

X線マイクロトモグラフィーによる電子基板の マイクロ接合部における疲労損傷のヘルスマonitoring Health monitoring for fatigue damage in micro-joints on printed circuit boards by using X-ray micro-tomography

岡本 佳之^a, 高柳 毅^a, 釣谷 浩之^b, 佐山 利彦^b, 上杉 健太郎^c, 森 孝男^d
Yoshiyuki Okamoto^a, Takeshi Takayanagi^a, Hiroyuki Tsuritani^b, Toshihiko Sayama^b,
Kentaro Uesugi^c, Takao Mori^d

^a コーセル(株), ^b 富山県工業技術センター, ^c (財)高輝度光科学研究センター, ^d 富山県立大学
^aCosel Co., Ltd., ^bToyama Industrial Technology Center, ^cJASRI, ^dToyama Prefectural University

SPring-8 における放射光光源を利用した X 線マイクロ CT 装置(SP- μ CT)を用いて、電子基板上に実装されたチップ部品のマイクロ接合部における熱サイクル負荷による疲労き裂の進展状況をモニタリングすることに成功した。将来的には、CT 画像の変化から疲労き裂の進展速度を計算し、破断寿命を推定することも可能である。今後、実際の電子基板に対して、SP- μ CT を適用してヘルスマonitoringを行うことが期待される。

キーワード： エレクトロニクス実装、マイクロ接合、ヘルスマonitoring、X 線マイクロ CT

1. 背景と研究目的：

近年の、電子基板の高密度実装化に伴い、その電氣的、機械的接合部の寸法がマイクロメートルオーダーにまで小さくなってきている。そのため、マイクロ接合部においては、組織変化や、疲労き裂の発生、進展などの熱疲労損傷が、電子基板の信頼性に大きな影響を与える因子となっている。したがって、エレクトロニクス関連業界においては、このような微細な欠陥や損傷を非破壊で検出し、使用の全期間にわたってその進行状況をモニタリングし、さらに破断に至るまでの寿命を評価する技術、すなわち非破壊ヘルスマonitoring技術、の開発が強く望まれている。非破壊検査の手法としては、超音波検査や、X 線管球を用いた透過検査などが試みられているが、マイクロメートルオーダーの欠陥や損傷を評価する上で十分な空間分解能が得られていないのが現状である。一方、SPring-8 においては、放射光光源を用いた高分解能の X 線マイクロ CT 装置(以下、SP- μ CT)の開発を進めている[1][2]。これまで著者らは、SP- μ CT を用いて、フリップチップ内部のマイクロはんだ接合部における熱疲労損傷、特に微細組織の変化を非破壊で評価してきた[3]。本研究は、SP- μ CT を適用して、電子基板に実装したチップ部品のマイクロ接合部における熱疲労き裂、およびその進展過程のヘルスマonitoringを試みたものである。

2. X 線マイクロ CT 装置の概要：

SP- μ CT を用いた実験を、SPring-8 の共用ビームライン BL20XU において実施した。SP- μ CT では、アンジュレータから発生した放射光を、Si の二結晶分光器により単色化して用いる。このように単色化された X 線を試料に照射し、CT 撮影を行う。単色化された X 線を用いることにより、その X 線エネルギーにおける線吸収係数(LAC, Linear Attenuation Coefficient)の 3 次元分布を定量的に評価することが可能である。また、この X 線は、極めて平行度が高く、高い指向性を持つため高分解能の 3 次元画像を再構成することが可能である。さらに、屈折コントラスト法を併用することで、実際の空間分解能より小さい、voxel(3 次元での画素)サイズの 1/10 以下の微小き裂などが検出可能となる。屈折コントラスト法は、SP- μ CT で用いる X 線のコヒーレントな特性を利用し、フレネル回折によってエッジを強調させて撮影する手法である。き裂や物質界面における X 線のわずかな屈折および干渉を利用してエッジを強調するため、SP- μ CT の空間分解能以下の微細き裂を撮影することが可能となる。

