

# マイクロモジュール組立上の問題

## Some Problems of Micromodule Assembly

北川 賢 司\* 平山 俊 成\*\*  
 Kenji Kitagawa Toshinari Hirayama  
 西村 孟 郎\*\* 渡辺 寛\*\*\*  
 Takeo Nishimura Yutaka Watanabe

### 内 容 梗 概

マイクロモジュールの組立の問題を材料面および組立技術面から考察し、前者の問題例としてハンダおよびモールド用レジンをとりあげ、後者のそれとしてディップソルダ法によるハンダ付けおよび設計上の問題をとらげた。これらはいずれもブロックの内部接続方法および封止方法と密接な関係があり、マイクロモジュール製作上の基本的問題である。

### 1. 結 言

マイクロモジュールの組立に関する問題はいろいろあるが、ブロック組立の機械化、ブロックモールドに関する問題および設計に関する問題に大別できる。これらは相互に関連するものであり、回路ブロック製作の自動化とも密接な関係がある。回路ブロック製作の自動化についてはRCA社を中心として広汎に検討が進められており、解決が与えられつつある<sup>(1)</sup>。しかしわが国のように電子機器の小形化に対する要求が小さく、しかも応用範囲が多岐にわたるところでは、当面の課題は組立の自動化というよりはむしろ、その根底をなす、組立治工具、ハンダ付け作業、モールド作業などの改良による作業の能率向上、および信頼度向上、あるいはマイクロモジュールの応用面からみた組立上の問題の解決にあるといえよう。このような観点から本論文では、ハンダ、モールド用レジンおよび応用面からみた組立上の問題をとらげた。以下各項目ごとに研究結果を報告する。

### 2. ハンダに関する研究

組立に使用するハンダとしては、60Sn-40Pb合金が一般に広く使用されているが、融点が183~190°Cであるから実用的な作業温度はさらに数十度高く、マイクロモジュール用半導体など、熱に弱い小形部品の劣化が問題となる。したがって低温でできるだけ迅速にハンダ付けができ、しかも作業性がよく、ブリッジやハンダ不着点のできにくいものが望ましい。これを解決するため低融点ハンダの研究を行ない、さらにこの研究をもとにして、マイクロモジュールの組立にディップソルダリングを採用する検討を行なったが、本節ではまずハンダの研究結果についてのべる。

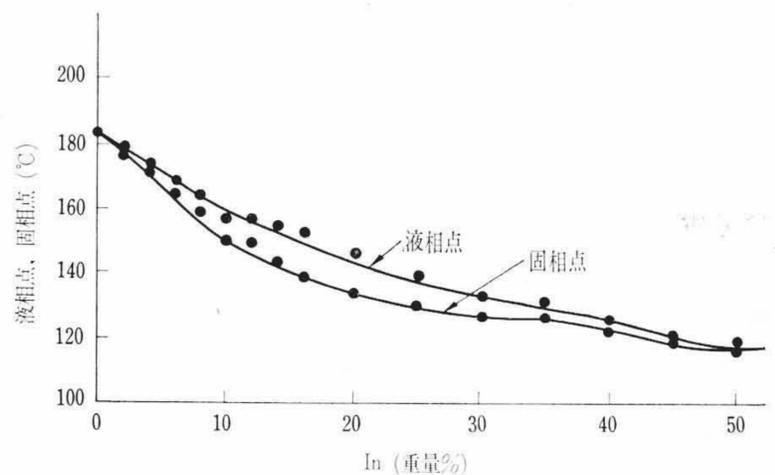
#### 2.1 添加元素の選択

従来のハンダ合金に他の元素を加えることによって融点が下がることはよく知られているが、添加元素としては融点が適当に下がること、安価に得られること、毒性のないこと、融解時の表面張力を下げて流動性を増し、ブリッジや、ハンダ不着点を生じないことなどの点から、InおよびBiを選んだ。

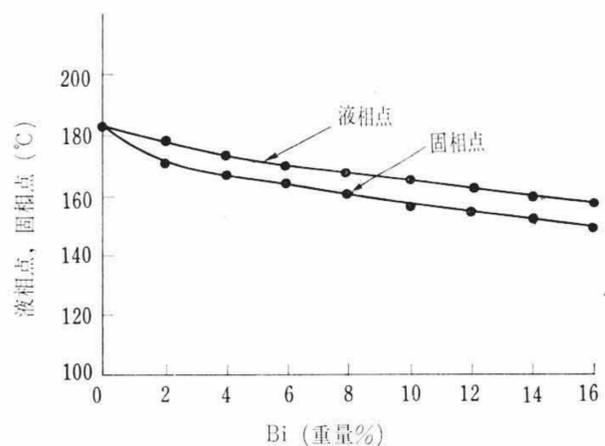
#### 2.2 実験結果

Sn-Pb-In系2元共晶合金およびSn-Pb-Bi系2元共晶合金の液相点および固相点を第1図および第2図に示す。第3図および第4図はそれぞれ引張り強さを示す。少量のBi, InはSn, Pb中に固溶して強度を増すと考えられるが、固溶限を越えると強度は低下する。

