プリント基板における信頼性評価

Reliability Evaluation of Printed Wiring Board

安 達 光 平*

Kohei Adachi*

高品質なプリント基板を供給するためには各製造工程での徹底した品質管理が必要である。プリント基板の故障について簡単に触れたのち、主な製造工程における品質評価技術と信頼性評価技術について解説する。

1. まえがき

プリント基板はあらゆる電子機器に搭載され、現在半導体と並び急速な成長期にある配線システム部品である。電子計算機に代表される産業用プリント基板においては高密度配線の要求により微細パターン化、高多層化が着実に進められておりさらに信頼性向上を目的とした耐熱性基材の採用が活発に行われている。

一方、オーディオ、VTR等に代表される民生用プリント基板では小型化、多機能化を達成するために高密度な部品実装が必要となり、片面基板から紙基材やコンポジット（複合基材）を用いた両面スルーホール基板への移行が進められつつある。

これら高密度化、高信頼性化、低コスト化への対応が大きな課題となっており、このためには品質および信頼性を保証する各種の評価技術が今後ますます重要となってくる。

本稿では、両面ならびに多層スルーホール基板の製造における品質および信頼性評価技術について述べる。

2. 故障モードと故障原因

プリント基板すなわちベアボードに見られる故障は種々あるが、エッチドフォイル法によるプリント基板において製造条件の不適によって発生する故障モードと主な故障原因を表1に示す。

3. 製造工程における評価技術

高品質かつ高信頼性を有するプリント基板を供給するには製造工程における徹底した品質管理が必要であり、通常は工程内検査、製品検査、テストクーボンによる破壊検査、等によって品質は保証される。

ここでは品質保証技術として主な製造工程で行われる評価方法について述べる。

3-1 基材の選定

プリント基板が使用される対象機器によって基材の選定が行われるが、基本となる電気的性能はもちろん、機械的特性、加工性、耐環境性（耐湿性、耐熱性、耐ヒートサイクル性）等の諸特性及び価格を総合的に考慮した上で選定される。

部品のはんだ付け時に加えられる熱（250～260℃）

* 三菱電機㈱ 材料研究所
〒661 尼崎市塚口本町8-1-1
☎ 06-491-8021

*Mitsubishi Electric Corporation,
Materials Engineering Laboratory
1-1, Tsukaguchihonmachi 8-chome, Amagasaki-shi,
Hyogo 661

が基材とスルーホール銅めっきの間の熱膨張率の差異によって大きな熱ストレスが生ずるので、基材の熱特性は信頼性保証の見地から特に重要な項目である。なかでもガラス転移温度(Glass Transition Temp. 以下Tgという)とZ方向の熱膨張率(α)は重要な特性値である。熱特性の評価方法には熱機械的分析装置(Thermal Mechanical Analysis 以下TMA という)による方法がある。

TMA 法による測定原理は、基材小片を入れた加熱炉を一定速度で加熱し膨張による寸法変化量を小片表面に接触させた検出棒と差動トランスを用いて検出・増幅することにより、その変化量を連続的に記録するものである。

表1 故障モードと主な故障原因

故障モード	箇所	故障原因
断線	P	<ul style="list-style-type: none"> ・マスク不良 ・エッチングレジスト欠損 ・エッチングレジスト密着不良 ・オーバエッチング
	T	<ul style="list-style-type: none"> ・孔壁面の凹凸大 ・めっき厚不均 ・めっき厚不足 ・レジスト(テンティング)破れ ・エッチングレジスト欠損 ・ランド切れ ・内層はずれ
短絡	P	<ul style="list-style-type: none"> ・マスク不良 ・エッチング不足 ・パターンエッチのオーバハングによるひげ ・ソルダ-レジスト位置ズレによるはんだブリッチ
	T	<ul style="list-style-type: none"> ・レジストレーション不良
導通抵抗大	P	<ul style="list-style-type: none"> ・オーバエッチングによる導体断面積の減少
	T	<ul style="list-style-type: none"> ・スミアによる接続抵抗の増加 ・スルーホールめっきのクラック ・スルーホール近傍の銅箔クラック
絶縁劣化	L	<ul style="list-style-type: none"> ・吸湿 ・不純物残留 ・マイグレーション
	P	<ul style="list-style-type: none"> ・エッチング不足によるパターン間隔の減少 ・不純物付着
	T	<ul style="list-style-type: none"> ・レジストレーション不良によるパターン間隔の減少
ソリ、ネジレ大	L	<ul style="list-style-type: none"> ・層構成のアンバランス ・基材方向の不遇 ・積層条件の不遇 ・吸湿
端子接続抵抗大	P	<ul style="list-style-type: none"> ・ニッケルおよび金めっき厚の不足 ・めっきヒンホ-ルによる腐食 ・不純物付着
はんだ接続異常	P	<ul style="list-style-type: none"> ・ソルダ-レジスト位置ズレによるはんだブリッチ ・はんだめっき厚不均一によるはんだ突起 ・はんだめっき厚不足による腐れ不良
	T	<ul style="list-style-type: none"> ・めっきボイドによるブローホール ・不純物付着によるはんだ上り不良

