(cBN・フリットと Al_2O_3 ・フリットの積層焼結砥石)を金属台金に接着剤で貼付けしたものが主流である。経年劣化がなく長期に安定使用が出来ると共に更に高速回転の得られる金属ろう付で接合組立した高性能研削砥石の開発試験を行った。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

(1) 金属ろう付を採用すると、接着剤接合に比べ、接合時の熱負荷が大きいため残留応力を増大させて継手強度低下を招く恐れがあり、その低減策が必要である。また、回転時に継手部に発生する応力を抑えることも重要で、この両者を勘案した応力緩和法が必須となる。これに対し、金属台金にセラミックス砥石との線膨張係数差の小さいコパールを採用すると共に、これにスリットを挿入して、前者で接合時の残留応力、後者で使用時の回転負荷による作用応力を低減する応力緩和法を設定した。

(2) 金属ろう付法としては、各種の活性金属法によるろう付のうち、接合温度が最も低く、継手部への熱負荷の小さい Ag-Cu-Ti ろう付法を選定した。

(3) 上記材料組合せ、継手構造及び接合法を採用して接合試作した研削砥石は、スピンドルで 290 m/s の周速に耐え、一段と高周速研削が可能になる見通しを得た。

参 考 文 献

- 1) 横川：ヨーロッパに見る cBN 超高速研削加工技術，機械と工具，35-3 (1991)，137-145。
- 2) 豊田：インターフェイスメカニクス<異材接合界面の力学>，理工学社 (1991)，121-154。
- 3) 宮川，矢田，古口，本沢：セラミックスと金属の接合部の信頼性評価 (第 1 報)，日本機械学会論文集 (A 編)，54-507 (1988)，1949-1955。
- 4) 矢田，古口，本沢，賀屋，宮川：セラミックスと金属の接合部の信頼性評価 (第 2 報)，日本機械学会論文集 (A 編)，54-508 (1988)，2128-2134。
- 5) 小林，荒居，中村，中村：セラミックス/金属接合強度の力学的評価，日本機械学会論文集 (A 編)，55-512 (1989)，750-755。
- 6) 金，山本，袁：セラミックス/金属の固相接合が抱える力学的課題に対する考察，溶接学会論文集，8-3 (1990)，20-25。
- 7) 深谷，平井，小林： $\text{Cu}_2\text{O}+\text{Cu}+\text{Ag}-\text{Cu}-\text{Ti}$ インサート法による Al_2O_3 と鋼の接合，本論文集，8-4 (1990)，62-66。
- 8) 深谷，平井，小林： $\text{Cu}_2\text{O}+\text{Cu}+\text{Ag}-\text{Cu}-\text{Ti}$ インサート法で得られる Al_2O_3 と鋼接合部の継手強度特性，本論文集，8-4 (1990)，67-73。
- 9) 深谷，和田，末田，真鍋，松本，小林： Al_2O_3 管/金属フランジ構造部材の接合製作に関する研究，本論文集，11-2 (1993)，365-371。

マイクロ接合部の欠陥検出の可能性*

—レーザ照射型熱画像法によるマイクロ接合部欠陥検出に関する研究 (第 1 報)—

仲田 周次**，伊集院正仁***，岩田 剛治****，江本 英明*****

Possibility on the Detection of the Defects in Micro Joints*

—Detection Process on the Defect in the Micro Joints by Infrared Thermal Imaging with Laser Irradiation (1st report)—

by Shuji Nakata**, Masahito Ijuin***, Yoshiharu Iwata**** and Hideaki Emoto*****

Detection process of the defect at the micro joints has been researched and developed based on that the temperature distribution of the joint surface is influenced by the degree of heat transfer coefficient at the interface by the laser irradiation with short duration. For micro-joints of QEP lead, etc. the defects can be shown to be detected theoretically and experimentally, and furthermore experimental results are confirmed by the computer simulation on thermal model of the joint.

