

インクジェット法による 有機ELディスプレイの大画面化

田邊 誠 †

有機ELディスプレイは、CRT並みの良質な画質が得られる次世代デバイスとして期待されている。エプソンでは、インクジェット (IJ) 技術という当社のコア技術を適用することで、大型フルカラー有機ELディスプレイ (40インチ) を試作した。本稿では、IJ法に必要な要素技術を解説するとともに、大画面ディスプレイを作製する上での課題と今後の方向性について述べる。

キーワード：有機EL、インクジェット、大型ディスプレイ、描画方法、成膜技術

1. ま え が き

2004年5月、セイコーエプソンは、インクジェット技術¹⁾を有機ELディスプレイの製造方法として適用し、30インチを超えるサイズとしては世界初の40インチ大型有機ELディスプレイの試作パネルを発表した。有機ELは、1987年にコダック社のC.W. Tang氏が発表した低分子系²⁾と、1990年にケンブリッジ大学のグループから報告された高分子系³⁾の二つに大別される。インクジェット技術は後者の高分子系を使用している。高分子材料を溶媒に溶解しインク化することで、インクジェットヘッドから吐出し、所望の画素へパターンニングすることで、フルカラーディスプレイを作製することが可能になる。

一方で低分子系は、フルカラーディスプレイを作製する場合、蒸着法でメタルマスクを用いてパターンニングする必要があるため、高精細・大画面への適用は難しいと言われている。インクジェット技術は、この課題に制限を受けることなく大画面ディスプレイを作製することが可能な技術である。

しかし、高分子系は材料の寿命が発展途上であるため、製品化可能レベルにまで達していない。また、インクジェット法を適用する上で解決しなければならない製造技術的な課題もあり、現在のところ商品化にまでは至っていない。

本稿では、インクジェット法に必要な要素技術を解説するとともに、大画面ディスプレイを作製する上での課題と今後の方向性について述べる。

2. 有機ELディスプレイの開発

2.1 エプソンのコア技術の適用

エプソンが世界で初めて720dpi (dot per inch) の解像度

でカラーインクジェットプリンタを商品化したのは、1994年に遡る。当時は、高印字品質、高速印刷をカラーで印字できるという特徴が受け入れられ、社会から大きな反響を得ることができた。現在では、5,760dpiの高解像度で高速印刷することが可能になり、B0サイズまで印字可能な大判用インクジェットプリンタが商品化されている。

高解像度実現の背景としては、ヘッドおよびメディア (紙) の送り精度の向上、超微小液滴の描画技術 (VSDT: Very Small Dot Technology) を実現できたことが大きな進歩へとつながった。

また、有機EL素子を駆動させるためには、低温p-Si TFTを用いたアクティブマトリクス駆動方式の基板が必要である。エプソンではこの技術を用いて、256ppi (pixel per inch) の高精細度を実現したPhoto Fine液晶パネルを商品化している。

これらのコア技術を組合せることで、有機ELディスプレイをインクジェット法で作製することが可能になった。

このようにしてできた有機ELディスプレイは、自発光デバイスであるため視野角依存性がほとんどなく、液晶と比べ格段に優れた高速応答性 (数 μ s) を備えている。また、液晶のようにバックライトを使用することがないため、表示コントラストが高く、超薄型平面ディスプレイでCRT並みの良質な画質を得ることができるという特徴を備えたディスプレイである。

2.2 インクジェット成膜技術の利点

近年、インクジェット法で有機ELディスプレイを作製する動きが盛んになってきている^{4)~8)}。また、その他の工業生産用途でも検討が進められ、捺染あるいは時計の文字盤、さらにはLCD用カラーフィルタの分野にも応用されている⁹⁾。これは、所望の画素に所望のインク量を描画できるDOD (Drop on Demand) 方式が、均一かつきれいな形状のインク滴を正確に吐出させることが可能であるからである。またインク種の選択性に自由度が高いため、工業用途にも適した方式であると言える。

† セイコーエプソン株式会社 ディスプレイ開発本部 OLED開発センター
"Development of the World's First and Largest (40") OLED Display Using Ink-Jet Technology" by Seiichi Tanabe (Display Development Division, Seiko Epson Corporation, Nagano)

