

# メンブレンへの新実装技術

電子電装開発センター 佐川 智 春<sup>1</sup>・久米 篤<sup>1</sup>・今井 隆之<sup>2</sup>  
プリント回路事業部 尾野 靖<sup>3</sup>  
材料技術研究所 中司 徹<sup>4</sup>

## New Mounting Technology for Membrane

T. Sagawa, A. Kume, T. Imai, Y. Ono, and T. Nakatsuka

デジタル家電製品の小型化により、主に操作スイッチ用の回路基板などに使用されるメンブレンも小さくなってきており、それにともない、部品実装エリアの省スペース化が求められている。従来、メンブレンの部品実装では、部品の接着強度を上げるために樹脂によって部品を封止してきたが、この封止樹脂が実装エリアの省スペース化を阻害していた。そのため、封止用樹脂を使用しない実装工法を開発し、量産への適用を開始した。

The membrane used for circuit boards in operation switches is getting smaller in size with the increasing demand for miniaturization of digital home appliances. Accordingly, chip mounting area is also required to be smaller in size. The use of the encapsulation resin in chip mounting technique of the membrane to increase the bonding strength of it has always obstructed the reduction of the mounting space. Therefore, to satisfy the requirements of downsizing, we developed a mounting method in which the encapsulation resin has not been used. We have started applying the technology to mass production as well.

### 1. ま え が き

近年、デジタルカメラやデジタルビデオカメラなどのデジタル家電製品の小型化が進み、内部に組み込まれるメンブレンにも小型化が要求されている。デジタル家電製品向けのメンブレンにはLEDが実装される場合が多く、必然的に実装スペースについても小さくすることが要求される。一般的に、メンブレンの部品実装では、基材にポリエステルフィルムを使用しているため、接続材料には低温での硬化が可能な導電性接着剤が用いられてきた。しかし、導電性接着剤のみでは部品の接着強度が不十分であるため、樹脂で部品を封止する必要があり、この封止樹脂があるために実装エリアの省スペース化が困難であった。このような背景から、封止用樹脂を使用しない新たな実装工法を開発した。接続材料に樹脂入り低融点はんだを使用することで、高い接続信頼性と同時に高強度を実現できた。本技術をデジタルカメラやデジタルビデオカメラの操作スイッチ用のメンブレンに適用し、量産を行っている。

### 2. 従来の部品実装と新実装の構造

#### 2.1 従来の実装構造と課題

従来の実装工法により、メンブレンにLEDを実装した場合の構造を図1に示す。工程は、

- 導電性接着剤の塗布
- 部品の実装
- 導電性接着剤の硬化
- 封止樹脂の塗布
- 封止樹脂の硬化

という5つから成る。

このように、今までは導電性接着剤によって電気的接続を得ると同時に、樹脂により部品を封止し、部品の接着強度を保っていた。しかし、この方法では封止樹脂の塗布面積が必要になるため、実装スペースを小さくすることが困難であった。

また、導電性接着剤は、部品を実装するときに部品に上から押されることによってつぶされて拡がり、さらにその後の硬化のための加熱工程で、一旦粘度が下がって拡がるという性質を持つ。そのため、実装部のランド同士の間隔が狭い場合、部品を実装した後にランド間で導電性接着剤が繋がってしまうという問題が起きる。したがって、これまでは1005サイズ以下の小さい部品や端子ピッチの狭い(0.5 mmピッチ以下)IC部品など、ランド同士の間隔を狭くする必要がある部品は実装することが困難であった<sup>1)</sup>。

さらには、電極が錫めっき処理されている部品を導電

1 機能部品開発部  
2 機能部品開発部グループ長  
3 機構部品技術部  
4 材料評価センター(理学博士)

性接着剤によって実装した場合、高湿度雰囲気下ではガルバニック腐食が発生する。その結果、錫の溶解もしくは錫めっき表面の酸化が発生し、接続抵抗が著しく増加するといった問題が発生する<sup>2)</sup>。

以上のことから、封止樹脂を必要としない、さらにはランド間隔を狭くしても部品の実装が可能で、また高湿度雰囲気下でも安定した接続性を保つことができる部品実装工法の検討を開始した。

2.2 新実装の構造

新実装工法を開発するにあたり、最も重要なポイントは接続材料の選定である。一般的なフレキシブルプリント回路 (Flexible Printed Circuit, 以下 FPC と記す) には、はんだが使用されており、高い接続信頼性ととも高強度を有している。そこで、FPC と同等の特性を得るため、接続材料にはんだを採用することとした。

