

封止膜コート基板における 銅マイグレーションの抑制について

筒口善央* 米澤保人* 奥谷潤* 的場彰成*

本研究では、吸湿率、透湿性、密着性、温水密着性、銅イオン溶出物質の5項目に対する性質が異なる11種類の封止膜を用いて、銅マイグレーションの抑制に有効な性能を明らかにした。また、封止膜をコートしたプリント配線基板に対する従来の銅マイグレーション評価試験では1ヶ月以上の期間を要していたが、結露サイクル試験を用いることで銅マイグレーションの発生を加速できることを見出した。この加速試験法を用いて評価したところ、封止膜コートしたプリント配線基板では、封止膜とはんだレジスト界面での経路形成で銅マイグレーションが進行することが分かった。また、銅マイグレーションの抑制のためには、塩素のような水に反応して銅イオンを溶出する物質を含まず、透湿性が低い封止膜を用いることが重要であるとわかった。

キーワード：銅マイグレーション，封止膜，結露サイクル

Performance of Sealing Films in the Suppression of Copper Migration on Printed Circuit Boards

Yoshiteru DOGUCHI, Yasuto YONEZAWA, Jun Okutani and Akinari MATOBA

We clarified the performance of sealing films in the suppression of copper migration on printed circuit boards covered with sealing films by evaluating 11 kinds of sealing films with different properties in the 5 parameters of: (1) moisture absorptivity, 2) moisture permeation rate, 3) adhesiveness, 4) hot water adhesiveness and 5) copper ion eluting substances. Additionally, we found that it was possible to accelerate copper migration by means of a dew condensation cycle test, though it takes more than one month in a conventional copper migration evaluation test for printed wiring boards coated with sealing films. As a result of this accelerated test, we found that copper migration progressed in a path between the sealing film and solder resist, along which eluted copper ions moved. Additionally, we confirmed that important factors for the suppression of copper migration include not using substances that react with water and elute copper ions, such as chlorine, and the moisture permeability of the sealing film should be low.

Keywords : migration phenomenon, sealing film, dew condensation cycle test

1. 緒 言

電子機器や部品の小型化が進み、プリント配線基板の配線間隔が狭くなったことから、配線や電極から溶出した銅イオンが電極間を移動して、銅生成物の成長による電極間の絶縁抵抗値の低下や短絡故障に繋がる銅マイグレーションが発生しやすくなっている。特に、屋外等の高温多湿環境下で使用されている空調機器、給湯機器、制御盤などは銅マイグレーションが発生しやすいため対策が必要である。これらの機器では、一般に、防湿および防虫対策のための封止膜をコート(塗布)しているが、封止膜に銅マイグレーションの防止対策が考慮されておらず、銅マイグレーションによ

り生じた短絡故障が発生している。しかし、封止膜をコートしたプリント配線基板に生じる銅マイグレーションについて調べた報告はないことから、本研究では、銅マイグレーションの発生原因や抑制に有効な封止膜の性能を調べた。また、封止膜をコートしたプリント配線基板はマイグレーションを生じにくく、従来の評価試験法では1ヶ月以上の長期間を要することから、銅マイグレーションの加速試験に結露サイクル試験を適用し、その妥当性を検討した。

2. 内 容

2. 1 封止膜の性能評価方法

銅マイグレーションは、プリント配線基板の電極間における、水分、金属イオン(水及び不純物の介在で

*電子情報部

溶出したもの), 電界の3つの要素により発生する¹⁾。本研究では, 銅マイグレーション評価用のプリント配線基板を用いて, 透湿性等の性質が異なる種々の封止膜をコートし, 銅マイグレーション抑制効果との相関を調べた。ここで, 封止膜の性能と銅マイグレーションの抑制効果の相関を, 評価因子として封止膜の1)吸湿率, 2)透湿性の他, 特に銅イオンの移動阻害に関連が強いプリント配線基板と封止膜の3)密着性, 4)温水密着性, 封止膜に含有される5)銅イオン溶出物質に着目した。

2. 1. 1 評価用プリント配線基板

評価用プリント配線基板は, 図1に示すような0.3mmの間隔で小判状の銅電極対を10組配置し, 電極部以外には, はんだレジストがコートされている。封止膜のコティングは, 厚さがほぼ10 μ mになるようにディッピング法で行い, 60 $^{\circ}$ Cで30分間乾燥させた。

