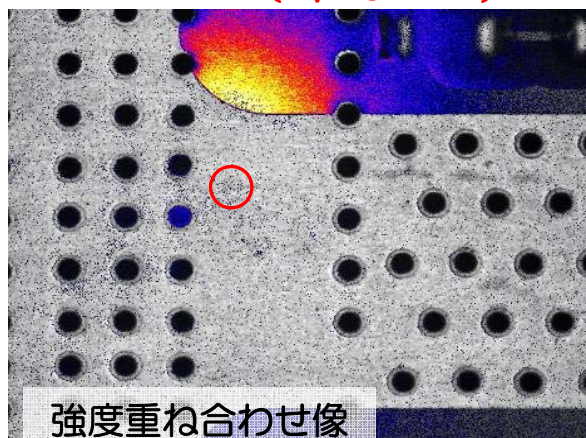
サブμmの箇所特定



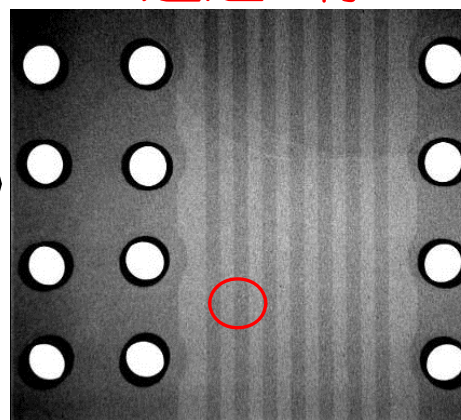
故障箇所のFIB-TEM観察

物理解析 —実装基板：断面観察—

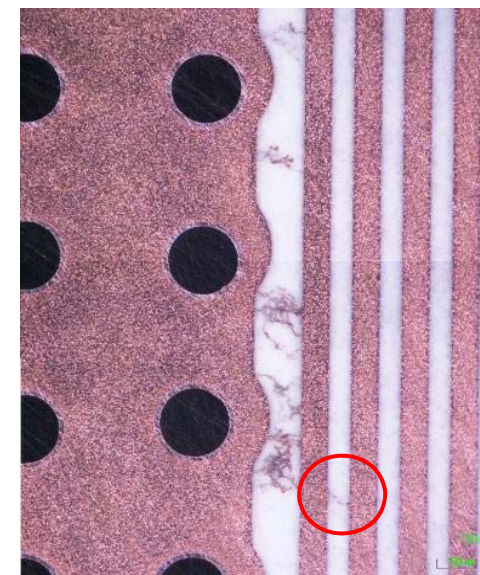
LIT（未加工）



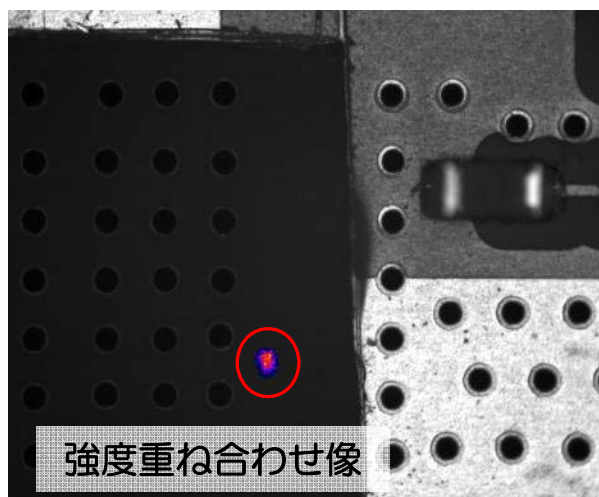
透過X線



平面解析



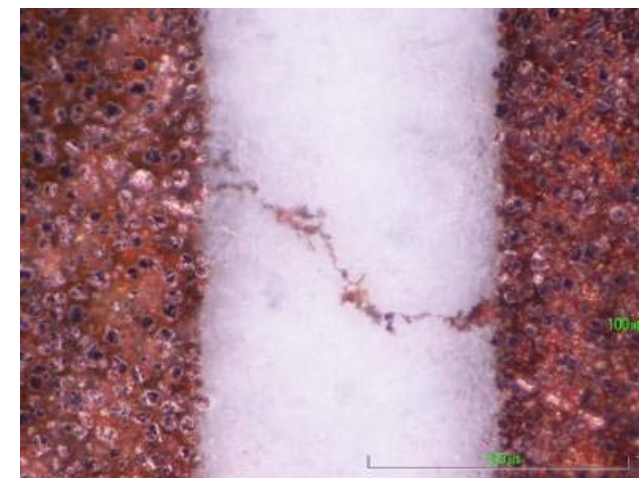
LIT（配線除去）



断面観察



別箇所断面観察
(平面加工のための深さ調査)



プリント基板解析 —薄膜化—

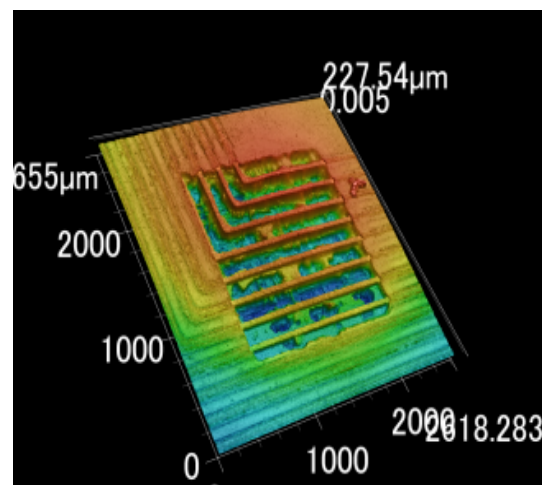
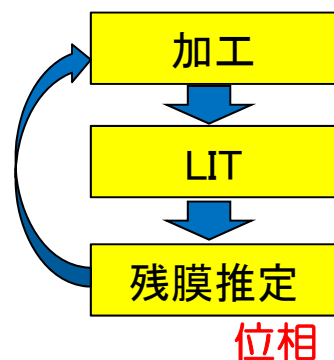
■ プリント基板

- 6層のテスト用のPCB
- 恒温恒湿試験により、CAF (Conductive Anode Filament) 形成

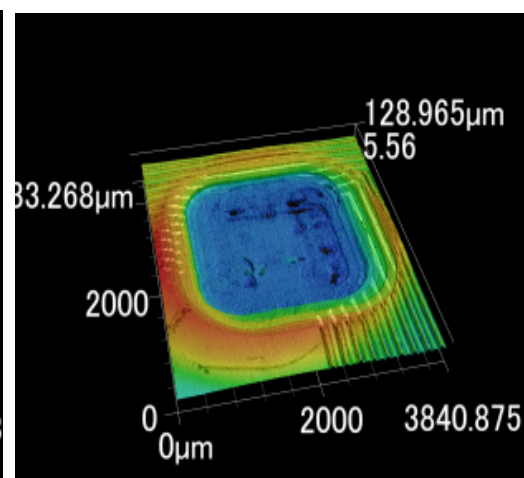
■ 薄膜化

- レーザーによる熱分解
- 部分研磨(精密研磨)*

■ 方法

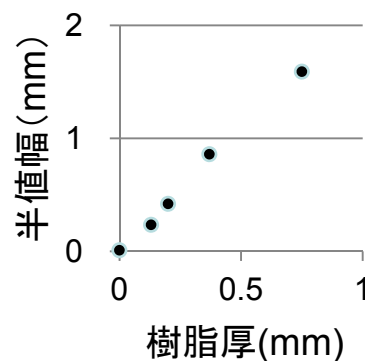


レーザー

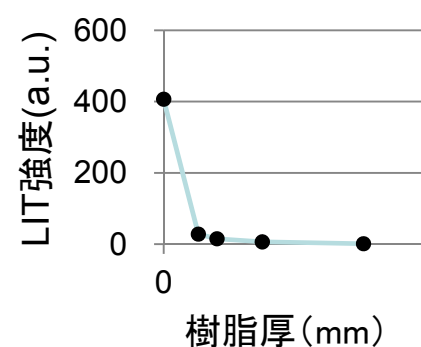


研磨

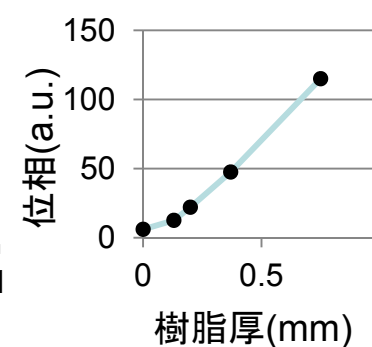
モールド樹脂の薄膜化効果



半値幅



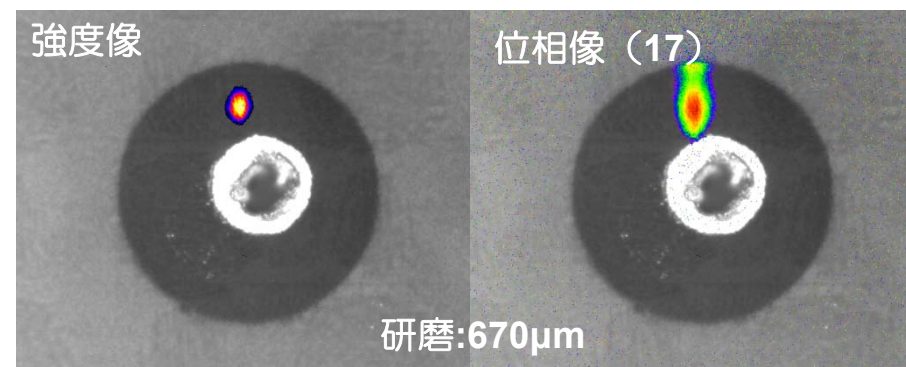
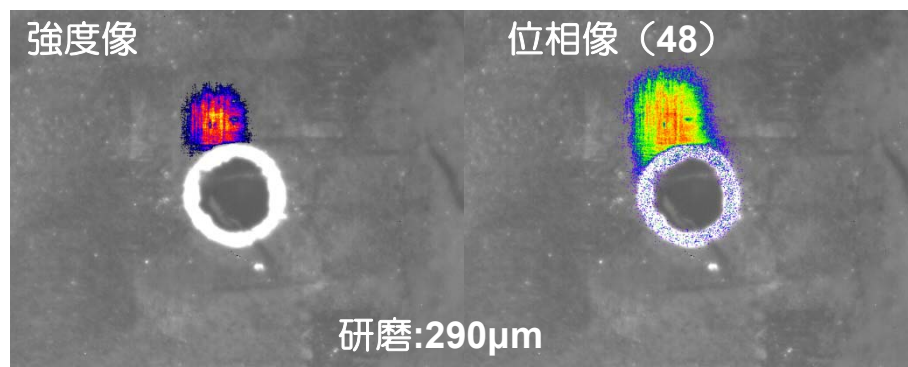
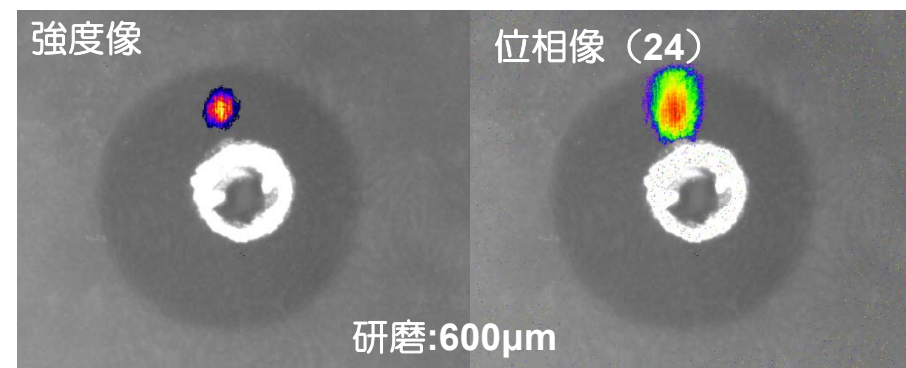
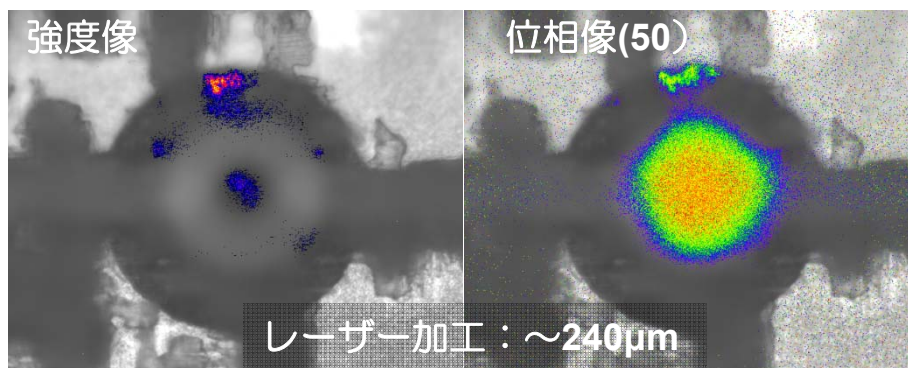
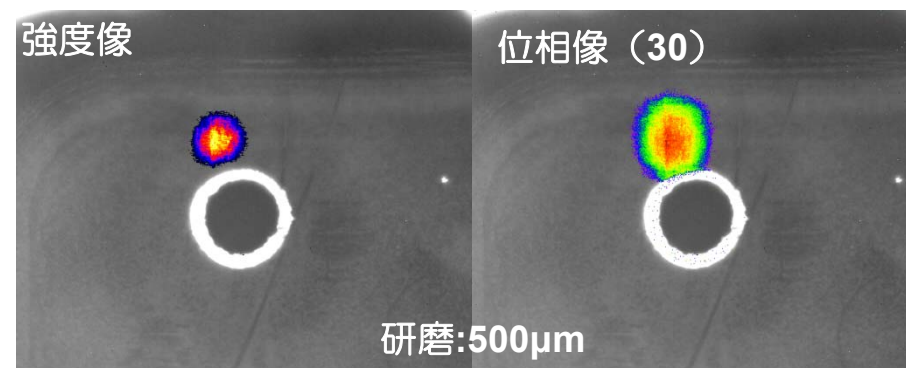
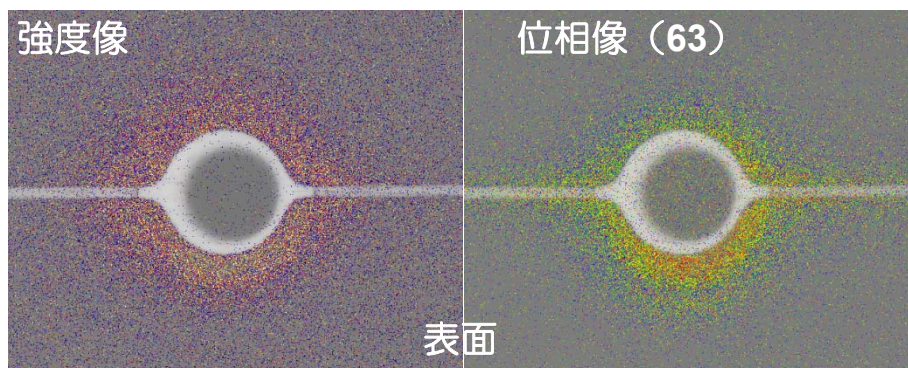
強度



