プリント基板の絶縁特性に及ぼす フラックスの影響

Influence of Fluxes on Insulation Resistance of
Printed Wiring Boards

野々垣 光裕* 松井 輝仁* 森広 喜之* 星之内 進*

1. はじめに

民生用から産業用に至るまで電子機器に用いられる実装基板の多くは、プリント配線板上に電子部品をはんだ付けした後、フラックスを除去することを目的として、主にフロン系溶剤を用いて基板の洗浄を行ってきた。最近、環境問題から、フロン以外の洗浄剤を用いる代替洗浄方式や水溶性のフラックスを使用する水洗浄方式を経て、無洗浄方式への切り替えが増加している。

民生用電子機器に用いられる実装基板では、すでに無洗浄方式が実施されており、高密度実装化が要求される産業用電子機器に用いられる実装基板に対しても、無洗浄化の必要性が高くなっている。無洗浄方式では、はんだ材料（ポストフラックス、クリームはんだ）に含まれるフラックス成分がはんだ付後に配線間の絶縁不良や配線金属の腐食等を誘発する可能性があることから、電気的な信頼性を確保することが重要な課題となっている。

本稿では、残存フラックス成分がプリント配線板の電気的信頼性に及ぼす影響、すなわち、配線間の絶縁性を低下させる導体金属のイオンマイグレーションの発生に及ぼす影響、およびフラックス選定のための評価方法について解説する。

2. プリント基板で発生するマイグレーション

* Mitsuhiro Nonogaki, Teruhito Matsui, Yoshiyuki Morihiro, Susumu Hoshinouchi
三菱電機㈱生産技術研究所/Mitsubishi Electric Corp.
Manufacturing Development Laboratory

2.1 マイグレーションの発生モード

プリント配線板の配線間の絶縁性を著しく低下させる現象のひとつに金属（銅、はんだ）のイオンマイグレーション（以下、マイグレーションと略す）がある。水分の存在下で、配線間に直流電圧が印加された場合に配線金属、あるいはその化合物がデンドライト状、針状、砂状、その他の形態で発生する現象をマイグレーションという。初期には電気化学的反応による金属の溶出が認められることから、エレクトロケミカルマイグレーションと呼ぶ場合もある¹⁾。

高密度実装基板では、ガラスエポキシ積層板を基材とする配線板が主に用いられる。

マイグレーションは主に、Fig.1に示すように配線板の内部と表面とで発生する。配線板内部では、イオンとして溶出した銅が化合物を形成して陽極方向から析出し、金属銅に還元されたり、イオンとして再溶解しながら、エポキシ樹脂とガラス繊維に沿って、陰極に向かって進行する^{2)~4)}。

配線板表面においては、結露雰囲気や水溶液中のように水分が十分に存在する場合には、陽極から溶出した金属イオンは水和した状態で陰極へ移行し、そこで還元されて金属になり、デンドライトとして陽極に向かって析出することが多い。また、高湿度雰囲気下のソルダーレジストが被覆された表面電極間では、イオンが動き難いため、陽極からデンドライトが発生する⁵⁾。無洗浄では、電極間に残存するフラックスの種類により、陰極から発生する場合と陽極から発生する場合があるが⁶⁾、そのメカニズムは解明されていない（Fig.2）。マイグレーションの発生が確認されるまでの時間は、高湿度雰囲気下より水溶液中や結露雰囲気下のほうが短く、わずか数分間で発生することがある^{7,8)}。

2.2 マイグレーションの発生を誘発する要因

マイグレーションの発生に影響を及ぼす要因として配線板の内部では、基板材料に用いられる樹脂の加水分解性、硬化度、吸水率や樹脂中の不純物イオン濃度、強化繊維の種類と樹脂との界面における処理状態がある。配線板の表面では基板材料に用いられる樹脂の加水分解性、硬化度や吸水率、樹脂中の不純物イオン濃度、フラックス残渣の種類、ソルダーレジスト等のコーティング材料

の特性（吸水性等）があげられる。マイグレーションの発生により絶縁不良となるまでの時間は、基板材料が同じで表面が清浄な場合においては、表面電極間よりも内部電極間（スルーホール電極間）のほうが短い^{2)~4)}。

ただし、配線板表面にイオン性物質等が存在すると、表面電極間のほうがマイグレーションの発生が起こりやすくなる場合があるので注意を要する。

Fig.1 Copper ion migration in high density PWBs.

Fig.2 Copper ion migration observed on surface of PWBs with fluxes.

(test condition : 85°C, 85% RH, DC50V. line spacing : 0.16mm)

Fig.3 Components of fluxes.