Key Words: detection process, micro-joints, interface, thermal imaging, heat transfer coefficient, laser, computer simulation

1. はじめに

近年のエレクトロニクス産業の発展はめざましく、電

子・情報機器は未来社会の中心的位置を占めようとしている。これと同時に電子部品・機器はますます高性能化、高集積化、高密度化し、そのため実装工程の自動化は相対に進んでいるが、マイクロ接合部品質の非破壊検査としては、外観検査の自動化が試みられている程度で、いまだ人間の目視による外観検査が行われているのが現状である¹⁾。

しかし、機器が高集積化、高密度化するにつれて検査効率や検査の信頼性が低下するなど、人的能力による方法では電子機器での接合部品質確保の限界に近づいてきていると思われる。このため、信頼性が高く、経済性のよい自動検査方法の開発が要求されている。さらに最近では、製品に対するニーズの多様化にともない、少量多品種の対象を扱う必要が生じており、対象物に対して汎

*原稿受付 平成 5 年 5 月 26 日 平成 4 年度秋季全国大会で発表

**正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Eng., Osaka Univ.

***正 員 大阪大学大学院 (現日立製作所) Member, Graduate School, Osaka Univ. (Present: Hitachi, Ltd.)

****学 生 員 大阪大学大学院 Student Member, Graduate School, Osaka Univ.

***** 大阪大学 (現西日本旅客鉄道) Osaka Univ. (Present: West Japan Railway Company)

用性のある自動検査装置が要求されるようになっていく。

本研究は、マイクロ接合部の欠陥検出方法に関するもので、接合部表面を急加熱したとき、接合部の内部状態の違いにより熱伝導、熱伝達の状態が異なることによって接合部表面の温度分布が変化するという現象に着目したものである。すなわち、マイクロ接合部表面を YAG レーザにより局部的に極短時間 (100 ms 程度) に急加熱し、それによる接合部表面の温度変化を熱画像として記録・解析し、接合部界面での未接合、ポイドなど内部欠陥を含めた種々の接合部欠陥の検出を行う欠陥検出法を研究・開発することを目的としたものである。

本報告では、ガラスエポキシ基板上の銅ランド上に銅合金 (C7250) リードを接合したマイクロ接合部に存在する内部欠陥 (未接合、ポイド) の検出可能性を熱伝導モデルによるコンピュータシミュレーションにより検討し、次に実験により、マイクロ接合部の内部欠陥や外部欠陥 (ソルダの過不足、ピット、位置ズレ、ブリッジ) の検出の可能性について検討したものである。

2. 実験装置、供試材料及び実験方法

2.1 実験装置

実験装置としては、Fig. 1 に示すようにマイクロ接合部表面を局部的に急加熱するために YAG レーザ加熱装置を、また加熱直後より一定時間間隔で接合部の表面温度・温度分布を測定するための熱画像撮像装置、さらに得られた熱画像を解析するために 16 bit パーソナルコンピュータを用いている。

YAG レーザの波長は $1.06 \mu\text{m}$ で、使用したレーザは光ファイバーで導かれており、レーザ光は約 $400 \mu\text{m}$ の円形となっている。これをリード表面等へ照射すると、長軸約 $600 \mu\text{m}$ 、短軸約 $400 \mu\text{m}$ の楕円形となり、長軸上での光の強度分布は Fig. 2 に示すようにほぼガウス分布となっている。なお、この強度分布は、カーボン薄膜を蒸着させた石英ガラス基板 ($20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$) にレーザ光 (出力 6.4 W) を 0.5 rad の角度で約 1 s 照射し、照射後 0.5 s より 33 ms 毎に 15 枚熱画像を取り込み、その

熱画像を解析する事により調べたものである。

使用した赤外線熱画像撮影装置はリアルタイムレコーダを備えた市販のもので、検出素子として InSb を使用しており、その検出波長は $3.0 \sim 5.4 \mu\text{m}$ で、画像を 33 ms 間隔で、連続的に 300 枚を取得・記録する事が出来る。

本熱画像撮像装置の温度計測特性を調べるために、表面状態が均一な対象材 (厚さ $10 \mu\text{m}$ の Sn めっきを施した純銅 (厚さ 22 mm , 直径 35 mm)) を一定温度に保持し、温度 $323, 343, 363 \text{ K}$ での取得した熱画像のピクセル数と強度 (256 階調で表示) の関係を示したものが Fig. 3 である。この図からも分かるように、対象物体の温度が時間的、空間的に一定でも強度計測値は、ある分布を持ち、その幅は計測対象物の温度が高くなるに従って狭くなっていく。このことは計測対象の試料をある温度以上に加熱しなければ温度測定値の測定精度、信頼性が低くなることを示している。

Fig. 2 Intensity distribution of YAG laser on the silica glass ($\theta: 0.5 \text{ rad}$, direction of elliptic longitudinal axis).

