

異方性導電フィルムを用いたフレキシブルプリント配線板に対する電氣的信頼性の交流インピーダンス法による評価

大関 裕樹*, 吉原 佐知雄*, 白樫 高史*

Evaluation of Electric Reliability for Flexible Printed Circuit Boards with Anisotropic Conductive Film by AC Impedance Method

Hiroki OZEKI*, Sachio YOSHIHARA* and Takashi SHIRAKASHI*

*宇都宮大学大学院工学研究科エネルギー環境科学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

*Department of Energy and Environmental Science, Graduate School of Engineering, Utsunomiya University (7-1-2 Yoto, Utsunomiya-shi, Tochigi 321-8585)

Abstract

The AC Impedance Method is well known as a method for analyzing the reaction mechanism in the process of the occurrence and growth of ionic migration on the surface of printed circuit boards. We applied this method to fine-pitch FPC boards on which were mounted ICs by ACF. The various production conditions of this sample were changed, and the AC Impedance Method was applied in a high voltage environment under high temperature and high humidity. The results clearly showed that the prediction of electric reliability is possible.

Key Words: AC Impedance Method, Anisotropic Conductive Film (ACF), Ionic Migration

1. 緒言

近年、電子機器の小型化、薄型化、高機能化により、プリント配線板上への実装密度向上が要求されている。その実装技術は、部品の微小化、電極の狭ピッチ化とともにますます複雑かつ高度になってきている。また、小型化、薄型化により電子機器の携帯性が向上し、より過酷な環境下で使用される機会が増えてきている。

このような傾向が進むにつれてプリント配線板の絶縁信頼性、特にイオンマイグレーションによる絶縁劣化故障が発生しやすくなっていることが知られており、重要な問題となっている。

従来のイオンマイグレーション評価には、金属あるいは金属酸化物の析出に伴う電極間短絡に注目し、短絡故障時間を比較する方法を利用している場合が多い。しかしこの方法では実際にイオンマイグレーションによる電極間短絡が発生したことのみに検出するため、イオンマイグレーション発生から成長の過程における反応機構の解析はされていない。

そこで、さらに情報を得るためにわれわれは、電極界面における反応解析法として交流インピーダンス法を適用した。この方法は従来の評価法とは手法が異なるものであり、その場測定や、電極界面の反応機構解析法として有効な手法であることが報告されている¹⁾。

本稿では、各種パラメータを変えて作製した、異方性導電フィルム(ACF)を用いたICフリップチップ実装モジュール

の評価を目的とし、交流インピーダンス法を適用して電氣的信頼性の評価を行った。

2. 試料作成

FPC基板はポリイミドをベースとした銅張積層板にサブトラクティブ法によってパターンを形成し、パターン上に熱硬化型ソルダーレジストを塗布して作製した。IC実装部は櫛型パターンを形成し、隣接する約200本の端子間のインピーダンスを測定できるように設計した(Fig. 1)。試料はこのFPC基板に対してACFを用いてICをフリップチップ実装し製作したものをを用いた(Fig. 2)。ICは金めっきバンプ50 μm ×300 μm 、最小ピッチは65 μm である。Line and Space (以下L/Sとする)は、FPC側L/S=35/30 μm 、ICバ

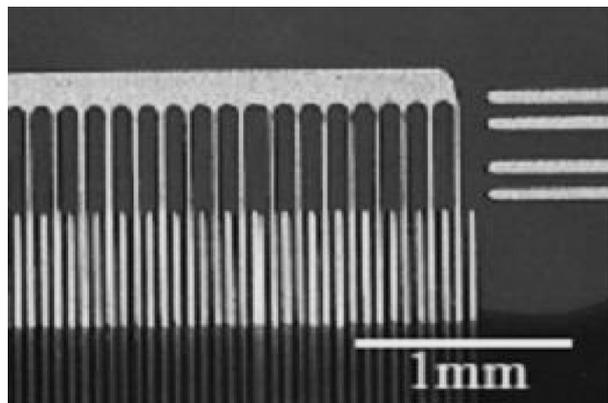


Fig. 1 Circuit pattern

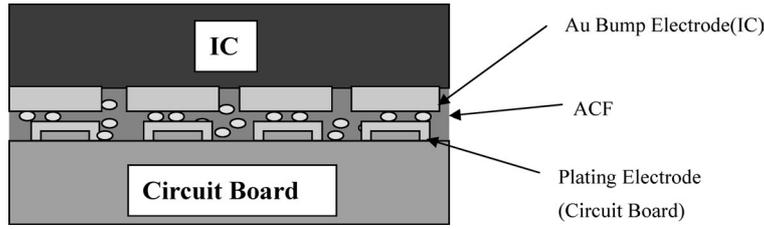


Fig. 2 Sample mounting part model

Table 1. Sample specification

| | |
|---------------------|--|
| Plating (base: Cu) | Au: 0.7 μm /Ni: 2 μm -Au: 0.02 μm |
| Ultrasonic cleaning | 50 kHz, 50°C, 30 sec/None |
| Post baking | 100°C, 30 min/None |

