

リフローソルダリング接合部品質のモニタリング

Reflow Soldering - Joint Quality Monitoring.

仲 田 周 次⁽¹⁾ 齊 藤 茂⁽²⁾
Syuji Nakata Shigeru Saito

要 旨

近年、マイクロ接合部の信頼性向上が、電子部品の小型化、高密度実装化等に伴って、解決されるべき課題の一つとなっている。

本研究は、リフローソルダリング接合部の品質を非破壊で、かつ、リアルタイムでモニタする為の第一段階として検討した結果に関するものである。

まず、接合部に対して引張り剪断およびピール強度試験を行い、接合部品質と接合条件因子（加熱温度、時間等）との関係を明らかにし、さらに、装置の設定条件を単に管理するだけでは高信頼性の接合部品質は得られないことを確認した。

次に、接合中のリード・厚膜間電圧が界面温度など界面での諸情報を含んでいることを示し、接合部を形成するに値する温度（リード・厚膜間電圧）の時間積分値と品質との関係から、リアルタイムモニタリングがある範囲内で可能であることを示した。

In recent years, improved reliability for micro joint unit, and minituarization of electronic components have been one of the subjects to be solved with the progress in higher density packaging.

This study relates to the first phase study results for monitoring the quality at the joint section non-destructioning and in real time.

First, tensile shear and peel strength tests were performed on the joint section to clarify the relation between joint quality and jointing condition (heating temperature and time), and it was confirmed that a simple control of equipment setting conditions can not produce a high-quality joint part.

Secondary, this report made it clear that the lead during joint and voltage between thick films contains various informaton on interface, such as interface temperature, and it was indicated that real-time monitoring is possible within a certain range from the relation between the time integral value of the temperature (lead/film-to-film voltage) worth forming the joint section and quality.

(1) 大阪大学工学部

(2) 富士通テン㈱第二開発部

1. はじめに

近年の電子部品における高密度化実装に伴って、マイクロ接合部の信頼性の向上が重要技術であり、今後解決されるべき課題の一つとなっている。その一つの方法として、接合部品質のインプロセス（接合中での）制御が考えられている。

そこで、本研究は、リフロー溶ダリング接合部の品質を非破壊で、かつ、リアルタイムでモニタするための第一段階として、溶ダリング中に発生するリード・厚膜間電圧の意味を考え、電圧の値と接合部品質との関係などについて検討したものである。

2. 現状の接合部品質の評価

現在、溶ダリング接合部の評価は、接合部に対して引張りあるいは剪断試験を行い、その強度の大小で行っているのが一般的である。これらの方法では次のような問題を抱えている。まず、破壊試験であるため部品（製品）の再使用が困難であること、全数検査が出来ないことである。次に、現実問題として生産ライン上で何等かの原因で接合部に品質不良が起きてても即座に発見、対応が難

しく、その間に生産した部品（製品）の損害が大である。以上の問題点を解決すべく検討した本方式について以下に述べる。

3. 本方式の着眼点

本研究では、溶ダリング中に接合部において発生する電圧（熱起電力^{脚注2)}）を検出し、利用する。

今回測定している電圧が接合部に発生している熱起電力であるかどうかを次の三つの方法により実証した。

- 1) ヒータチップ（以下チップ）と基板の間に銅リードと別の銅リードをはさみ銅リード・銅リード間の電圧測定を行い、同種の金属導線間では熱起電力は発生しないことを確認した。

（図-1）

- 2) チップと銅リードの間に絶縁物（マイカ）を



図-1 銅リード・銅リード間の電圧計測

Fig. 1 Illustration of measuring the voltage between Cu lead and Cu lead.

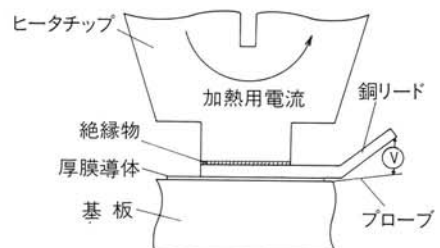


図-2 リード・厚膜間電圧の計測
（ヒータチップ・リード間は絶縁）

Fig. 2 Illustration of measuring the voltage between lead and thick film conductor.
(Between heater tip and lead is isolated)

脚注) 1 リフロー溶ダリング

はんだ付継手に、あらかじめはんだをめっきまたは塗布するか、もしくはプリフォームはんだを供給した後、これを熱または圧力を併用しながらはんだを再溶融してはんだ付けする方法。

脚注) 2 熱起電力

一般には、異なる2種の金属導線 M_1 、 M_2 をつないで閉回路をつくり、一方の接点を温度 T_1 に、他方の接点をこれより高い温度 T_2 にすると、閉回路の中には電流 I が流れる。この現象はゼーベック効果といわれているもので、 I を熱電流、熱電流を生ずるための起電力を熱起電力という。一般には、熱起電力は温度差 $(T_2 - T_1)$ が大きい程大きくなる。

表-1 試料の組成と寸法

基 板		リ ー ド			は ん だ ペ ー ス ト	
材 料	寸 法 (mm)	組 成	寸 法 (mm)	め っ き	組 成	寸 法 (mm)
基材：アルミナ 厚膜：Ag/Pd (10 μ m)	厚：0.82 幅：25.4 長：25.4	Sn：2% Ni：0.2% Cu：Rest	厚：0.15 幅：0.4 長：30	Sn (7 μ m) めっき無し	Sn：62% Pb：36% Ag：2%	厚：0.2 幅：0.1~1.0 長：1.0~1.9
基材：ホーロー 厚膜：Ag/Pt (15 μ m)	厚：0.9 幅：35 長：35	Sn：2% Ni：0.2% Cu：Rest	厚：0.13 幅：0.5 長：30	めっき無し	Sn：62% Pb：36% Ag：2%	厚：0.2 幅：0.4 長：1.2

入れ電氣的に絶縁し、電圧測定を行い、チップに溶接電源から流れる加熱用電流に関する電圧を測定していないことを確認した。(図-2)

