

異方導電接着フィルム

渡辺 伊津夫*

Anisotropic Conductive Adhesive Films

Itsuo WATANABE*

*日立化成工業株式会社実装フィルム事業部 (〒308-8524 茨城県下館市五所宮1150)

* Advanced Interconnect Material Division, Hitachi Chemical Co., Ltd. (1150 Goshomiya, Shimodate-shi, Ibaraki 308-8524)

1. はじめに

異方導電接着フィルム(ACF: Anisotropic Conductive Adhesive Film)は、金属粒子や金属めっき樹脂粒子などの導電粒子を均一に分散させた接着フィルムである。回路板間に配置して加熱・加圧によって回路板間の加圧方向には電気的接続を、加圧方向の垂直方向では絶縁性を確保すると同時に、回路板同士を接着する接続材料であり、特に、液晶ディスプレイ(LCD: Liquid Crystal Display)などのフラットパネルディスプレイ(FPD)のドライバICを実装するための接続材料として重要な役割を果たしている^{1),2)}。

現在、LCDはノート型パーソナルコンピュータ(ノートPC)、モニタおよびテレビ向けの大型パネルから、携帯電話やゲーム等のモバイル機器向けの中・小型パネルまで多様な用途に適用されているが、これらのLCDにはACFによるドライバICの実装が採用されている。LCDでのドライバIC実装は、ドライバICをTCP(Tape Carrier Package)化し、これをACFを用いてLCDパネルやプリント配線板(PWB: Printed Wiring Board)に電気的に接続することによって行われる。また、携帯電話等の中・小型LCDでは、ドライバICをACFによって直接LCDパネルへ実装するCOG(Chip on Glass)方式が採用されている。

さらに、ACFは、1990年代のLCD技術の発展とあいまって接続ピッチの狭ピッチ化が急速に進展するとともに、接続信頼性が向上していることから、高密度実装、小型化、薄形化が要求されている半導体実装分野での新しい接続材料としても近年注目されている。また、現在接続材料として用いられているはんだに比べ、環境にやさしいはんだ代替接続材料としての応用も期待されている。

本稿では、ディスプレイや半導体などのエレクトロニクス実装分野で重要な役割を果たしているACFの開発背景、構造と接続機構、構成材料、接続信頼性およびLCD実装や近年注目されているベアチップ実装における応用について概説する。

2. ACFの開発背景、構造および接続機構

2.1 ACFの開発背景

LCDは、1970年代後半から1980年代初頭に、電卓用の表示パネルとして主に使用されていたが、LCDパネルの電極はガラス上に形成され、かつITO(Indium Tin Oxide)電極が用いられていたため、これまでエレクトロニクス分野で接続材料として用いられていたはんだは使用できず、主にカーボンを練りこんだシリコンゴム層と絶縁性のシリコンゴム層をゼブラ状に交互に積層したゼブラ型の異方導電ゴムが用いられていた。また、当時、カーボン繊維を絶縁性接着剤の一方に配列した異方導電接着シートも一部使用され始めていたが、対応可能な接続分解能は500 μm ピッチ以上であった。一方、1984年の小型LCDテレビの発表や、1989年以降のLCDのノートPCへの適用が始まるとこうした接続材料は、LCDの大型化および高精細化(100 μm ピッチ以下)に対応できず、新規な狭ピッチ対応の接続材料が求められていた。

こうした中、導電粒子を分散した接着フィルムにおいて、導電粒子の分散量、分散状態などを調整することによって、加熱・加圧接続後、フィルム厚み方向のみに導電性を示す、いわゆる異方導電性の発現が見出された³⁾。

2.2 ACFの構造

ACFは、直径が3~10 μm 程度の微小な導電粒子を均一に分散した接着剤を、支持フィルム上に厚さ10~30 μm 程度に塗布した接着フィルムであり、製品としては、幅1~3mm、長さ50~200mのテープ状リール巻きの形態で供給される(図1)。現在、LCDパネル上に形成された電極とLCDを駆動するドライバIC間の狭ピッチ接続材料として使用されている(図2)。