ンブ側L/S=50/15 μm である。ACFの構成材料はエポキシ系樹脂と $\phi=3\mu\text{m}$ の金めっきプラスチック粒子であり、樹脂中に粒子を分散させてある。この基板およびICを用いてTable 1に示す基板or ICめっき種類，基板洗浄，およびポストバークのパラメータに注目し，試料を作製した。基板洗浄は塩素イオンなどの表面残留イオンの除去，ポストバークは基板上の水分を除去し，基板との密着性を高めるために行うもので，クリーンオープン内にて100°Cで30分間行った。これらの前処理は，試料作製の際，ACFによるIC実装前に行っている。

3. 交流インピーダンス法の測定原理²⁾

測定電極系に対して交流電圧を印加し，電圧と電流の比を複素平面上に表示し，周波数依存性を求める方法が交流インピーダンス法である。

電解液と電極が接触している電気化学系のインピーダンスは，溶液抵抗 R_{sol} ，界面の電気二重層容量 C_{dl} ，酸化還元反応が起こる際の電荷や物質の移動によるインピーダンス R_{ct} ，溶液中への拡散により発現する抵抗と容量成分を含むインピーダンス（ワールブルグインピーダンス： Z_w ）などから構成されると考えられる。一般的な電気化学電極系は，Fig. 3のような等価回路と仮定することができる。その際に，印加した正弦波電位振幅に対して実際に流れる電流は遅れて測定される。この電圧と電流の位相差を利用して，抵抗値を複素平面上に表示する。その測定されるインピーダンスは，Fig. 4のような軌跡を描くことが多い。これをカーブフィッティングし，各反応パラメータを決定する。

Fig. 4に示されるような半円を容量性半円とよび，この半円の直径は電荷の移動に伴う抵抗成分 R_{ct} である。また，容量性半円の原点側のx軸との交点は，高周波数領域における収束点であり，この絶対値は溶液抵抗 R_{sol} を示す。また容量性半円の頂点における周波数と，電荷移動抵抗より界面容量 C_{dl} を算出することができる。特にイオンマイグレーションの発生過程に大きく関与すると考えられる電荷

