

# 技術紹介

## 8 耐マイグレーションメンブレンスイッチ

### Migration-Proof Membrane Switch

武田 寛世	Hiroyo Takeda	中央研究所 研究開発部
谷口 幸代	Sachiyo Taniguchi	中央研究所 研究開発部
宮下 拓也	Takuya Miyashita	中央研究所 研究開発部 マネージャー
加来 良二	Ryoji Kaku	中央研究所 研究開発部 シニアマネージャー

**キーワード：** マイグレーション、メンブレン、スイッチ、フレキシブルプリント配線板、携帯機器

**Keywords :** migration, membrane, switch, flexible printed circuit board, mobile device

### 要 旨

携帯機器市場は、機器の多機能・小型化が進展する一方で、近隣アジア諸国の台頭により、低価格化も進んでいます<sup>1)</sup>。その小型携帯機器の主要部品の一つである操作スイッチは、価格面での優位性によりフレキシブルプリント配線板（Flexible Printed Circuit：以下 FPC）からメンブレン配線板への代替の期待が高まっています。しかしながら、これまでのメンブレン配線板には印刷による銀配線が使用されているため、多機能・小型化に伴う狭ピッチ配線間のマイグレーションに起因する配線短絡が大きな課題となります。

航空電子では、これらの市場ニーズに応えるべく、従来の銀からマイグレーション感受性の低い銅の印刷による配線をマイグレーションが顕著な端子部に適用し、マイグレーションを抑制することに成功しました。従来、印刷による銅配線は酸化等の観点から、メンブレン配線板への適用が困難とされていましたが、材料と工程を最適化して、さらなる狭ピッチ配線にも対応し得る耐マイグレーションメンブレンスイッチを実現しました。

### SUMMARY

Multifunctional and downsized mobile devices have become steadily prevalent in the consumer electronics market, while the cost-effective production has been continuously required to compete emerging neighbor Asian countries. As for switches, one of key components of mobile devices, membrane circuit board-based switches have emerged preferable to flexible printed circuit (FPC)-based switches in terms of cost advantage. However, silver paste is generally used for the traditional membrane circuit boards, and thus short-circuit, caused by ion-migration between narrow pitch circuits, becomes crucial.

In order to meet the market needs mentioned above, JAE has succeeded in preventing the membrane circuit board from the migration by employing copper paste on terminal areas where the migration frequently occurred. Although the copper paste was subject to oxidation problem, we successfully achieved the migration- and oxidation-proof membrane switches, for applying to narrower pitch circuits.

## 1 まえがき

代表的な小型携帯機器であるデジタルビデオカメラの操作部には、操作スイッチが多く採用されています。その操作スイッチを構成する部材のひとつが機械的接続や電氣的配線の機能を持つメンブレン配線板です（図 1）。このような配線板には、他に、FPC があります。一般に、FPC はポリイミド（PI）フィルム上に形成された銅箔をフォトリソグラフィによって選択的にエッチングすることで作製され、一方、メンブレン配線板は銀フィラーを含有した導電性ペーストをポリエチレンテレフタレート（PET）フィルム上にスクリーン印刷することで作製されます。メンブレン配線板は、FPC と比較し、構成部材や作製工程がシンプルで低コストであることから、近年、操作スイッチへの適用拡大が大いに期待されています。しかしながら、操作スイッチの基材を FPC からメンブレン配線板へ代替していくには、多機能・小型化に伴う狭ピッチ配線間のマイグレーションに起因する配線短絡が大きな課題となります。航空電子では、銅配線を特にマイグレーション問題が顕著なメンブレン配線板の端子部に適用し、狭ピッチ配線間のマイグレーションを大幅に抑制することを実証しましたので報告します。



