

マイクロ接合部の高強度化技術の研究

機械システム課 佐山利彦 藤井弘之

電子技術課 釣谷浩之* 二口友昭

1. はじめに

電子基板のマイクロ接合部においては、熱サイクル負荷や衝撃負荷に対する強度信頼性を保証するための評価技術の確立が求められている。特に、はんだの鉛フリー化に伴い、パッドの表面処理が接合部の強度に大きく影響することが明らかになってきている。これまで、当センターでは、電子基板はんだ接合部の熱疲労損傷を、はんだの組織変化（相成長）によって評価する手法を開発してきた。すなわち、Sn-3.5Ag および Sn-3.0Ag-0.5Cu の各はんだとプリフラックス処理基板との組合せにおいては、はんだの相成長による熱疲労き裂発生寿命の評価方法を確立できた。本年度は、この評価方法の適用範囲をさらに拡大するために、鉛フリーはんだのマイクロ接合部における代表的な表面処理形態である Ni-P/Au めっき処理を施した基板を対象として、Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだを用いたマイクロ接合部へ適用を試みた。

2. 熱サイクル試験

熱サイクル負荷によるマイクロはんだ接合部における相成長を観察するために、種々のチップ抵抗を実装した試験基板を作製し、熱サイクル試験を実施した。試験基板は、FR-4 基板（厚さ 1mm）で、銅パッド（厚さ 35 μ m）に Ni-7%P 無電解めっき（厚さ 5 μ m）、および Au 無電解めっき（厚さ 0.05 μ m）を施したものである。なお、比較のために、プリフラックス処理を施した基板も試験に用いた。また、熱サイクル負荷として、加速熱サイクル条件（-40 $^{\circ}$ C \leftrightarrow 125 $^{\circ}$ C、保持時間各 30 分）を設定した。

3. 熱サイクル負荷によるはんだの相成長

はんだ組織を観察するために、試験途中の任意のサイクル数で試験基板を抜き取り、SEM による観察を行った。Sn-3.0Ag-0.5Cu の組織は、熱サイクルを負荷すると、 β -Sn 相の再結晶と相成長が同時に進行する、いわゆる動的再結晶によって変化していく。この相成長過程を定量化するため

*現 中央研究所

に、撮影した SEM 画像を用いて、 β -Sn 相の平均粒径 d_s を計測した。

前年度の研究においては、Sn-3.5Ag および Sn-3.0Ag-0.5Cu の各はんだとプリフラックス処理基板との接合を対象とした。系統的に相成長を観察した結果、 β -Sn 相の相成長は、次式で定義されるパラメータ S_s によって特徴付けられた。

$$S_s = d_s^4 \quad (1)$$

さらに、相成長は、試験サイクル数 N に比例してパラメータ S_s が増加するように進行することが明らかとなった。相成長過程において、パラメータ S_s は、近似的に次式に従って増加する。

$$S_s = A_1 N + S_0 \quad (2)$$

ここに、 A_1 は係数、 S_0 は S_s の初期値である。

そこで、Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだと Ni-P/Au めっき処理を施した基板との接合においても、パラメータ S_s を用いて、式(2)の関係が成り立つか否かを調べた。図 1 は、Ni-P/Au めっき処理基板とプリフラックス処理基板における相成長過程を比較した一例を示す。これより、データのばらつきは大きいものの、Ni-P/Au めっき処理基板においても式(2)に従って、 β -Sn 相の相成長が進行することが分かる。また、両者のデータは、ほぼ同一のライン上に存在すると見なすことができるほど近く、