Fig. 1 Experimental apparatus for detection of micro defects.

Fig. 3 Intensity distribution of thermal image plane under constant surface temperature.

2.2 供試材料

基本実験に使用している回路基板は厚さ $35\mu\text{m}$ の純銅箔のランド(幅 $500\mu\text{m}$, 縦 $3000\mu\text{m}$)を張ったガラスエポキシ材($48\text{mm}\times 82\text{mm}\times 1.6\text{mm}$)であり, リード幅は $400\mu\text{m}$, 厚さ $150\mu\text{m}$, リードピッチは $800\mu\text{m}$ で, 材質はCu-Ni-Sn系銅合金(C7250)である. なお, 以下に述べるシミュレーションでの熱伝導モデルはこの場合を想定している. この場合, 接合はガラスエポキシ基板上の銅ランドとリードとで起こっている.

また接合欠陥検出の可能性の実験的検討のために, 上記の他アルミナ基板のAg/Pd(厚さ $10\mu\text{m}$)電極とCu-Ni-Sn Alloy リードを, ソルダを用いてソルダリングした接合部, 導電性接着剤(ドータイト)および非導電性接着剤(アラルダイト)で接合した接合部を, また, 厚さ $10\mu\text{m}$ のAg/Pd厚膜導体が焼成されているアルミナ基板(純度96%)を使用し, Cu-Ni-Sn銅系合金リード(C7250)と, ヒータチップ接合法により接合したものをしている.

2.3 実験方法

マイクロ接合部での欠陥検出の可能性を検討するための実験方法は次に述べるとおりである. すなわち欠陥検出対象としての接合部表面を水平に固定し, 垂直方向または 0.5rad (30度)の角度でリードの長手方向からFig. 4に示すようにレーザを照射し, 試料の直上からレーザ照射と同時に熱画像の撮影を開始し, 33ms毎に1枚の熱画像を連続的に撮像, 記録している.

なお, レーザ照射開始後の熱画像取得時間を正確に指定するために, レーザ照射開始と同期して, 撮像時間を制御しており, その精度は $\pm 0.5\text{ms}$ である.

3. 対象物体の表面状態によるレーザの吸収率

本実験では, レーザ照射により接合部表面を加熱しているため, まず温度上昇に影響を及ぼす因子として, 観測対象物体の表面状態によるレーザ吸収率を熱量計を使用して測定した. すなわち, 自作した熱量計を使用し, 予め熱量計の内部に置いた試料($10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 40\mu\text{m}$)に予めその出力値を検定したレーザ(28W)を垂直方向より一定時間(35s)照射し, 熱量計により温度上昇

Fig. 4 Positioning of laser beam for heating the lead.

度を計測し, 熱吸収率を測定した. なお, 試料として, 表面状態の異なる3種の純銅材—裸純銅, Snめっき純銅, In/Sn 2層めっき純銅—を使用し, それぞれ4回測定した結果の平均値およびばらつきを求めた.

その結果, 熱吸収率は, 裸純銅: 12%, Snめっき純銅: 44%, In/Snめっき純銅: 37%を得ている. なお, この場合, めっき条件およびめっき後の大気中での放置時間などにより熱吸収率が多少変化する.

4. レーザ照射時の接合部温度分布シミュレーション

4.1 接合部に関する熱伝導モデル

レーザ照射によるマイクロ接合部での温度分布の時間的変化を実験的に計測することは, リード寸法が $150\sim 400\mu\text{m}$ 程度と非常に小さいため, 計測法上かなりの困難を伴う. そこでレーザ照射による接合部の温度上昇と温度分布の時間変化を数値的に検討するために, 接合部の熱伝導モデルを作成し, 接合部の温度上昇および温度分布のシミュレーションを行った.

Fig. 5は作成した接合部の熱伝導モデルであり, プリント配線板上におけるランドとQFPリードのソルダリング接合部(平坦部のみ)を想定している. すなわち, ガラスエポキシ基板($10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 1.6\text{mm}$)上の中央にSnを $5\mu\text{m}$ めっきした銅箔のランド($500\mu\text{m}\times 3000\mu\text{m}\times 35\mu\text{m}$)を配置し, それと $11\mu\text{m}$ のSnをめっきした銅合金リード($400\mu\text{m}\times 22\text{mm}\times 150\mu\text{m}$, 材質: C7250)がランドの先端から 1mm の場所に幅 $400\mu\text{m}$, 長さ $1500\mu\text{m}$ で接合されているものである.

