レーザ照射型熱画像法の TAB 接合部欠陥検出への適用の検討*

岩田 剛治**, 中島 泰***, 藤本 公三**, 仲田 周次**

Detecting Defect on TAB Joints by Infrared Thermal Imaging with Laser Irradiation*

by Yoshiharu IWATA**, Dai NAKAJIMA***, Kozo FUJIMOTO** and Shuji NAKATA**

This paper discusses the detection process on the defect in the TAB bonds by infrared thermal imaging with laser irradiation. We have previously discussed about the detection process for QFP gullwing type lead. But TAB bonds have three different factors which differentiate the detection process from that of the QFP gullwing type lead, i.e., (1) large valid heat capacity (Si-chip) under the bond interface, (2) lead thickness and (3) two different structures (face-up type, face-down type). This paper discusses about the influence of these three factors using thermal analysis. (1) The influence of the TAB bonds large heat capacity on the temperature distribution is that the thermal flow through the bond interface is increased. (2) The influence of the lead thickness is that thermal flow reflection from the defective part on the bond interface is attenuated by the lead thickness value. (3) We can detect the defect of face-up type structure by using the same detection process as the QFP gullwing type and the face-down type structure by changing the position of the laser irradiation and observation from the lead surface above the bond part to an observable lead surface. Then a detection process of internal micro defect in TAB bonds is theoretically established by infrared thermal imaging with laser irradiation.

Key Words: detection process, TAB-bonds, interface, thermal imaging, Si chip, heat transfer coefficient, laser, computer simulation

1. はじめに

集積回路の急速な能力の向上とグラフィカルユーザインタフェースへの要望の高まりにともない、CPUやメモリ等のバスの本数が大幅に増え、パッケージの多ピン化への要求が高まってきており、これまでLSIのパッケージングで用いられてきたワイヤボンディング技術に変わり、TAB技術が用いられるようになってきた¹⁾。

しかし、現在TAB接合部における有効な欠陥検出方法が確立されていない。動作試験は電気的な導通のみを調べるだけなので、接合部が接触しているだけでも検査に合格することから、その信頼性を保証するには問題を抱えている¹⁾。また、接合部が微細なため、外観検査でも信頼性を保証することは困難である。そこで、本研究では筆者らがQFPのガルウィング型リード接合部欠陥検出方法として検討してきた、レーザ照射型熱画像法²⁻⁶⁾を用いたTAB接合部の内部欠陥検出の可能性を検討する。レーザ照射型熱画像法とは、レーザで接合部を急熱した時の接合部表面の温度分布から接合部に存在する内部欠陥を検出する方法

で、レーザの照射により接合部表面から入った熱が接合部に内部欠陥が存在していると、そこで熱が反射し接合部表面の温度分布が変化するので、それを赤外線カメラで撮像し温度分布として認識し、正常な接合部の温度分布との変化から欠陥を検出する方法である。この時欠陥による温度分布への影響を熱の反射としたのは熱伝導の線形性を考慮すれば欠陥のある接合部の温度分布は欠陥がないときの接合部の温度分布と欠陥部で流れるはずであった熱流がそこで発熱した場合の温度分布の和で表されるからである。

しかし、QFPのガルウィング型リード接合部(以降QFP接合部と略する)がガラスエポキシ等の樹脂基板の上の銅ランドとリードをソルダで接合された構造をとるのに対し、TAB接合部は、リードとSiチップを金バンプを介して接合されている構造をとる。また、その接合部のサイズも異なり、QFP接合部の場合、リードピッチが0.3mm以上であるのに対し、TAB接合部では、リードピッチが0.1mm程度になりサイズが小さくなる。そのため、QFP接合部では問題にならなかった影響を考慮する必要がある。

2. TAB接合部での欠陥検出プロセスの検討における考え方

まず、TAB接合部はQFP接合部と異なり、接合界面の下に接合部のサイズに比して巨大で熱伝導が良いSiチップが存在することにより、接合界面での熱の流れが増大すると考えられる。このため、接合部直下の基板の熱伝導の

*原稿受付 平成9年11月25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:三菱電機) Member, Graduate School, Osaka Univ. (Present Mitsubishi Electric corp.)