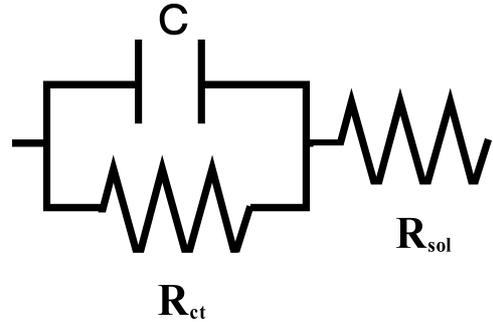


Fig. 3 Equivalent circuit for the plot

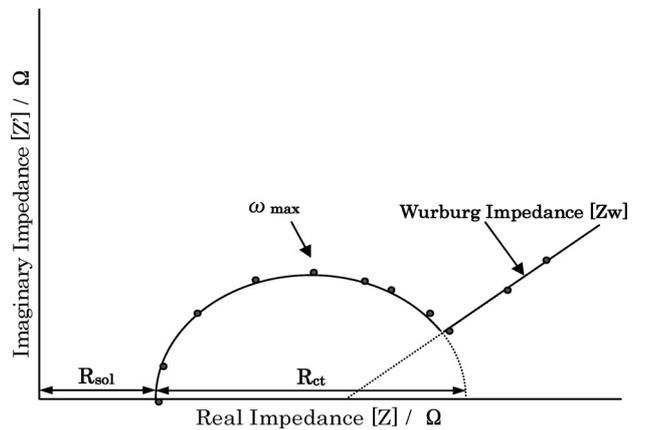


Fig. 4 Cole-Cole plot

移動抵抗値 R_{ct} を観測することにより，イオンマイグレーションの発生予測が可能であるという報告もされている¹⁾。

4. 実験方法

Fig. 5に実験装置図を示す。前述の方法で作成した試料を小型環境試験機（ESPEC社製）内に置き，温度および湿度を85°C，85%RHまで上昇させた。なお，結露が起きないように，温度および湿度の上昇はプログラムによって制御し，温度上昇を先行させ，その後湿度の上昇を行った。試験機内の温度および湿度が設定値に達した後，ポテンショスタット（北斗電工製）により試料に直流電圧70Vを印加し，さらに振幅0.35V（インピーダンスの絶対値が数100k Ω を超えてしまう場合には，測定誤差が大きくなるため，振幅を高く設定する必要がある³⁾），周波数領域10kHz~1Hzの交流電圧を重畳し，そのときの電流値およびインピーダンスを測定した。この間，電流値については

