

Professional Report

異方導電フィルム

Anisotropic Conductive Film

後藤 泰史 Yasushi Goto

異方導電フィルム(ACF)は、接着剤中に導電性微粒子を均一に分散したフィルム状接着剤であり、回路基板間に配置して熱と圧力を数秒加えることで、100 μmピッチ以下の多数の電極同士を一括で電気的接続と機械的接着とを行うことができる接続材料である。このACFは、液晶ディスプレイ(LCD)やプラズマディスプレイ(PDP)などのフラットパネルディスプレイ(FPD)のガラス基板と、これに画像信号を送るドライバICとを電気的に接続する材料として用いられている。中でも、近年成長が目覚ましい高精細モニタやテレビなどの大型のLCD用に、チップオンフィルム(COF)という新たな高精細実装に対応するもの、低温や短時間で実装できるもの、および実装後のパネルや基板にかかる応力を低減したものなど、新たな特性を持ったACFが開発されている。

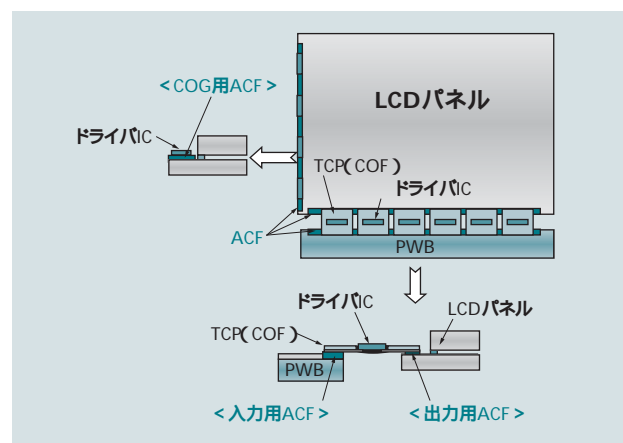
1 はじめに

異方導電フィルム(ACF: Anisotropic Conductive Film)は、接着剤中に数 μmの大きさの金めっきしたプラスチック粒子やニッケル粒子を均一に分散したフィルム状接着剤である¹⁾。ACFを回路基板間に挟み込み、加熱と加圧を同時に行うことで、100 μm以下の間隔で並んだ数100本の電極同士を10s以内に一括で電気的接続と機械的接着を行うことができる²⁾。このACFは、LCD(Liquid Crystal Display: 液晶ディスプレイ)をはじめとする、PDP(Plasma Display Panel)、OLED(Organic Light-emitting Diodes)などのFPD(Flat Panel Display)基板とこれに画像信号を送るドライバICとを電気的に接続する材料として用いられている。具体的には、LCDパネルを駆動する信号を発信するドライバICを搭載したTCP(Tape Carrier Package)やCOF(Chip on Film)パッケージの信号出力電極とLCDパネルとの接続、TCPやCOFとこれらに信号を入力するプリント基板(PWB: Printed Wiring Board)との接続、さらにドライバICをベアチップのままLCDパネル上に実装するCOG(Chip on Glass)方式が採用されている(図1参照)。

後藤 泰史
1986年日立化成工業株式会社入社
電子材料事業部 ディスプレイ材料部門
所属
現在、異方導電フィルムの製品開発に従事



LCDは、携帯電話、ノートパソコン、モニタ、テレビなど、最も広く用いられているディスプレイデバイスであるが、近年最も目覚ましいのはテレビ市場への展開である。当初は携帯型や14インチクラス以下で従来のCRT(Cathode Ray Tube)に代わるものであったが、今ではFPDの利点である省スペース性が生かせる20インチ以上



注: 略語説明 LCD(Liquid Crystal Display), ACF(Anisotropic Conductive Film)
COG(Chip on Glass), COF(Chip on Film), TCP(Tape Carrier Package)
PWB(Printed Wiring Board)