図 1 デジタルビデオカメラ、操作スイッチ、メンブレン配線板

## 2 マイグレーション現象

マイグレーションとは、配線間に電位差のある状況において、配線間にある絶縁材料の吸湿、または水の吸着に伴い、一方の配線を構成する金属がイオン化し、移動して他方の配線に析出する現象です（図 2）。例えば銀配線を考えると、高電位側（アノード側）の銀がイオン化した後、電界によって低電位側（カソード側）に移動し、そこで電子を受け取って銀が析出します。この析出した銀のデンドライト（樹状に伸びる析出物）が成長し、アノード側に達すると配線間の短絡故障を引き起こします。マイグレーションによる故障寿命は式（1）によって予測されます<sup>2)</sup>。この式によれば、故障時間  $t_s$  は電界  $E_s$  に反比例する為、配線間が狭ピッチ化すれば  $E_s$  が大きくなり、故障し易くなります。

$$t_s = \alpha \cdot E_s^{-\gamma} \cdot H^{-n} \cdot \exp(E_a/kT) \cdots (1)$$

$t_s$  : 故障時間 (h)       $E_s$  : 電界 (V/mm)  
 $H$  : 湿度 (%)           $E_a$  : 活性化エネルギー  
 $k$  : ボルツマン定数     $T$  : 絶対温度 (K)  
 $\alpha$ 、 $\gamma$ 、 $n$  : 定数

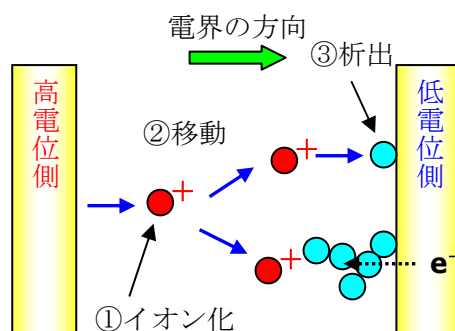


図 2 マイグレーション現象の説明図

### 3 耐マイグレーション配線材料の選定

#### 3.1 従来技術

メンブレン配線板に配線材料として使用されている銀は、不動態を作りやすく、広範囲の水素イオン濃度においてイオン化するため、マイグレーションを発生しやすい材料として知られています。このため、従来の銀配線には、例えば吸湿を防ぐカーボン材料をオーバーコートすることで、マイグレーションを抑制していました。しかし、同材料のオーバーコート工程は、マイグレーション抑制の観点から、十分な管理が必要です。このことは、今後のさらなる狭ピッチ配線化において、とくに厳格となります。同工程の管理を怠ると、材料の特性等によりクラックやピンホールなどが発生し易く、マイグレーション防止の効果が十分とは言えません。そこで、より確実にマイグレーションを抑制するために銀配線材料自体を見直すこととしました。

#### 3.2 耐マイグレーション配線材料の選定

耐マイグレーション配線材料の選定には、耐マイグレーション性に加え、高い導電性を持つこと、価格が安価であることが要求されます。そこで、これら 3 項目を比較検討することにより、最適な材料選択を行いました。各項目の選定基準は以下のとおりです。

耐マイグレーション性・・・銀よりマイグレーション感受性<sup>3)</sup>が低いこと。

導電性・・・体積抵抗率が  $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$  以下であること。

価格・・・銀配線材料より価格が安価であること。

表 1 に、代表的な配線材料の比較・検討表を示します。その結果、銅配線材料が耐マイグレーション性をはじめ、すべての基準を満足しており、耐マイグレーション配線材料に適していることがわかりました。

なお今回の材料選定にあたっては、銅配線材料が銀配線材料に対して、耐マイグレーション性に優れていることを検証するために、配線間に一定量の純水を滴下後、直流電圧 5V を印加し、絶縁抵抗値を連続測定しました。図 4 に示すように、銀配線に関しては、短時間でマイグレーションによる絶縁抵抗値の低下が見られ、銀のデンドライト(写真 1)が析出しました。一方、銅配線に関しては、銀配線と比較すると、マイグレーションは抑制され、絶縁抵抗は銀のそれよりも長く高い値を維持しています。このように、銅配線材料の銀配線材料に対する優位性を確認することができました。