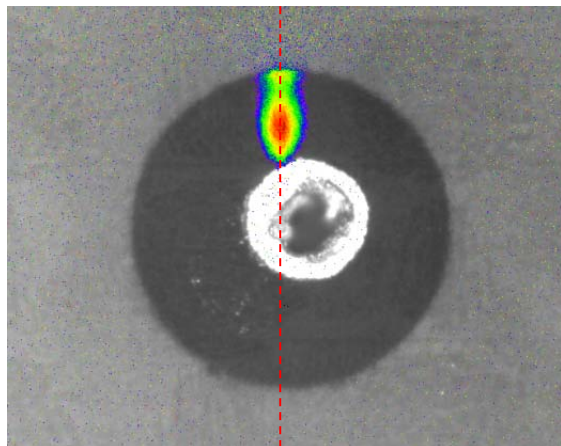
位相

*高機能IC裏面研磨装置
(BA0101: 日本サイエンティフィック製)

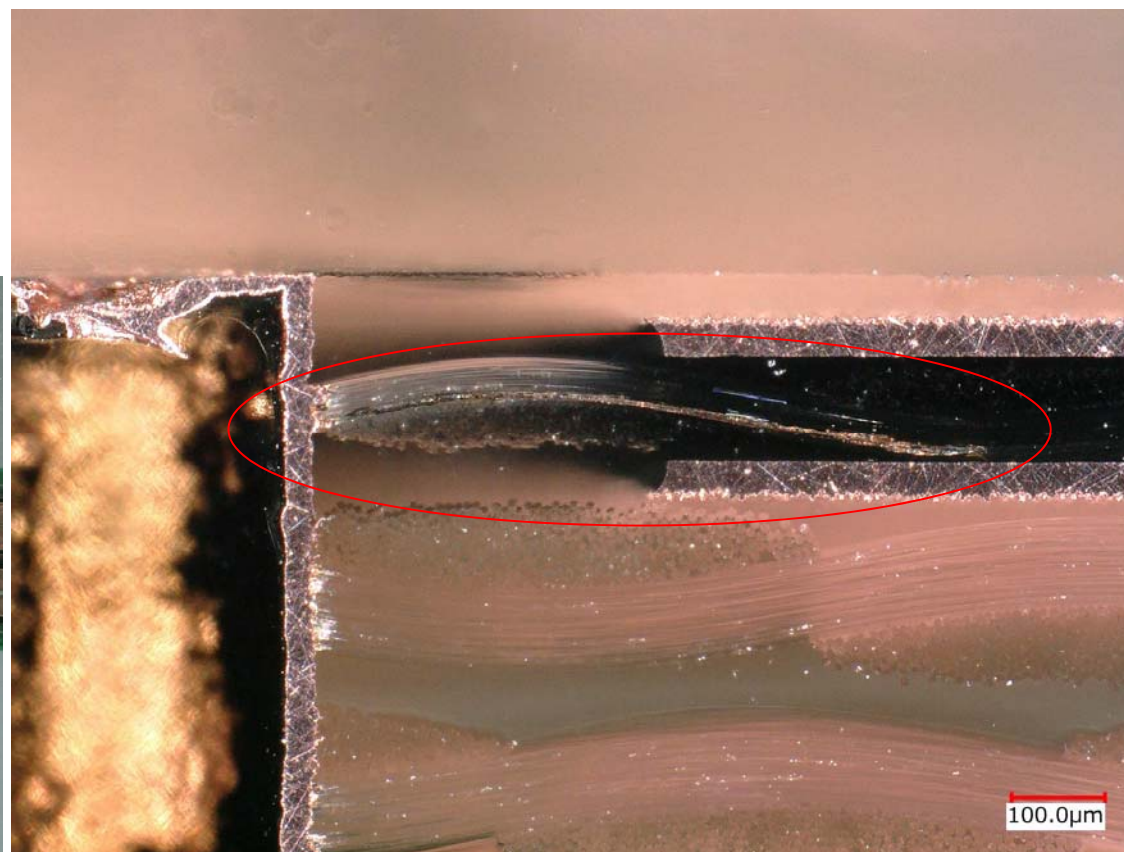
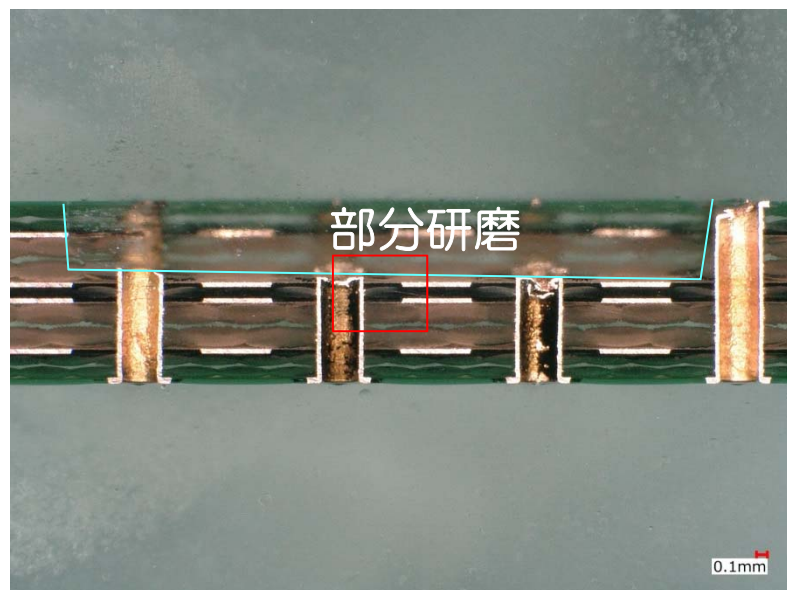
プリント基板解析 -LIT-



プリント基板解析 —物理解析—



位相像で加工方向を決めて断面加工
⇒CAFのほぼ全体を観察

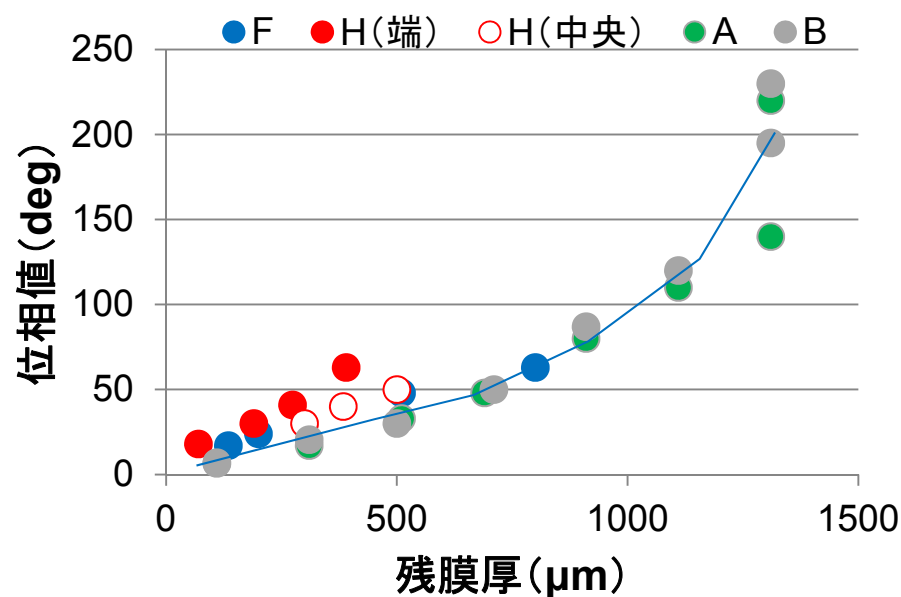
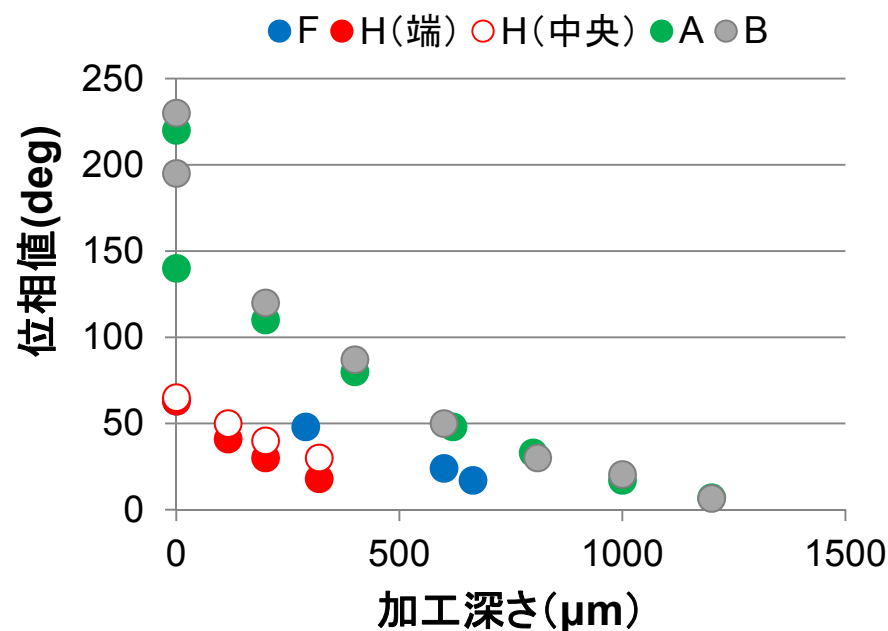