図1 LCDのACF実装構造例

LCDの実装にACFが使用される代表的な例として、LCDパネルとTCP(あるいはCOF)を接続する出力用ACF、PWBとTCP(あるいはCOF)を接続する入力用ACF、ドライバICとLCDパネルを接続するCOG用ACFがある。

やCRTでは限界に近い30インチ以上の大型テレビが一般化しており、PDPなどととも今後のさらなる市場展開が注目されている。このようなFPDの変遷に伴い、適用されるACFの必要特性も変化している。

ここでは、近年の高精細大型モニタやテレビに対応する、出力用のCOF実装、入力用のTCP/COF-PWB実装、COG実装のそれぞれに用いられるACFの材料技術について述べる。

2 背景

従来より最も一般的な電氣的な接続材料ははんだであるが、LCDは薄膜のITO(Indium Tin Oxide)電極が形成されたガラス基板を用いるため、はんだを用いて実装することができなかった。そこで、電卓や時計などのセグメント表示のLCDにはゼブラゴムやヒートシールコネクタなどが用いられた。ゼブラゴムは導電体としてカーボンなどを添加した黒色の導電性ゴムと淡色の絶縁ゴムを交互に積層したブロック体で、ヒートシールコネクタはPET(Polyethylene Terephthalate)フィルム基材に熱可塑性の導電性接着剤で回路を印刷したものである。これらは現在でもセグメント表示のLCDに広く用いられているが、ドットマトリクス表示の液晶テレビやノートPCには100 μm ピッチ以下の高精細接続が必要になるため、もっぱらACF接続が利用されている。

また、ACFが製品化された1984年当時は接着剤としてスチレン系ブロック共重合体などの熱可塑性の接着剤を用いていたが、その後、より接続抵抗が低く、耐熱性や接続信頼性に優れたエポキシ樹脂から成る熱硬化性接着剤で、ポットライフとの両立を達成した。これにより、高精細で信頼性の高い接続が可能となり、車載用ディスプレイなどの高い対環境性を必要とされる用途を含むさまざまな用途のLCDや、PDPやOLEDにも広く用いられている。さらに、小型、薄型実装の特長を生かし、有機基板に対するフリップチップ実装で、CSP(Chip Size Package)などの半導体パッケージの実装方法としても利用されている。

3 異方導電フィルムの接続原理

3.1 構成

ACFは、PETなどの支持フィルム上に、導電粒子を分散した10~50 μm の厚さの接着剤を塗布したもので、幅1~3mm長さ50~200mのテープ状で、リール巻の製品形態をしている(図2参照)。導電粒子は接続する電極に合わせて選択し、ガラス基板との接続には、プラスチックの核体表面にNi・Auのめっき層を設けた真球状の導電粒

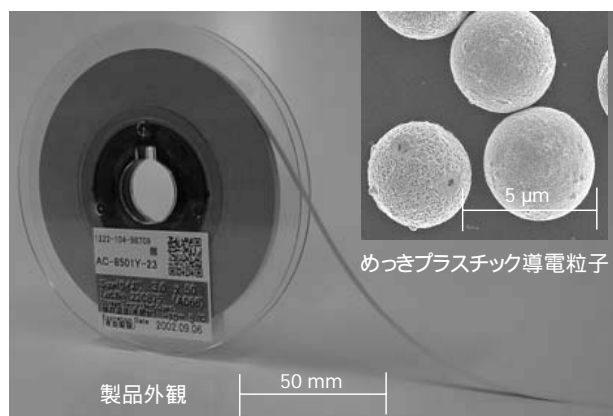


図2 ACFの製品外観と導電粒子SEM(走査電子顕微鏡)写真

ACFはPETなどの支持フィルム上に、ACFが塗布され、幅1~3mm長さ50~200mのテープ状をしており、リール巻の製品形態をしている。めっきプラスチック導電粒子(SEM写真)は真球状で粒子径が均一である。

