ソルダ供給量に及ぼすソルダペースト中の平均粉径の影響

荘司 郁夫*, 白鳥 祐司*, 宮崎 誠**

Influence of the Diameter of Solder Powder in Solder Paste on the Applied Solder Volume by Paste Printing

Ikuo SHOHJI*, Yuji SHIRATORI* and Makoto MIYAZAKI**

*群馬大学工学部 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

**沖電気工業株式会社FSC システム機器本部 (〒370-8585 群馬県高崎市双葉町3-1)

*Faculty of Engineering, Gunma University (1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu-shi, Gunma 376-8515)

**Terminal System Division, FSC, OKI Electric Industry Co., Ltd. (3-1 Futaba-cho, Takasaki-shi, Gunma 370-8585)

Abstract

The influence of powder size in solder paste on the solder volume applied by paste printing has been examined. The applied solder volume increased with decreasing the average diameter of solder powder which are contained in the solder paste. The solder paste with fine solder powder easily caused a solder bridging failure between the electrodes for a fine pitch QFP after reflow soldering. The measurement value of the applied solder volume was good accordance with the approximate half of the calculated volume using the close-packed model in which the powder with the average diameter is close-packed in the opening space of the stencil.

Key Words: Paste Printing, Solder Paste, Fine Powder, Lead-Free

1. 緒言

1980年代より開始され、現在の実装技術の主流たる表面実装技術¹⁾においては、ソルダペーストが使用される。ソルダペーストは、ソルダ粉とペースト状フラックスの混合物からなり、一般にソルダペースト中のソルダ粉は、球形粉が使用され、25 μm ～42 μm の範囲程度の粒度分布をもつものが使用される²⁾。従来、ソルダペーストは、表面実装部品の搭載用に、ペースト印刷法により、プリント配線板の電極上に供給されてきたが、搭載部品の小サイズ化およびファインピッチ化に対応すべく、平均ソルダ粉径が15 μm 程度のソルダペーストが開発され、フリップチップの搭載用にも使用されるようになってきた^{3)～6)}。また、最近では、半導体パッケージあるいはベアチップのバンパ形成用に、平均ソルダ粉径が10 μm 以下のものも検討されるようになってきている⁶⁾。そこで、本研究では、微細ソルダ粉を用いたペースト印刷技術の印刷特性を調査することを目的として、ソルダ粉径の異なるソルダペーストを作成し、表面実装部品搭載用電極上にペースト印刷を実施した。特に、ソルダ供給量に及ぼすソルダペースト中のソルダ粉径の影響について調査したので、その結果について報告する。

2. 実験方法

本研究では、Table 1に示す3種類のソルダ平均粉径を持つSn-3.0mass%Ag-0.5mass%Cuのソルダペーストを準備し

た。さらに、Fig. 1には、Table 1に示した各ソルダペーストのソルダ粉の粒度分布を示した。なお、本研究で使用したソルダペースト用のフラックスは、無洗浄用RMAタイプのものでした。

ペースト印刷用基板として、厚さ1.6 mm、0.4 mmピッチおよび0.3 mmピッチQFP (Quad Flat Package)および0603チップ搭載用のCu電極を有するFR-4基板を用いた。Fig. 2に、評価用FR-4基板のパターンを示す。各Cu電極のサイズは、0.4 mmピッチQFP、0.3 mmピッチQFP、および0603チップ用電極部に対し、それぞれ、1.46×0.19 mm、1.45×0.13 mm、0.25×0.33 mmである。また、Cu電極およびソルダレジストの平均厚みは、それぞれ、60 μm および52 μm である。なお、Cu電極の表面処理は、水溶性プリフラックス処理とした。

メタルマスクは、アディティブ法により穴加工が行われたNi製のもので、メタルマスク厚が150 μm および120 μm の2種類のを準備した。開口サイズは、0.4 mmピッチQFPおよび0.3 mmピッチQFP用パターンに対しては、電極

Table 1. Solder paste type

Composition (mass%)	Spec. of diameter of powder	Average of diameter of powder (μm)	Flux content (mass%)
Sn-3Ag-0.5Cu	under 10 μm	8.2	10.5
	under 15 μm	11.3	10.5
	25-42 μm	39.3	10.0

(a)

(b)

(c)

Fig. 1 Particle-size distributions of powders, which average diameter are $39.3\ \mu\text{m}$ (a), $11.3\ \mu\text{m}$ (b) and $8.2\ \mu\text{m}$ (c), respectively

サイズと同一サイズとし、0603チップ用電極部に対しては、 $0.23\times 0.33\ \text{mm}$ とした。Table 2に、本研究で実施した印刷条件をまとめて示す。なお、スキージは、ウレタンゴム製スキージを使用した。

ソルダペースト印刷後の基板に対して、リフロー炉を用いて、リフローソルダリングを行った。リフロー条件は、ピーク温度 224°C とし、 217°C (Sn-3Ag-0.5Cuの溶融開始温度)以上の保持時間が29sであった。リフローソルダリング後に、ソルダリング部におけるブリッジやソルダボール¹⁾等のソルダリング不良の発生の有無を評価した。さらに、0603チップ搭載用電極に供給されたソルダ量を評価するために、X,Y,Z軸方向の測定機能付き光学顕微鏡を用い

