

異方導電フィルム アニソルムの開発小史

Development History of the Anisotropic Conductive Film ANISOLM



表示材料事業部門 塚越 功 *Isao Tsukagoshi*

異方導電フィルムアニソルムは、導電粒子を分散したテープ状接着剤であり、加熱加圧により、面方向の絶縁性を保持したまま厚み方向に導電性を示す微細回路の一括接続材料である。アニソルムは、液晶ディスプレイ（LCD）のマトリックス表示創成期の1984年に量産開始され、以後LCDの開発動向に合致する必須の接続材料として、今や市場規模3兆円を越すまでに成長したLCDの市場拡大に寄与してきた。最近では、LCD以外の新方式の表示体や、半導体チップと基板との電極接続にも多用され、また環境に優しい材料としても使用されるなど、さらなる将来性が注目されている。本稿では、アニソルム誕生の発端部分を中心とした開発経緯と今後の展望について述べる。

Anisotropic conductive film (ACF) is an adhesive tape with dispersed conductive particles. It is used as a connection material for very fine circuits. With the application of heat and pressure, it adheres and electrically connects confronting circuits, maintaining insulation between adjoining circuits. ACF was first put to practical use in 1984, the beginning of matrix liquid crystal display (LCD) development. It continues to be an essential connection material, meeting the changing needs of LCD development. It has greatly contributed to the development of the LCD market, whose size exceeds 3 trillion yen. Today, ACF is used in such applications as new style displays besides LCDs and for the electrode connection of semiconductor chips and substrates. It is further expected to be valued as an environment-friendly material. In this paper, we will review the development of our ACF, ANISOLM, focusing on the initial stage and present our future expectations.

〔1〕 緒言

液晶ディスプレイ（LCD）は、今日の情報化社会を支える必須アイテムであり、2002年の市場規模は3兆円を越すまでに成長している¹⁾。当社の異方導電フィルム（ACF）アニソルム（当社登録商標）は、LCDなどの回路接続に必須の材料であり、LCDの市場拡大に大きく寄与してきた。

アニソルムは図1に示すように、導電粒子を分散したテ

ープ状接着剤であり、微細な多数の高密度回路の同時一括接続が可能で、LCDなどの回路接続に必須の接続材料として、パソコンなどに広く適用されている。この場合、接続ピッチは例えば40μm（25本/mm）という微細回路であり、接続数が3,000～4,000点の多数回路の接続が行われている。アニソルムは図2のように、接続すべき回路間に挟み、加熱加圧することで、対抗回路間の導電性と、隣接回路間の絶縁性を発現させ、かつ両基板を接着するもので、多数の高密度回路の一

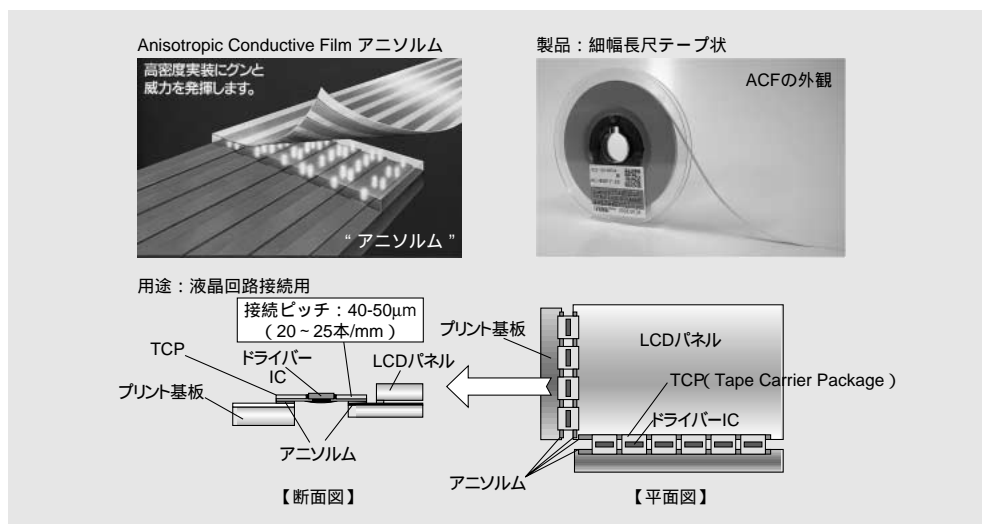


図1 アニソルムの概要 アニソルムは微細配線の接続材料で、高密度実装に威力を発揮するテープ状接着剤である。その用途は、液晶回路の接続が主で、25本/mmといった細かな回路の接続が行われる場合がある。

Fig. 1 Basic Features of ANISOLM
ANISOLM is an electrical connection material for very fine circuits and is a tape-like adhesive suitable for high-density packaging. It is mainly used for the connection of liquid crystal circuits. The circuits can be as fine as 25 electrodes/mm.

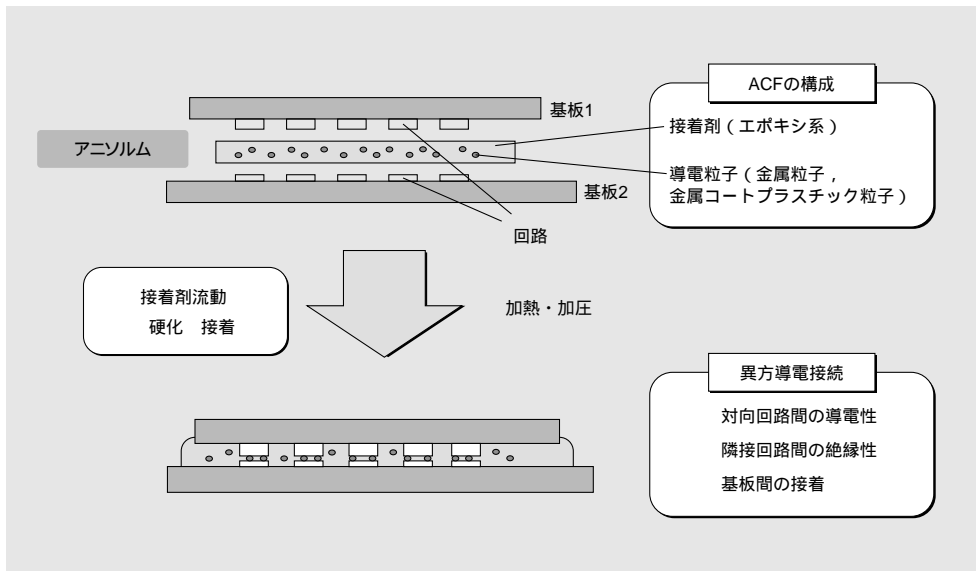


図2 ANISOLMによる回路接続原理
 ANISOLMは接着剤中に導電粒子を分散した構成であり、接続回路間で加熱加圧することによって異方導電接続が得られ、高精度な多数の回路の一括接続が可能である。

Fig. 2 Circuit connection with ANISOLM
 ANISOLM is an adhesive film with dispersed conductive particles. Anisotropic conductive connection is made possible by applying heat and pressure to the ANISOLM between confronting connection terminals. With ANISOLM, it is possible to connect a large number of very fine circuits at one time.

括同時接続を可能とするものである²⁾。

アニソルムは、LCDの本格的な実用化開始の1983年に産声を上げ、1984年の上市³⁾以来20年目になった。最近では韓国、中国、台湾地域などの海外顧客を中心に市場も急激に拡大して輸出比率も高い。アニソルムが実用化された当初のLCDは、数値表示のセグメント方式から、各画素で画面を表示するマトリクス表示の創成期にあり、多数の微細な回路の接続が必要、液晶の低耐熱性に対応した低温接続の要求、さらにガラス基板上の透明回路の接続にはんだを用いることができないなどの課題があった。アニソルムは、これらの課題を解決する材料として誕生し、ノートパソコンに代表されるLCDの高精細化、カラー化、大型化、薄型化などの開発動向に合致する接続材料として、LCDの伸長(図3)とともに大きく成長し、グローバルスタンダード化してきた。また最近では、LCD以外のPDP(Plasma Display Panel)やEL(Electroluminescence)などの新方式の表示体や、半導体チップと基板との電極接続⁴⁾にも多用されている。アニソルムはまた、低温接続や鉛フリーなどが可能な、環境に優しい材料としても使用される⁵⁾など、さらなる将来性が注目されている。

そのような状況下で、アニソルム開発関係者にとって特にこの1年は、平成14年度高分子学会賞⁶⁾や、平成15年度全国発明表彰の内閣総理大臣賞⁷⁾の受賞など、記念すべき年となり、学術と事業の両面で成功した理想的な例といった評価をちょうだいできるようになった。また、アニソルムの開発当初の歴史を知る人も定年退社などで少なくなり、多くの方々から開発当初の苦労話をまとめるようにとの要望も多い。

そこで当初からの開発関係者の一人として、また、研究所から工場開発部そして事業部門と、関連職場をアニソルムでお世話になってきた筆者の責務として、独り善がり承知で本誌編集委員会の強い勧めにこたえることにして本稿をまとめた。なお本誌の性格上、技術の流れを中心に据え、従来紹