子を、PWBとの接続にはバルクのNi粒子を用いる。めっきプラスチック粒子は真球状で粒径がそろっており、接続する電極の精細度に合わせて、50 μm ピッチ以下の高精細では3 μm 、50~100 μm ピッチでは4 μm 、100 μm 以上のラフピッチのものでは5 μm の粒径を選択する。また、導電粒子の接着剤への充填(てん)量は、電極の接続面積や電極間スペースに合わせて設計する。接着剤はエポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂から成り、接続時の熱と圧力で、熔融・流動・硬化する。接続時間の10s以下で硬化する高反応性を持ちながら、室温で2週間以上の可使用時間を持つことが作業上、必要になるので、保存時には反応が進行せず、接続の加熱時に急速に反応する潜在性を付与している。また、信頼性を保持するため、接続する基板に合わせて組成や物性、および厚さなどを最適化している。

3.2 接続プロセス

液晶パネルは画像表示部とその周辺に電極を配置した額縁部分から成り、初めに、この接続する電極部にACFを転写する。続いて、上下の接続する電極をACFを挿(はさ)み込んだ状態で位置合わせした後、150~180 $^{\circ}\text{C}$ の加熱と2~3MPaの加圧を同時に行う。このとき、接着剤は熔融し流動するので、導電粒子は加圧された上下の電極間にトラップされ、接着剤は電極間のスペース部分に濡(ぬ)れ広がりながら充填する。また、接着剤は熱硬化性であるので、熔融・流動した直後から硬化反応が開始し、増粘、固化し、5~10sの加熱・加圧を行う接続時間でプロセスは完了する。接続体は硬化した接着剤によって接着され、接続する電極同士は導電粒子を介して電氣的な接続がなされ、隣接する電極間には絶縁性の接着剤が充填されているので絶縁が保持される(図3参照)。

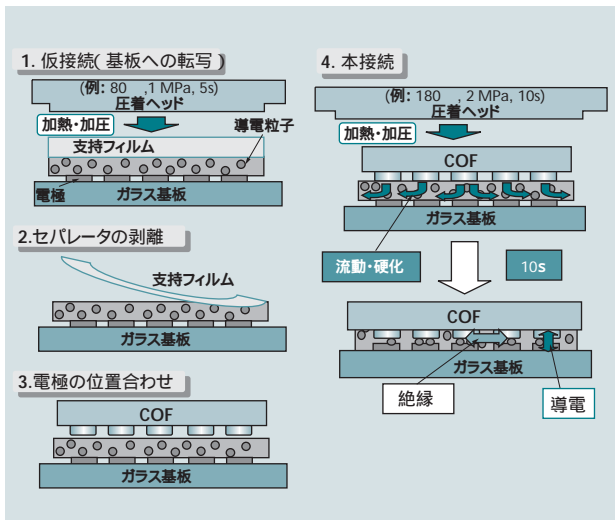
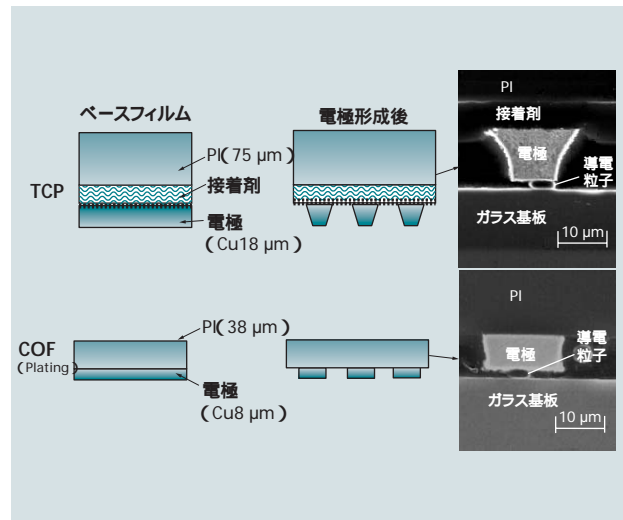
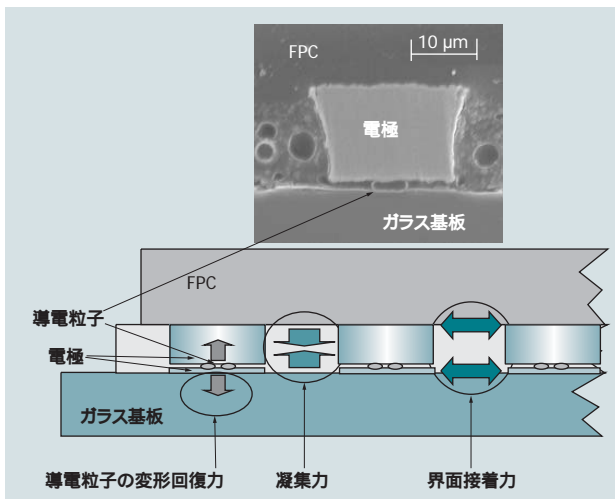


