高精細液晶ディスプレイ実装システムの開発 (第2報)*

—液晶駆動ICボンディングツールの熱解析—

玉井 光一** 久保田 敏春*** 太田 誠†

Development of High-Definition Liquid Crystal Display Mounting System (2nd Report)
- Thermal Analysis of Bonding Tool for Liquid-Crystal Drive IC's -

Koichi TAMAI, Toshiharu KUBOTA and Makoto OTA

For higher definition and lower cost liquid crystal display, improvement of the mounting accuracy and productivity of liquid crystal driver IC in TCP (Tape Carrier Package) is essential.

In order to mount several TCP's, which previously have been mounted one by one, at one time, temperature-homogenous long bonding tool is needed. The FEM (Finite Element Method) has been used until now for the thermal analysis of the long bonding tool. However, there was a big difference between an analytical and measured values. In order to solve this problem, an FVM (Finite Volume Method) is used, in which ambient air flow and thermal effects on adjacent parts are taken into consideration for heat and flow analysis, for leading to temperature-homogenous of bonding tool.

Key words: Liquid crystal displays, TCP bonding system, Thermal analysis, bonding tool, Finite volume method

1. 緒 言

液晶ディスプレイは、従来のパソコン主体から携帯電話用およびCRT代替を目指したテレビ用と多様化している。これらの用途拡大は、液晶ディスプレイが高精細化・低価格化さらに大型化が可能になってきた背景がある。特に低価格化は重要で、液晶ディスプレイが今後のフラット・パネル・ディスプレイの主流になるかは、この低価格化が大きな判断基準となる。

液晶ディスプレイの低価格化は、画素を製造する薄膜工程のPEP(Photo Engraving Process:写真蝕刻工程)数を減らし、工数を削減することである。さらに実装工程では、高密度化した画素の出力端子とフィルム状の液晶駆動IC¹⁾(以降TCP:Tape Carrier Package)を高速に実装²⁾し、生産性を向上させることである。本論文は、後者のTCP実装工程の生産性向上を対象としている。

図1にTCPを実装した液晶ディスプレイを図2にTCP接続部の拡大写真を示す。

Fig.1 Liquid crystal display with TCP's mounted

Fig.2 Enlarged picture of TCP connection

液晶基板へのTCP実装は、その間に異方性導電膜³⁾(以降ACF: Anisotropic Conductive Film)を介して行う。ACFは、厚

さ15 μ mの接着剤層中に粒径5 μ 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3にACFの接続原理、図4に接続部のSEM画像を示す。

Fig.3 ACF connection theory

Fig.4 Cross sectional SEM photograph of ACF connection

ACFを使用し、TCPを実装する方式をTAB⁴⁾方式(Tape Automated Bonding)と呼称した。

図5にTAB方式の工程図⁵⁾を示す。まず、液晶基板の電極部にACFを圧着する。この際、ACFは自身の接着力で保持固定する。これをACF貼付け工程と呼称した。

ACFを圧着後、TCPと液晶基板の接続リードを光学装置で位置認識し、ずれを補正した後、TCPを液晶基板へ位置決めする。この際、ACFが完全に硬化しない状態の熱と力でTCPを液晶基板に仮固定する。ACFの接着剤が硬化していない段階のこの仮固定を仮圧着と呼称した。

TCPと液晶基板を仮圧着後、別工程でTCPの上から平坦度を有するボンディングツールで加熱・加圧し、本圧着する。本圧着の呼称は、TCPと液晶基板の位置関係をずらすことなく、接着剤を硬化させることを意味する。夫々の工程を仮圧着工程、本圧着工程と呼称した。TCPを位置決め、熱圧着する仮圧着工程と本圧着工程を2工程に分けた理由は、ACFの接着剤を硬化させる本圧着工程の生産性が著しく悪いためである。

* 原稿受付 平成13年3月22日

** 正会員 ㈱東芝 生産技術センター(横浜市磯子区新磯子33)

*** ㈱東芝 電力システム社(東京都府中市東芝町)

† 芝浦メカトロニクス㈱(海老名市東柏ヶ谷5-14-1)