2. 1. 2 封止膜の種類

前述した1)~5)の性能が異なるシリコン系などの11種類の封止膜(表1)をコートして銅マイグレーション評価試験を行った。

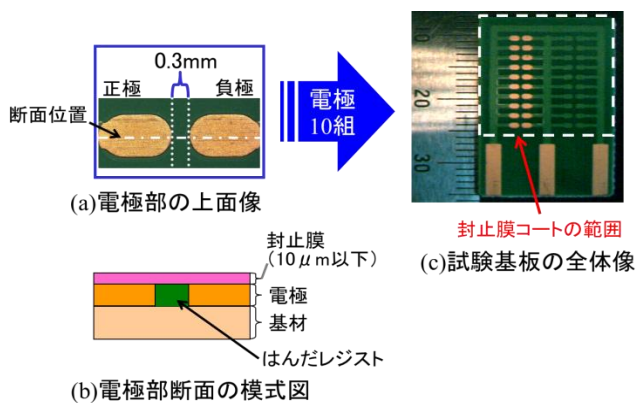


図1 評価用プリント配線基板

2. 1. 3 吸湿率と透湿性評価

吸湿率は, 評価用プリント配線基板を50 $^{\circ}$ C95%rh環境で24時間さらす前後の重量変化より求めた²⁾。また透湿性は, 基材となる透湿性フィルム(三菱樹脂(株))上に封止膜をコートし, JIS L 1099(A-1法:塩化カルシウム法)³⁾に基づき, 40 $^{\circ}$ C90%rhに放置後の吸湿剤(塩化カルシウム)の重量変化を計測した。透湿性フィルムのみで計測した時の重量変化を100%として求めた。

表1 評価に使用した封止膜

封止膜の種類	メーカー/型式
シリコン系	大洋電機産業株/BS-C2005
フッ素系 (防湿)	(株)野田スクリーン/INT-340QA
ブチラール系	サンハヤト/AY-L1003
ウレタン系	D I C株/ハイドランHW-950
エポキシ系 (硬化剤なし)	高松油脂株/TWX-1074
アクリル樹脂	明電ケミカル株/ユニコートSX-684
変性ポリエステル(厚さ:4 μ m)	高松油脂株/A-215GE
変性ポリエステル(厚さ:6 μ m)	高松油脂株/A-215GE
ポリアミド系	高松油脂株/DG-001
ポリオレフィン系	三井化学株/ケミパールSA100
フッ素化アクリル系	楠本化成株/ネオクリルAF-10

2. 1. 4 透湿性評価

基材となる透湿性フィルム(三菱樹脂(株))上に封止膜をコートし, JIS L 1099(A-1法:塩化カルシウム法)³⁾に基づき, 40 $^{\circ}$ C90%rhに放置後の吸湿剤(塩化カルシウム)の重量変化を計測した。透湿性フィルムのみで計測した時の重量変化を100%として求めた。

2. 1. 5 密着性評価

密着性はJIS K 5600-5-6 クロスカット法⁴⁾に従って, 格子パターンにカットし, テープ剥離試験で評価した。剥離なしを“2”に, 部分剥離を“1”に, 全面剥離を“0”の3段階に分類した。温水密着性では, 50 $^{\circ}$ Cの温水に240時間浸漬した後, 前述と同様な方法で評価した。

2. 1. 6 銅マイグレーションの加速試験

槽内の結露による水滴の影響を避けるため, 評価用プリント配線基板を図2のように縦方向に設置した。環境槽(エスペック(株)・PSL-2GM)による60 $^{\circ}$ C90%rhの高温高湿環境下で, 図2の電気回路で示すように電極間にDC400Vを印加し, 銅マイグレーションで生じる電流変化をモニタリングした。シャント抵抗の電圧から電極間の電流を算出し, 短絡を判定する電圧は1Vとした¹⁾。この試験条件では, 銅マイグレーション発生による短絡が最も早かったフッ素化アクリル系封止膜コート基板でも, 図3に示すように1ヶ月程度を要した。試験に長期間を要する原因を水分供給量の不足と考え, 図4に示す条件で低温と高温高湿を繰り返す, 強制的に結露を発生させる結露サイクル試験を行った。試験は冷熱衝撃試験機(エスペック(株)・TSA-101D-W)により, 最大で100サイクル(200時間)までとした。図5に結露サイクル試験におけるモニタリング結果の一例を示す。