と

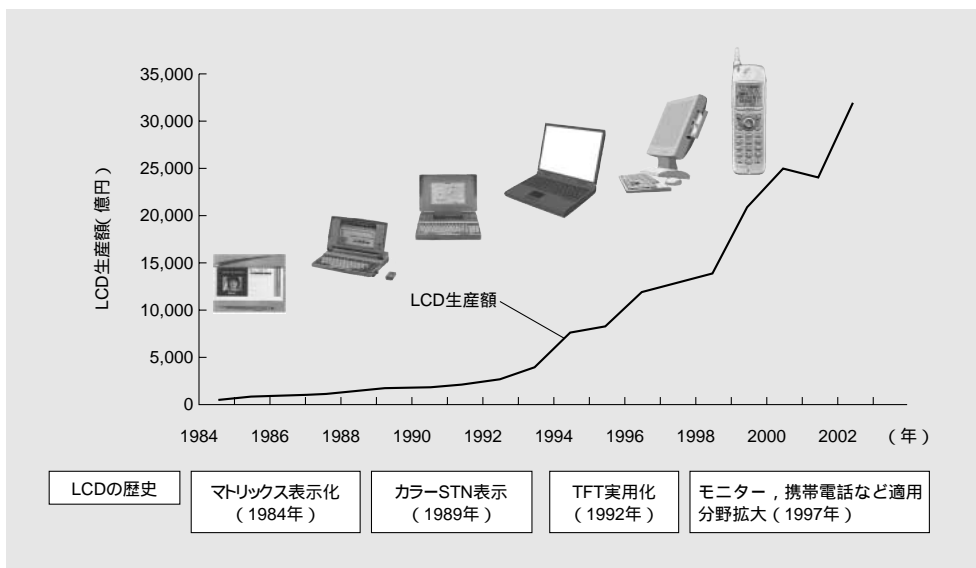


図3 LCDの歴史と生産額推移 LCDは今日の情報化社会を支える必須アイテムとして大きく成長している。アニソルムの上市は、LCDのマトリクス表示開始時期の1984年である。

Fig. 3 History of LCDs and change in production level

LCDs are indispensable items in today's IT society. ANISOLM was put on the market in 1984, the beginning of matrix LCD development.

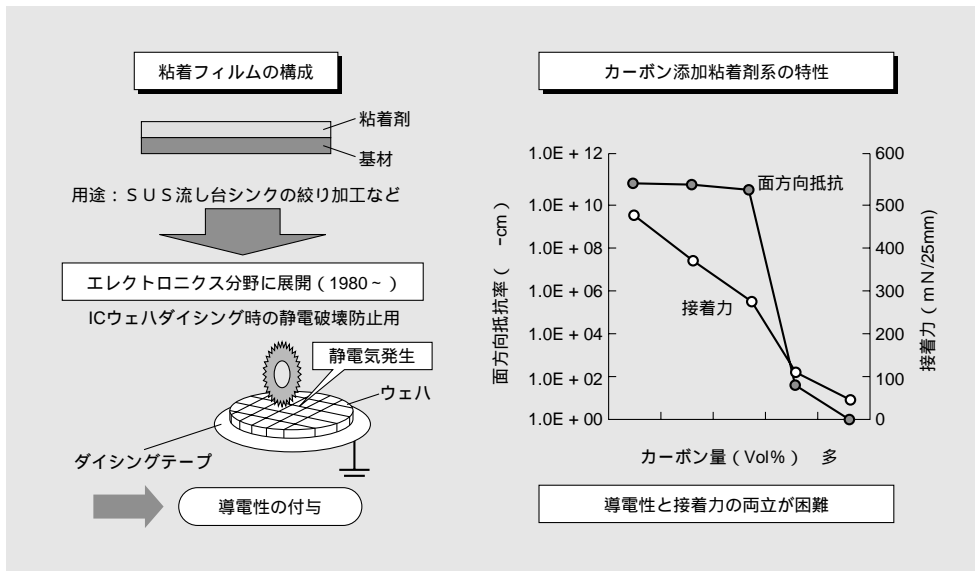


図4 粘着フィルムへの導電性付与
異方導電技術の発端は、粘着フィルムへの導電性付与の検討がきっかけである。粘着剤に導電性カーボンを最適添加し、導電性と接着力の両立を図るのは困難であった。

Fig. 4 Addition of conductivity to adhesive film

Addition of conductivity to adhesive film led to the first anisotropic conductive technology. It was difficult to attain both good conductivity and adhesive strength by adding the optimal amount of conductive carbon to adhesives.

介の少なかった発端部分^{8) - 10)}を中心に、エピソードや記憶に残っている印象的な言葉などを取り上げて挿入した。アニソルムは当然のことながら、研究開発、生産技術、製造、品質保証、生産管理、事業部、営業など、多くの方々の熱意により事業として成功したといえるものである。当社関係者の個人名は、引用文献などになるべく全員の名前を記して、アニソルムとのかかわりを記載するようにしたが、研究開発以外についてはもちろんのこと、決して十分でないことをお断りしておく。

〔2〕 異方導電現象の把握

我々は1980年ごろ、粘着フィルムの高機能化の一つとして導電性の付与を検討していた。開発過程で、導電性粘着フィルムが面方向に絶縁性を保持したまま、厚み方向に導電性を示す異方導電性を有することを見いだした。その用途探索の中で、この技術がLCDのガラス基板の回路と駆動ICを実装した基板との接続に有用であることがわかった。

2.1 発端

当社の下館研究所において我々は、金属板などの加工や運搬時における表面を保護するヒタレックス粘着フィルムの研究開発を行っていた。粘着フィルムは、ポリエチレンなどの基材フィルムにアクリル系やその他合成ゴムなどの粘着剤を塗布して構成したものである。この研究グループは、接着力の剥（はく）離速度依存性や剥離の理論式、臨界面張力との関係など、理論的な解明を行いながら、その結果を新製品に反映させており、また何でも挑戦する開発精神と特許マインドの高い職場であった。そのため、筆者は基礎知識の習得や、その後の企業人としての基本的な姿勢を学ぶことができた。

そんな状況下で1980年ごろ、粘着フィルムを従来の適用分野である工業材料からエレクトロニクス分野に進出させることになり、チップ搬送用やICウエハのフルカット用などの検討を進めた¹¹⁾。「粘着フィルムはナワムシロ製品（包装材、使ったら捨てる材料の意）」との幹部の屈辱的発言に燃えて、

エレクトロニクス分野に展開したと、当時の開発責任者から伺ったことがある。

この中で図4に示すように、ICウエハのフルカット用粘着フィルム（現在のダイシングテープ）についての顧客との打ち合わせの過程で、切断時に発生する静電気をアースして逃がすため導電性にしたいとの要望があった。そこで粘着剤にカーボンを添加して特性を調べた結果、導電性はカーボンの添加量がある程度を超えると急激に向上するが、接着力は添加量に比例して低下し、導電性と接着力の両立が困難なことがわかった。これは塵埃（じんあい）が付着した粘着テープの接着力が低下するのと同じことで、身近に感じる現象である。そこで接着力を維持したまま導電性を付与するために、導電性基材との複合を検討することにした。

2.2 異方導電性の発現

絶縁性の基材上に、カーボンの添加量が少量で接着力の低下がない接着剤層を形成した場合は面方向の抵抗は高い。次にこのものを導電性基材（銅箔（はく））に形成して抵抗を測定したところ、図5に示すように面方向の抵抗は急激に低下する。この現象は、接着剤の厚み方向に導電性があり、導電性基材を経由して両電極間に電流が流れたことを示すと考え、面方向と厚み方向の抵抗を分離して測定した。影響が強いと考えられる導電粒子の種類や粒径、添加量を変えて測定した結果、面方向と厚み方向の抵抗に異方性があることを見いだした。粒径がフィルム厚みに近いと異方性の効果が大きくなる傾向が見られた。

この過程で議論となったのが、導電粒子は表面が絶縁体である接着剤樹脂で覆われているのになぜ、厚み方向の導電性が発現するかという点であった。導電粒子は絶縁性の接着剤に分散し、接着剤の厚みに比べて導電粒子の粒径が小さいことから、当初は作製工程において、溶剤で希釈された接着剤が基材フィルム上で乾燥されるとき、溶剤の揮発により、厚み方向にのみ体積が収縮し、導電粒子の接近が得られることでトンネル効果などによって導電性が発現するものと考え、この証明写真を撮るために接着剤断面研磨に苦労した。結局、

