

高密度・微小部品対応ソルダペースト開発

生産本部 生産技術部 第二生産技術室 佐藤 壮
渡辺 保幸

1. 取組背景

近年、車載業界ではハードウェアの機能統合が進んでいる。それに伴い、製品基板単体の実装点数が増加することで、今後さらに基板の高密度化が進むと考えられる。また、車載製品に搭載される電子部品において、IC 部品では製品高機能化に伴う大型化や端子の多ピン・狭ピッチ化、チップ部品では基板高密度化や製品軽量化ニーズに伴う微小化の傾向がある。

これらの製品・部品の動向に対応するには、基板・材料・実装の各分野において技術開発が必要である。

今回、高密度・微小部品実装に対応し、かつ当社が要求する車載品質を満足したソルダペーストの開発を行ったため、その取組について紹介する。

2. 取組内容

高密度・微小部品実装に対応したソルダペーストの開発内容について説明する。

2.1 目標とする実装対象部品

0402Chip (サイズ 0.4x0.2 mm) や端子ピッチ 0.4 mm以下の BGA (Ball Grid Array) ^{*(1)} といった、最小メタルマスク開口φ0.2 mmの微小部品や狭ピッチ部品を実装目標とし、従来の大型 IC などとの大小部品混載にも対応したソルダペーストの開発を行った。

2.2 開発内容

ソルダペーストとは、はんだ粉とフラックス^{*(2)}の混合物であり、リフロー工程において SMD (Surface Mounted Device) ^{*(3)} 部品とプリント基板を物理的・電氣的に接続するために使用されるはんだ接合材料である (図 1、図 2)。

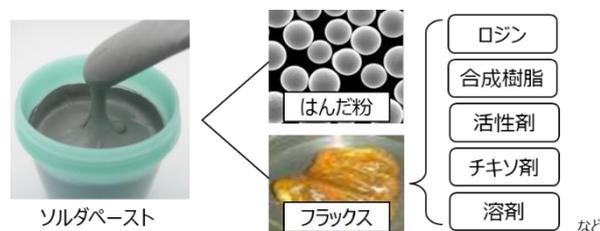


図 1 ソルダペースト概要

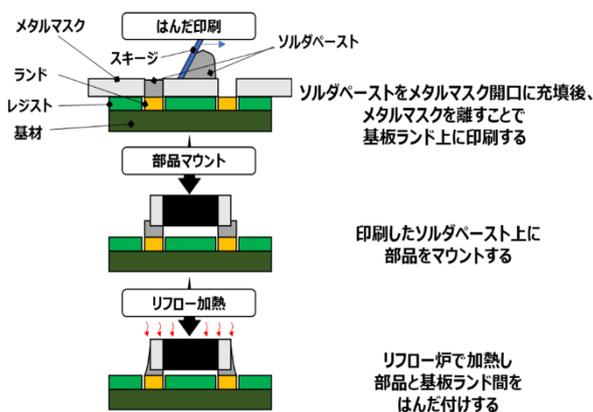


図 2 リフロー工程概要

当社では、0603Chip (サイズ 0.6×0.3 mm) や 0.5 mmピッチ BGA などの部品を対象とした、最小メタルマスク開口φ0.3 mmでの印刷に対応したソルダペースト (以下、現行材料という) を使用している。しかし、先述の微小・狭ピッチ部品の実装を想定したφ0.2 mm程度のメタルマスク開口では、現行材料の印刷時にメタルマスク開口内におけるソルダペーストの充填性が不足し印刷欠けが発生するため、適切な印刷品質が確保できないといった問題がある。

そこで、メタルマスク開口への充填性を向上させるために、ソルダペースト中のはんだ粉のサイズを現行材料の Type4 (平均粒径 30 μm) から Type5 (平均粒径 20 μm) へ微細化する方向で材料の選定を開始した。しかし、当社が必要とするフラックスの性能 (残渣割れ^{*(4)} 耐性など) を持った Type5 ソルダペーストは市場になく、今回、材料メーカー協力のもと、現行材料