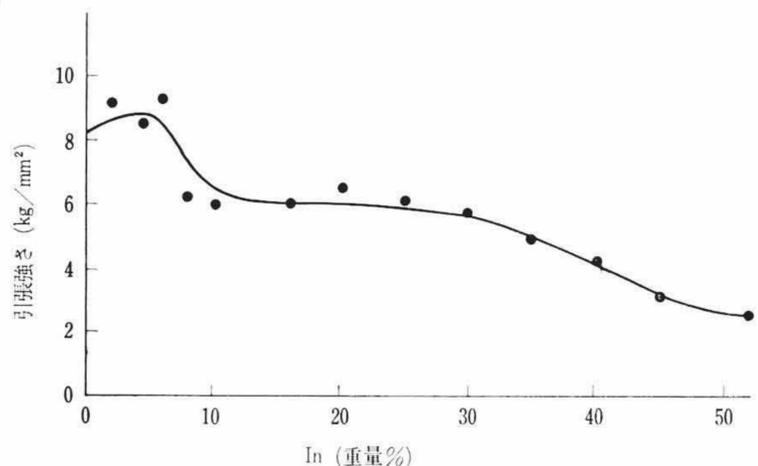
ことにInの場合が著しい。さらにハンダ合金のハンダ付け性を検討するために広がり係数<sup>(2)</sup>を測定した。測定方法は次のとおりであ