以上により、航空電子では、銀配線材料に代わる耐マイグレーション配線材料として、銅配線材料をベースに開発を進めることとしました。

表 1 耐マイグレーション配線材料の比較・検討表

配線材料	耐マイグレーション性	導電性	価格
銀	×	○	○
銅	○	○	○
ニッケル	○	×	○
金	○	○	×

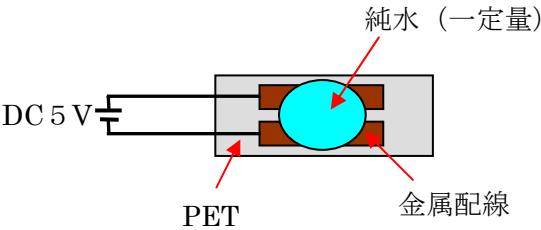


図 3 金属配線材料の水滴滴下試験



写真1 銀のデンドライト

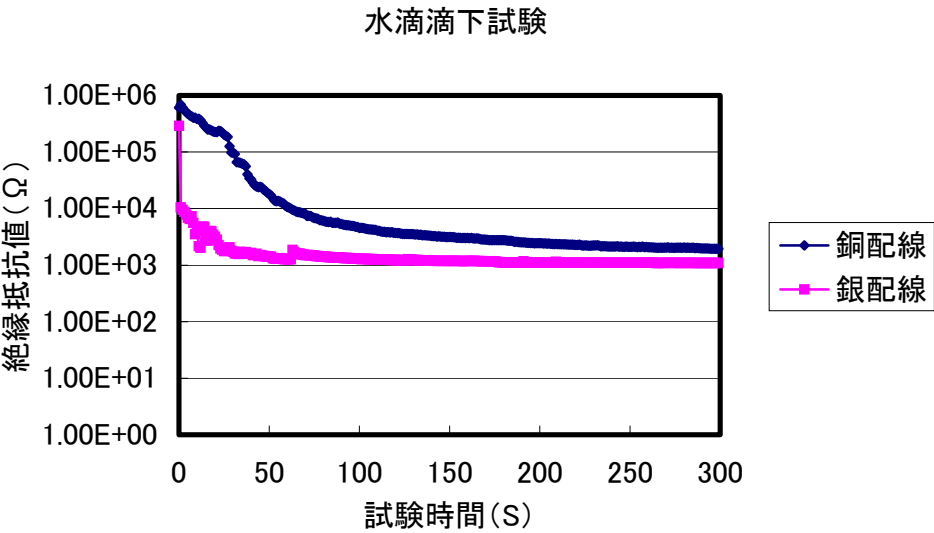


図 4 銅配線と銀配線の耐マイグレーション性

4 銅配線によるメンブレン配線板

4.1 目標仕様

耐マイグレーションメンブレンスイッチを構成するメンブレン配線板の暫定の目標仕様と試験条件を表 2 に示します。

表 2 暫定目標仕様と試験条件

項目	試験	試験条件	目標仕様
耐マイグレーション性	水滴滴下試験	水滴滴下後 DC5V 印加 0.5h	試験後 DC100V 印加 絶縁抵抗値が 10M Ω以上
導電性	—	—	体積抵抗率 $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下
密着性	クロスカット 試験	JIS K5600-5-6	剥離なきこと
挿抜性	挿抜試験	ZIF,nonZIF コネクタにて 10 回挿抜	外観に異常なきこと 抵抗値の変化なきこと
信頼性	耐熱試験	85℃ × 500h	試験後抵抗値変化率 ± 20% 以内
	耐湿試験	60℃, 90%RH × 500h	
	耐寒試験	− 20℃ × 500h	
	熱衝撃試験	− 20℃ ⇔ 85℃ 各 0.5h 500cycle	