をベースに当社要求仕様を満たす新規材料（以下、開発材料という）の開発を行った。

2.3 当社要求仕様確保のための課題と対策

ソルダペースト中のはんだ粉微細化により、メタルマスク開口への充填性が向上し、現行材料と比較し微小開口部への印刷性が改善することが見込まれる。しかし、はんだ粉の流動性上昇や、はんだ粉の総表面積増加に伴う酸化膜量の増加により、実装品質に様々な問題が発生することが考えられる。

今回、ソルダペースト中のフラックスの組成を調整することで上記問題へ対応し、当社要求仕様（表 1）を満足するソルダペーストの開発を行った。その内容について説明する。

表 1 当社要求仕様（抜粋）

No.	項目	基準
1	はんだ付け性	QFP 端子先端の濡れ上がりレベルが当社基準以上であること
2	はんだボール	チップ部品におけるはんだボールの発生数・最大径が当社基準以下であること
3	微細溶解性	当社規定の印刷体積以上で未凝集・未溶解の発生無きこと
4	微細溶解性 (BGA)	当社規定の印刷体積以上で枕不良の発生無きこと
5	絶縁性	高温高湿通電試験 1000H までの抵抗値が当社基準以上で推移すること
6	残渣割れ性	熱衝撃試験後に 0.4 mmピッチ QFP の端子間に跨る残渣割れ発生無きこと
7	印刷性	メタルマスク厚 100 μm/開口φ0.2 mm、□3 mmにおいて体積率が当社基準内であること

2.3.1 はんだ付け性

フラックスには端子や基板ランド表面の酸化膜を還元しはんだ付けを促進させる機能があるが、はんだ粉微細化に伴うはんだ粉の総表面積増加により酸化量が増えるため、現行材料のフラックスのままでは活性力が不足しはんだ付け性が悪化する。

リフロー加熱時の酸素濃度低減によりはんだ粉の酸化膜形成を抑制することが可能であるが、リフロー炉内の窒素使用量増加に伴い実装コストが上昇する。今回、実装コストは変えず、現行材料同などのリフロー酸素濃度（3,000 ppm）ではんだ付け可能となるよう、

活性剤種や量を変更することでフラックスの調整を行った。

はんだ付け性の指標として QFP（Quad Flat Package）⁽⁵⁾ 端子先端の濡れ上がり性を評価した（図 3）。活性力が不足すると、端子先端への濡れ上がりが不足し接合信頼性に影響するほか、実装後の AOI（Automated Optical Inspection）⁽⁶⁾ 検査において良品判断ができず過検出の発生につながることも懸念される。

今回、本開発材料で実装を行った QFP 全端子において、AOI 検査性を確保可能な濡れ上がり高さを満足していることを確認した（図 4）。また、現行材料と比較しても良好な結果であったことから、はんだ付け性において現行材料以上の性能であることを確認した。

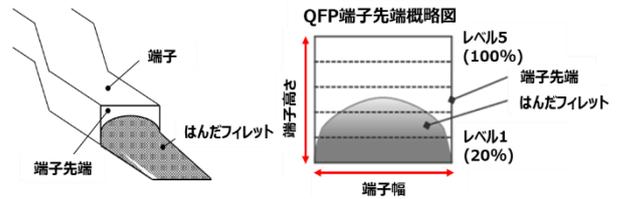


図 3 QFP 濡れ上がり評価基準

評価条件
 部品：0.4 mmピッチ QFP
 部品・基板劣化処理あり
 メタルマスク厚 100 μm
 ※大小混載を想定したメタルマスク厚で評価
 リフロー J-STD-020E 準拠/酸素濃度 3,000 ppm