しかし、メンブレンの基材はポリエステルフィルムであり、200 以上の温度に耐えられないため、それ以上の加熱温度が必要なはんだは使用できない。そこで、150 以下の低温で溶融できる Sn-Bi 系の低融点はんだを検討した。

ここで、低融点はんだをメンブレンに使用する場合、問題点が 2 つある。まず 1 つめの問題点は、はんだの濡れ性である。通常、メンブレンの回路は、熱硬化型の導電ペーストをスクリーン印刷することにより形成している。この導電ペーストで形成された回路の表面は、金属と樹脂で構成されているため、金属のみの回路に比べてはんだの濡れ性が悪くなる。その結果、はんだを使用して回路上に部品を実装しても、はんだが回路に付着せずに接続不良になるという問題が起きる。そこで、熱硬化型の導電ペーストについて、極力表面が金属フィラで覆われているものを選定した。ただし、その場合はペースト内の樹脂の含有率が低いために、回路そのものの機械強度や基材との接着力が低下しやすいため、熱硬化型バインダと特殊導電フィラからなる新ペーストを開発し、実装ランドの形成材料として適用した。その結果、はんだの濡れ性が向上し、良好な接続性が得られるようになった。

2 つめの問題点は、部品の接着強度の低下である。Sn-Bi 系低融点はんだは、Bi を添加することではんだ合金の機械的強度を低下させ、特に疲労寿命の低下が問題視されている<sup>3), 4)</sup>。実際に、Sn-Bi 系低融点はんだを用いてメンブレンに部品を実装した場合、部品の接着強度

が得られないことがわかっている (従来の実装構造と比較して、約 1/10 程度である)。

そこで着目した材料が樹脂入り低融点はんだである。この材料は、Sn-Bi 系の低融点はんだとエポキシ樹脂を混合したものであり、はんだ成分によって電気的接続を得ると同時に、エポキシ樹脂が部品の周囲と底面を固着し、接着強度を向上させる。つまり、接続性は通常の Sn-Bi 系低融点はんだと同等でありながら、エポキシ樹脂によって Bi 添加による機械的強度の低下を補い、高い接着強度を保つことができる。図 2 は、この材料によって実際に部品を実装したサンプルの接続部分の断面写真であるが、エポキシ樹脂がはんだ成分の外側まで覆っており、部品の接着強度を上げる要因となっていることがわかる。実際、この材料を用いて一般的なリジッド回路基板 (Rigid Printed Circuit) に部品を実装したときの接着強度は、通常の低融点はんだ接続の約 2 倍に達する。

以上から、新実装の構造を図 3 のように決定した。これにより、部品を実装する手順は下記ようになる。

- 樹脂入り低融点はんだの塗布
- 部品の実装
- 硬化 (加熱工程)

新ペーストによるランドの形成は、回路やレジスト印刷などと同じで、通常のメンブレンの印刷工程内で実施される。

従来の実装工法では、部品の封止が必要であったため、封止樹脂の塗布工程および樹脂の硬化工程があったが、新実装ではそれらの工程を削減することができる。これにより、作業工数を縮小でき、また加工費を低減することができる。

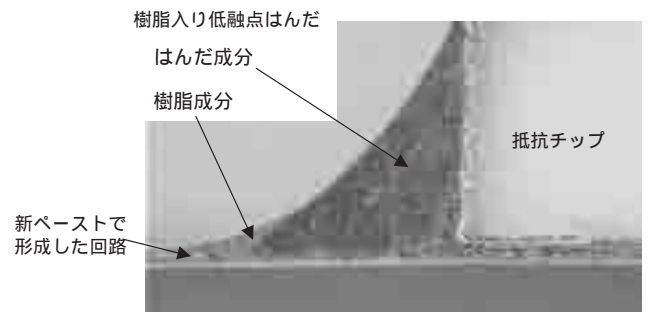


図 2 樹脂入り低融点はんだによる実装サンプルの接続部の断面  
Fig. 2. Cross section of mounting chip by low melting solder with resin.

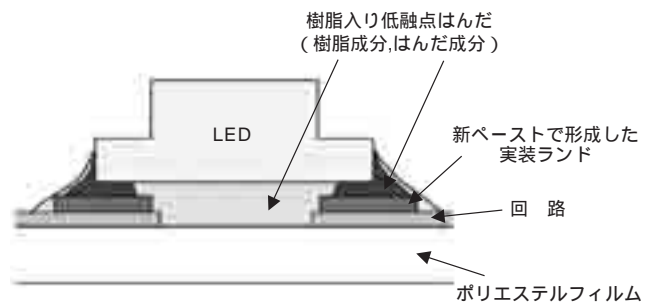


図 3 新実装の構造  
Fig. 3. New chip mounting structure.