Fig. 1 Illustration of the relation between lead size and thermal condition.

- (a) Thin lead type
- (b) Standard lead type
- (c) narrow lead type

違いが欠陥検出プロセスにどのような影響を及ぼすか検討する必要がある。

また、接合部のサイズがQFP接合部に比して非常に小さいので、この接合部サイズの微細化による接合部表面での温度分布に対する影響を検討する必要がある。接合部サイズの変化としては、Fig. 1に示すように、(b)を基準接合部形状とした場合(a)リード厚みが減少した場合、(c)リード幅・接合長が減少した場合がある。

Fig. 1(a)に示すリード厚みが減少すると、加熱面であり温度分布観察面であるリード表面から、欠陥の存在する接合界面までの距離が短くなる。これは、欠陥が存在する接合界面を通る熱や、欠陥による熱の反射が観察面に出るまでの減衰量や時間を減少させることになり、欠陥検出プロセスに大きな影響を与えと考えられる。この時の欠陥からの熱の反射の減衰率を表す指標として Damping factor = $\Delta T_s / \Delta T_i$ (ΔT_i : 接合界面での欠陥からの熱の反射により出来る温度上昇量, ΔT_s : リード表面での欠陥からの熱の反射により出来る温度上昇量) を用いる。

Fig. 1(c)に示すリード幅、接合長が減少すると、接合部の加熱において熱が入る面積が小さくなるが、その分接合面積を小さくしているために熱の流れ方にはほとんど影響を与えないと考えられる。しかし、熱伝導の特性を考えるとリード厚さより細いリードになると、欠陥からの熱の反射がリード側壁に反射しバックグラウンドの温度 (Background level (T_b)) を上昇させ S/N 比を減少させると考

Fig. 2 Structure of TAB bonds.

- (a) Face-up type
- (b) Face-down type

えられる。しかし、一般にこのような形状を持つリードは少ないため、本研究ではこれについては検討しないことにする。

次に、TAB接合部は Fig. 2(a), (b)に示すようにフェイスアップ型、フェイスダウン型の二つの接合部の構造を持つため、フェイスアップ型(a)では、接合部のリード表面にYAGレーザを照射し、その温度分布を計測すればよいが、フェイスダウン型(b)の構造を持つ接合部では接合部に直接YAGレーザを照射できないという問題がある。

Fig. 3 Illustration of laser heating method for face-up type.

そこで、本研究では、まず Fig. 3 に示すフェイスアップ型接合部を用いることにより QFP 接合部と同様に接合部直上のリード表面をレーザにより加熱したときの接合部における温度分布を熱解析により接合部の基板による欠陥検出に与える影響と、リードサイズが欠陥検出に与える影響を検討する。次にフェイスダウン型 TAB 接合部における欠陥検出法について検討する。

3. 基板材料及び接合部サイズのレーザ照射型熱画像法への影響

3.1 フェイスアップ型 TAB 接合部の熱解析モデルの作成

TAB 接合部における構造及び基板材料が欠陥検出に与える影響を検討するには基板の熱物性値を変化させたり、接合部のサイズ等を種々に変化させる必要がある。また、任意の欠陥が存在する接合部のレーザ照射時の接合部の温度分布を実験的に求めようとしても、欠陥の有無及び大きさをコントロールできないため不可能である。この時欠陥による温度分布への影響を熱の反射としたのは熱伝導の線形性を考慮すれば欠陥のある接合部の温度分布は欠陥がないときの接合部の温度分布と欠陥部で流れるはずであった熱流がそこで発熱した場合の温度分布の和で表されるからである。そこで、レーザ照射による接合部の温度分布を数値的に検討するために、接合部の熱解析モデルを作成し、接合部の温度上昇および温度分布の解析を行った。Fig. 3 は作成した接合部の熱解析モデルの形状・サイズを表し、Fig. 4 は接合部の拡大図でレーザ（短軸約400 μm、長軸約600 μm、一様分布）照射位置（ハッチング部）と接合部のサイズを示したものである。これらの図に示すように、接合部の構造は Si チップ（4 mm 角、厚さ0.4 mm）上の Al 電極（50 μm 角、厚さ1 μm）に高さ30 μm の金バンプと、厚さ35 μm、幅50 μm のリードを接合したものである。なお、熱解析に用いた材料の熱的物性値を Table 1 に示す⁷⁾。