図3 ACFによる電極接続プロセス
 接続する電極部にACFを転写し、ACFを挿み込んだ状態で位置合わせした後、150～180℃の加熱と2～3 MPaの加圧を同時に行う5～10sの接続時間でプロセスは完了する。



注：略語説明 PI (Polyimide), Cu (Copper)
 図5 TCPとCOFの構成と接続断面
 回路間のスペース部分でACFと接着するのは、TCPはCu箔とPIを接着している接着剤に対し、COFは平滑で高弾性のPIになり、接着しにくい材質である。また、電極形状の違いはCOFの方がTCPよりもトップ面積が大きく、導電粒子の捕捉もよく、効率が低い。



注：略語説明 FPC (Flexible Printed Circuit)
 図4 ACFによる接続メカニズム
 接続している導電粒子を十分確保すること、接続部材との高い接着力、電極と導電粒子の密着を維持するACFの凝集力、接続している導電粒子と電極の接続面積を維持する導電粒子の変形反発力や食い込み力が信頼性確保に必要である。

3.3 信頼性を発現する要素

ACFの接続メカニズムを図4に示す。接続断面のSEM (Scanning Electron Microscope) 写真からわかるように、COFの電極とガラス基板の電極は、間に挟まれて変形した導電粒子で電氣的に接続されている。したがって、目的の接続抵抗や接続信頼性を得るには、電極の微細化に対応して接続している導電粒子を必要数以上確保しなければならない。また、電極と導電粒子の密着を維持し接続信頼性を得るには、環境変化やモジュールの組み込みによる応力負荷に耐えるように、ACFと接続部材との界面の密着を維持する接着力が必要である。また、導電粒子の変形状態を維持するために、接着剤の硬化収縮力や凝集力、接続している導電粒子と電極の接続面積を維持

する導電粒子の変形反発力や食い込み力が必要であり、FPDの新たな設計に対応し、これらの特性を確保することが必要である²⁾(図4参照)。

4 大型LCD用ACFの最新設

4.1 出力用ACF(COF接続の高信頼性化)

TCPは古くから液晶のドライバICのパッケージとして利用されてきた。しかし、TCPはベースフィルムのCu箔(はく)が厚く、エッチングで回路を作製するときに電極のトップ面積が小さくなり、高精細接続に限界があった。

Cu箔厚みがTCPの $\frac{1}{2}$ 以下のCOFは、微細配線の形成が可能、形状の自由度が高い、表面実装部品を搭載できる、両面配線が可能などの有利な点を生かして当初は携帯電話に使われたが、微細配線を形成した基板をダメージなく折り曲げ実装することも容易であることから狭額縁で薄型の大型LCDモジュールにも使用され、年々その比率が高くなっている³⁾。ACFは接着性と高精細対応の2点でCOF向けの改善を行い、製品化している。