第1図 Sn-Pb-In系2元共晶合金のIn量と液相点、固相点との関係

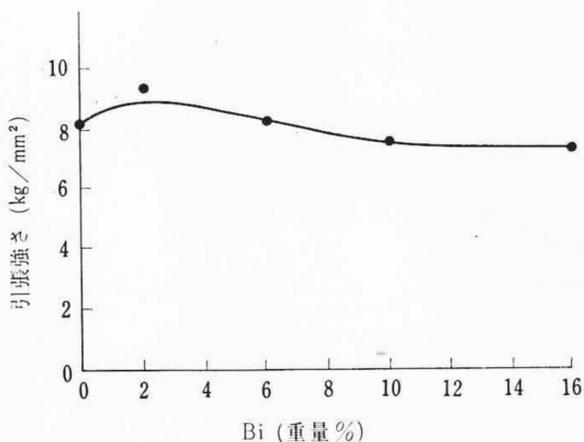


第2図 Sn-Pb-Bi系2元共晶合金のBi量と液相点、固相点との関係

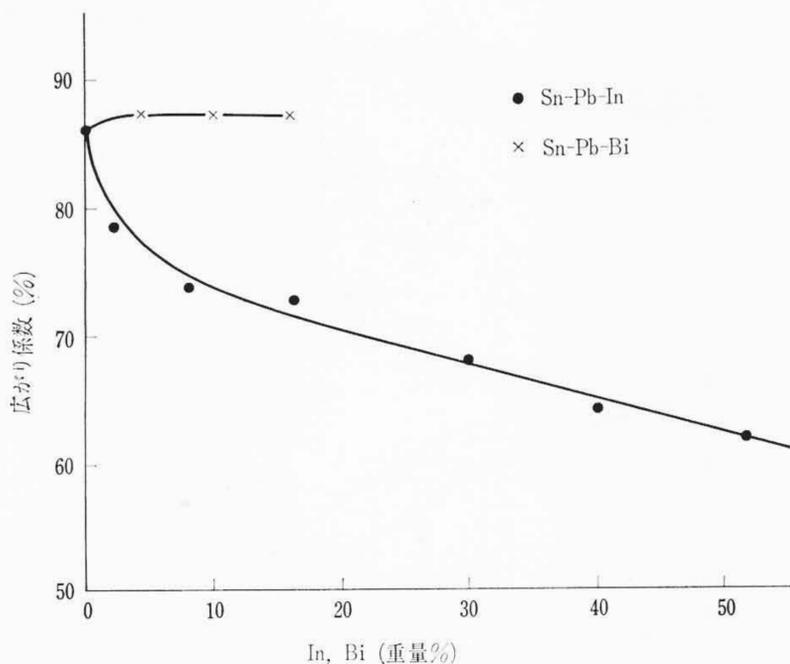


第3図 Sn-Pb-In系2元共晶合金のIn量と引張強さとの関係

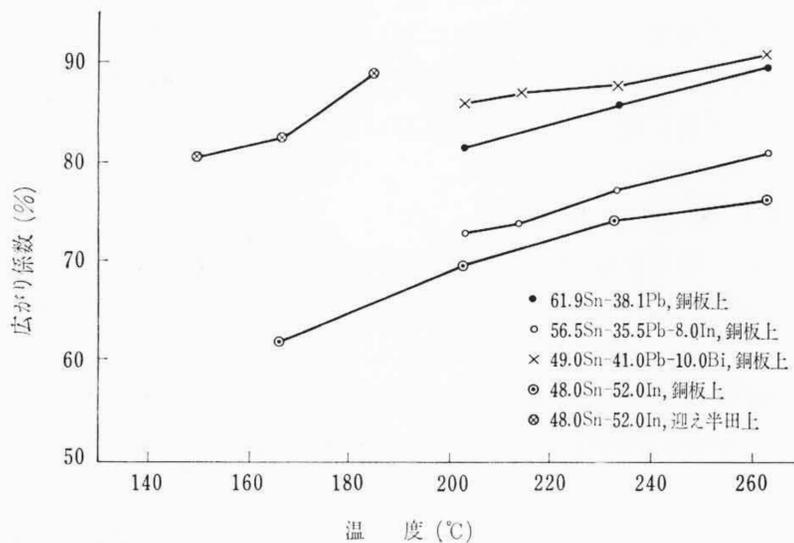
\* 日立製作所茂原工場 工博  
 \*\* 日立製作所中央研究所  
 \*\*\* 日立製作所日立研究所 理博



第4図 Sn-Pb-Bi系二元共晶合金のBi量と引張強さとの関係



第5図 Sn-Pb-In系二元共晶合金およびSn-Pb-Bi系二元共晶合金のIn, Bi量と液相点上50°Cの銅板上の広がり係数



第6図 広がり係数と温度の関係

る。銅板などの母材金属板を清浄にしてからフラックスを塗布し、その上に直径6mm、厚さ1mmのハンダ試験片をのせ、所定の温度に保ったPb-Bi共晶合金メタルバスの上に20秒間浮かし、冷却後ハンダ試料の高さを測定する。広がり係数は次式で与えられる。

$$F = \frac{D-H}{D} \times 100 \div \frac{3.78-H}{3.78} \times 100$$

ただし、 $F$ ：広がり係数(%)

$D$ ：ハンダ試料が球になると仮定したときの直径 (mm)

$H$ ：ハンダ試料の高さ (mm)

二、三の結果を第5図および第6図に示す。

### 2.3 ハンダ組成の決定

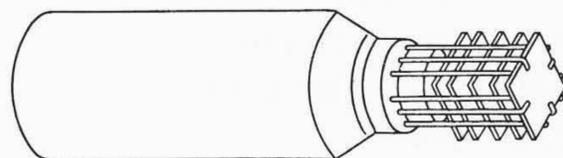
以上のことからInを含むハンダの広がり係数はInの増加とともに減少するが、Biを含む場合にはハンダの融点が低下しても通常のハンダよりも良好な広がり係数を示すことがわかる。BiはSn、Pbよりも融解時の表面張力が小さいので、Biの添加によって合金の表面張力が減少し、母材金属上をよく広がるようになるかと推定される。Inも同様に表面張力は小さいが、広がり係数は減少する。この原因としては、Sn-In系に中間相があって、これが表面張力の増加を生じさせること、およびCuとSnの接着に対して悪影響を及ぼすことなどが一応考えられる。しかし詳細なことは不明である。以上から160°C程度の融点のハンダで十分の場合には、作業性の点で従来のハンダにまさる49Sn-41Pb-10Bi合金が適当である。さらに低融点のものを必要とする場合には、作業性はやや劣るが、Sn-Pb-In二元共晶合金が適当であると考えられる。前者については、プリント基板のディップソルダーリングに使用しても好適と考えられるので、試用した結果、従来のハンダよりもすぐれていることが実証された。

### 3. ディップソルダーリングの検討

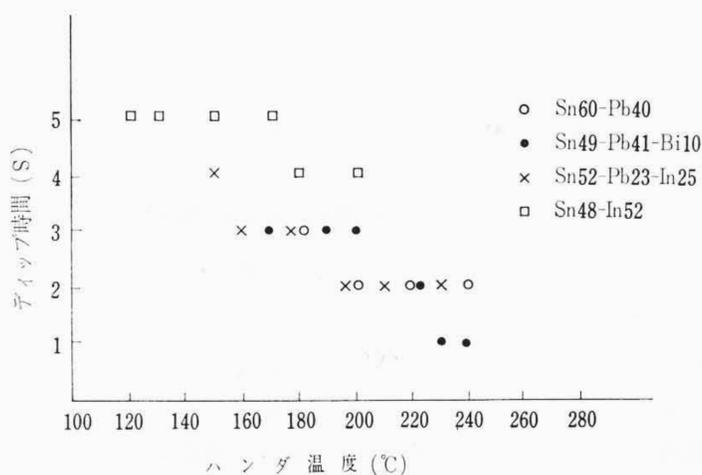
マイクロモジュールの組立にディップソルダーリングを採用する場合の問題点は、ディップソルダーリングに適したハンダとその作業条件をみつけること、その条件で高温に弱い半導体部品が劣化しないかということ、およびディップソルダーリング用の治具の開発である。ここでは前二者についてその大要を述べる。