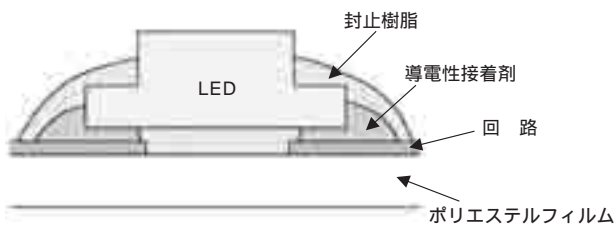


図 1 従来の実装構造  
Fig. 1. Structure of conventional chip mounting.

表1 従来工法と新工法の比較  
Table 1. Comparison of conventional and new mounting method.

|        |           | 従来の実装工法  | 新実装工法  |
|--------|-----------|--|--|
| 材 料    |           | 導電性接着剤<br>(銀フィラ, エポキシ樹脂)   | 樹脂入り低融点はんだ<br>(Sn-Bi系低融点はんだ,<br>エポキシ樹脂)          |
|        |           | 封止樹脂<br>(エポキシ樹脂)   |  |
| 工 程    |           | 1. 導電性接着剤の塗布<br>2. 部品の実装<br>3. 導電性接着剤の硬化<br>4. 封止樹脂の塗布<br>5. 封止樹脂の硬化           | 1. 樹脂入り低融点はんだの塗布<br>2. 部品の実装<br>3. 硬 化           |
| 特 性    | 接続抵抗 (Ω)  | 0.50   | 0.10   |
|        | せん断強度 (N) | 25   | 22   |
|        | 耐曲げ性      | 5 mmの曲げまで耐えられる   | 10 mmの曲げまで耐えられる                                  |
| 実装スペース |           | 3 × 4 mm エリア   | 1.5 × 3 mm エリア                                   |
| 特 徴    | 長 所       | 1. 外部応力に対して強い  | 1. 接続信頼性が高い<br>2. 実装スペースが小さい<br>3. 実装工程が少ない(工数減) |
|        | 短 所       | 1. 接続信頼性が低い<br>2. 実装スペースが大きい<br>3. 実装工程が多い(工数増)<br>4. 小サイズ, 狭ピッチの部品<br>を実装できない | 1. 従来工法と比べて, 曲げ歪み<br>特性がやや劣る.                    |

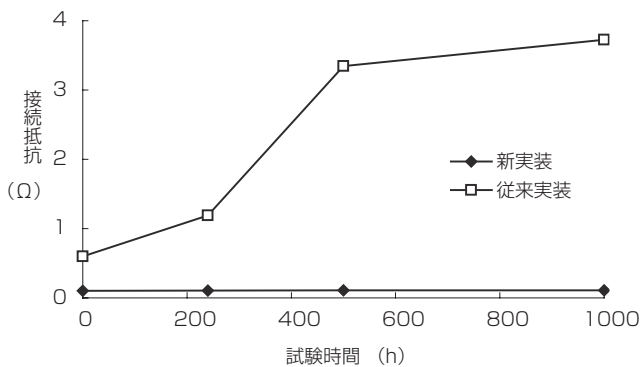


図4 高湿試験 (60 95 %RH) の接続抵抗の変化  
Fig. 4. Connection resistance in high humidity test.

以上の材料と工程, 特性に関して, 従来の実装工法と新実装工法の比較を表1に示す. 特性に関しては, 新実装工法は優れた接続性を有しているとともに従来の実装工法と同等のせん断強度を示していることがわかる. また, 図4に高湿試験 (60 95 %RH × 1000 h) における接続抵抗の変化を示す. 従来の実装工法では先に述べたとおり, 接続抵抗が増加しているが, 新実装工法では安定している. また, 目標であった実装スペースの削減についても達成できている.

### 3. 新実装の工法

#### 3.1 樹脂入り低融点はんだの塗布工程と部品の実装工程

通常, はんだの塗布についてはメタルマスクを使った

印刷方式が一般的であるが, 今回, 当社ではディスペンス方式を採用した. ディスペンス方式で塗布する場合, 塗布点ごと, もしくは製品ごとにアライメントマークによる位置補正を実施できるため, 印刷方式に比べて塗布位置の管理を簡素化できる. しかし, その一方で塗布点ごとに塗布量のばらつきが起きる可能性がある. 塗布量が少ないと, 含有する樹脂成分の量も少なくなるために部品の接着強度が低下し, 逆に塗布量が多いと, はんだ成分がランド外に押し出されてはんだボールが残留する, もしくは樹脂成分が過多になるために部品が樹脂に流されて実装位置がずれるといった問題が発生する. これらの傾向から, 正常に部品を実装するための塗布量の範囲を定めて, 厳密に管理している.