また, その時のメッシュサイズは接合部では最小で縦横 $50\mu\text{m}$, 厚さ $5\sim 30\mu\text{m}$ (Snめっきで $5, 11\mu\text{m}$, リードで $30\mu\text{m}$, ランドで $15, 20\mu\text{m}$)と細かく, 接合部からはなれるにしたがって徐々にメッシュサイズを大きくしたものを用いた. 但し, このモデルはリードの幅の中央

Fig. 5 Three-dimensional thermal model of the micro joint.

Table 1 Physical properties of the materials.

Property Material	Thermal conductivity W / (m K)	Specific heat J / (Kg K)	Density Kg / m ³
Pure Cu	398.00	386.00	8880
Cu-Ni-Sn Alloy (C7250)	46.00	376.56	8900
Pure Sn	64.00	235.00	7300
Pure In	82.00	243.00	7310
Glass epoxy	0.63	1500.00	1770

で対称形になっているため、実際のシミュレーションは、モデルの対称線で半分に切ったモデルを用いて行った。

また回路基板の寸法を非常に大きくしてあるのは、基板の寸法の影響を無視できるようにするためである。また銅合金リードに施されためっきは、シミュレーション結果を実験結果と対比し、検証する時の接合品質の向上のためである²⁾。実際はSn:10 μ m, In:1 μ mの2層メッキであるが、モデルの簡単化のために、両金属の熱的な性質が似ているためこれを11 μ m厚のSnめっきとして取り扱っている。この場合には、後述するようにYAGレーザのInの吸収率はSnのそれとは変化するので、吸収率は、Inのそれを採用している。

なお、それら熱伝導シミュレーションに用いた材料の熱的物性値をTable 1に示す³⁻⁵⁾。

次に、境界条件は以下のように設定している。すなわち1)接合部表面には実験で使用するレーザに相当する入熱分布を与え、また2)各界面での熱の流れを熱伝達係数を考慮する事で扱っている。レーザによるリード表面への入熱はレーザ出力Qと吸収率 η の積($\eta \cdot Q$)で与えられる。

接合部に存在する5カ所の界面での熱伝達係数を以下のように表した。すなわち1)リードとランド間の熱伝達係数を h_{l-l} 、2)リード表面、3)ランド表面および4)基板表面と空気との熱伝達係数を各々 $h_{a(cu)}$ 、 $h_{a(cu)}$ 、 $h_{a(sn)}$ 、5)基板とランドの界面での熱伝達係数を h_{l-s} としている。さらにこの熱伝導モデルにおいて、未接合、ボイドなど接合欠陥は熱流を阻害するものであるため、接合界面に熱伝達の悪い領域をつくる事により表現している。この欠陥の場所の熱伝達係数を h_d としている。

次にこれら熱伝達係数の値が問題となるが、これらの熱伝達係数(h_d を除いて)は4.2項に述べるよう実験的に決定している。

また、モデルの初期温度は実験条件に合わせて293 K (20°C)とした。

なお、実際に接合部欠陥の検出を考えると、シミュレーション温度域が293 K~約400 Kであり、試料から外界への熱の輻射は、シミュレーション温度の誤差としては試料全体が400 Kとしても 1.4×10^{-2} K程度と無視できるので境界条件としては与えていない。

温度分布の数値解析には汎用有限要素法プログラムのANSYSを用い、コンピュータとしては、Sun SPARC station 2を使用し、積分タイムステップは約11 nsで行っている。

4.2 界面での熱伝達率の決定方法

まず、未知の界面での熱伝達係数の決定方法は以下に述べる方法によって求めている。まず銅合金リード・空気間の熱伝達係数の決定であるが、Snめっきを5 μ m施した厚さ40 μ mの純銅箔(50 mm×50 mm)を作成し、その中心部を直径400 μ mのレーザを照射して中心点での温度を約200°Cになるように加熱し、その時点での銅箔上での温度分布を温度指示材を用いて測定する。一方表面より空気への熱伝達を考慮した熱伝導モデルを用いて銅箔表面の温度分布を計算し、計算値と実測値が合致する熱伝達係数をもって $h_{a(cu)}$ とし、その結果 $h_{a(cu)}$ としては 1×10^2 W/(m²·K)が妥当な値であるとした。