- 3) 他の加熱方法(はんだこて、ホットプレート)でも電圧が測定出来ることを確認した。(図示せず)

以上の確認実験により、本研究で検出した電圧は熱起電力によるものと考えられる。

4. 実験方法とその結果

4.1 実験材料と接合方法

本実験に用いた実験材料(基板、リード、はんだペースト)を表1に、また、基板の寸法形状を図-3に示す。以下の実験結果で基板材料を明記していないものについてはアルミナ基板を使用している。リードは治具により曲げ加工を行い、接合に供した。(図-4)

接合は、はんだペーストを厚膜上にスクリーン印刷し、図-5(a)に示すようにリード側より所定の温度に加熱されたチップ(チップ先端に流れる加熱用電流値を制御することによってチップ温度を一定値に保持)を一定の時間加圧し、保持するこ

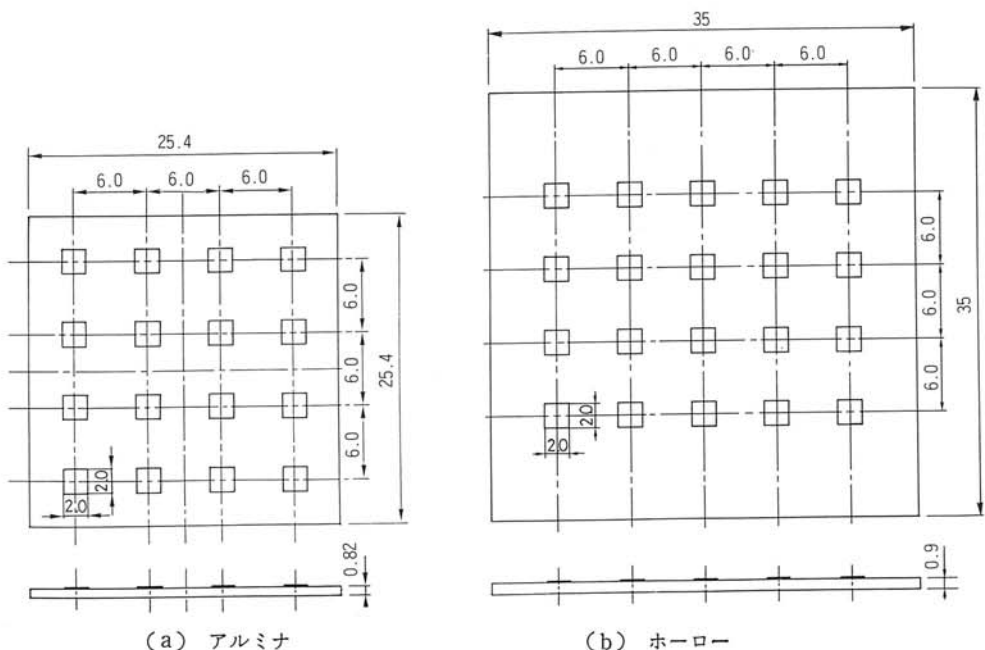


図-3 基板の寸法形状

Fig. 3 Shape and size of substrate.

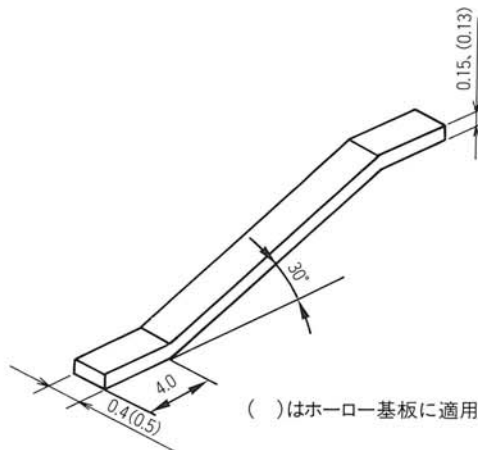


図-4 リードの寸法形状

Fig. 4 Shape and size of lead.

とにより接合する方法（リフロー溶ダリング法の一つ）を用いた。なお図-5(b)は、接合時における試験材の配置を示している。

図-6に接合中のチップ先端の温度と電流の時間的変化状態の一例を示す。接合条件はチップ温度350℃、加熱時間5sであるが、チップ温度は約0.9sで定常温度に達している。また、550℃では約1.3sかかることを確認している。（図示せず）室温には20～30sで戻る。なお、実験に使用した接合条件は、チップ温度350～550℃、チップ加圧力（以下加圧力）2～12N（0.2～1.2kgf）、加熱時間1～7sである。ここで、加熱時間とは、加熱用電流を通电開始した時から電流遮断までの時間をいう。

4. 2 引張り剪断およびピール試験による接合性評価

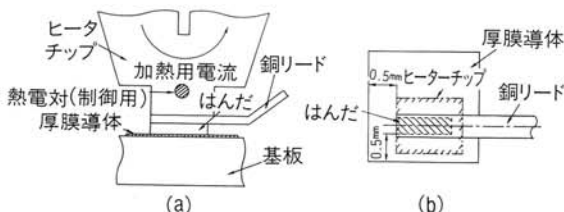


図-5 ソルダリング方法

Fig. 5 Illustration of soldering method.

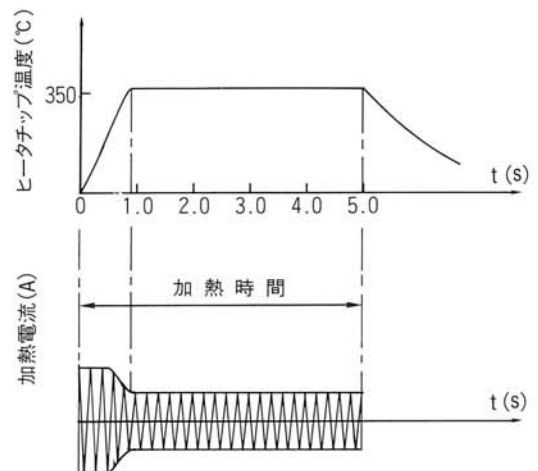


図-6 ヒータチップ温度と加熱用電流の時間的変化

Fig. 6 Behavior of tip temperature and current for heating in soldering process.