次に部品の実装であるが, この工程での重要なポイントは部品の実装位置である. ただし, 樹脂入り低融点はんだは, 通常のはんだと同様にセルフアライメント効果を有しているため, 多少の部品の位置ずれ量であれば補正することができる. そのため, 従来の実装工法よりも部品の位置の管理は容易となる.

#### 3.2 硬化工程

部品を実装した後に, はんだの溶融, また樹脂の硬化のために加熱を行う. ここでは, ピーク温度と加熱時間が重要な管理項目となる. ピーク温度としては, 低融点はんだの融点が139 であるため, はんだを溶融させるためにそれ以上の温度が必要となる. また加熱時間は, 部品の接着強度を上げることを考慮すると, 樹脂を十分に硬化させるために一定の時間が必要である.

また, この他に昇温速度についても管理しなければならない. 樹脂入り低融点はんだは, 先に述べたように低



融点のはんだとエポキシ樹脂を混合した材料である。つまり、加熱時にはんだの溶融・固化と、さらに樹脂の硬化反応が起きる。ここで、昇温速度が遅い場合、はんだの溶融温度に達する前に樹脂の硬化が進んで樹脂が固まってしまい、はんだが溶融しても固化して一体化できなくなるといった現象が起きる。このように、昇温速度ははんだの加熱後の状態に大きく影響する。

そこで、加熱時にはんだの溶融と樹脂の硬化の挙動を調査するために、樹脂入り低融点のはんだの熱分析をおこなった。図5は、樹脂入り低融点のはんだを温度25から160まで昇温速度0.5 /sで変化させた後、160で3分間保持したときのDSC曲線である。グラフの正方向は吸熱を表しており、140付近の正のピークははんだの溶融反応を示している。逆に負方向は発熱を表しており、樹脂の硬化反応を示す。ここで、負方向のピークは160付近にあることから、樹脂の硬化反応は160付近で最も顕著であると思われる。しかし、はんだの溶融を示す140付近よりも低温側をみると、100付近をピークとして少しずつ負方向に下がっている。これは、はんだの溶融よりも前に樹脂の硬化反応が始まっていることを表している。はんだの溶融よりも前に樹脂の硬化が著しく進むと、はんだが固化しないという不具合が発生してしまうため、この部分の樹脂の硬化はなるべく抑えなければならない。

次に、昇温速度を変化させて、DSC曲線を測定した。図6は、温度25から160までを昇温速度0.1, 0.5, 1.5, 3.0 /sで変化させた後、160にて3分間保持したときのDSC曲線である。ここで、昇温速度を上げていくとともに、はんだの溶融温度が高温側に移動していくが、これは昇温速度が速いとはんだの溶融反応が温度変化に追従できないため、はんだの溶融反応と温度との間にずれが生じるためである。また、はんだの溶融による吸熱の高さも昇温速度とともに大きくなっているが、これははんだの溶融時間が異なるためである。昇温速度が速いとはんだの溶融時間(吸熱している時間)が短く、ピークの吸熱量が高くなり、昇温速度が遅いとはんだの溶融時間が長く、ピークの吸熱量は低くなるが、両者でトータルの吸熱量に違いはない。

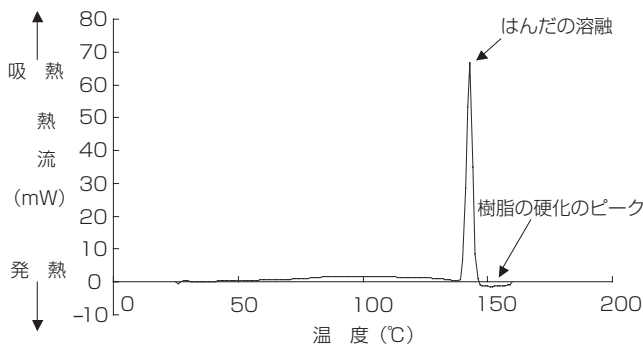


図5 樹脂入り低融点のはんだのDSC曲線  
Fig. 5. DSC graph of low melting solder with resin.

