部品内蔵基板向けはんだペースト技術

日渡 逸人*

Solder Paste Technologies for Embedded Substrate

Hayato HIWATASHI*

* 千住金属工業株式会社ハンダテクニカルセンター（〒120-8555 東京都足立区千住橋戸町23番地）

* Solder Technical Center, Senju Metal Industry CO., LTD. (23, Senju Hashido-cho Adachi-ku Tokyo 120-8555)

1. はじめに

モバイル機器の高機能化を促進させるために実装基板の高密度化は必然的なものとなっており、中でも最近、情報媒体で目にする機会が増えてきたウェアラブル端末においては、デザイン性の観点から極めて限られたスペースにセンサなどのモジュール部品を実装、またはフレキシブル基板などで繋げた実装基板を組み込む必要性から、今まで以上の高密度化が求められる。このような省スペース化の要求や処理速度向上の目的から実装部品を基板内へ埋め込む技術が生まれ、モバイル機器に採用されるようになってきている。部品内蔵基板が市場でさらに受け入れられるためには機器性能だけでなくコストも非常に重視されるため、性能向上とコストダウンを両立させる技術開発が必要となる。この市場の要求にはんだ付け技術も追従すべく、微細ピッチへの対応やコスト低減の実現など、さまざまな角度から材料開発が進められている。部品内蔵基板では通常の基板製造工程に加え部品実装、または部品埋め込みが必要となるため、これにより工程が増えコスト高は免れない。このように工程が増える中でいかにして品質を確保しながら工数を抑制するかがカギになると思われるが、はんだメーカーの立場から、上記工程増を抑制できる可能性を持つはんだペースト技術について紹介する。

2. 基板に埋め込まれるはんだ材料の課題

具体的な材料技術の紹介の前に部品内蔵基板におけるはんだ材料の課題を挙げてみたい。部品内蔵基板の製造プロセスは①既存部品内蔵、②薄型部品内蔵、③膜素子形成の3種類がある¹⁾。はんだペーストが使用されるケースは上記①の場合であり、通常の表面実装と同様の工程（はんだ印刷、部品実装、リフロー）となるが、次工程で、はんだ付けされた部品全体を樹脂で埋めるため、部品およびはんだと樹脂との密着性が必要となる。

一般的なはんだペーストの場合リフロー後にフラックス残渣が残る、このフラックス残渣が埋め込み樹脂と密着性

が悪い場合には、フラックス残渣の洗浄工程が必要となってしまうため、フラックス残渣には樹脂との密着性が求められる。部品が埋め込まれた基板は、その最表面にさらに通常の部品が実装され、またその完成品がモジュールの場合では、マザーボードに実装され再度リフロー（2次実装）される。この再度リフローされる温度が埋め込み時に使用したはんだの融点を超えるとはんだは再溶融し、設計によって部品のズレや場合によっては溶融したはんだが電極間を短絡させるリスクがある。これら2点の課題をそれぞれ解決し、かつ工程増を抑制できる可能性を持つ技術を以下に紹介する。

3. 基板樹脂との密着性を向上させるフラックス技術

接合後のフラックス残渣が埋め込み樹脂との良好な密着性を実現し、洗浄工程の省略を実現する技術を紹介する。本技術は埋め込み樹脂と相溶性の高い熱硬化性樹脂をペースト用フラックスに添加することで埋め込み樹脂との高い密着性を実現しており、リフロー後に樹脂が硬化することから、はんだ付け後のフラックス残渣が接合部をプロテクトする機能も有する。硬化したフラックス残渣がはんだ接合部や基板、部品に密着し、はんだ接合部をプロテクトすることで優れた接合強度を長期にわたり維持させることを実現している（図1参照）。

一般的なSAC系はんだペーストと接合部にプロテクト機能を持たせたはんだペースト（以下、JPPと略す）によるTCT評価（冷熱サイクル試験、 $-55^{\circ}\text{C} \leftrightarrow +125^{\circ}\text{C}$ 、30分保

図1. フラックス残渣が接合部を保護

持, 1005 チップ部品) を実施した (図 2 参照)。JPP は一般的なはんだペーストと比べフラックス残渣で接合部をプロテクトする機能により, 初期から 1,000 サイクル後まで高い強度を維持している。JPP のフラックス残渣に良好なプロテクト機能を発揮させるためには, 樹脂が十分に硬化して接合部にしっかり密着することが必要となる。この樹脂の硬化度合いは熱履歴により変化することから, 基板と JPP のフラックス残渣との密着強度がリフロープロファイルでどの程度変化するかを検証した。試験方法ははんだの接合強度の影響を排除し純粋にフラックス残渣の密着強度だけを評価するため, 基板のレジスト表面にはんだペーストを印刷→加熱 (図 3-1, 2 参照) し, セン断強度を測定した。強度測定の結果, 破壊は基板とフラックス残渣の界面

図 2. シェア強度比較

図 3-1. 温度プロファイル

図 3-2. 温度プロファイル (ピーク領域)

図 3-3. 試験片外観

図 3-4. 強度測定後試験片外観

図 3-5. 基板との密着強度 (シェア)

で発生している (図 3-3, 4 参照)。

加熱温度が高く, また時間が長い条件ほど高い密着強度を示している (図 3-5 参照)。この結果は SAC305 組成 (Sn-3.0Ag-0.5Cu) を念頭に置いたりフロープロファイルでの結果であるが, 融点の低い SnBi 共晶系はんだにおいても専用フラックスと組み合わせることで同様の挙動が得られる。

この技術を使ったはんだペーストは, はんだ接合部をプロテクトするだけでなく埋め込み樹脂との密着性が高いことから洗浄も不要となり, コスト低減を実現可能な接合材料としてパワーモジュール分野への採用も進んでいる。