接合部品質は、引張り剪断強度試験、ピール強度試験によって評価している。図-7, 8 にそれぞれの試験の方向を示す。なお、試験速度は10mm/min一定で行っている。まず、引張り剪断強度試験では、接合条件により強度がリードの破断強度を越えてリードで破断し、定量的な評価を行うことができない場合があったが、接合界面ではがれたものに関しては、その時に測定された荷重と接合面積の関係〔剪断強さ (N/mm²)〕から接合部の質についても定量的に評価できる。一方、ピール強度試験では、引張り剪断強度試験時にリード破断するものでも接合部において引きはがすことができる。両試験ともに、接合部品質を定量的に評価する上で一つの指針となる。

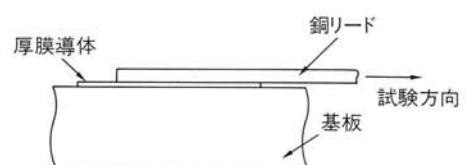


図-7 試験方向（引張り剪断強度試験）

Fig. 7 Illustration of tensile shear test.

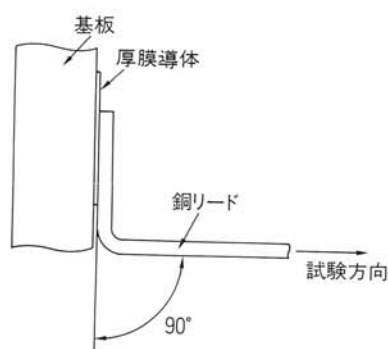


図-8 試験方向（ピール強度試験）

Fig. 8 Illustration of peel test.

図-9はチップ温度をパラメータとした場合の引張り剪断荷重と加熱時間の関係を示す。接合条件はチップ温度 (T_t) 370~530°C、加圧力 (P) 6.4 N、はんだ量 (V_s) (幅 0.5×長 1.9×厚 0.2mm) である。図に見るように、引張り剪断荷重はチップ温度および加熱時間とともに増加し、ついに、リード破断に至っている。(黒く塗りつぶしたデータ) なお、チップ温度が 370°C よりも低い場合

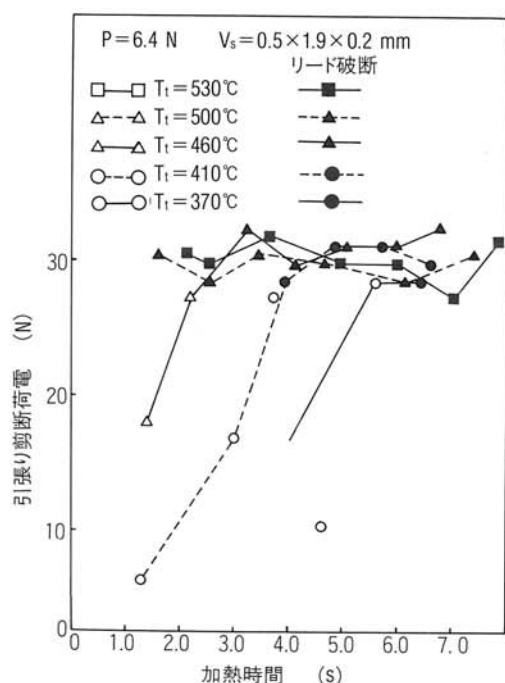


図-9 加熱時間に対する引張り剪断荷重

Fig. 9 Relation between heat time and tensile shear load.

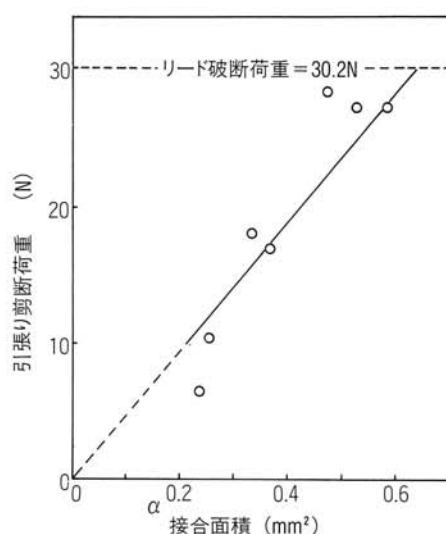


図-10 接合面積と引張り剪断荷重

Fig. 10 Relation between soldered area and tensile shear load.

は接合不可能であった。

図-9の接合部で破断した7点（リード破断以外）に関して、引張り剪断荷重と接合面積との関係を示したのが図-10である。図中、リード破断荷重は同荷重（24点）の平均値を示す。図から、接合面積が0.3~0.6mm²の範囲で接合面積と引張り剪断荷重はほぼ比例しており、その剪断強さはほぼ 48N/mm² (4.9kgf/mm²) であり、接合面積 0.63mm² でリード破断荷重に到達することとなる。

4. 3 接合部品質と接合条件との関連性

4. 3. 1 接合部品質に影響を及ぼす接合条件因子

接合部品質に影響を及ぼす接合条件因子として、本実験で制御可能な因子としては加熱時間、チップ温度、加圧力がある。

まず、適正はんだ量の決定を試みた。チップの先端部の大きさ（幅 1.0×長 1.2mm）からはんだの長さは 1.0mm と決め、はんだの幅を変化させた場合の接合面積との関係を図-11に示す。同図

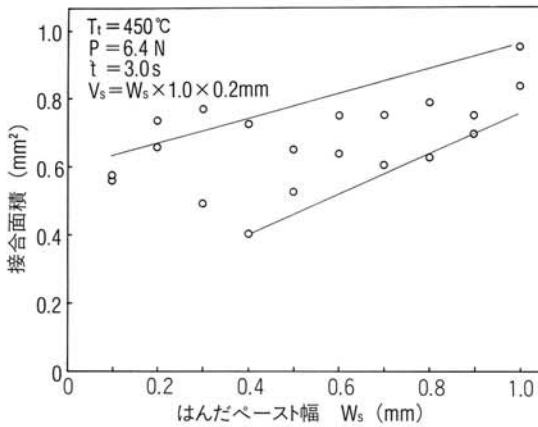


図-11 はんだペースト幅と接合面積

Fig. 11 Relation between width of solder paste and soldered area.