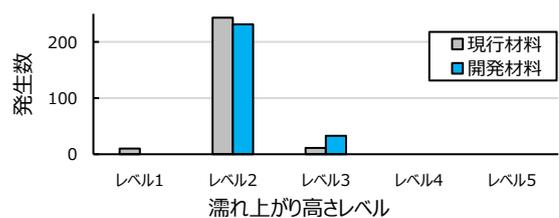


図 4 濡れ上がり評価結果

2.3.2 はんだボール

はんだ粉微細化に伴うはんだ粉の酸化量増加や流動性上昇といった背反により、リフロー加熱時にフラックス広がりとともに流されたはんだ粉が凝集しきらず、はんだボールとして残留することが懸念される（図 5）。



図5 はんだボール発生例

残留したはんだボールが基板からはがれ、狭ピッチのランドや端子間に付着した場合、基板回路の短絡に至る可能性がある。

フラックス中の活性剤・チキソ材などの調整や、メタルマスク開口仕様の検討により、0402~3216 サイズのチップ部品において当社基準以上のはんだボールが発生しないことを確認した。

2.3.3 微細溶解性

活性力不足によりはんだ粉が未凝集・未溶解のまま残留した場合、接合信頼性や導電性の不足により、求められる製品性能が得られないといった懸念がある。

ソルダペースト印刷量の少ない微小印刷部では、フラックスの絶対量も少なくなるため、大開口部と比較し活性力が不足する傾向がある。

そこで今回、先述の活性剤調整を行った開発材料でメタルマスク微小開口部における微細溶解性の評価を行い、はんだ印刷量が不足した場合においても未凝集・未溶解といった不良が発生せず、十分な微細溶解性を有することを確認した (図6)。



図6 微細溶解性確認 (φ0.2 mm/印刷体積率 8.7%)

また、ソルダペーストの活性力や印刷量が不足した場合、BGA 実装時に枕不良⁽⁷⁾といった実装不良が発生することが懸念される (図7、図8)。

先述の活性剤調整を行った開発材料において、はんだ印刷量が不足した場合においても、枕不良の発生なくBGA が実装可能であることを確認した (図9)。

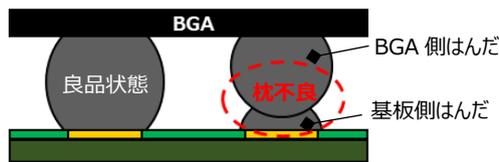


図7 枕不良概略図

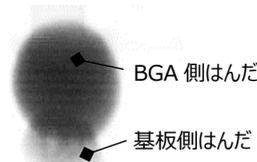


図8 X線撮像図 (枕不良発生例)



図9 X線撮像図 (0.4BGA/印刷体積率 14.5%)

2.3.4 絶縁性

はんだ粉微細化に伴う活性力不足への対応として先述の活性剤調整を行ったが、活性力が過剰であった場合、リフロー後のフラックス残渣に活性成分が残留することによる絶縁性の低下が懸念される。

高密度実装を想定した配線間隙0.10 mmの楕円配線での高温高湿通電試験 (図10) において、本開発材料のフラックス残渣が十分な絶縁性を有し、はんだ濡れ性・絶縁性を両立する材料であることを確認した。

評価条件
楕円配線仕様：幅 0.25 mm/間隙 0.10 mm
メタルマスク：100 μm
リフロー条件：J-STD-020E 準拠/酸素濃度 3,000 ppm
試験条件：社内評価条件準拠(高温高湿通電試験)

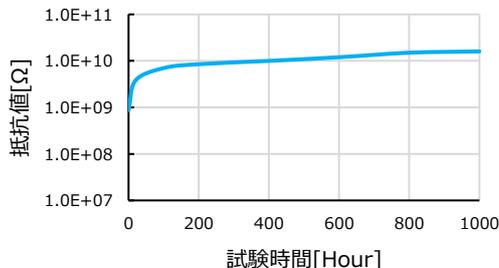


図10 絶縁性試験結果

2.3.5 残渣割れ耐性

本開発材料のフラックス残渣に絶縁性があることを確認したが、製品使用環境の温度差による膨張収縮によりフラックス残渣に端子間に跨る割れが発生した場合、結露が発生した際に水分が浸透し、マイグレーション^{*(8)}による絶縁不良の発生が懸念される。

