液晶ディスプレイ実装技術の開発 (第1報)*

—異方性導電膜の信頼性—

玉井 光一** 吉福 智充*** 久保田 裕子***

Development of Liquid Crystal Display Mounting Technology (1st Report)
- Reliability of Anisotropic Conductive Film -

Koichi TAMAI, Tomomitsu YOSHIFUKU and Yuko KUBOTA

A high-density mounting technology for a liquid crystal drive IC and for liquid crystal substrate has been developed to achieve high-definition liquid crystal displays. The material to join the liquid crystal drive IC and liquid crystal substrate is an anisotropic conductive film (ACF). Conventional ACFs use thermoplastic resins. The new ACF uses a thermosetting resin and has greatly improved junction reliability. The melt viscosity of the thermosetting resin is low when it is heated or pressure-joined. This facilitates intrusion of an adhesive onto the joining surface and achieves a high junction strength. The thermal expansion coefficient of the thermosetting resin is low and the thermosetting resin can be processed at the same temperature as that for conductive particles and has become a junction material with a high degree of freedom against temperature variations.

The technology development reduces junction defects between the liquid crystal drive IC and liquid crystal substrate below 100ppm. At the same time, the technology allows mounting of a liquid crystal drive IC of junction pitch below $100\mu\text{m}$.

Key words: Liquid Crystal Displays, Anisotropic Conductive Film, Thermoplastic resin, Thermosetting resin

1. 結 言

電子部品・半導体部品の小型化・高密度化が進む中、それらを基板に接続する技術も重要な位置付けを持ち、その開発を行ってきた。液晶ディスプレイの高精細化の進展は著しく、液晶駆動 IC の小型化・高密度化と並行して接続部材である異方性導電膜¹⁾ (ACF: Anisotropic Conductive Film) も改良を積極的に行ってきた。

液晶ディスプレイに対して、パソコン・携帯電話それから CRT 代替のモニター向けと高精細化の要求が加速している。液晶ディスプレイを高精細化するためには、液晶基板の画素数を増やすことと液晶駆動 IC の小型化・高密度化が必要となる。図 1 に液晶ディスプレイの高精細化に合わせて小型化・高密度化した液晶駆動 IC の変遷を示す。1988 年当時、液晶駆動 IC の接続ピッチは $230\mu\text{m}$ で、1999 年には $50\mu\text{m}$ まで高密度化している。この高密度化は $35\mu\text{m}$ まで行き、その後は液晶駆動 IC に相当するものを全て液晶基板上の回路パターンに埋め込んだ COA (Chip on Array) 方式が主流となると考える。

Fig. 1 Trends towards Miniaturization and High Integration in LC Drive ICs

図 1 に示した液晶駆動 IC は、電気的配線を施したフレキシブルテープの上に半導体を実装したもので、一般にこの名称を TCP²⁾ (Tape Carrier Package), その組立方式を TAB³⁾ 方式 (Tape Automated Bonding) と呼称した。

液晶基板への TCP の接続は、その間に ACF を介して行う。ACF は厚さ $15\sim 25\mu\text{m}$ の接着剤層中に粒径 $5\sim 10\mu\text{m}$ の導電性粒子を均一な分布で混入させたものである。TCP~ACF~液晶基板を加熱・加圧することにより、上下間に導電性粒子を介して電気的接続を得る。一方、水平方向には接着剤層によって絶縁性が保たれる。図 2 に液晶基板に TCP を接続する ACF の接続原理を、図 3 にその接続部の SEM 写真を示す。

Fig. 2 ACF Connection Theory

Fig. 3 Cross Sectional SEM Photograph of ACF Connection

2. 開 発 意 義

ACF を使用した液晶ディスプレイ実装技術の課題は、高精細化対応における接続信頼性の向上である。ACF の開発当初は、その接続の最小ピッチは $100\mu\text{m}$ が限界と言われていたが、現時点は $50\mu\text{m}$ まで到達している。しかし、接続信頼性の面では、液晶基板と TCP の接続不良により液晶ディスプレイの線が消失する線欠陥不良が発生しており、改善の必要性があった。