断面解析（光顕）

プリント基板解析 一位相値

いくつかの試料から得た位相値（残膜厚に関連）⇒試料によりやや違った値を示す。

位相は1 Hzにおける発熱箇所の値



位相値は材質が同じであれば、およそ深さに関連する

材質の偏析、ボイドの欠陥、複雑な伝播による大きく異なる可能性あり。

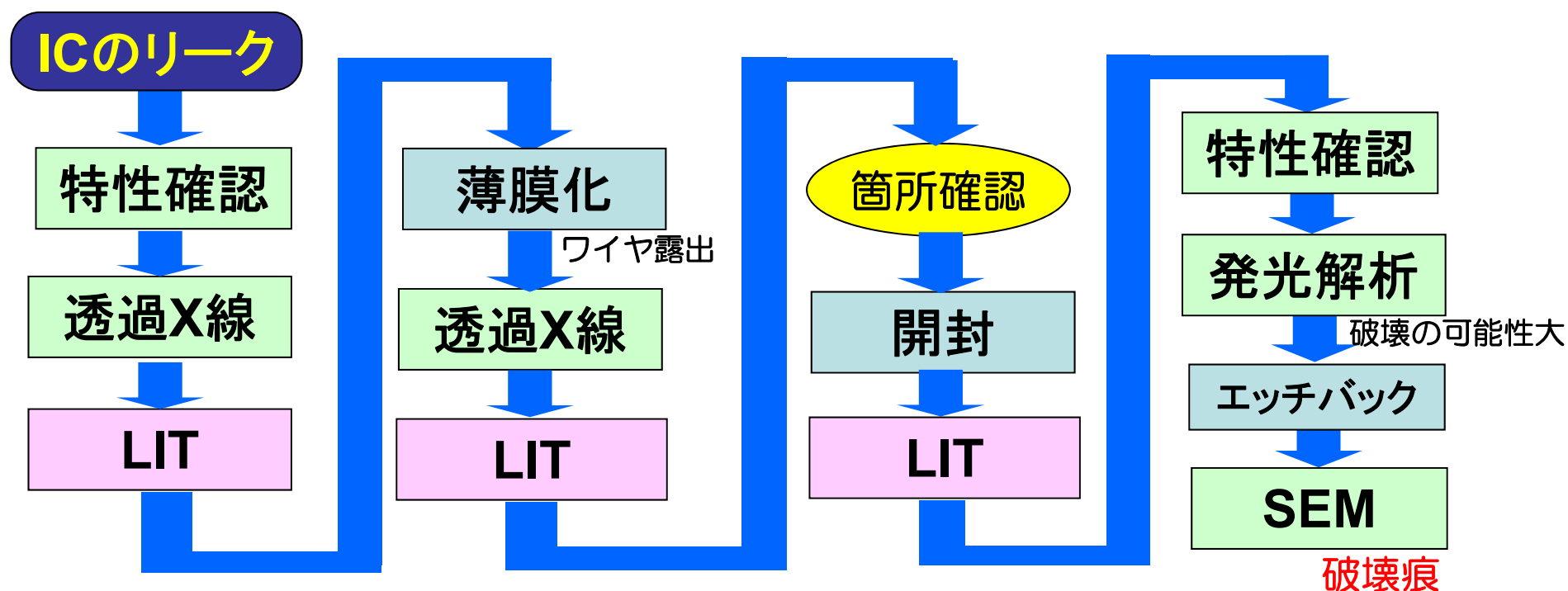
内容

- ロックイン赤外線発熱解析（LIT）
 - LITの重要性
 - LITの原理、性能
- これからの故障解析
- LIT故障解析の技術開発
 - プロービング
 - 発熱画像
 - 解析システム
 - 物理解析
 - プリント基板
- 解析事例
 - 樹脂封止された部品（IC）
 - BGA（Ball Grid Array）
 - 実装基板

樹脂封止された部品（IC）

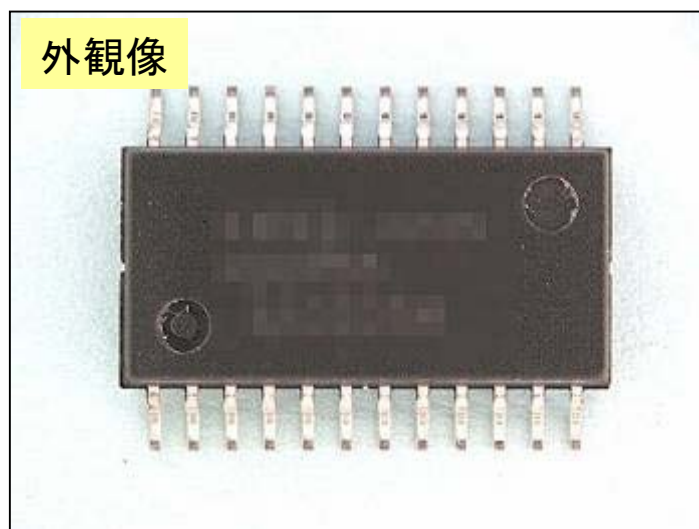
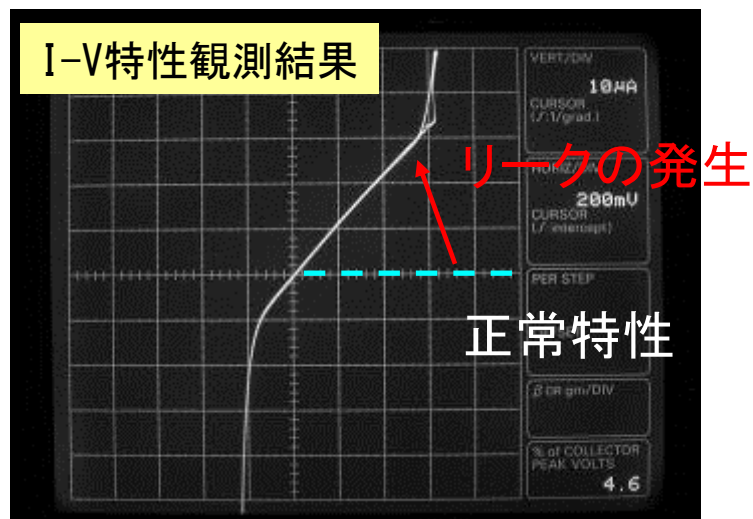
故障を維持しながら、解析を進める

- ①LIT: 未加工、樹脂薄膜化後、開封後にそれぞれ実施
- ②評価: 電気特性、透過X線で加工範囲や故障維持の確認
- ③物理解析: エッチバック

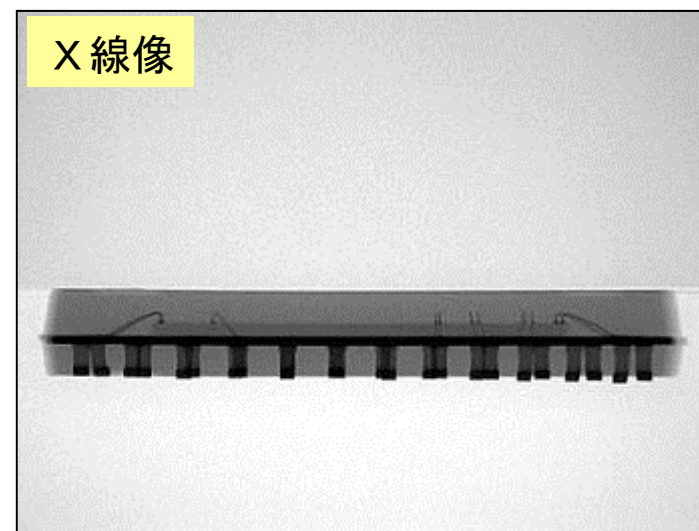
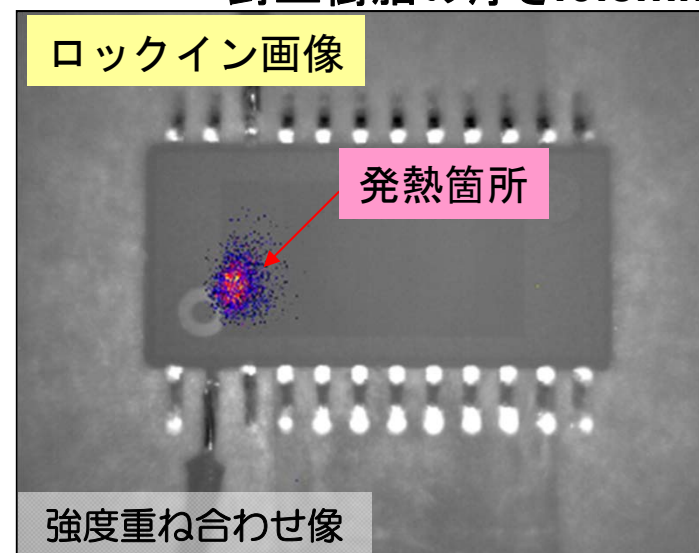