・ Pattern : 導体部, Through-Hole : スルーホール部
Laminate : 基材

TMA 法によって得られた各種基材の熱特性を図1に示す。図中、直線の傾きが α 、屈曲点の温度がTgで、Tgを境にして α (α_1 , α_2)は異なる。図1は代表例で同一基材でもメーカー間でこれら特性値は多少異なる。またTMA法ではんだ浸せき時間や浸せき回数を変化させた場合のデラミネーション発生に至るまでの時間について測定した例もある。¹⁾

3-2 孔明け工程

スルーホール孔壁面の凹凸が大きいとめっき工程で均一な厚みとノジュールやボイドのないスルーホールめっきを得ることは困難で、加熱時の応力集中によるクラックや処理液の残存によるブローホール発生の原因となる。

また多層基板では、写真1に示すような内層接続を不完全にする内層切断面上に溶着した樹脂すなわちスミアの発生をおさえることが重要である。孔壁面の仕上りに影響を与える要因として、ドリル形状、ドリル回転数、送り速度、基材の重ね枚数、あて板(バリ取り、カエリ取り)等がある。

図1 各種基材の熱特性

写真1 内層銅箔上に付着したレジンスミア

図2 ドリル刃先の欠陥

ドリル形状は先端を中心として点対称であり、切れ刃には欠けや傷があってはならず切削点となる切れ刃の終端は角がとれずに鋭いことが必要である。ドリル検査で発見される欠陥として図2に示すものがある。

孔明工程ではスミアを発生させないことが原則であるが、もしスミアの発生が避けられない場合は一般にエッチバック処理が行われる。エッチバック処理の目的はスミアの除去とスルーホールめっきの密着力向上である。

従来この処理にはクロム酸、硫酸、フッ酸といった強酸が用いられているが取り扱いや廃液処理の難点がある。最近ではドライ方式として O_2 と CF_4 の混合ガスによるプラズマ処理が導入される動きがある。写真2はプラズマ処理された孔壁面の走査型電子顕微鏡(SEM)写真であり、白色部分は樹脂のエッチバックによって突き出したガラスクロスである。

3-3 フォトレジスト工程

最近、高密度配線を実現させる微細パターンはICピン間に信号線2本を配線するレベルからピン間3本あるいは4本といったものが急速に伸びて来ている。

写真2 プラズマ処理孔面
(白色部分がガラスクロス突出し部)

このような微細パターンのエッチングレジストはインクレジストを用いたスクリーン印刷技術では形成できず、通常液状あるいはドライフィルムといったフォトレジストによる写真製版技術によって形成される。ここでは、ドライフィルムを用いたフォトレジスト工程における評価方法について述べる。

図3は、銅張積層板から回路形成に至るまでの各工程における特性要因図である。図3からわかるようにレジストパターンの形成には、前処理、ラミネート、露光、現像条件ならびにレジスト材料、ワークフィルムの品質が大きく影響する。

ピン間2本レベルではレジスト形成後に目視検査を行いレジスト膜の傷や欠け等の欠陥部分にはインクで修正を加えた後エッチング工程に移るが100 μm 以下のレベルの微細パターンになると欠陥部分の見落としがあったり修正が不可能となるため一連の作業条件の適正化、厳密な作業管理が重要となる。

微細パターンになるほど銅箔とレジスト膜との接触面積の減少による密着不良が発生しやすくなり、拡大鏡による工程内目視検査だけでは不良発生箇所を十分に検出することは困難である。