3. 試験方法：

3.1 試験体および熱サイクル試験

観察用の試験体は、チップ型抵抗と FR-4 基板が、鉛フリーはんだ (Sn-3.0wt%Ag-0.5wt%Cu) によってマイクロ接合された構造を有する。(図 1) この試験体の熱負荷によるはんだ接合部におけるき裂の進展過程を観察するために、JIS 規格 C0025 環境試験方法(電気・電子)温度変化方法に準拠した加速熱サイクル試験を実施した。この試験の温度プロファイルは、高温保持温度 125℃、低温保持温度-40℃、保持時間 30 min、および昇降温時間 2 min である。

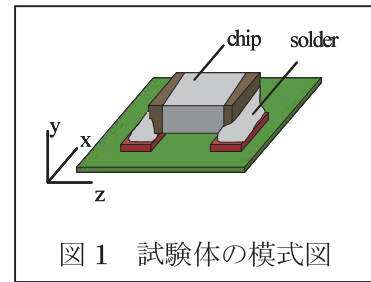


図 1 試験体の模式図

3.2 透過画像の撮影及び CT 画像の再構成

SP- μ CT を用い、任意の熱サイクル数において、き裂の進展を観察した。試験体を回転ステージに固定し、これを 180° 回転させて 1800 枚の透過画像を撮影した。試験体の回転軸は、試験体の長手方向と平行になるように設定した。透過画像一枚あたりの X 線の露光時間は 0.3 sec であった。また、透過画像の撮影領域は、1000 μ m \times 656 μ m とした。透過画像から CT 画像への再構成には、畳み込み逆投影法(Convolution back-projection method)を用いた。なお、はんだと他の部材とのコントラストを明瞭にするために、X 線エネルギーは、Sn の K 吸収端よりもやや低い 29.0 keV を選択した。また、屈折コントラスト法を用いて、CT 画像の分解能よりも開口量の小さいき裂や、物質の界面を強調して撮影した。得られた CT 画像と SEM 画像とを比較したところ、SP- μ CT の空間分解能をはるかに超える開口量 0.5 μ m 以下の微小き裂をとらえることが可能であった。

4. 疲労き裂の進展過程の評価：

4.1 同一断面における疲労き裂の進展過程

図 2 は、同一はんだ接合部の同一断面における疲労き裂の進展過程の例を CT 画像の変化で示す。チップ中央部における y-z 平面での CT 画像である。チップの下部における疲労き裂は、パッドやチップ電極などの他の部材と明確に識別することができる。500 サイクル経過後の画像において、疲労き裂がチップ角部の付近から発生していることが分かる。また、疲労き裂進展に先立って、その前方に長さが約 5 から 10 μ m の小さなボイドが形成されていることは重要な点である。さらに、600 サイクル経過後の画像において、疲労き裂がこれらの小さなボイドを連結しな