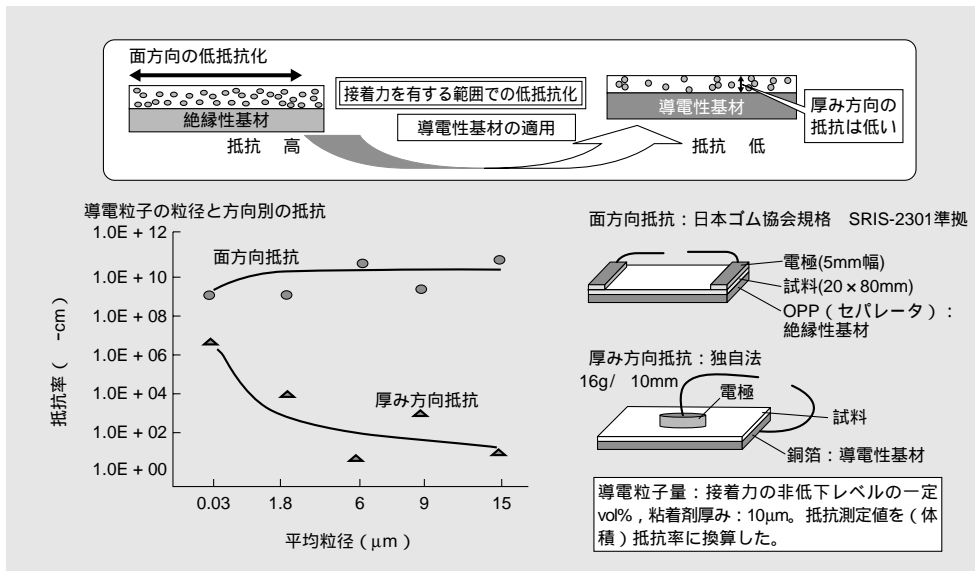


図5 厚み方向の導電性発現と異方導電性 導電性基材に接着剤層を形成した場合は、面方向の抵抗は大きく低下する。粘着剤の厚みに対して導電粒子の粒径がある値以上になると、異方導電性が発現し、厚み方向の抵抗が著しく減少する。

Fig. 5 Conductivity in vertical direction and anisotropic conductivity

The use of adhesive film with conductive particles, on a conductive substrate greatly reduces resistance in the horizontal direction. Anisotropy in conductivity develops when the size of the conductive particles in the adhesive exceeds a critical value depending on the thickness of the adhesive layer. This results in significant reduction in the resistance in the vertical direction.

図2で述べた接続時の加圧により接着剤が流動排除され、電極との接触が得られるものと結論づけた。厚み方向の抵抗測定の際に、接触圧程度であり、加圧されていたことが、厚み方向に導電性の発現した理由であった。

当時は主に粘着剤(感圧性接着剤ともいう)で検討しており、接触圧程度の軽い圧力で張り付けて接着力を測定したため、導電粒子の添加により、接着力が低下する現象を高感度で把握できた。また面方向の抵抗測定は、日本ゴム協会法による体積抵抗の測定方法を参考にして電極形成の際に粘着性を利用して張り付けてクリップで固定して行ったが、このことが厚み方向の抵抗測定を含むものであり、導電性基材との複合を考えるきっかけとなった。さらに厚み方向の抵抗測定は、研究所内のほかのグループで銅箔に接着剤を形成することを日常的に行っており、身近に見聞していたので比較的簡単に独自法を考案できたなど、異方導電現象の把握に好都合な条件と環境が備わっており、まさに幸運であった。

そこで、異方導電性の現象を活用して、当初の目的の導電性ダイシングテープについては、導電性PVCフィルムを基材とし、導電性カーボンを添加した粘着剤の構成として目標仕様を達成¹²⁾したが、顧客は別の方法を採用(1982年7月)したため製品化に至らなかった。そこで、これらの検討過程で得た知見を元に、次項で述べる用途探索の調査を進めることにした。なお、ダイシングの知見と粘着フィルムの有する接着力の剥離速度依存性の検討から、ダイシング時とその後のチップ剥離時の速度に対する接着力を考慮したダイシングテープ¹³⁾を製品化した。またこれらの過程で得た半導体用途に関する知見は、後述するアニソルムの展開¹⁴⁾に活用できた。

2.3 用途調査

接着剤と基材の構成を表1に示すように組み合わせる市場調査を行った。構成の中で接着剤は、常温で簡単に接着可能であるが低い接着力の感圧性のもので、加熱が必要であるが接着後の凝集力が高く永久接着が可能な感熱性のもを用い

表1 構成の異なる導電性粘着・接着フィルムの市場調査結果 電極接続用を想定した、感熱タイプの導電性接着フィルムに対するニーズが大きかった。この構成がACFの原点となり、用途はLCD回路接続用であった。

Table 1 Results of the market survey on conductive adhesive films with different structures

The greatest demand was for hot-melt type conductive adhesive films for electrode connection. This started our research on ACF; the immediate application was to LCD circuit connection.

接着剤	基 材	構 成	用 途	結 果
感圧性 (粘着剤)	導 電		静電破壊防止 電磁波シールド	TFTシールドテープ用で 実用化
	絶縁 (セパレータ)		LED発光検査 (両面粘着)	特性不十分(抵抗)
感熱性 (ホットメルト)	導 電		なし	なし
	絶縁 (セパレータ)		電極接続 (はんだ代替)	LCD回路接続用に有用 (ACF)

た。また基材は、導電性の基材を用いて接着剤と複合して面方向に導電性を付与するものと、使用時にセパレータを剥離して接着剤の厚み方向の導電性を有するものを準備した。調査は、想定される用途から訪問先を選定した。その際、その他の用途についても併せて説明し、顧客の反応を伺うようにした。

最終的には、セパレータ上に導電粒子を分散した感熱性接着剤を構成し、はんだ代替の電極接続用を想定した構成が、回路接続用として顧客の関心と呼び、現在のアニソルムの基本構成を得た。顧客の関心は異常なほど大きく、現在もLCD業界の大手としてご活躍の2社が、2週間程度の間で相次いで量産化着手の要請に当社にお見え（1983年8月ごろ）になったことが記憶に新しい。顧客ニーズと当社の市場調査サンプルが、まさに偶然にも一致した出来事であった。なお電磁波シールド用は直接的なニーズに結びつかなかったが、その考え方の提示が顧客の考えていた用途への着想の源になったものと見られ、技術サービスなどでの顧客との接し方の教訓を得た。

しかしながら、当時は導電性粘着フィルムの実用化の見通しはないとの判断もあり、筆者は1983年9月より別の研究テーマに移行の予定であった。ちょうどそのころ、顧客から具体的な要求をいただくようになり、新テーマに深入りする前に従来テーマを担当することができ、この点でもタイミングの偶然に感謝している。なおほかの構成についても、粗化銅箔への粘着剤の形成¹⁵⁾はLCD製造時に発生する静電気除去用

テープとして、また導電性付与層を下地とし、接着性付与層を表層とする2層構成¹⁶⁾の考え方は、後述する高分解能を得るための2層構成アニソルムとして後に実用化された。

〔3〕 LCD用途の開拓と事業化

顧客からの量産化の要請は極めて強かったが、一方で工場関係者からは、「市場も明らかでない」あるいは「当社は絶縁物工場なので導電粒子のような微粒子の持ち込みは環境低下を招くので許されない」といった意見もあった。また、製造に関してはまさに実験室の技術レベルであり、この用途がどのようなものかもわからない状態で、量産化は困難な状況にあった。そこで回路接続用途について、実験室レベルのサンプルで改良を含めた顧客対応を行いながら、市場の動向調査を進めることになった。合わせて技術的には、用途を意識しての評価や先行技術の調査を進めながら、工場関係者とともに量産立ち上げを目指した。

3.1 回路接続用としての評価

当初は量産要請のあった2社からも、最終用途は教えていただけない状態であったが、回路接続用とのことだったので、**図6**のような、評価用FPC（Flexible Print Circuit）を作製し、回路接続用としての用途を意識して異方導電現象の詳細を把握した。この作製には、我々の研究所と同一敷地内にFPC部門があり、その協力が得られてありがたかった。その結果、導電粒子の大きさ、形状、添加量、および分散状態の調節などと異方導電性の関係を把握することができた。**図6**では導

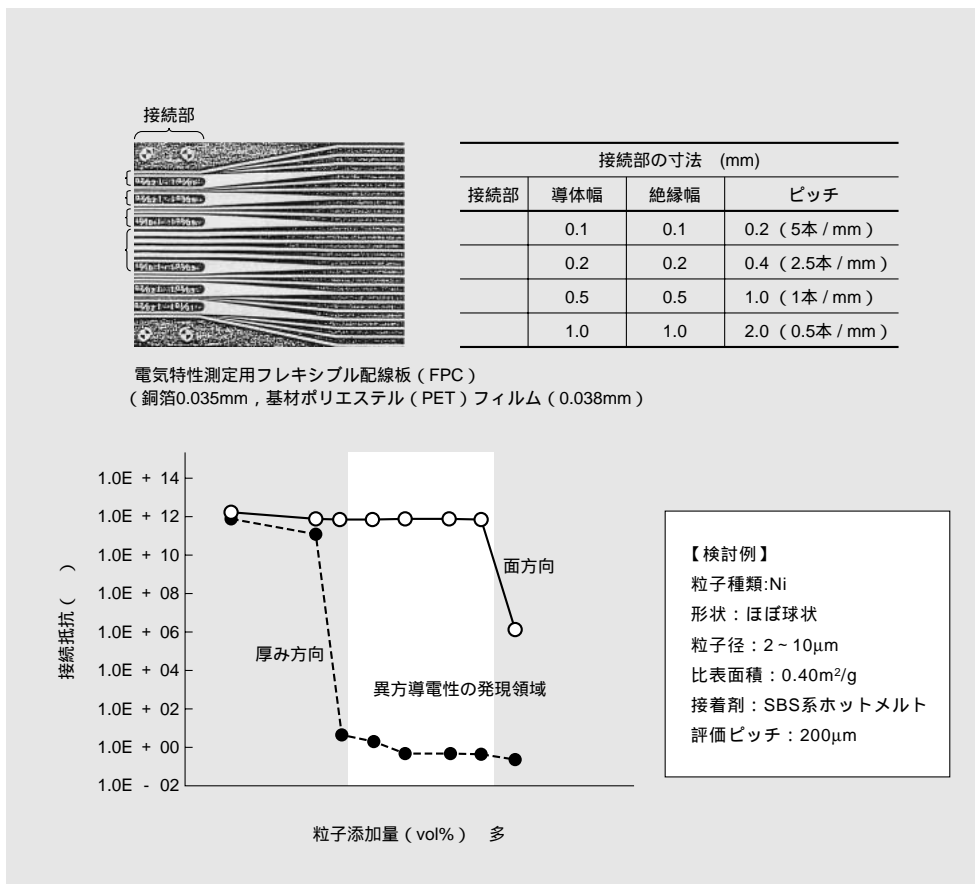


図6 評価用FPCと回路接続用としての評価 評価用FPCの接続部同士をアニソルムで接続し、接続抵抗を測定して、異方導電性を明白に発現する粒子添加量の最適領域を明らかにした。