4.2 耐マイグレーション性

メンブレン配線板の耐マイグレーション性の評価として、水滴滴下試験（写真 2）を実施しました。表 2 に則り同試験を実施した後、試験片を乾燥して直流電圧 100V を印加し、絶縁抵抗値を測定しました。表 3 に示すように従来の銀配線を使用したメンブレン配線板に関しては、0.5 時間試験後の絶縁抵抗値が 10M Ω未満となり、目標仕様を満足しませんでした。一方、銅配線を適用したメンブレン配線板に関しては、 $1 \times 10^5 \text{M} \Omega$ 以上と、十分な耐マイグレーション性を有することを確認しました。

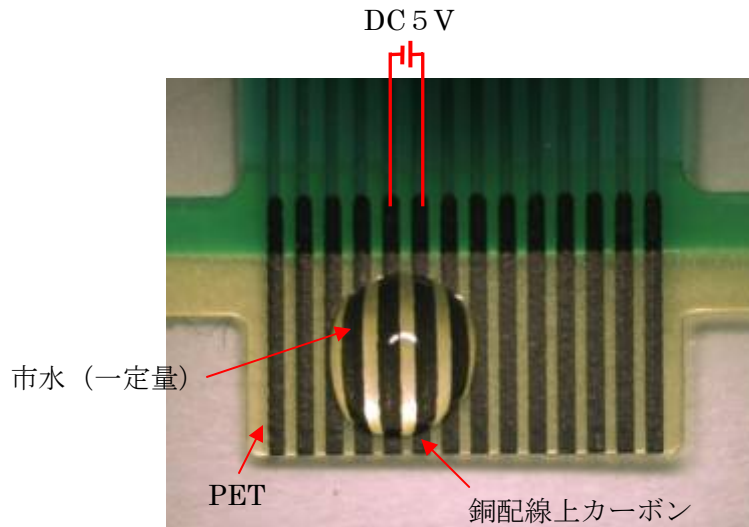


写真2 メンブレン配線板の水滴滴下試験

表3 メンブレン配線板の耐マイグレーション性

配線材料	試験後の絶縁抵抗値
銀	10M $\Omega$ 未満
銅	$1 \times 10^5$ M $\Omega$ 以上

### 4.3 導電性

一般に、配線材料である導電性ペーストは、金属フィラー、バインダー樹脂、溶剤からなります。銅ペーストに使用されている銅フィラーは、表面酸化による導電性の低下を軽減するために、銀ペーストに使用されている銀フィラーと比較して、サイズが大きいという特徴があります。このため、銅ペーストを印刷する際に、コネクタ端子部のようなファインパターンの形成を困難とし、体積抵抗値の上昇をもたらす傾向があります。航空電子では、これらを踏まえ、バインダー樹脂や溶剤の種類、印刷条件等を最適化した結果、コネクタ端子部のようなファインパターンにおいても、目標仕様である  $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$  以下の導電性を満足することができました。



## 4.4 密着性

配線の密着性を表す接着強度（測定強度）は、ぬれの不完全さ、内部ひずみ等の要因から、最大接着強度よりも小さくなります（図5）<sup>4)</sup>。航空電子では、基板へ加工を施すことで、ぬれの不完全さおよび内部ひずみを軽減し、密着性についても目標仕様を満足しました。

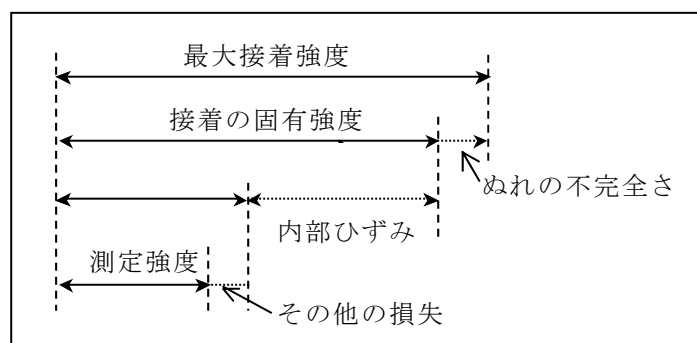


図5 最大接着強度と測定強度

## 4.5 挿抜性、信頼性

機械的信頼性を確認する挿抜試験では剥離や（接続）抵抗値の変化はありませんでした。また、環境試験（耐熱・耐湿・耐寒・熱衝撃試験）において、一般に懸念される、銅の酸化による抵抗値の劣化は見られず、図6に示すように目標仕様を満足しました。