これらのデータをもとに、はんだの溶融より前の樹脂の硬化と昇温速度の関係を調査した。はんだの溶融より前の硬化反応を定量化するために、DSC曲線の面積からエンタルピーの変化量  $H$  (図7)を算出した。この  $H$  と昇温速度の関係を図8に示す。図が負の値を示しているのは、樹脂の硬化が発熱反応であり、熱量が負の値を示すためである。昇温速度が1.0 /s以下では、 $H$  が負の値となっており、樹脂の硬化が発生していることを表しているが、1.5 /s以上では0となっていることから、この領域では樹脂の硬化がほとんど起きていないと考えられる。つまり、昇温速度が1.0 /s以下では、はんだが溶融する前に樹脂が硬化してしまい、はんだが固化できない状態になる可能性があるが、1.5 /s以上に設定することで、それを防止することができる。以上の結果から、昇温速度は1.5 /s以上に設定する必要があると判断される。

また、従来の実装工法では、接続材料として長時間の加熱が必要な導電性接着剤を使用しているため、加熱工程に熱風循環型のバッチ炉を用いてきた。しかし、バッチ炉では1.5 /s以上の昇温速度が得られないため、新実装工法では、昇温速度を自由に換えられ、かつ短時間でも樹脂の硬化が可能な遠赤外線・熱風併用型のコンベア炉を採用した。このコンベア炉では、コンベア送り速度を速くすることで昇温速度を1.5 /s以上に設定でき、さらには短時間の加熱でも遠赤外線によって樹脂が十分に硬化でき、高い接着強度を得ることができる。こ

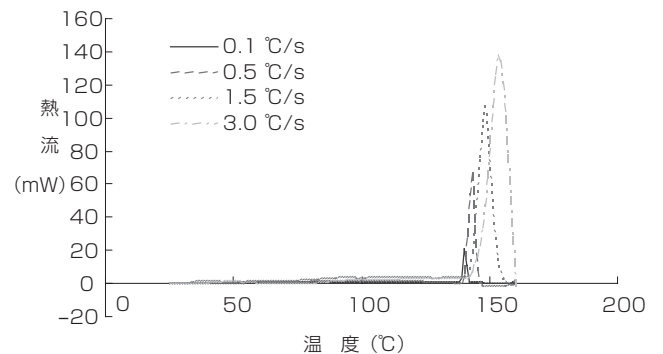


図6 昇温速度を変化させたときのDSC曲線の比較  
Fig. 6. DSC graph of four kinds of rising temperature speed.

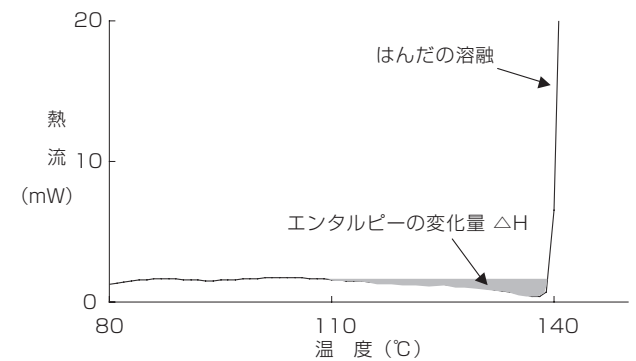


図7 はんだの溶融より前のエンタルピーの変化量(  $H$  )  
Fig. 7. Enthalpy change before melting solder.

表2 試験項目  
Table 2. Reliability test items.

| 項目       | 試験内容  | 測定項目                           |
|----------|---|--------------------------------|
| 耐熱       | +80 × 1000 h  | 1. LEDのI-V特性<br>2. せん断強度       |
| 耐寒       | -40 × 1000 h  |                                |
| 耐湿       | +65, 95%RH × 1000 h   |                                |
| ヒートショック  | -40 × 1h +80 × 1h, 200サイクル  | 1. LED箇所電圧値モニタリング<br>2. 外観チェック |
| マイグレーション | +65, 95%RH, DC 5V × 240 h   |                                |
| 打鍵       | 荷重 1 kgf, 打鍵速度 3回/s,<br>打鍵回数 1万回                                      | 1. LEDのI-V特性<br>2. せん断強度       |
| 振動       | 振動数 10 ~ 55 Hz, 振幅 1.5 mm,<br>振動数変化 1 Hz/s,<br>振動方向 X / Y / Z を各 2 時間 |                                |

