誘電特性試験による絶縁材料の表面吸湿性判定とイオンマイグレーション評価

市川 克之*

A Method of Estimating the Ionic Migration's Occurrence by Measuring Dielectric Loss Tangent

Katsuyuki ICHIKAWA*

*オリンパス光学工業株式会社生産技術部（〒192 東京都八王子市石川町2951）

*Production Engineering Department, OLYMPUS Optical Corporation (2951 Ishikawa-cho, Hachioji-shi, Tokyo 192)

Abstract

By the accelerated life test or the water drop test, we have estimated the life to insulation failure caused by ionic migration up to date. However, there are some faults in these tests; we put in a lot of time testing, we can not obtain exact results of them and so forth. Therefore in this paper, I propose a method of ionic migration test, that is; moisture absorption on the surface of the insulation material is estimated by measuring dielectric loss tangent, and the occurrence of ionic migration is forecasted with this estimation result. Besides I cite some application instances of this method to practice.

Key Words: Ionic Migration, Dielectric Loss, Dielectric Loss Tangent, Moisture Absorption, Surface Condition, Accelerated Life Test, Water Drop Test

1. はじめに

近年の電子機器の軽薄短小化は留まるところを知らない。それに伴い、回路基板の高密度実装化が急速に進み、部品実装後の回路基板に対する絶縁信頼性の要求は年々厳しさを増している。それに加え、パームトップ型PCや携帯電話などのモバイル機器に象徴されるように、機器の使用環境が多様化し、これもその要求に拍車をかけている。そのためか、最近はいオンマイグレーション（以下、IMと省略）の予測を中心とした絶縁信頼性の評価技術に関心が集まっている。

従来、IM評価は加湿による加速寿命試験や水滴滴下試験などが行われてきた。2章で詳しく述べるが、これらの試験方法には、いくつかの課題があり、技術の進歩が速くなってきた今日の状態に対応しきれていないと言え難い。

そこで、本論文では、従来の試験法の課題を補うひとつの提案として、誘電特性によるIMの試験法を紹介する。この試験法は今までの評価方法の概念とは異なり、デンドライトの発生や表面絶縁抵抗の低下などの劣化現象をとらえて寿命を解析する試験法ではない。つまり、材料に潜在する特性から、IMの発生を推定する評価方法である。ここでは潜在特性として絶縁材料の表面吸湿性に着目し、誘電特性を測定することにより表面吸湿性を判定する。まず、3章で誘電特性によるIMの試験法の基本的な考え方を概説し、4章で誘電特性の具体的な測定方法について説明する。そして、5章でIMを誘発するような代表的な基板に

対して本試験法を適用し、その有効性を実証する。

2. 従来のIM評価方法とその課題

従来から行われているIM評価は、「導体間が短絡するまでの時間（回数）」や「絶縁抵抗値が仕切値を下回るまでの時間（回数）」を統計的に処理して劣化寿命を推定する解析手法が多く用いられている。代表的なIMの評価方法を図1に示す¹⁾。大きく分けて「簡易試験法」と「環境試験法」があり、それぞれの試験法には実績がある反面、次のような課題もある。

簡易試験法の課題

市場でのIM発生モードとの相関に欠けることが多く、加速係数が定まらない。そのため、市場でのIM発生時間（絶対寿命）を推定することは難しい。したがって、導体金属のスクリーニング試験など限られた目的で用いられている。

図1. IMの代表的な評価方法

環境試験の課題²⁾

この方法で精度良く市場の適合性や寿命を推定したり保証するためには、加速性の検討を含め、様々な使用環境に対し、多量の試料を用いて多くの条件で試験することが必要になり、試験に莫大な工数と時間を費やす。

例えば、劣化までの時間や回数で寿命推定を行うことを目的とした環境試験では、多数の寿命推定モデルを求めておくことが必要である。また、このような環境試験の場合、劣化の因子となる表面状態や劣化に至るまでの過程や特性の変化などを見落とす危険性がある。

