細密リードのレーザはんだ付に関する研究 (第2報)*

— ビーム制御によるはんだ付の高速化 —

村上 光 平** 安 達 照*** 弘 田 実 保†
林 修*** 星之内 進** 阪 尾 正 義††

Study of a Laser Soldering Process for Fine-Pitch Leads (2nd Report)
— Development of the High Speed Soldering Process by a New Beam-Scanning Technique —

Kohei MURAKAMI, Akira ADACHI, Jitsuhito HIROTA, Osamu HAYASHI,
Susumu HOSHINOCHI and Masayoshi SAKAO

This paper describes the development of a new laser soldering technique for surface mount assemblies. The new technique, using a focused YAG laser beam, has a superior performance. It can be applied to TCP (Tape Carrier Package) assemblies for fine pitch leads and offers a no-bridge soldering process. A new beam-scanning technique was used to accomplish a high speed soldering process. First, the performance of preheating method was evaluated, and this method proved most effective in TCP assembly. Second, to obtain more flexibility in assembly, the new beam-scanning technique, which provided beam-resting time on pads of PCB (Printed Circuit Board), was investigated. The beam-resting time was determined by theoretical and experimental analysis of solder melting volume. From these results, it was shown that the new laser soldering beam-scanning technique offers the capability to assemble high lead counts and fine pitch leads such as TCP.

Key words: surface mount assembly, laser soldering, tape carrier package, printed circuit board, no-bridge soldering process

1. 緒 言

ゲートアレイなどの高集積半導体素子を回路基板に高密度実装するため TCP (Tape Carrier Package) が開発され、製品への実用が始まりつつある。TCP の実装では、局部加熱ではんだ付けする必要性から、レーザはんだ付が入熱制御性が高い点で有望視されている。しかし、従来のレーザはんだ付をリードピッチが $250\ \mu\text{m}$ 以下の TCP 実装に適用すると、隣接する複数リードのはんだが同時に熔融するため、隣接する端子がはんだで導通するブリッジ不良が発生しやすくなる。

本研究は、レーザの特徴を活かして TCP などの細密リードを高品質 (ブリッジレス) にはんだ付する技術を開発することを目的としている。前報では、TCP の微細リードをブリッジレスではんだ付するため、図 1 に示すような、集光ビームが一群のリードとパッド上を走査する新方式を提案するとともに、TCP の実装で必要とされるはんだ付裕度を確保できるはんだ流動制御法について述べた¹⁾。本報では、実際の TCP 実装への適用を目的として、はんだ付時間を短縮するためのレーザビーム制御法について述べる。

2. 目標とするはんだ付時間と予備実験

現在、TCP の実装法としては、レーザ方式のほかに、ホットバー (はんだこて) 方式、局所ホットエア方式が開発されている。図 2 にホットバー方式の一例として、パルスヒートはんだ付装置の概念図を示すが、リード数が 576 本の超多ピン TCP に適用した場合、約 10 秒の加熱時間が必要になる²⁾。また、ホットバーにより加熱と加圧を同時に行うため、基板の凹

凸やホットバーの熱変形によりはんだ付品質が低下するといった問題点がある。一方、レーザ法は非接触で加熱するため、安定したはんだ付が可能になるが、前報の検討結果では TCP のはんだ付時間は約 46 秒 ($80\ \text{ms}/\text{リード} \times 576\ \text{本}$) となり、実用には高速化が必要である。

Fig. 1 Concept of the new laser soldering technique

Fig. 2 Schematic of pulse-heat soldering

* 原稿受付 平成 5 年 7 月 30 日

** 正 会 員 三菱電機(株)生産技術研究所 (尼崎市塚口本町 8-1-1)

*** 三菱電機(株)生産技術研究所

† 三菱電機(株)名古屋製作所 (名古屋市東区矢田南 5-1-14)

†† 三菱電機(株)コンピュータ製作所 (鎌倉市上町屋 325)