Fig. 6 Sample FPC and evaluation of circuit connection

By connecting confronting terminal parts of two FPC samples with ANISOLM and measuring the resistance of each connection, the optimal conductive particle quantity range was determined in which distinct anisotropic conductivity is attained.

総 説

電性以外の結果は略すが、接着力、透明性などの目標仕様を満足した。なお当時は分解能が5本/mmの回路の評価用FPCを入手することが技術的に困難なレベルにあり、また画像解析装置も開発の初期段階で良い装置がなく、フィルム中の導電粒子のカウントや凝集粒子の大きさで判定したので、分解能の評価に大変な労力を要した。

当方のデータや顧客との打ち合わせを通じて、本製品の特長は表2にあることが、徐々に明らかになってきた。また最終用途は、大きな伸長が期待されるLCDの回路接続用であることがわかった。表2のいずれの項目も、フィルム状である製品形態がよく特長として生かされ、粘着性による仮固定性については発端である粘着フィルムの経験が生きている。サンプルとともにこれらの特長をほかの顧客にもPRして市場調

表2 異方導電フィルムの特長（1983年当時） 異方導電フィルムの特長は、加熱加圧による一括接続により高分解能な接続が得られ、フィルム状なので透明性及粘着性により接続作業性が向上する。

Table 2 Features of ACF in 1983

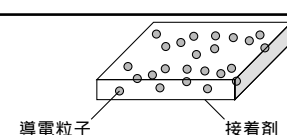
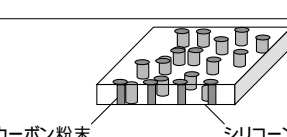
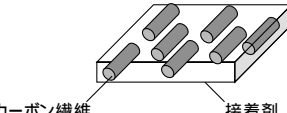
Many highly resolved fine and compact connections can be obtained at one time only by applying heat and pressure to ACF. The transparent and adhesive features of continuous, thin ACF enables a fully automated connection process.

項目	特長
加熱加圧による一括接続	接続後の保持が原則不要
フィルム状	薄い接続、連続テープ状可能（自動化容易）
高分解能	5本/mmの接続可能
透明性	電極の位置合わせ容易
粘着性	仮圧着での固定容易

表3 従来技術との比較（1983年当時） 従来の異方導電材料は、対応ピッチ500μm以上で、透明性に欠け回路の位置合わせ性に劣った。開発中のLCDマトリックス表示ではさらに微細な接続が必要であり、アニソルムはこれらの課題を解決した。

Table 3 Comparison with other technologies in 1983

Conventional anisotropic conductivity materials could be used to connect circuits of more than 500μm pitch and were inferior in transparency and circuit positioning ability. Matrix LCDs under development required finer-pitch connection. Finally ANISOLM resolved such problems.

接続材料	接続方法	ガラス電極への接着性	対応ピッチ (μm)	透明性
 <p>アニソルム</p> <p>導電粒子 接着剤</p>	接 着	あり	<200、XY方向 (5本/mm)	あり
<p>従来例 1</p> <p>はんだ</p>	溶 融	なし	> 500 (2本/mm)	なし
 <p>従来例 2 (ゴムコネクタ)</p> <p>カーボン粉末 シリコンゴム</p>	圧 接 (クランプ)	なし	> 500 (2本/mm)	なし
 <p>従来例 3</p> <p>カーボン繊維 接着剤</p>	接 着	あり	800、X方向のみ (1.2本/mm)	なし

査を進めた。

3.2 先行技術調査

市場調査を通じて顧客からの手ごたえが大きかったため特許戦略が重要と考え、特許関連部門の協力も仰いで、LCD用途への応用を意識して先行技術や特許について、検索などにより調査を行った。

まず、当時の先行技術としては表3に示すように、ガラス基板上の透明回路がはんだを用いることができないので、いわゆるゴムコネクタと呼ばれる導電材料を厚み方向に配列したものが用いられていた¹⁷⁾が、接着機能がなく別途固定手段が必要であった。また、接着剤を用いる点でアニソルムに比較的近いものとして、カーボンファイバーを配向させて配向方向に沿って回路を接続するものがあり、繊維が隣接電極にまたがらないようにして分解能を得ており、短冊状に切断した製品形態（例えば40mm×3mm）であった¹⁸⁻¹⁹⁾。当時のLCDの主用途は電卓用であり、接続ピッチは500μm以上でも対応可能であったが、マトリックス表示ではさらに微細で多数本の回路接続が必要とされた。アニソルムは、これらの先行技術の課題を解決できる位置付けにあることがわかった。

特許調査の結果、異方導電フィルムや異方導電接着剤による電極接続の基本的な考えは、1975年代初期の公開公報^{20)・23)}などによりすでに公知であったが²⁾、これらのほとんどは権利化されておらず、一部の権利化の可能性あるものも、当社の開発技術は回避可能と判断した。そこで当社の出願方針は、LCD用途に合わせ込む形で生産プロセスのメリットも含めて、幅広い権利化を進めることにした。

3.3 事業化

以上の市場調査や先行技術調査の結果、市場の拡大が期待でき技術的にも対応可能なことから量産化を決定し、LCDの

実用化が始まってまもない1984年4月に、現在のACFの形態である導電粒子を分散した細幅長尺のテープ状接着剤として、世界で初めて実用化に成功した。

製品化にあたっては、粘着フィルムで培ったフィルム基材への接着剤層形成技術や、テープのスリット技術が役立ち、製造は比較的短期でスムーズに立ち上がった。品質保証についても、関係者が一丸となって未経験の領域を切り開き、信頼性評価法、抵抗測定法とその自動化、および導電粒子密度や凝集粒子の判定法などの、新評価法を開発した。接着剤の形成技術は、その後の熱硬化性やリペア性の付与などで困難度が増したが、「他所でできないことをやるから差別化できるのだ」という製造や生産技術部門の強い信念と技術で、次々と克服していただいた。また、「この製品は輸出が期待できる製品だ。頑張っ欲しい」と20年前に現在の姿を予見された当時の研究開発部門の幹部が懐かしい。なお当社の特許出願は、材料のほかに接続装置や接続方法といった周辺まで網羅する形で推進した^{24)~26)}。

またお客さまの担当者は「このサンプルは自分で絶対使いこなすのだ」という姿勢で、打ち合わせの前面に出てこられ感心した。若い担当者がメーカーとの交渉や試験評価を積極的に進める姿は、当時の筆者にとって新鮮であった。さらにお客さまの責任者から、「当社は10%の成功確立でも手を出す」、「どうぞ当社をテスト台にしてください」、「どんなに実験を重ねても新材料の導入には不安が残る。決断時には材料メーカーの開発責任者の顔が浮かぶ」などの、温かい励ましの言葉があったと、開発や営業の関係者から聞いている。

〔4〕 特性向上と用途展開

アニソルム立ち上げ後の製品開発は、テクニカルレポートなどで公表^{27)~40)}されているので、以下簡単に大きな技術の流れを記す。なお、アニソルムの技術は実装方法の変革^{41)~42)}がからむものの、信頼性を維持して分解能や生産性をいかに

表4 接着剤による信頼性向上 接着剤に要求される特性を、基本的なものと、熱硬化系特有なものに分けて示した。

Table 4 Improvement in reliability by adhesives

Shown separately are the basic requirements for general adhesives and the requirements specific to thermosetting adhesives.