高密度化が進むにつれて、事前にIMを防止する技術の要求が高まっている。それを満たすためには、IMによる劣化寿命を正確に予測しなければならない。一方、技術革新が速い電子機器の分野では、試験や評価に多くの時間を割けなくなっている。したがって、これらの要求に対して、短時間で的確に試験できる評価技術が必要である。ここでは、その可能性として、「誘電特性によりIMの発生に影響を与える因子を評価する試験法」を検討する。この試験法は従来の試験法の課題を補うもので、従来の試験法と併用することで、今後の高精度化と高効率化の要求に対応できると考える。

3. 誘電特性を用いたIM評価の考え方

3章では、部品が実装された回路基板を対象として、誘電特性によるIMの試験法の考え方を説明する。まず、IMの発生メカニズムとその原因を究明し、基板などの絶縁体の表面吸湿性がIMを発生させる最大の因子になることを述べる。次に、絶縁体の表面吸湿と誘電特性の関係を明らかにする。最後に、それらの関係をまとめて、誘電特性により絶縁体の表面吸湿性が判定でき、その結果からIMの発生を推定できる可能性があることを示す。

3.1 IMとは

IMとは電極間に印加された電圧により絶縁体の表面や界面に導体金属が析出して絶縁劣化する現象である。IMを起こしやすい金属としてはAg, Cu, Pb, Snなどがある。基本的な原理は、水中での金属の電気化学反応と同じで、水を媒体にして電極金属がアノード（陽極）から溶解し、カソード（陰極）で電子をもらい還元析出する。実際の回路基板で発生するIMの進行過程は、

となり、絶縁材料表面の水分層（ここでは電極間をまたぐような水和層を単に水分層と言う）がIMの発生要因となる。水分層は、強制的に水滴などを付着させた場合を除き、表面に存在するイオン物質や親水基などに大気中の水分が吸着して形成され、その形成メカニズムは図2のようにな

図2. 水分層の形成メカニズム

る。したがって、回路基板でのIMの因子は、「水分層形成 ← 水分子の表面吸着 ← 吸湿しやすい表面状態」と遡って考えることができ、IM発生の根源は絶縁体表面の水分吸着性になる。

ここで、水分吸着が開始されて水分層を形成するまでの時間をt1とすると、t1は表面状態（表面吸湿能力や表面の化学的性質）の影響を受ける。一般に、t1は表面状態と水分が供給される条件に依存する。水分が供給される条件はそれが使用される環境（温度、湿度、気圧など）と回路基板がそれにさらされる時間によって決まる要素であるから、t1は実質的に表面状態に支配される。したがって、絶縁体の表面吸湿能力などの各パラメータを定量化できれば、t1を推定できる可能性がある。

なお、電気化学反応が始まり、析出が完了するまでの時間をt2とすると、t2は析出効率に置き換えて考えることができる。t2を決定する要素としては、「電極間の距離」、「電流密度」、「電極金属の種類」、「電圧の大きさ」、「基材の絶縁抵抗値」、「水分吸着層のpH」、「イオン安定化物質の関与」などがある³⁾。

以上の説明からわかるように、回路基板で発生するIMでは、水分吸着性や表面吸湿能力といった表面吸湿性がIMの最大の要因になり、電気化学反応が始まるまでの時間に影響を与える。したがって、表面の吸湿性を評価することは、IMの発生を予測する上で大きな意味を持つ。

3.2 表面吸湿性と誘電特性

本来、誘電特性は電子回路の伝送特性や高周波特性を評価するのに用いる特性値であるが、これを物質の表面特性の評価に利用する。このような考え方は新しいものではなく、すでにいくつかの報告がなされている⁹⁾。ここでは、誘電特性を絶縁材料の表面吸湿性の判定に用いる。

まず、表面に水分子が吸着した物質の誘電特性の挙動に注目する。表面吸湿した物質に可聴周波数領域の交流電界を加えると、その誘電正接(以下、 $\tan \delta$ と省略)は吸湿をしていない物質の $\tan \delta$ より大きな値を示す。この時、水分子の吸着量が多いほど $\tan \delta$ の値は大きくなり、その値は純水の $\tan \delta$ に近づく。これは吸着した水分層(場合によっては吸湿した表面の電解質)の緩和型誘電損失によるもので、水が交流電界で分極する際に、水的双極子モーメントが交流周波数に追従できないために起こる物理現象である。