3. フラックス成分の影響

3.1 フラックスの構成成分

フロー方式のはんだ付けで使用するポストフラックスは主に樹脂と活性剤および溶剤で構成されている。また、リフロー方式で用いられるソルダーペーストに含まれるフラックスは、樹脂や活性剤および溶剤以外に、はんだ粒子との分離を防いだり、印刷性を向上させるためにチクソ剤が補助成分として含まれている⁹⁾ (Fig.3)。

3.2 マイグレーションを誘発するフラックスの特性

無洗浄化においては、はんだ付後にフラックス成分である樹脂成分、活性剤、チクソ剤等が配線板上に残存するので、これらの成分がマイグレーションの発生にどのように影響を及ぼすかについて述べる。

以下に影響を及ぼす項目をあげる。

- ①活性剤の種類や濃度
- ②樹脂 (+チクソ剤) の耐熱性 (軟化温度)
- ③樹脂 (+チクソ剤) および残存溶剤の吸湿性
- ④樹脂 (+チクソ剤) の膜性能

活性剤にはアミンハロゲン化水素酸塩 (ジエチルアミン塩酸塩等) や有機酸等が用いられ、これらは水分の存在下でイオン化し易いので、マイグレーションの発生に最も影響を及ぼす。

セバシン酸のような疎水性が強い有機酸を使用した場合やアミンハロゲン化水素酸塩に含まれるハロゲンイオン (塩素イオン等) 濃度が低いフラックスを使用した場

合には銅のマイグレーションは発生し難いが、塩素イオン濃度が高かったり、アジピン酸のようにさらに親水性の有機酸を使用した場合には、逆に発生し易くなる (Fig.4)^{6,7)}。

この結果は、各種活性剤が金属の溶出に及ぼす影響の違いが原因であると考えられる。

Fig.4 Insulation resistance of PWBs with fluxes vs. elapsed time.

- A: organic acid (sebacic acid)
- B: organic acid (adipic acid)
- C: chloride content of 0.2wt %
- D: chloride content of 0.06wt %

水溶液中への金属の溶出量が少ない活性剤ほどマイグレーションが発生し難いことから、初期の金属に対する溶出性がマイグレーションの発生と少なからず相関がある⁹⁾。しかしながら、金属の溶出に及ぼす影響が小さいにもかかわらず、マイグレーションが発生し易い場合もある。たとえば、吸湿性が大きい場合や、樹脂の軟化点が低い場合である。吸湿性や軟化性が原因でマイグレーションが発生し易くなる理由としては、主に溶出した金属イオンが動き易くなるためと考えられる。特にソルダーペーストの場合には、リフロー後に残存しやすい高沸点溶剤やチクソ剤が含まれているので、ポストフラックスより吸湿性が大きくなったり、軟化点が低くなったりする場合があるので注意を要する。

また、④の膜性能に関しては、一般にロジンが低分子であることから、急激な温度変化でクラックが発生する¹⁰⁾。したがって、一般にクラックの形状が維持される低温高湿領域では水分の浸入が起こり、マイグレーションが短時間で発生する可能性もある。

以上、フラックスがマイグレーションの発生に与える因子は活性剤だけでなく、樹脂そのものが持つ熱的、化学的特性も影響する。

4. フラックス選定のための評価方法

無洗浄化対応のポストフラックスやソルダーペーストでは、活性剤にハロゲン成分の影響を低減するため、その含有量を減らしたり、水に溶解し難い有機酸を活性剤に使用する傾向にある。

また、MIL規格で規定されているRMA (Rosin Mildly Activated, 弱活性化ロジン) 系のフラックスが無洗浄対応品として使用される傾向があるが、規格試験

(銀クロメート試験、銅鏡試験、水溶液抵抗等) ではイオン成分のみが規定されており、金属の溶出に対しては抑制効果があるが、必ずしも無洗浄の要求を十分に満たしていない。

RMA系でも絶縁特性がよくないものもあり、また活性剤が熱分解し易く、リフロー後にはイオン成分がほとんど残存しないソルダーペーストでは、RA (Rosin Activated, 活性化ロジン) 系でも樹脂の吸湿特性が良好であれば絶縁特性にすぐれたものもある (Fig.5, 吸湿率: ペースト A>B≧C)。

以下に耐マイグレーション性の観点から材料選定を実施するための評価方法について述べる。

4.1 絶縁抵抗試験方法

プリント配線板でマイグレーションを発生させる試験方法として、一般に高湿下における電圧印加耐湿試験がある。ここでは、IPC-SF-818-TM650に規定されているフラックスを塗布したプリント配線板の表面絶縁抵抗試験における最も厳しい環境条件 (85℃/85% RH) を用いて試験を行うこととした。

この規格では所定時間後に絶縁抵抗を測定し、マイグレーションの発生を目視による観察で確認することになっている。しかし、Fig.6に示すようにマイグレーションが発生すると絶縁抵抗の挙動は急激な低下と復帰を示す場合が多いので、絶縁抵抗を連続して計測しないとマイグレーションの発生時間を正確に把握できないばかりか、絶縁抵抗値と発生状況とが一致しない現象が生じる。

したがって、連続的に電圧を印加し、抵抗値を数分間隔でモニターする方法を用いている。マイグレーション発生の検出感度を向上させる意味でも、どの程度の時間間隔でモニターすればよいかをメカニズムの観点から見極めていく必要がある。

Fig.5 Insulation resistance of PWBs with pastes vs. elapsed time.