これを比較的容易に検出しレジスト形成仕上りを評価する方法として蛍光浸透法がある²⁾。この方法は、レジストパターン形成後蛍光染料を含む液体に浸せきすることにより密着不良箇所に存在する銅箔とレジスト膜との隙間に液体を浸せきさせるもので、この液体は水溶性であるが隙間に浸透した液体は水洗されずに残留し、暗室内で紫外線を照射するとその部分が蛍光を発することを利用した検出方法である。

このように液体が浸透した密着不良箇所はエッチング工程で必ずエッチングされ、導体パターンの欠けや断線に至ることが確認されている。写真

図3 回路形成までの特性要因

3はこの方法による例で、目視検査では正常とみなされるものであるが、○印内には密着不良箇所浸透した液体による蛍光が認められる。

3-4 めっき工程

めっき工程は表裏や内層間の相互接続を得るために行われる。ここでは、めっき膜の機械的特性、均一電着性、マイクロスローイングパワーの評価方法について述べる。

(1) めっき膜の機械的特性

スルーホール銅めっきの特性は3-1項に述べた基材の熱特性と同様に熱に対する基板の品質を左右する大きな因子となる。現在プリント基板にはピロリン酸銅、硫酸銅が使われている。

図4にはJIS Z 2201に基づく試験片で行った引張試験結果を示すが、両者では伸びや抗張力が大きく異なり添加剤の種類によっても多少

図4 銅めっき膜の機械的特性

写真3 レジスト密着不良部に見られる蛍光

特性は変化する。機械的特性におけるめっき後の経時変化やアニール効果についても報告されており、一般にめっき膜はアニールされると伸びは増大する反面、抗張力は低下するとされている³⁾。

(2) 均一電着性

めっき厚のばらつきは当然のことながら部分的なエッチングの過不足を招きパターン精度に大きな影響をもたらす。基板サイズが大きくなるほどそのばらつきをコントロールするのは困難で基板全体にわたって許容限界内のめっき厚を得るには液組成、電流密度、めっき時間、電極形状・配置・間隔等のめっき条件をはじめ、液のかく拌方法、被めっき物の揺動方法、めっき治具等に工夫をこらす必要がある。

めっき厚のばらつきを調べる方法として、渦電流、 β 線、蛍光X線を利用した膜厚測定器による非破壊の方法と、ステンレス板にめっきし、ひきはがした後マイクロメータによって直接的に厚みを測定する方法がある。

めっき治具に要求される特性としては、まず被めっき物の電位を均一にし電界集中をおさえること、また被めっき物を確実に固定でき脱着が簡単なこと、さらにはめっき治具への析出が少ないこと等がある。例として図5に額ぶち状めっき治具を適用した場合のめっき厚分布を示す。

(3) マイクロスローイングパワー

高密度配線を達成する方法に小径孔スルーホール採用がある。スルーホール径が小さくなるほどそれに必要なランド径は小さくなり、スルーホール間の配線本数を増やすことが可能となる。このような動向のなかで最近の電子計算機用基板ではアスペクト比（板厚／孔径比）が7～10のものが生産されている。

このような小径孔のめっきは、従来の電気めっきではスルーホールのコーナー部と中央部のめっき厚の差が大きくなり低電流密度あるいは低銅濃度めっき液による電気めっきやつきまわり性に優れた無電解めっきを行う必要があるが、生産性の面から後者の方が有利であると言える。

マイクロスローイングの評価は、通常テストクーポンのスルーホール断面におけるめっき厚測定で行われるが、孔壁の凹凸に起因するめっき膜の凹凸やめっきボイドの発生を調べるには基材樹脂を溶解しスルーホールをとり出す方法がある。

写真4に樹脂溶解によってとり出したスルーホールを示す。通常の方法ではスルーホールのある一断面しか観察できないが、この方法ではスルーホール全周にわたって観察することができる。

写真4 樹脂溶解によるスルーホールとり出し

3-5 エッチング工程

エッチング工程ではエッチング速度とサイドエッチ量をコントロールすることが重要である。エッチング速度は、エッチング液の種類、疲労度、液温度だけでなくスプレー圧力、ノズル位置、角度、基板の送り機構等のマシン構造によって変動する。

エッチング速度およびサイドエッチを評価する方法として、図6に示すようなエッチング時間とパターン断面形状の推移を調べる方法がある。これらの調査結果に基づいて最適なエッチング条件を見い出すことができる。