本開発の意義は、液晶ディスプレイの高精細化を実現すると

* 原稿受付 平成 14 年 2 月 25 日

** 正 会 員 ㈱東芝 生産技術センター (横浜市磯子区新磯子町 33)

*** ㈱東芝 ディスプレイ・部品材料社 (深谷市幡羅 1-9-2)

同時に、高密度化した TCP と液晶基板の接続信頼性を向上させることにある。これらを実現する上で ACF は重要な要素部品の位置付けとなる。

ACF は、電気的導通を可能とする導電性粒子と TCP と液晶基板を固着する接合部材で構成されている。温湿度変化や経時変化に対する接続強度の安定性は、接続信頼性の確保のために必須であり、この実現には接合部材への依存度が大きい。また、高精細化の実現には導電性粒子への依存度が大きく、材質、粒子密度、接続面積を慎重に決定する必要がある。

本論文は、接合部材を熱可塑性樹脂から熱硬化性樹脂に変えることにより、接続信頼性がどのように変化するかを実験した内容と、導電性粒子の材質、粒子密度、接続面積の適正化による高密度実装条件の抽出について述べる。

3. 開発内容

図4に ACF の接合部材と導電性粒子の変遷と年度ごとの接続可能なピッチ⁴⁾を示す。ACF の開発は、樹脂メーカーと液晶製造メーカーが協力し、高精細化対応と接続信頼性の向上を行ってきた。

導電性粒子は、従来の金属粒子に変わり弾性を有する樹脂粒子⁵⁾を採用した。導電性粒子が弾性を有することで電極間の接触面積が増加し低抵抗になることと、温度変化に対して接触点が追従できるため接続信頼性が高いと判断した。樹脂粒子は絶縁性のため、その周りに Ni-Au メッキを施した。図5に TCP を液晶基板に ACF を介して加熱・加圧した際の樹脂粒子の形状変化を示す。接続厚みが薄くなると導電性粒子の接触面積が増加していることが分る。この際の樹脂粒子の粒径は $10\mu\text{m}$ である。

ACF の接合部材は、熱可塑性樹脂で SBS (スチレン-ブタジエンスチレン) を主成分とするものであった。当初、接合部材を熱可塑性樹脂にした理由は、TCP のリペアの容易さにあった。リペアの容易さとは、液晶ディスプレイに複数枚の TCP を実装した後、不良の TCP があった場合、その TCP のみを交換する容易性を意味する。しかし、熱可塑性樹脂は他の近接部品との線膨張係数の差、吸湿性、接着強度、経時変化などの点で問題があり、接合部品としての信頼性に欠けるものがあつた。解決策として、熱可塑性樹脂のリペア性ほかの特長を生かしながら、接合信頼性が向上する熱硬化性樹脂の開発を樹脂メーカーが行った。

Fig.4 History of ACF Development

Fig.5 Changes in Shape of Modified Conductive Particles through Change in Junction Thickness

4. 接合部材の開発と信頼性評価

4.1 接続の信頼性

ACF の接合部材に必要な要件は、加熱・加圧接続時に熔融粘度が低く、導電性粒子の存在する電極間に接着剤が入りやすいことである。さらに、線膨張係数が低く、導電性粒子とほぼ同一で、導電性粒子と電極との接触が過酷な環境下でも確実に保持されることが必要である。

接続の信頼性は、電極の性質や電極の支持基板の種類や形状、接続時の作業条件、実装構造などに依存する。

信頼性の高い接続を得るには、導電性粒子と電極との接触面積を増加する必要がある。さらに得られた接触面積を熱衝撃試験や高温・高湿保存試験などの過酷な条件下でも安定して保持することが重要である。

4.2 信頼性試験

ACF の接合部材の信頼性を評価するために、TCP に相当する評価テープキャリアと液晶基板に相当する評価ガラス基板を製作した。図6に評価ガラス基板と評価テープキャリアの内容とその2つを接続した状態を示す。

評価ガラス基板は、1.1mm 厚のガラス基板に Cr-Al パターンを蒸着し、エッチング加工により配線を設けたものである。評価テープキャリアと同等のピッチにしてある。

評価テープキャリアは、カプトンフィルムに $75\mu\text{m}$ の銅箔を接着したものをエッチングし、リード形成した後、Sn メッキを施したものである。評価テープキャリアの一端は、ACF を介して評価ガラス基板に接続するリードを有し、もう一端は接続抵抗値が測定できるように、点検パッドを有している。