(a) Effects of laser power

(b) Effects of preheating

Fig. 3 Relation between bonding length and contact angle

そこで、パルスヒート法と同等以上のスループットをねらい、500ピン以上を数秒で接合できる10ms/リードをはんだ付時間の目標とした。このためには、レーザ照射時間を短縮することが必要で、具体的には、①入熱速度を大きくするためのレーザの高出力化、②補助加熱手段による基板予備加熱が有効と考えられる。これらの予備実験の結果を図3に示す。なお、予備実験は前報と同一方法で実施し、リードとパッドの接触角に対する接合長さで評価した。また、TCP実装では、接合に必要なはんだを基板パッド上にめっきするはんだ供給法が用いられるため³⁾、リードとパッドの最大接触角と必要接合長

Fig. 4 Laser beam scanning technique

さからめっき厚を算出し、基板を作製した。

まず、図3(a)にレーザ出力5.4Wとして80ms照射した場合と、出力を約3倍の15Wとし10ms照射した場合の接合長さを示す。なお、さらにレーザ出力を大きくすると、銅パッドと基板の密着力が低下した。この結果から、はんだ付時間を短くするためにレーザ出力を大きくしても、接合長さが基準値よりも短くなる場合（接触角6°以上）があることがわかる。これは、入熱不足で基板パッド上の熔融流動するはんだ量が減少するためと考えられ、レーザの高出力化のみでは照射時間短縮は不可能と考えられる。図3(b)はホットプレートにより基板全体を100°Cに加熱しながらレーザを照射した結果である。この場合、15W、10msの照射でも十分のはんだ付裕度が得られており、補助加熱手段の併用が有効であることがわかる。しかし、高密度実装基板では、基板裏面にも部品が実装されているため、加熱の難易度や周辺部品の温度上昇が問題となり、補助加熱手段の併用は現実的でない。そこで、はんだ付に用いるビーム走査を最適化し、レーザビームによる基板予熱を検討した。

3. 実験方法

3.1 ビーム制御法

実用性を低下させることなしに補助加熱するため、ビームによる基板（パッド）予熱を試みた。図4にビーム予熱を併用した場合のビーム走査法の概要を示す。まず、パルスジェネレータからのTTL信号でレーザの発振を制御する。同時に遅延回路を経た同一信号でガルバノスキャナを制御する。これらの機能により、静止したビーム照射によりパッド部を予熱した後、ビーム走査を開始することが可能になる。なお、ビーム集光径は約100 μm、走査開始位置はリードの先端から300 μm外側、走査長さは1.3mmとした。また、レーザ出力は図3の実験結果から、基板上のパッド密着強度が低下しない15Wとした。

3.2 実験方法

まず、静止時間を最適化するために、汎用有限要素プログラムANSYS Revision 4.4を用いて、パッドの3次元モデルの入熱シミュレーションを実施し、基板パッド上のはんだの熔融

Fig. 5 Experimental method for determining laser absorptivity

Table 1 Specifications of specimens

Plated leads	Composition	85Sn-15Pb
	Thickness	7 μm (ave.)
Plated pads	Composition	60Sn-40Pb
	Thickness	15 μm (ave.)
Flux	RMA type	

領域を求めた。

なお、はんだに対する YAG レーザの吸収率は約 80% と報告されているが⁴⁾、はんだ表面の熔融やブルームの発生により吸収率が変化することが予想される。そこで、図 5 に示すようにレーザビームを照射したはんだペレットの熔融凝固形状と、入熱シミュレーションで得られる熔融凝固形状を比較し、両者の結果が一致する吸収率を求めた。また、この吸収率測定実験とはんだ付実験の集光ビーム径が異なるため、パワー密度が同一になるようにレーザ出力を調整した。

次に、密着力を増すための熔融処理をしていないめっき直後の基板を用いて、ビーム静止時間と熔融領域（熔融長さ）の関係を求め、入熱シミュレーション結果と比較した。

最後に、最適化した静止時間ではんだ付実験を行い、パッドとリードの接触角と得られる接合長さを測定し、はんだ付裕度を明らかにした。なお、本実験では接合部表面の酸化膜を除去するため、低活性の液体フラックスを併用している。また、目標とする接合長さは、接合部の引張強度が銅リードの 2 倍（計算値）となる 0.36 mm とした。実験に用いた供試材の仕様を表 1 に示す。