特性	目的	備考
1.厚み	電極間スペースの充填(てん)厚すぎると導電粒子の接触界面に接着剤が残り信頼性低下	基本的 要求特性
2.粘着性	電極へのアニソルムの仮圧着性、電極同士的位置合わせ	
3.流動性	接続する電極面からの接着剤排除	
4.接着力	環境変化での接着力低下や剥離の防止	
5.イオン性不純物	電極間の電流のリーク防止、電極の腐蝕防止	熱硬化系特有 な要求特性
6.物性	接続電極や基板との熱応力対策(弾性率、熱膨張率)	
7.硬化性	接続条件での硬化反応促進(低温・短時間硬化)	
8.保存性	経時後の特性変化抑制	
9.リワーク性	接続不良部の部品再生	

向上させるかに要約されると考えている。また我々の事業化が進むと他社の参入も始まり、一時は10社を超える規模となったが、結局ほとんどの企業が撤退していった。当社の顧客との信頼関係、顧客プロセスに対する当社品の先行最適化、および当社特許網の形成などが原因になったものと考えている。

4.1 導電粒子と信頼性向上

当初、導電粒子はNiを用い、熱可塑性接着剤との構成で製品化した。接着剤の流動性や粘着性の調整にタッキファイヤ(粘着性付与剤)などを用いたが、粘着技術の延長線上にあり、活用できた。

Ni粒子は、予備評価の段階で入手した各種粒子の評価結果から選定したが、信頼性との関係から、導電粒子と電極との接触面積を大きくすることが非常に重要であった²⁸⁾。そこで、当初品に比べて導電粒子の粒径を小さくして、電極との接触点数を増やすことで接触面積を増加し、信頼性を向上させた。

さらに信頼性向上のため接触面積を増やす手段として、金属めっき樹脂粒子を評価し、採用した。前記Ni粒子の検討過程で、導電粒子を変形可能として接触面積を増やすアイデアは得ており⁴³⁾、そのような粒子を探していたが、研究および工場開発の関係者が同時に、新素材展で原形を見つけてきた。それが金属めっき樹脂粒子であり、高分子核体の表面が導電性の金属薄層で覆われていた。

この粒子開発にあたり、当社の分析カラム用の粒子形成技術と、配線板での無電解めっき技術の関係者に協力いただき、短期に技術を確認することができた⁴⁴⁾。また、金属めっき樹脂粒子系アニソルムの特長である広い温度領域における接続抵抗の安定性を引き出すために、リアルタイム抵抗測定法を開発した。当時は十分な装置もなく、熱衝撃試験時の高・低温度下における接続抵抗を把握するために恒温槽に試料を手で出し入れして徹夜で頑張った同僚の姿が目に見えかけた。

これらの検討により、1987年4月から、アニソルムAC-5000シリーズとして、金属めっき樹脂粒子を用いた系を量産開始した。この系により信頼性の著しい向上が得られ、アニソルムが世の中で認知されるきっかけとなった^{45)~48)}。またこのころから、ACFを用いた顧客からのLCD実装に関連する投稿や発表が多くなってきた^{2)~49)}。社内的にも1988年の本社営業賞を受賞し、全社レベルで存在感をアピールできた。営業関係者は、「トップメーカーに的を絞って開発し、他社より1~2年先行したテーマの提案を受け、開発が成功することで、販売とその他顧客への水平展開を図ることができた。」と述懐している⁵⁰⁾。

4.2 接着剤と信頼性

以上は熱可塑性接着剤による検討であるが、さらに信頼性を向上させるために、耐熱性の向上が期待できる熱硬化性接着剤について開発を進めた。接着剤による信頼性向上は、各種の考慮を必要とするが、その概要を表4²⁹⁾に示した。接着剤の検討においても、当社の配線板や封止材、および各種材料の接着剤技術が身近にあり、その道のプロから助言をいただくなどして大変助けていただいた。また筆者は、アクリル系粘着剤の架橋技術や、その前に担当したFWP(Filament Winding Pipe)におけるエポキシ樹脂や不飽和ポリエステル樹脂の硬化システムを経験しており、これらの接着剤関連の技術を活用できた。

総 説

熱硬化性アニソルムの開発は、20秒以下という短時間硬化と、使用時を考慮した室温2週間の保存性の両立が困難で難航したが、特殊な潜在性硬化剤を見いだしたことで、熱硬化/熱可塑性の混合系と組み合わせることで、リワーク性を有しながらも信頼性が従来に比べて格段に向上した品種を開発した²⁹⁾。また、分解能も10本/mmが可能となった(1989年)。

LCDパネルは高価であり、不具合部を除去して再度接続をやり直す必要があり、最終段階での高い信頼性が要求される。前述の熱可塑性との混合品は、この特性を意識したため、信頼性が完全熱硬化性に比べてやや不十分な点があった。そこで、熱硬化性接着剤に特殊なリワーク性付与剤を選定し、この材料が硬化層中に入り組んだ変調構造の場合に、高接続信頼性とリワークが可能である処方確立した(図7)^{32)、53)}。

4.3 TCP入出力用途

上記で得たリワーク可能な熱硬化性接着剤の系を用いて、

TCP (Tape Carrier Package) 出力用途の特性向上と、入力用途に新しく展開した。LCD用途へのTCPの適用はアニソルムの量産直後の1985年から始まったが、LCDの高精細化やカラー化に伴う画素数の増加により、狭ピッチ化の進展が著しい。ここにおいて、金属めっき樹脂粒子は、分散性の向上が得やすく、狭ピッチ化に対する分解能向上にも有効である。そこで高精細度実現のために粒子設計を行い、粒径の最適化により、14本/mmの分解能を得ることができた(1992年4月)^{32)、52)、55)}。

LCDのTCP入力側とプリント基板の接続には、従来はんだが用いられていたが、接続密度が高くなったことや環境問題から、Ni粒子と組み合わせることで1993年に入力用アニソルムを開発した。入力側は出力側に比べて接続密度は低いが、ICを安定して動作させるために低抵抗で安定した接続が必要である。そこで配線抵抗を除去できる4端子法により、評価して導電粒子を選定した結果、接続抵抗は10mΩ以下で、2,000mAま

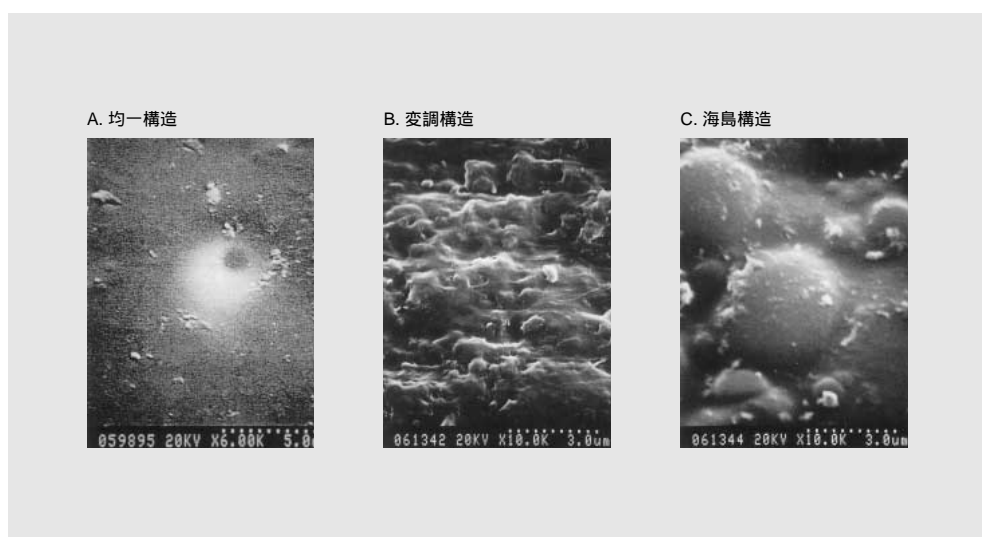


図7 リワーク性付与材の添加量が異なる接着剤のモルホロジー 変調構造の場合に、良好なリワーク性と接続信頼性の両立が可能である。

Fig. 7 Morphology of adhesives with different quantities of added repair-feasible material

Modulated structure B enables both good reworkability and connection reliability.

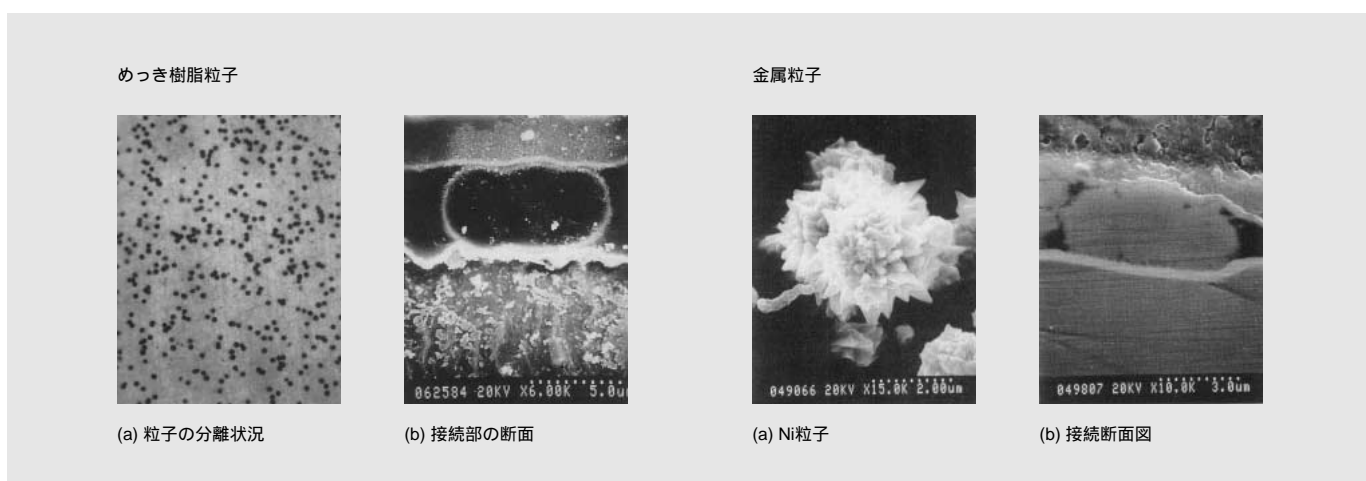


図8 導電粒子の特長 金属めっき樹脂粒子は接着剤中への粒子の分散性がよく、接続部の偏平性が得られる。

金属粒子の例では、粒子表面に凹凸があり、接続部の電極が変形している。

Fig. 8 Features of conductive particles

Metal-plated resin particles have an even surface and are easy to disperse into adhesive. They become flattened after the application of heat and pressure.