樹脂封止された部品（IC）－1st-Step：未加工－

故障モード：リーク特性不良



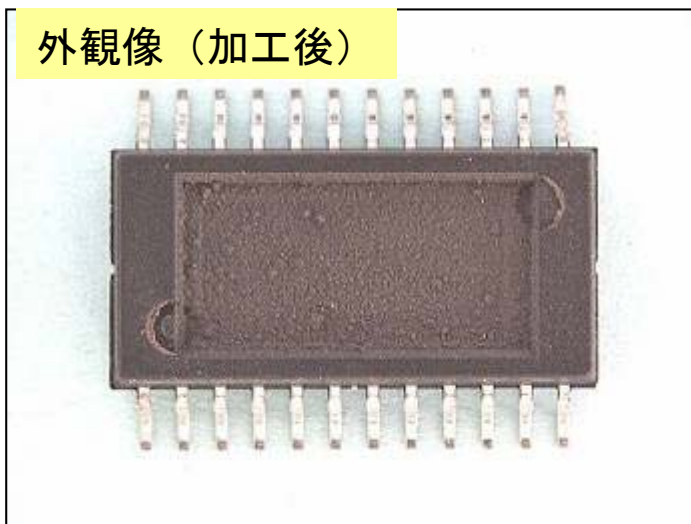
封止樹脂の厚さ:0.8mm



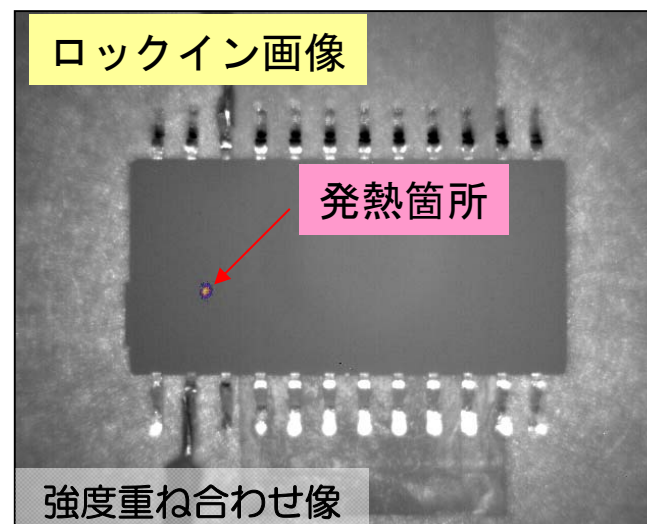
樹脂封止された部品（IC） —2nd-Step：薄膜化—

※レーザー開封機でモールド樹脂厚を薄くする 残封止樹脂の厚さ:0.2mm

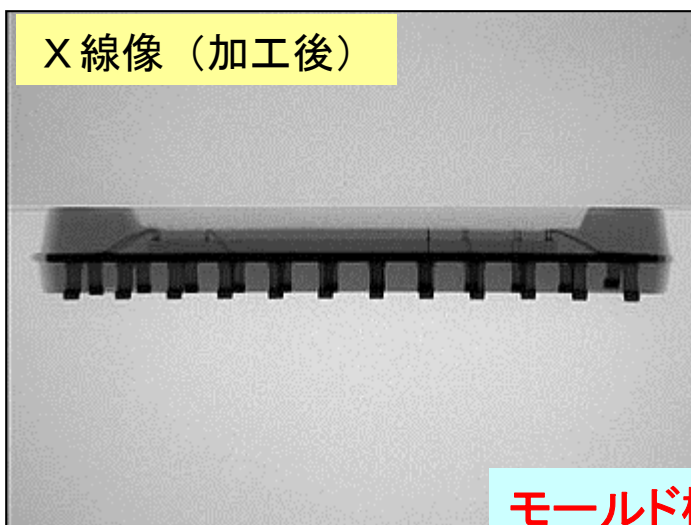
外観像（加工後）



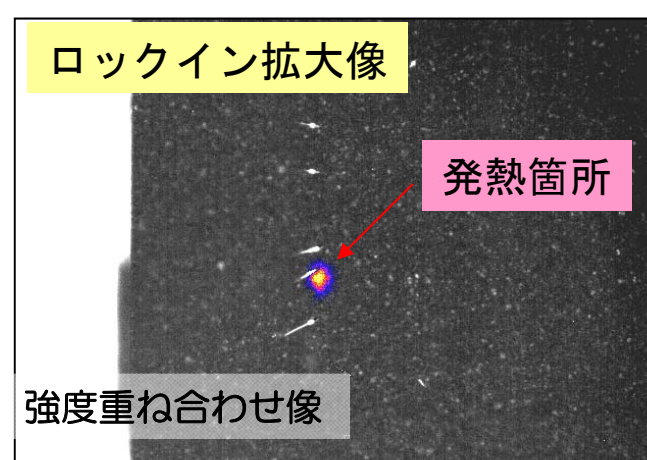
ロックイン画像



X線像（加工後）



ロックイン拡大像

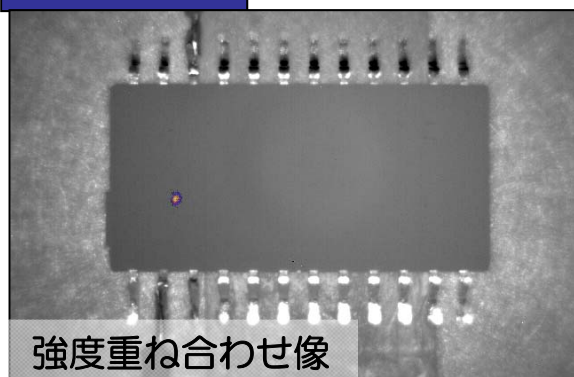


モールド樹脂厚を薄くすることにより発熱箇所が絞り込める

樹脂封止された部品（IC） —発熱箇所とX線の重ね合せ—

LITの結果とX線を重ね合せて、位置確認 ⇒ 次の加工の判断

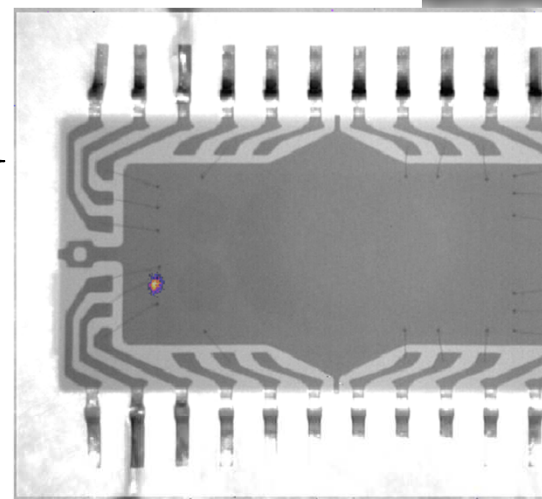
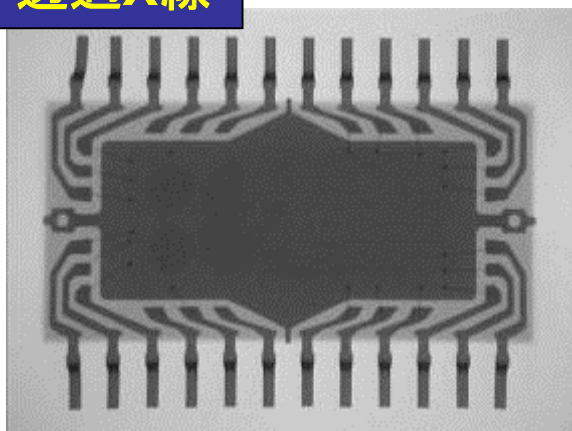
LIT