接着性については、平滑で高弾性のポリイミド表面と接着する必要があるため、接着剤の官能基や接着助剤によるポリイミド表面への化学的接着性の向上のほかに、界面の内部応力を低減させる設計を行った³⁾(図5参照)。ACFによる接続では加熱・加圧工程が必須であるため、LCD、COFおよびACFの、それぞれの部材の接続時における温度と熱膨張係数差に基づく界面の内部応力がLCD/ACF界面、COF/ACF界面に発生する(図6参照)。この応力は界面を引き剥(はが)がそうとする力なので、接着力は本来ACFが持つ接着力から内部応力分を引いた

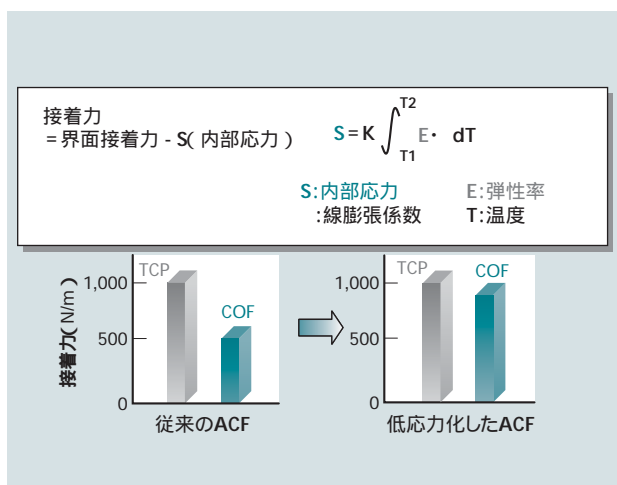


図6 COF用ACFの接着力向上
内部応力を低減するように、接着剤の弾性率を最適化することでCOFへの接着力を向上した。

値に減少してしまう。この内部応力はACFを低弾性化し、応力緩和性を向上することで低減できる。また、接着力は弾性率の低下とともに増加するが、やがてACF自身の強度低下によって接着力が小さくなり、極大点が存在する。すなわち、最大の接着強度を得るには、ACFとCOF界面の内部応力とACFの凝集力のバランスをとることが重要である。

4.2 高精細用導電粒子の開発

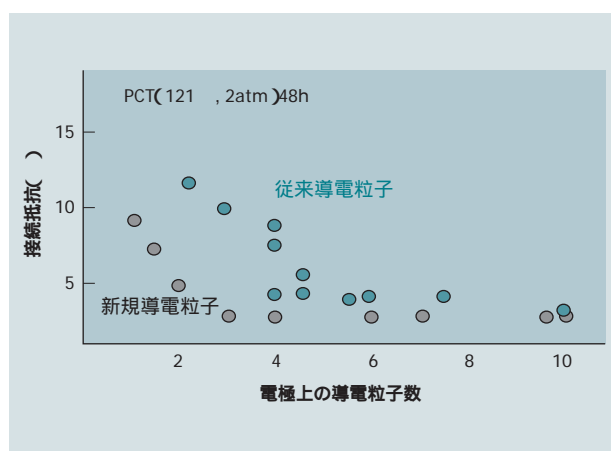
また、高精細への対応については、COFはTCPに比べ同じ精細度でも電極のトップ面積が大きくなるため、導電粒子が捕捉(そく)されやすくなり有利であるが、今後の40 μmピッチ以下の超高精細電極においては液晶基板の額縁サイズの減少とともに接続面積は現行よりもさらに小さくなる。これまで、高精細化による電極間の狭スペース化と電極接続面積の減少に対する絶縁性及接続信頼性の両立は、導電粒子の粒径、数、分散状態の最適化によって達成しているが、さらに個々の導電粒子の高性能化についても検討している。FPCとガラス基板電極との接続には樹脂粒子にNi/Auめっきを施した導電粒子を使用する。この導電粒子は接続時に扁(へん)平し、薄膜電極にダメージを与えることなく接触面積の大きな接続ができ、かつ導電粒子の変形回復力による電極への密着性により、接続信頼性を維持している^{4),5)}。弾性率と変形回復力を改善した導電粒子を用いたACFの接続信頼性結果を図7に示す。分新規開発品の導電粒子は電極上の導電粒子数が少なくても高い接続信頼性を維持していることがわかる。