4. 実験結果と考察

4.1 はんだのレーザ吸収率測定結果

レーザ吸収率測定実験の結果を図 6 に示す。まず、シミュレーション結果に着目すると、すでに報告されている吸収率 80% では、照射時間 0.2 s で半径約 700 μm の半球形状で熔融する。しかし、実際の熔融半径は約 280 μm であり、両者の結果は一致しない。これは本実験におけるレーザ照射部のパワー密度が高いことが原因と考えられ、ブルームの発生や照射部表面の熔融により吸収率が低下したものと推定される。

そこで、実際の熔融領域と比較しながらシミュレーションの吸収率を変化させると、吸収率 35% で両者の結果はほぼ一致した。さらに、照射時間 0.3 s の場合でも同様の結果が得られた。なお、照射時間が 0.1 s 以下の場合、熔融領域の大きさが一定にならなかったため、評価対象から除外した。

以上の実験結果から、以後のシミュレーションにおけるレーザ吸収率を 35% とした。

4.2 基板パッドに対するビーム静止時間の最適化

次に、基板パッド上にめっきで供給されたはんだのうち、接合に必要なはんだ量を図 7 に示すモデルで算出した。ここで、はんだめっき厚 15 μm、リードとパッドの最大接触角 9°、接合後の銅リードと銅パッドの距離を接合部の断面から求めた 6 μm（平均値）とすると、目標とする接合長さを確保するには 370 μm の長さ以上のはんだを熔融させる必要がある。なお、リードにもめっきによりはんだが供給されているが、供試材の種類によりめっき厚が異なるため、パッド上のはんだで接合することを目的とした。

一方、シミュレーションでは、図 8 に示すように TCP 実装

Fig. 6 Results of experiments for determining laser absorptivity

Fig. 7 Solder joint design parameters for TCP

Fig. 8 Contour maps of thermal distribution

基板と同等のモデルを用いて、ビーム走査開始前の静止状態のみを解析し、温度 183°C 以上のはんだ熔融領域を求めた。照射時間が 0.5 ms では照射部のパッド表面のみが熔融し、1.0 ms で熔融領域ははんだと銅の境界に達する。さらに、照射時間を長くすると、パッドの長さ方向に熔融領域が広がることがわかる。これは、ビーム静止時間を長くするほど、基板パッド上に供給されたはんだを有効に利用できることを示している。また、照射時間 2.0 ms までは長さ方向のパッド端部の温度上昇はほとんどない。よって、スルーホールや信号引出し線といった配線パターンの熱容量により照射条件を変更する必要がないものと考えられる。しかし、照射時間 5.0 ms では、銅パッドと基板の界面温度が 400°C に達しており、照射時間を必要以上に長くすると、パッドの密着強度が低下することが予想される。

次に、実際の熔融領域を評価するため、TCP 実装用基板のパッドに静止ビームを照射した。実験はフラックスを供給した場合としない場合の両者で実施し、各条件で 10 パッド測定した。図 9 にフラックスを供給した場合の SEM 写真を示すが、供試材のはんだめっきは熔融処理していないため、熔融した部分は平滑な表面になるが、未熔融部分はポーラスな表面である。照射時間が 0.5 ms では照射部の表面が熔融凝固しているだけであるが、照射時間が長くなるにつれ平滑な（熔融凝固した）部分が長くなる。これは、静止ビーム照射によりはんだが熔融し表面張力により流動したためで、例えば、照射時間 5.0 ms で約 500 μm の領域が熔融温度以上に加熱されたと判断できる。しかし、照射時間をさらに長くすると、基板に対する銅パッドの密着力が低下した。これは、入熱量が過剰になり、パッド/基板界面の接着材が劣化したためと考えられ、シミュレーションで推定された結果と一致する。