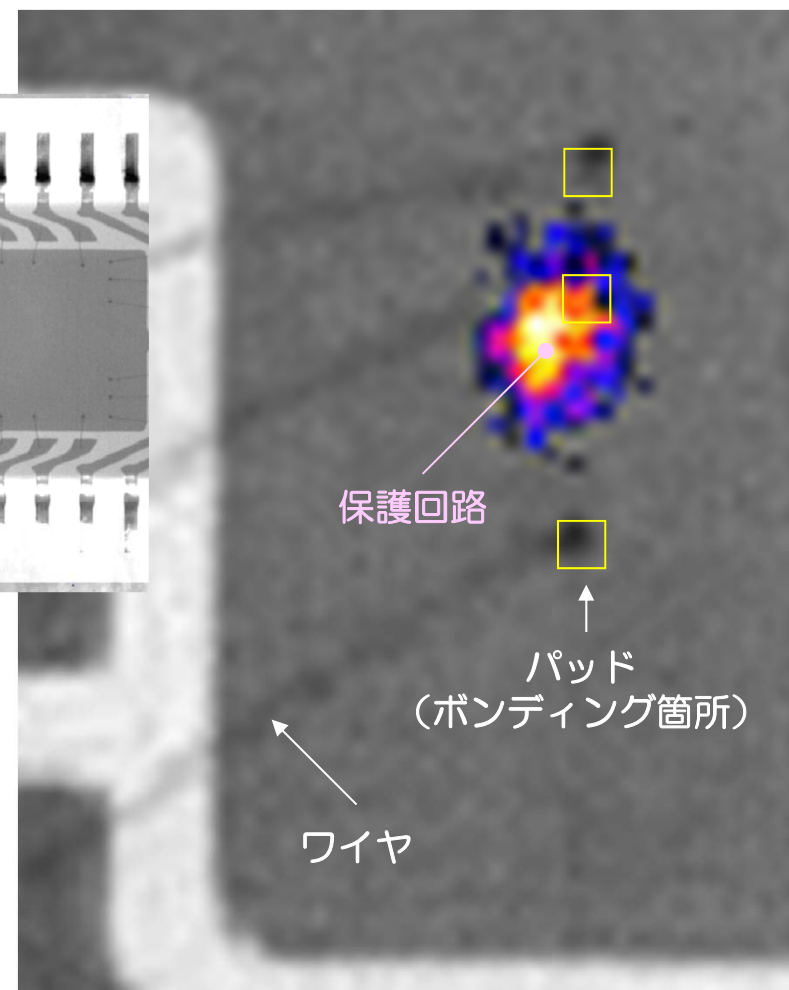
強度重ね合わせ像

+

透過X線



重ね合せ：
「Image-Navi」

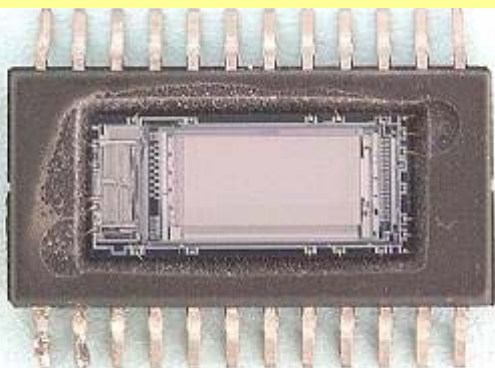


故障は保護回路の可能性が高く、開封を判断

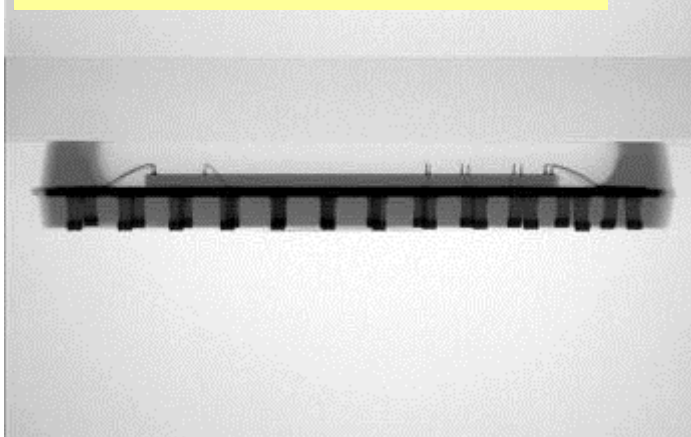
樹脂封止された部品（IC）－3rd-Step：開封後－

※チップ表面露出

外観像（チップ表面露出後）



X線像（チップ表面露出後）

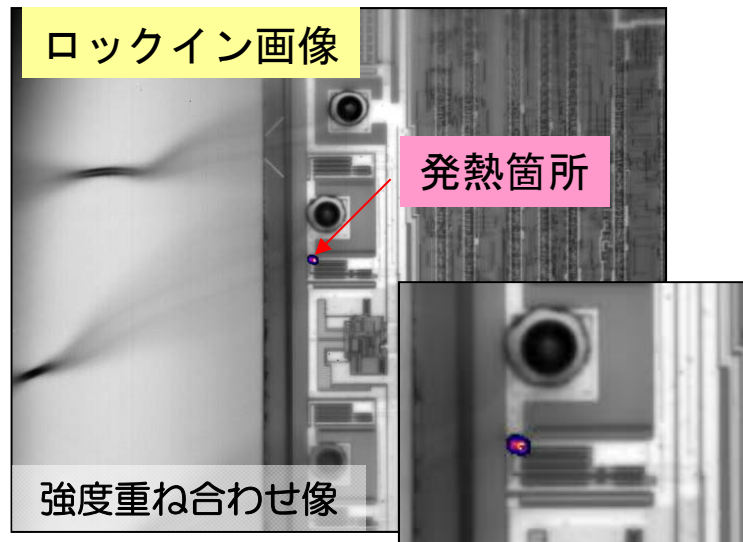


ロックイン画像

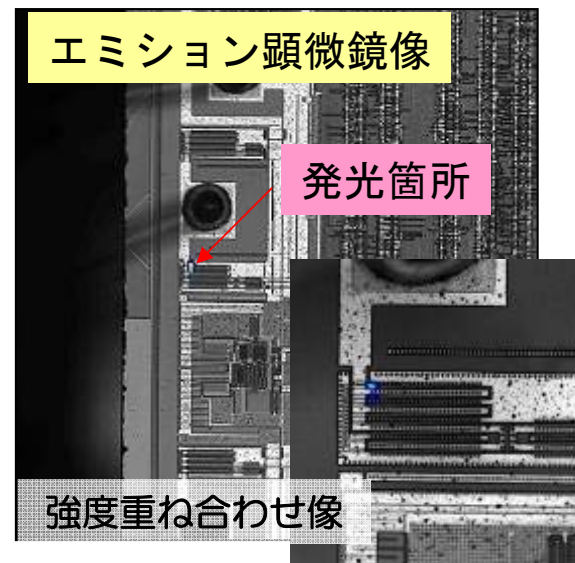


樹脂封止された部品（IC）－その後の解析－

ロックイン画像



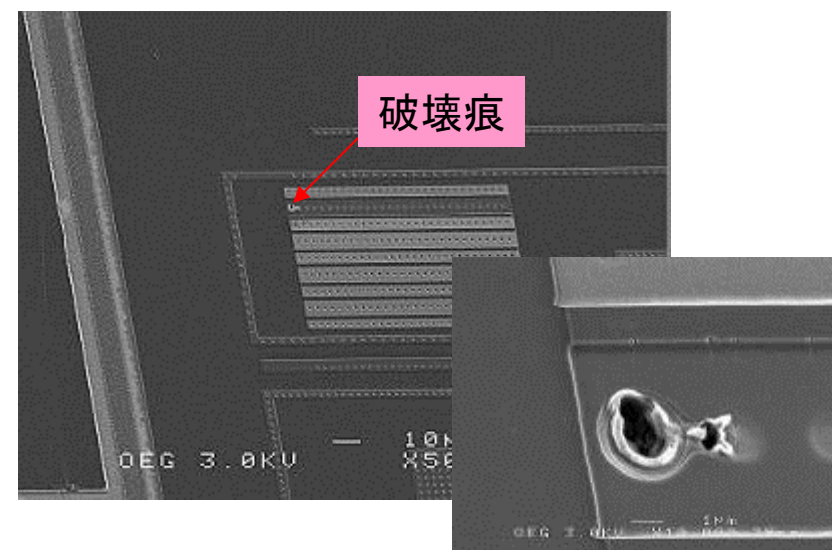
エミッション顕微鏡像



発熱解析画像（液晶塗布法）



破壊痕



樹脂封止された部品（IC） —まとめ—

■故障モード

端子間のショート

■故障要素

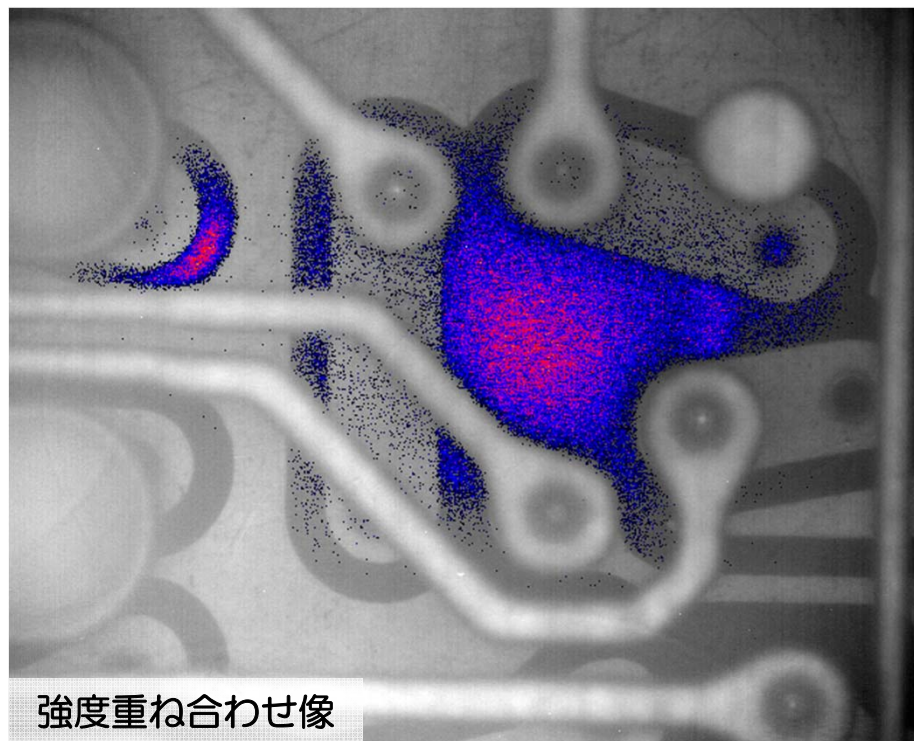
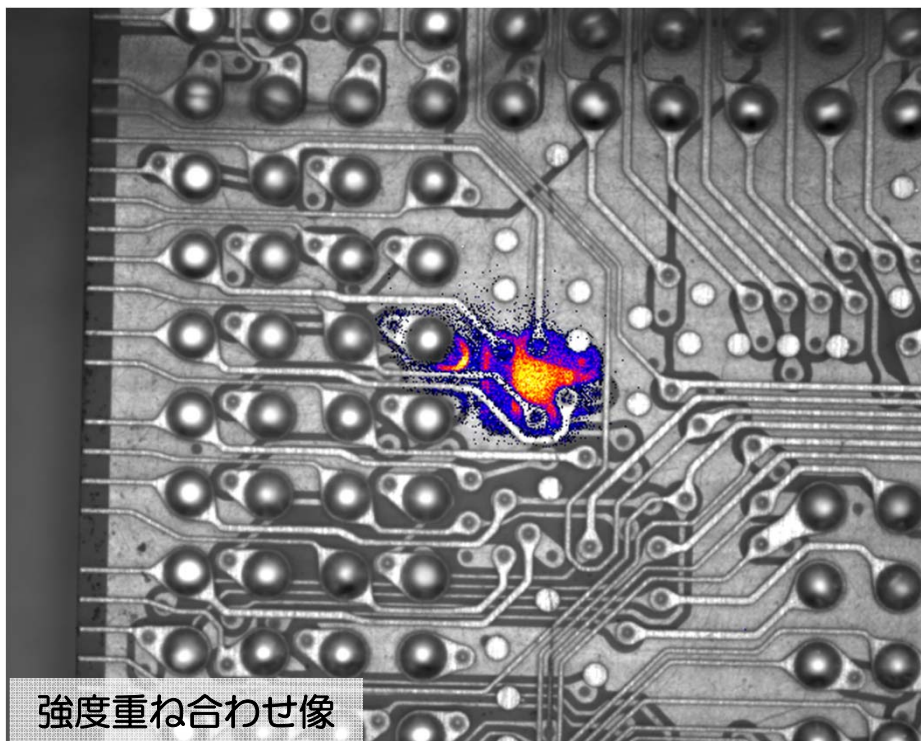
ダイオードのゲート酸化膜破壊

■故障メカニズム

静電気破壊（ESD等の過電圧）印加による不良

BGA (Ball Grid Array) —LIT—

LITによりBGA内部で発熱していた。



BGA (Ball Grid Array) —X線CT—

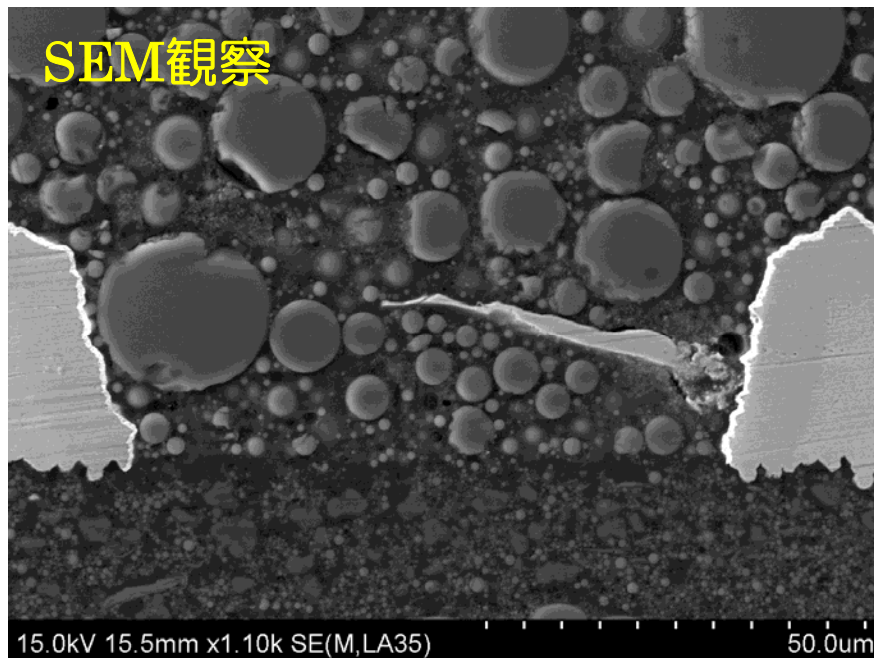
- 透過X線で観察したが、配線が入れ込んでいるため、異常の検出ができなかった。
- X線CTで配線間のショートが観察された。
- レイアウト図と対比し、故障箇所が特定された。