この水の損失現象を回路基板などの実装材料の表面吸湿性判定に利用する。その考え方を図3に示す。ここでは電極間に吸湿性物質が付着した回路基板を例にとり説明する。乾燥雰囲気では表面に付着した吸湿性物質に水分が吸着することはないが、これを加湿雰囲気に持ち込むと、吸湿性物質に水分子が吸着し電極間に水和層を形成する。この時の可聴周波数領域の $\tan \delta$ を測定すると、 $\tan \delta$ は吸着した水の誘電損失のために乾燥時のそれに比べて顕著に増加する。逆に、材料を加湿し、そのときの $\tan \delta$ の挙動を調べれば、その表面の吸湿性を判定できることになる。

3.3 本試験法の基本的な考え方

3.1節ではIMの原因が表面吸湿であることを説明した。また、3.2節では物質の表面吸湿性を $\tan \delta$ で判定できることを説明した。この2つの関係を整理すると図4のようになる。図中の矢印Aの流れが本論文で提唱する試験法の基本的な考え方である。つまり「絶縁材料を加湿し、加湿時の誘電特性($\tan \delta$ の挙動)をとらえることで水分吸着性を

図3. 水分吸着による誘電損失

図4. 誘電特性試験による表面吸湿性の判定

判定する。そして、その結果からIMを予測する」という考え方であり、ここでは、これを誘電特性試験法と仮称する。試験の流れを図5に示す。

この試験法は、劣化現象をとらえて評価する従来の試験法とは根本的に異なり、材料に潜在している劣化因子(ここでは表面吸湿性)を評価してIMの発生を予測する方法である。そのため、従来の試験法と組み合わせて用いることで、評価の高精度化が期待できる。また、本試験法の最大の利点は試験時間を著しく短縮できることである。それに加えて、本試験法は、IMの発生要因を考慮しているので、この試験で得られた結果は耐IM性の材料を開発するのに有益な情報となる。したがって、今後、従来の試験法との相関性をさらに掘り下げることができれば、誘電特性試験は急速な技術進歩に対応できる評価技術に発展する可能性がある。この章の総括として、誘電特性試験法の特徴を表1に示す。

4. 誘電特性試験法の手順について

本評価方法では表面吸湿性を誘電特性で判定することが評価の要点になる。この章では誘電特性試験法の具体的な手順について説明する。

実際の回路基板では、2つの平行電極間の表面絶縁状態は図6のような並列等価回路で考えることができる。その場合、理論上の $\tan \delta$ は以下ようになる。

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega \cdot C_p \cdot R_p}$$

図5. 誘電特性試験の流れ

表1. 誘電特性によるIM試験法と従来の試験法との比較

項目／試験法	誘電特性試験によるIM評価方法	簡易試験法	環境試験法
計測パラメータ	$\tan \delta$, 比誘電率	表面絶縁抵抗やデンドライトの観察	表面絶縁抵抗やデンドライトの観察
解析パラメータ	上に同じ	IM発生までの時間(繰り返し回数)	IM発生までの時間(繰り返し回数)
評価の考え方	表面吸湿性など材料特性から判定	劣化現象を直接評価	劣化現象を直接評価
解析手法	相対比較, 品質工学の適用可能	相対比較	ワイブル解析などの寿命推定
評価効果	非常に効率が良い	非常に効率が良い	総合的に見てあまり良くない
精度	解析手法によっては期待できる	市場故障の再現性に欠ける	時間や評価コストの影響を受ける

図6. 等価回路図

- 手順1 常湿【25℃60%RH(以下, 25/60と省略)】の $\tan \delta$ の周波数特性(120Hz~1MHz)を測定する。
- 手順2 加湿雰囲気中【40℃95%RH(以下, 40/95と省略)】の $\tan \delta$ の周波数特性を測定する。
- 手順3 常湿と加湿雰囲気の可聴周波数領域(500Hzもしくは1KHz)のデータを比較し誘電損失が生じているかどうかを調べる。もし、試料の表面に水分が吸着していれば可聴周波数領域で誘電損失が起こり、常湿より加湿雰囲気の $\tan \delta$ が増加するはずである。なお、表面吸湿性が判定された試料はIM発生の可能性があると判断する。

