

X線マイクロトモグラフィーによる マイクロ接合部の熱疲労損傷評価技術の開発

機械システム課 佐山利彦 中央研究所 釣谷浩之 コーセル(株) 高柳 毅

1. はじめに

SPring-8において開発された、放射光を光源とする高分解能のX線マイクロCT装置(以下、SP- μ CT)を適用して、フリップチップのはんだボール接合体構造を対象とし、熱サイクル負荷による疲労き裂の発生寿命について非破壊で解析、評価を行った。実際のマイクロ接合部の疲労損傷評価に対して、十分に適用が可能であることを示した。

2. 試験方法

2.1 試験体および熱サイクル試験

観察用の試験体は、SiチップとFR-4基板が直径約150 μ mのはんだボール(Sn-37wt%Pb共晶、以下、共晶はんだ)によって、フリップチップ接合された構造である。この試験体の熱負荷による組織変化を観察するために、加速熱サイクル試験(高温保持温度125 $^{\circ}$ C、低温保持温度-40 $^{\circ}$ C、保持時間30min)を実施した。

2.2 透過像の撮影およびCT画像の再構成

SP- μ CT用い、はんだボール内の微細組織の変化を観察した。試験体を回転ステージに固定し、これを180 $^{\circ}$ 回転させて1800枚の透過画像を撮影した。透過画像一枚あたりのX線の露光時間は0.2secである。また、透過画像の撮影領域は、1000mm \times 656mmとした。透過画像からCT画像の再構成には、畳み込み逆投影法を用いた。CT画像においては、X線線吸収係数の分布を表示することで、Pb相およびSn相の形状を可視化することができる。また、X線エネルギーは、29.0keVを選択した。

3. CT画像による熱疲労損傷評価

3.1 熱サイクル負荷による組織変化

Sn-Pbはんだは熱負荷により、Sn相、Pb相の各相が凝集、粗大化すること(相成長)が知られている。今回得られたCT画像により、サイクル数 N の増加に伴う相成長の進行状況を明確に捕らえることができた。

具体的には、CT画像を解析した結果、次式で定義される相成長パラメータ S によって特徴付けら

れることを見出した。

$$S = d^3 \quad (1)$$

ここに、 d は平均相寸法である。すなわち、周期的な熱負荷が加えられる場合は、 S がサイクル数 N に比例して増加するように、相成長が進行する。Fig.1は、 S の計測値の N に対する変化を示す。 S の計測は、はんだボールの中心付近をとる同一面において行った。図より、 S の計測値が N に比例して増加していることが確認できる。

3.2 疲労き裂発生寿命の推定

さらに、著者らは、 S の変化速度 ΔS とはんだ内の疲労損傷量との対応関係を調べ、次の疲労き裂発生寿命 N_i の推定式を提案した。

$$\Delta S = CN_i^\alpha \quad (2)$$

ここに、 C および α は定数である。Fig.1より、平均値として $\Delta S = 0.91\mu\text{m}^3$ が得られ、式(2)より疲労き裂発生寿命は、 $N_i = 311$ サイクルと推定された。一方、別の試験体に対して断面のSEM観察を実施したところ、平均の疲労き裂発生寿命は $N_i = 300$ サイクルと決定された。双方の結果は非常によく一致しており、CT画像を用いてマイクロはんだ接合部の疲労寿命を推定できる可能性を示したといえる。

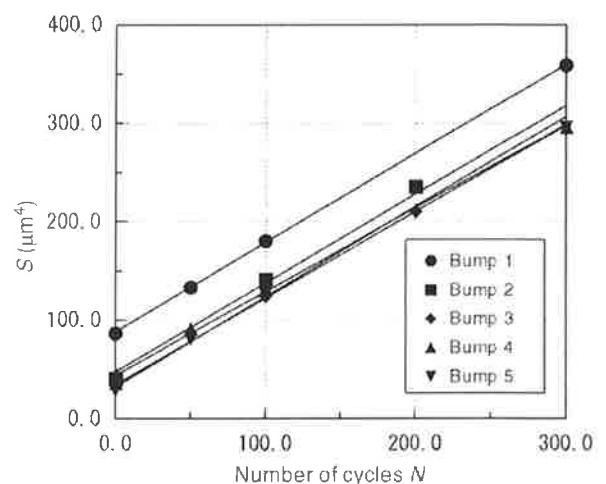


図1 熱負荷によるはんだ相の成長過程