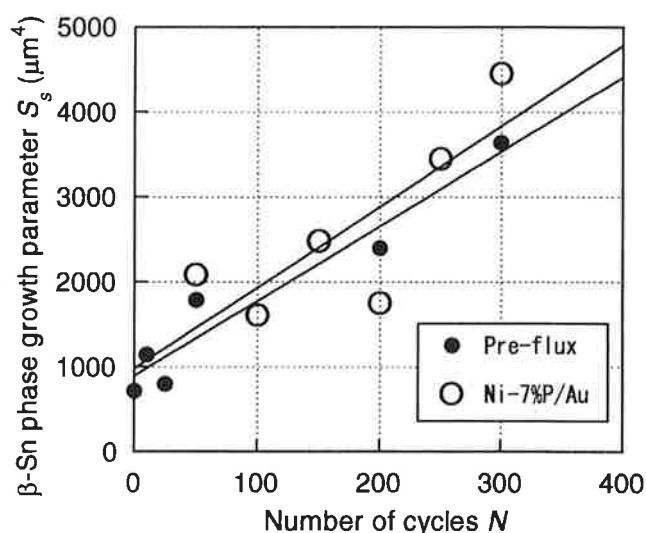


図 1 表面処理が異なる基板における β -Sn 相の相成長過程の比較

β -Sn 相の相成長に対する表面処理の影響が小さいことが分かる。

4. 熱疲労き裂発生寿命の評価

熱サイクル試験を続けると、 β -Sn 相の粒界に多くのマイクロクラックが発生し、これらが連結しながら大きな疲労き裂に成長する。そこで、相成長パラメータ S_s と平均疲労き裂発生寿命 N_i との関係調べた。なお、式(2)に示すように、相成長パラメータ S_s は、サイクル数 N に比例して増加するので、 S_s の1サイクルあたりの平均変化量 ΔS_s は、一定の熱サイクル負荷条件では、同一のはんだ接合部においてはほぼ一定値となる。

図2は、 β -Sn 相における ΔS_s と熱疲労き裂発生寿命 N_i との関係を示す。Ni-7%P/Au めっき処理基板の Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだ接合部のデータを○で示す。また、比較のために、プリフラックス処理基板の Sn-3.5Ag および Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだ接合部のデータを、各々■および●で示す。これより、 ΔS_s と N_i との間には、次式に示す単純な累乗則の関係が成り立ち、 ΔS_s を熱疲労き裂発生の評価指標とすることが可能である。

$$\Delta S_s = CN_i^\alpha \quad (3)$$

ここに、 C および α は定数である。

特に重要な点は、Ni-7%P/Au めっき処理やプリフラックス処理といった基板の表面処理方法、Sn-3.5Ag や Sn-3.0Ag-0.5Cu といったはんだ組成、さらには熱サイクル負荷の条件にほとんど関係なく、一つの疲労寿命評価曲線が得られるということである。一つのマスターカーブによって、種々のマイクロはんだ接合部の疲労寿命を統一的に評

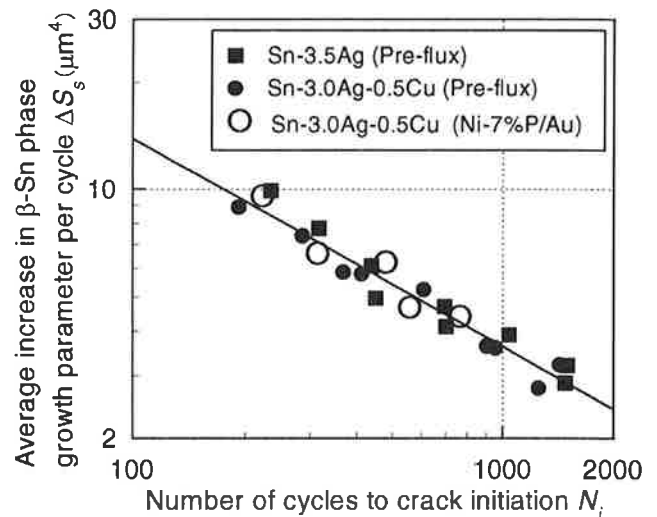


図2 β -Sn 相の変化による疲労き裂発生寿命曲線

価できることは、実用上非常に有益である。このように、 β -Sn 相の相成長によって熱疲労強度を統一的に評価できる理由としては、現在広く使用されている鉛フリーはんだが、Sn を母材として Ag や Cu など数%の添加元素を含む組成であり、その熱疲労強度は β -Sn 相によって概ね支配されることが考えられる。

5. まとめ

Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだは、日本における鉛フリーはんだの実質的な標準となっており、基板の表面処理も、プリフラックス処理および Ni-P/Au めっき処理が大部分である。すなわち、本手法は、実際のほとんどの電子基板に適用できるということであり、マイクロはんだ接合部における長期の信頼性向上に大きく貢献することが期待される。

キーワード：鉛フリーはんだ 表面実装 熱疲労 マイクロ接合部 組織変化

Microstructural Evaluation of Thermal Fatigue Strength in Micro Solder Interconnects

Toshihiko SAYAMA, Hiroyuki FUJII, Hiroyuki TSURITANI and Tomoaki FUTAKUCHI

The authors have developed a new thermal fatigue evaluation method for solder joints by microstructural observations. The method will be applied to micro solder interconnects of typical lead-free solder Sn-3.0Ag-0.5Cu regardless of the thermal cycle condition or the surface finish on the PWBs. That is, it becomes systematically possible to estimate the number of cycles to fatigue crack initiation based on one common evaluation curve by introducing the phase growth parameter S_s in the β -Sn phase.