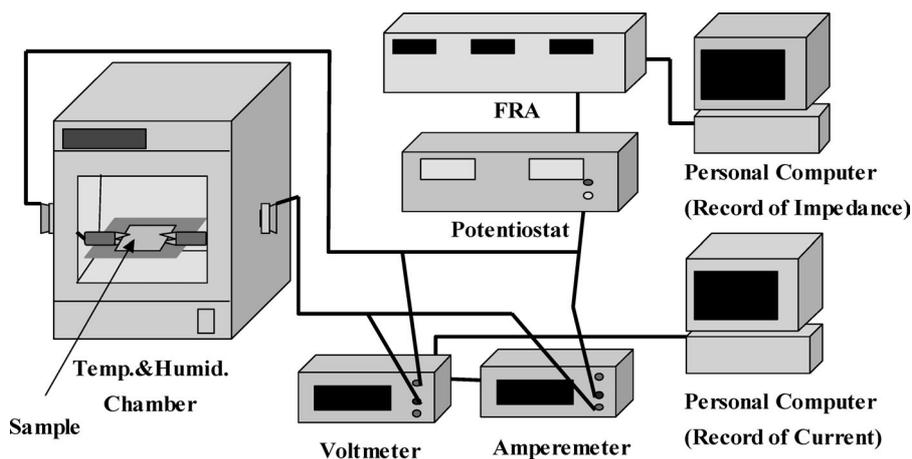


Fig. 5 Testing device

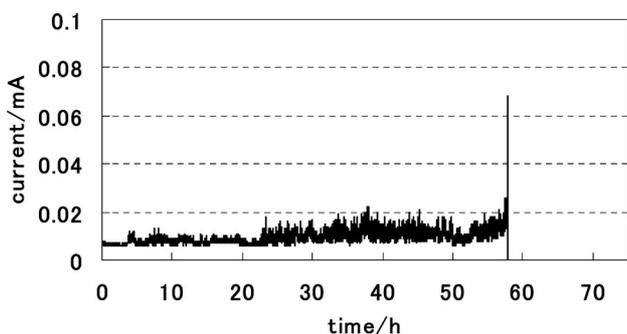


Fig. 6 Current vs time: Au plating, non-preprocessing

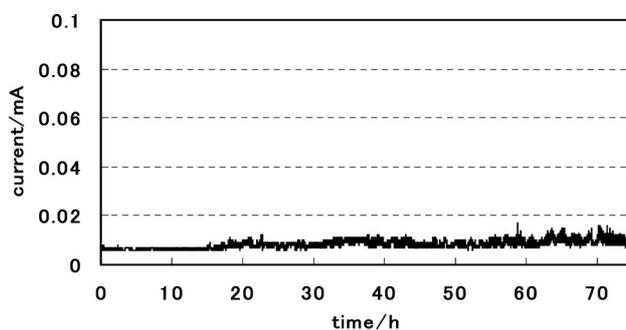


Fig. 8 Current vs time: Ni-Au plating, non-preprocessing

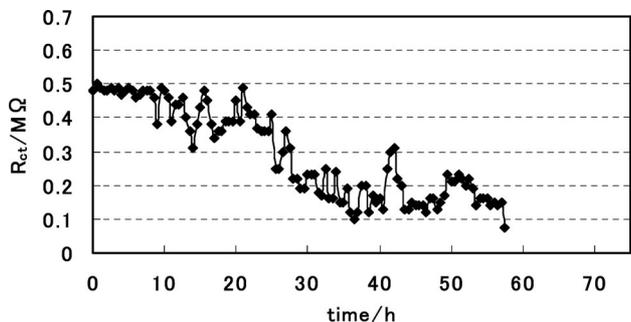


Fig. 7 R_{ct} vs time: Au plating, non-preprocessing

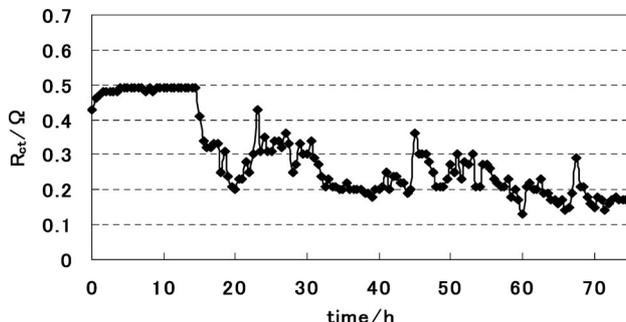


Fig. 9 R_{ct} vs time: Ni-Au plating, non-preprocessing

連続して測定を行った。1つの試料に対して全測定時間は75時間で、インピーダンスはFRA (NF回路社製)を用いて30分ごとに測定し、Cole-Coleプロットを作成し処理した。また、電流値はマルチメータにより測定し、パソコン上に記録した。また、測定後の試料表面をデジタルマイクロスコープ (KEYENCE社製)により観察した。以上の操作をめっき、超音波洗浄およびポストバークの有無などの条件を変えて作製した試料に対して行った。

5. 実験結果

本稿では、測定結果の例として、電極のめっき種類による違い、基板洗浄およびポストバークの有無に対する結果を報告する。

5.1 めっき種類の違いによる比較

FPC側電極のめっき種類のみを変えた試料を用い、測定を行った。めっき以外の条件は、基板洗浄、ポストバークなしである。電流値の経時変化および得られたCole-Coleプロットから算出した電荷移動抵抗(R_{ct})をそれぞれFig. 6~9に示す。

Auめっきでは電流値は測定開始直後から徐々に上昇していき、約58時間での大きな電流値の増加による影響でポテンショスタットの設定レンジをオーバーし、この段階で測定はストップしてしまった(Fig. 6)。この大幅な電流値の増加はイオンマイグレーションによる回路間の短絡が原因である。電荷移動抵抗値(Fig. 7)も徐々に減少していることから、イオンマイグレーションが徐々に進行していき、回

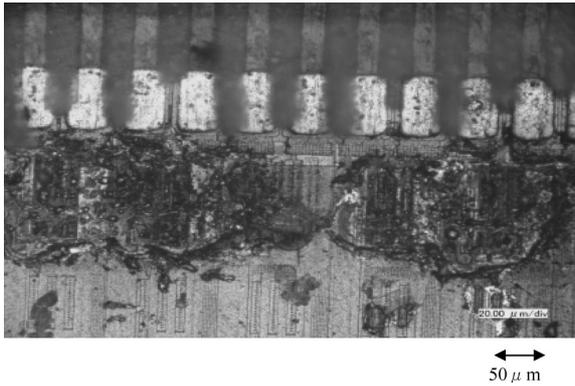


Fig. 10 Sample photograph (IC side), Au plating non-preprocessing

路間の短絡が起こったと言える。測定終了後の試料の実装したICを剥離し、IC実装部分の回路をIC側とパンプ側からそれぞれデジタルマイクロスコップで観察したところ、短絡により回路が吹き飛び、焦げたようなあとが見られた (Fig. 10)。また、回路表面は滑らかにめっきされているわけではなく、表面はざらついており、各所で膜厚が小さいと思われる箇所が見られた。

Ni-Auめっきでは75時間において大きな電流値の変化は見られなかった (Fig. 8)。しかしながら、電荷移動抵抗値が徐々に減少するのが確認された (Fig. 9)。これはイオンマイグレーションが発生する予兆であると考えられる。測定終了後、同様にデジタルマイクロスコップで観察したが、この時点では回路の破壊などは見られなかった。

本稿の試料に施されているAuめっきはNi-Auめっきに比べて膜厚が小さい (Table 1)。どちらも滑らかにめっきされているわけではなく表面はざらついている。電圧印加により、電極界面の状態が悪いとわずかなめっき隙間から下地の銅が溶解、析出してしまうことが考えられる。