境界条件は以下のように設定している。すなわち、

- 1) 入熱としては接合部表面に一樣な強度分布の熱が流入するとして与える

Fig. 4 3D model of bond part.

Table 1 Physical properties.

Material	Thermal conductivity λ (W/m·K)	Specific heat c (J/kg·K)	Density ρ (kg/m ³)
Al	237	905	2700
Au	315	129	19320
Cu	398	386	8880
Si	148	713	2330
Sn	66.6	228	7170
Al ₂ O ₃	36	779	3890
SiO ₂	10.4	745	2660

Table 2 Reflection, absorption and transmission of metal and Si.

	Reflection ρ (%)	Absorption α (%)	Transmission τ (%)
Al	93.9	6.1	22
Au	98.2	1.8	
Cu	98.5	1.5	
Si	55	23	
Sn	48	52	

$\lambda=1.06\mu\text{m}$

- 2) 各界面（接合部表面と空気の界面、リードとバンプの接合界面）での熱の流れを熱伝達係数を考慮する事で扱う。

まず、フェイスアップ型接合部の場合のレーザによる入熱は、レーザ出力とリード表面の Sn メッキの吸収率の積で与えられる。なお、熱解析モデルで使用されている材料の YAG レーザに対する反射率、吸収率、透過率を Table 2⁸⁾ に示す。ただし、Si チップの透過率については別途、実際のシリコンチップを用い、分光器によって YAG レーザの波長（1.06 μm）のものを実測した値（0.22）とし、Sn メッキの吸収率（0.52）も別途熱量計を用いて実験的に決

定した。

次に、接合部に存在する二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) リードと金バンプ間の熱伝達係数を h_1 (良好な場合で 10^9 W/(m²K), 不良な場合で 0 W/(m²K))
- 2) 接合部表面と空気との熱伝達係数を h_a (100 W/(m²K)²⁾)

としている。さらに、この熱解析モデルにおいて、未接合・ボイドなど接合欠陥は熱の流れ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 (h_1 の不良な場合と同じ 0 W/(m²K))としている。これは、欠陥がある場所での界面の状況と近い数 μm の幅で向かい合った金属板間の熱伝達率が、 1.3×10^3 W/(m²K) と小さく⁹⁾、後述の熱解析の結果からも明らかになるが、断熱として扱っても良いことがわかっている。

また、熱解析モデルの初期温度は実験条件に合わせて 300 K とした。熱解析には汎用有限要素法プログラムの ANSYS を使い、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。

3.2 基板材料が接合界面欠陥情報検出に与える影響の検討

接合界面での熱伝達係数 h_1 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。ただし、TAB 接合部では接合界面を通った熱はリードと厚さがあまり変わらない金のバンプを通り、熱伝導の良い Si チップへ Al 電極を通して伝わっていく。TAB 接合部は接合部の下にある基板材料が熱伝導の良い Si で、そのサイズが接合部のサイズに比べて非常に大きく、接合界面を通る熱が増えるため、接合状態の影響が大きく出ると考えられる。これは Si チップとガラスエポキシ樹脂のおおのの有効熱容量 (レーザ照射時間内に約 90% の熱が届く距離を半径とした半球) が、Si チップで約 3.8×10^6 J/K、ガラスエポキシ樹脂で約 8.5×10^2 J/K となっており、Si チップがガラスエポキシ樹脂の約 4400 倍の熱容量を持つからである。そこで、TAB 接合部での基板材料の影響をよく反映すると考えられる接合界面での熱伝達係数とリード表面での最高表面温度の関係に与える影響が QFP 接合部と比べてどのようになるかを検討する。この関係は、熱伝達率の良いときと悪いときの温度上昇がそれぞれ入熱に比例することより、それらの比で評価できる特徴を持っている。