Fig. 5 Process diagram of TCP mounting

TCP 本圧着工程の生産性を向上させるためには、複数枚ある TCP を一度に一括で実装する必要がある。この実現には TCP 本圧着装置のボンディングツールの長尺化が必要であり、そのためにはボンディングツールの温度の均一化が技術課題となる。

従来、このボンディングツールの長尺化が困難なため、TCP は一枚ずつ本圧着していた。ボンディングツールの長尺化ができなかった理由は、温度の均一化がボンディングツールの長さで約 50mm 程度が限界であったためである。このため、生産性が著しく悪く、仮圧着装置⁶⁾ 1 台に対して 4~5 台の本圧着装置⁷⁾ を必要としており、設備投資効率も悪かった。

第 1 報で、26 インチの液晶ディスプレイの TCP を一度に一括で実装できる有効長 520mm の長尺ボンディングツールを具現化した開発経緯を述べた。これにより、TCP 本圧着工程の生産性は、従来に比較し 5.5 倍向上し、液晶ディスプレイの低価格化に寄与した。

図 6 に TCP を本圧着する際の従来技術との比較図を示す。

Fig. 6 Comparison of bonding tools

2. 開発意義

第 1 報で TCP 本圧着工程のボンディングツールの長尺化を具現化した機構開発とその熱解析技術を述べた。大幅な生産性向上を達成したが、開発途上で改善すべき点もあった。

それは、熱解析データと測定データの乖離である。従来、有限要素法 FEM (Finite Element Method) による熱伝導を主体とした熱解析を実施した。熱解析データと測定データで温度プロファイルは近似していたが、温度の絶対値で 8℃の乖離があった。この乖離は、温度のばらつきを補正する際の放熱フィンの熱容量および取付け場所を調整する余分な工程が発生していた。

図 7 に従来のボンディングツールの FEM による熱解析データと測定データを示す。さらに温度の均一性を向上させるために付設した放熱フィンの取付け位置も示す。

熱解析データと測定データで乖離を生じた要因は、FEM による熱解析の対象が、ヒータブロックとボンディングツールのみで、隣接部品への熱伝導や放射伝熱を考慮していないためである。

ボンディングツールの温度のばらつきを、さらに小さくするため、高温な部分に放熱フィンを設置した。これにより、温度のばらつきは 3.9℃まで、小さくすることができたが、このような放熱フィンによる調整工程が発生していた。

Fig. 7 Analytical and measured temperatures around the tip of bonding tool

本開発の意義は 2 件である。1 件目は、ボンディングツールの温度の均一化を図るための放熱フィンによる調整工程を排除することである。このためには、カートリッジヒータのレイアウトを含めた機構の見直しが必要である。

2 件目は、設計段階でボンディングツールの温度の均一性を同定できるようにし、設計・製作のやり直しを排除することである。このためには、従来の FEM では解析できない隣接部品への放射伝熱や空気との対流熱伝達を解析する手法を構築し、熱解析の精度を向上させることである。

3. 装置構造

TCP 本圧着装置は、ACF を接合部材として TCP を液晶基板上に熱圧着する装置である。生産性の向上を図るため、液晶ディスプレイの一边分の TCP を一度に一括で本圧着するボンディングツールを搭載している。図 8 に長尺ボンディングツールを搭載した TCP 本圧着装置の構造図を示す。

従来の TCP 本圧着装置と異なる点はボンディングツールである。従来のボンディングツールは、図 7 に示すようにヒータブロックの長手方向で左右から 2 本、中心に 1 本の計 3 本のカートリッジヒータで加熱制御していた。今回はカートリッジヒータをヒータブロックに対して上下方向に複数本挿入した。

ボンディングツール先端は、約 300℃まで加熱するため、ボンディングツールの上部には平坦度を出す平坦度調整機構がある。ボンディングツールは、ツール固定ブロックに複数本のねじで固定している。ツール固定ブロック上のねじは、ボンディングツールを固定するねじと平坦度を調整するねじの 2 種類を交互に配設している。このねじの押し引きにより、ボンディングツール先端の平坦度調整を行っている。