から、はんだの幅を小さくしても接合面積は小さくならず両者の間に明確な関係はない。はんだの幅決定においては図-11の結果と接合後の十分なフィレット形状から0.3mmに決定し、適正はんだ量を(幅0.3×長さ1.0×厚0.2mm)とした。

次に、加熱時間の影響を調べるために、チップ温度450°C、加圧力6.4N一定とした場合の引張り

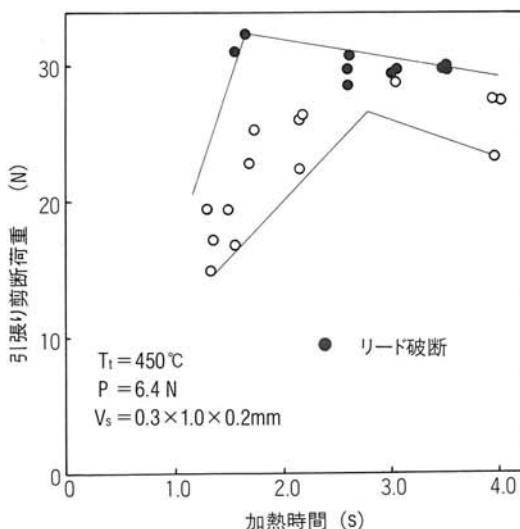


図-12 加熱時間に対する引張り剪断荷重

Fig. 12 Relation between heat time and tensile shear load. (450°C)

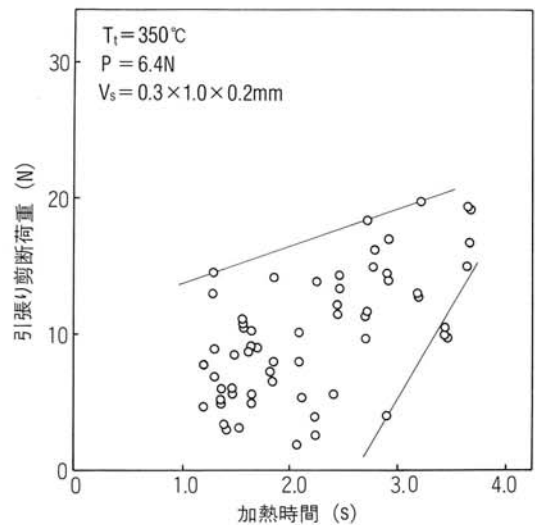


図-13 加熱時間に対する引張り剪断荷重

Fig. 13 Relation between heat time and tensile shear load. (350°C)

剪断荷重と加熱時間の関係を図-12に示す。同図から、引張り剪断荷重は時間とともに増加するが、2.5 s付近では飽和し、リード破断に至るほどの荷重に達するが、4.0 sではむしろ低下し、破断するほどの荷重を持たない。

図-13は図-12の条件に対しチップ温度を350°C

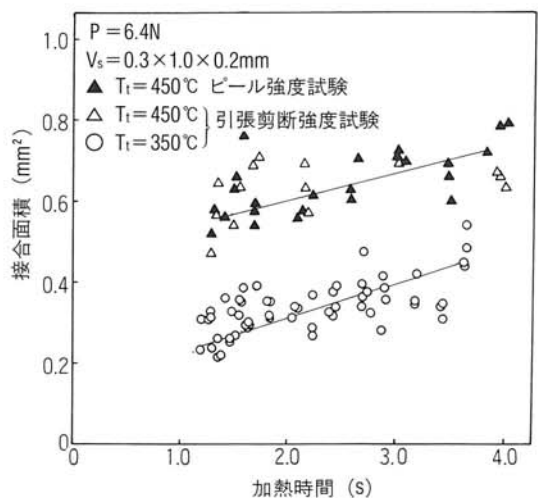


図-14 加熱時間に対する接合面積

Fig. 14 Relation between heat time and soldered area.

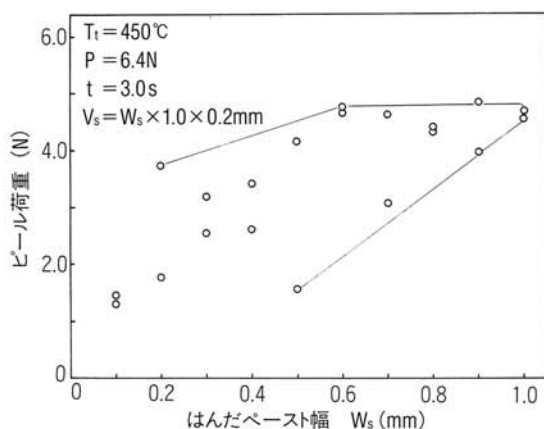


図-15 はんだペースト幅とピール荷重

Fig. 15 Relation between width of solder paste and peel load.