#### 3.1 実験結果

RCA社のレポート<sup>(1)</sup>をもとにして第7図のような治具を製作し、ハンダとその最適作業条件の検討を行なった。試料として検討したハンダの諸特性を第1表に示す。作業に最適なハンダ温度は、実験的に得たものである。さらにこのようなハンダを用い、温度をかえて目視により一応最良の仕上がり状態が得られるディップ時間を求



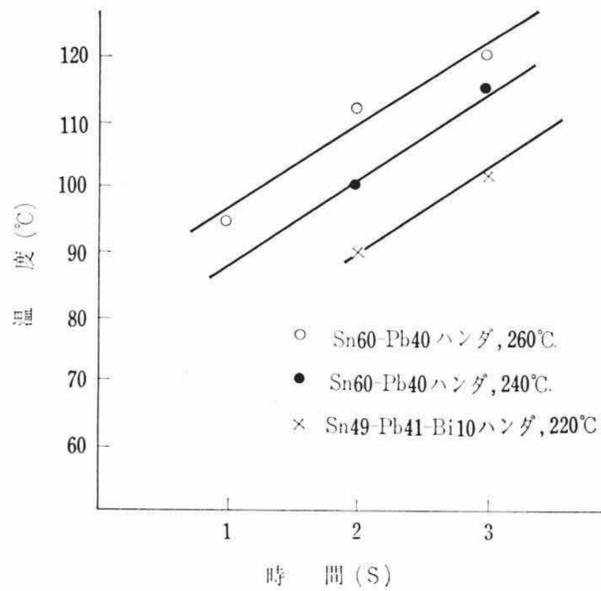
第7図 ディップソルダーリング治具



第8図 ハンダ温度と最適ディップ時間の関係

第1表 ハンダ試料の諸特性

| 試料 | 組成                | 液相点 (°C) | 固相点 (°C) | 最適ハンダ温度 (°C) |
|----|-------------------|----------|----------|--------------|
| 1  | 60 Sn-40 Pb       | 183      | 183      | 230~240      |
| 2  | 49 Sn-41 Pb-10 Bi | 164      | 156      | 205~215      |
| 3  | 52 Sn-23 Pb-25 In | 139      | 130      | 205~215      |
| 4  | 52 In-48 Sn       | 116.5    | 116.5    | 195~205      |



第9図 デイップ時間と部品の最高温度

めた結果を第8図に示す。実験に使用した4種のハンダのうち、48 Sn-52Inハンダは仕上り状態が悪く、ブリッジのできやすい傾向がある。また、52 Sn-23Pb-25Inハンダは最適ハンダ温度からのわずかな温度変化によっても、ブリッジができることがあるので使用しにくい。したがって他の60Sn-40Pb、49Sn-41Pb-10Biの2種のハンダについて検討を続けた。

### 3.2 部品の温度上昇の測定

デイップによる部品温度の上昇は、トランジスタの $I_{co}$ が温度によって変化することを利用して測定した。あらかじめ温度による $I_{co}$ の変化を校正したトランジスタをブロックに入れ、リードとレコーダに接続してデイップによる温度変化を自動記録したが、結果の一例を第9図に示す。また実験結果からデイップ完了後2秒ほど遅れて部品の温度が最高になり、あとは徐々に下がっていくことがわかった。したがってブロックの4面を連続してデイップするよりは、一面デイップすることにより冷却したほうがよい。

### 3.3 最適条件の決定

以上のことから、60Sn-40Pbハンダの場合には、ハンダ温度240°C、デイップ時間3秒、49Sn-41Pb-10Biハンダの場合には、ハンダ温度220°C、デイップ時間2~3秒が最適条件であると思われる。いずれも部品の温度は120°Cをこえることはなく、部品が劣化する心配はほとんど考えられない。

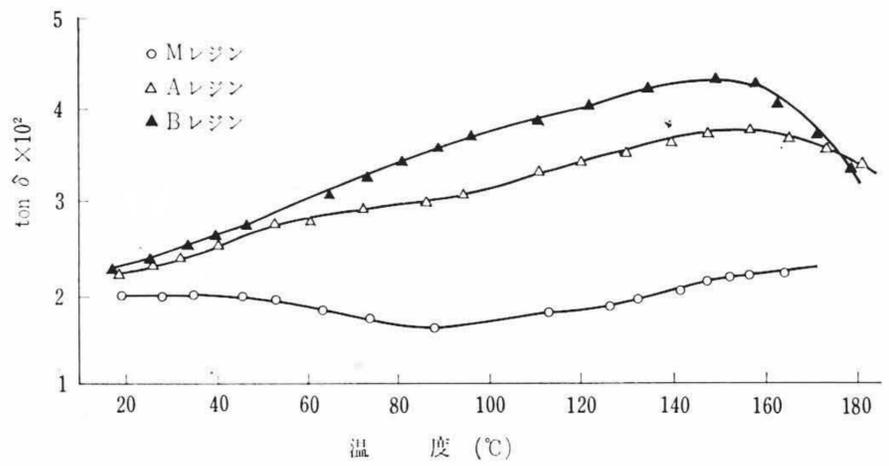
こうして、デイップソルダリングがマイクロモジュール組立に採用できる見とおしが得られた。