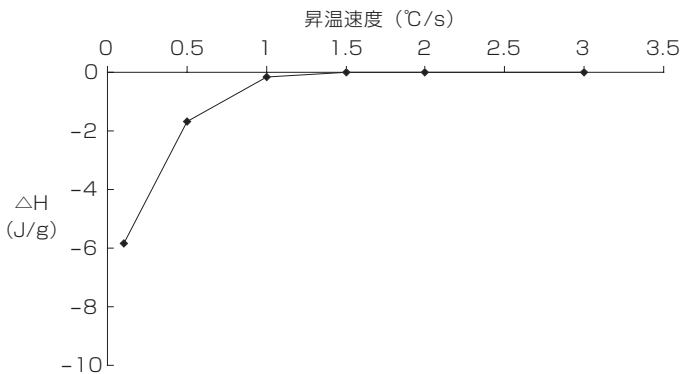


図8 昇温速度とエンタルピー変化量の関係

Fig. 8. Rising temperature speed dependence of enthalpy change.

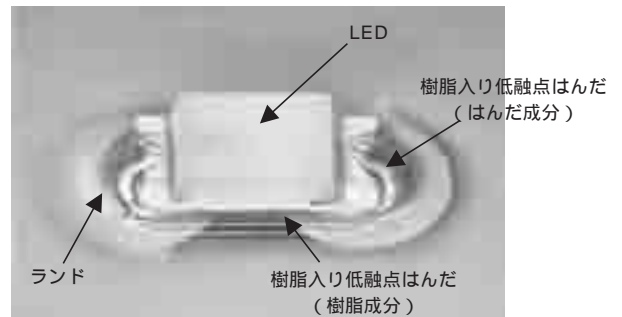


図9 LED実装サンプルの写真

Fig. 9. LED mounting sample.

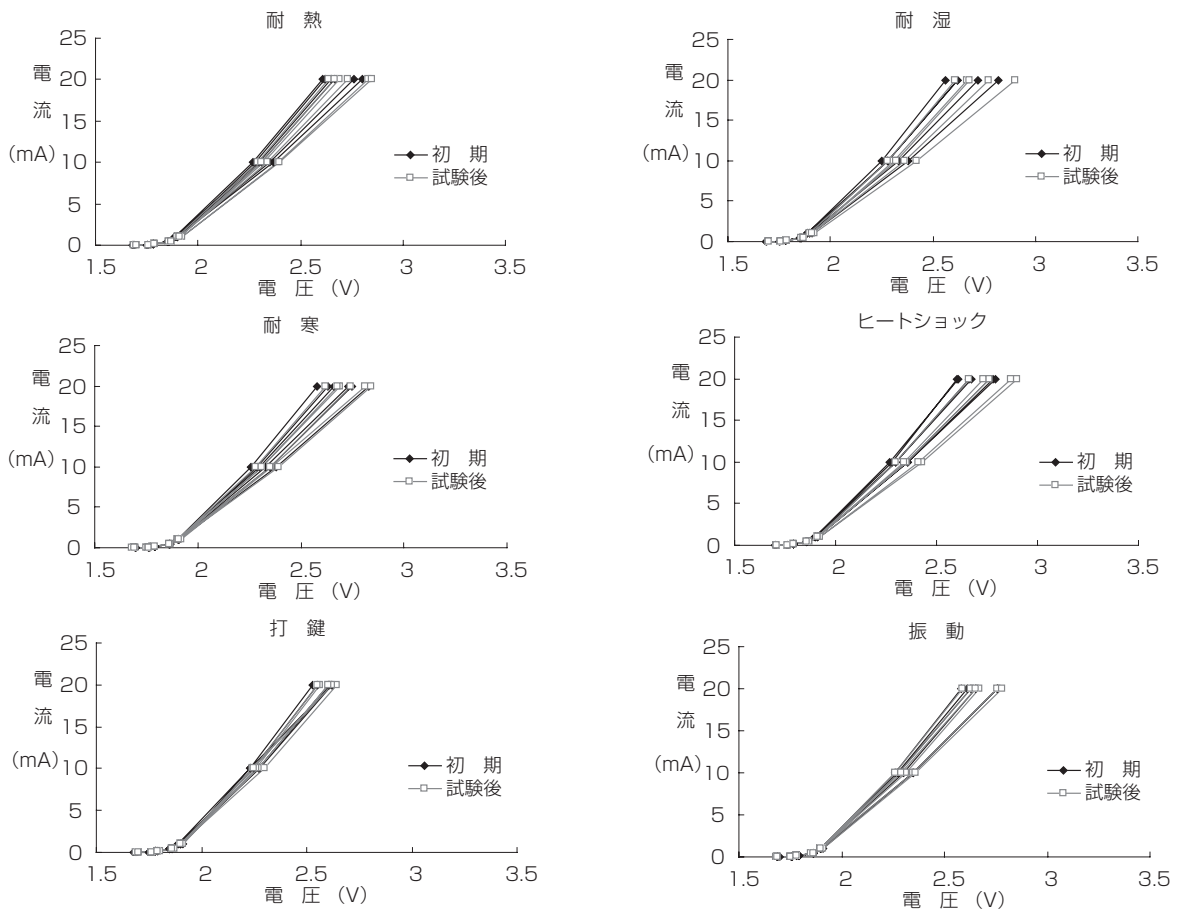


図10 I-V特性グラフの信頼性試験結果 (N数=5)

Fig. 10. Reliability test of I-V graph.