一般的に、ロジン系フラックスではフラックス残渣に柔軟性が不足するため、温度変化に伴う体積変化によりクラックが発生しやすい。本開発材料では、クラック対策としてフラックスに合成樹脂を添加することで残渣に柔軟性を付与し、現行材料と比較し同等以上の残渣割れ耐性を確保した。

車室内、エンジンルーム内の搭載環境を想定した加速試験において、両条件ともに端子間に跨るフラックスの割れが発生しないことを確認した（図 11、図 12）。

評価条件

部品：0.5 mmピッチ QFP
 メタルマスク：140 μm
 試験条件：
 ① 社内評価条件(車室内環境想定)
 ② 社内評価条件(エンジンルーム内環境想定)

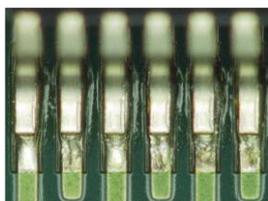


図 11 試験後写真
(条件① 車室内)

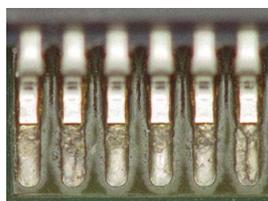


図 12 試験後写真
(条件② エンジンルーム内)

2.3.6 印刷性

はんだ粉の微細化に伴い、メタルマスク微小開口部への印刷性は向上したが、先述の合成樹脂添加の影響でソルダペーストの粘着性が増加し、メタルマスクの版離れ性が悪化することでメタルマスク微小開口部に印刷欠けが発生した。また、メタルマスク大開口部においては、はんだ粉微細化に伴うニジミにより、はんだ印刷量増加やブリッジ発生といった問題が発生した。

そこで、フラックスのチキソ剤・粘度などの調整により上記問題への対応を行った。

メタルマスク微小開口部（ノーマルレジストランド/開口φ0.2 mm）、大開口部（□3 mm）の印刷性を確

認し、いずれも当社規格内であることを確認した（図 13、図 14）。

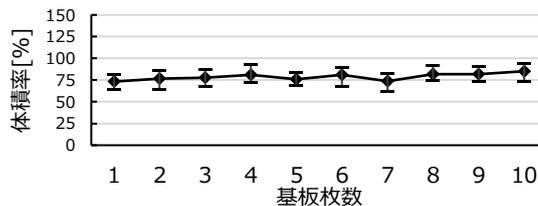


図 13 φ0.2 mm開口部印刷体積

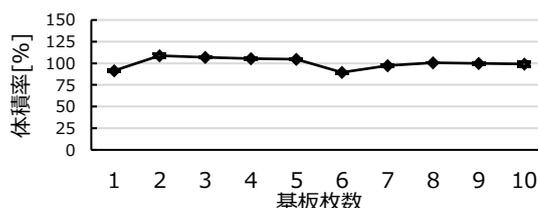


図 14 □3 mm開口部印刷体積

3. はんだ印刷品質確保の方策検討

2.3.6 項でメタルマスク微小開口部における印刷性の確認を実施したが、0402Chipや0.4 mmピッチ以下のBGA実装で想定されるオーバーレジストのランド設計においては印刷欠けが発生し、はんだ粉の微細化やフラックスの調整のみでは印刷品質の確保が困難であった。オーバーレジストのランド設計では、ランド上のレジスト厚みの影響で見かけのメタルマスク厚が大きくなることでアスペクト比^{*(9)}が増大し、ノーマルレジストと比較し印刷難易度が上昇する（図 15）。