図 10 にシミュレーション結果とパッドへの静止ビーム照射実験結果をはんだ熔融長さを評価基準として示す。まず、フラックスを供給しない場合の熔融長さはシミュレーション結果とよく一致しており、ビーム静止時間をあらかじめシミュレーションで最適化できると考えられる。一方、フラックスを供給すると、実際の熔融長さはシミュレーション結果に比べ小さくなる。これは、フラックスの温度上昇と蒸発に熱エネルギーが奪われるためと考えられる。この点で、フラックスを使用する場合のシミュレーション精度を向上するには、フラックスの比熱や蒸発潜熱といった物性値を明確にする必要があると考えられる。しかし、検討した範囲ではフラックスを供給した場合でも実験結果とシミュレーション結果に比例関係（実験結果/シ

Fig. 9 SEM photographs of TCP's pads after laser irradiation

Fig. 10 Relation between melted length and laser irradiation time

ミュレーション結果 ≈ 0.5) が認められるため、基板パッドやリードのエッチング状態によりそれらの幅が変動しても、シミュレーションによりビーム静止時間の推定が可能であり、条件設定時間の短縮に有効であると考えられる。

以上の結果から、想定される最大接触角 9° に対して、ビーム径 100 μm、レーザ出力 15 W の場合、2.0 ms 程度のビーム静止時間が必要であることがわかった。

4.3 TCP 実装への適用

レーザ出力を 15 W とし、パッド上で 2.0 ms 静止した後パッド→リード根元方向に 8.0 ms で走査した場合の接合長さを図 11 に示す。同一のレーザ出力でビーム静止時間を設けない場合（図 3 (a)）は接触角 6° で基準を下回るものがあった

Fig. 11 Relation between bonding length and contact angle

Fig. 12 SEM photograph of solder joints

が、ビーム静止時間を設けることで 9° でも十分なはんだ付裕度が確保できた。また、このはんだ付裕度はホットプレートによる補助加熱手段の併用時（図3(b)）と同等であり、ビーム静止の有効性が確認された。

また、図12に基板外周方向に信号引出し線があるパッドと無いパッドが混在した基板でののはんだ付結果を示すが、引出し線の有無によらず均一なフィレットが形成されているのがわかる。さらに、図13に信号引出し線がある場合とスルーホールがある場合のはんだ付部断面を示すが、周辺の熱容量によらずはんだ付部のフィレット形状には差がない。なお、図12、図13に示した結果は、すべて同一のレーザ照射条件（15 W、静止時間 2.0 ms、走査時間 8.0 ms）で得られたものである。こ

Fig. 13 Cross section of solder joints

れらの結果は、シミュレーションで推定された照射部近傍のみの局所的な温度上昇モデルと一致しており、周辺の熱容量が異なるような場合でも照射条件を変更する必要がないことを示している。

5. 結 言

TCPの微細リードをブリッジレスではんだ付するために開発したレーザはんだ付法において、ビーム走査の最適制御によるはんだ付の高速化を検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) ビームの走査開始時にパッド上でビームを静止させることで、1リード当たりの照射時間を80 msから10 msに短縮することができた。また、得られるはんだ付裕度は、補助加熱手段による基板予熱を併用した場合と同等であった。
- (2) レーザ照射実験とシミュレーション結果を比較することではんだに対するレーザ吸収率を求め、最適なビーム静止時間を推定できる手法を開発した。
- (3) 本方式では、スルーホールや信号引出し線によりはんだ付部周辺の熱容量が異なるような場合でも、照射条件の変更なしに、均一なはんだ付が可能であることが実証された。

参 考 文 献

- 1) 村上光平, 安達 照, 弘田実保, 林 修, 星之内 進: 細密リードのレーザはんだ付に関する研究 (第1報), 精密工学会誌, 59, 9 (1993) 1513.
- 2) 弘田実保, 佐々木 寛, 村上光平, 林 修: TCP実装技術の開発, 1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1993) 195.
- 3) 藤田 実, 河崎直茂, 森広善之, 高浜 隆: TCP実装技術の開発, 1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1993) 189.
- 4) C. Lea: Laser Soldering - Production and Microstructural Benefits for SMT, Soldering & Surface Mount Tech., June (1989) 13.