なおマローリー社においては、ブロックにフラックスを自動的に塗布し、常に清浄な溶融ハンダ面を作ってそこでデイップソルダリングを行なう機械を開発したことが知られている。

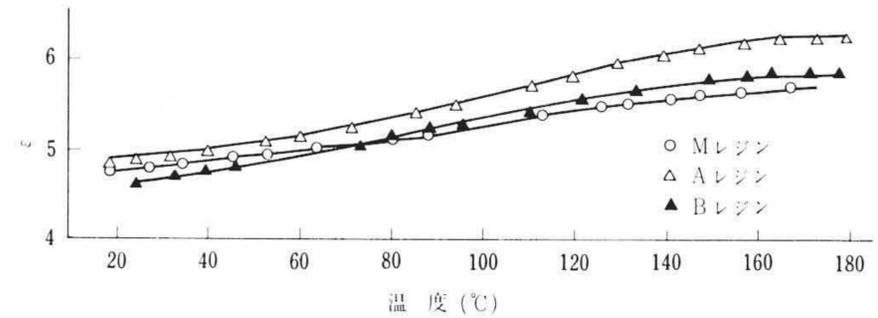
## 4. モールド用レジンの開発

マイクロモジュールブロックは湿気、塵埃(じんあい)、衝撃などから保護するためレジンでモールドする。この目的にかなうレジンは収縮率が小さく、電気的、機械的性質ならびに耐湿性などのよいものが要求される。またブロックを直接モールドすると、レジンの収縮膨張などによる応力がかかり、部品を破損したり、特性を変化させたりすることがあるので、実用的見地からモールド前にシリコーンレジンなどによるバッファコーティング処理を行なう。このバッファ材には、上述の部品に及ぼすレジンの応力緩和作用のほかに、レジンと部品間の化学的な相互作用(たとえば電食)の防止も期待できる。

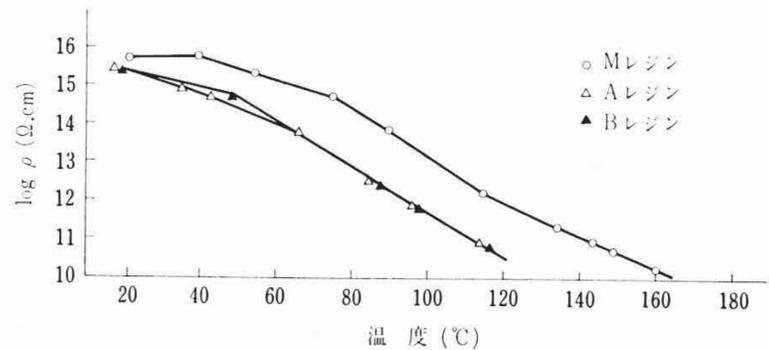
モールド用レジンとしては前述の要求性能の点からエポキシレジンが適当であり、アミン硬化のエポキシレジン(たとえばStycast 2651系レジン)が広く使用されている<sup>(3)</sup>。しかしこの種のレジン



第10図 レジンの誘電正接～温度特性



第11図 レジンの誘電率～温度特性



第12図 レジンの体積固有抵抗～温度特性

吸湿時の電気特性が必ずしも十分でなく、またレジンの可使用時間が短いなどの欠点がある。これに対しわれわれは耐湿性、作業性、電気的特性、機械的性質などのよりすぐれたレジンを開発し、これをモールド材に使用した。このレジン(以下Mレジンと略記する)の特性について述べる。

### 4.1 電気的性質

#### (a) 誘電正接(tan δ)および誘電率(ε)の温度特性

試験片はレジンを所定の硬化条件で厚さ2mmの板に成形したのち50mmφの円板状に加工したものをを用いた。測定は20~180°Cの各点で、安藤電気製TR-IB形広帯域誘電体損測定器により、10<sup>6</sup>c/sで行なった。測定結果を第10図および第11図に示す。

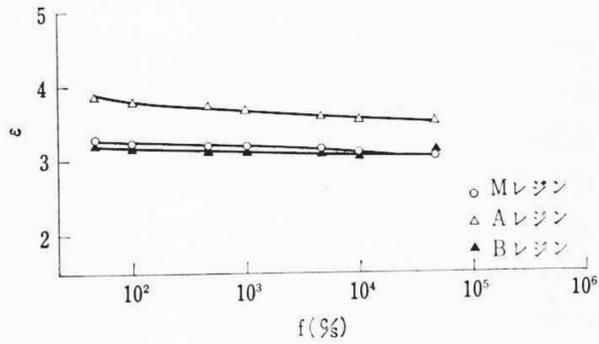
#### (b) 体積固有抵抗(ρ)の温度特性

前記と同様に成形した試験片を使用し、試料を室温側から順次所定温度に昇温させ、JISC-2103の方法に準じ、タケダ理研製MM-V-IM形マイクロアンメータを用い、直流100V印加時の1分間充電後の値を測定した。測定結果を第12図に示す。

