

鉛フリーはんだ実装の小形スイッチング電源 およびミニ UPS への実用化

Application of Lead-Free Soldering for Compact Switching Power Supply and Mini-UPS

坂 根 誠* 岸 本 真 治* 増 岡 裕 晃*

Makoto Sakane Shinji Kishimoto Hiroaki Masuoka

Abstract

Lead-free solder has been successfully applied to the mount parts on the printed circuit boards for switching power supply and mini-UPS aiming reduction of environmental load. The lead-free solder is defined as the soldering materials containing lead in the concentration of equal to or less than 0.1 mass%, and SN-3AG-0.5Cu alloy was selected for this purpose. The temperature management of solder equipment was turned out to be a very important factor to put it into practice in the soldering process. This paper describes the technical views of the soldering process and the test results on the reliability of the parts applying this technology.

Key words: Lead free solder; Reliability test; Switching power supply; UPS

1 はじめに

(株)ジーエス・ユアサ パワーエレクトロニクスでは、300 VA から 30 kVA の標準ミニ UPS とカスタム UPS および、機器組込み用小形スイッチング電源やオンボード電源のカスタム製品を市場に展開しており、これらの製品のライフサイクルを通じた環境負荷の低減、環境保全に配慮した製品の開発・設計の推進を基本方針の一つに掲げている。近年、廃棄処分された電子製品のプリント基板のはんだ実装に使用された鉛入りはんだが、酸性雨にさらされることにより地下水へ溶け出し、それが人体に様々な影響をおよぼすとして、大きな社会問題となっている。EU の RoHS 指令*

* (株)ジーエス・ユアサパワーサプライ 技術開発部

に代表されるように、鉛を含む特定化学物質の使用を制限する規制が国の内外を問わず進んでいる。当社においても、ジーエス・ユアサ グループの化学物質管理ガイドラインを 2005 年 4 月に制定し、鉛入りはんだについては、2006 年 7 月までに RoHS 指令対応製品とすることになっている。このような背景から、プリント基板のはんだ実装において鉛を含まない鉛フリーはんだへの切り替えが急務となっている。本報文では、

*RoHS 指令 (EU Directive on the Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment): 電気電子機器における特定有害物質の使用制限に関する指令で、EU 向けの製品への鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、PBB、PBDE の使用が 2006 年 7 月 1 日以降禁止される。

鉛フリーはんだ実装の製品実用化に向けて取り組んだ経緯およびその信頼性評価試験の結果を中心に報告する。

なお、鉛フリーはんだとは、鉛の含有量が0.1 mass%以下のはんだと定義される。RoHS指令では2005年10月段階においてEU委員会の最終採択待ちであるが、均質物質の最高濃度値0.1 mass%を超えないものとされている。鉛の電池材料としての用途は欧州電池指令91/157/EECにより適用を除外されている。なお、ジーエス・ユアサのガイドラインにおいては、規制対象の用途でRoHS指令対応でない製品等顧客により要求があるものは適用除外としている。

2 鉛フリーはんだ材料の選定

従来より使用されている鉛入りはんだは、スズ63%、鉛37%(Sn-37Pb)の合成組成で、溶融温度が183℃の共晶はんだと呼ばれるものである。本報文では以降、従来の鉛入りはんだ(Sn-37Pb)を共晶はんだと表示する。鉛フリーはんだの材料は、スズ-銀(Sn-Ag)系、スズ-銅(Sn-Cu)系、スズ-亜鉛(Sn-Zn)系など、現在約20種類ほどの組成が候補としてある¹⁾。主なはんだ材料について、共晶はんだと比較してTable 1に示す。鉛フリーはんだの一般的な特性は、溶融温度が高く、ぬれ性*が劣る。鉛フリーはんだ組成の選定において、従来の共晶はんだと同等以上の接合信頼性と、接合作業性、材料コストがポイントとなる。多くの鉛フリー材料組成の中で、Sn-Ag系のスズ96.5%、銀3%、銅0.5%(Sn-3Ag-0.5Cu)を材料として選定した。この組成は(社)電子情報技術産業協会(JEITA)推奨組成である。接続信頼性が高く、フロー実装、リフロー実装、手付け実装の全工程で同じ材料が使用でき、業界全体の主流材料であるので安定供給