5. 誘電特性試験の適用

回路基板など絶縁材料の表面でのIM発生は表面吸湿性に左右され、表面吸湿性は絶縁材料の表面状態に依存する。本章では、

- ・異物が付着した表面
- ・複合分散材料の表面
- ・クラックの存在する表面

など、IMの要因となる表面状態を持った基板に誘電特性試験を適用して、本試験法の有効性を実証した。

図7. 異物付着表面の概念

図8. 異物上のIM

5.1 異物の付着した基板の吸湿性評価

図7のように回路基板の電極間にイオン性物質や水和性物質、金属酸化物などの異物が付着すると、異物に水分が吸着して多湿雰囲気や結露時に容易にIMが発生する。図8は異物の付着により、結露の際に電極材料の銅が異物表面でマイグレーションした事例である。また、図9は、ほこりが付着しているために加湿試験後に基準の絶縁抵抗値を満たせず不合格となった回路基板の表面写真である。異物の種類としては、はんだ付けフラックス洗浄工程での洗浄剤(界面活性物質)の残留、プリント回路板製造工程のエッチング残液、金属酸化物、繊維、ほこり、油脂分などがある。このように異物が付着した表面は吸湿しやすく絶縁信頼性に影響を与える。そこで、ほこりの付着した回路基板の吸湿性が誘電特性試験で検出できるか評価を行った。

試料：ほこりの多い環境でソルダペーストを0.5mmピッチの楕円電極部に定量印刷後リフローして試験基板を作成した。リフロー後にほこりが電極間にまたがり固着している基板を選別し、それを試料とした。試験に用いた試料を図10に示す。

評価：常温[25/60]および、加湿[40/95]の雰囲気に放置し、各環境下で、120Hz~1MHzの $\tan \delta$ を測定した。測定後、ほこりを除去し、再度 $\tan \delta$ を測定した。ほこりによる吸湿性はそれぞれのデータを比較して判定した。

結果：ほこりが付着した試料の測定結果を図11に示す。また、ほこりを除去した試料の結果を図12に示す。縦

図9. 回路基板のほこり付着

図10. 試験基板へのほこり付着

図11. ほこりが付着した表面のtan δ

図12. ほこりを除去した試料のtan δ

軸はtan δの常用対数値、横軸は測定周波数で、図中の“●”は40/95でのtan δ, “○”は25/60でのtan δを表している。これらの図を比較すると、加湿雰囲気中のtan δの挙動に違いがあり、ほこりが固着した試料は吸湿性があることがわかる。以上から、ほこりの付着した回路基板の吸湿性は誘電特性試験で判定できる。

5.2 複分散表面を持った回路基板の評価

複数の物質から構成され、ひとつの物質がもう一方の物質に分散している材料を複分散材料という。ここで、分散媒質がイオン性もしくは水和性の物質から成り、それが表面に露出していると、露出した分散媒質は水分を吸着し湿潤する。湿潤した分散媒質はイオン解離し、表面に電解質を含んだ水和層を形成する。これが回路基板の電極間に存在した場合、この水和層はCu, Sn, Pbなどの電極金属に対してIMを誘発させる。このような表面を持つ回路基板の概念図を図13に示す。また、この代表例としては回路基板上のはんだ付けフラックスの残渣がある。フラックス残渣はロジンなどの樹脂成分に活性成分（イオン性物質）が分散している典型的な複分散材料で、活性成分が表面に露出した残渣はIMを引き起こしやすい。残渣は従来、洗浄により除去されていたが、フロン問題以降、基板上に

図13. 複分散表面

図14. フラックス残渣でのIM

残されるようになった。図14はそのような残渣で実際にIMが確認された事例である。

以上のように、複分散材料の表面を持つ基板もIMを発生させる要因になり得る。ここでは、フラックス残渣の表面吸湿性を誘電特性試験により評価した結果を報告する。

(1) 組成が異なるフラックス残渣の表面吸湿性評価⁵⁾

組成の異なるフラックスを用いて誘電特性試験により表面吸湿性の違いを判定し、吸湿性を判定されたフラックス残渣が実際にIM発生を加速することを検証した。評価の手順としては、まず、誘電特性試験により表面の吸湿性を判定した。次に、恒温恒湿試験と結露サイクル試験により、各フラックス残渣のIM発生時間を調べた。そして、それぞれの試験結果からtan δとIM発生時間の関係を考察した。