Fig. 5 はレーザ (0.7 W) を Fig. 2(a) に示した接合部直上に照射した場合、100 ms 後の接合部表面の最高温度の熱伝達係数 h_1 による影響を、接合界面での熱の流れをほとんど阻害しない $h_1 = 1 \times 10^9$ W/(m²K) の時を基準温度とし、それぞれの h_1 での接合部表面での最高温度との差で表したものである。これにみるように接合界面での熱伝達係数 h_1 が

Fig. 5 Relation ship between h_1 and max temperature difference of Cu lead surface.

1×10^1 W/(m²K) から 1×10^3 W/(m²K) と小さい場合では、 1×10^7 W/(m²K) 以上のリードからバンプへ熱の移動の妨げがない時より約 22 K も高くなり、リードのみを加熱した時と同じ温度になる。また、Fig. 6(a)(b) に示すように、欠陥の有無での接合部での温度上昇の比は約 22 倍 (22.4 K/1.0 K) にもなり、QFP 接合部の時の約 3 倍 (257.3 K/87.2 K)²⁾ に比べて著しく増大し、接合界面の状況を強く反映する事が分かる。これは、QFP 接合部におけるガラスエポキシ樹脂の基板が熱の流れを妨げ、銅ランドから熱を逃げにくくさせているのに対して、TAB 接合部における Si チップはヒートシンクの役割を果たすために TAB 接合部では接合界面での熱流が増大するためである。

また、Fig. 6(a)(b) に示すように、接合部の温度分布も大きく変わり、接合界面の熱伝達係数 h_1 が大きい時(a)は、接合部から基板へ逃げる熱が多いために、レーザ照射中心であるにもかかわらず接合部で温度が低く、接合部でないリード部の方が温度が高くなるのに対して、接合界面での熱伝達係数 h_1 が小さい時(b)は、リード以外に熱が伝わらないため、レーザ照射中心である接合部の直上が最も温度が高くなっている。この結果より、未接合欠陥部での熱伝達率を断熱に設定しても、その影響は 1% 程度で問題が無いことが明らかになった。

そこで、接合部の一部に欠陥が有る場合を想定して、Fig. 7 に示すような接合界面 ($50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$: 一定) に $25 \mu\text{m}$ 角の未接合欠陥を有する場合を想定した接合部の熱解析モデルを作成し、接合界面での未接合欠陥以外の部分の熱伝

(a) $h_1 = 10^9 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ (b) $h_1 = 10^1 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

Fig. 6 Temperature distribution at the bond (cross section view).
 (a) $h_1 = 10^9 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
 (b) $h_1 = 10^1 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

Fig. 7 Defect part on bond interface.

Fig. 8 Relationship between h_1 and max temperature difference of Cu lead surface both with defect and without defect.

の最高温度より高くなり、欠陥による影響が見られる。

これらのことより、TAB 接合部のように接合界面の下に大きな熱容量を持つ基板が有る接合部では、接合界面での熱の流れが増大し、接合状態の接合部表面の温度分布への影響は非常に大きくなる。また、接合界面での熱流の増大に伴い、接合状態の検出が行いやすくなる事が明らかになり、局所的な欠陥に対しても検出できることが明らかになった。

3.3 接合部サイズの接合界面欠陥情報検出に与える影響の検討

接合部サイズにより、接合界面情報がリード表面温度分布に及ぼす影響がどのように変化するかを検討するために、熱伝導の線形性を利用して、Fig. 9 に示すように欠陥部からの熱の反射を欠陥部からの発熱に置き換えて、その発熱の影響 (ΔT_1 : 接合界面での温度分布の最小値を基準とした時の最高温度とその基準温度との差) がリード表面の温度分布 (ΔT_s : 接合表面での温度分布の最小値を基準とした時の最高温度とその基準温度との差) にどのように現れるかを検討した。