*ぬれ性(Solderability): JIS Z 3001:1999(溶接用語)で、溶けたはんだまたはフラックスの母材面へのゆきわたりやすさの良否をいうと定義されている。はんだの使用性能として、広がり率として評価される。

と量産効果による単価低減が期待できる。JEITAでは1998年から鉛フリーはんだ実用化に向けた研究プロジェクトグループが設けられ、鉛フリーはんだ実用化ロードマップ2002、鉛フリーはんだ実用化検討の成果報告書²⁾などが公表されている。当社の鉛フリー実用化においても参考になった。

3 実用化への課題と取り組み

はんだ付け実装とは、プリント基板に電子部品を実装し、基板の銅パターンと電子部品の端子をろう材のはんだにより溶融接続する技術であり、基板と電子部品とを電氣的・機械的に接続ができる。選定した鉛フリーはんだ(Sn-3Ag-0.5Cu)は、従来の共晶はんだに比べ、溶融温度が183℃から220℃と37℃上昇する。溶融温度が上昇することにより、使用する電子部品の耐熱温度が課題となる。はんだ実装設備では、設定温度の上昇と温度管理、はんだ槽の腐食、ドロス(酸化した不純物)が問題となる。また、機械的強度は優れているが、ぬれ性が劣る特性があり、基板パターンやレジストの設計見直しと、従来のはんだ付け仕上がり基準の見直しが課題となる。

3.1 フロー実装

フロー実装とは、電子部品を挿入実装したプリント基板をはんだ付け実装する方法である。電源装置では電力変換をおこなう主回路部品をフロー実装する。実装工程は、はんだ付け性を良くする目的のポストフラックスを塗布した後、プリヒート工程で基板の温度を上昇させ、はんだ槽に基板を搬送し、基板のはんだ面を溶融したはんだに接触させて、はんだ付けをおこなう。その工程は、はんだ仕上がりに影響するため、ポストフラックスの塗布量を管理する必要がある。プリヒート工程での加熱により、ポストフラックスの活性力を高め維持する。基板各部位に温度差があると活性状態に差がでるため、温度差を小さくすることが要求される。主回路基板には、トランス、リアクトル、電解コンデンサ等の大形部品から、抵抗やICの小形のものを実装される。熱容量の異なる部品が実装され

Table 1 Main properties of solder materials.

| Solder material | Sn-3Ag-0.5Cu | Sn-0.7Cu | Sn-9Zn | Sn-37Pb |
|---------------------------|--------------|----------|--------|-----------|
| Melting temperature | 217℃-220℃ | 227℃ | 199℃ | 183℃ |
| Mechanical characteristic | Very good | Fair | Good | Good |
| Solderability | Good | Good | Fair | Very good |
| Cost | Fair | Good | Good | Very good |

た基板では、各部の温度差を小さくするために、プリヒートゾーンのヒーター位置や温度、搬送スピードを実装基板にあわせて最適化する。Fig. 1にフロー実装での基板温度の変化例を示す。プリヒートから、はんだ槽でのはんだ付およびその後の冷却までの温度を設定・管理する必要がある。また、鉛フリーはんだでは、はんだ槽内の組成含有量の管理が重要となる。鉛の最大許容濃度が質量比で0.1%以下が要求される。従来より電子部品の端子処理には鉛はんだメッキが多く使用されている。これらの鉛フリー未対応の電子部品を混載して実装すると、はんだ槽に鉛が溶融し、鉛の含有量が増加するため、定期的に槽内の鉛含有量を測定管理する必要がある。また、鉛フリーはんだでは金属溶融速度が速く、基板パターンの銅が溶融する。銅の増加は、はんだ接合の信頼性に影響するため、その含有量も定期的に測定管理する。