2.3 ACFの接続機構

ACFの接続機構を図3に示す。加熱、加圧によってマトリックスである接着剤が溶融し、分散されている導電粒子が電極間に捕捉され、フィルム膜厚方向で高い導電性を示

す。一方、フィルム面内方向では導電粒子の充てん量が少ないため導電粒子同士の接触による隣接電極間の短絡発生がなく、結果として高い絶縁性を示す。

ACFのバインダには後述するように、熱硬化性接着剤が一般に用いられる。熱硬化性接着剤は図4に示すように、加熱によって流動するが、速やかにゲル化し始めるため、流動時に所定の圧力が加わらないと導電粒子と電極間の接着剤が排除できず、導電粒子を介した電氣的接続を確保できない。このため、ACFを硬化するために必要な加熱と同時に、接着剤の流動時に所定の圧力（通常2~3MPa）を加えられるようプロセスを制御することがACF接続プロセスにおいて重要である。

導電粒子と接続電極間の機械的接触による電氣的接続は、機械的圧力によって弾性変形した導電粒子の復元力とバインダである接着剤の硬化収縮力とのバランスによって確保され、さらに回路板同士が接着されることによって、電氣的および機械的な接続が確保される（図5参照）。したがって、接着剤の性能および導電粒子の機械的特性がACFの接続信頼性に大きな影響を及ぼすことになる。

ACFが対応できる接続ピッチは、1985年では200 μm 程度であったが、接着剤の材料開発と導電粒子の分散技術などの向上によって1992年以降は100 μm 以下まで進み、5項で述べるようにLCDパネルのTCP接続やCOG接続の狭ピッチ接続材料として実用化されている。

3. ACFの構成材料

図6にACFの構成材料を示す。導電粒子としてはNi等の

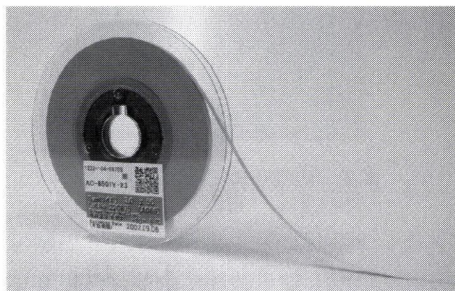


図1. ACFの製品外観

金属粒子や樹脂粒子に金属薄膜を形成した金属めっき樹脂粒子が用いられているが、接続ピッチの狭ピッチ化に対しては粒径および粒子形状の制御が容易な金属めっき樹脂粒子が採用されている。