なお、この時、YAGレーザのSnめっき純銅箔の熱吸収率が問題となるが、この値については、3.項で述べた熱量計による計測結果である熱効率 $\eta=0.44$ を採用している。

次に、ガラスエポキシ基板上的銅ランドを取り上げ、銅ランド・ガラスエポキシ基板間の熱伝達係数を下記の方法で求めている。すなわち、銅ランド(Snめっき:厚さ5 μ m)上にレーザを一定時間照射し、ランド表面の温度を熱画像撮像装置を用いて計算するとともに、熱伝導モデルを用いてレーザを一定時間照射した場合の銅ランド表面の温度を計算し、実験値と計算値の一致より銅ランド・基板間の熱伝達係数 h_{l-s} を求め、 $h_{l-s}=1 \times 10^5$ W/(m²·K)がほぼ妥当な値であるとした。

4.3 接合界面での熱伝達係数の接合部温度分布への影響

接合界面での熱伝達係数 h_{l-l} は接合材料の組合せ、接合部での界面状況や接合状態によって異なる。そこで接合界面での熱伝達係数の違いによって最高表面温度(レーザ照射中心部での温度)にどのような影響を与えるのかを検討している。

Fig. 6は、熱伝導モデルによるシミュレーションにより、Fig. 5に示したモデルにおいてレーザ(3.2 W)を照射した場合、100 ms後の接合部表面温度が接合界面での熱伝達係数 h_{l-l} によりどのように影響されるのかを示したものである。これにみるように接合界面での熱伝達係数 h_{l-l} が 1×10^{-2} W/(m²·K)より 1×10^5 W/(m²·K)

Fig. 6 Relationship between heat transfer coefficient between lead and land (h_{l-l}) and max. surface temperature (T_{max}).

と小さい場合は $T_{\max}$ は約550 Kと高く、特に 1×10^7 W/(m²・K) 以下だとリードからランドへ熱がほとんど伝わらず、リードのみを加熱したときと同じ温度になる。しかし、それ以上の値になると、最高温度は急激に低下し、 1×10^6 W/(m²・K) 以上の時には約380 Kと約170 Kの温度低下が生じる。

なお、銅合金リード・銅ランド間および銅ランド・基板間の熱的境界条件を熱伝達係数としてではなく、界面で熱流一定として数値計算で求めた温度は、図にみるように熱伝達係数 $h_{i-1} = 1 \times 10^7$ W/(m²・K) 以上の場合とほとんど同じ値であることが知られる。

以上の事実は次のことを物語っている。すなわち、接合界面での熱伝達状態の変化により接合部の表面温度はレーザにより与えられた熱が接合界面をへて熱伝導で熱流一定の熱的境界条件で求められる表面温度から、リードのみを加熱した条件の時の表面温度まで変化する。従って、表面温度および温度分布を計測することにより接合界面の状態に関する情報を知り得る。

また、シミュレーションの精度を調べる為に別途実験を行い、その誤差が5%以下である事を明らかにしている。

4.4 接合欠陥の存在が接合部表面温度分布に及ぼす影響

接合界面 (400 μ m $\times$ 1500 μ m : 一定) に250 μ m 角の未接合欠陥を有する場合を想定した接合部縦断面での温度分布のシミュレーション結果を Fig. 7 に示している。また比較のため、接合欠陥が無い接合部での温度分布を Fig. 8 に示している。

まず、Fig. 7 をみると、接合界面での未接合部よりの熱の反射が明確に認められ、その影響がリード表面にまで到達しているのが見られる。次に、これらの図を比較すると、接合欠陥による影響は欠陥に相当する表面部分の

Fig. 7 Temperature distribution of the joints (longitudinal cross section, Q: 3.2 W, defect size: 250 $\times$ 250 μ m).

Fig. 8 Temperature distribution of the joints (longitudinal cross section, Q: 3.2 W, no-defect).

Fig. 9 Temperature distribution of the joints at the surface (Q: 3.2 W, defect size: 250 $\times$ 250 μ m, above T_c).