Fig. 2 Cu patterns in the printed circuit board

Table 2. Conditions of paste printing

Parameter	Setting value
Gap between stencil and board	0 mm
Printing pressure	$2.0\ \text{kgf/cm}^2$
Printing speed	30 mm/s

Fig. 3 General views after paste printing using solder powder with $39.3\ \mu\text{m}$ diameter (stencil thickness: $120\ \mu\text{m}$)

て、リフローソルダリングによって形成されたソルダパンプの高さおよび底辺部の直行する2方向の径を測定した。そして、それらの測定値を用いて、ソルダパンプの形状を球の一部として近似することにより、供給ソルダ量を求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 印刷結果

Fig. 3およびFig. 4に、 $120\ \mu\text{m}$ 厚のメタルマスクを用いて

Fig. 4 General views after reflow soldering for the same site shown in Fig. 3

Fig. 5 General views after paste printing using solder powder with 8.2 μm diameter (stencil thickness: 120 μm)

平均粒径 39.3 μm のソルダペーストを印刷した基板の印刷後およびリフローソルダリング後の同一箇所の外観観察像をそれぞれ示す。0.3 mm ピッチ QFP の電極パターンにおいて、電極中心部へのはんだの集中が認められる以外は、ブリッジ等の不具合は、認められない。

Fig. 5 および Fig. 6 に、120 μm 厚のメタルマスクを用いて平均粒径 8.2 μm のソルダペーストを印刷した基板の印刷後およびリフローソルダリング後の同一箇所の外観観察像をそれぞれ示す。平均粒径 39.3 μm の結果と比較すると、ソルダ粉末の微細化に伴う電極外への微細粉の残留（ソルダボール¹⁾）は認められないが、0.3 mm ピッチ QFP の電極パターンにおいて、ブリッジの発生が認められる。Table 3 に、リフローソルダリング後のブリッジ発生の有無をまと

Fig. 6 General views after reflow soldering for the same site shown in Fig. 5

Table 3. Summary of inspection results after reflow soldering

Stencil thickness (μm)	Diameter of powder (μm)	Pad pattern	Soldering results
150	39.3	0.4 mm pitch	○
		0.3 mm pitch	○
	11.3	0.4 mm pitch	×
		0.3 mm pitch	×
120	8.2	0.4 mm pitch	×
		0.3 mm pitch	×
	39.3	0.4 mm pitch	○
		0.3 mm pitch	○
120	11.3	0.4 mm pitch	○
		0.3 mm pitch	○
	8.2	0.4 mm pitch	○
		0.3 mm pitch	×

○: No bridge, ×: Bridge

めた。メタルマスク厚 120 μm の場合には、平均粒径 8.2 μm のソルダペーストを 0.3 mm ピッチ QFP 電極に供給した試料においてのみ、ブリッジの発生が認められたが、メタルマスク厚が 150 μm の場合には、平均粒径 11.3 μm 以下のソルダペーストを用いると 0.4 mm および 0.3 mm ピッチ QFP のいずれの電極パターンにおいてもブリッジが発生するようになった。これは、メタルマスク厚の増加に伴い、供給ペースト量が増えるため、ブリッジが発生しやすくなったものと考ええる。また、微細粉末を用いたほうが、ブリッジの発生が起りやすくなる傾向を示すのは、後述するように、平均粒径の減少に伴い、供給はんだ量が増加すること起因するものと考ええる。

3.2 ソルダ供給量

Fig. 7 は、0603 チップ搭載用電極パターン上に供給され

Fig. 7 Relationship between the solder volume applied on the electrode for the 0603 chip and the average diameter of powder in solder paste

Table 4. Evaluation model for applied solder volume

Model type	Details
Model 1	(Stencil opening volume) × (Volume content of solder powder in solder paste)
Model 2	Closed pack model using powder with average diameter

た溶ダ量と、溶ダペースト中の平均粉径との関係を示す。Fig. 7より、溶ダペースト中の平均粉径が減少すると、供給される溶ダ量はメタルマスク厚が120 μm および150 μm いずれの場合にも、増加する傾向を示すことがわかる。

平均粉径と溶ダ供給量との関係の評価するために、Table 4に示した2つのモデルを用いて考察を行った。モデル1は、簡易的な供給量評価法であり、溶ダ供給量は、メタルマスクの開口部体積に、溶ダペースト中における溶ダ粉末の体積比を乗じた式にて与えられる。本研究では、Sn-3Ag-0.5Cu 溶ダおよび溶ダペースト中のフラックスの比重をそれぞれ7.4 g/cm³ および1 g/cm³ として体積比を求めた。また、モデル2では、平均粉径を持つ溶ダ粉をメタルマスクの開口空間中に、剛体球の最密充填モデル⁷⁾に従って配置し、充填個数より溶ダ供給量を求めている。