ACFの接着剤には熱可塑性、熱可塑/熱硬化混合系、熱硬化系の3種類があるが、現在は信頼性および電氣特性の

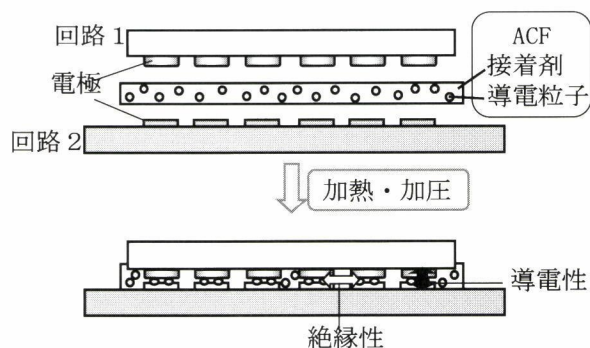


図3. ACFによる回路接続方法

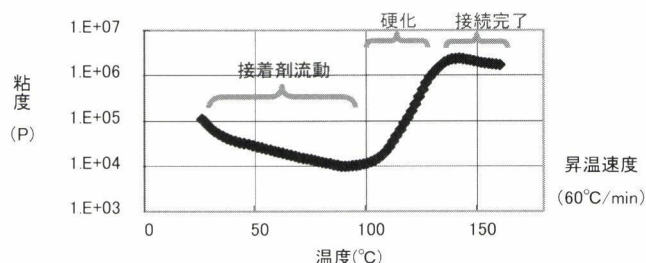


図4. 熱硬化性ACFを加熱したときの粘度変化

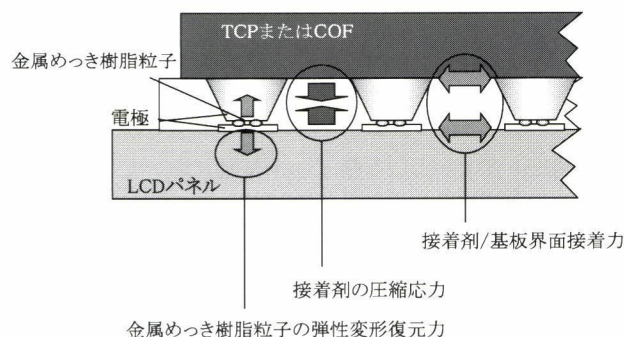


図5. ACFの接続機構

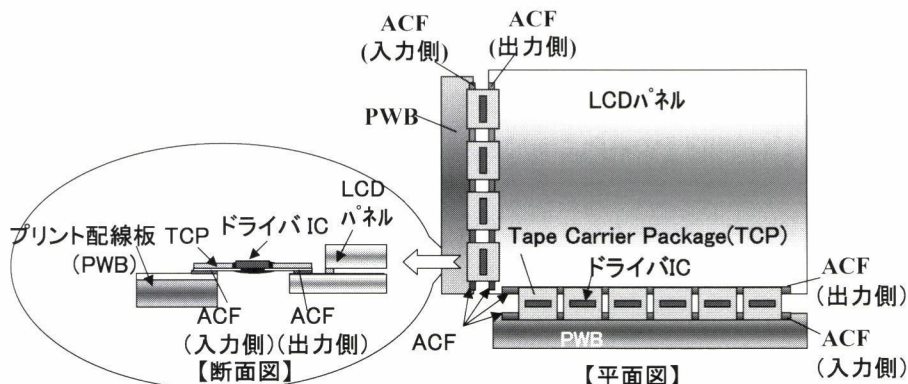


図2. ACFのLCDへの適用例

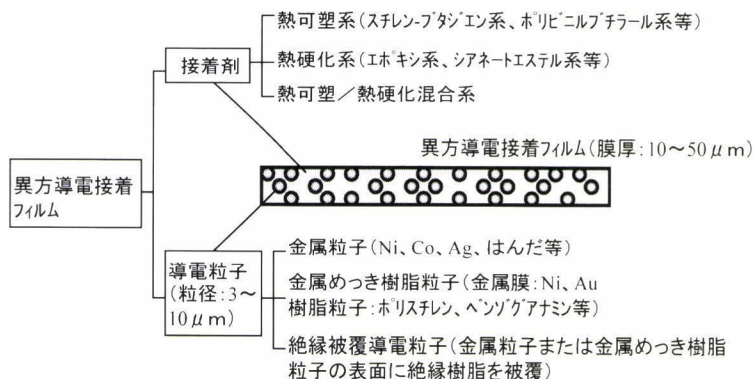


図6. ACFの構成材料

観点から熱硬化系が主に用いられている。

3.1 導電粒子

3.1.1 金属めっき樹脂粒子による接続分解能の向上

ACFの開発当初は、導電粒子としてNi粒子を用いていたが、LCDパネルの高精細化、カラー化に伴い、70 μm ピッチ以下の接続分解能の向上が要求されると金属粒子では、凝集によって絶縁性が確保できない他、硬いパネル電極との接続では、十分な信頼性が確保できないという問題が生じてきた。そこで、導電粒子として接着剤の比重や熱膨張係数に近い樹脂粒子に金属めっきした粒子（直径3～10 μm ）が、ACFの導電粒子として実用化された。この金属めっき樹脂粒子は、モノマー重合過程で大きさ、形状を制御した樹脂粒子表面に、NiやAuなどの薄膜を被覆したもので、形状が真球でかつ均一な大きさであり、接着剤中の分散性に優れ、狭ピッチ接続でも高い絶縁性を確保できる。また、この金属めっき樹脂粒子は、図7に示すように接続工程の加熱・加圧操作で粒子が変形して、電極との接触面積が大きくなるほか、熱膨張係数が接着剤とあまりかわらないため、40 μm ～50 μm という狭ピッチ接続においても優れた接続信頼性を確保できることが明らかにされている⁴⁾。