3.2 リフロー実装

リフロー実装とは、表面実装用のチップ部品をはんだ付けする方法である。電源装置では、制御回路やシーケンス回路に用いる。基板にはんだペーストをスクリーン印刷により塗布した後、部品を実装し、リフロー炉（電気炉の一種）内を通過させて加熱し、はんだペーストを溶融させてはんだ付けする。従来の共晶はんだでは、リフロー炉で約215℃に加熱してはんだ付けていた。鉛フリーはんだでは、リフロー炉の温度を220℃以上に上昇させる必要がある。実装する電子部品の耐熱温度があり、余裕をもって高く設定することはできない。基板の各部位にて230℃～240℃を満足するように、従来にくらべてきめ細かな温度設定と

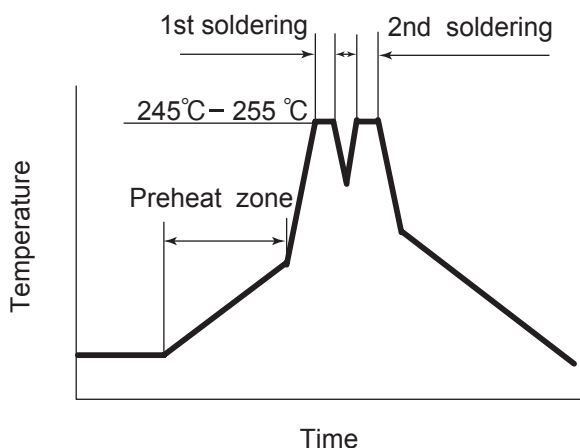


Fig.1 Example of temperature profile of printed circuit board by flow soldering.

管理が必要となる。

4 信頼性評価試験

鉛フリーはんだ実装の信頼性試験とは、電氣的・機械的接合が製品寿命まで確保できることを確認することである。従来の共晶はんだでは、長年の使用実績の積み重ねから、はんだの仕上がりを確認して基準を満足していれば信頼性が確保できたが、鉛フリーはんだでは、実績の積み重ねがなく、仕上がり状態も異なるために同様の判断ができない。鉛フリーはんだの信頼性を確認するために、冷熱衝撃試験、断面観察およびせん断試験を実施して、共晶はんだの場合と比較することにより評価した。Fig. 2に示すAC100 V入力、DC5 V-2 A、DC12 V-0.5 A出力の組込形カスタム電源基板を用いて評価した結果を以下に示す。

4.1 冷熱衝撃試験

冷熱衝撃試験は、低温-40℃/30分と高温125℃/30分を1サイクルとして500サイクル実施した。この試験は、寿命加速試験となる。加速係数はModified Coffin Manson式によりもとめられる。今回実施した条件は、市場での温度差を50℃、1日当たりの電源ON/OFF回数を1回として約10年に相当する。

4.2 断面観察

冷熱衝撃試験250サイクル、500サイクル後の共晶はんだと鉛フリーはんだの断面を観察した。表面実装部品（SMD）の抵抗、FETおよびTO-220形状の挿入実装部品のダイオードの断面観察結果をFig. 3およびFig. 4に、それぞれ示す。いずれの部品もはんだ付

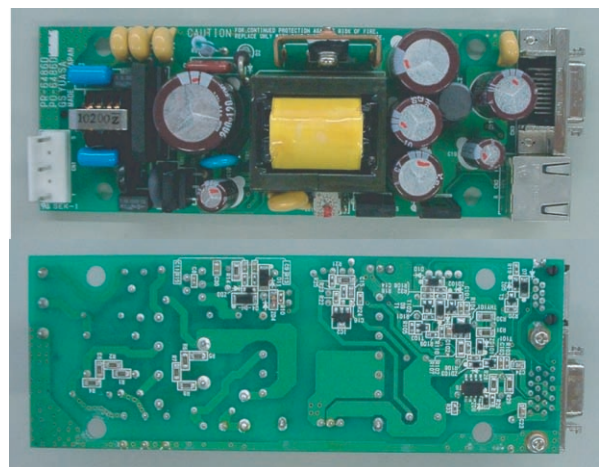


Fig. 2 AC/DC switching power supply PC board for evaluation test.