この時、熱伝導論的にはリードの板厚によってその影響の出方が大きく変化することが考えられるのでリードの板厚をこれまで標準としてきた $35 \mu\text{m}$ の 0.1 倍の $3.5 \mu\text{m}$ から 5 倍の $175 \mu\text{m}$ まで変化させて熱解析を行い、欠陥からの熱の反射の減衰率 (Damping factor = $\Delta T_s / \Delta T_1$) を求め

達係数 h_1 を $1.0 \times 10^1 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ から $1.0 \times 10^9 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ まで変化させて未接合欠陥検出の可能性を検討した。その結果を表したのが Fig. 8 である。この図に示すように、TAB 接合部でも QFP 接合部の場合と同様に、欠陥の有る場合のリード表面の最高温度が欠陥の無い場合のリード表面で

 Fig. 9 Illustration of relation between lead surface ΔT_s and interface ΔT_i .

 Fig. 10 Relation between $\Delta T_s/\Delta T_i$ and lead thickness under each time.

た。その結果が Fig. 10 である。この図に示すように、欠陥の影響はリードの板厚が薄いほど早く、そして大きく出ていることが分かる。そして、0.1 s 程度でその影響は定常状態になることが分かる。

これらのことより、接合部のリードが薄くなればなるほどその内部に存在する欠陥の影響が、リード表面にほとんど減衰せずに、そして早く出ることが分かる。

4. レーザ照射型熱画像法のフェイスダウン型 TAB 接合部での欠陥検出方法の検討

4.1 フェイスダウン型 TAB 接合部の熱解析モデルの作成

フェイスダウン型接合部に対してはフェイスアップ型 TAB 接合部と異なり、接合部に直接レーザを当てることはできない。しかし、接合部の詳しい欠陥情報を得るためには接合部の出来るだけ近くを加熱・観察しないといけな

Fig. 11 Illustration of laser heating method for face-down type.

(a) laser irradiation through the Si chip
(b) laser irradiation on the lead

い。そこで、本研究では

- 1) Si が赤外線 ($1.06 \mu\text{m}$) をある程度 (22%) 透過する性質を用いて、Si チップを通してアルミ電極に YAG レーザを照射し、その時のリード上での温度分布を Si チップを通して熱画像を撮像する事により、接合部の近傍を加熱・観察する方法である Fig. 11 (a)
- 2) 欠陥に関する情報はある程度減衰されてでも確実にレーザ照射・温度分布観察が出来る方法としてリードの Si チップに覆われていない部分にレーザを照射することにより接合部を加熱し、リード上の温度分布を調べる方法である Fig. 11 (b)

の二つの方法を用いた場合の熱解析モデルを用いてフェイスダウン型 TAB 接合部の接合界面における欠陥検出の可能性を検討する。

なお、Si チップを通して Al 電極が加熱されるとき接合部への入熱は、Si チップの透過率分だけが Al 電極に届くので、レーザ出力と Si チップの透過率と Al への吸収率の積で与えられる。この時、Si チップには吸収に見合った発熱を与えている。

4.2 フェイスダウン型 TAB 接合部における欠陥検出方法の検討

フェイスダウン型の接合部について Fig. 11 (a) の欠陥検出方法を用いて接合界面での熱伝達係数 h_1 の変化に対するリード上での最高温度の変化を、接合界面での熱の流をほとんど阻害しない $h_1 = 1 \times 10^9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ の時を基準温度としそれぞれの h_1 での接合部表面での最高温度との差を熱解析により求めた。その結果が Fig. 12 である。この図に示すように、接合界面での熱伝達の変化によってその影響がリードに出ていることが分かる。しかし、その大きさは 2.8 K と非常に小さくなる。また、その値を大きくしようとレーザ出力を上げると Si チップの温度が上昇しデバイスを破壊する可能性があるためあまり大きく出来ない。つまり、Si チップを通して加熱して欠陥を検出する場合は欠陥検出精度が落ちると考えられる。

一方、Fig. 11 (b) の欠陥検出方法を用いて、先ほどと同様に接合界面での熱伝達係数 h_1 の変化に対するリード上での最高温度（レーザ照射中心付近）を熱解析により求めた。その結果が Fig. 13 である。この図に示すように接合界面

Fig. 12 Relation ship between h_1 and max temperature difference on Cu lead surface at face-down type structure (laser irradiation through the Si chip).