3.1.2 Ni粒子

Ni粒子は接続部において金属めっき樹脂粒子のような弾性変形は生じにくい、電極表面に酸化物質層を形成しやすい金属電極同士を接続する際に有効である。図8にACFに用いられるNi粒子の電子顕微鏡写真を示す。用いられているNi粒子表面はいがぐり状であり、金属電極表面の酸化物質層を破壊するのに適している。このようなNi粒子を分散したACFは、5.1.2項で述べるようにLCDにおけるTCPの入力電極とPWB電極のような金属電極同士の接続に実用化されている。

Ni粒子を分散したACFは、2000mA程度の大きい電流容量を示す⁵⁾ことが明らかにされており、PDP(Plasma Display Panel)や有機ELディスプレイパネルと駆動回路の接続にも実用化されている⁶⁾。

3.2 接着剤

ACFは、1980年代初めに実用化されたが、当時は、接着

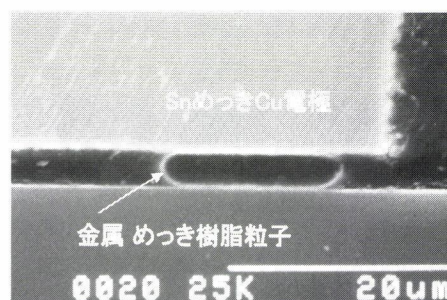


図7. ACF接続部の電子顕微鏡写真

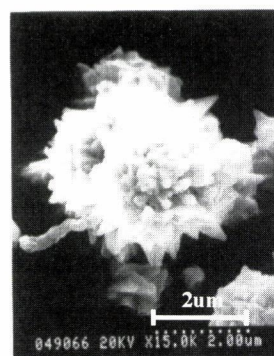


図8. Ni粒子の電子顕微鏡写真

剤としてスチレン系ブロック共重合体などの熱可塑性接着剤が用いられていた。熱可塑性接着剤は汎用溶媒に可溶であるため、リワーク性に優れるという特長を有している反面、耐熱性に劣る他、接続時の流動性が低く、導電粒子と電極間の接着剤の排除性に劣るため、接続抵抗が高い等の欠点がある。

一方、エポキシ樹脂などの熱硬化性接着剤は、出発材料が反応性のモノマーやオリゴマーなどで流動性が高い他、3次元の橋かけ反応を生じるため、熱可塑性接着剤のように高温域での急激な弾性率低下がなく、接着強度および耐熱性の点で優れている。

熱硬化性接着剤をACFに適用するためには、数秒～20秒程度の加熱・加圧によって回路電極を接続する速硬化性と、作業性の観点から、室温で2週間以上のポットライフが必要である。著者らは、潜在性硬化剤分散エポキシ樹脂