Metal particles, on the other hand, have an uneven surface which makes dispersion difficult and deforms the electrodes of connected parts.

でオーミック特性を示した^{33),52)}。顧客側からみた、従来のはんだとの実際の比較例も見られる⁵⁶⁾。以上によりTCPの入・出力側の品種が揃い、大きく市場が拡大した。図8に金属めっき樹脂粒子と金属粒子の例を示す。

入力用は、その後Ni粒子の粒径最適化や金めっき処理により、さらに高電流量となり、主にPDP用途向けに展開している^{38),57)}。また接続温度については、新たな硬化触媒を設計することで、従来系に比べ、さらに約40℃低温で短時間(150/10s)の接続を可能にした³⁹⁾。その他、本誌に紹介のあるCOF(Chip On Film)化に伴う2層FPC用や、詳細は別に

譲るが、プラスチック基板用などの最近の動向にも、トップメーカーとして広く対応している。

4.4 ベアチップ接続用途

以上の回路同士の接続に比べてチップ接続ではバンプと呼ばれる突起電極と回路の接続となり、電極接続の面積が急減する。そのためベアチップ接続では微小なバンプ上に導通を確保するのに十分な導電粒子を捕捉し、かつバンプ間の絶縁を確保する必要がある。COG(Chip On Glass)の狭ピッチ接続に対応させるために、接着、絶縁、および導電機能を分離した、図9に示すような2層構成のアニソルムを1995年に開

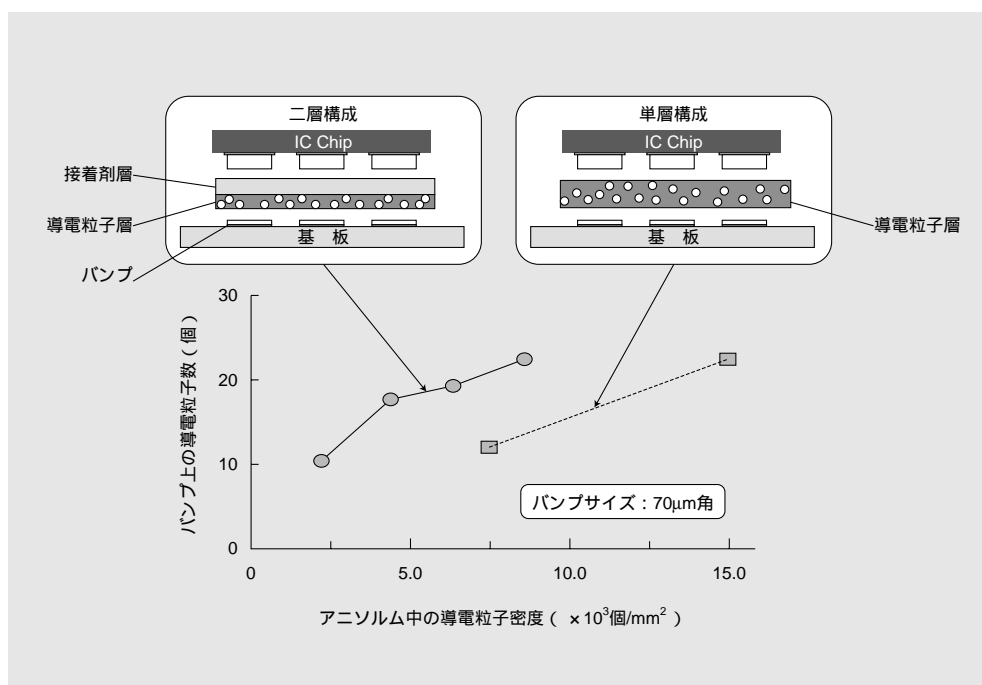


図9 アニソルムの構成とバンプ上の導電粒子数 二層構成アニソルムは、接着剤層と導電粒子層が積層されており、接着・絶縁、および導電機能が分離されている。この場合、単層品に比べて導電粒子が効率よくバンプ上に捕捉される。

Fig. 9 ANISOLM structures and numbers of conductive particles on bumps

Two-layer ANISOLM (left) consists of two layers of adhesive : one with and one without conductive particles. The adhesive, insulative and conductive functions are separately assumed on the two layers. Compared with the single-layer structure (right), the two-layer structure can efficiently hold conductive particles on bumps.

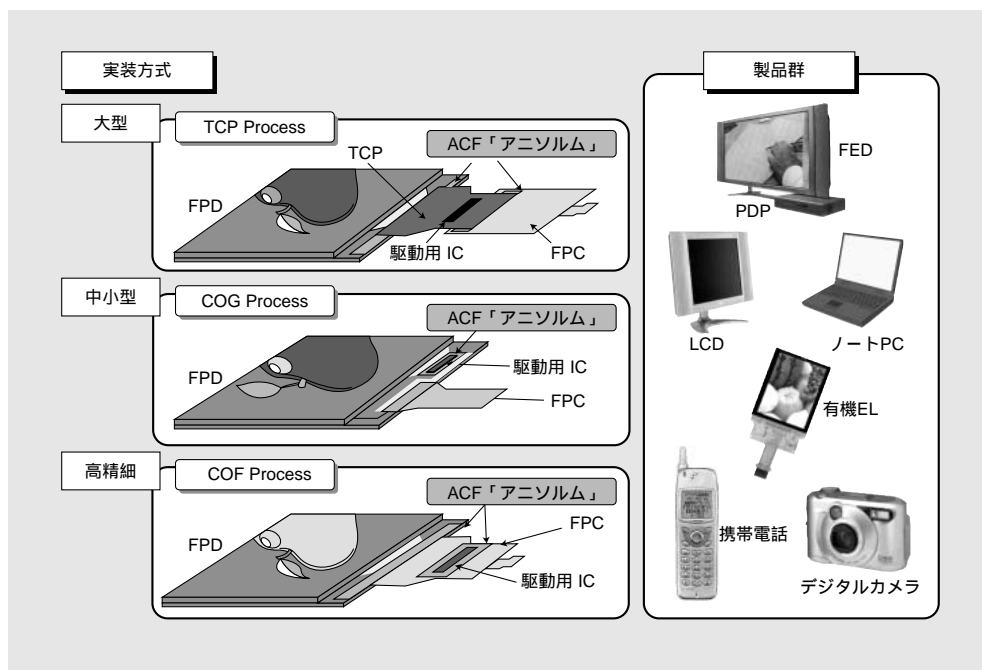


図10 アニソルムはFPDの各種接続方式に対応 アニソルムは各種の接続方式に対応可能であり、適用製品はLCD以外にもPDPやELなどのフラットパネルディスプレイ(FPD)全般に及び、さらなる適用分野の拡大が期待される。

Fig. 10 Possible use of ANISOLM in three flat panel display (FPD) connection processes

ANISOLM can meet the requirements of three FPD connection processes. It can be used in many types of FPDs besides LCDs, such as PDP and EL, and further applications are anticipated.

総 説

発した。従来の単層品に比べて接続電極上での導電粒子の捕捉効率がが高く、電極スペース間に流出する導電粒子数が少なく、10 μ mの狭い電極スペースでも高い絶縁性を示した^{35),58)}。

これらの系をさらに発展させてフリップチップ (FC) 実装分野に展開した。この材料はチップと基板間の熱膨張係数の差によって生ずる機械的な応力を樹脂の低弾性率化によって

緩和すると同時に、接着強度を向上し、高い接続信頼性を得ることができた。またアンダーフィル工程が不要で、しかも鉛を含有しないという特長から、3次元積層パッケージ、MCM (Multichip Module)、およびCSP (Chip Size Package) 用途などで実用化が進んでいる^{37), 59-62)}。