Fig.6 Behavior of insulation resistance induced by ion migration.

4.2 評価基準の考え方

マイグレーションの発生は材料面だけでなく、配線間距離（電極間距離）や電圧、湿度、温度等の条件にも大きく影響される。したがって、目的とする製品の要求寿命を満足させるためには、使用されるプリント配線板の上記条件下における特性を明確にした上でフラックス選定のための基準を設定する必要がある。基本的には電圧や温度条件を加速することにより、短時間で判定できる試験を実施する。この際、フラックス選定の考え方としては、使用するプリント配線板に最低限要求される絶縁寿命を有していれば合格とする考え方がある。

この考え方は、基板本来が有する寿命を評価基準とする方法である。ここでいう寿命とは、絶縁抵抗が $10^9\Omega$ 以下に達した時間である。たとえば、最も普及しているFR-4グレードのガラスエポキシ配線板内部の寿命を基準とし、フラックスを使用した場合の寿命を絶縁距離に対して求めれば、適用可能な配線間距離が設定できる。

Fig.7における斜線部はプリント配線板の寿命を決めているスルーホール間隔での寿命を、配線板の設計ルール（スルーホール間隔と表面配線間の組み合わせ）を考慮して、実際に使用される表面の配線間隔に対してプロットしたものである。フラックスが残存する配線間での寿命がこの斜線部より長ければ、フラックスが配線板の寿命を決定する要因ではないと考えて差し支えない。

また、寿命予測を行うためには、電圧、湿度、温度等の加速係数を求めて寿命を推定する必要がある。絶縁寿命の電圧依存性よりDC50Vの試験電圧で1,000時間の試験寿命があれば、実使用電圧DC5V稼働では約10年の寿命に相当する⁴⁾などの寿命予測に関するいくつかの報告^{11,12)}があるが、温度、湿度の依存性も含めて理論的

裏付けを行い、寿命予測の精度向上を図る必要がある。

5. さ い ご に

残存フラックス成分が、プリント配線板の導体金属のマイグレーションの発生に及ぼす影響について解説したが、本来は、マイグレーションの発生メカニズムを解明した上で、その影響を明確化する必要がある。たとえば、マイグレーションの3つの反応過程（金属の溶出過程、移行過程、析出過程）の各々の反応メカニズムを電気化学的手法等を用いて定量的に求めることにより、どの反応過程が律速であるかを見極めることである。かなり困難であるが、それが実現すれば、真の意味でのマイグレーションの発生防止や寿命予測も可能となるであろう。

参 考 文 献

- 1) 中村他：実装におけるマイグレーションの諸問題と対策，信学技報，R90-56（1990）
- 2) D. J. Land, J. P. Mitchell, T. L. Welsher：Conductive Anodic Filaments in Reinforced Polymeric Dielectrics Formation and Prevention, 17th Annual Proceedings Reliability Physics Symposium（1979）51-63.
- 3) 野々垣，北村，高浜：多層プリント配線板における銅イオンマイグレーション，電気学会絶縁材料研究会，EIM-90-83（1990）
- 4) 野々垣，松井，増田，高浜，榎本：無洗浄実装基板の電気的信頼性評価，三菱電機技報，vol. 67, No. 6,（1993）532-536.
- 5) 津久井，串田，長谷川：プリント回路板のマイグレーションと誘電特性，信学技報，vol. 90, No. 9, EMC-90-5（1990）29-35.
- 6) 野々垣，松井，増田，高浜，榎本：無洗浄実装基板の電気的信頼性評価，プリント回路学会絶縁性研究部会，vol. 1, No. 1,（1993）7-13.
- 7) 野々垣，北村，高浜，星之内：プリント基板のマイグレーションに及ぼすフラックス残渣の影響，第11回マイクロ接合研究委員会ソルダリング分科会，MJ-S-61-91,（1990）31-38.
- 8) 村田，岩田，沼倉，長谷川：各種金属の電気化学的マイグレーションの検討，信学技報，R-85-18（1990）31-36.
- 9) 辻 鷹監督：プリント配線板洗浄技術，（1991）株式会社トリケップス
- 10) 大西，竹本：無洗浄はんだ付材料について，第11回マイクロ接合研究委員会ソルダリング分科会，MJ-S-62-91,（1990）39-48.
- 11) R. R. Sutherland, I. D. E. Videlo：Accelerated Life Testing of Small-Geometry Printed Circuit Boards, Circuit World, Vol. 11, No. 3,（1985）35-40.
- 12) 尾中，伊藤，石川：部品電極材料のイオンマイグレーションの検討，信学技報，R91-37（1991）45-48.

Fig.7 Failure time of PWB vs. line spacing.