試料：評価に使用したフラックスは4種類で、すべてロジンベースのフラックスである。活性剤は有機酸系で構成され、活性力はFD<FC<FB<FAの順で強くなる。それらの組成を表2に示す。各フラックスを0.2mmピッチの櫛形電極基板上に滴下後、共晶はんだ(JIS H63A)ではんだ付けし、それを試料とした。

評価：tan δ ⇨ 常湿[25/60]と加湿雰囲気[40/95]で、120Hz～1MHzまでのtan δを測定した。

IM ⇨ IMの検討はIMが発生するまでの時間で行い、「絶縁抵抗の仕切値を10⁷Ωとして、それを下回った時点をIM発生」と定義する。また、IM発生を加速させる条件は、試料を恒温恒湿中[40℃95%RH・50V印加]に放置する恒温恒湿試験と結露／乾燥[5℃(20分)→25℃95%RH(20分)]を繰り返す結露サイクル試験の2つの環境条件で評価した。

結果：tan δ ⇨ 各フラックスの500Hzのtan δを表3に示す。

また、tan δの測定結果例（周波数特性例）を図15、図16に示す。結果を見ると、FAとFBのフラックスで、加湿時のtan δの変動が

表2. フラックスの組成について（単位：％）

組成／フラックス	FA	FB	FC	FD
樹脂				
WWロジン	7	7	7	10
活性剤	有機酸a	—	—	—
	有機酸b	—	3	—
	有機酸c	—	—	3
固形分含有量	10	10	10	10

表3. tan δ [500Hz] の測定結果

組成／フラックス	FA	FB	FC	FD
25/60のtan δ	0.0038	2.0929	0.0042	0.0034
40/95のtan δ	0.4515	9.6825	0.0164	0.0111
tan δの変化	大	特大	小	小

図15. フラックスFAの $\tan \delta$ の周波数特性 図16. フラックスFCの $\tan \delta$ の周波数特性

大きく、フラックス残渣の表面に吸湿性があることがわかる。

IM ⇨ 恒温恒湿試験と結露サイクル試験の結果をワイブル解析して求めたIM発生時間を表4に示す。両試験結果ともに、FAとFBのフラックスでIM発生時間が短いことがわかる。また、FAやFBのフラックスでは恒温恒湿試験と結露サイクル試験で実際にIMが発生している。この時に観察されたIM例を図17と図18に示す。

$\tan \delta$ とIMの関係について

500Hzの $\tan \delta$ と各試験によるIM発生時間の常用対数をとって、それらをまとめて表5に示す。FAやFBのように吸湿性のある($\tan \delta$ の大きい)フラックス残渣はIMが発生するまでの時間が短く、FCやFDのように吸湿性のない($\tan \delta$

表4. 各残渣のIM発生時間 (単位: hr)

組成/フラックス	FA	FB	FC	FD
恒温恒湿試験	422	126	1000以上	1000以上
結露サイクル試験	0.39	0.31	9.27	10以上
IM発生時間の長短	短	短	長	長

図17. 加湿試験によるIM

図18. 結露試験によるIM

表5. $\tan \delta$ [500Hz] とIM発生時間との関係

組成/フラックス	FA	FB	FC	FD	γ *3
$\log(\tan \delta)$	-0.35	0.99	-1.79	-1.95	—
$\log(ta)$ *1	2.63	2.10	3.42	3.42	-0.99
$\log(tb)$ *2	-0.41	-0.51	0.97	1.14	-0.94

*1 ta: 恒温恒湿試験でのIM発生時間

*2 tb: 結露サイクル試験でのIM発生時間

*3 γ : $\log(\tan \delta)$ と $\log(ta)$, $\log(\tan \delta)$, $\log(tb)$ の相関係数を表す

の小さい)フラックス残渣はIMが発生するまでの時間が長い。これを相関係数: γ で表すと、 $\tan \delta$ と恒温恒湿試験でのIM発生時間で $\gamma = -0.99$ 、 $\tan \delta$ と結露サイクル試験でのIM発生時間で $\gamma = -0.94$ となり、いずれも強い負の相関が認められる。以上から、 $\tan \delta$ とIM発生時間には関係があり、誘電特性試験によりIMの発生が推定できる。

