

# 放射光 X 線 CT によるひずみ分布計測に基づく はんだ接合部の熱疲労損傷評価

機械システム課 釣谷浩之\* 電子技術課 佐山利彦

コーセル (株) 岡本佳之 高柳毅 (公財) 高輝度光科学研究センター 上杉健太郎 富山県立大学 森孝男

## 1. はじめに

電子基板のマイクロはんだ接合部における熱疲労損傷が、電子機器の信頼性に大きな影響を与える要因となっており、マイクロ接合部の信頼性を非破壊で評価する技術の開発が急務となっている。はんだ接合部の熱疲労損傷の評価方法として、接合部のひずみ振幅を基にした評価手法が広く知られている。しかし、マイクロ接合部のひずみを実測することは非常に困難で、事実上不可能であった。一方で、SEM 画像や光学顕微鏡画像を用いて、デジタル画像相関法を適用し同一試料の負荷状態の異なる 2 つの画像からひずみ分布を測定する試みが行われている。また、著者らはこれまでに、SPring-8 において開発されている、放射光光源を用いた非常に高分解能の X 線マイクロ CT 装置<sup>1)</sup> (以下、SP- $\mu$ CT) を用いて、マイクロはんだ接合部の観察、評価手法の開発を行っており<sup>2)</sup>、その過程で、Sn-Ag-Cu はんだ中の微小な  $Ag_3Sn$  相を明瞭に確認できることを見出している。そこで、 $Ag_3Sn$  相のような特徴部位の変位を基にデジタル画像相関法を用いてひずみの三次元的な分布を非破壊で計測し、はんだ接合部の寿命評価への適用を試みる。デジタル画像相関法によるひずみの計測では、まず、変位ベクトルの粗探索を行い 1 pixel 単位の変位ベクトルを計測する。粗探索で求めた変位ベクトルを初期値として Newton-Raphson 法を用いて詳細探索を行うことで、より高精度なひずみ計測を行うことができる。本年度は、より高精度な計測を可能にするために、Newton-Raphson 法による詳細探索プログラムを作成した。

## 2. 実験方法

観察に用いた試験体は、Si チップが FR-4 基板に直径約

120 $\mu$ m の Sn-3.0Ag-0.5Cu 鉛フリーはんだによってフリップチップ実装されたものである。この試験体を縦 1mm $\times$ 横 1mm $\times$ 長さ 10mm に加工して使用した。はんだバンプのひずみの状態を変化させるために、この試験体に高温保持温度 125 $^{\circ}$ C、低温保持温度-40 $^{\circ}$ C、保持時間 30min、およびランプ時間 2min の熱サイクル負荷を加えた。

## 3. 変位ベクトルの粗探索

デジタル画像相関法では、変形前と変形後の 2 つの画像からひずみの分布を計算する。まず粗探索と呼ばれる手順により、1 pixel 単位の変位ベクトルを計測する。今回は、変形前の画像として初期状態の CT 画像を、変形後の画像として同一の試験体に熱サイクル試験を 1 サイクル加えた状態の CT 画像をそれぞれ SP- $\mu$ CT により撮影した。

変位ベクトルの粗探索では、次式で表わされる、残差  $S$  を計算し、 $S$  が最小となる平行移動量( $u_0, v_0, w_0$ )を各画素について求めた。

$$S(u, v, w) = \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M \sum_{k=-M}^M |I_u(x+u+i, y+v+j, z+w+k) - I_d(x+i, y+j, z+k)| \quad (1)$$

ここで、 $I_u$  は変形前の画素値、 $I_d$  は変形後の画素値、 $M$  は探索に用いるサブセットのサイズ (画素数)、 $u, v, w$  はそれぞれ、 $x, y, z$  軸方向の変位である。

図 1 は、初期状態の CT 画像、1 サイクル後の CT 画像、および粗探索で得られた変位ベクトルの絶対値の分布を示す。図 1(a),(b)は、それぞれ、初期状態と 1 サイクル後の CT 画像で、同一の試験体のほぼ同一の断面である。CT 画像を比較する限り、大きな違いはないように見える。図 1(c)は、図 1(a),(b)を用いて粗探索を行って得られた変