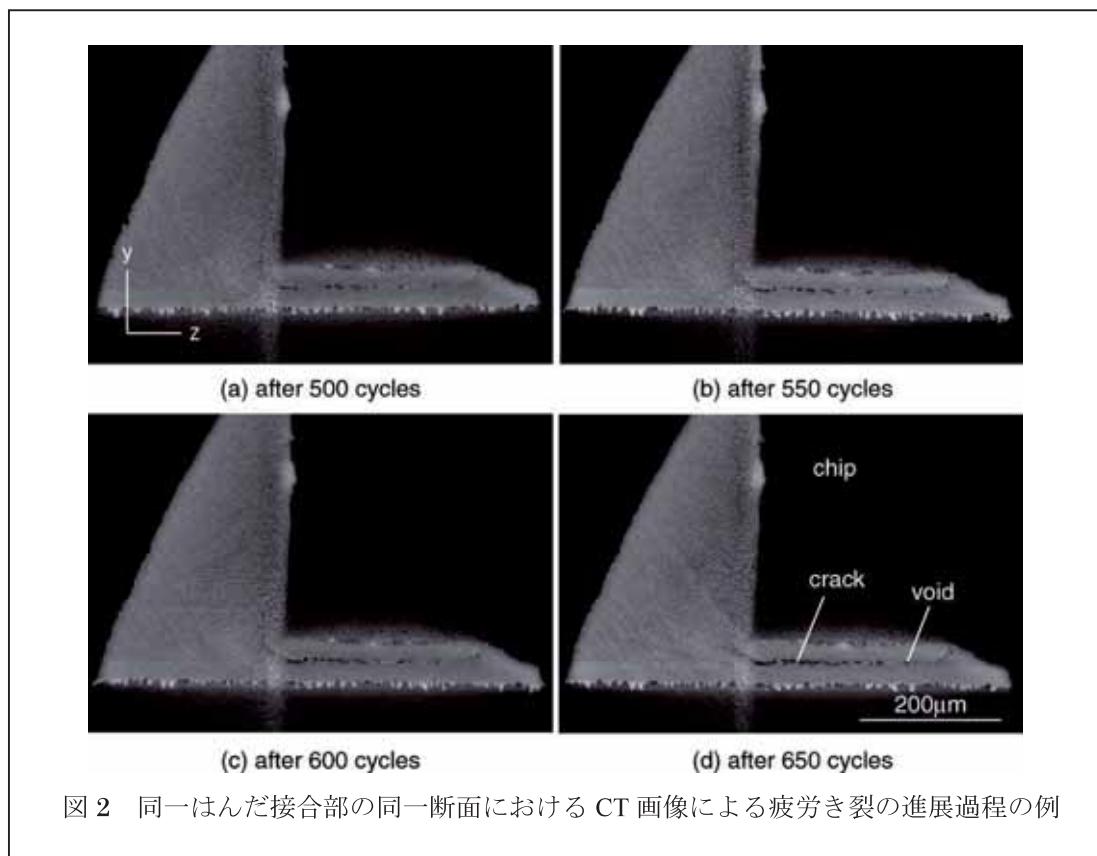


図 2 同一はんだ接合部の同一断面における CT 画像による疲労き裂の進展過程の例

がら、はんだ接合部の半分程度の長さまで進展していることが分かる。しかし、CT 画像のみでは、疲労き裂の 3 次元的な全体像および進展過程について理解するには不十分である。

4.2.3 次元表示による疲労き裂の進展過程

そこで、CT 画像からき裂面のみを抽出し 3 次元表示を試みた。図 3 は、図 2 と同一のはんだ接合部におけるチップ下部での疲労き裂の進展過程を、3 次元のレンダリング画像で示す。500 サイクル経過後では、はんだ接合部の先端およびチップ角部において、疲労き裂の発生が観察される。さらに、はんだ接合部の右端から中央部にかけての領域で、約 5 から 10 μm の小さなボイドが多数形成されている。550 サイクル経過後では、これらのボイドが増加、成長し、はんだ接合部の全領域に広がっている。さらに、ボイドは相互に連結して大きな疲労き裂を形成するようになる。600 サイクル経過後では、疲労き裂が、はんだ接合部のおよそ半分の領域にまで進展している。このように、CT 画像に基づいた疲労き裂の 3 次元表示は、複雑な形状を有するはんだ接合部における疲労き裂の進展評価に対して、非常に有効な方法であるといえる。

4.3 疲労き裂の進展速度

図 3 に示す疲労き裂の 3 次元レンダリング画像において、疲労き裂の表面積を計測し、疲労き裂の進展速度を求めた。その結果、チップ下部における疲労き裂の進展速度は、 $6.1 \times 10^2 \mu\text{m}^2/\text{cycle}$ と得られ、き裂発生後、約 300 サイクルでチップ下部のはんだ接合部が破断してしまうことが明らかとなった。将来的には、CT 画像に基づいて疲労き裂の進展速度を計算し、破断寿命を推定することも可能である。