ヒータブロックとボンディングツールは、上下ステージの上に保持しており、ボールネジで上下に移動する。ボールネジにした理由は、TCP~ACF~液晶基板の位置ずれを発生させないため、ボンディングツールが TCP に接触する瞬間は、緩やかな速度になるように速度制御するためである。加圧はボールネジ上部に取付けたシリンダで行い、その圧力を制御することにより、ボンディング荷重を変化させる。

ボンディングツールの下部には、液晶基板とボンディング荷重を支えるためのバックアップツールがある。液晶基板の裏面を支えると同時に補助加熱するため、バックアップツールにもカートリッジヒータを装填してある。

ボンディングツールおよびバックアップツールは、その材質が析出硬化型耐食ステンレス鋼で、H_RC40以上の焼入れを行い、傷がつかないように硬度を上げている。ボンディングツールおよびバックアップツールに傷が入ると、その部分にTCP接続不良が発生するためである。ボンディングツールの先端およびバックアップツールの先端は、JISの中心線平均あらさRaで0.2 μm以下の加工精度に仕上げた。

Fig.8 TCP Bonding unit

4. 熱解析の手順と結果

4.1 従来の熱解析技術

従来の熱解析では、ボンディングツール部のみを取り出して、FEMによる熱伝導・熱応力解析を行った。ボンディングツールの平坦度を調整するねじなどの隣接部品への熱伝導と放射伝熱は考慮されていない。さらに、表面から空気への対流熱伝達も簡略計算で求めて与えているが、空気の流れを解析していない。このために、限定された状況での解析であり、精度は必ずしも十分ではなく、熱解析データと測定データの比較評価を行って、相違を踏まえた上で熱解析データを適用する必要があった。

4.2 熱解析の精度向上

第1報のFEMによる熱伝導・熱応力解析は、解析対象となる領域をメッシュ分割し、節点と要素を生成する。その後、境界条件を与えるが、熱伝導解析では要素の発熱量または温度を加えて空気と接する要素の面には、別途手計算で求めた熱伝達率を加える。対称モデルでは対称面に断熱の条件を与える。熱応力解析による熱変形を求めるときには、境界条件として対称面に変位拘束条件を与える。熱応力解析では熱伝導解析で求めた各節点の温度を引用する。この熱伝導・熱応力解析では、周囲の空気の流れと放射伝熱を解析に入れることは困難であった。

これを解決したのが、有限体積法FVM(Finite Volume Method)による熱・流れ解析である。

この解析手段は、隣接部品を解析モデルに含めることが可能である。熱伝導だけではなく、周囲の空気の流れも解析するこ

とで流れに即した対流熱伝達も盛り込み、さらに放射伝熱も解析の対象にした。高温の場合、放射伝熱が解析結果と実際の測定値で大きな相違があり、放射伝熱を無視できないことも確認した。

4.3 ボンディングツール周辺の熱解析のモデル化

開発対象のTCP本圧着装置について、熱・流れ解析を適用した。図9はボンディングツール、ヒータブロックとツール固定ブロックと、さらにはボンディングツールの平坦度を調整する平坦度調整機構も含めた解析モデルを示す。

Fig.9 Analytical model of heat and flow around bonding tool

解析対象は左右対称なので、解析モデルは中心から半分とした。カートリッジヒータは、上下方向の配置で合計9本（解析モデルでは4.5本）である。実際の装置では、カートリッジヒータ付近に埋め込んだ熱電対で温度を測定して、一定温度になるようにヒータをON-OFF制御した。

この解析モデルは、熱電対の位置が350℃になるような設定した。各部品にはそれぞれの材料の熱伝導率を与え、解析モデルの対称面は断熱の条件を与えた。周囲の空気の流れも解くために、解析領域にはボンディングツール周辺の空気も含まれている。ボンディングツールと空気の境界部分は、空気が自由に入出力できる条件を与えた。上下方向の下向きに重力加速度が加わり、ヒータの発熱により周りの空気の温度が上昇して、密度差と重力加速度により、自然対流が発生する。空気の流れを解析することで、発熱部分の流速を求めて対流による熱伝達率を計算する。

各部品の表面からは放射による熱伝達があり、各部品間の形態係数と、各部品間および解析領域境界の放射伝熱の夫々を計算する。放射率³⁾は指定するのであるが、表面状態によって異なり金属の光沢面では0.1程度であるが、ヒータブロック周辺では、高温度になるので酸化されて0.6~0.8程度になる。