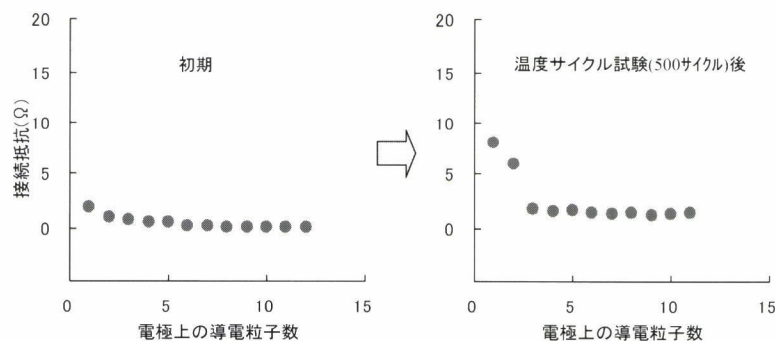


図9. ACFの接続信頼性に及ぼす接続電極上の粒子数の影響

系接着フィルムを開発することによって、速硬化性（170℃、15～20秒）と室温で1ヶ月以上の長期ポットライフ性を付与できることを明らかにした²⁾。

近年、LCDモジュールの大型化・狭額縁化に伴い、TCPの接続時にプリント配線板の反り増大や、LCDパネルへの熱的影響の増大が問題となっている。また、軽量化という観点からLCDパネル基板をガラスに代わってプラスチックへ置き換えようという検討がなされているが、プラスチックは耐熱性が低く、TCPの実装が困難であるという問題を有している。

最近、藤縄らは、低温速硬化系のACFとしてアクリレート等によるラジカル硬化系に着目し、開始剤やモノマーの最適化および新規なエラストマー樹脂の合成によって、エポキシ硬化系に比べ、約30℃の低温化を実現した新規な低温接続用ACFを開発している⁷⁾。この低温接続用ACFは、主に12インチ以上の大型LCDのTCPとPWBの入力側接続用途に実用化されている。

4. ACFの接続信頼性

ACFの接続信頼性は、接続電極間に捕捉される導電粒子数に大きく依存する。図9に、50μm□のAuバンプを有するICチップとITO電極を形成したガラス基板を金属めっき樹脂粒子（粒径：4μm）分散ACFで接続した際の、温度サイクル試験（-40℃／100℃／500サイクル）後の接続抵抗変化に及ぼす接続電極上の導電粒子（金属めっき樹脂粒子）数の影響を示す。図9から導電粒子数が3個以上で温度サイクル試験後の接続抵抗が安定化することがわかる。

また、ACFの接続信頼性は、接着剤の性能によっても影響される。例えば、COG実装では、ドライバICの大型化に伴い、接着界面に負荷される応力が増大し、高温・高湿試験後に界面はく離（図10のAuバンプ上で白っぽく変色している部分が界面はく離箇所）が生じ、結果として接続抵抗が増大する場合がある。このような場合、ACFの低応力化が接着性向上に有効であることが報告されている⁸⁾。図11に低応力タイプのACFを用いたCOG実装後、高温・高湿試験環境（85℃/85%RH, 500h）に放置した後の接続部の顕微鏡写真を示す。低応力化したACFを用いてCOG実装し

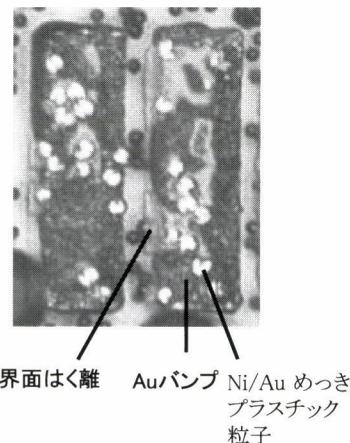


図10. 高温・高湿試験（85℃/85%RH, 500h）後にCOG接続界面がはく離した例

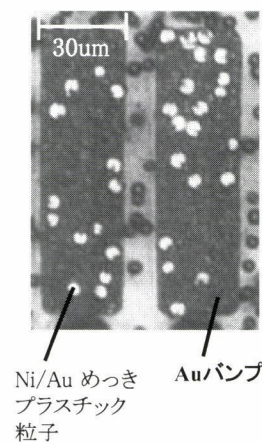


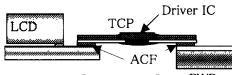
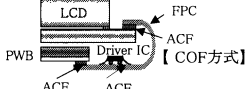
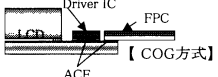
図11. 高温・高湿試験（85℃/85%RH, 500h）後のCOG接続界面が良好な例（低応力ACFを適用）