5. まとめおよび今後の課題：

放射光光源を利用した X 線マイクロ CT 装置を用いて、電子基板上のマイクロ接合部における疲労き裂の進展状況を非破壊観察し、その健全性を評価するヘルスマonitoring に成功した。今後は、高密度実装された実際に使用されている電子基板に対しても、完全な非破壊で X 線マイクロ CT 装置を適用できるように、実用化技術を開発する必要がある。

参考文献：

- [1] Uesugi, K. et al., Nucl. Instr. Method., Sec. A, Vol. 467-468(2001), 853-856.
- [2] http://www.spring8.or.jp/ja/users/current_user/bl/beamline/BLtable/
- [3] 釣谷浩之ほか, 第 20 回エレクトロニクス実装学会講演大会 講演論文集(2006), 93-94.

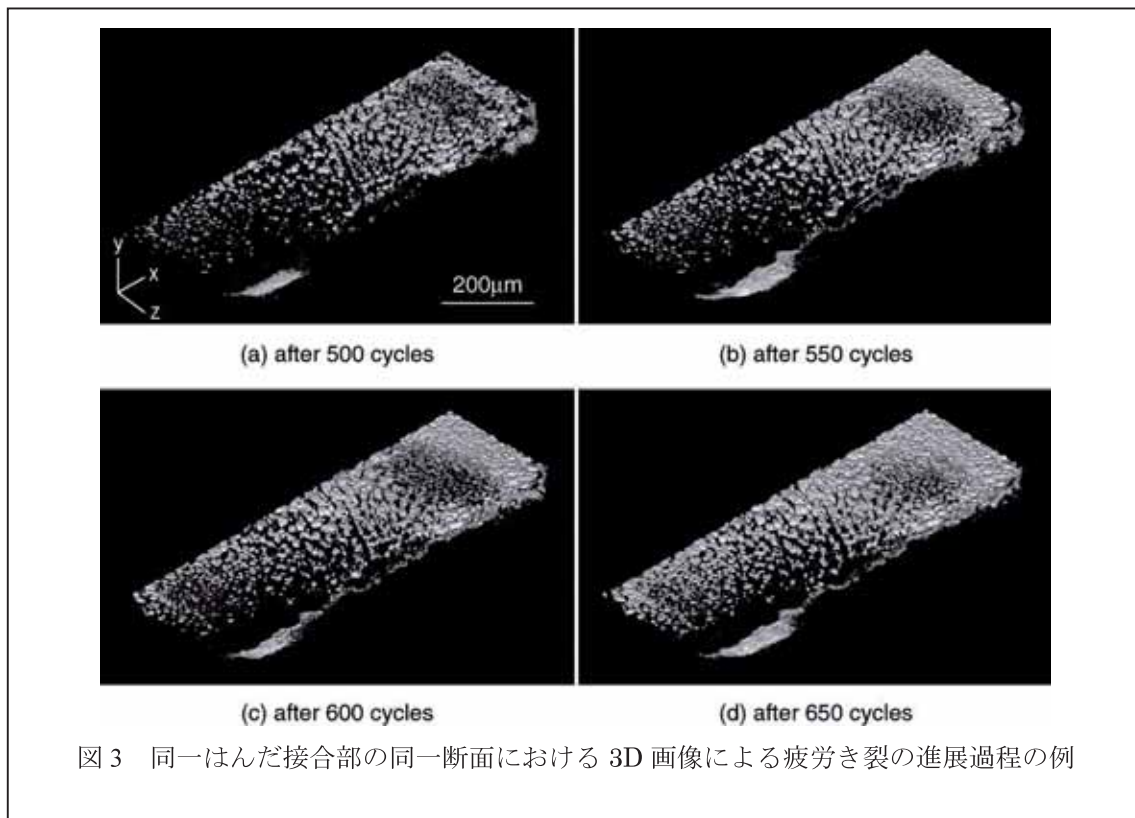


図 3 同一はんだ接合部の同一断面における 3D 画像による疲労き裂の進展過程の例