両モデルにより評価した溶ダ供給量と平均粉径との関係を、Fig. 7に示した測定値と共に、Fig. 8に示す。Fig. 8より、モデル1による評価法では、供給溶ダ量は溶ダペースト中のフラックス含有量に依存して変化するため、平均粉径に対しては、ほとんど変化は認められず、本研究で得られたような傾向は認められないことがわかる。一方、モデル2による溶ダ供給量の評価値は、その値は測定値よりも大きくなるものの、傾向的には、測定値と同様の傾向、すなわち平均粉径の減少に伴い、溶ダ供給量が増加する傾向を示した。さらに、メタルマスク厚が150 μm および120 μm のいずれの場合においても、モデル2から得られ

(a) Stencil thickness: 150 μm

(b) Stencil thickness: 120 μm

Fig. 8 Evaluation results for applied solder volume using model 1 and model 2 specified in Table 4

る溶ダ供給量におよそ1/2程度の補正係数を乗じることにより、測定値とモデル2による計算値は、よい一致を示すことが明らかとなった。

Da Heらは、平均粉径13.1 μm から33.8 μm の溶ダペーストを対象として、ペースト印刷の際にメタルマスクの開口部に供給される溶ダ体積を、モンテカルロ法を用いて粒度分布を考慮したシミュレーションにより求めている⁸⁾。その計算結果によれば、メタルマスク厚が120 μm の場合、平均粉径が13.1 μm から33.8 μm まで大きくなるにつれ、開口部体積に対する供給溶ダの充填率は、0.4程度から0.3程度に減少する⁸⁾。本研究のモデル2の結果においては、平均粉径が8.2 μm から39.3 μm まで変化すると、開口部体積に対する供給溶ダの充填率は、0.58から0.43に減少する。したがって、粒度分布も考慮した実際の供給溶ダ量は、平均粉径の溶ダ粉を最密に充填する場合の7割程度となるものと考えられる。本研究においては、電極上に供給される溶ダ量の測定値は、最密充填モデルにて評価した値のおよそ1/2程度となった (Fig. 8参照)。測定値が、計算値の1/2程度の値となることに関しては、今後、

さらなる検討が必要であるが、主要因としては、ペースト印刷時のメタルマスクコーナー部への溶ダペーストの残留、ウレタンゴムスキージ使用によるペースト印刷時の溶ダペーストの掻き出し、銅電極パッド側面部への溶ダの供給などが考えられる。

以上の結果より、溶ダペースト中の平均溶ダ粉径が減少すると同一メタルマスク開口サイズに対しては、供給溶ダ量が増加する傾向を示すことが明らかとなった。実際、0.3mm ピッチおよび0.4mm ピッチ QFP 搭載用電極においては、微細粉ペーストを用いるとブリッジが発生しやすくなる傾向が観察された (Table 3 参照)。そのため、微細粉末を用いた溶ダペーストを使用する場合には、ペースト印刷時の溶ダの過剰供給を防止するため、メタルマスク厚を薄くしたり、開口サイズを小さくする等の対処が必要となるものと考えられる。

4. 結 言

本研究では、微細溶ダ粉を用いた溶ダペーストの印刷特性を調査することを目的として、溶ダ粉径の異なる溶ダペーストを用いて、溶ダ供給量に及ぼす溶ダペースト中の溶ダ粉径の影響について調査した。その結果、平均溶ダ粉径が減少するのに従い、供給溶ダ量は増加する傾向を示すことが明らかとなった。この傾向は、平均粉径を持つ溶ダ粉をメタルマスクの開口空間中に、剛体球の最密充填モデルに従って配置するモデルを利用して供給溶ダ量を評価することにより、解釈が可能となることが明らかとなった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、ホソカワ粉体工学振興財団より研究助成を受けていることを付記し、謝意を表します。

(2003.5.1-受理)

文 献

- 1) “標準マイクロ溶ダリング技術”, 日本溶接協会マイクロ溶ダリング教育委員会編, 日刊工業新聞社, 2002
- 2) J. H. Lau and Y. H. Pao: “Solder Joint Reliability of BGA, CSP, Flip Chip, and Fine Pitch SMT Assemblies”, McGraw-Hill, 1997
- 3) K. Gilleo: “Area Array Packaging Handbook”, McGraw-Hill, 2001
- 4) S. Fujiuchi and K. Toriyama: “Collective Screen Printing for Carrier Bump and SMT Pads”, Proc. of IEMT Symposium, pp. 109-112, 1995
- 5) 鳥山和重, 藤内伸一, 折井靖光: “ペースト印刷法によるフリップチップ接合技術の開発”, Proc. of Mate '99, pp. 177-182, 1999
- 6) 笠原智彦, 澤 和憲, 高橋義之, 大野隆生: “マイクロ接合の現状と予測”, 第33回マイクロ接合研究委員会溶ダリング分科会資料, pp. 39-49, 2002
- 7) 杉本孝一, 長村光造, 山根壽己, 牧 正志, 菊池潮美, 落合庄治郎, 村上陽太郎: “材料組織学”, 朝倉書店, 1991
- 8) D. He, N. N. Ekere, B. Salam, D. Rajkumar and G. Jackson: “Monte Carlo Study of Solder Paste Microstructure and Ultra-Fine-Pitch Stencil Printing”, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 14, pp. 501-506, 2003