5.2 基板洗浄の有無による比較

基板洗浄の有無のみを変えた試料を用い、測定を行った。基板洗浄以外の条件は、Auめっき、ポストバークなしである。基板洗浄を行わなかった試料の電流値経時変化および電荷移動抵抗値は前述のものである (Fig. 6, Fig. 7)。基板洗浄を行ったものは Fig. 11, Fig. 12 である。基板洗浄を行った試料では、電流値および電荷移動抵抗値は終始安定な値を示し、測定後のデジタルマイクロスコップによる基板観察においても、故障箇所などは見られなかった。基板洗浄を行わなかった試料に関しては、前項で述べたようにイオンマイグレーションによる回路間の短絡が起こってしまった。

Table 2 に基板洗浄前後での試料 (未使用のもの) のイオンクロマトグラフィーにてイオン濃度を測定した結果を示す。イオンマイグレーションの発生に大きく起因すると考えられる塩素イオンなどの各種残留イオンが基板洗浄後では減少しているのがわかる。塩素イオンなどの表面残留

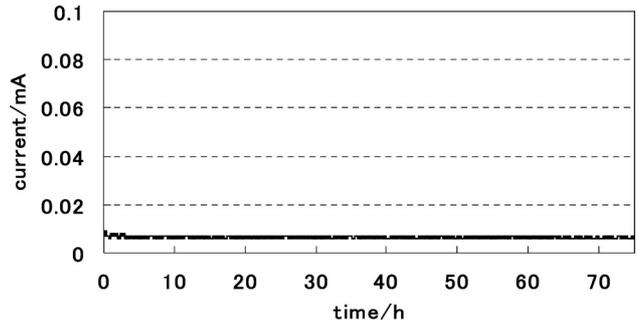


Fig. 11 Current vs time: Au plating, cleaning

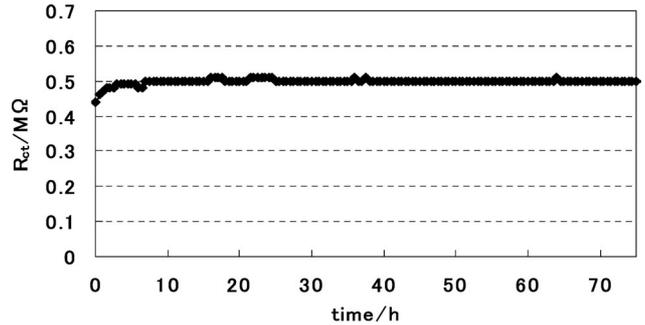


Fig. 12 R_{ct} vs time: Au plating, cleaning

Table 2. Change of ion concentration before and after ultrasonic cleaning (Unit: $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

| | Cl^- | NO_2^- | NO_3^- |
|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Before cleaning | 0.24 | 0.49 | 0.24 |
| After cleaning | 0.19 | 0.12 | 0.19 |

イオンは電極金属を加速的に溶出させることが知られている¹⁾。そのため、残留イオンの除去が信頼性の向上につながるという。この結果からも表面残留イオン量がイオンマイグレーションの発生に大きく関係していると考えられる。

5.3 ポストバークの有無による比較

ポストバークの有無のみを変えた試料を用い、測定を行った。ポストバーク以外の条件は、Auめっき、基板洗浄なしである。ポストバークを行わなかった試料の電流値経時変化および電荷移動抵抗値は前述のものである (Fig. 6, Fig. 7)。ポストバークを行ったものは Fig. 13, Fig. 14 である。ポストバークを行った試料では、測定開始から約10時間経過した地点から、電荷移動抵抗が減少し始め (Fig. 14)、その後電流値にも変化が見られた (Fig. 13)。しかしながら、75時間で急激な電流値の変化や、Cole-Coleプロットの収束が見られなかったため、マイグレーションの予兆は示しているものの、短絡には至ってはいないとする。測定後のデジタルマイクロスコップによる基板観察においても、故障箇所などは見られなかった。ポストバーク、基板洗浄を行わなかった試料に関しては、前項で述べたようにイオンマイグレーションによる回路間の短絡が起こってしまった。