4.3 入力用ACF(PWB変形量の低減)

ACFに欠かせない加熱加圧工程は、LCDパネルの大型化や高精細化の進展により、製品品質への影響が無視で

きなくなっている。すなわち、接続部材間の熱膨張係数の差により、大型のPWBの接続では基板の反(そ)り、高精細接続では電極間の位置ずれが問題となってきた。また、LCD基板の狭額縁化により、偏光板などへの伝熱によるダメージやCOG接続部のパイメタル的変形が液晶モジュールの画質に影響する問題も発生している。これらの問題点はACF物性の最適化やプロセスによる改善によって多くを克服してきたが、根本的にはすべて、ACFが高温の加熱プロセスを経なければならないことに起因しており、接続温度の低温化は、プロセスの安定化に対する利点も含め重要な課題である。

このACF接続の低温化が最も早くから求められたのは、TCPとPWBを接続する部分であった。図8の有限要素法による粘弾性解析シミュレーション結果にあるように、接続後の冷却過程でPWBは収縮しようとするが、TCPはガラス基板に接続され固定されているため、PWBがたわむように変形し、接続部分に大きな応力を与え、最悪の場合はACF接続部の断線に至る。この応力は基板端部



注：略語説明 PCT (Pressure Cooker Test)

図7 接続導電粒子数と接続抵抗

導電粒子の弾性率やめっき状態により、信頼性を保持するのに必要とされる電極上の導電粒子数を低減することができた。

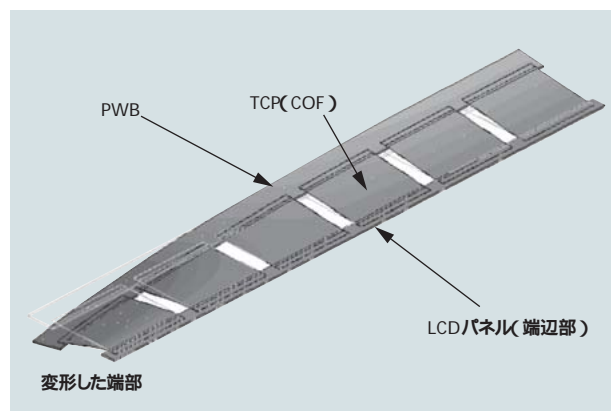


図8 PWB接続部分の応力解析結果

接続温度180 °Cの接続後 PWBの冷却による収縮でLCDパネルの端部でPWBが大きいたわむ。

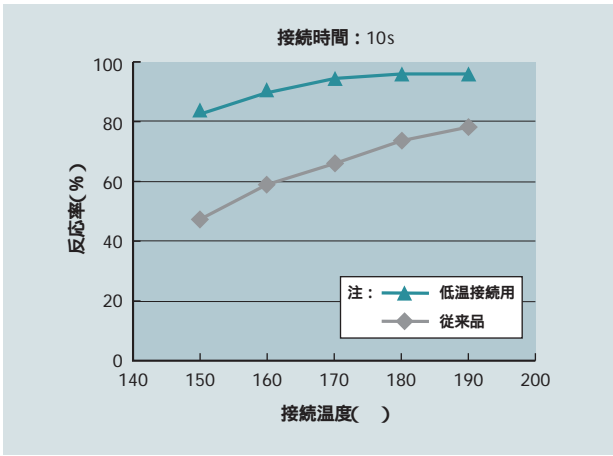


図9 低温接続用ACFの接続温度と反応率
ラジカル硬化系を採用した低温接続用ACFは従来のACFに比べ、低温で高い反応率が得られる。

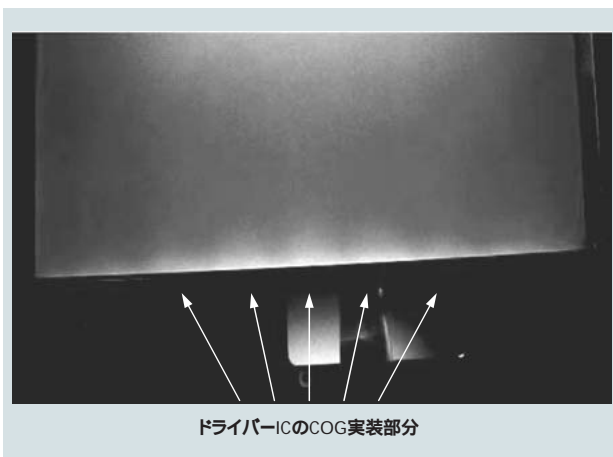


図10 COG実装パネルの表示ムラ
ドライバーICのCOG接続部分に輝度ムラのスジが発生している。