3-6 ショート・オープン検査

導体パターンのショート・オープン検査は布線検査機によって行われる。多層基板になったり、導体幅・間隔が微細になるにつれて目視検査の限界をこえるための回路のショート・オープンを自動的に検査する布線検査機は欠かすことのできないものである。

現在、各種の布線検査機が市販されているが、基本構成はどの機種もほとんど同じで、可否を判定する本体と、検査信号をプローブを通してプリント基板に印加する治具からなっている。布線検査機の機能は検査基準データと被検査基板で得られた検査データの比較により可否判定をすることである。

基準データの作成方法はCADを利用した設計段階のデータを使用する方法と、正常な被検査基板を布線検査機で読み取り、メモリにとり込む方法がある。試験電圧や試験電流などの試験条件は各種各様であるが、スイッチング素子として固体素子を用いた低電圧タイプでは、5～20

図5 めっき厚分布

図6 エッチング時間によるパターン形状の推移

V, 1mA~50mA,リレーを用いた高電圧タイプでは, 0.25~500V, 5mA~1A程度のものが一般的である。

品質保証レベルは高電圧タイプの方が高く、電流容量、絶縁抵抗、耐電圧を試験時にチェックできるが、試験速度が低電圧タイプに比べて遅いうえ、高価であることが難点である。

単にショート・オープンの保証だけの場合は低電圧タイプが使用されることが多い。ショート・オープンの判定基準となる抵抗しきい値が固定式の機種やある範囲で自由に選択できる機種があり、検査目的に応じて使い分けられる。

治具はプローブピンを固定したテストヘッドとそれを基板に加圧接触するためのフィクスチャから構成される。テストヘッドには、プローブピンを一定格子間隔（例えば2.54mm格子）に配列した汎用テストヘッドや検査基板の検査箇所だけに配置した専用テストヘッドがある。

検査にあたってはプローブピンが検査箇所で十分な電氣的接触を保つことが必要で、ピンの接触不良やゴミによる絶縁・短絡をチェックするために検査機自体のセルフテストが行える機能をもたせているものが多い。

このように、布線検査機は製品の品質保証のよりどころとなるもので工程内検査の中でも最も自動

化が進められている。これをいかに効率的に駆使するかは検査時間の短縮ひいては生産性の良し悪しに関係し、設計段階から組立、最終の試験・調整まで考慮したトータルのシテム化が重要な課題となってくる。

4. 信頼性評価技術

パターン設計仕様や適用材料の選択に誤りがなければ、プリント基板の信頼性はすなわちスルーホール部の信頼性と言い換えても過言でない。その根拠は、不良モードの大半が部品実装時におけるはんだ付けの熱ストレスを受けることによるもので、発生する故障箇所はそのほとんどがスルーホール部に集中するという過去の経験に基づくものである。

熱ストレスに対しては前述したように、基材とスルーホール銅めっき膜との熱膨張率の差異によって生じる熱応力にスルーホールめっきが耐えきれずめっき膜にクラックが発生し断線に至る故障が最も多い。

通常プリント基板の信頼性を保証する試験としては、表2に示すような試験条件で耐熱性ならびに耐湿性試験が行われる^{注)}。以下にこれら評価方

注) これらの試験は破壊試験であるため、評価用に作成した基板、もしくは製品周辺部に配置作成されたテストクーボンによって実施される。

表2 試験条件

種 類		J I S 規 格	M I L 規 格
耐 熱 性	温度サイクル	C-5012 各30分, 移動10~15分 条件 低温℃ 高温℃ X -65±3 ↔ 125±3 Y -65±3 ↔ 100±2 Z -55±3 ↔ 100±2	P-55110C 各15分, 移動2分以内 基材 低温(± ⁰ ₅ ℃) 高温(± ⁵ ₀ ℃) P X -65 ↔ 105 GE.GF -65 ↔ 125 G I -65 ↔ 204
	熱衝撃	C-5012 トリクロルエチレン 260±5℃ 20±15℃ 20±15℃ 3~5秒 15秒以内 20秒	_____
	はんだフラット	_____	乾燥 フラックス はんだフラット 塗 布 120~150℃ 288±5℃ 2 hr 10秒
	耐湿性	温湿度サイクル C-5024 (種類A, 種類B) 25±5℃ ↔ 65℃ 65±20% R.H 90~98% R.H	STD-202 106D
耐 熱 性	定 常	C-5023 40±2℃ 90~95% R.H	_____