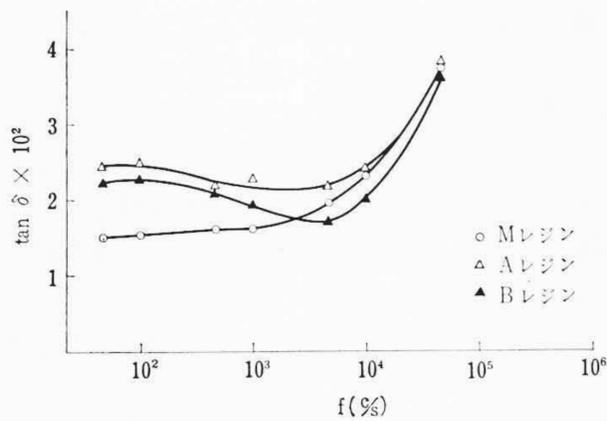
電子部品モールド用市販エポキシレジン(AおよびBレジンと記す)の特性を図中に併記した。これらを比較すると、Mレジンは全温度領域において誘電正接、誘電率が小さくまた安定しており、体積固有抵抗値も約70°Cまで10<sup>14</sup>Ωcm以上を示し、AおよびBレジンよりもすぐれている。

#### (c) 誘電正接および誘電率の周波数特性

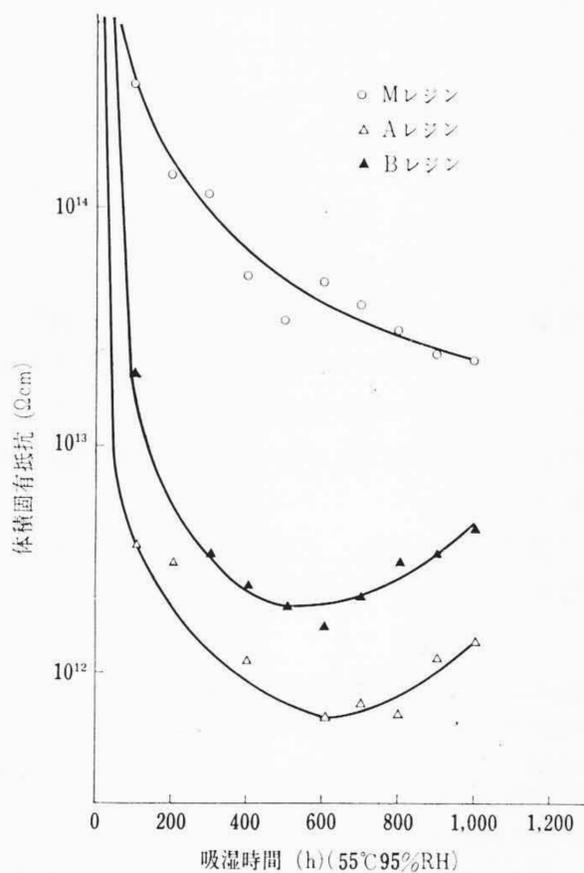
縦、横、厚さを45×45×1mmに成形した板を試験片として用いた。測定は60~10<sup>5</sup>c/sの領域で、横河電気製QM-102A形Qメータを使用して行なった。測定結果を第13図および第14図に示す。この周波数領域ではM、A、Bレジンの大差はないと