Fig. 13 Relation ship between h_1 and max temperature difference of Cu lead surface at face-down type structure (laser irradiation on the lead).

の状態が良好な場合と、良好でない場合の最大の差が 26.3 K と、フェイスアップ型の接合部 (21.9 K) と同じ程度に接合界面の状態がリード表面の最高温度より知ることが出来る事がわかる。この時最大温度差がフェイスアップ型よりも大きいのは銅リードへの熱の逃げの影響が Si チップへ逃げる熱量より大きいためと考えられる。

5. 結 論

レーザ照射型熱画像法の TAB 接合部への適用を考え、欠陥検出プロセスへの基板材料、接合部サイズの影響、レーザ照射・観察方法の影響について熱解析による検討を行い以下のような結論を得た。

(1) フェイスアップ型 TAB 接合部を用いて、レーザ照射型熱画像法による欠陥検出プロセスに影響を与えると考えられる基板材料の影響を調べた結果、基板の有効熱容量が大きい Si チップの方が、ガラスエポキシ基板より接合界面の情報がリード表面によく反映される。

(2) フェイスアップ型 TAB 接合部を用いて、レーザ照射型熱画像法による欠陥検出プロセスに影響を与えると考えられる接合部サイズの影響を検討した結果、リードの厚さが増すと、接合界面に存在する内部欠陥によって反射された熱が減衰するのに対して、リードの厚さが薄くなると欠陥によって反射された熱の減衰が小さくなり、3.5 μm のリードの厚では減衰量は 1% 以下になる。

(3) フェイスダウン型 TAB 接合部について Si チップを通して接合部を加熱した場合と、リードの Si チップに遮られていない部分にレーザを照射した場合の 2 つの欠陥検出条件を検討した。その結果、フェイスダウン型 TAB 接合部での欠陥検出は Si チップに覆われていないリード部にレーザを照射し、熱画像を撮像することにより、接合状態による接合部の最高の温度差がフェイスアップ型 21.9 K に対して 26.3 K となり、フェイスアップ型と同様な接合状態の検出が可能であることを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 財団法人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，財団法人日本プリント回路工業会，(1992)，p. 319-351.
- 2) 仲田，伊集院，岩田，江本：マイクロ接合部における欠陥検出の可能性—レーザ照射型熱画像法によるマイクロ接合部の欠陥検出に関する研究(第1報)—，本会論文集，vol. 11, No. 4(1993)，p. 509-515.
- 3) 岩田，仲田：欠陥の検出条件およ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の欠陥検出に関する研究(第2報)—，本会論文集，Vol. 11, No. 4(1993)，p. 515-519.
- 4) 岩田，仲田：ガルウィング型リードのソルダーリング接合部のヒール部でのフィレットの形成度合いの検出—レーザ照射型熱画像法によるマイクロ接合部の欠陥検出に関する研究(第3報)—，本会論文集，Vol. 12, No. 3 (1994)，p. 451-456.
- 5) Y. Iwata, M. Ijyuin and S. Nakata: Detection on the Defects at the Soldered Joints in the QFP of Gull Wing type, Proc. 1st European conference on Electronic Packaging Technology, p. 39-42, 1994, February, Essen, Germany
- 6) Y. Iwata and S. Nakata: Optimal Condition and Detectable Limit of the Defect Size for the Detection of the Micro Defect by Infrared Thermal Image Process, Proc. the 8th International Microelectronics Conference, p. 388-392, 1994, April, Omiya, Japan.
- 7) 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.
- 8) 東京天文台編：理科年表1986年版，丸善株式会社，(1986)，p. 511.
- 9) 小泉睦男：移動・速度論，昭晃堂，第4章，p. 61.