法について述べる。

4-1 耐熱性評価

耐熱試験として、温度サイクル、熱衝撃（ホットオイル、はんだコロート）試験があり表2に規格化された試験条件を示したが、試験温度や保持あるいは浸せき時間等の試験条件が同一であっても試験されるべき基板のサイズ、層数、によって熱容量は異なるため基板の温度変化速度や加えられる熱ストレスは同一ではないことを考慮すべきである。

また、基板の熱容量だけでなく熱源の種類によっても基板の温度変化速度は異なる。参考として表3に各種熱源を用いた時の基板温度が初期の熱源と基板の温度差の95%に到達するまでに要する時間（計算値）の比較を示す⁴⁾。表からわかるように、熱衝撃試験ではホットオイルに比べてはんだフロート試験の方が基板の温度上昇は急峻で加わる熱ストレスは最も厳しい。

以上のことに留意して、製品基板の信頼性保証レベルに応じた試験条件や故障判定基準が決められる。

評価方法は、単一のスルーホールあるいは複数個のスルーホールを連続させたパターンのスルーホール抵抗値を測定し、初期値と試験後の変化率および絶対値によって良否の判定を行う。

ただし抵抗変化率では検出できないスルーホールの微小クラックについては断面観察からその発生箇所や個数を調べ、ストレスによる劣化の状況を把握する必要がある。また、熱ストレスを加えながら直接的に抵抗値の変化を測定することにより微小な変化を検出できることもある。

4-2 耐湿性評価

耐湿性試験は、回路間の絶縁や耐電圧を保証する目的で行われる。代表的な試験条件として表2

に示す温湿度サイクルや恒温恒湿試験があるが、他の試験方法にプレッシャークッカ試験がある。

プレッシャークッカ試験条件は、通常2気圧の飽和蒸気中に一定時間を保持するものであるが、基材の吸湿による特性劣化やデラミネーション発生の原因となる層間密着力を短時間で評価するのに有力な試験方法である。

耐湿性評価方法は、試験基板に形成したくし形電極間の絶縁抵抗や各層に形成した円形あるいは矩形パターン間の層間絶縁抵抗・層間耐圧をある試験時間ごとに測定し劣化の進行状況を調べる。

以上に述べた試験によるデータを総合して製品のもつ品質レベルの確認とその信頼性レベルの予測が行われる。

5. むすび

以上、プリント基板の品質および信頼性を保証するための評価技術について述べたが、これらの評価データは設計、製造部門にフィードバックされ常に最良の状態でプロセスが維持、管理されなければならない。

特に、材料や関連する副資材のわずかな仕様変更やばらつきがプロセスのマージンに大きく影響することがあり、設計仕様や適用材料の変更、作業条件の見直しや管理が迅速に行われなければならない。したがって統轄的には設計、製造、品質保証の各部門が三身一体となった信頼性保証システムの確立が必要となる。

現状のプリント基板の評価技術では、目視検査やテストクーボンによる断面観察を主体とした人的作業が多いのが実情で、今後のプリント基板の需要の増大に対処するためにはこれら評価の自動化、高速化が望まれる。

現在の布線検査機に見られるような高速で精度

の良い検査装置が他の工程内検査にも導入されるものと期待される。また、研究開発段階のものに、ワークフィルムや回路の欠陥部分を検出する自動パターン認識装置、内層パターン検査や寸法測定ができるX線内部検査装置等がある。

表3 各種熱源による温度上昇時間 (秒)

熱 源	5 層 板	10 層 板	16 層 板
溶融 はんだ	1.78	2.63	2.80
グリセリン	10.70	15.78	16.80
液 体 槽	17.87	26.31	28.00
強 制 熱 風	134～53.6	197～79	210～85
静 止 空 気	1340	1974	2100
放 射 熱	268～134	395～197	420～210

注)熱源と基板の温度差の95%の温度上昇に要する時間(理論計算値)