に下げた場合である。450°Cの場合と比較すると、引張り剪断荷重は相対的に値が小さく、かつ、大きな変動幅を持っている。

図-14も加熱時間の影響を調べるために、チップ温度 350°C、450°C、加圧力 6.4N で接合し、引張り剪断およびピール強度試験を行った時の接合面積との関係を示す。図に見るように、加熱時間が長くなると接合面積はわずかつつではあるが大きくなる。また、チップ温度が高くなるに従い接合面積も大きくなる。なお、ピール強度試験で求めた接合面積は引張り剪断強度試験で求めたそれとはほぼ同等に扱えることも示している。

はんだ量の影響については、チップ温度 450°C、加圧力 6.4N、加熱時間 (t) 3 s を固定させ、はんだ量 (幅: W_s) を変化させて接合し、ピール強度試験を行った結果を図-15 に示す。図に見るように、大きなばらつきを持ちながらもはんだの幅が大きくなれば荷重も大きくなっている。ピール荷重がヒール部 (リード曲げ部の周辺) の局所的な接合状態に大きく依存しており (別途確認している)、はんだの幅を大きくしていくことにより、ヒール部にもより多くのはんだが集まり荷重が大きくなっているものと考えられる。

図-16 はホーロー基板を用いて 同じくピール強度試験を行った時の荷重とチップ温度の関係を示す。この場合の接合条件はチップ温度 360°C ~ 550°C、加熱時間 2 s、加圧力 6.4N である。図-15 と接合条件がほぼ同じ所の荷重は約 3 N であり、強度的にはあまり変わらないことがわかる。

4. 3. 2 適正接合条件の決定

本項では、以上の結果をもとに、適正接合条件について検討する。チップ温度 350°C と 450°C の場合を比較すると、350°C の場合、接合部の引張り剪断荷重は 450°C の場合に比べて変動幅が大きく平均値も低い。従って、単に強度の観点からみると、450°C の方が適していると考えられる。次に、加熱時間についてはチップ温度 350°C の場合は時間が長くなれば荷重も大きくなっている。450°C の場合は 2.5 s 付近で最高荷重を示し、4 s 付近で

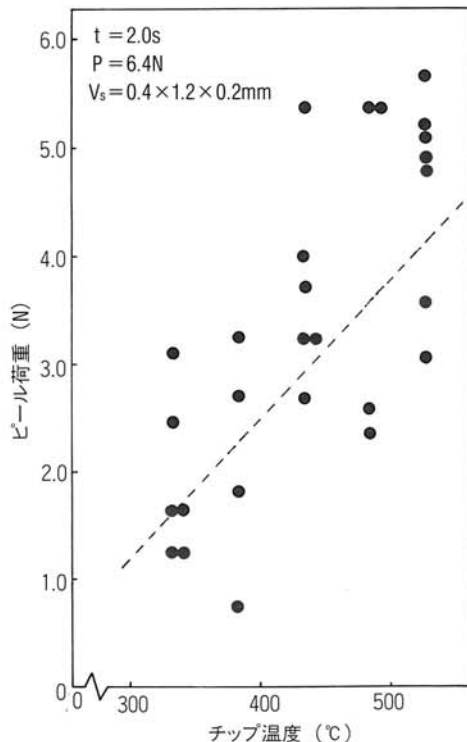


図-16 チップ温度とピール荷重の関係

Fig. 16 Relation between tip temperature and peel load.

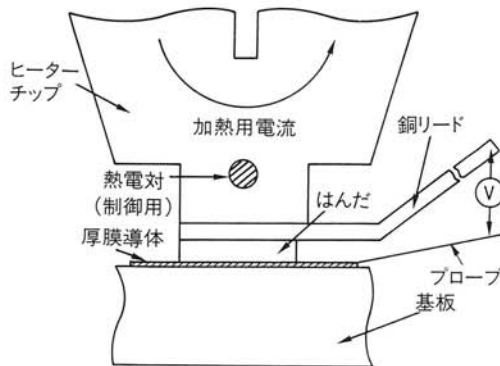


図-17 リード・厚膜間電圧の計測

Fig. 17 Illustration of measuring the voltage between lead and thick film conductor.

は、かえって荷重の低下がみられる。従って、温度が高いと最適時間が存在し、それ以上長い時間加熱すると接合部が劣化し強度が低下しているのではないと思われる。

以上の検討より、本実験で行った接合条件の中で最適条件としてはチップ温度 450℃、加熱時間 2.5~3.5 s であるといえる。

4. 4 リード・厚膜間電圧検出による接合部品質のモニタリング

ここまで、チップ温度、加熱時間が接合部品質を左右する大きな要因であることを示し、また、最適時間が存在することも示したが、本節では接合部品質のモニタリング因子としての接合中に発生するリード・厚膜間電圧とチップ温度の関係について検討している。

接合中に接合界面での諸情報を得るために電圧

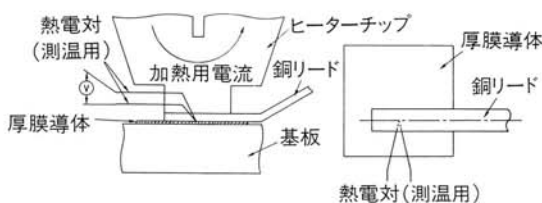


図-18 界面温度の測定

Fig. 18 Illustration of interface temperature measurement.

を検出するが、その方法は、リードおよび厚膜にプローブを接続し、その電圧を高インピーダンス (1MΩ) の電圧記録計で計測・記録した。(図-17) また、電圧の意味、界面での反応などを推測するためには接合界面での温度を知る必要があり、界面に測温用熱電対(クロメル・アルメル、φ0.1mm)を入れて、その熱起電力を記録することにより温度を測定した。(図-18)

4. 4. 1 接合中のリード・厚膜間電圧とチップ温度の関係

図-19はアルミナ基板とホーロー基板において、めっき無しリードを用い、かつ、はんだを挿入しないで加圧力 6.4N 一定のもとで加熱した場合のチップ温度と電圧の関係を示す。図に見られるように、電圧値はチップ温度にほぼ比例しており、3章で述べたように、この電圧はゼーベック効果による熱起電力と考えられる。

図-20は図-19と同じ関係を示すが、基板の違いに加えて、めっきの有無のリードを用いはんだを挿入している。図-19と同様に電圧とチップ温度とは比例関係がある。チップ温度の上昇に伴い電圧上昇および電圧変動が大きくなるが、これは、はんだおよびリードのすずめっきの存在が電圧に影響を及ぼす大きな要因であると考えられる。

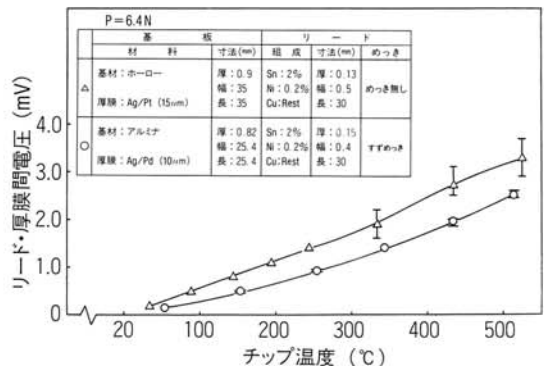


図-19 リード厚膜間電圧の温度依存性

Fig. 19 Influence of specimen on voltage between lead and thick film conductor—tip temperature curve.