Fig.6 Condition with Evaluation Tape Carrier Heated and Pressurized onto Evaluation Glass Substrate through ACF

接続部の保護を行うシリコーン樹脂は、塗布後に室温で24時間放置し固定した。接続部の補強を行うUV硬化樹脂は、 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 以上で18秒UV照射し固着した。

4.3 評価方法

ACFの接合部材の材質は、熱可塑性樹脂としてSBSを、熱硬化性樹脂としてエポキシを主成分とするものを使用した。

熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂のACFを用いた評価テープキャリアと評価ガラス基板の接合条件を表1に示す。

Table 1 Junction Conditions between Evaluation Tape Carrier and Evaluation Glass Substrate

Junction Conditions Material	Temporary ACF Pressure Adhesion on Evaluation Glass Substrate			Main Pressure Adhesion of Evaluation Tape Carrier on Glass Substrate		
	°C	MPa	Seconds	°C	MPa	Seconds
Thermoplastic Resin	100	0.98	10	170	3.92	30
Thermosetting Resin	100	0.98	10	180	0.98	30

表1の接合条件で、信頼性試験にかけるサンプルを熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂でそれぞれ5個製作した。

信頼性試験は、信頼性試験の基本となる高温高湿保存試験を一次評価とした。高温高湿保存試験は、 $40^\circ\text{C} \cdot \text{RH}90\sim95\%$ の環境で初期・250h・500h・750h・1000hおきに抵抗値を測定した。

抵抗値は、図6で示した評価ガラス基板上のパターンが、2本ずつショートしたものを、評価テープキャリア上の点検パッドを使用して接続抵抗値を測定した（No1&No2/No3&No4…No125&No126の63箇所）。絶縁抵抗値は、評価ガラス基板上のパターンが、ショートしていない隣接の点検パッドを絶縁測定値で測定した（No2&No3/No4&No5…No124&No125の62箇所）。

図7に熱可塑性樹脂の高温高湿保存試験結果を図8に熱硬化性樹脂の高温高湿保存試験結果を示す。

Fig. 7 Results of High-Temperature and High-Humidity Shelf Test of Thermoplastic Resin

Fig. 8 Results of High-Temperature and High-Humidity Shelf Test of Thermosetting Resin

高温高湿保存試験結果から、熱硬化性樹脂のACFの方が熱可塑性樹脂のそれよりも各経過時間で抵抗値のばらつきは小さく、絶対値も低いことが判明した。

絶縁抵抗は、その値が $1000\text{M}\Omega$ 以下を良品規格とした。熱可塑性樹脂は、750hで2/5が規格外、1000h経過で3/5が規格外であった。熱硬化性樹脂は、5/5全てが規格内であった。

これらにより、熱硬化性樹脂のACFは接続部材として一次評価を満足したため、さらに過酷な他の信頼性試験を行った。先

の実験同様に熱硬化性樹脂のサンプルを5個ずつ製作し、以下の信頼性試験を実施した。なお、評価ガラス基板の配線パターンは、実際の液晶ディスプレイと同等のITO (Indium Tin Oxide) 膜とした。追加の信頼性試験4件の内容を表2（図9～図12）に示す。

Table 2 Reliability Test Items

Item	Conditions	Explanatory Figure
1. High-temperature High-humidity Shelf Test	80°C , RH 95% for 1000 h	— Fig. 9
2. High-humidity Shelf Life	100°C for 1000 h	— Fig. 10
3. Low-humidity Shelf Life	-40°C for 1000 h	— Fig. 11
4. Heat Shock	-40°C for 30 min. $\Leftrightarrow 100^\circ$ for 30 min.	— Fig. 12

Fig. 9 Results of High-Temperature and High-Humidity Shelf Test

Fig. 10 Results of Shelf Life at High Temperature

Fig. 11 Results of Shelf Life at Low Temperature

Fig. 12 Results of Heat Shock Test

4.4 評価結果

各サンプル間で、接続抵抗値にばらつきが発生した要因は、評価テープキャリアと評価ガラス基板の貼り合せ精度に起因する。

使用したITO膜の全抵抗値は 750Ω であり、長さ 0.1mm 当り $18\sim20\Omega$ であった。また、評価テープキャリアと評価ガラス基板の貼り合せ精度は長さ方向で $0.5\sim1.0\text{mm}$ のばらつきがある。よって $100\sim200\Omega$ の差が生じ、しかもこのサンプルは電極2本分の抵抗値が加わるため、実質 $200\sim400\Omega$ のばらつきが発生する。これが接続抵抗値のばらつきが発生した要因である。