参 考 文 献

- 1) Testing for Delamination Resistance of Multi-layers, J.W. Lula Insulation/Circuits, July, 1980
- 2) 蛍光浸透法による電子部品の気密性評価：安達他信学技報 R 79-15
- 3) Improve Electrodeposited Copper with Organic Additives and Baking, D.E. Sherlin Insulation/Circuits Sep. 1978
- 4) Simulation of Thermal Stress Stimuli in the testing of Printed Wiring Products, H.H. Ammaru, 14th Annual Proceedings IEEE, Reliability Physics 1976

ニューズ ダイジェスト

垂直磁気式フロッピーディスク装置

東京芝浦電気は、垂直磁気記録方式により、従来の 2.7 倍もの高密度記録ができる、フロッピーディスク装置の試作に成功したと発表した。

この方式のディスク盤は、プラスチックフィルム両面に、スパッタ法により $0.5 \mu\text{m}$ のコバルトクロムの単層膜を形成させたものであり、磁気ヘッドは従来のフェライトを使用するが、ギャップ幅を従来の $\frac{1}{2}$ の $0.4 \mu\text{m}$ に狭めることで、高密度記録の読み出し、書き込みが可能になった。

この結果、記録密度は水平方式に比べ 27 倍となり、直径 3.5 インチのフロッピーディスクの片面に、3 メガバイト（300 万語）の情報を記録できるようになった。同社では、2 年後には量産に入れるものとしている。

（57.9.21 朝日、日刊工業、日本工業）

トヨタ 塗装ロボを大量導入

トヨタ自動車は、4、5 年のうちに、新たに塗装及びアーク溶接ロボットを、大量に導入する予定である。

同社は、昭和 46 年の第 1 号ロボット導入以来、現在まで約 800 台のロボットが稼動しているが、そのうち 670 台が、スポット溶接ロボットであった。今回同社では、塗装工程とアーク溶接工程のロボット化を、推

進することにしたもの。

塗装ロボットは、今のところ、主として下塗りが中心で、約 40 台が稼動しているが、4、5 年後には、外板までロボット化する計画で、新たに 250 台が必要となるという。

塗装ロボットは、神戸製鋼所と、川崎重工業、アーク溶接ロボットは安川電気製作所と大阪変圧器から導入することを決定している。

（57.9.23 日刊工業）

めっき製品用 UV 塗料

大日精化工業（東京都中央区日本橋馬喰町 1-7-6 TEL 03-662-7111）は、紫外線硬化型塗料「セイカビーム」の新シリーズとして、めっき製品用（MPL シリーズ）及び、プラスチック用（PHC シリーズ）を商品化した。

この塗料は、昭和 48 年に、米国 PPG 社の技術ライセンスを三菱レーヨンより導入、木工、床材方面へ販売を行って来たが、今回とくに市場ニーズが強い、めっき及びプラスチック用への製品化をはかったもの。

めっき用塗料としては、従来エポキシ系、アクリル系の焼付塗料が使用されていたが、硬化時間が長い、硬度が低い、耐薬品性、耐汚染性が劣る、などの欠点があった。

同社の UV 塗料によれば、硬化時間が数秒から数 10 秒と大幅に短かいれ、硬度が 6 H 以上と高い、密着性がよい、耐薬品性、耐汚染性がよい、

耐擦傷性、耐摩耗性がよいなど、めっき用として利点が多く、需要が期待されている。

なお、同社としては、これを紫外線硬化塗装システムとして、販売する方針で、紫外線硬化技術は、ウシオ電機、塗装工程はタクボエンジンアリング、システム全体の調整はサンライトと提携して行くという。

（57.9.22 日本工業、同日本塗料新聞、57.9.25 塗料工業新聞）

無害、低温の新 CVD 法

陸運電機（東京都練馬区氷川台 3-21-12 TEL 03-934-8371）では、長岡技術科学大学の鎌田喜一郎助教授が開発した「CVD 法による酸化物の製造法」を技術導入、実用化に着手した。

従来の CVD 法は、有毒ガスの発生、折出温度が高いなどの欠点があったが、本法は、ガスソースとして金属とアセチルアセトンの金属錯体である、ペーター・ジケトン錯体を使っており、 350°C で折出でき、有毒ガスも発生しない。

本法では、アルミナ、酸化チタン、酸化タンタル、塩化スズ、酸化チタン、酸化ケイ素などを効率よく生産できるが、陸運電機では、当面ガラスの透明皮膜用として、酸化スズのコーティングを重点として実用化をはかる予定。

（57.9.29 日本工業）