の接続部分が最大で、基板が大きくなるほど、あるいは、PWBとガラス基板との距離が小さくなるほど大きくなる。また、この応力を小さくするには接続温度を低くすることが有効である。このTCPとPWBを接続するACFとして、アクリレートによるラジカル硬化系を採用し、開始剤やモノマーの最適化と新規に合成したエラストマー樹脂により、従来のエポキシ樹脂硬化系の接続温度条件から30℃低温化した150℃10sで接続可能なACFを開発した。これは、図9に示すように、低温で硬化反応が速やかに進行し、現在最も低温で接続できるACFである。また、応力緩和性と接着性成分の導入によりCOFとの接着力も向上し、大型の液晶モニターやテレビに広く使用されている⁶⁾。

4.4 COG用ACF (LCDの表示ムラ低減)

カーナビゲーションやモニターなどの中大型のLCDモジュールでは、多数のドライバICを1枚のLCDパネルに実装するが、近年の狭額縁化により、COG実装によって発生するガラス基板のひずみ(反り)が、COG実装部周辺の液晶画像に明暗のムラを発生させることが問題になっている(図10参照)。このムラの発生原因は実装時のICチップとガラス基板の熱膨張量の差であることを、有限要素法を使用した粘弾性解析による熱応力シミュレーション解析と実測の基板変形量の相関から見いだした(図11参照)。すなわち、ACFによる接続工程ではICチップ側から高温のヘッドによって加熱加圧されるため、チップ側の最高到達温度はガラス基板側に対し非常に高くなり、接続後の室温に冷却する過程でガラス基板よりも大きく収縮し、接続部分をたわみ変形させてしまう。接続温度を200℃とした場合の、たわみ変形量(反り量)の実測値はシミュレーションでガラス基板側の到達温度を70℃とした場合とよく一致している。さらに、接続温度やACFの弾性率、および接続部材の寸法や物性による反り量をシミュレーションで推定した。図12に示すように、ガラス基板の薄型化は、この反りの問題を深刻にしていくこと、対応策としてACFの接続温度の低温化が最も有効であることがわかった。この問題を解決するため、新たに低温で硬化する高反応性のCOG用接着剤を開発⁷⁾した。この接着剤は、接続温度を従来条件から20~30℃低温化した160℃10sで接続可能であり、ICチップ接続部の反り変形量を従来のACFに対し約50%に低減することができた。このACFはムラの発生がきわめて低いことと、接続部にかかる応力の低減により接続信頼性が向上していることが評価され、大型LCDモジュールメーカーの多くに採用されている。今後、さらに狭額縁化、基板の