第13図 レジンの誘電率～周波数特性



第14図 レジンの誘電正接～周波数特性



第15図 吸湿時の体積固有抵抗変化

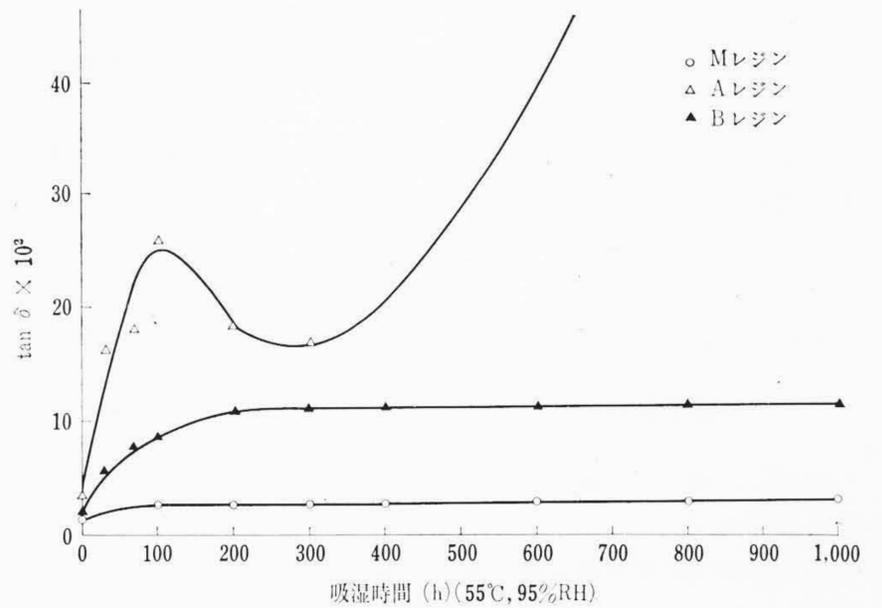
考えられる。

(d) 吸湿時の誘電正接および体積固有抵抗

試験片には 70×70×1 mm の成形板を使用した。吸湿処理は 55°C, 95%RH ふん囲気中(恒温恒湿槽)で1,000時間まで行なった。tan δ (10<sup>6</sup> c/s) は前記のQメータを、抵抗値は東亜電波製 PM-18 形マイクロアンメータをそれぞれ使用して測定した。第15図および第16図に測定結果を示す。

別に 55°C または 85°C, 95%RH, 1,000 時間吸湿処理したレジンの重量増加率を測定し、第2表に示す結果を得た。

図から明らかなように、Mレジンは吸湿に伴う tan δ, ρ の特性低下は最も小さい。また吸湿増加率は M < B < A レジンの順で、Mレジンが最も小さく、重量増加の小さいレジンが、tan δ および ρ の特性低下も小さいことが明らかである。



第16図 吸湿時の誘電正接変化

第2表 レジンの吸湿重量増加率 (%) (1,000時間)

|      | 55°C, 95%RH | 85°C, 95%RH | 室内放置 |
|------|-------------|-------------|------|
| Mレジン | 1.0         | 1.5         | 0.1  |
| Aレジン | 3.0         | 4.5         | 0.4  |
| Bレジン | 1.7         | 1.8         | 0.1  |

第3表 レジンの水蒸気透過率 (k)

|      | k × 10 <sup>7</sup> (g/cm <sup>2</sup> ·h) |
|------|--|
| Mレジン | 2.7  |
| Aレジン | 7.0  |
| Bレジン | 3.6  |

第4表 レジンの機械的および熱的性質

|                                    | Mレジン                   | Aレジン                   | Bレジン                   |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 引張り強さ (kg/cm <sup>2</sup> )        | 400                    | 270                    | 400                    |
| 伸び (%)                             | 2                      | 10                     | 7                      |
| 曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )         | 910                    | 500                    | 280                    |
| 曲げ弾性率 (kg/cm <sup>2</sup> )        | 4.7 × 10 <sup>4</sup>  | 2.9 × 10 <sup>4</sup>  | 0.8 × 10 <sup>4</sup>  |
| HDT (°C)                           | 95                     | 78                     | 74                     |
| 比重 (d <sub>4</sub> <sup>25</sup> ) | 1.636                  | 1.593                  | 1.496                  |
| 収縮率 (%)                            | 3                      | 3                      | 3                      |
| 体膨張係数                              | 1.5 × 10 <sup>-4</sup> | 1.5 × 10 <sup>-4</sup> | 2.2 × 10 <sup>-4</sup> |
| 粘度 (ポイズ) 40°C                      | 50                     | 95                     | 100                    |

#### 4.2 水蒸気透過率 (k)

ブロックを構成する部品はいずれも湿気により特性変化を起こしやすいので、これをモールドするレジンは水蒸気透過率が小さいほど好ましい。水蒸気透過率は、JIS Z-0208の方法に準じ、有効径 60mm の透湿カップを使用し、カップ内に水を入れ、約 0.2 mm 厚さの試料膜を装てんし、40°C の恒温槽 (槽内の相対湿度: 0%) に放置し、一定時間ごとに秤量し、重量減少速度が一定となったときのこう配から次に従って計算した。

$$k = \frac{m \cdot t}{\theta \cdot A} \quad (\text{g/cm}^2 \cdot \text{h})$$

ただし、m: 透湿量 (g), t: 膜の厚さ (cm),  
θ: 時間 (h), A: 有効面積 (cm<sup>2</sup>)

測定結果を第3表に示す。MレジンはA, Bレジンに比べ、水蒸気透過率が最も小さい。

#### 4.3 機械的性質

引張り強さおよび伸びはテンシロン万能形引張り試験機を使用しツカミ間隔 70mm, 引張り速度 0.5 mm/min で、JIS K6301 3号形ダンベル状試験片を用いて測定した。また曲げ強さおよび曲げ弾性率は同じ試験機により、10×13×140 mm の角棒状試験片を用い、支点間隔 80 mm, 曲げ速度 1 mm/min の条件で測定した。70°C における測定値を第4表に示す。

引張り強さ、曲げ強さ、曲げ弾性率ともMレジンは大きく、伸びはA, Bレジンに比しかなり小さい。

#### 4.4 熱的性質

熱変形温度 (Heat Distortion Temperature, HDT と略記する)は

ASTM D-648(a)の方法に準じ、上島製作所製4架ヒートデストーションテスタを用いて測定した。試験片には前述の曲げ強さ測定用のものと同様な形状のものを用いた。