一般的に、メタルマスク開口が微小である場合、民生製品などではメタルマスク厚を60~80 μm程度に薄くすることで、アスペクト比増大を回避し印刷性を確保しているが、今回は大小部品混載基板への対応のため、メタルマスク厚を100 μmに固定し評価を行った。



図 15 ランド設計比較

高アスペクト比の印刷箇所では、ソルダペーストがメタルマスク開口に十分に充填されないことや、充填後のソルダペーストと基板間の密着力が不足し、版離れ時にメタルマスク側に引っ張られることにより印刷欠けが発生していると推測される（図 16）。

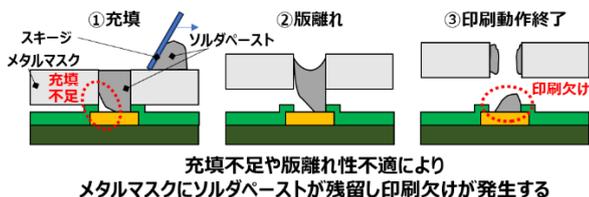


図 16 印刷欠け発生メカニズム

今回、充填性、版離れ性の 2 項目に対し、部材選定（メタルマスク、スキージ）を含めた最適な印刷条件の検討を行った。

3.1 版離れ性向上の検討

まず、版離れ性向上について検討を行った。メタルマスクとソルダペースト間の密着力がソルダペーストと基板ランド間の密着力より大きい場合、版離れ時にソルダペーストが持ち上がることで印刷欠けが発生する。

メタルマスクとソルダペースト間の密着力を小さくする方策として、まず、版離れ時の速度の検討を行った。版離れ速度（ずり速度）上昇に伴いメタルマスク開口壁面近傍のソルダペーストの粘度が低下し、メタルマスクとの密着性が低下することで版離れ性が向上することを期待したが、本開発材料では版離れ速度変更による印刷性の変化が確認できなかったため、次にメタルマスクの仕様に着目し検討を行った。

メタルマスクメーカーでは、版離れ性の最適化のために開口壁面の表面粗度、撥水コートラインナップが設定されている。今回、表 2 のメタルマスク水準で、開口φ0.2 mmかつオーバーレジストのランド設計である 2 部品（0402Chip、0.4BGA）を対象に印刷評価を行った。

表 2 メタルマスク仕様選定評価結果一覧

No.	①	②	③	④	⑤	⑥
メーカー	A	A	A	A	B	B
開口表面粗度 Ra 最大 [μm]	1.2	0.8	0.4	0.4	1.2	0.8
撥水コート	有	有	無	有	有	有
判定 (0.4BGA)	×	○	×	○	×	○
判定 (0402Chip)	×	×	×	×	×	×

表 2 より、本開発材料では、メタルマスク開口壁面の表面粗度が小さく平滑であり、かつ撥水コートが施工されたメタルマスクで印刷性が向上することが確認できた。一方、0402Chip 実装を想定したランドで判定“×”（印刷欠け発生）となっている。印刷欠けが発生した要因として、今回評価したランド設計では、0.4BGA と比較し 0402Chip でよりメタルマスクと基板間の密着性が劣っていたためと推測する。

当社標準仕様のスキージでは印刷速度、印圧などの印刷機側の設定による 0402Chip 部の印刷品質の改善は確認できず、版離れ性という観点での更なる印刷性改善は困難であると判断し、続いてメタルマスク開口内へのソルダペーストの充填性を向上させる方策の検討を行った。

3.2 充填性向上の検討

メタルマスク開口への充填性向上のため、スキージの仕様に着目し検討を行った。

スキージング時のアタック角を小さくすることにより、鉛直下向き方向（開口下面方向）へ掛かる力が大きくなることで微小開口部への充填性が向上すると考え、取付角度や出代のほか、しなり部にハーフエッチングを施工したスキージ（図 17）など、表 3 の水準でスキージ仕様の検討を行った。