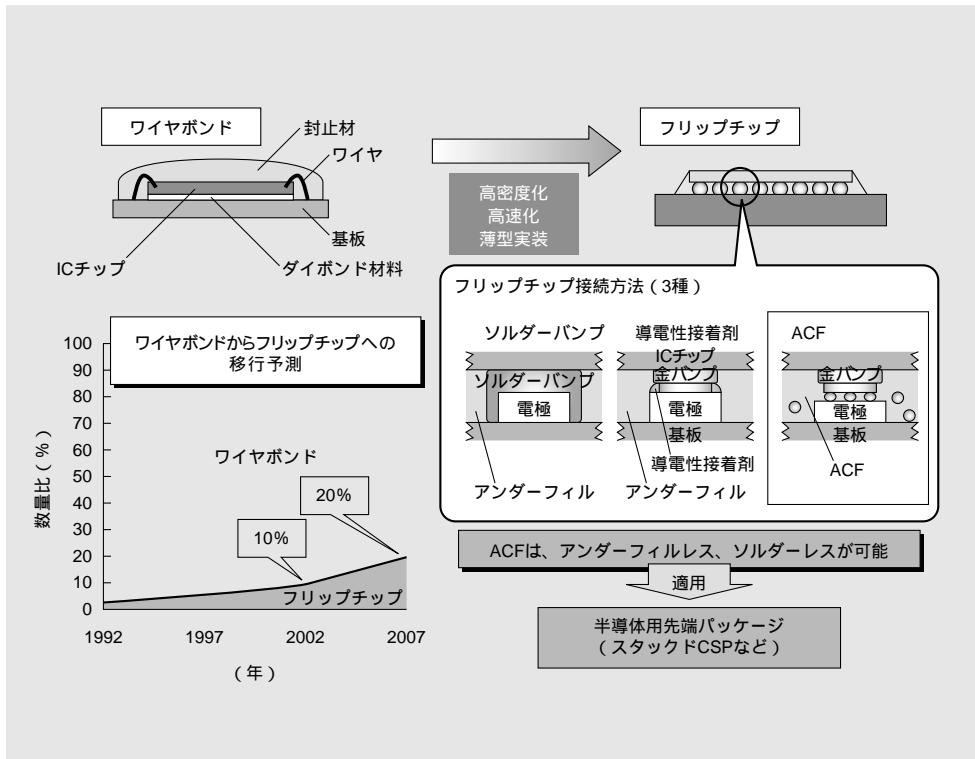


図11 半導体のフリップチップ (FC) 接続技術 最近の高密度化、高速化、薄型実装化の必要性から、FC技術の進展が期待される。各種の方式の中でACFは、アンダーフィルレス、ソルダーレスを特長に、先端パッケージに採用されている。

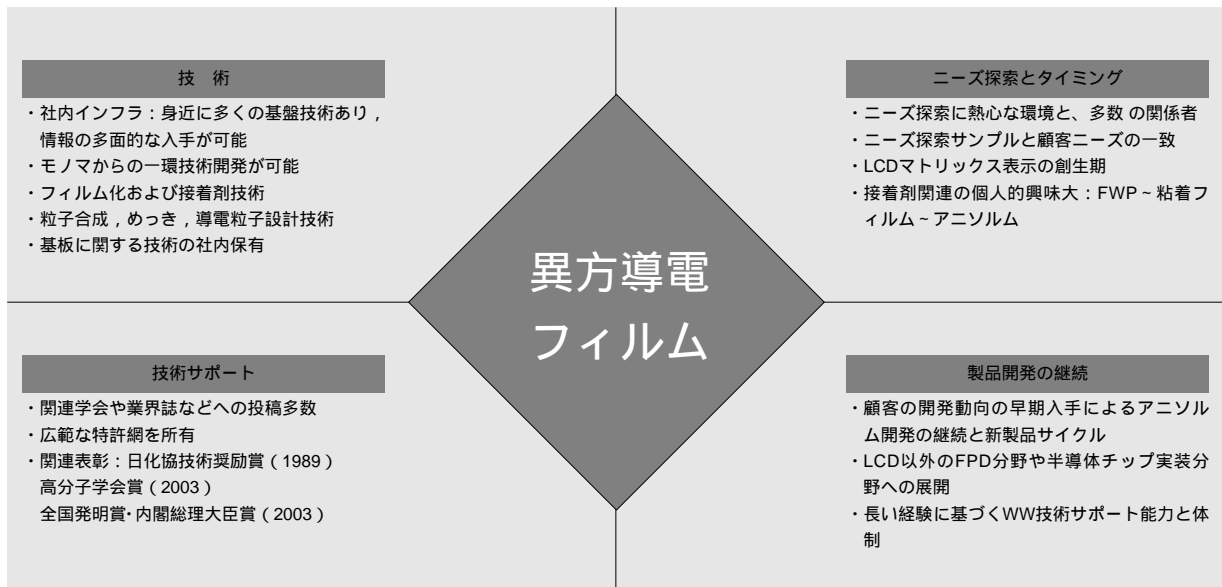
Fig. 11 Flip-chip connection technology for semiconductors

The necessity for high density, high speed, and thinner packages will promote the development of flip-chip (FC) technology. ACF, with its features of no underfill or solder, is suitable for such high technology packaging.

表5 アニソルム開発の成功要因 アニソルムは、ニーズ探索活動と顧客ニーズのタイミングが合い、当社基盤技術の融合により開発された。開発の継続による新製品サイクルや技術サポートも有効であった。

Table 5 Success factors in development of ANISOLM

ANISOLM has been developed through the timely combination of our market research, customer demand, and Hitachi Chemical's base technologies. Continuous endeavors to develop higher performance ACFs have made new product cycles and technical support effective.



〔5〕 今後の展望

最近アニソルムは、LCD以外の新方式ディスプレイの接続や、半導体チップと基板との接続にも多用されている。さらに、低温接続や鉛フリーなどが可能な環境に優しい材料としても注目されるなど、環境調和型の実装材料として先駆的な位置付けとなっており⁶³⁾その将来性が期待されている。また、ICカードへの応用⁶⁴⁾や、高周波領域での測定例⁶⁵⁾、熱粘弾性解析による挙動予測⁶⁶⁾などの新展開も見られる。

アニソルムの課題は、高精細化、高信頼性化、接続の低温短時間化であり、導電粒子や接着剤の改良により特性向上を図ってきた。この流れは、LCD自体が日進月歩で進展しており、使用時の利便性の提供を含めて継続した開発が必要である。図10に示すように実装方式は、適用機種的大型から小型に至るサイズやディスプレイ方式などにより各種の方式があり、新接続方式を含めてさらなる進展が予想され、アニソルムにかかる期待も大きいといえる。

最近の高密度化、高速化、薄型実装化の必要性から、図11に示すようにフリップチップ方式の進展が予想されている。ACFのような接着剤による実装はアンダーフィル材が不要でソルダーレスである点で注目されており、適用が拡大するものと見られる^{40), 59)~62)}。また、はんだに代わる環境調和型の実装材料⁶³⁾としての期待も大きい。導電性接着剤の界面現象などのメカニズム解明も進んでいる⁶⁷⁾。

〔6〕 結 言

当社は企業運営ポリシーとして、MSS (Material System Solution) を展開しているが、その成功事例のひとつとしてアニソルムがあげられている⁶⁸⁾。筆者なりに考えたアニソルムの成功要因を表5に示す。まず、職場環境のニーズ探索志向が高く、顧客とのめくり合いを含めてタイミングに恵まれた点がある。また当社の周辺基盤技術が豊富であったために開発が順調に進んだ点や、その後の顧客の開発動向に合致する新製品開発の継続により、良好な開発サイクルとなったことがあげられる。さらに、特許や投稿活動を含めた技術サポート体制が、うまく機能できた点もあると思われる。これらには当然、関連部門の一致した協力体制が不可欠であった。なお筆者は、1994年に研究所から工場開発部に移り、1999年には本社勤務になるなどにより、最近ではマクロ的な見方に視点変化しているが、さらなる発展のために従来の経験を少しでも生かしていきたいと考えている。

最後にアニソルムの開発は、まさに「すべての面で運が良かった」の一言に尽きるが、本稿が今後もこのような体験者の続出することの一助になれば幸いである。筆者が非常に恵まれたサクセスストーリーを体験できたのも、社内外の関係各位のご指導・ご協力のおかげと、この場を借りて改めて御礼申し上げますとともに、さらなる躍進に向けて引き続きのご支援をお願い致したい。また、アニソルムの発展を助けていただいたお客さま側からの文献類は膨大であり、紙面の都合でほとんど引用できなかったことをお詫びしたい。末尾ながら、本稿をまとめるにあたり研究開発本部および電子材料事業グループの皆さまに、特にお世話になったことを申し添えて感謝の意としたい。