収縮率および体膨張係数はそれぞれピクノメータを使用して求めた比重の測定値から次の式に従って計算した。

$$\text{収縮率 } S(\%) = \frac{d_p - d_m}{d_m} \times 100$$

ただし、 $d_p$ : 硬化物の比重、 $d_m$ : 硬化前のレジンの比重

$$\text{体膨張係数 } \alpha = \frac{1}{d_2} \cdot \frac{d_1 - d_2}{t_2 - t_1}$$

ただし、硬化物の温度  $t_1$  および  $t_2$  における比重をそれぞれ  $d_1$  および  $d_2$  とする

これらの測定結果を第4表に示す。MレジンはA、BレジンのHDTは約20°C高い。収縮率、体膨張係数はほぼ同等である。

#### 4.5 作業性

Mレジンの粘度は第4表中に示したようにA、Bレジンのよりもかなり低く、取り扱いが容易である。また100°C以下の温度、5~10時間の硬化条件で、上述の諸性質をそなえた硬化物がえられるので、マイクロモジュールのような小形電子部品のモールド用レジンとしてすぐれている。

以上の結果からわれわれの開発したMレジンは市販の電子部品モールド用エポキシレジンに比べ、特に耐湿性がすぐれ、また作業性もよいので、過酷な条件でも十分ブロック保護に有効であり、また量産用にも適したものであるといえる。

### 5. 回路のマイクロモジュール化における問題

回路のマイクロモジュール化の問題はいろいろあるが、以下、組立に関係深い設計上の注意を主体にして述べる。

#### 5.1 熱に関する考慮

1個のブロックに許容される熱損失は0.5Wぐらいまでである。ブロック内の部品配列は発熱を考慮して、発熱量の大きい部品をブロックのシャン側に近づけ、温度変化をきらうインダクタや、温度補償用のコンデンサなどを反対側に配置する。この間に比較的溫度変化の影響をうけにくいバイパス用のコンデンサなどをおくことは、熱シールドとして効果がある。特に、発熱量の大きい部品には、放熱用のリード線を接続する。マイクロモジュールにおける放熱は、リード線を通してシャンへ逃げる道が最も有効であるので、放熱用のリード線を追加してシャンに接続することが有効である。

#### 5.2 漂遊容量の問題

マイクロモジュールにおいては部品が密集しているうえに、樹脂でモールドしてあるので、漂遊容量の増加が回路の特性に与える影

響はきわめて大きい。リードインダクタンスに関しては、リードが短いので一般の回路では無視できる。低周波増幅のように漂遊容量の増加が特性に影響を与えない回路は別として、映像増幅器のような回路では容量の増加が最小となるように部品の配置および端子位置を考えなければならない。交番的に電位の変わるリードの隣には、アース電位のリードをおかないような考慮が必要である。高周波増幅器においては、入力、出力間の静電結合による動作の不安定に注意しなければならないが、入力、出力リードの不用な部分を切断するとか、入力、出力用の部品の間バイパス用のコンデンサを配置してシールドするなどの配慮が必要である。またモールドによって同調回路の同調周波数がずれるから、それを見込んでインダクタや、コンデンサの定数をきめなければならない。特に小容量のコンデンサは、隣接端子にひき出すと、組立、モールドによって容量が増加するからできるだけ遠い位置にひき出さなければならない。

個々のブロックは正常に動作しても、機器全体としてまとめた場合に異常がないかということは最も注意しなければならないことである。特に中間周波増幅器の場合には多段接続を行なうから発振の危険性があり、あらかじめ十分検討しておく必要がある<sup>(4)</sup>。

### 6. 結 言

本論文においてはマイクロモジュールの組立の問題を材料面および組立技術面から眺め、前者の問題例としてハンダおよびモールド用レジンをとりあげ、後者のそれとしてハンダ付け、およびブロックの設計をとりあげたが、これらはいずれも現行マイクロモジュールの製作方法に関するものである。後の論文で詳述するように、現行のハンダ付けとレジンモールドを主としたマイクロモジュールの製作方法は必ずしも最良の方法ではなくいくつかの欠点がある。このためたとえばハンダ付けの代わりに溶接を用いるとか、モールドの代わりに金属ケースに密封するとかなどの新しい製作方式も試みられている。このようにマイクロモジュールの製作方法が変わってくると、それにともなって組立の問題も変わってくるが、今後ともにブロックの内部接続方法および封止方法が組立の基本的問題になってゆくであろう。

終わりにご指導を賜った、日立製作所中央研究所 関口部長および日立製作所日立研究所 中牟田部長に感謝の意を表す。

### 参 考 文 献

- (1) Proceedings Micro-Module Industry Conference PB. No. AD-402716 (Sept. 1962)
- (2) L. Pessel: Symposium on Solder, (1957, ASTM), 159
- (3) M. C. Volk et al: Electrical Encapsulation 155 (1962, Reinhold Pub. Corp.)
- (4) 河合, 関口: 電気通信学会全国大会 S6-3 (昭38-11)