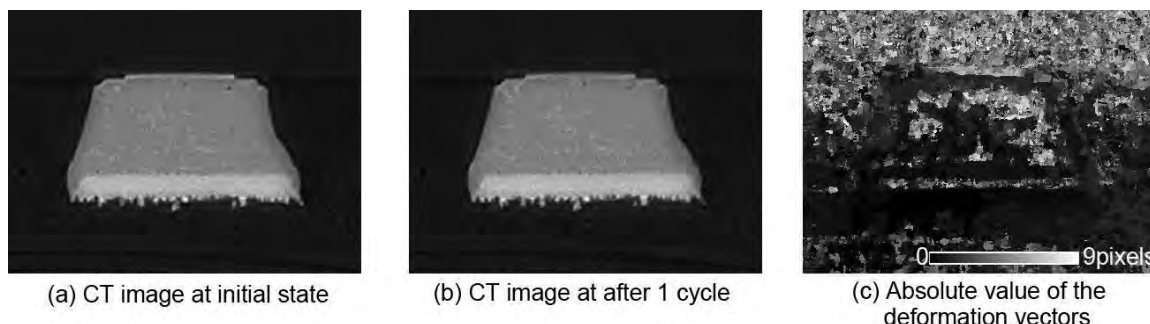


図 1 初期状態および 1 サイクル負荷後の再構成画像と変位ベクトルの絶対値の分布

\*現 商工企画課

位ベクトルの絶対値を示しており、非常に値の大きい白い部分は、画像に特徴的なパターンが無く、変位ベクトルの計測が正しく行われていないと考えられる。正しく計測されたと考えられる、画像の暗い部分に注目すると、CT 画像では、ほぼ同じに見えた2つの画像も、粗探索による変位ベクトルの計測で、場所によって変位ベクトルの大きさに違いがあることがわかる。

### 3. 変位ベクトルの詳細探索

詳細探索では、次式で表される評価関数  $C$  を考える。

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M \sum_{k=-M}^M I_d(X+i, Y+j, Z+k) I_u(x+i, y+j, z+k)}{\sqrt{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M \sum_{k=-M}^M I_d(X+i, Y+j, Z+k)^2 \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M \sum_{k=-M}^M I_u(x+i, y+j, z+k)^2}} \quad (2)$$

ここで、 $I_u$  は変形前の画素値、 $I_d$  は変形後の画素値、 $M$  は、サブセットのサイズ（画素数）であり、変形前の画像と変形後の画像がサブセット内で完全に一致すれば0になる。

$X, Y, Z$  は、次式で表され、剛体変形および一様ひずみまでを考慮している。

$$\begin{aligned} X &= x + u + \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j + \frac{\partial u}{\partial z} k \\ Y &= y + v + \frac{\partial v}{\partial x} i + \frac{\partial v}{\partial y} j + \frac{\partial v}{\partial z} k \\ Z &= z + w + \frac{\partial w}{\partial x} i + \frac{\partial w}{\partial y} j + \frac{\partial w}{\partial z} k \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $(u, v, w)$  は、サブセットの中心における変位を示している。評価関数の未知数  $(u, v, w, \partial u/\partial x, \partial u/\partial y, \partial u/\partial z,$

$\partial v/\partial x, \partial v/\partial y, \partial v/\partial z, \partial w/\partial x, \partial w/\partial y, \partial w/\partial z)$  を Newton-Raphson 法を用いて求めることで精度の高い変位計測、およびひずみ計測が可能になる。

今回作成したプログラムを図1で示した実際のCT画像に適用し、詳細な変位場を計算することが可能となった。しかし、画像に特徴的なパターンが無い場所では計測が行えないなどの原理的な問題があること、また Newton-Raphson 法で解に収束しない場合の処理方法など、いくつかの課題が残った。

### 4. まとめ

SP- $\mu$ CT により撮影した画像を用いて、より精度の高い変位ベクトルの計測、およびひずみの計測を可能とするために、Newton-Raphson 法を用いた詳細探索プログラムを作成した。実際の CT 画像へのプログラムの適用については、画像の特徴から原理的に計測が行えない箇所での対応など、今後解決すべき課題が残った。

### 参考文献

- 1) Uesugi, K. et al., *Nucl. Instr. Method., Sec. A*, Vol. **467-468**(2001), pp. 853-856.
- 2) 釣谷浩之ほか、機械学会論文集 (A) , Vol. **75**, No.755(2009), pp. 799-806.

### 謝辞

本研究における SP- $\mu$ CT を用いた放射光実験は、公益財団法人高輝度光科学研究センターの支援（研究課題番号:2012B1490）を受け、SPring-8 のビームライン BL20XU において実施されたことを記し、謝意を表する。

キーワード：放射光マイクロ CT、デジタル画像相関法、ひずみ計測、非破壊評価、熱疲労損傷

## Development of 3D Strain Measurement Method by Synchrotron Radiation X-Ray Microtomography System

Hiroyuki TSURITANI\*, Toshihiko SAYAMA (Toyama Industrial Technology Center),  
Yoshiyuki OKAMOTO, Takeshi TAKAYANAGI (COSEL Co., Ltd.),  
Kentaro UESUGI (JASRI) and Takao MORI (Toyama Prefectural University)

In this work, a strain measurement of flip chip bumps based on synchrotron radiation CT images by using digital image correlation method was investigated. In order to improve the precision of measurement for the displacement and the strain, the fine search program was coded based on Newton-Raphson method. For the application of the program to actual CT images, some problems were remained such as an application in the region without significant features.