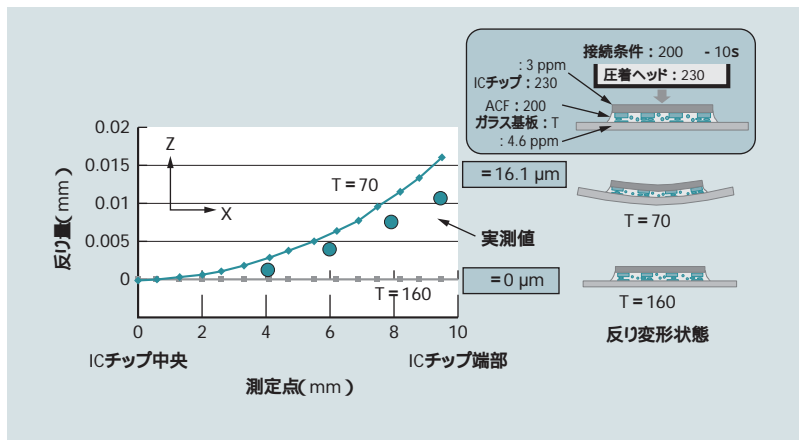


図11 COG接続部の反り変形量のシミュレーション値と実測値
接続時のICチップとガラス基板の温度勾配(こう配)が原因で、COG接続部分には反り変形が発生し、その反り量はシミュレーションによる計算値と実測値により相関があった。

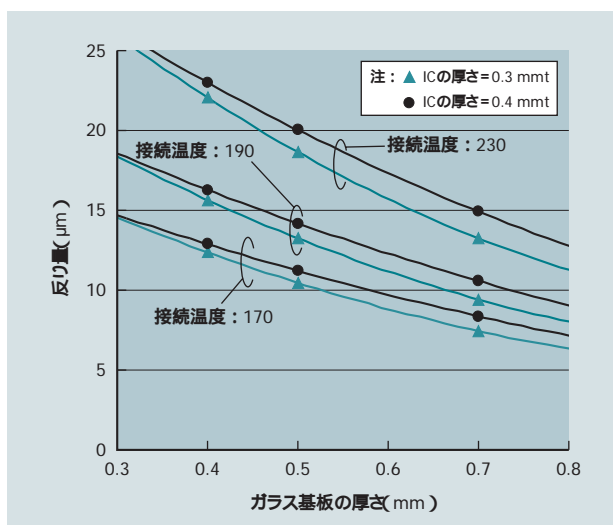


図12 部材寸法と接続温度による反り量のシミュレーション値

ガラス基板の薄型化は反り量を増大させ、接続温度を低温化することは反り量の低減に効果がある。

薄型化が進展することから、引き続きこの特性は重要な基本特性と位置づけられる。さらに、接続温度による応力負荷の低減は、大型モジュールだけでなく、高機能化と機能集約化によるチップの大型化とガラス基板の薄型化とが進展している携帯電話などの小型モジュールにおいても重要性が増している。

5 おわりに

ここでは、モニタやテレビの大型LCDへの対応に伴うACFの課題と開発状況について述べた。

ディスプレイの大型化や実装コストの低減から、ACF実装に対する接続温度の低温化と短時間化は引き続き前進が求められている。また同時に、さらなる微小電極への対応、および高信頼性の維持も必要とされている。

接続温度を低温化することによる応力負荷の低減は、大型モジュールのみでなく、高機能化と機能集約化によるチップの大型化とガラス基板の薄型化とが進展している携帯電話などの小型モジュールにおいても今後必要となる特性と予想される。これらの課題を解決するため、今後も新たな反応系の新規接着剤、高機能な導電粒子およびACF構成などの開発を進めている。

参考文献

- 1) 山口, 外: サークットテクノロジー, 4362(1989)
- 2) 渡辺: 異方導電フィルム, 高分子, p.799(2004)
- 3) 有福: COF実装の高密度化における材料・工法の問題点とその対策, 83(2003)
- 4) 塚越, 外: 高精細回路接続用アニソルムAC-7144の開発, 日立化成テクニカルレポート, No.16(1991.1)
- 5) IWatanabe: roc.2004 Int. IEEE Conf. on the Asian Green Electronics, p.29(2004)
- 6) T.Fujinawa: 2003ICEP Proceedings, p.376(2003)
- 7) 後藤, 外: 高精細COG接続用異方導電フィルム, 月刊ディスプレイ, Vol.7, No.3(2001)