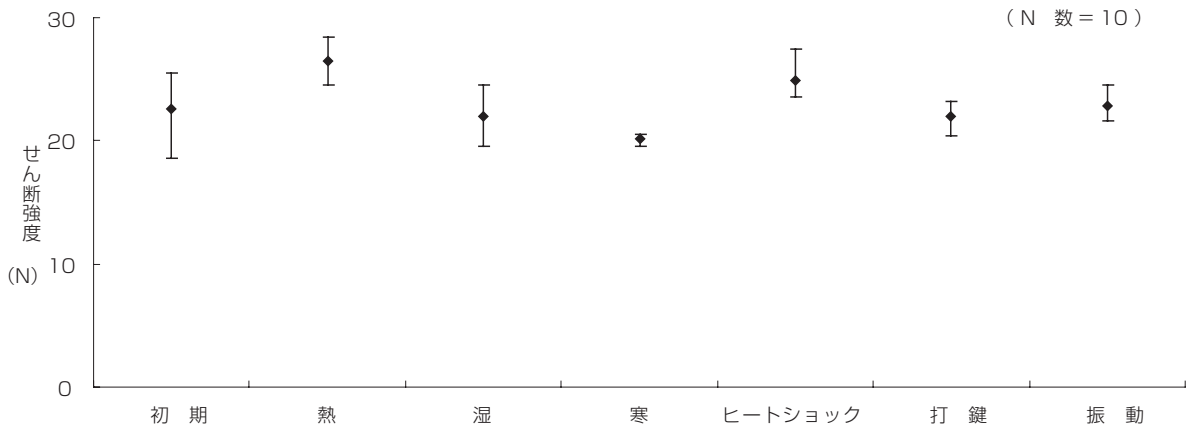


図 11 せん断強度の信頼性試験結果  
Fig. 11. Reliability test of shear strength.

れにより、パッチ炉を用いた従来の実装工法では、加熱工程に 30 分以上の時間を要していたが、コンベア炉を採用した新実装工法では約 3 分まで短縮することができた。

#### 4. 新実装の評価

以上の条件により、図 9 に示すように LED を実装したサンプルを作製し、信頼性試験を実施した。試験項目を表 2 に示す。環境試験 4 項目（耐熱，耐湿，耐寒，ヒートショック）のほかに、打鍵試験と振動試験，また LED 実装箇所のマイグレーション試験を実施した。環境試験 4 種と打鍵試験，振動試験においては、試験前後で LED の I-V 特性とせん断強度を測定した。

試験実施の初期値と試験後の LED の I-V 特性を図 10 に示す。いずれの試験においても、I-V 曲線の異常はみられない。また、図 11 は初期値と試験後の LED のせん断強度であるが、試験後の強度は初期値と同等である。さらに、マイグレーション試験では、試験中に LED にかかる電圧値を常時モニタリングし、試験後には LED 実装箇所の外観を観察して、銀イオン等の析出の有無を確認した。その結果、すべてのサンプル (N 数 = 16) においてマイグレーションの発生は確認されなかった。

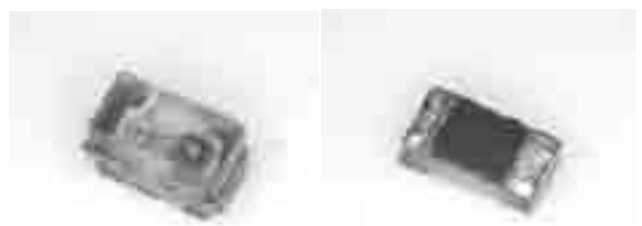
#### 5. 量産製品への適用と今後の展開

デジタル家電製品の操作スイッチ用メンブレンにおいて、1608 サイズの表面実装用 LED の実装に対して本工法を適用し、量産を開始した。また、従来の実装工法では、サイズの小さい部品や端子ピッチの狭い部品の実装が困難であったが、本技術ではランドの間隔が狭い場合においても、はんだの表面張力によってランド間で繋がることがないため、これらの部品の実装が可能になった。現在、図 12 に示すような 1005 サイズのチップ部品や、