以上の解析モデルからメッシュ分割を行って解析する。第1報で述べた熱伝導解析では、熱伝導する固体領域のみが解析領域である。これに対して熱・流れ解析の場合は、周囲の空間領域も解析対象になるため、流れの部分はメッシュを細かくする必要がある。メッシュ数は格段に増大し、図9の場合でメッシュ数は約50,000となる。また、変数も熱伝導解析では温度だけであるのに対して、熱・流れ解析では温度とX,Y,Z方向の速度と圧力の5変数に増える。熱・流れ解析は精度の向上が見込まれるが計算量としては大幅に多くなる。

図10は、ヒータ本数が9本の場合の解析結果で、ボンディングヘッド正面と側面の温度分布を示す。正面の断面位置は側面の平坦度調整ねじの中心位置を表したものである。

Fig.10 Temperature distribution on front and side faces of bonding head with nine heaters

図10の温度分布から周囲温度は20℃で、カートリッジヒータの部分で最も温度が高く370℃となっている。TCPを実装するボンディングツール先端は、約280℃である。平坦度を調整するねじを通して熱伝導があるため、カートリッジヒータから離れた固定ブロックでも約170℃の温度となっている。固定ブロックの放射も考慮すると、固定ブロックや平坦度を調整するねじは、解析上、無視できないことがわかる。

なお、図10の温度分布は、おおまかな温度を掴むもので、温度の絶対値は座標指定と計算で、その部分の値を得る。

ボンディングツール先端の各部の温度は、設定温度280℃に対して仕様値の±5℃以内に収まっていた。この仕様値±5℃はACFが安定して硬化する温度の許容範囲で第1報に詳述した。

この解析モデルはカートリッジヒータの本数が全体で9本であるが、ボンディングツール先端の温度のバラツキは小さいため、本数を減らせることが予測される。さらに本数を2本減らして解析を行ったところボンディングツール先端の温度のばらつきは、仕様値の±5℃に入っていたため、カートリッジヒータは7本に決定した。解析後、実験機を製作し、温度のばらつきを測定したところ、ボンディングツールの長手方向でレンジ4.0℃であった。このように設計段階で、必要最低限のカートリッジヒータの本数を同定することが可能となった。図11にヒータ9本を7本にした熱・流れ解析結果の温度分布を示す。

Fig.11 Temperature distribution of heat and flow analysis with 7 heaters instead of 9 heaters

4.4 ボンディングツール周辺の温度均一性確認

TCPを液晶基板に本圧着する際、ボンディングツールの加熱・荷重を受けるために、液晶基板の下にバックアップツールを設置してある。ボンディングツールの熱がTCP～ACF～液晶基板を伝わって温度が低下するので、バックアップツールにもカートリッジヒータを入れて補助加熱する。

ACFの接着剤を硬化する温度は、185℃±5℃であることを第1報で述べた。ACFの部分はこの温度にするためには、ボンディングツール先端の温度が280℃、バックアップツールの先端で60℃が必要なことを実験で掴んでいる。

バックアップツール単体の温度のばらつきを実験ユニットで検証した。図12にバックアップツールの構造図を、図13にバックアップツール先端の温度を計測した結果を示す。バックアップツール先端の温度は、通常の設定温度60℃のほかに、上下に20℃変化させ、その状態の温度のばらつき量も取得した、各設定温度で温度のばらつきは、3.4～4.6℃であった。

この温度のばらつきが、TCP本圧着時にどのように影響するかバックアップツールを含めて総合的な熱解析を行った。

Fig.12 Structure of back-up tool

Fig.13 Measured temperatures around the back-up unit

4.5 TCP本圧着時の熱・流れ解析モデル

TCPを本圧着する際の全ての構成部品を解析モデルに入れた。構成部品は、ボンディングツール、バックアップツール、液晶基板・TCP・ACFおよびテフロンシートである。ここでテフロンシートの使用目的は、TCPを本圧着する際、ACFの接着剤がボンディングツールに付着しないようにしたものである。