X線CT



BGA (Ball Grid Array) —断面解析—

SEM観察



断面加工



SEM観察

異物



EDX分析

SUS系

EDX分析

Fe K α

Co K α

Ni K α

BGA (Ball Grid Array) —まとめ—

■故障モード

BGAのショート

■故障要素

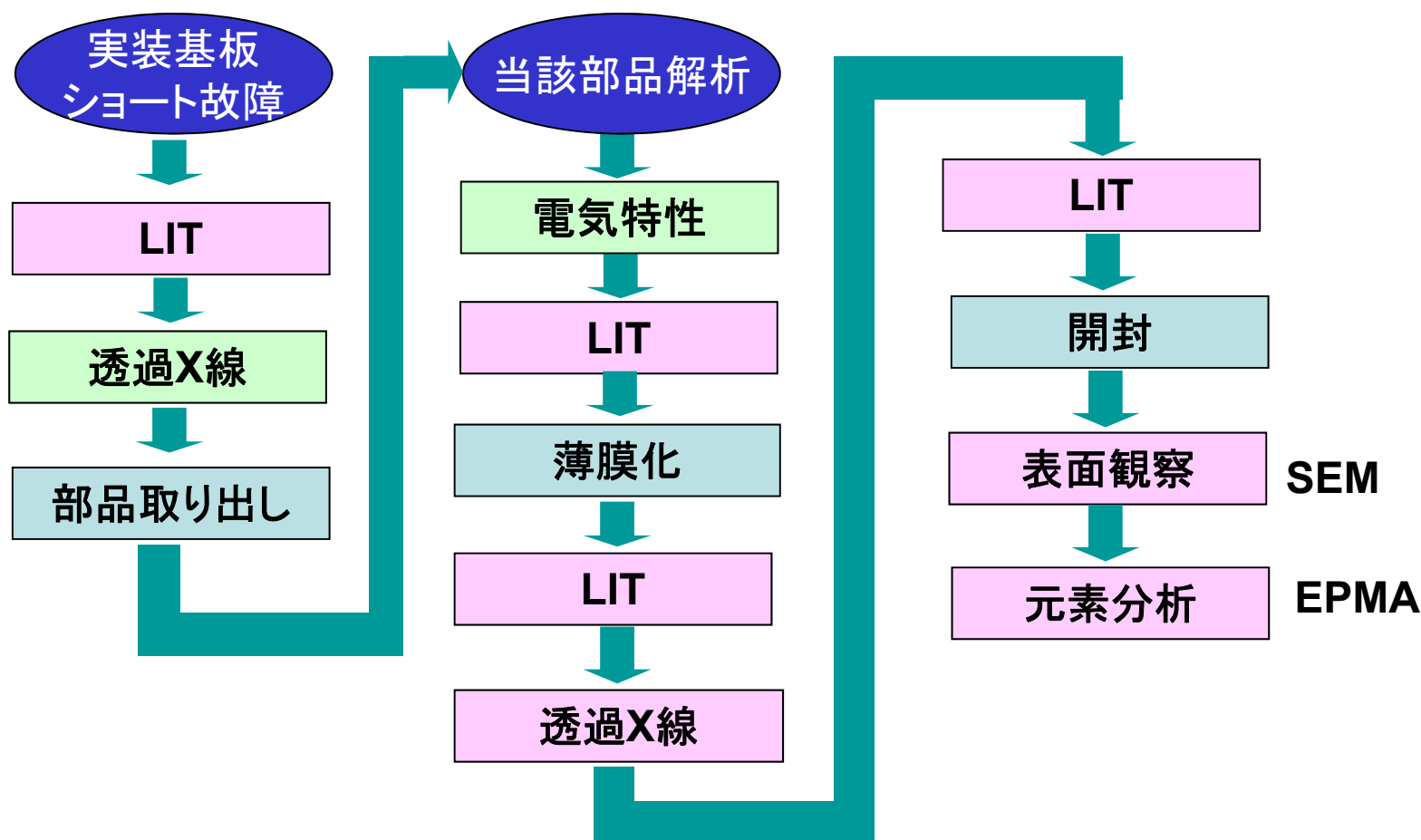
SUS系異物

■故障メカニズム

BGAの基板製造工程で混入

実装基板

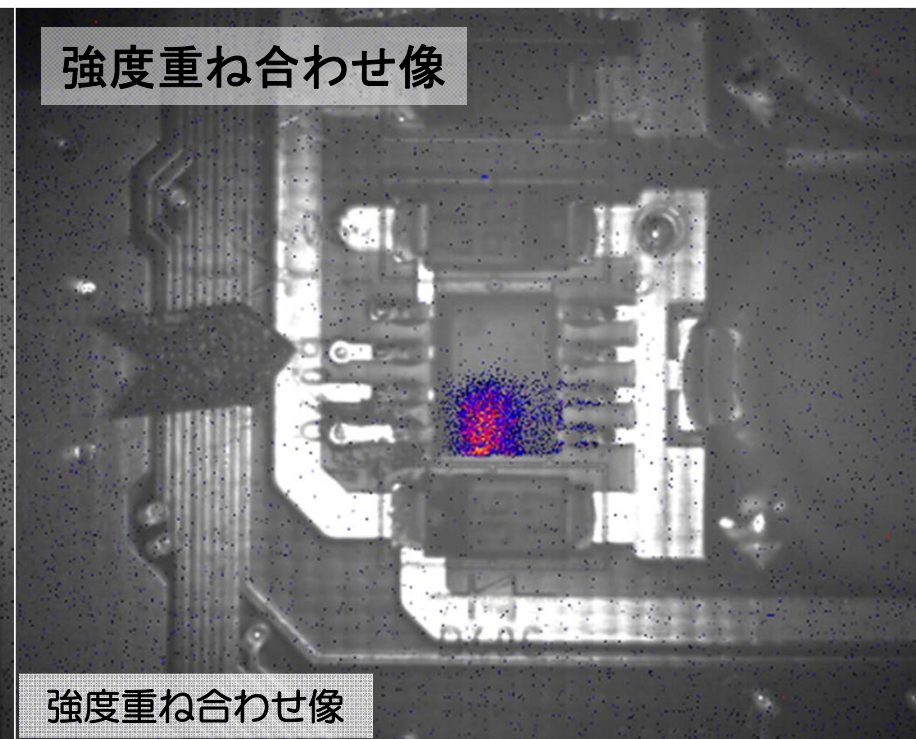
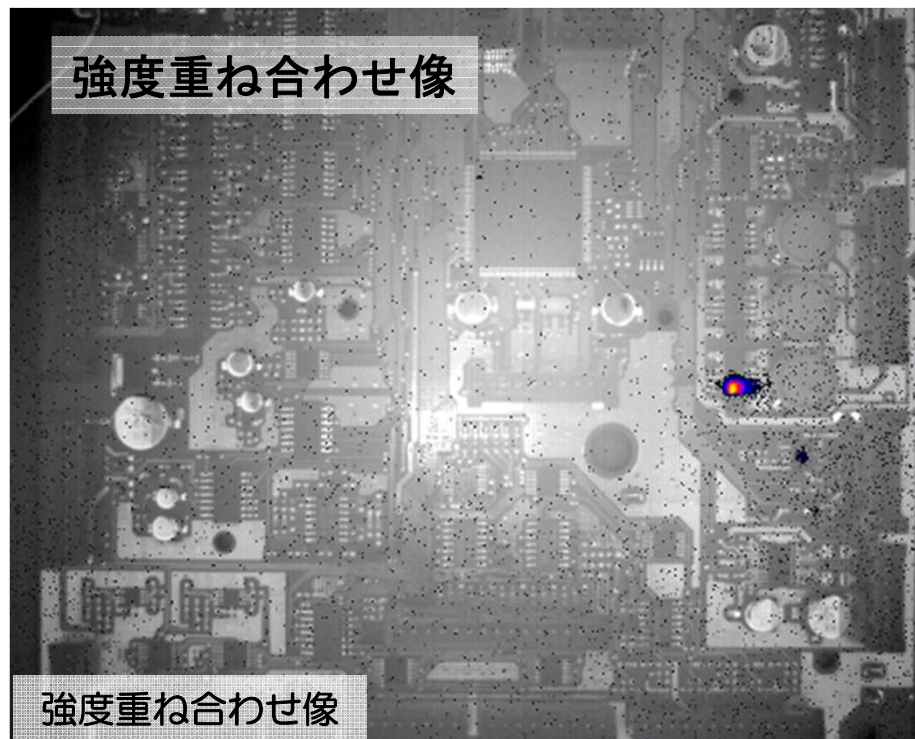
実装基板ショート不良に対し、部品を特定し、当該部品を解析し、原因を特定した事例



実装基板

—LIT—

実装基板のショート不良

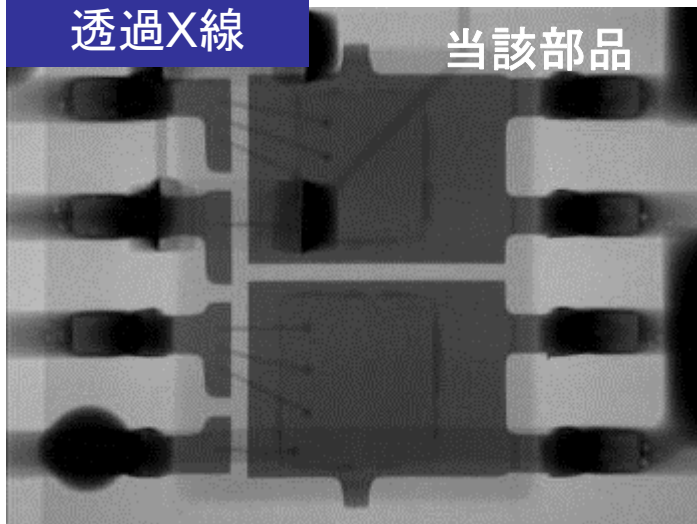


発熱している部品を特定
発熱が部品内であることから、部品自体の不良と判断

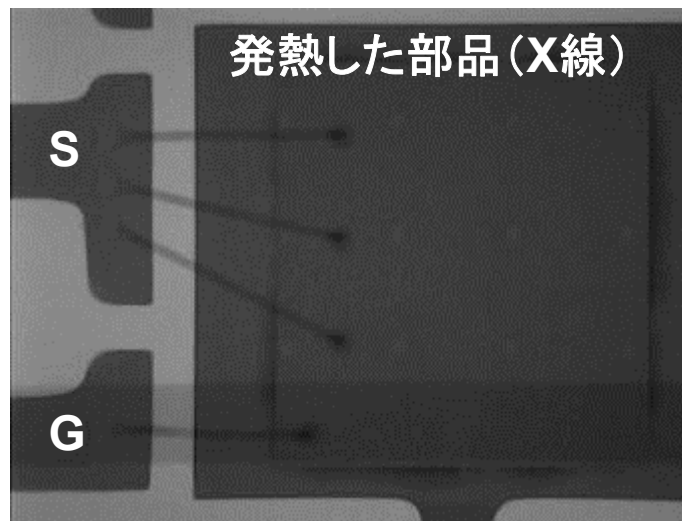
実装基板 —特定した部品の電気特性—

透過X線

当該部品

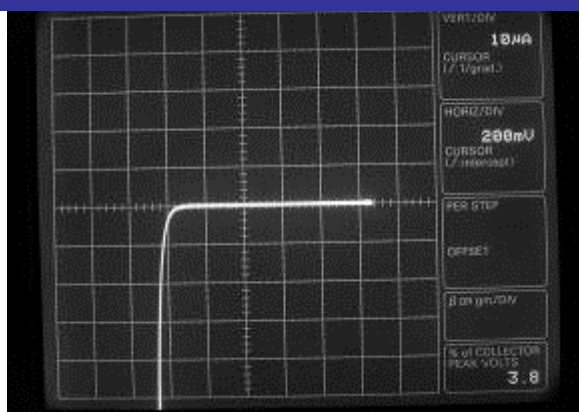


発熱した部品(X線)

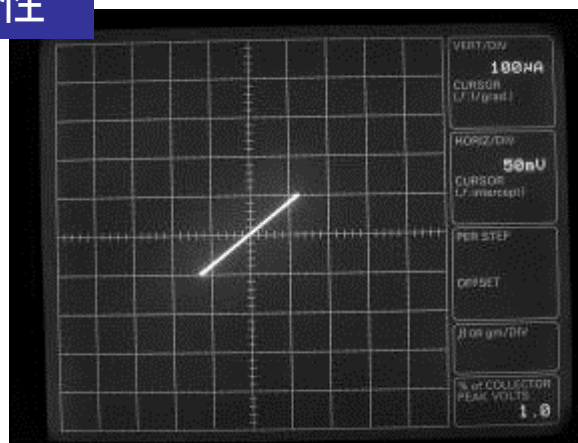


発熱はMOSFET

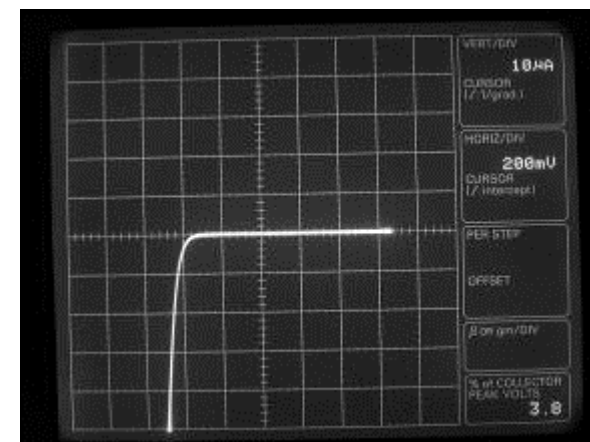
発熱したMOSFETのI-V特性



ソース-ドレイン間(異常)



ソース-ゲート間(異常)