評価結果として高温高湿試験・高温保存試験・低温保存試験とも1000h経過後、わずかな抵抗値の上昇はあったが、実用上は問題ないと判断した。ヒートショック100サイクルについても同様で、接続部材として問題はないと判断した。過酷な信頼性試験でも熱硬化性樹脂は、熱可塑性樹脂よりも優れていることが証明できた。

5. 高密度 TCP の実装技術開発

5.1 実際の TCP および液晶基板での評価

ACF の接続信頼性を向上させる材料開発と並行して、高密度化した TCP と液晶基板の実装技術について開発を行った。液晶ディスプレイの高精細化に伴い、TCP の接続ピッチが、 $230\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ 以下へと急速に高密度化した。 $100\mu\text{m}$ を割る段階になると、TCP・ACF と液晶基板の線膨張係数の差が実装精度に大きく影響を与える。3 部品の線膨張係数は、TCP が $12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、液晶基板は $5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、ACF は熱可塑性樹脂の場合で $12 \sim 20 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ である。ACF が熱硬化性樹脂の場合は、線膨張係数は $7 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ で、熱可塑性樹脂と比較すると液晶基板、TCP の線膨張係数に近い。これにより、熱硬化性樹脂の方が接続ずれを減少させていることが分かる。

接続ピッチが $100\mu\text{m}$ 以下に高密度化した TCP の接続ずれの許容値を正確に把握することは、高精細液晶ディスプレイの信頼性を向上する上で重要なことである。以下、接続ピッチ $90\mu\text{m}$ の実装技術を確立した際の手順を述べる。

5.2 液晶駆動 IC と液晶基板の必要な接続面積

Ni-Au メッキを施した樹脂製の導電性粒子が、接続面に何個あれば、抵抗値が安定しているかを実験した。図 13 に TCP リード先端電極に接触する導電性粒子の個数を 1 個から 30 個まで変化させ、熱衝撃試験 $-40^\circ\text{C}/30\text{min}$ と $100^\circ\text{C}/30\text{min}$ を 250 回を繰り返した後の抵抗値の変化を示す。結果から TCP リード上の導電性粒子は、15 個以上であれば抵抗値が安定していることがわかった。この際の導電性粒子の粒径は $5\mu\text{m}$ とした。

図 14 に接続面積と導電性粒子の個数の関係を示す。この ACF は導電性粒子を、 $90 \sim 100$ 個/ 0.1mm^2 の割合で分布したものである。この結果から、先の実験で得られた抵抗値が安定する導電性粒子の個数 15 個以上は、接続面積が約 0.02mm^2 以上と推察できる。導電性粒子の個数は、ある範囲でその個数にばらつきがあるため、15 個以上の導電性粒子を確保するためには、その接続面積は 0.03mm^2 以上が確実であると判断した。

図 15 に高温高湿試験 (85°C , $85\%\text{RH}$) で 200h 後・600h 後・1000h 後の接続面積と抵抗値の変化を示す。この結果から 0.027mm^2 以上の接触面積であれば、抵抗値が安定していることがわかった。

以上 3 件の実験から TCP と液晶基板の必要な接触面積は、安全率を配慮して最低面積を 0.03mm^2 とした。導電性粒子の分布密度を増やせば、接触面積を小さくできるが、導電性粒子同士が接触し、電気的絶縁性を劣化させる。この時点での実験では、 $5\mu\text{m}$ の導電性粒子を $90 \sim 100$ 個/ 0.1mm^2 の割合の分布することが最良と判断した。

Fig. 13 Resistance Value and Number of Conductive Particles on TCP Lead After Heat Shock Test

Fig. 14 Number of Particles on $90\mu\text{m}$ -Pitch TCP Lead

Fig. 15 Junction Area and Resistance Value in High Temperature, High-Humidity Shelf Life