ACFは厚さが、0.02mm、テフロンシートは0.08mmと薄く、この寸法のままモデル化するのは困難なので、0.5mmに厚くして熱伝導が等価になるように熱伝導率を小さくした。加熱部全体の解析モデルを図14に示す。加熱部全体の熱・流れ解析の温度分布を図15に、本圧着部周辺の温度分布を図16に示す。

Fig.14 Analytical model of entire heating section heat and flow

Fig.15 Temperature distribution of entire heating section

Fig.16 Temperature distribution of finally crimped

ACFの温度を185℃にするためにカートリッジヒータの温度を熱・流れ解析したところ、図15と図16の解析結果が得られた。これにより、カートリッジヒータは340℃に設定すれば良いことが分った。この熱・流れ解析で、各部位の温度観察が可能となった。これによりACFの接着剤の材質が変わり、硬化温度が変わった場合でも、容易にカートリッジヒータの設定温度を同定できるようになった。

図16の温度分布からは、ボンディングツール先端の熱がテフロンシート、TCP、ACF、液晶基板へ伝搬していることが分る。さらにボンディングツール先端の熱が伝搬し、TCP実装部分に集中していることから、バックアップツールの補助加熱が、有効であることが分った。

4.5 熱・流れ解析の結果

図17にボンディングツール先端の熱・流れ解析と実際に測定した温度の結果を示す。ボンディングツールは対象なので、中心から半分のみを熱・流れ解析した。

熱・流れ解析データと実際に測定したデータは、両者とも温度プロファイルは近似しており、温度差は1℃以内に入っていた。図7で示したFEMに比較して、解析精度は8℃から1℃へと著しく向上した。また、放熱フィンを使用しなくても、従来のボンディングヘッドと、ほぼ同一の温度ばらつき4.0℃に収めることができた。

最後にバックアップツールの温度のばらつきが、ボンディングツールにどのように影響するか考察した。バックアップツール単体の温度のばらつきが3.4～4.6℃で、ボンディングツール単体のそれは項目4.3から4.0℃であった。図17の総合的な温度のばらつき4.0℃から、バックアップツールの温度のばらつきが、そのままボンディングヘッドへは影響していない。これは、バックアップツールとボンディングツールで温度差が大きく、

ボンディングツール側が高温で支配的なためと判断した。

Fig.17 Analytical and measured temperatures around the tip of bonding tool

5. 結 論

TCP本圧着工程で使用するボンディングツールの温度の均一化を図るため、熱解析技術について研究した。

従来、FEMを利用し、熱伝導を中心に解析を行ってきたが、解析結果と測定データに乖離があった。今回、FVMを利用し、熱伝導に加え隣接部品や空気の流れも解析できる熱・流れ解析を構築した。この解析技術は、今後さらに大型化する液晶ディスプレイのボンディングツール開発に適用可能である。

得られた成果を以下に記述する。

- (1) FVMと機構開発で、放熱フィンによる温度の均一化を図る工程を排除すると同時に放熱フィンそのものを排除した。
- (2) 熱・流れ解析によるボンディングツールの熱解析手段を構築した。従来のFEMに比較してFVMを適用した熱解析は解析精度として、温度のばらつきを8℃から1℃以内とした。これにより、ボンディングツールは、開発段階で温度の均一性が同定可能となった。

参 考 文 献

- 1) 玉井 光一「TCP Outer Lead Bonder for Liquid Crystal Displays」Technique, Toshiba Review, Vol.48, No.2, pp.123-126 Japan (1993)
- 2) 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)
- 3) 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) 第1回ヨーロッパ・アジア メカトロニクス会議(1996)
- 4) 玉井 光一「High-Accuracy Outer Lead Bonding Technique」Technique, Toshiba Review, Vol.45, No.4, pp.325-328 Japan (1990)
- 5) 高林 弘徳「Development of high accuracy and high productivity TCP bonding system for LCDs」
- 6) 鈴木 正広「Fully Automated OLB System for LCDs」Technique, Toshiba Review, Vol.50, No.10, pp.787-790 Japan (1995)
- 7) 鈴木 正広「High-Precision and High-Speed Outer Lead Bonding System」Technique, Toshiba Review, Vol.51, No.10, pp.63-66 Japan (1996)
- 8) 伝熱工学, 日本機械学会, pp.184-185