これらの利点を有したインクジェット法を工業生産用途に適用する場合、以下のメリットが挙げられる。

- (1) 基板の大面积化が容易
- (2) 高解像度が可能
- (3) マスク不要で、CADデータを直接描画できる
- (4) 原料のロスがなく、廃棄物の回収も容易
- (5) 少ない設備投資と僅かな設置スペースで生産可能

一昨年前に発表した40インチディスプレイを作製する際に用いたインクジェット装置は、G5サイズ(1,100×1,250mm)基板まで対応可能な装置であったが、原理的には現在最大サイズであるG8サイズ(2,200×2,400mm)まで充分対応できると考えている。

蒸着法やスピコート法では、その手法が原因で使用する材料の数%程度しか有効的に利用することができない¹⁰⁾。それに対して、インクジェット法は70~80%の材料が効率的に使用可能である。これは、前述のようにDOD方式で必要な量だけ必要な場所に吐出・パターンニングできるからである。また、蒸着法のように高い設備費用がかかる真空装置が必要ないので、省エネ・低コストが可能になる。

2.3 インクジェット成膜技術のポイント

高分子材料をインクジェット法で成膜するポイントとしては、大きく分けて次の三つの技術を挙げることができる。

- (1) インクジェットヘッドでの吐出制御
- (2) 高分子材料のインク化
- (3) 着弾後の成膜性制御

これらの技術を結集することにより、フルカラーディスプレイとして均一で欠陥のない表示が可能になる。

以下にこれらの要素技術について説明する。

3. インクジェットの要素技術

3.1 インクジェットヘッド

有機ELディスプレイを作製するためのインクジェットヘッドは、エプソン製のピエゾ駆動MACH (Multi Layer Actuator Head) を使用している。このヘッドの吐出最高周波数は30kHzを超える。すなわち、1秒間に3万発以上の液滴を吐出し描画することが可能である。ヘッドの構造図を図1に示す¹¹⁾。インクジェットヘッドの重要な構成要素としては、インクを供給・排出するインク室(インクチャンバ)と、インクを吐出させるピエゾ素子がある。

ピエゾ素子は、数種類の酸化金属を積層したセラミック材料でできており、電圧を印加することによって変形する特性を有している。この特性を用いてインク滴を吐出させている。具体的には、個々のインク室(チャンバ)中に配列されているピエゾ素子に電圧を印加して収縮させ、それを解除したときに元の状態に戻る力を利用することによってインクが押し出され吐出する。

インクチャンバは、シリコンを異方性エッチングすることにより、微細な構造を形成することができる(図2)。個々のインクチャンバ上へ櫛歯状に配列したピエゾ素子(図3)を並べ、ピエゾ素子の収縮・解除の大きさ・スピー