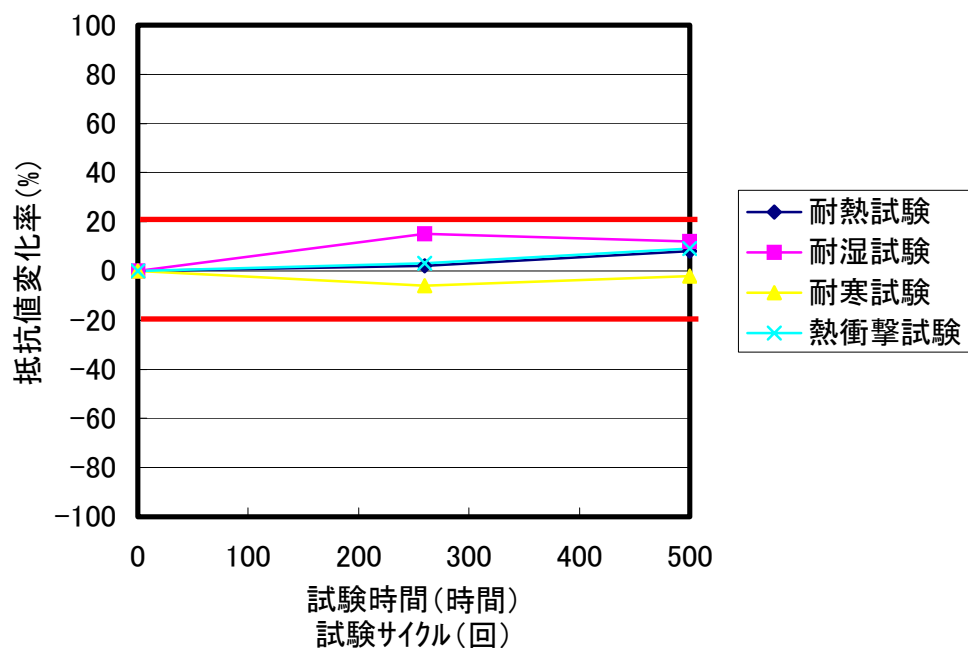


図6 環境試験（耐熱・耐湿・耐寒・熱衝撃試験）による抵抗値変化率



## 5 むすび

小型携帯機器の操作スイッチへの適用拡大が大いに期待されるメンブレン配線板において、狭ピッチ化に伴って配線間のマイグレーションに起因する配線短絡が課題となります。航空電子は、銅配線を特にマイグレーション問題が顕著なメンブレン配線板の端子部に適用し、狭ピッチ配線間のマイグレーションを大幅に抑制することに成功しました。従来、印刷による銅配線は酸化等の観点から、メンブレン配線板への適用が困難とされていましたが、航空電子では、材料と工程を最適化して、さらなる狭ピッチ配線にも対応し得る耐マイグレーションメンブレンスイッチを実現しました。これからも、航空電子では、お客様のニーズに着実に応えし得る、技術開発を行ってまいります。

### 【参考文献】

- 1) “2007 年度版日本実装技術ロードマップ” ,p16-19, (電子情報技術産業協会, 2007)
- 2) 藤城敏史: “プリント基板におけるイオンマイグレーションと信頼性” ,p41-56, (2004)
- 3) 志賀章二ほか: “各種金属材料のマイグレーション感受性の比較について” , 古河電工時報, 75 号 ,p37-45, (1985)
- 4) “接着ハンドブック” ,p22-23, (日刊工業新聞社, 1996)