温度上昇として現れているのが認められる。すなわち、接合部の表面の温度分布を解析する事により接合界面に存在する内部欠陥を検出できる可能性がある事が分かる。

これらの結果より、熱伝導の線形性を考慮すると、一次近似として、無欠陥接合部での最大表面温度 ($T_{\max}$) をしきい値 (T_c) として、このしきい値以上の表面温度領域を検出することにより欠陥の寸法および欠陥位置の検出ができると考えられる。そこで、欠陥が存在しないモデルでの最高温度を閾値 (T_c) として欠陥が存在する接合部表面での温度差 ΔT ($\Delta T = T - T_c$) の分布がどの様に現れるかを表したのが Fig. 9 である (上半面のみ表示)。この図からも分かるように接合欠陥の表面温度への影響は高い温度領域として円状に現れているのが見られる。この領域の大きさ欠陥の大きさとがある条件範囲で一定の関係がある事は別途確認してある (欠陥サイズと T_c を越える領域の大きさ及び温度上昇度合の関係の詳細は第2報³⁾に記述)。このことより内部欠陥の判定には欠陥を有する接合部での最高温度 $T_{(d)\max}$ と欠陥の無い接合部での最高温度 $T_{(n)\max}$ との差 $\Delta T_{\max}$ を用いれば良いことが理解される。なお、以上の結果での $\Delta T_{\max}$ の値は、接合面積、接合欠陥面積など他の因子にも依存する事に注意を要する (第2報参照³⁾)。

5. マイクロ接合部の熱画像解析による内部欠陥情報の抽出と接合欠陥検出の可能性

5.1 界面接合状態の接合部表面温度への影響

一般に接合部界面での接合材料の種類により熱的な状態すなわち熱伝達係数が変化する。そこで接合界面状態によって表面温度にどのような影響がでるのか実験的に検討するために、接合界面状態を変化させた試料として、Fig. 10 に示すように Ag/Pd (3 mm $\times$ 3 mm $\times$ 10 μ m) を焼成したアルミナ基板 (254 mm $\times$ 254 mm $\times$ 635 μ m) に銅合金リード (0.4 mm $\times$ 20 mm $\times$ 0.15 mm, 材質: C7250) を(1)ソルダリング、(2)導電性接着剤、(3)非導電性接着剤の3種の接合方法で接合したものを用いて測定した結果が Fig. 11 である。なお、接合界面での接合材の厚さは8~20 μ m である。これに見るように接合界面での接合部の熱物性値すなわち熱伝達度が変化する事によって表面温度に大きな影響が現れる。この事は、界面での熱伝達係数が変化する事を利用して、接合状態や内部欠陥事報が得られることを示している。

5.2 接合部での内部欠陥の検出

次に、接合部試片としてエポキシ基板上に QFP パッケージをソルダリングによって接合した接合部を使用し、その接合部の欠陥の有無を調査した。Fig. 12 (a), (b) は接合部の外観およびピール試験による破断面状況 (基板側) を示したもので、Fig. 12 (c) はレーザ照射開始から

Fig. 10 Micro joints with different heat conductance at the interface.

Fig. 11 Behavior of average temperature at the joint surface, under several materials with different heat conductance.

(a)

(b)

(c)

500 μm

Fig. 12 Detection of the defect of solder joint on print circuit board. (a) Appearance of reflow soldered joint, (b) Fractured plane of reflow soldered joint (PCB side), (c) Thermal image of reflow soldered joint.

(a)

(b)

250 μm

Fig. 13 Detection of several defect at joint in hybrid integrate circuit by thermal image. (a) Appearance of reflow soldering joint, (b) Thermal image of reflow soldering joint.

0.1 s 後の接合部表面での熱画像 (温度分布) を示している。これにみるように熱画像における高温部は破断面でのボイド集中部分 (約100 μm 角) とよく一致しているのが認められる。

この他、ソルダの過不足、ピット、リードの位置ずれ、ブリッジなど外部欠陥も検出可能である事が別途確認されている。

また他の例として、厚さ10 μm の Ag/Pd 厚膜 (3 mm×3 mm) を焼成したアルミナ基板 (254 mm×254 mm×635 μm) に厚さ150 μm の銅合金リード (0.4 mm×20 mm, C7250) をヒーターチップ接合法により接合したものを用い、リード側の接合箇所の一部を凹部を作成して人工欠陥を作成した場合の熱画像を撮像し、接合欠陥検出の可能性について検討した。Fig. 13(a)は接合部のピール試験による破断面状況 (基板側) を示したもので、Fig. 13(b)は接合部表面での温度分布を示している。これにみるように熱画像における高温部は破断面での人工欠陥部分ないし、接合されていない場所とよく一致しているなど熱画像より接合界面での諸情報が抽出し