けフィレット部にクラックの発生はなく、ぬれ性も良好であった。鉛フリーで問題となるランドとはんだの界面が剥離するリフトオフあるいは、ランドが基板から剥離するランド剥離の発生もなかった。共晶はんだでは組織の粗大化が見られるが、鉛フリーはんだではサイクル数が増加しても大きな差はないことから、鉛フリーはんだが共晶はんだ同等以上の信頼性があると

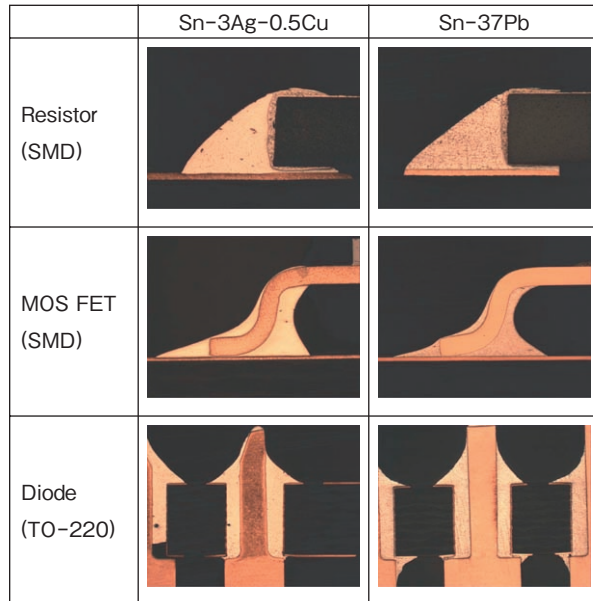


Fig. 3 Cross-sectional views after thermal shock test of 250 cycles.

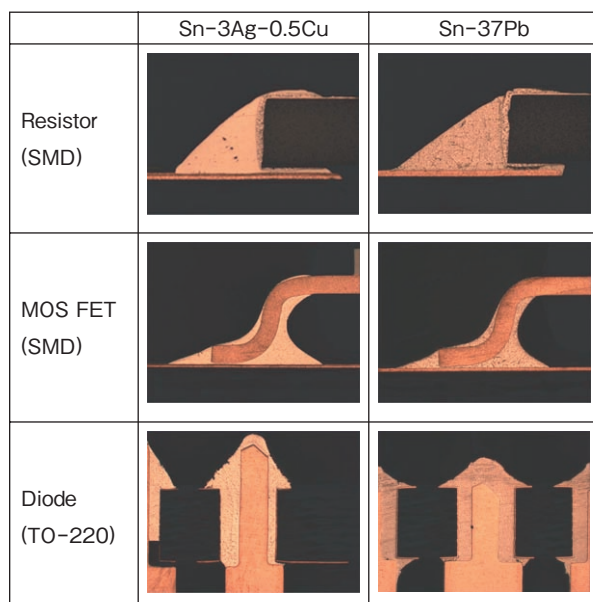


Fig. 4 Cross-sectional views after thermal shock test of 500 cycles.

確認できる。

4.3 せん断試験

表面実装部品のはんだ接合強度試験器にて、抵抗のせん断強度を測定した結果を Table 2 に示す。試験方法は JIS Z3198-7: 2003 に準じた。鉛フリーはんだのせん断強度は、平均値として約 20% 低い結果であったが、部品質量に対する機械的強度としては十分な値である。この結果より、選定した鉛フリーはんだは、共晶はんだと同等の強度の信頼性があることが確認できた。