参考文献

- 1) 日経BP社編：フラットパネル・ディスプレイ2003，戦略編p.33
- 2) 山口，塚越，中島：異方導電フィルム，サーキットテクノロジー，4(7)，pp.362-370(1989)
- 3) 日経産業新聞：昭和59年7月21日の紹介記事。ほかに日本経済新聞：昭和59年7月31日広告，今サイエンスが面白いシリーズ“Immに5本？ハンダは判断に苦しんだ。”
- 4) 吉田，今須，林田，竹浦，栗原：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，12(7)，pp.473-476(1997)
- 5) 塚越，小林，中島：鉛フリー接続技術，異方導電フィルム，SHM誌，11(3)，pp.25-29(1995)
- 6) 渡辺，塚越，小林，太田，山口：平成14年度高分子学会賞(技術)，高分子，52(5)，pp.361(2003)
- 7) 朝日新聞：平成15年5月17日，“全国発明表彰受賞者決まる”
- 8) 丹野：電気絶縁材料から電子材料へ，科学と工業，70(7)，pp.255-264(1996)
- 9) 池添：技術者に一番大切なものは感性だ，Technology Identity，Live Chemical，日立化成(1993)
- 10) 日経産業新聞：平成15年1月21日，“進化するLCD接着剤”
- 11) 中尾，中山，太田，三上：表面保護用“ヒタレックス”粘着フィルムの用途例と接着・はく離の機構，日立化成技術論文集(1982-10)
- 12) 塚越，中山，山口，中尾，最上：日立化成工業(株)，半導体ウエハのチップ化方法，特許第1484404号(1988-6)
- 13) 塚越，中山，山口，北村：日立化成工業(株)，ダイシング用粘着シート，特許第1934666号(1991-2)
- 14) 塚越，山口：日立化成工業(株)，集積回路の接続方法，特許第1747855号(1992-5)
- 15) 塚越，中山，中尾：日立化成工業(株)，導電性粘着テープ，実用新案第1785703号(1988-12)
- 16) 塚越，中山，山口：日立化成工業(株)，導電性粘着テープ，実用新案第1484404号(1988-9)
- 17) 日経エレクトロニクス：異方導電性ゴムと感圧導電性ゴムが相次いで市場に，1978-5-29
- 18) 桜田，石川，川島：ソニー(株)，電氣的連結シート，特開昭56-138881(1981-10-29)
- 19) 有光，桜田：異方性導電膜，電子材料，22(10)，pp.50-54(1983-10)
- 20) 藤田：(株)精工舎，導電性接着剤，特開昭51-20941(1976-2)
- 21) 藤田：(株)精工舎，導電性接着シート，特開昭51-21192(1976-2)
- 22) 山崎：(株)諏訪精工舎，導電異方性をもちうる接着剤を用いた電氣的接続方式，特開昭51-100679(1976-9)
- 23) 野村：(株)諏訪精工舎，導電異方性接着剤の移行型粘着テープ，特開昭51-101040(1976-9)
- 24) 塚越，中山，山口：日立化成工業(株)，導電異方性接着シート，特許第1747855号(1994-11)，関連USP4731282，EP140619
- 25) 武藤，塚越：日立化成工業(株)，回路基板の接続装置，実用新案第1854374号(1990-7)
- 26) 山口，塚越，中島：日立化成工業(株)，回路の接続方法，特許第1905046号(1984-1)
- 27) 日立評論：昭和60年度日立技術の展望，異方導電フィルム，67(1)，(1985-1)
- 28) 山口，塚越，中島，三上，武藤：異方導電フィルム，日立化成テクニカルレポートNo.9(1987-7)
- 29) 塚越，中島，後藤，武藤：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(1991-1)

総 説

- 30) 浅野, 三上, 松岡: 液晶ディスプレイ用異方導電フィルムの開発動向, 日立化成テクニカルレポート, No.20 (1993-1)
- 31) 小出, 金子: アニソルム用熱圧着機の開発, 日立化成テクニカルレポートNo.21 (1993-7)
- 32) 塚越, 藤縄, 中島, 小林: 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.22 (1994-1)
- 33) 塩沢, 塚越, 中島, 伊藤: 金属電極用アニソルムAC-2052, 日立化成テクニカルレポート, No.23 (1994-7)
- 34) 太田, 松岡: 回路接続材料の動向, 日立化成テクニカルレポートNo.26 (1996-1)
- 35) 渡辺, 竹村, 塩沢, 渡辺治, 小島, 廣澤: 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 (1996-1)
- 36) 田口: 電子機器用実装材料の動向, 日立化成テクニカルレポート, No.30 (1998-1)
- 37) 竹村, 渡辺, 永井, 井坂, 渡辺治, 小島, 松田: フリップチップ接続用異方導電材フリップタックの開発, 日立化成テクニカルレポート, No.30 (1998-1)
- 38) 勝谷: PDP用材料の技術動向, 日立化成テクニカルレポート, No.33 (1999-7)
- 39) 藤縄, 小林, 有福, 福嶋: 入力用低温接続異方導電フィルムアニソルムAC-9000, 日立化成テクニカルレポート, No.39 (2002-7)
- 40) 安田: 電子機器用実装材料システム, 日立化成テクニカルレポート, No.40 (2003-1)
- 41) 塚越, 松岡, 太田: 異方導電フィルム方式, 超高密度実装実現のためのマイクロ接続技術, ミマツデータシステム, pp.364~382 (1995-6)
- 42) 渡辺, 竹村, 後藤: 異方導電フィルムを用いた実装技術, S H M会誌, 13 (6), pp.2-6 (1997)
- 43) 塚越, 山口, 中島: 日立化成工業(株), 回路の接続部材, 特許第1561711号 (1988-6)
- 44) 塚越, 山口, 中島, 三上, 武藤, 池添: 日立化成工業(株), 異方導電性を有する回路接続用組成物及び接着フィルム・並びにこれらを用いた接続方法・接続構造, 特許第2054409 (1995), 関連USP4740657, EP242025
- 45) 山口, 加藤: 微細電極接続用異方導電フィルムの開発(第4回日本化学技術協会, 技術奨励賞の受賞記念), 日化協月報1989年9月号, pp.11-15
- 46) A.O.Ogunjimi: A review of the impact of conductive adhesive technology on interconnection, Journal of Electronics Manufacturing, pp.109-218 (1992-2)
- 47) 日経BP社: 液晶ディスプレイ最新用語解説 “ACF”, フラットパネル・ディスプレイ1993, pp.219 (1992-11)
- 48) 日本接着学会編: 電極の接続・異方性導電膜, 接着ハンドブック(第3版) 1996年6月
- 49) 広瀬: 微細接合の現状・文献調査による実装技術動向, マイクロエレクトロニクスにおける超微細接合, 溶接学会主催シンポジウム, pp.5-13, 一覽169-187 (1993-10)
- 50) 大西, 山下, 田中, 渡辺, 小林, 塚越: かせいPRODUCTS “アニソルム”, 社報(日立化成)第125号, 2003-06
- 51) 塚越, 山口, 中島, 後藤: 日立化成工業(株), 回路接続用組成物及びこれを用いた接続方法並びに半導体チップの接続構造, 特許第2586154号 (1995), 関連USP5001542, USP5120665, EP372880, KR72808
- 52) 塩沢, 井坂, 塚越, 太田: 異方導電フィルムを用いた高密度実装における導電粒子の役割, 第5回マイクロエレクトロニクスシンポジウムMES '93, (1993-6)
- 53) Matsuoka, Tsukagoshi: A New-type of Anisotropic Conductive Film with high connection Reliability and finer pitch densities, IVF (Sep.1993)
- 54) 山口, 塚越, 中島: 異方導電フィルム接続体の導通特性, サークイットテクノロジー, 7 (1), pp.48-51 (1992)
- 55) 山口, 塚越, 太田: 異方導電フィルム, 電子情報通信学会誌EMD92-69 (1992-09)
- 56) 川口: 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1995年4月号, pp.137-139
- 57) Watanabe, Fujinawa, Gotoh, Ueno, Kobayashi: Anisotropic Conductive Films for Flat Panel Display, IDW1996Proceedings, vol.2, pp.369-372. (1996)
- 58) HiroSawa, Tsukagoshi, Matsuoka, Watanabe, Takemura, Shiozawa, Oota: Double-layer anisotropic conductive adhesive films, SID, pp.17-20 (1995-1)
- 59) Watanabe, Takemura, Shiozawa, Watanabe, Kojima, Nagai, Tanaka: Anisotropic Conductive Adhesive Films For Flip-chip Interconnection, IMC1996, pp.328-332 (1996-4)
- 60) 塚越: 高周波数デバイスの特性を満たす仕様, 工程も簡易, ベアチップ実装の普及促す, Electronic Journal, 1999年8月号, pp.112-113
- 61) 田窪: 3次元積層パッケージSystem Block Moduleの開発, IT時代を担う高速実装技術, エレクトロニクス実装学会 01特別セミナー (2001-6)
- 62) 和田: T-CSPの開発とその応用パッケージング技術, 21世紀の情報化時代を担う最新高速実装技術, エレクトロニクス実装学会 00特別セミナー (2000-6)
- 63) 塚越: 環境調和型実装技術の動向・導電性接着剤, エレクトロニクス実装学会誌, 6 (1), pp.41 (2003)
- 64) 宇佐美: 非接触ICカード, エレクトロニクス実装学会誌3 (3) pp.203-206 (2000)
- 65) 大塚, 渡辺, Richard H. ESTES, 和田: 導電接着剤による端子接続の高周波特性の実験的検証, 回路実装学会誌, 13 (1), pp.37-43 (1998)
- 66) 中村, 村上, 井坂, 上野, 中村: FCA方式による半導体デバイスの熱粘弾性解析による反り変形挙動の予測, エレクトロニクス実装学会誌, 2 (4), pp.291 (1999)
- 67) 菅沼: 鉛フリー化技術で期待を集める導電性接着剤, はんだ代替導電性接着剤の現状と動向調査報告, エレクトロニクス実装学会マイクロ接続研究会 (2001-9)
- 68) 内ヶ崎: 機能性化学産業の持続的な発展に向けて, 第2章機能性化学企業のあるべき方向, 機能性化学 - 価値提案型産業への挑戦, 化学工業日報社, pp.158-179 (2002-9)