た場合、図10とは異なり、接続界面でのはく離がなく、対湿接着性が向上していることがわかる。

5. FPDにおけるACFを用いた各種実装方式

LCDなどのFPDのドライバICの実装では、表1に示すように、ACFを用いた各種実装方式が採用されている。TCP実装方式は、ドライバICの検査が容易である、装置やプロセスなどのインフラが整備されているなどの特徴がある。このため、主に12インチ以上のノートPCやモニタ用など

表1. FPDにおけるACFを用いた各種実装構造

実装構造	特徴	用途	
 <p>【TCP方式】</p>	TCP (Tape Carrier Package) と LCD パネルや PWB の回路接続	ドライバ IC の検査が容易、 装置・プロセスの インフラが確立	ノート PC, モニタ, TV
 <p>【COF方式】</p>	COF (Chip on Flex) と LCD パネルや PWB の回路接続、 FPC と駆動用 IC の回路接続	狭ピッチ接続、 折り曲げが容易、 モジュール設計の自由度大	ノート PC, 携帯電話
 <p>【COG方式】</p>	LCD パネルと駆動用 IC や FPC の回路接続	狭ピッチ接続、低コスト、 小型・薄形・軽量化に有利	携帯電話、カーナビ、 ノート PC

の大型ディスプレイの実装に採用されている。COF (Chip on Flex) 方式は、折り曲げが容易である、モジュール設計の自由度が大きいなどの特徴があり、携帯電話用の小型ディスプレイの実装に採用されている。ドライバICをACFによって直接LCDパネルへ実装するCOG方式は、TCPやCOF方式とは異なり、インタポザが不要であり、低コスト化、小型・薄形・軽量化に有利であり、携帯電話やカーナビ等の中・小型ディスプレイの実装に採用されている。最近では、低コスト化を活かして適用パネルサイズが大型化しており、12インチ以上のノートPCやモニタへも適用されている。

5.1 ACFによるTCP実装

5.1.1 LCDパネルとTCPの接続

LCDは、大型化、高精細化、狭額縁化（表示部の拡大化）が進んでおり、LCDパネルとTCPの接続（出力側接続、図2参照）では接続ピッチの微細化が要求されている。現在LCDメーカでは、前述した金属めっき樹脂粒子を分散した微細接続用ACFを用いることに加え、2層タイプのCOFによる狭ピッチ化、実装装置の位置合わせ精度や接続精度の向上など実装技術の向上によって、LCDモジュールのACFによる出力側接続は、40~50 μm 程度まで実用化が進んでいる。

5.1.2 TCPとPWBの接続

従来、TCPとPWBとの接続（入力側接続、図2参照）には、はんだが用いられていたが、TCPの狭ピッチ化が進み、はんだ接続では対応が困難（0.4mmが限界）になっている。はんだ接続でのTCPの接続電極は、基材のポリイミドフィルムが除去されたSnめっきCu電極のみであるが、ACF接続では出力側と同様SnめっきCu電極がポリイミドフィルムで保護されている（ポリイミドフィルムが基材として存在）ため、接続時の接続電極への熱応力を低減する上で有利である。また、鉛フリーであり、フラックス洗浄が不要であることから、環境にやさしいという特長があり、入力側接続においてもはんだに代わってACFによる接続が採用されている⁹⁾。

入力側接続では、出力側接続の場合に比べて狭ピッチ接続性は要求されない（200~500 μm ピッチ）が、低接続抵抗で大きい電流容量が要求され、導電粒子として前述

(3.1.2) したような金属電極間の接続に有効なNi粒子を分散したACFが用いられている。

このようなPWBへのACFによる接続は、小型・軽量・薄形化が進んでいる携帯電話の実装技術にも取り入れ始められている。従来、携帯電話のFPC実装には、コネクタが用いられていたが、薄形、軽量化の観点からACFが採用され始めている¹⁰⁾。また、携帯電話のカメラモジュールとPWBの接続にもACFが適用されており、LCDなどのFPD以外の用途への展開が始まっている。