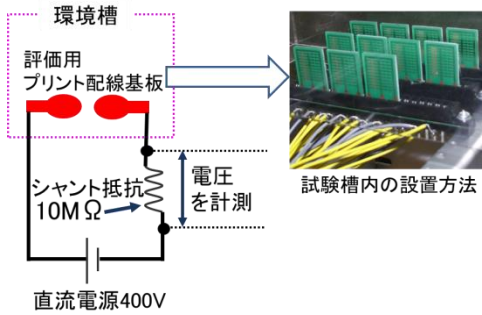


図2 マイグレーション評価試験の電気回路図と設置方法

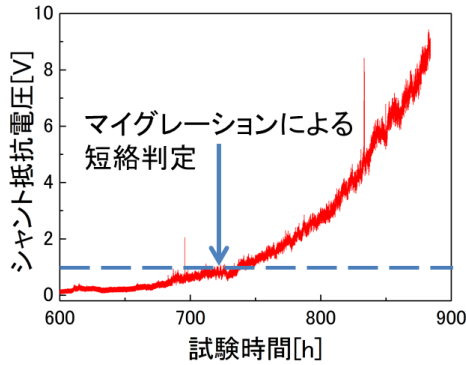


図3 高温高湿試験でのモニタリング例 (フッ素化アクリル系)

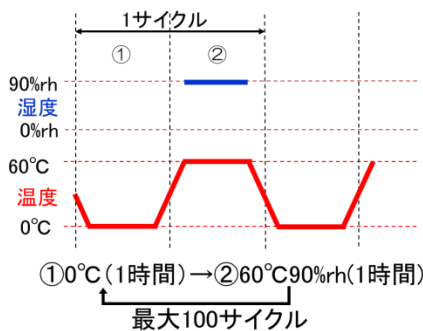


図4 結露サイクル試験条件

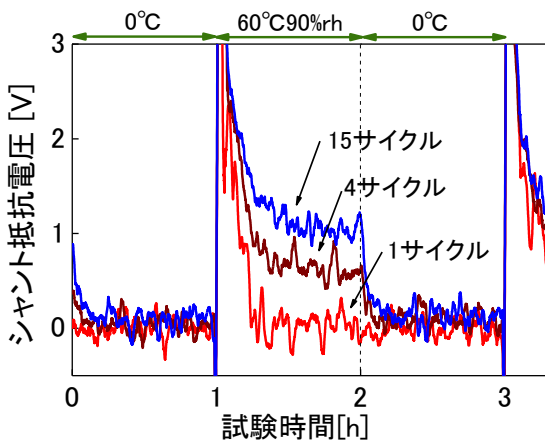


図5 結露サイクル試験でのモニタリング例 (フッ素化アクリル系)

図5中の1サイクルの線は、マイグレーションによる銅生成物を生じていない状態であり、0°Cから60°C90%rhに切り替わった直後は表面に付着した結露水分により電圧が上昇するが、表面温度が平衡状態に達して結露水分がなくなると、電圧は初期値に戻っている。

マイグレーションが進行して銅生成物の成長が始まると、電極間の絶縁抵抗が低下して電流が流れるようになり、サイクル数の増加に伴って電圧が上昇することがわかる。高温高湿下で行った図3の試験では、短絡を生じるまで1ヶ月要したが、この試験方法では約1/30に短縮されており、銅マイグレーション評価の加速試験として結露サイクル試験が有効であることが確認された。

2. 1. 7 銅イオン溶出物質の評価

銅イオン溶出物質の影響は、蛍光X線分析((株)堀場製作所・XGT-5000WR)及びMSDS (化学物質安全性データシート)により評価した。評価基準は、溶出物質の塩素または硫黄成分が検出された封止膜を“2”に、蛍光X線分析では確認できなかったが、封止膜の成分中に溶出物質が含まれており、溶出の恐れがあるものを“1”に、全く短絡を生じず、原料中に溶出物質を含まないものを“0”とする3段階で行った。

2. 2 銅マイグレーションの抑制と成長経路

2. 2. 1 封止膜性能と銅マイグレーション抑制効果

銅マイグレーションの発生のし易さ(発生指数)は、次式で定義する。

$$\text{発生指数} = (\text{発生個数} / \text{発生時間}) \times 100 \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、①式の右辺の発生時間は、図1に示した10組の電極間対のいずれかで短絡を確認した時間、発生個数は、短絡が確認された電極間対の数である。

発生指数が大きいほど、マイグレーションが発生しやすいことを表している。11種類の封止膜コート基板における銅マイグレーション発生指数と封止膜の性能評価結果を表2に示した。