5.3 TCP の接続ずれの許容値

5.2 の実験で $90\mu\text{m}$ ピッチ TCP の液晶基板への接続面積を同定した。実際の TCP と液晶基板で、接続ずれを算出し、必要な接続面積が得られるかを検証した。

図 16 に TCP・ACF と液晶基板の位置関係を示す。

Fig. 16 Positional Relations of TCP/ACF and Liquid Crystal Substrate

B : 液晶基板の電極幅 e : 接続ずれ量 t : TCP 電極幅

$$\text{TCP の接続ずれの許容値} = \frac{\text{所要接続面積}}{\text{接続長さ}} \leq \frac{B}{2} - \left(e - \frac{t}{2} \right) \quad \text{①}$$

TCP の接続ずれの許容値は、先の結果から接続面積が 0.03mm^2 以上を確保する範囲内となる。接続長さを 2.0mm (既定値) とすると、 $0.03\text{mm}^2 \div 2.0\text{mm} = 0.015\text{mm}$ となる。

接続ずれの誤差要因は以下の項目である。

- a_1 : TCP の伸び (TCP 本圧着時の加熱による伸び) $\cdots 23\mu\text{m}$
- a_2 : TCP の伸びのばらつき $\cdots \pm 15\mu\text{m}$
- b : TCP 総合ピッチばらつき $\cdots \pm 15\mu\text{m}$
(TCP 配線のパターンニング精度のばらつき)

c : 装置の TCP 仮圧着ずれ (仮圧着精度) $\cdots \pm 5 \mu\text{m}$
 d_1 : 装置の TCP 本圧着ずれ (本圧着精度) $\cdots 2 \mu\text{m}$
 d_2 : 本圧着精度のばらつき $\cdots \pm 3 \mu\text{m}$
 S : TCP シュリンク $\cdots 23 \mu\text{m}$
 (TCP 本圧着時の伸びを想定した縮小しろ)

t : TCP 電極トップの幅のばらつき $\cdots \pm 5 \mu\text{m}$

e : 実際の位置ずれ量 (TCP の接続ずれの許容値)

実際の位置ずれ量 (TCP の接続ずれの許容値) e の算出は以下の計算式で求まる。

$$e = (\text{TCP 電極トップの幅のばらつき} / 2) + (\text{本圧着伸び} / 2) - (\text{TCP シュリンク} / 2) + (\text{本圧着精度}) + (\text{TCP 総合ピッチばらつき} / 2) + \sqrt{(\text{仮圧着精度})^2 + (\text{本圧着伸びのばらつき})^2 + (\text{本圧着精度のばらつき})^2} \cdots \textcircled{2}$$

②式を記号で表し、数値を入れる。

$$= (t/2) + (a_1/2) - (S/2) + d_1 + (b/2) + \sqrt{(C)^2 + (a_2/2)^2 + (d_2)^2} \\ \approx 21.5 \mu\text{m}$$

①式に数値を入れる。

$$\frac{B}{2} - \left[e - \frac{t}{2} \right] = \frac{53}{2} - \left[21.5 - \frac{29}{2} \right] = 19.5 \mu\text{m}$$

5.2 の抵抗値から算出した許容接続ずれ $15 \mu\text{m}$ よりも、4.3 の実際の接続ずれ量は、余裕のある値 $19.5 \mu\text{m}$ を示しており、 $90 \mu\text{m}$ ピッチ TCP の実装は可能との結論を得た。

また、計算式②の本圧着の伸びと TCP シュリンクは、計算上相殺されている。これは、TCP・ACF・液晶基板の線膨張係数の差によって表れるもので TCP の伸び量を実験でつかみ、あらかじめその量を縮小したものである。TCP 本圧着工程で加熱した際、TCP が伸び、ACF 固着後、TCP と液晶基板のピッチが同一になることを目的としている。

6. 従来技術との差

表 3 に熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂の違いを示す。

熱硬化性樹脂は硬化剤を添加していないため、その粘度は 170°C で $2\text{Pa}\cdot\text{s}$ と低粘度である。溶融粘度が低いと電極間の接着剤が TCP リード間の溝部に入りやすく、接続厚みを小さくすることができる。熱硬化性樹脂の平均的な接続厚みは $1\sim 3 \mu\text{m}$ であり、熱可塑性樹脂の約 $1/3$ である。平均粒径が $5 \mu\text{m}$ の導電性粒子は扁平状となり接続面積が増加し、電極と良好な接触状態となる。