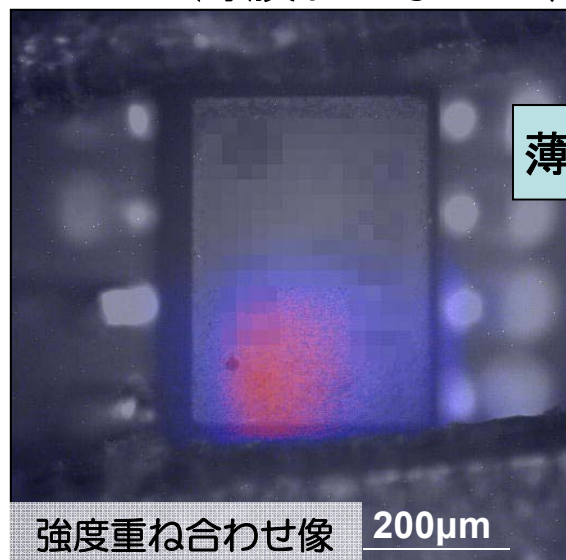


ゲート-ドレイン間

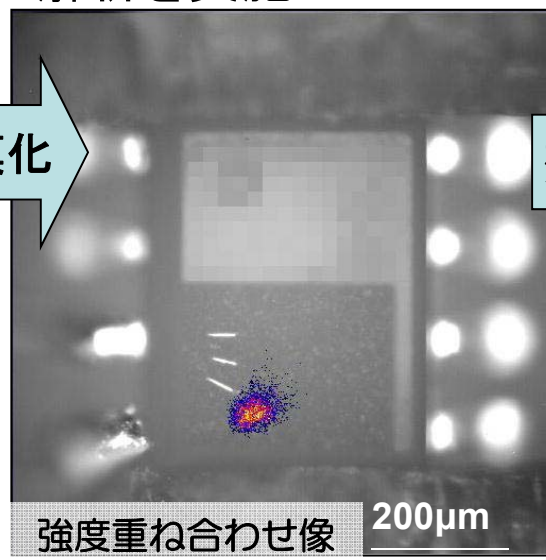
ソース-ゲート間のショート

実装基板 —特定した部品のLIT解析—

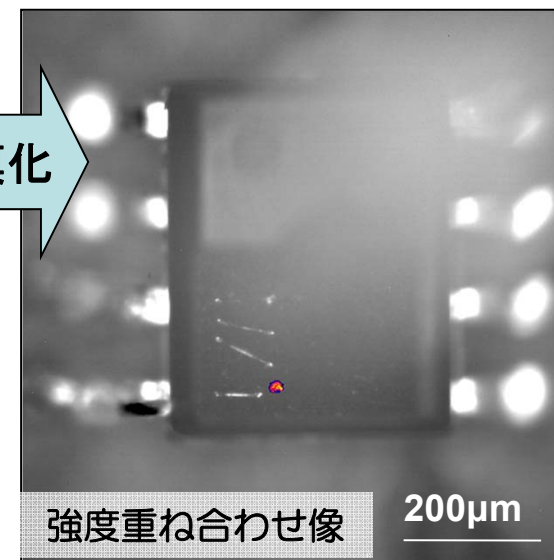
薄膜化しながら、LIT解析を実施



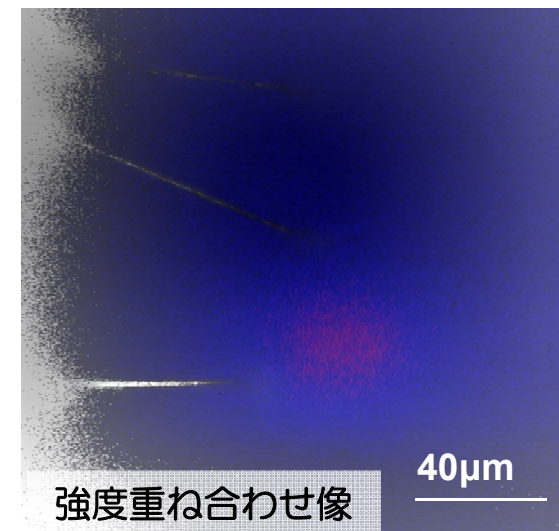
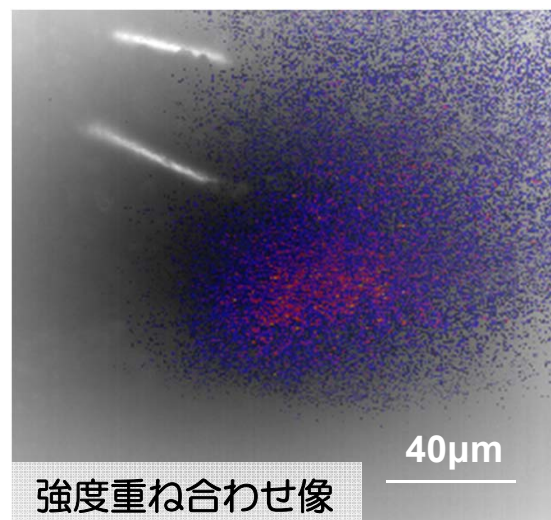
薄膜化



薄膜化

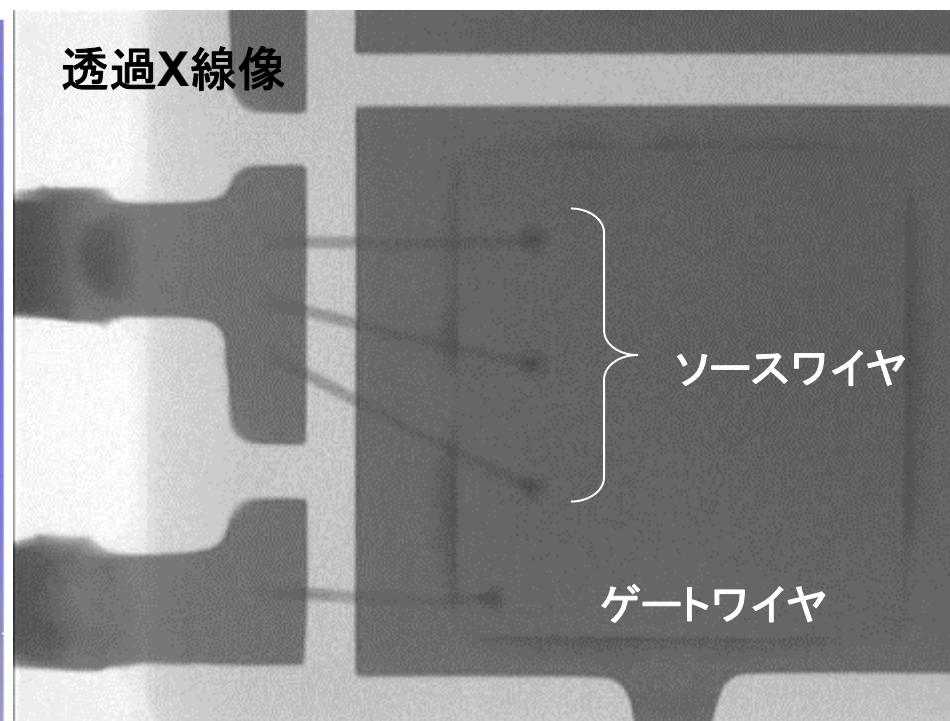
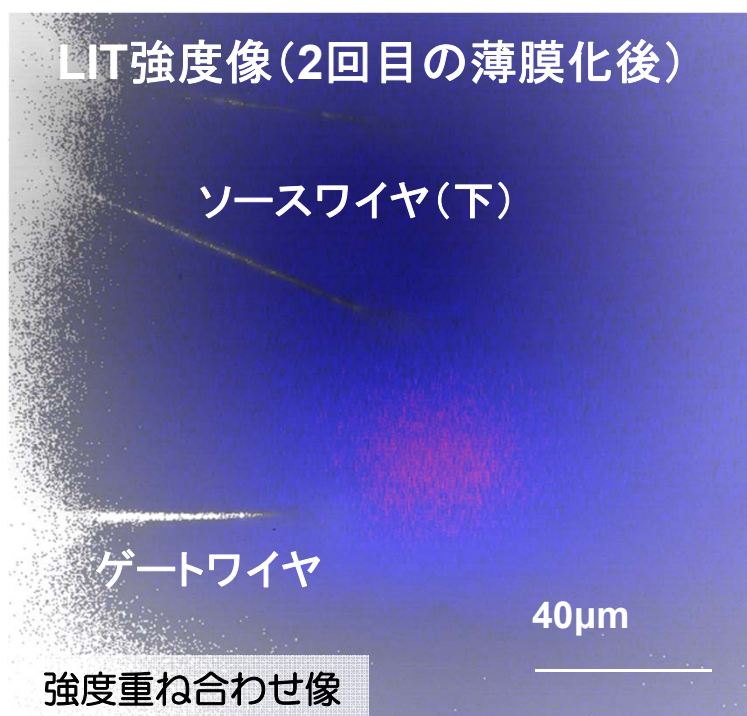


薄膜化により、発熱スポット
が絞れる。
通常よりも絞りきれない(?)



実装基板 —透過X線とLITの対比—

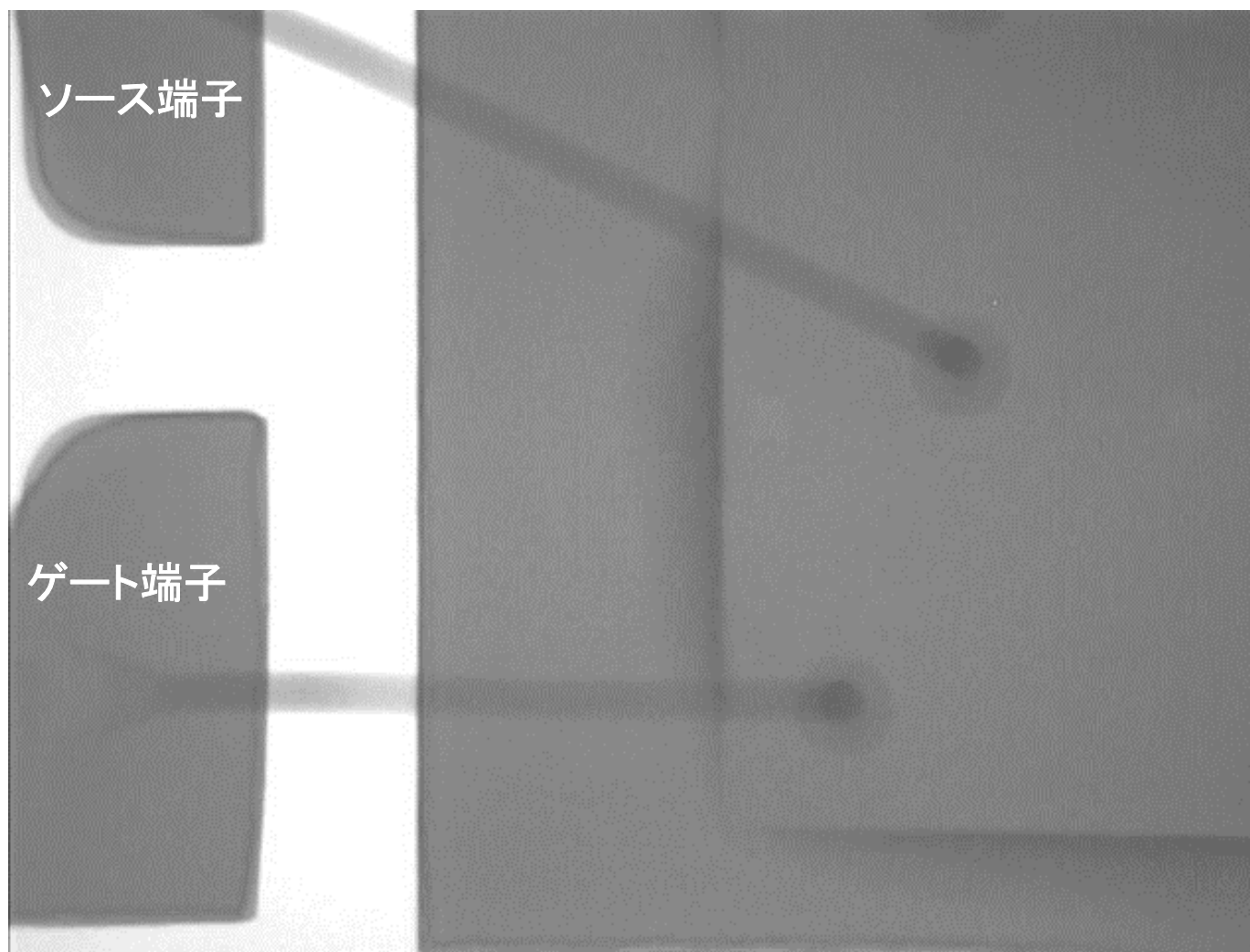
薄膜化後のLITと透過X線解析の対比(チップ内部 or G-Sパッド間)