主成分分析を用いて相関を解析したところ(累積寄与率80.4%)、封止膜中に銅イオンを溶出させる物質を含まず、透湿性が小さいほど高く、フッ素系やシリコン系のコート剤が銅マイグレーションの抑制効果に優れていることがわかった。

表2 封止膜性能と銅マイグレーション評価

封止膜の種類	発生指数	吸湿率 (Wt%)	透湿性 (%)	密着性	温水密着性	銅イオン溶出物質
フッ素系 (防湿)	0	0.5	11.8	2	2	0
シリコン系	0	0.2	53.7	2	0.5	0
ブチラール系	1.4	2.9	40.5	2	0	0
ウレタン系	2	1.7	29.8	1	0	0
エポキシ樹脂 (硬化剤なし)	2	5.7	69.2	2	0	1
アクリル樹脂	2.9	0.6	37	1.5	0	1
変性ポリエステル (厚さ:4μm)	6.3	1.2	74.3	2	0	2
ポリアミド系	6.3	4.8	63.3	1.7	1.7	2
ポリオレフィン系	6.3	6.2	46.6	2	0	2
変性ポリエステル (厚さ:6μm)	12.5	3	74.3	2	0	2
フッ素化アクリル系	33.3	1.4	79.2	1.5	0	2

2. 2. 2 銅マイグレーションの経路解析

図6は、銅マイグレーションが発生した電極対(図6の上面図)を断面作成位置で切断して、基板断面を電子線マイクロアナライザ(日本電子(株)・JXA-8100)により解析した結果である。基板断面(図6の二次電子像)における銅、塩素の面分布像(図6の面分布像)から、銅マイグレーションにより短絡が発生した封止膜では、正極で銅イオンを溶出する塩素が確認された。また、封止膜とはんだレジストの界面に沿って銅が分布していることがわかった。これは封止膜を透過した水分が封止膜とはんだレジストの界面で保持されることで水の経路が形成され、銅マイグレーションがこの経路に沿って進行するためと考えられる。このことは、封止膜の透湿性が大きいほど銅イオンの移動に必要な水の経路が形成されやすいことから、銅イオンを溶出する物質の評価基準が大きい程、銅マイグレーションの発生指数が大きかった前節の結果と一致している。

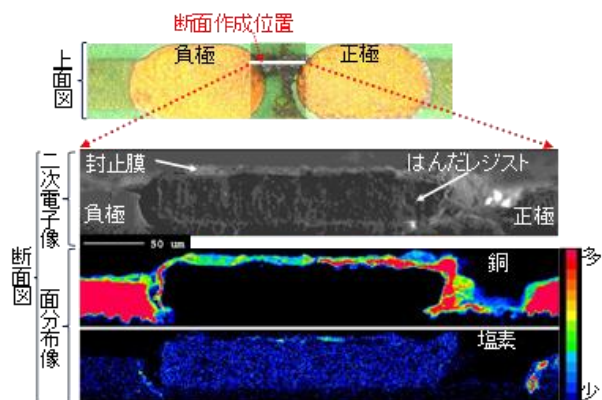


図6 短絡発生基板断面の面分布像 (フッ素化アクリル系)

3. 結 言

封止膜の銅マイグレーション抑制性能の評価と発生原因を解析し、以下のことがわかった。

- (1) 銅マイグレーションの抑制には、封止膜中に銅イオンを溶出する物質を含まず、封止膜の透湿性が小さいことが有効である。
- (2) 封止膜コート基板における銅マイグレーション評価の加速試験として、結露サイクル試験が有効であり、フッ素化アクリル系封止膜コート基板の場合では、評価時間が約1/30に短縮された。
- (3) 封止膜をコートしたプリント配線基板の銅マイグレーションは、銅イオン溶出及び封止膜とはんだレジスト界面で水の経路が形成されることにより発生・成長する。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、封止膜の作成及び性能評価にご協力を頂きました高松油脂(株)、また、透湿性評価の透湿性シートをご提供頂きました三菱樹脂(株)に感謝します。

参考文献

- 1) 電気学会・イオンマイグレーションの発生特性と防止方法 調査専門委員会編, プリント基板の試験と評価, オーム社, 2007
- 2) NECエレクトロニクス(株), http://www.necel.com/pkg/ja/jissou/3/3_2/3_2_1/index_link1.html, (参照 2009-11-04).
- 3) JIS L 1099-2012. 繊維製品の透湿度試験方法.
- 4) JIS K 5600-5-6-1999. 塗料一般試験方法-第5部: 塗膜の機械的性質-第6節: 附着性(クロスカット法).