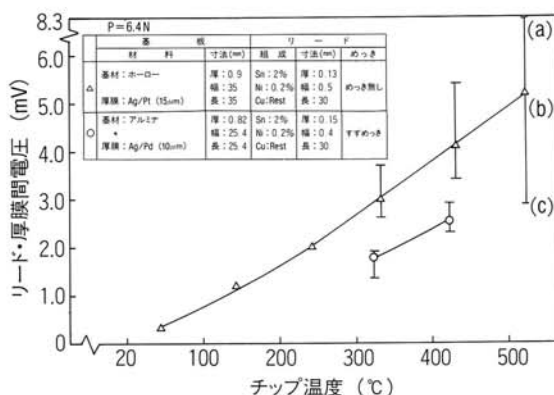


図-20 リード厚膜間電圧の温度依存性

Fig. 20 Influence of specimen on voltage between lead and thick film conductor—tip temperature curve.

図-20 中のチップ温度の 高い場合の電圧変動が大きい(a)、(b)、(c)点に対応した加熱時間と電圧の関係を 図-21 に示す。図から、電圧値は加熱時間約1sまでにはほぼ決定されており、その後の変動はほとんどみられない。

4. 4. 2 接合中に発生するリード・厚膜間電圧の意味

接合中に発生する電圧の意味について検討するため、まず、はんだを挿入せずに加熱・加圧した場合の電圧とその時間的挙動を調べた。(図-22、

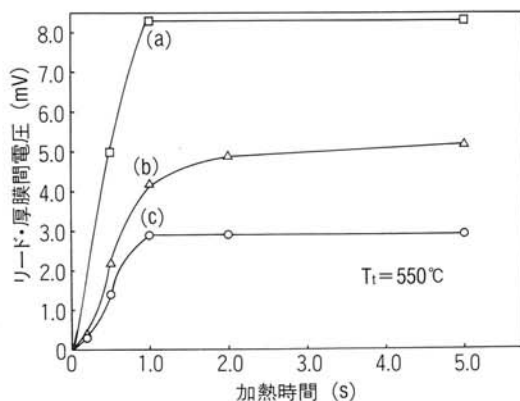


図-21 リード厚膜間電圧の時間的挙動

Fig. 21 Relation between heat time and voltage between lead and thick film conductor.

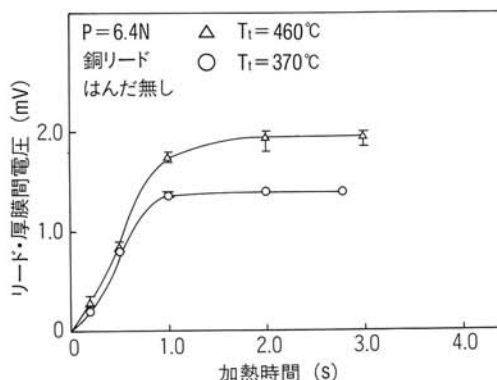


図-22 リード厚膜間電圧の時間的挙動

Fig. 22 Influence of temperature on voltage between lead and thick film conductor—heat time curve.

23) 図-22 の条件はアルミナ基板 (Ag/Pd厚膜導体)、めっき無しリード、チップ温度370°C、460°C、加圧力6.4Nで接合した場合である。図-23の条件はホーロー基板 (Ag/Pt厚膜導体) で、チップ温度 360°C、460°C、550°C、加圧力 2~12N で接合した場合である。両図からわかるように、電圧は通電開始後1s後にはほぼ定常状態に達し、一定の値となる。また、電圧はチップ温度の上昇と共に増加する傾向を持っている。なお、両図における電圧の違いは厚膜導体および基板の持つ熱特

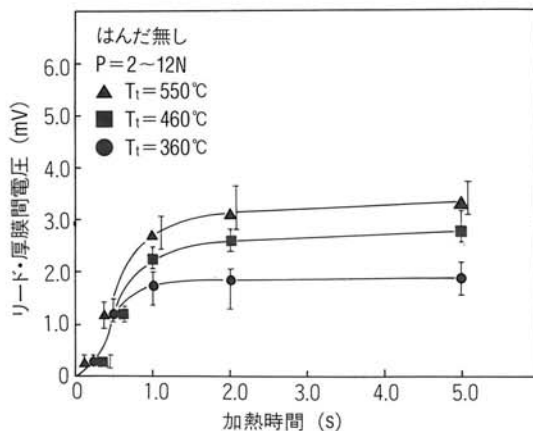


図-23 リード厚膜間電圧の時間的挙動

Fig. 23 Influence of temperature on voltage between lead and thick film conductor—heat time curve.

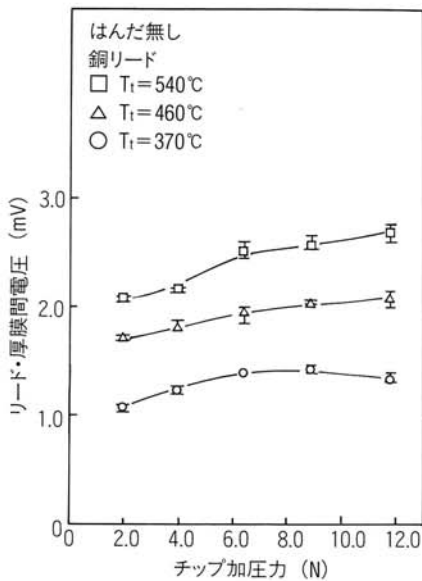


図-24 チップ加圧力とリード厚膜間電圧

Fig. 24 Relation between tip force and voltage between lead and thick film conductor.