5 製品化に向けての評価

5.1 環境試験

信頼性試験を実施した AC100 V 入力, DC5 V-2 A, DC12 V-0.5 A 出力の組込形スイッチング電源にて、製品化への評価試験として鉛フリーはんだ実装品の環境試験を実施した。使用環境の仕様温度 0 °C ~ 40 °C, 湿度 10 ~ 90% において、温度動作試験 -15 °C ~ 60 °C, 温度湿度試験 55 °C / 湿度 90% / 48 時間および温度サイクル試験 55 °C / 湿度 90% ⇄ -5 °C, 4 時間 10 サイクルを実施した結果、いずれも正常動作であった。

5.2 ミニ UPS の製品化評価

ミニ UPS の鉛フリー対応の製品化に向けて、単相 AC100 V, 入出力 1.25 kVA の常時インバータ方式 (Acrostar RHA1250-5) にて評価を実施した。主回路基板を Fig. 5 に示す。主要部品について断面観測した結果を Fig. 6 に示す。いずれの部品もクラック、リフトオフやランド剥離の発生はないことから、リアクトル等の大形で熱容量の大きな部品を混載した主回路基板においても、鉛フリーはんだ実装が対応できると結論づけられる。

Table 2 Shear strength of solder joints on chip resistors after thermal shock test of 500 cycles at the condition from -40 °C to 125 °C.

| Sample No. | Material | |
|------------|------------------|-------------|
| | Sn-3Ag-0.5Cu / N | Sn-37Pb / N |
| 1 | 36.6 | 28.7 |
| 2 | 26.4 | 47.3 |
| 3 | 23.4 | 33.6 |
| 4 | 35.4 | 26.8 |
| 5 | 44.9 | 43.8 |
| 6 | 22.6 | 42.2 |
| 7 | 24.8 | 40.8 |
| 8 | 32.8 | 25.9 |
| 9 | 28.6 | 36.3 |
| 10 | 39.7 | 47.5 |
| Average | 31.5 | 37.3 |

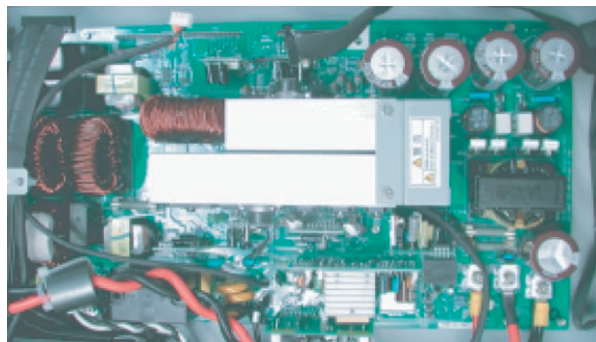


Fig. 5 The 1.25 kVA Mini UPS main PC board for evaluation test.

5.3 はんだ仕上がり基準

鉛フリーはんだは、ぬれ性が劣ることより、従来のはんだ仕上がり基準を見直す必要がある。十分な実績の蓄積がないため、基本的には従来通りのはんだ仕上りを基準とし、鉛フリー特有の判断として、アメリカ電子回路協会の発行する IPC-A-610D のレベル3の基準を参考にした。

6 まとめ

当社が取り扱う製品の鉛フリーはんだ実装において、はんだ材料の選定、はんだ実装工程試験、信頼性確認、製品化評価をおこない、実用化にむけての課題を克服する技術を確立できた。今後は鉛フリー実装を順次展開していく予定である。

| Thermal shock | Reactor (360 μ H, 1.8 mm ϕ) | FET (150 V 70 A) |
|---------------|--|---------------------|
| Initial | | |
| 250 cycle | | |
| 500 cycle | | |

Fig. 6 Cross-sectional views of main parts of Mini UPS after thermal shock test.

文 献

- 1) 鶴田加一, 2005 最先端実装技術シンポジウム予稿集, 鉛フリーはんだ材料の規格化, p.59 (2005).
- 2) (社) 電子情報技術産業協会 実装技術標準化委員会編, 鉛フリーはんだ実用化検討の2005年成果報告書 (2005).