4. フラックス残渣の残らないはんだペースト技術

通常はんだペーストはリフロー後に接合部にフラックス残渣が残留する。この残渣が残らなければ樹脂との密着性に関する懸念もなくなり, さらに洗浄工程も不要となることからコスト低減に繋がる。フラックス残渣を無くするためにはこれまでのフラックス開発の考えとは違った発想が必要となる。

図 4 に一般的なはんだペースト用フラックス材料構成の概略を示す。これら材料中, 主にロジンとチキソ剤がリフロー後にフラックス残渣として残留するため, フラックス残渣の残留を無くするためには, この 2 種類の材料を使用しない, もしくはリフロー中に全て揮発させる必要がある。はんだペースト中でこれら 2 種類の材料が果たす役割を簡単に説明すると, ロジンはそれ自体が還元作用を持つた

図 4. フラックス材料構成

図 5. フラックスの TG 測定結果

め、はんだや電極表面の酸化膜除去作用と再酸化抑制作用を持つ。また、チキソ剤ははんだペーストの粘性を保ち形状を維持する、いずれもはんだペーストの性能を司る重要な材料である。そもそもこれら材料はリフロー中に存在することでその機能を発揮しており、フラックス残渣を残留させない目的と相反するため、これらを両立することは容易ではない。

しかしながら技術の進歩は素晴らしいもので、使用条件は制限されるもののリフロー後フラックス残渣として残留しないはんだペーストの開発に成功している。一般的ななはんだペーストと残渣が残留しないはんだペースト（以下、NRB と略す）の各ペースト用フラックスの TG（熱重量分析）測定の比較データ（図 5 参照）では、一般的なペースト用フラックスは 400°C の高温でも重量はゼロにならない。これは残渣として基板上に残留することを意味する。これに対し NRB では、はんだ融点近傍においてゼロに近い値を示しており、フラックスが加熱中に揮発して残渣としてほとんど残留しないことを示している。

NRB を用いて 0603 チップを酸素濃度 1,500 ppm 以下で実装した後の基板 SEM 像を図 6 に示す。この SEM 像から、フラックス残渣が残留することなく、良好なはんだ付け性が得られていることが見て取れる。この技術は部品内蔵分野だけでなく、パワーモジュールの様なフラックス残渣洗浄が必要とされている分野でも注目されており、既に一部実用化が開始されている。

また、工法との組み合わせで NRB の特性をさらに引き立たせる技術も開発されており、真空リフロー炉を使用す

図 6. リフロー後の SEM 像

* 千住金属工業（株）製 真空リフロー炉 SVR-625GT 使用

図 7. ボイド発生率測定結果

ることにより、残渣のみならずボイドもゼロに近い値を実現している（図 7 参照：エックス線透過装置にてはんだ付け部を観察し、ボイド面積／ランド面積＝ボイド発生率（%）として算出）。

5. 再リフロー時にも部品保持可能な接合材料技術

部品内蔵基板は二次実装時に再加熱されるため高融点のはんだが求められる。

数種類の金属を組み合わせることである程度の高融点化は可能だが、安価で Pb を含有しないといった制約下においては、従来の Sn-Pb 高融点のはんだ（300°C 近傍）と同様の融点を持つ実使用可能なはんだは見受けられない。これは Pb フリーはんだの主金属となる Sn の融点が足かせとなり、比較的融点の高い組成でも一般的に知られている組成では Sn-10Sb（固相：245°C）程度である。

そこで、SAC305 の様な Sn を主体とするはんだ粉末と高融点金属粉末を混ぜ合わせることで高融点金属と Sn の反応により金属間化合物（例えば Cu_6Sn_5 ）をはんだ中に網目状に生成させ、再加熱時においても接合された部品を保持する技術が既に開発されている（図 8 参照）²⁾。

このはんだ粉末と高融点金属粉末からなるはんだペースト（以下、複合ペーストと略す）の 250°C における高温

図 8. 高温化プロセス概念図

図 9. 高温シエア測定結果

シエア強度測定結果を実施した（図 9 参照）。SAC305 は本試験時の 250℃ では融点を超えているため部品との接合強度は無いに等しい。対して複合ペーストは接合部に網目状に高融点金属間化合物が生成していることから、250℃においても一定の強度を有する。また、高融点金属の添加量によって強度は異なり、最適な添加量が存在することを示唆している。以上のことから高温 Pb フリーはんだとして有望な技術であるが、金属間化合物をはんだ中に生成していることから、セルフアライメント性の確保（微小部品実装ではリペアが困難であり、セルフアライメント性能が必須）やボイド（図 10 参照）など解決しなければいけない課題も残されており、解決に向けて研究開発が継続されている。

図 10. ボイド観察結果

6. おわりに

今回紹介した 3 種類の部品内蔵基板向けのはんだペースト技術は、まだ未熟な点が残っているものの、それぞれ非常にユニークな特徴を持っているだけに、今後さらにブラッシュアップされることで部品内蔵基板分野以外にも貢献できそうな技術と思われる。また、これら技術を融合した材料も期待でき、新たな接合材料技術が生み出される日も近そうである。

(2014.5.26- 受理)

文 献

- 1) 青木 仁：“内蔵受動部品の動向と今後の展望,” エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 15, No. 7, pp. 522–525, 2012
- 2) 加藤力弥：“エレクトロニクス実装学会春季講演大会,” 2016

著者紹介

日渡逸人（ひわたし はやと）
1999 年 龍谷大学大学院理工学研究科物質化学専攻修士課程修了後、千住金属工業（株）に入社、開発・技術部に所属し SMT 用はんだペースト、微小チップ部品用はんだペースト、ハロゲンフリーペースト、マイクロボールアタッチ用フラックス開発に従事、開発営業を経て、現在に至る。