熱硬化性樹脂は接続厚みが小さいことに加え、線膨張係数も低いので、接続厚みの変化量は熱可塑性樹脂の約 $1/5$ である。

また、加熱・加圧後の導電性粒子の線膨張係数⁶⁾は $7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ であり、熱硬化性樹脂と同等の値である。従って、接合部材である熱硬化性樹脂と導電性粒子は、熱による変形がほぼ同等であるから、導電性粒子と電極間の接続状態は安定に保つことが可能となる。

また、熱硬化性樹脂は広い範囲 (常温から 120°C) で弾性率の変化がない。熱可塑性樹脂は、常温で弾性率が熱硬化性の約 $1/4$ で、温度変化も大きい。以上のことから、熱硬化性樹脂は熱変化に対しても許容度が高く、TCP の液晶基板への接続は安

定性がある。

接合強度で比較すると、熱硬化性樹脂は熱可塑性樹脂に比較して、せん断接着力 (常温) は約 3 倍で、剥離接着力は約 1.1 倍である。接合強度の面でも熱硬化性樹脂が優れている。

Table 3 Comparison of physical properties between Thermosetting Resin and Thermoplastic Resin

	Thermosetting Resin	Thermoplastic Resin
Thermal Expansion Coefficient ($\alpha \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)	7	12 to 20
Shear Adhesive Strength (MN/m^2)	6.0	2.4
Separation Adhesive Strength (kN/m^2)	0.9	0.8
Junction Thickness (μm)	2	5
Junction Thickness Change Amount ($\Delta T, \mu\text{m}$)	0.02	0.05 to 0.14

7. 結 論

ACF の接合部材を熱可塑性樹脂から熱硬化性樹脂に変えることと、導電性粒子を金属粒子から弾性を有する樹脂粒子に変えることにより、以下の技術的成果を得た。

(1) 熱硬化性樹脂は、加熱・加圧接続時の溶融粘度 $2\text{Pa}\cdot\text{s}$ と低粘度のため、導電性粒子の存在する TCP リード間の溝部へ接着剤が入りやすい。これにより、熱可塑性樹脂に比較して約 3 倍の接続強度が得られた。

(2) 熱硬化性樹脂は、線膨張係数が導電性粒子のそれと同等にできることと、高弾性率であることから温度変化に対する許容度が高い。これにより、熱可塑性樹脂に比較して接続の不良率を $1/5 \sim 1/10$ に低減した。

(3) ACF の導電性粒子の最低必要個数および分布数の適正化と接続面積の同定で、TCP の接続ピッチが $100 \mu\text{m}$ 以下の実装技術⁷⁾を確立した。

これらにより、液晶ディスプレイの高精細化と接続信頼性の向上を可能としたため、ノート型パソコンだけでなく、CRT 代替モニターや携帯電話、アミューズメント機器などにも液晶ディスプレイが適用されるようになった。

このように本開発により、高度情報社会に高精細液晶ディスプレイを提供できたと同時に液晶産業界の発展に寄与した。

参 考 文 献

- 1) 原田 種真 「液晶基板用 TAB・OLB 装置の開発」 第 3 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム (ハイブリッド・マイクロエレクトロニクス協会) (1989)
- 2) 玉井 光一 「TCP Outer Lead Bonder for Liquid Crystal Displays」 Technique, Toshiba Review, Vol.48, No.2, pp.123-126 Japan (1993)
- 3) 玉井 光一 「High-Accuracy Outer Lead Bonding Technique」 Technique, Toshiba Review, Vol.45, No.4, pp.325-328 Japan (1990)
- 4) 玉井 光一 液晶ディスプレイ製造装置実用便覧 サイエンスフォーラム (1992)
- 5) 塚越 功 「熱硬化系異方導電フィルム」 日立化成テクニカルレポート No.16, pp.23-26, (1991)
- 6) 塚越 功 「熱硬化系異方導電フィルム」 日立化成テクニカルレポート No.16, pp.23-26, (1991)
- 7) 渥美 幸一郎 「Tape Automated Bonders」 Technique, Toshiba Review, Vol.48, No.9, pp.672-674 Japan (1993)