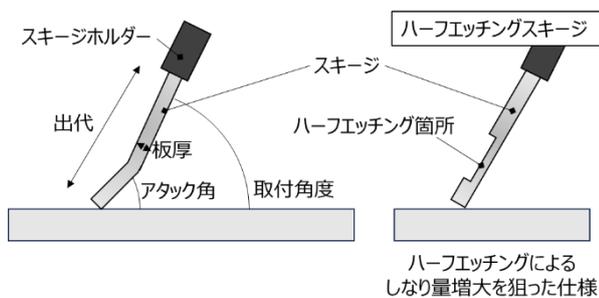


図 17 スキージ概略図

表 3 スキージ仕様選定評価結果一覧

No.	①	②	③	④	⑤	⑥
出代[mm]	7	10	13	7	7	7
取付角度[°]	60	60	60	55	60	50
板厚[mm]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2 (ハーフエッチ 0.1)	0.2
アタック角[°] (実測)	52	49	47	43	39	37
判定 (0402Chip)	×	×	×	○	○	×

表 3 より、印刷時のスキージの出代・取付角度の変更やハーフエッチングの施工によりアタック角を小さくすることが可能であり、アタック角縮小に伴い 0402Chip 実装部の印刷性が向上することが確認できた。

一方で、No.⑥のスキージで印刷性が悪化したが、アタック角が過小となることで水平方向に掛かる力が減少し、開口内のローリング性が悪化することで充填性が低下したことが要因と考えられる。

以上により、印刷難易度の高い高アスペクト比の印刷対象において、2 章記載の材料改良に加え、メタルマスク・スキージの最適仕様選定などの工法側の改善により印刷性を改善できることを確認した。

4. まとめ・今後の展開

高密度化・微小部品実装実現のため、新規ソルダペーストの開発を行った。メタルマスク微小開口部への印刷性向上のためはんだ粉を微細化し、それに伴い発生する背反事項に対し、フラックス中の組成を調整することで当社要求仕様を満足する材料を実現した。また、フラックス中の組成変更のみでは印刷性の確保が困難であった高アスペクト比の印刷箇所においては、メタルマスク・スキージの最適仕様の選定といった工法側の改善

により、目標とする印刷性を満足することを確認できた。

今後、本開発材料の製品適用に際し、量産現場での取扱いや管理条件などの標準化を進めていく。

また、近年の環境保護機運の高まりから、車載業界では材料のハロゲンフリー^{*(10)}化が進んでおり、ソルダペーストにおいても自動車メーカーからハロゲンフリー材料 (IPC 規格 : ROLO) の使用が指定される可能性がある。材料メーカーと協力し、今後の動向を注視しながら新規のハロゲンフリー材料の開発検討を進めていく。

5. おわりに

今回の技術開発に際し、材料開発面で多大なご協力をいただいた材料メーカー様に対し、厚く感謝申し上げます。

脚注

- * (1) SMD (Surface Mount Device)
表面実装部品
- * (2) フラックス
はんだ付け時に金属酸化物を除去し良好な金属結合を促進するために使用される酸性混合物
- * (3) BGA (Ball Grid Array)
はんだボールを格子状に並べた電極形状を持つ半導体パッケージ
- * (4) 残渣割れ
温度変化による収縮応力などの力が加わることで生じるフラックス残渣膜の割れ
- * (5) QFP (Quad Flat Package)
ガルウイング型リードが 4 側面から出た形状を持つ半導体パッケージ
- * (6) AOI (Automated Optical Inspection)
自動外観検査装置
- * (7) 枕不良
BGA 側のはんだボールと基板ランド上に供給したソルダペーストが相溶せず接合していない状態となる実装不良
- * (8) マイグレーション
電極から溶出した金属イオンが電極間を移動し、他方の電極から金属として析出する現象
- * (9) アスペクト比
メタルマスク開口側面積 ÷ 開口面積
アスペクト比が高いほど印刷難易度が高くなる
- * (10) ハロゲンフリー
17 族元素のハロゲン (F, Cl, Br, I) を含有しない材料