ゲート電極とソース電極の間付近で発熱: G-Sパッド間でのショートの可能性あり

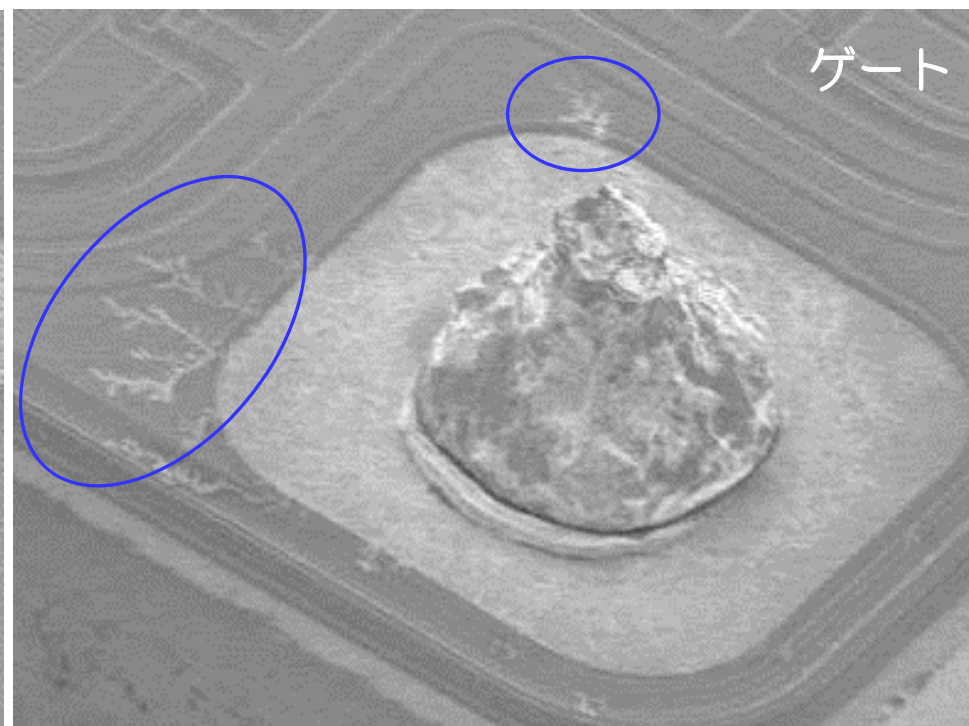
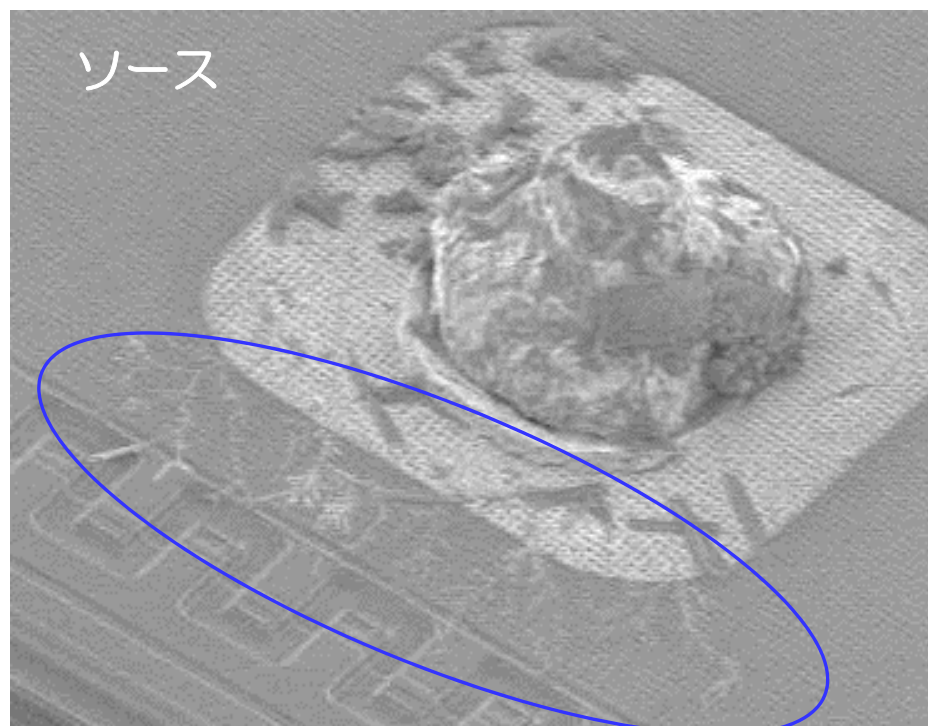
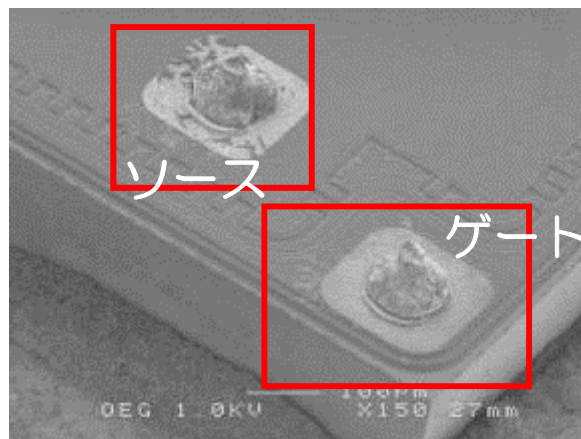
実装基板 —ゲート—ソース間の透過X線—

パッド間の異物によるショートの確認

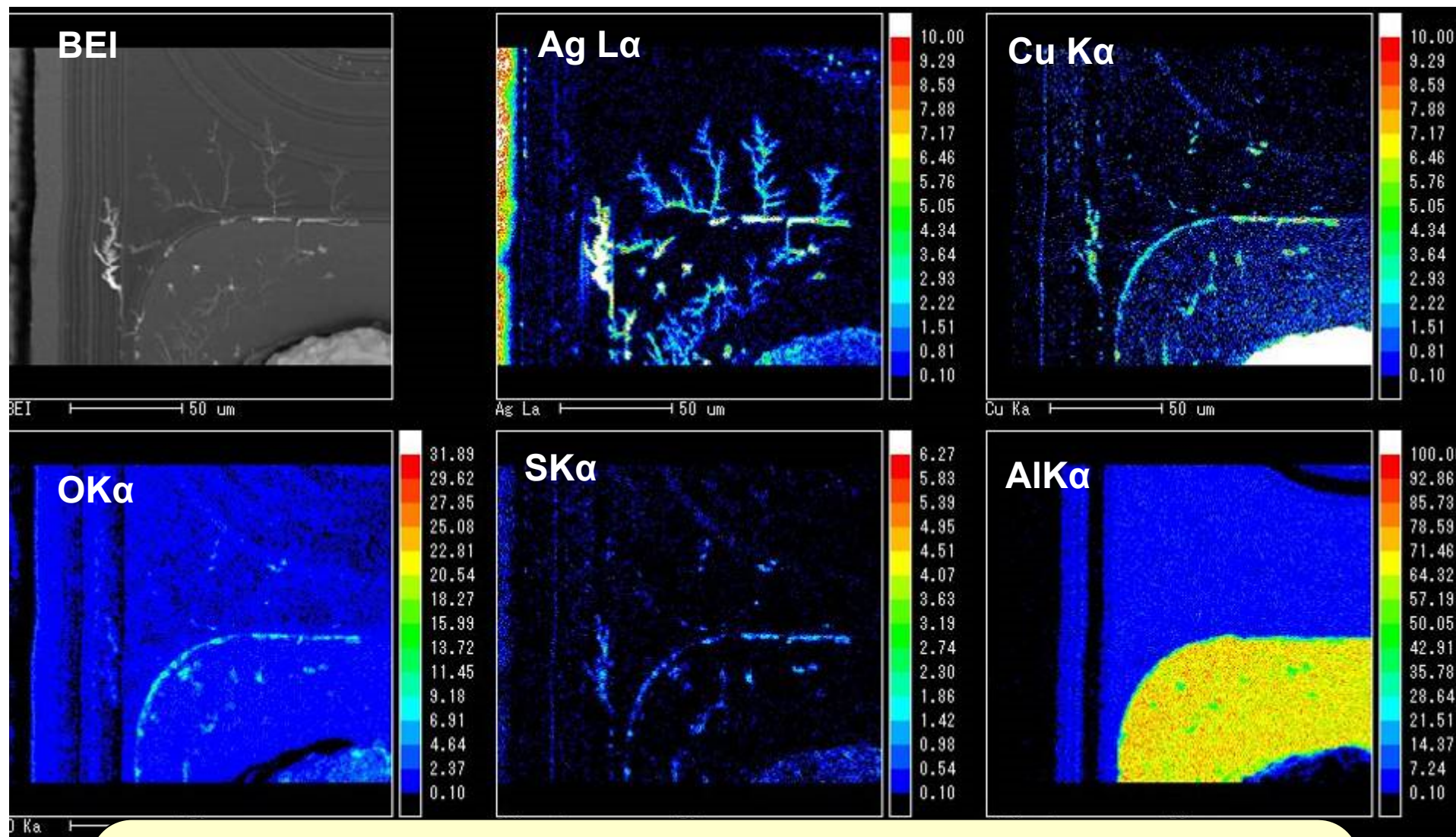


異常は認められない ⇒ (チップ内部か、G-Sパッド間か判断できず)

実装基板 — 開封後の表面観察 (SEM) —

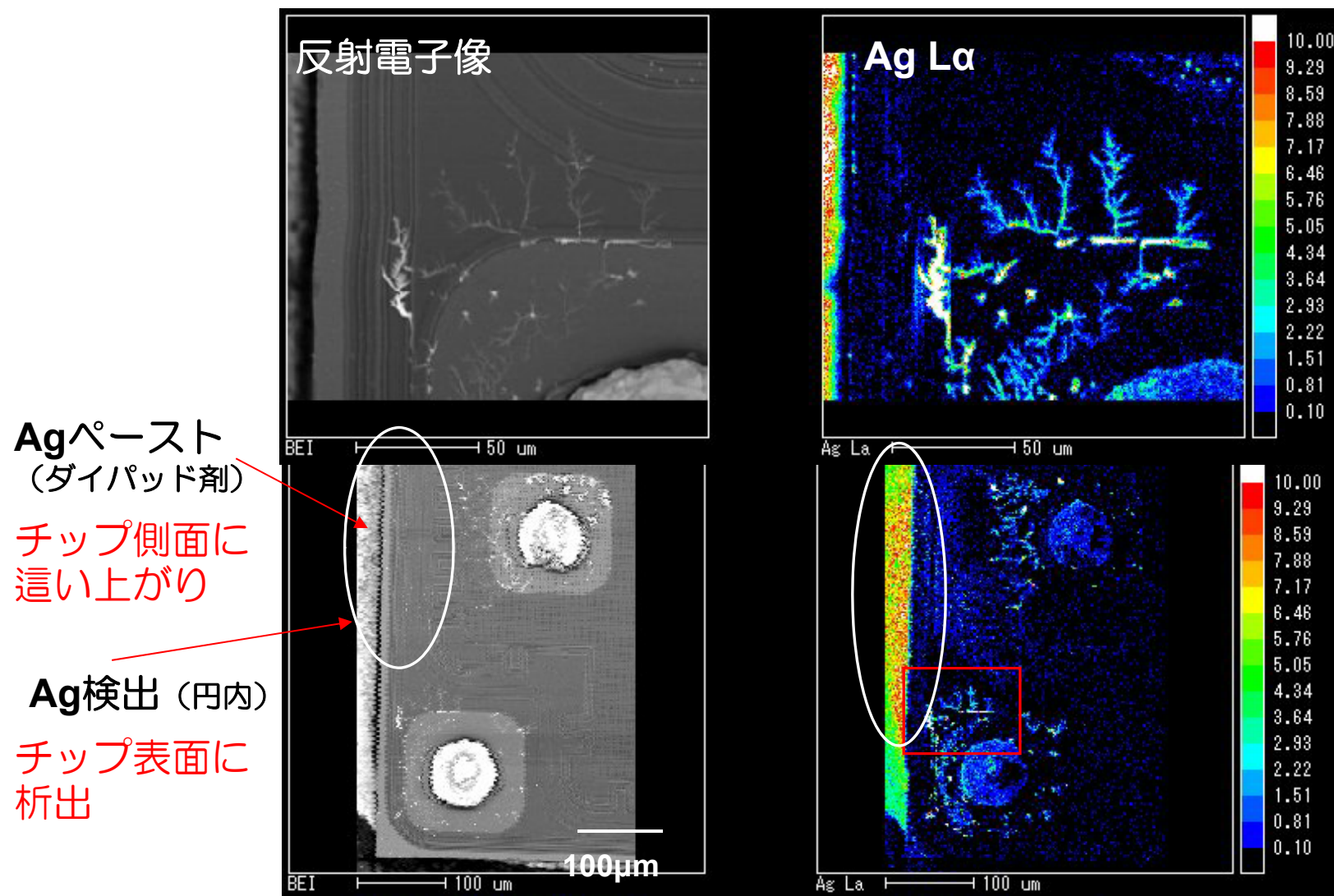


実装基板 —EPMAによる元素分析（１）—



Agのイオンマイグレーションが原因

実装基板 —EPMAによる元素分析（２）—



チップ側面のAgペーストが溶解し、チップ表面に移動

実装基板 ーまとめー

■ 故障モード

搭載されたMOSFETのゲート-ソース間ショート

■ 故障要素

銀(Ag)によるデンドライト形成

■ 故障メカニズム

- ①ダイボンド材のAgペーストからチップ側面へ這い上がり
- ②吸湿により、Agイオンが溶け出し、チップ表面へ移動
- ③ゲート、ソース間の電界によりイオンマイグレーション

まとめ

■ LITを用いた故障解析

- パッケージや基板内部の配線、素子の故障箇所特定。
 - ▶ 実装基板の解析時間大幅短縮、故障要素喪失大幅削減
 - ▶ 半導体デバイスの非破壊解析
- 動作状態の評価

■ 解析を有効に進めるためのLIT解析システム

- ▶ LIT＋解析ツール（電気特性、透過X線）＋加工（レーザー、薬品開封）取り外し/詳細解析
- ▶ 故障要素喪失を低減する解析フロー

ご清聴いただき、ありがとうございました



お問い合わせ先

沖エンジニアリング株式会社
 信頼性解析事業部 高森 圭
 電話：03-5920-2354
 E-mail：takamori752@oki.com
<http://www.oeg.co.jp>