(2) 活性剤含有比率の違いによるフラックスの残渣表面フラックスの活性剤の含有量が異なれば表面に露出する活性成分の量も異なり、表面の吸湿性は変わるはずである。ここでは、固形分量(樹脂成分と活性剤)を固定し、活性剤比率を変えたフラックスを用いて、表面吸湿性の違いを誘電特性試験により確かめた。

試料: 固形分を重量比で10%に固定し、樹脂成分がガムロジン(WW)、活性成分が有機酸(ステアリン酸)からなるフラックスを用いた。活性剤比率を0~10%に変動させたフラックスを0.2mmピッチの櫛形電極に滴下後、共晶はんだではんだ付けし、それを試料とした。

評価: 常温[25/60]および、加湿[40/95]の雰囲気中で、120Hz~1MHzまでの $\tan \delta$ を測定した。活性剤の含有量と表面の吸湿性の関係は、活性剤比率と加湿雰囲気中の $\tan \delta$ [500Hz]を回帰分析して判定した。

結果: 40/95の測定結果を図19に示す。また、500Hzでの $\tan \delta$ と活性剤比率の回帰分析結果を図20に示す。それぞれの図を見ると活性剤の固形分に対する比率が増えたと $\tan \delta$ も増加することがわかる。言い換えれば、活性剤比率の増加に伴い、表面の水分吸着性が増加する。その関係は表6のとおりで両者の間には相関関係がある。以上から、フラックスのような複合分散材料では、活性剤の含有量が増えれば、表面の水分吸着性が増加することがわかる。

5.3 表面クラックのあるフラックス残渣の吸湿性判定⁶⁾

電極間の絶縁材料の表面に細かなクラックが入ると、水分が吸着しやすくなり、多湿雰囲気では100%よりはるかに低い相対湿度で結露が発生することがある。特に、クラックが電極間をまたぐように入っている場合はIMなどの絶縁不良が発生する。図21は表面クラックを模式的に示したもので、この例としては基板の基材割れ、ソルダレジストクラック、フラックス残渣クラック、オーバコート材クラックなどがある。また、これと類似した状態に、基板

図19. 各フラックスのtan δの周波数特性

図20. 回帰分析結果

表6. 活性剤量とtan δとの関係

加湿条件／解析	相関係数	1次回帰式 (x→y)*
25/60 500Hz	0.93	y=0.11x-2.64
40/95 500Hz	0.97	y=0.15x-2.21

* x: 活性剤含有量 (%)

* y: log(tan δ)

図21. 表面クラック

図22. クラック内のIM

と部品の接触による界面の形成がある。図22は市販のソルダペーストの残渣でクラック内にIMが発生した事例である。このように、表面にクラックがある場合も吸湿しやすく、IMなどを誘発する。ここでは、クラックの入ったフラックス残渣に対してその吸湿性を誘電特性試験で評価した。また、結露サイクル試験によるIM発生時間との関係を調べた。

試料：試料は、残渣A：「表面にクラックの存在する残渣」と、残渣B：「クラックのない残渣」の2種類を用いた。フラックスは残渣A・B共に、活性剤の水分吸着の影響をできる限り避けるためWWロジンの35% IPA溶液を使用した。それを0.5mmピッチの楕円電極基板の電極部に滴下後、はんだ付けし試料とした。なお、残渣Aは、はんだ付け後に熱衝撃(200℃→-20℃)を1回だけ加えてクラックを発生させた。

図23. 残渣Aの表面

図24. 残渣Bの表面

図25. 残渣A(クラックあり)のtan δ

図26. 残渣B(クラックなし)のtan δ

残渣A, 残渣Bの表面状態を図23, 図24に示す。

評価：tan δ ⇨ 常湿[25/60]と加湿雰囲気[40/95]で、120Hz～1MHzまでのtan δを測定した。

IM ⇨ IMの検討は結露サイクル試験で行った。具体的な試験条件は5.2節と同様である。

結果：tan δ ⇨ 残渣A, Bの測定結果を図25, 図26に示す。残渣A(クラックあり)は40/95雰囲気中で可聴周波数領域のtan δが著しく増加し、多湿雰囲気でクラック内に水分が吸着していることが推測できる。一方、残渣B(クラックなし)は加湿雰囲気中のtan δの変化が小さく、表面への水分吸着は少ない。