性の違いによるものと思われる。

次に、チップとリード間の熱的接触状態がリード・厚膜間電圧にどう影響するかを調べるために、まず、加圧力を変化させて、電圧との関係を調べた。図-24は接合条件としてめっき無しリードを用い、かつ、はんだを挿入しないでチップ温度370°C、460°C、540°Cで接合した場合の特性であ

る。これから、チップとリードの接触状態が変化すれば電圧が変化する。すなわち、加圧力が大きくなればチップとリードとの実質の熱的接触面積が大きくなるため、熱伝達がよくなることにより界面の温度上昇が加圧力の小さい場合に比べ大きくなったものと考えられる。次に、チップからリードへの熱伝達の良否を調べるために、すずめっきを施したリードとめっき無しの場合につき、はんだを挿入しない場合におけるチップ温度と実測した界面温度の関係を図-25に示す。図から、同じチップ温度で加熱・加圧した場合、すずめっきを施したリードの方が界面での温度が高くなっている。従って、チップからリードへの熱伝達はすずめっきがある場合の方が良いと言える。

図-26は図-25の界面温度とリード・厚膜間電圧との関係を示す。この図に見るように、同じ界面温度ではめっき無し銅リードの方が発生する電圧が高い。また、図から電圧は界面の温度を表していることが理解できる。なお、界面での温度が227°Cを越えるとすずめっき銅リードでは発生電圧に大きな変動がみられる。これは界面でのすずの溶融によるすずめっきの反応によるものだと考えられる。

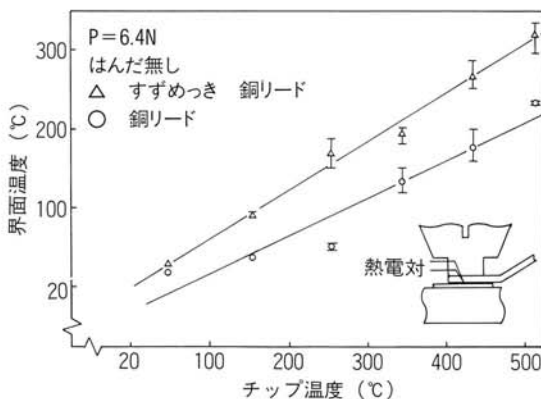


図-25 界面温度特性

Fig. 25 Relation between tip temperature and measured temperature.

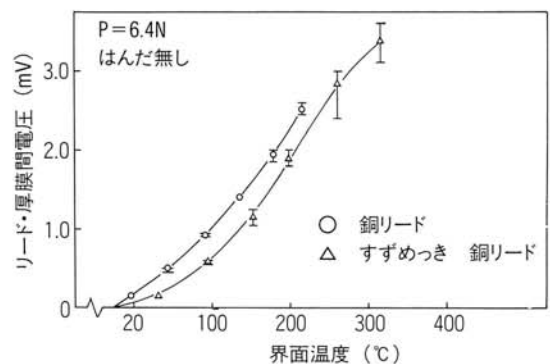


図-26 リード厚膜間電圧の温度特性

Fig. 26 Relation between measured temperature and voltage between lead and thick film conductor.

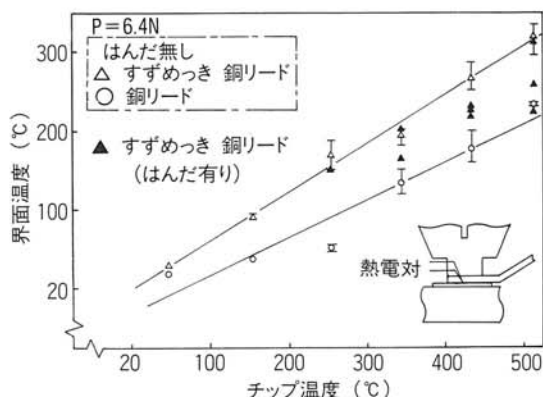


図-27 界面温度特性

Fig. 27 Influence of solder paste on measured temperature.

図-27は、図-25にすずめっき銅リードを用いてはんだを挿入して接合した時の界面温度とチップ温度の関係を重ねたものである。同一チップ温度においてはんだを挿入すると界面温度は下がり、また、チップ温度が540°Cの時は大きく変動している。

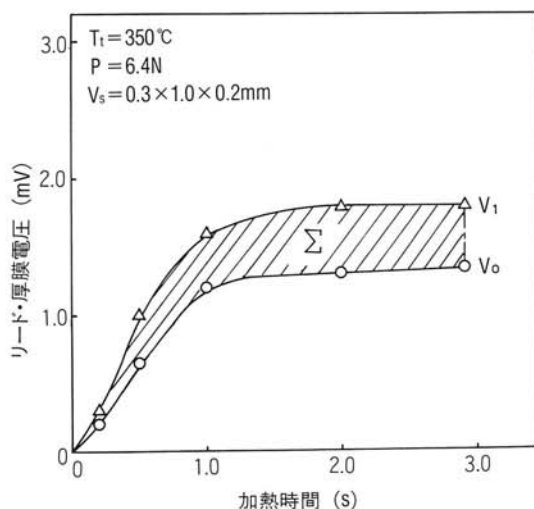
以上述べたように、検出電圧は界面での温度を表しているが、界面温度が227°Cを越えると大きな変動を持つようになる。従って、検出電圧は界面での温度だけで決まるのではなく、界面での状態にも左右されることが理解できる。

4. 4. 3 接合部品質と電圧の関係

本項では、はんだを挿入して接合した場合の電圧と接合部品質との関係について検討している。

接合中に発生する電圧は接合部品質と重要な関係があり、界面温度上昇に関係した値であることはすでに述べたとおりであるが、ここでは、接合部品質は加熱温度および加熱時間とも重要な関係があることから、電圧の時間積分値と接合部品質との関係を調べ、接合部品質のリアルタイムモニタリングの可能性について検討している。

図-28はチップ温度350°C、加圧力6.4Nの接合条件ですずめっきリードをはんだを挿入して接合

図-28 実効電圧積分値 Σ Fig. 28 Calculation of effective integral value of voltage Σ .