図 13 のような端子ピッチの狭い IC チップ，さらにはコネクタなどの異形部品の実装を検討している。これらの部品を実装することが可能になることで、今まで限定されていたメンブレンの使用用途を飛躍的に拡大させることができる。

#### 6. むすび

封止樹脂を使用せずに高い接続信頼性と接着強度が得られる新実装工法を開発し、デジタル家電製品用途で量産を開始した。本技術により、部品実装の省スペース化を達成し、メンブレンの小型化を可能にした。さらには、今までは実装が困難であった小サイズの部品や端子ピッチの狭い IC チップなどを実装することが可能となり、これによって今後はさらなる FPC 代替化が期待できる。



(a) 1005 サイズの LED (b) 1005 サイズの抵抗チップ

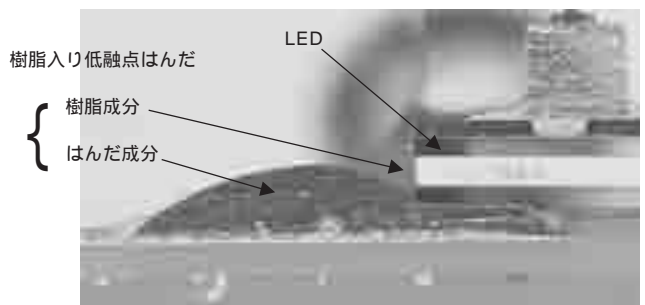
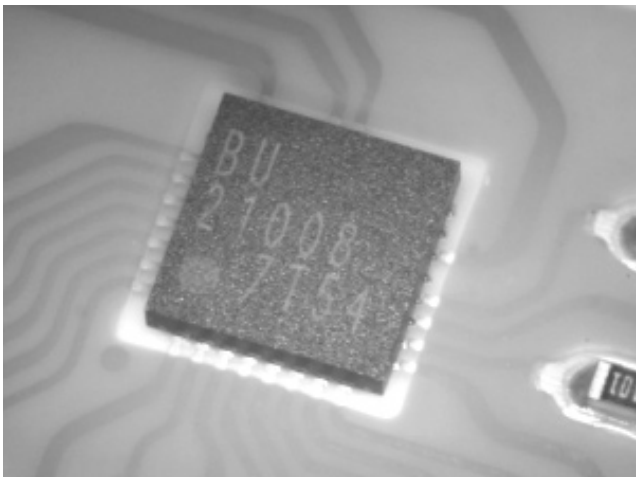
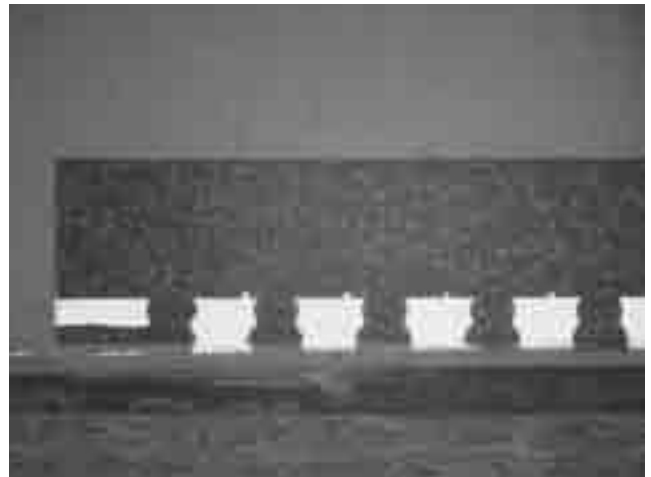


図 12 1005 サイズのチップ部品と LED 実装写真  
Fig. 12. Chip of 1005 size and LED mounting samples.



(a) ICチップの実装



(b)断面

図13 ICチップの実装写真  
Fig. 13. IC chip mounting samples.

### 参考文献

- 1) 元木ほか：実装メンブレンスイッチ，フジクラ技報，第99号，pp.39-47，2000
- 2) 菅沼：ここまできた導電性接着剤技術，工業調査会，pp.69-72，2004
- 3) 河野：鉛フリーはんだ技術動向と実用化ワールドロードマップ，電子材料，工業調査会，pp.8-14，2004年7月号別冊
- 4) 菅沼：鉛フリーはんだ 技術・材料ハンドブック，工業調査会，pp.67-76，2007