IM ⇨ 結露サイクル試験のワイブル解析の結果を表7に示す。残渣A(クラックあり)は、残渣B(クラックなし)の約1/41の時間でIMが発生している。また、残渣Aでは試験後にはんだがクラック内をマイグレーションしていることが確認できた。この時の観察されたIMの写真と表面分析した結果を図27に示す。

tan δとIMの関係について

表面クラックが存在する残渣は、加湿時のtan δが大きく、IMが発生するまでの時間が短い。一方、クラックのない残渣は加湿時のtan δが小さく、IMが発生するまでの時間

表7. 結露サイクル試験のワイブル解析結果

ワイブル解析/試料	残渣A	残渣B
IM発生時間 (hr)	0.337	13.9
形状母数 m	36.8	3.01
尺度母数 η	0.342	15.5

図27. 残渣AのIMと表面分析結果〈白く見えるのがIM〉

が長い。以上から、表面クラックのある残渣の吸湿性は誘電特性試験により判定でき、誘電特性試験で吸湿性があると判定された残渣は、IM発生を加速することがわかる。したがって、残渣クラックの吸湿性を誘電特性試験で判定することは、IMの発生を予測する上で大きな意味を持つ。

6. おわりに

本論文では、誘電特性から物質表面の吸湿性を判定して、その結果からIMの発生を推定する試験方法について述べた。また、部品が実装された回路基板などに対して、

(1) IMの発生原因となる基板表面の吸湿性は誘電特性試験で判定できる。

(2) 誘電特性試験で吸湿性があると判定された基板は、IMの発生を加速する。

といった有効性が確認できた。誘電特性によりIMを予測する試験方法の最大の利点は、試験時間が大幅に短縮できることである。誘電特性試験に要する時間は常温常湿と加湿時の2つの条件で約3時間程度であり、従来の評価法(環境試験法)が1000時間程度の試験時間を要していることを考えると時間的な利点が大い。

しかし、本試験法を従来のIM評価方法に代わる試験法として位置づけるには、克服しなければならない課題が多く残されている。当面は、従来の試験法と併用し、データを蓄積することが肝要である。また、今後、

- ・フラックス以外の絶縁材料への適用性を評価する。
- ・IMの電気化学反応が起こるまでの時間(本文3.1節のt2)と誘電特性の関係を掘り下げて体系化する。
- ・品質工学(タグチメソッド)の考え方を融合させ、さらに評価の高精度化と効率化を目指す。

などの研究を進める予定である。

(1997.6.6-受理 1997.8.6-再受理)

文 献

- 1) 電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会編：“プリント配線板の絶縁信頼性に関する研究の動向”，電気学会技術報告，第615号，pp.9-21 (1996・12)
- 2) 上野憲造：“機能性評価による機械設計”，10章，日本規格協会 (1995・5)
- 3) 鶴 義之，他：“銅マイグレーションの基礎検討”，第8回プリント回路学会学術講演大会講演論文集，17D-11，pp.175-176(1994)など
- 4) 津久井勤：“プリント回路板のイオンマイグレーションと誘電特性”，第11回マイクロ接合研究委員会ソルダリング分科会資料，pp.1-13 (1991)
窪田宜昭：“現在の無洗浄評価技術に問題はないか？(上，下)”，表面実装技術，Vol.2, No.5, No.7，日刊工業新聞社 (1992)
岡本健次，他：“金属ベースプリント基板における銅イオンマイグレーションの検討(その1)”，平成5年電気学会全国大会講演論文集[3]，No.351，pp.3-126(1993)など
- 5) 市川克之，他：“はんだ付け材料の電気的信頼性(2)”，第25回日本科学技術連盟R&MS予稿集，S1-6，pp.45-50，1995.7
- 6) 市川克之，他：“表面クラックを有するはんだ付けフラックス残渣の絶縁劣化予測”，第11回路実装学術講演大会講演論文集，18B-11，pp.167-168 (1997)