した場合である。ここで、 V_0 は引張り剪断荷重が最低の場合の電圧曲線でこれを基準として、 V_1 は他の一例で、 V_0 に対する上昇分(図中のハッチを施した部分)を実効電圧積分値 Σ (界面温度上昇と加熱時間に関係した値)とし、接合部品質との関係について調べた。具体例を以下に示す。

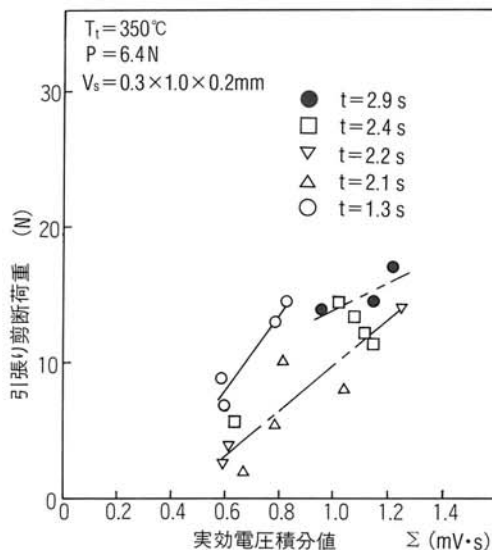


図-29 実効電圧積分値と引張り剪断荷重

Fig. 29 Relation between effective integral value of voltage and tensile shear load.

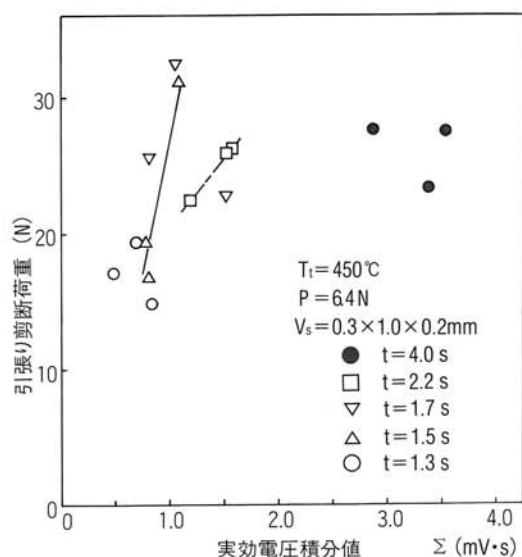


図-30 実効電圧積分値と引張り剪断荷重

Fig. 30 Relation between effective integral value of voltage and tensile shear load.

図-29はチップ温度 350°C、加圧力 6.4N、はんだ量 (幅0.3×長1.0×厚0.2mm)、加熱時間 1.3～2.9s の条件で接合した時の接合部の引張り剪断荷重と Σ との関係を示す。図より、ほぼ全般的に Σ が大きくなると引張り剪断荷重が大きくなっていることがわかる。

同じく、 Σ と引張り剪断荷重の関係を 図-30 に示す。チップ温度 450°C、加熱時間 1.3～4s、加圧力とはんだ量は 図-29 と同じ条件で接合した場合を示す。これに見られるように、加熱時間 1.5, 2.2s の場合は Σ が大きくなると引張り剪断荷重が大きくなるが、加熱時間 1.3, 1.7, 4s の場合はそうになっていない。この原因については未検討である。

最後は、ホーロー基板について、めっき無しリードを用いてチップ温度 360～550°C、加圧力 6.4 N、はんだ量 (幅0.4×長1.2×厚0.2mm)、加熱時間 2s の条件で接合した時の接合面積と Σ の関係を 図-31 に示す。図から、 Σ の増加に伴い、接合面積が大きくなっている。

以上のことから、リフロー溶ダリング法における接合部の品質は、予め定められた時間の下に電圧の実効積分値を接合中に計測することによ

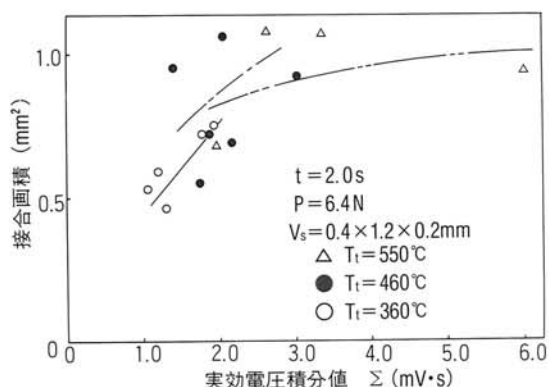


図-31 実効電圧積分値と接合面積

Fig. 31 Relation between effective integral value of voltage and soldered area.

り、モニタリングが可能となることを明らかにした。

5. おわりに

以上が今回の基礎的研究の概要である。接合過程の界面温度が、接合中に検出するリード・厚膜間電圧によって測定でき、リード・厚膜間電圧の実効積分値 Σ を計測することにより、接合部品質のモニタリングが可能となることがわかった。

一方、課題としては、はんだとすずめっきによる界面反応に対する検討等がある。

今後は、本研究をもとに当社のはんだ付け技術がよりよくなるよう検討をつづけたい。

参考文献

- 1) 藤本三治：電磁気学、朝倉書店 (1979)
- 2) 青野進 他：溶ダリング編 — 材料・装置 — 瞬間加熱式リフロー溶ダリング装置、電子技術第25巻・第8号。(1983)
- 3) マイクロ接合技術 — 第Ⅲ編一、社団法人溶接学会 マイクロ接合研究委員会 (1987)
- 4) 仲田、西川、斉藤：マイクロリフロー溶ダリング接合部品質のモニタリング、社団法人溶接学会 マイクロ接合研究委員会資料MJ-72-87 (1987)