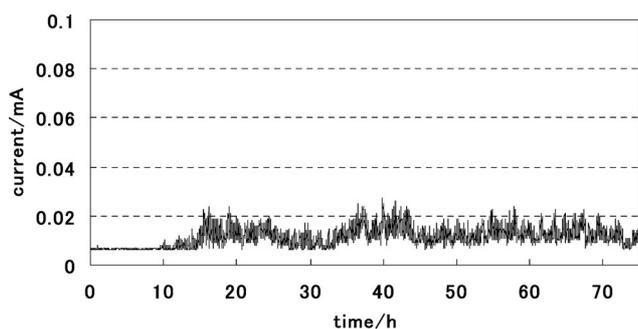


Fig. 13 Current vs time: Au plating, post baking

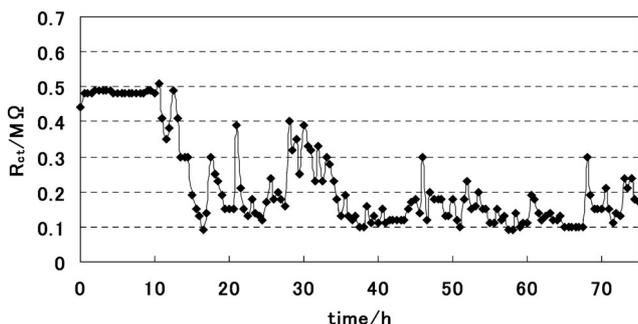


Fig. 14 R_{ct} vs time: Au plating, post baking

このことから、ポストバークといった前処理によりあらかじめ水分の除去が施されていることもイオンマイグレーションの発生を抑える要因の1つに挙げられる。

6. まとめ

ACFを用いたICフリップチップ実装FPCにおいて各種サンプルのパラメータを変えて測定したところ、めっき種類の違いや基板洗浄の有無が大きくイオンマイグレーションの発生に影響していることがわかった。

- (1) めっき種類の違いが耐マイグレーション性に与える影響は、めっき膜の銅の拡散に対するバリア性などが関係していると考えられ、直接の回路短絡の原因は下地の銅が拡散し起こるものと思われる。Niめっきは表面に強固な酸化皮膜を形成する⁴⁾。緻密な酸化皮膜など不働態皮膜形成により電荷移動や物質移動が抑制されるため、電極金属の溶解量、析出量は減少する。Auは非常に電気的特性の良い金属ではあるが、Niめっきは銅との密着性が強いことも知られており、Niを下地めっきに用いることにより直接Auめっきした場合よりも電気的信頼性、強度が向上すると思われる。
- (2) 基板洗浄は、表面残留イオンを減少させることによって、耐マイグレーション性を向上させる。また、

水分もイオンマイグレーション発生原因の1つとして挙げられるため、ポストバークといった前処理によりあらかじめ水分の除去が施されていることがイオンマイグレーションの発生を抑える要因の1つに挙げられる。今回のような試料でも、配線表面やポリイミド層、ACF中に残留イオンや水分が多く存在している場合、配線部分が埋没していてもポリイミド層中を成長するという形態のマイグレーションも考えられる。

- (3) イオンマイグレーションの予兆が見られる試料の電荷移動抵抗値は緩やかに減少していく。しかし、電流値に大きな変化が見られないにもかかわらず、いくつかの箇所で、増加して減少という場面が見られた。イオンマイグレーションの発生、成長、短絡、焼き切れというケースによく見られるが、それに対して電流値が対応していないと感じられる。また、この試料は配線部分が埋没しているため、焼き切れが頻繁に起こることは考えにくい。これは、配線部分だけではなく、温度、湿度変化がACFやポリイミド層にも影響を与えており、その結果、電極界面にも変化を与え、それを読み取った可能性も挙げられる。

交流インピーダンス法は、今回のような形態の試料に関しても適用可能であることがわかった。特に電流値測定と併用することで、電流値には表れない変化も読み取れるのではないかと考えられる。しかしながら、発生箇所の特定は難しく、また、イオンマイグレーションと温度、湿度変化がACFやポリイミド層に影響を与えた場合の電極界面の変化や、その他のマイグレーションが起きた場合との区別などは課題として挙げられる。今後は交流インピーダンス法をさらに有用にするため、Cole-Coleプロットから読み取れる電極界面の反応機構、それに対する等価回路の細かい設定なども含めた検討を行っていく予定である。

(2005.7.13-受理)

文 献

- 1) 田中浩和：“マイグレーション過程の解析とその評価技術に関する研究”，宇都宮大学博士学位論文，2002
- 2) 信頼性解析技術委員会絶縁信頼性評価研究会編：“イオンマイグレーションの試験方法ノウハウ集”，回路実装学会，p. 40, 1996
- 3) 生田博将：“交流インピーダンス法（固体電解質系）”，*Electrochemistry*, Vol. **68**, No. 5, p. 357, 2000
- 4) 鈴木 智，谷本守正：“Pdめっき電気接点の特性”，*古河電工時報*, No. 106, p. 46, 2000. 7