5.2 ACFによるCOG実装

LCDの適用分野が広がるにつれ、LCDモジュールの低コスト化・高精細化の要求がますます強まる中、TCPを用いる実装方法ではなく、ドライバICをACFによって直接LCDパネルに搭載するCOG実装が1990年代に入って検討されるようになった。

ところが、COG実装ではチップの bumps を接続端子としているためTCP接続に比べて接続面積が約1/10と小さくなることから、微小接続電極上（2000~2500 μm^2 程度）に導通を確保するのに十分な数の導電粒子をいかに捕捉するかが、高い接続信頼性を得る上で重要となっていた。著者らは、導電粒子を分散した接着剤層（導電粒子層）と接着剤のみの層（接着剤層）を積層した2層構成を採用することによって、粒子捕捉性を従来の単層構成に比べ、2倍程度に向上させている^{11)~13)}。

現在、LCDの高精細化に伴い、COG接続に対して30 μm ピッチ台の狭ピッチ接続が要求されているが、ACFの2層構成化や絶縁被覆導電粒子の採用などによって、狭ピッチ対応がなされている。

5.3 有機基板へのフリップチップ実装

電子機器の小型化、薄形化、高速化に対応し、半導体実装分野では、ベアチップをフェイスダウンで直接有機基板に接続するフリップチップ接続技術の開発が活発に進められている。従来のフリップチップ実装方式では、接続材料の形成、アンダーフィル樹脂の充てんおよび硬化の工程が必要なため、プロセスが複雑、コストが高いなどの問題を有している。これに対して、ACFを介してチップ電極と回路板電極を電氣的に接続する方式は、アンダーフィル工程が不要で多数電極を一括接続でき、しかも鉛を使っていな

いという特長があることから、新しい実装方式として注目されている。

ACFによるフリップチップ実装は、LCDにおけるCOG実装と技術的には共通している。しかし、基板としてガラスエポキシ基板をベースとするPWBやポリイミドをベースとするフレキシブル配線板が用いられた場合、ICチップと基板間の熱膨張係数差に基づく応力を低減することが高信頼性化のポイントとなっている。例えば、接着剤の低弾性率化、フィラー充てんによる熱膨張率や吸水率の低減が検討され、すでに耐リフロー性に優れる高信頼性のACFも開発されている^{14)~16)}。

吉田らはノート型パソコン用CPUモジュールの4個のキャッシュメモリ実装に、低弾性率化したACFによるフリップチップ実装を採用¹⁷⁾している他、橋元らはACFによるフリップチップ実装を利用した高信頼性のフェースダウン型CSP(Chip Size Package)を開発している¹⁸⁾。

6. おわりに

ACFは、1984年に製品化されて以来、LCDの高精細化に伴い要求される接続分解能と高信頼性化が実現しており、ノートPC、モニタや携帯電話等のLCDの他、有機ELやプラズマディスプレイにも広く使用されている。今後も、ACFは、狭ピッチ接続性の他、鉛を使用しない環境にやさしい接続材料という特長を活かして、はんだ代替え接続材料への展開が期待されている。また、ACFによる有機基板へのフリップチップ実装は、小型化、薄形化、高速化に対応した次世代の半導体パッケージ技術として注目されており、CSP(Chip Size Package)やMCM(Multi-Chip Module)への展開が期待されている。(2005.4.27・受理)

