

チップ部品実装基板のはんだ接合部における  
熱疲労損傷に対する初期発生ボイドの影響評価  
**Evaluation of initially introduced micro-voids on thermal fatigue damage  
in solder joints of chip-mounted printed circuit boards**

岡本 佳之<sup>a</sup>, 高柳 毅<sup>a</sup>, 釣谷 浩之<sup>b</sup>, 佐山 利彦<sup>b</sup>, 上杉 健太郎<sup>c</sup>, 星野 真人<sup>c</sup>, 森 孝男<sup>d</sup>  
Yoshiyuki Okamoto<sup>a</sup>, Takeshi Takayanagi<sup>a</sup>, Hiroyuki Tsuritani<sup>b</sup>, Toshihiko Sayama<sup>b</sup>,  
Kentaro Uesugi<sup>c</sup>, Masato Hoshino<sup>c</sup>, Takao Mori<sup>d</sup>

<sup>a</sup>コーセル (株), <sup>b</sup>富山県工業技術センター, <sup>c</sup>(財) 高輝度光科学研究センター, <sup>d</sup>富山県立大学  
<sup>a</sup>Cosel Co., Ltd., <sup>b</sup>Toyama Industrial Technology Center, <sup>c</sup>JASRI, <sup>d</sup>Toyama 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- $\mu$ CT) を用い、電子基板上に実装されたチップ部品のマイクロ接合部を対象として、はんだ付け時に不可避免的に発生するボイドが、熱疲労き裂の発生および進展におよぼす影響を非破壊で評価した。将来的には、SP- $\mu$ CT を適用して疲労き裂のモニタリングを行い、疲労き裂の進展速度から破断寿命を推定することも可能である。

キーワード： エレクトロニクス実装、マイクロ接合、熱疲労、ボイド、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、その微細な接合部においては、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。特に、はんだ接合部においては、はんだ付け時に発生したボイドが多数存在する。はんだ接合部の強度信頼性にとって非常に重要な因子であるにもかかわらず、ボイドの特性（寸法、分布形態など）やその疲労損傷への影響は、SEM 観察による断片的な評価しか行われておらず、一般的にはボイドの存在を無視して疲労強度の統計的なばらつきとして捉えられているにすぎない。

また、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する技術の開発が強く望まれている。しかし、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- $\mu$ CT）の開発を進めている[1]。

そこで、本研究では、実際の電子基板において最も信頼性評価のニーズが高いチップ部品の鉛フリーはんだ接合部を対象とし、放射光 X 線マイクロ CT を適用して、初期発生ボイドが熱疲労き裂の発生や進展に及ぼす影響を評価することを試みた。

## 2. X 線マイクロ CT 装置の概要：

SP- $\mu$ 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- $\mu$ 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 以下の微小な開口量を有するき裂などが検出可能となる。屈折コントラスト法は、SP- $\mu$ CT で用いる X 線のコヒーレントな特性を利用し、屈折現象によりエッジや界面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- $\mu$ 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°C、低温保持温度 -40°C、保持時間 30 min、および昇降温時間 2 min である。

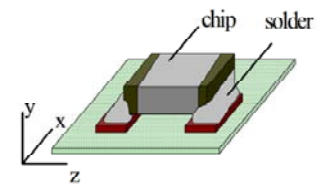


図 1. 試験体の模式図

#### 3.2 透過画像の撮影及び CT 画像の再構成

SP- $\mu$ CT を用い、はんだ接合部内における初期ボイドの状態を観察した。さらに引き続き任意の熱サイクル数において、ボイドの変形、き裂の発生、および進展状況を観察した。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  $\mu$ m  $\times$  656  $\mu$ 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。

### 4. 疲労き裂の進展過程へのボイドの影響評価：

#### 4.1 ボイドが少ないはんだ接合部における疲労き裂の進展過程

まず、初期ボイドが少ないはんだ接合部について、熱疲労き裂の発生および進展の過程を調べた。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 画像の変化により示す。(a) は、はんだ接合部全体の初期状態である。(b) は、この初期状態において、チップ下部とパッドとの間の 15  $\mu$ m 程度の薄いはんだ接合部を拡大したものである。チップのコーナ一部に数個のボイドが存在するだけである。熱サイクルが進行すると、600 サイクル後の (c) に