得ることが認められる。

6. 結 論

ガラスエポキシ基板上の銅ランドに銅合金 (C7250) リードを接合したマイクロソルダリング接合部に存在する内部欠陥や、外部欠陥の検出の可能性の検討を、熱伝導シミュレーションと実験を用いて行い、以下の主な結論を得た。

1) 熱伝導モデルを構成し、レーザ照射時での接合部の温度シミュレーションにより実験結果との誤差 5% 以下で接合部表面の温度分布を求める事が可能である。

2) 接合状態を接合界面での熱伝達率によって表現して接合部表面温度分布をシミュレーションにより解析した結果、接合界面の状態がリード表面の温度上昇に反映されている。

3) 接合界面に存在するボイドや未接合などの内部欠陥を接合界面に熱流を遮断する領域を作成する事により表現し、レーザ照射時での接合部温度をシミュレーションにより解析した。その結果、欠陥が存在している接合部の表面温度 $T_{(d)max}$ と、欠陥が存在しない接合部の温度分布の最高温度 $T_{(n)max}$ の差 ΔT_{max} ($T_{(d)max} - T_{(n)max}$) により欠陥情報が得られる事を示した。

4) ソルダ、2 種の接着剤による接合部にレーザを照射し、その表面温度を計測する事により、接合材の違

いが表面温度情報により得られる事を実験的に示した。この事は逆に表面温度情報より接合界面情報が得られる事を物語っている。

5) 実際の QFP のガルウィング型リードのソルダリング接合部を対象として、接合部にレーザを照射し、接合部熱画像を解析する事によりボイド、未接合など接合欠陥の検出可能性があることを実験的に示した。

参 考 文 献

- 1) ㈱日本プリント回路工業会編, “表面実装技術 (SMT) の動向調査報告書”, ㈱日本プリント回路工業会, (1992), p. 319-351.
- 2) 仲田ら: “低温反応接合材利用による接合プロセスの低温化および接合品質の向上”, “微細電子材料の接合現象とプロセス制御に関する研究 (第 3 報)”, 溶接学会論文集, Vol. 11, No. 1, (1993), p. 202-208.
- 3) 日本機械学会編, “伝熱工学資料 改訂第 4 版”, 日本機械学会, (1987), p. 314-316.
- 4) 三菱電機機, 合金製品技術資料, No. 277006.
- 5) 日本マイクロエレクトロニクス協会編, “厚膜 IC 化技術”, 工業調査会, (1984), p. 8.
- 6) 岩田ら: “熱伝導シミュレーションによる接合部の欠陥の検出条件及び検出限界寸法の検討—レーザ照射型熱画像法によるマイクロ接合部欠陥検出に関する研究 (第 2 報)—”, 溶接学会論文集, Vol. 11 (1993), No. 4, p. 515-519.

熱伝導シミュレーションによる接合部の欠陥検出条件 及び検出限界寸法の検討*

—レーザ照射型熱画像法によるマイクロ接合部欠陥検出に関する研究 (第 2 報)—

岩田 剛治**, 仲田 周次***

Optimal Detection Condition and Minimum Defect Size for Detection by Computer Simulation*

—Detection Process on the Defect in the Micro Joints by Infrared
Thermal Imaging with Laser Irradiation (2nd report)—

by Yoshiharu Iwata** and Shuji Nakata***

The position and size of internal defect, optimal detection condition and minimum defect size on the inspection are investigated on the computer simulation on thermal model of the joint.

The size and position of internal defect can be determined by the area of temperature above T_c on the joint surface, and then optimal detection condition (laser power, taking time of thermal image) are decided by the relation between temperature behavior of the joint under laser irradiation and characteristics of thermography.

Furthermore, minimum defect size on the inspection is influenced by kinds, thickness of the lead and thermal transfer coefficient at the interface of the joint, and is nearly $50 \mu\text{m}$ in the case of the micro joint between copper alloy lead with $150 \mu\text{m}$ thickness and glass epoxy substrates (1.6 mm thickness).

Key Words: detection process, micro-joints, interface, thermal imaging, heat transfer coefficient, laser, computer simulation

*原稿受付 平成 5 年 5 月 28 日 平成 4 年度秋季全国大会で発表

**学 生 員 大阪大学大学院 Student Member, Graduate School, Osaka Univ.

***正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Eng., Osaka Univ.