文 献

- 1) H. Kristiansen and J. Liu: "Overview of Conductive Adhesive Interconnection Technologies for Display Applications" in Johan Liu, Conductive Adhesives for Electronics Packaging, Chapter 15, Electrochemical Publications, p. 376, 1999
- 2) 渡辺伊津夫, 塚越 功, 小林宏治, 太田共久, 山口 豊: "異方導電フィルムの開発と工業化", Polymer Preprints, Japan, Vol. **52**, No. 1, p. 106, 2003
- 3) 山口 豊, 塚越 功, 中島敦夫: "異方導電フィルム", サーキットテクノロジー, Vol. **4**, No. 7, p. 362, 1989
- 4) I. Watanabe, T. Fujinawa, K. Kobayashi, M. Arifuku, N. Fukushima: "Recent Advances of Interconnection Technologies using Anisotropic Conductive Films", Proceedings of 2004 International IEEE Conference on Asian Green Electronics, p. 229, 2004
- 5) N. Shiozawa, K. Isaka, and T. Ohta: "Electric Properties of Connections by Anisotropic Conductive Films", J. Electronics Manufacturing, Vol. **5**, No. 1, p. 33, 1995
- 6) I. Watanabe, T. Fujinawa, Y. Gotoh, K. Ueno, K. Kobayashi: "Anisotropic Conductive Films for Flat Panel Displays", Proceedings of The Third International Display Workshops, Vol. **2**, p. 369, 1996
- 7) T. Fujinawa, K. Kobayashi, M. Arifuku, N. Fukushima, N. Suzuki, I. Watanabe: "Low Temperature Curable Anisotropic Conductive Film for Input Lead Connection of Liquid Crystal Display Modules", 2003 ICEP Proceedings, p. 376, 2003
- 8) I. Watanabe, T. Fujinawa, M. Arifuku, M. Fujii, Y. Gotoh: "Recent Advances of Interconnection Technologies using Anisotropic Conductive Films in Flat Panel Display Applications", 2004 Proceedings of 9th IEEE International Symposium on Advanced Packaging Materials, pp. 11-16, 2004
- 9) 川口久雄: "シャープの狭ピッチ実装, ドライバICとプリント基板をACFで接続", 日経マイクロデバイス, No. 106, p. 137, 1995
- 10) 江間富世: "携帯電話の実装からみたFPCの課題と要望", エレクトロニクス実装学会誌, Vol. **7**, No. 5, p. 372, 2004
- 11) H. Hirotsawa, I. Tsukagoshi, H. Matsuoka, I. Watanabe, K. Takemura, N. Shiozawa and T. Ohta: "Double-layer Anisotropic Conductive Adhesive Films", 1995 Display Manufacturing Technology Conference, Digest of Technical Papers, No. 2, p. 17, 1995
- 12) 渡辺伊津夫, 竹村賢三, 塩沢直行, 渡辺 治, 小島和良, 広沢幸寿: "二層構成異方導電フィルムの開発", 日立化成テクニカルレポート, No. 26, p. 13, 1996
- 13) I. Watanabe, K. Takemura, N. Shiozawa and T. Ohta: "Flip-Chip Interconnection Technology Using Anisotropic Conductive Adhesive Films" in Johan H. Lau, Flip Chip Technology, Chapter 9, McGraw Hill, p. 301, 1996
- 14) I. Watanabe, K. Takemura, N. Shiozawa, O. Watanabe, K. Kojima and T. Ohta: "Flip-chip Interconnection to Various Substrates Using Anisotropic Conductive Adhesive Films", J. Electronics Manufacturing, Vol. **5**, p. 273, 1995
- 15) A. Nagai, K. Takemura, K. Isaka, O. Watanabe, K. Kojima, K. Matsuda and I. Watanabe: "Anisotropic Conductive Adhesive Films for Flip-chip Interconnection onto Organic Substrates", 2nd IEMT/IMC Symposium Proceedings, p. 353, 1998
- 16) A. Nagai, K. Takemura and I. Watanabe: "Reliability of Flip-chip Interconnection Using Anisotropic Conductive Adhesive Films onto Organic Substrates", 3rd IEMT/IMC Symposium Proceedings, p. 420, 1999
- 17) 吉田育生, 今須誠士, 林田哲哉, 竹浦 忍, 栗原良一: "MCM・ベアチップ実装技術 異方導電接着フィルムによるベアチップ実装", 回路実装学会誌, Vol. **12**, No. 7, p. 473, 1997
- 18) 橋元伸晃: "応力解析に基づく高信頼性T-CSPの開発", エレクトロニクス実装学会誌, Vol. **3**, No. 2, p. 143, 2000