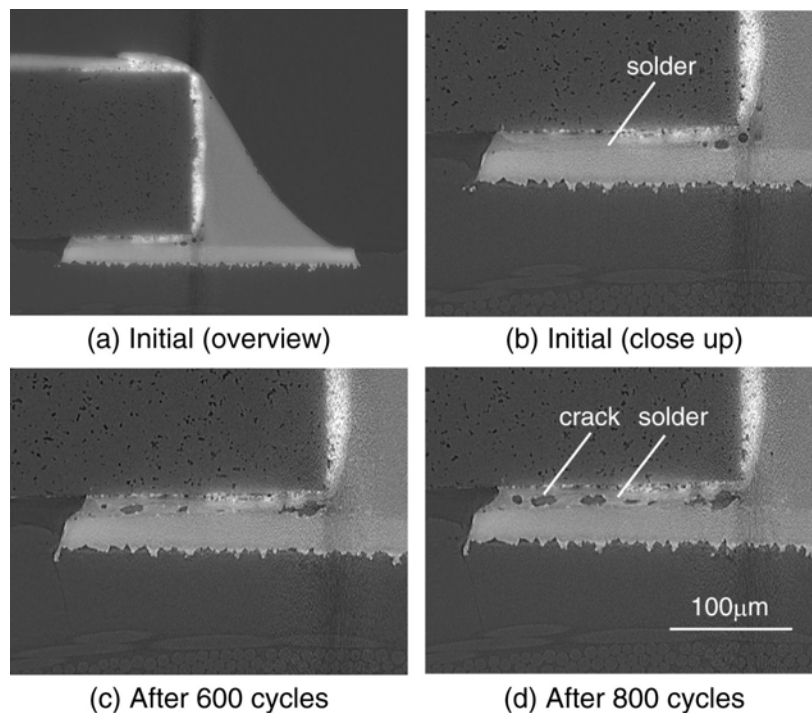


図 2. ボイドが少ないはんだ接合部における疲労き裂の進展過程の例

示すように、チップ下部において、長さが約5から10  $\mu\text{m}$ の小さなき裂が形成されていることは重要な点である。これは、熱ひずみが集中するチップ下部のはんだ接合部において、はんだ組織 ( $\beta\text{-Sn}$  相) が再結晶し、その粒界においてすべり破壊が生じるメカニズムとして説明が可能である。さらに、800 サイクル後の (d) においては、これらの微小き裂が成長しており、熱サイクル負荷が進行すると、相互に連結しマクロな疲労き裂を形成するものと推測される。このように、同一箇所を時系列的に観察し、はんだ接合部における疲労き裂の進展過程を明らかにできた意義は大きい。

#### 4.2 大きなボイドが存在するはんだ接合部における疲労き裂の進展過程

次に、比較的大きなボイドが存在するはんだ接合部について、熱疲労き裂の発生および進展の過程を調べた。図3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画像の変化により示す。(a)は、はんだ接合部全体の初期状態である。(b)は、この初期状態において、チップ下部を拡大したものである。最大で高さ20  $\mu\text{m}$ 、長さ80  $\mu\text{m}$ 程度の比較的大きなボイドがいくつか存在している。初期状態では表面が滑らかであったボイドが、600 サイクル後の (c) では大きく変形し、表面から疲労き裂が発生しているのが観察される。このはんだ接合部では、ボイドが存在することによりはんだ厚さが増加したため、チップ下部の全体的なひずみレベルは、図2のはんだ接合部よりも低下している。しかし、ボイド端部でのひずみ集中により、この部分から疲労き裂が発生したものと推定できる。さらに、800 サイクル後の (d) においては、これらの疲労き裂が進展している。

図2および図3を比較すると、800 サイクル後の疲労き裂の全体の長さには大きな違いはなく、最終的な疲労寿命にも大差はないと考えられるが、疲労き裂の発生過程は異なっている。今回の実験では準備することが出来なかったが、図2の疲労き裂の進展過程から推測して、微小き裂程度の小さな初期ボイドが多数存在するはんだ接合部では、微小き裂とボイドとが相互干渉して、疲労寿命を著しく低下させることも考えられる。

#### 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、電子基板上のはんだ接合部における疲労き裂の進展状況に対する初期ボイドの影響を評価することを可能にした。今後は、ボイドの大きさや分布状態が異なる試験体を準備し、疲労き裂とボイドとの関係を定量評価していきたい。

#### 参考文献：

[1] Uesugi, K. et al., Nucl. Instr. Method., Sec. A, Vol. 467-468, pp. 853-856 (2001).

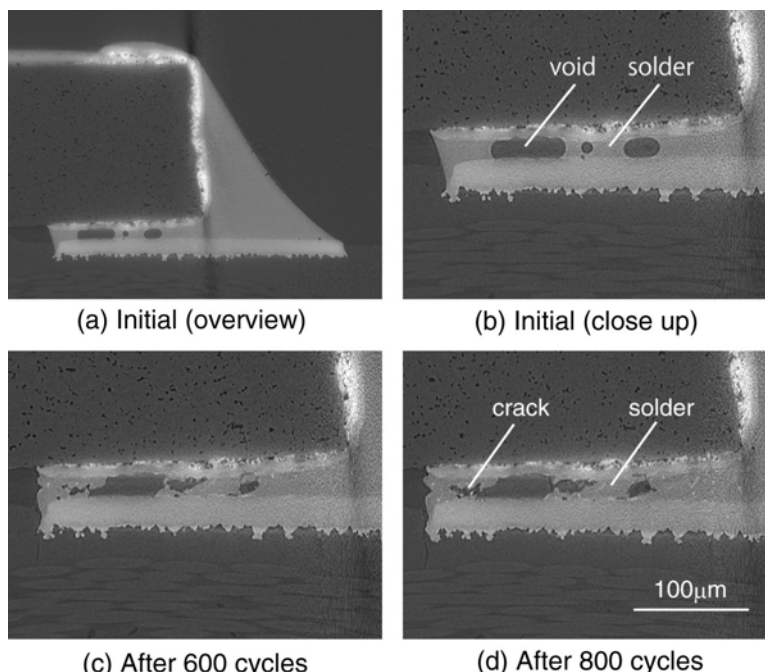


図3. 大きなボイドが存在するはんだ接合部における疲労き裂の進展過程の例