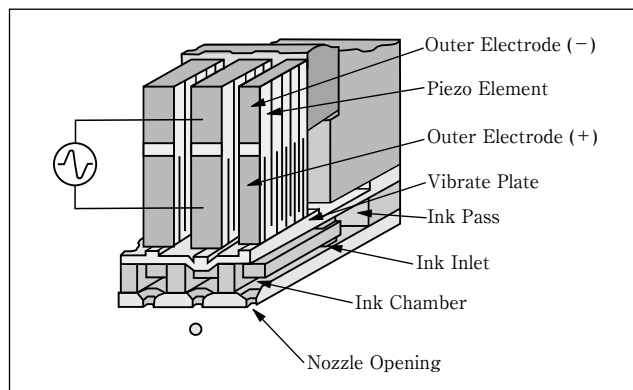


図1 MACHヘッドの構造

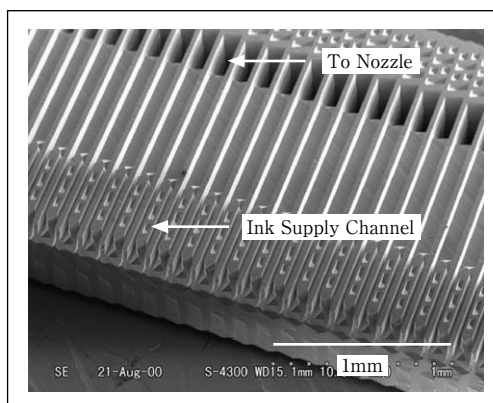


図2 インクチャンバ構造

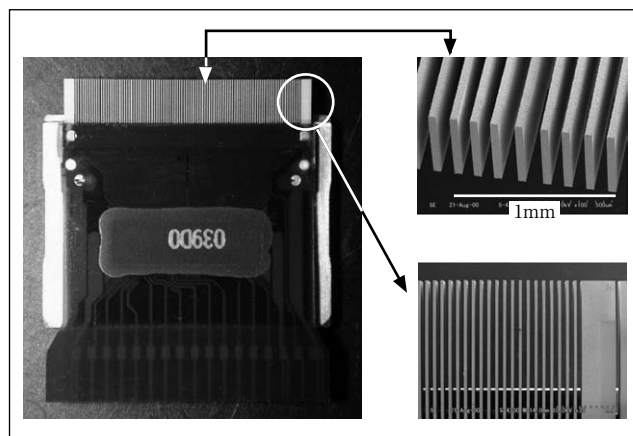


図3 ピエゾ素子構造

ドを変えることにより、インク滴のサイズ・スピードを正確にコントロールすることができる。

3.2 インクジェットヘッドでの吐出制御

高精細描画をするためには、超微小液滴(~2pL)の形成が必要不可欠な項目である。しかし、大きい液滴を用いることができれば、吐出周波数が同じ場合、あるポイントでのインク量を増やせるので、画素内のショット数を減らすことができる。その結果、描画スピードを向上させることが可能になる。この相反する要求を解決するために、エプソンでは液滴サイズをコントロールする技術を開発した。インクチャンバ中の容積変化を精密にコントロールするた

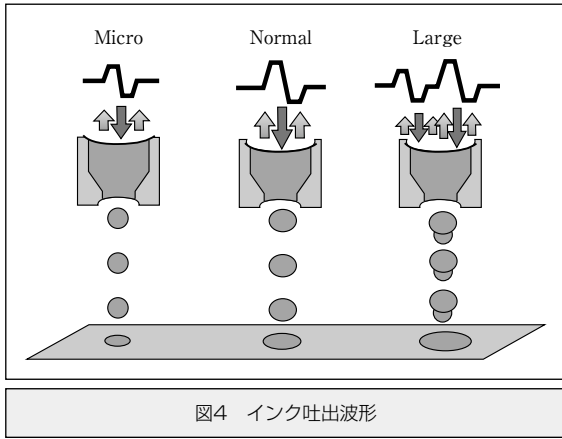


図4 インク吐出波形

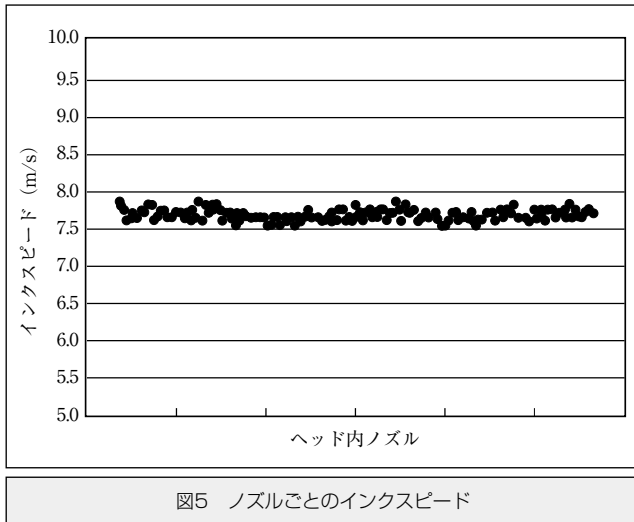


図5 ノズルごとのインクスピード

めに、ピエゾ素子に印加する波形を変えることによって液滴サイズを変えている。

波形状の例を図4に示す。波形の縦軸はピエゾ素子に印加する電圧の強さ、水平方向は時間軸を示す。超微小液滴は、印加電圧を低くしチャンバ内に引き込まれるインクの量を少なくする、あるいは、ピエゾ収縮解除を途中で止めて吐出される量を少なくすることによって形成することができる。また、より大きな液滴を吐出するためには、非常に短い間隔で2回の吐出を行うことにより、ほぼ同じ位置に着弾させることで達成できる。このような波形を組合せることによって、画素中に目的のインク量を描画することが可能になる。この技術は、高精細画素(小型パネル)を高速で作製する場合には必須となるが、大型ディスプレイは画素のサイズが大きいため、それほどシビアに考える必要はない。1画素中に入れられる液滴の量を多くすることができるからである。

このような波形制御を有効にするためには、ヘッド内ノズルごとの吐出量が均一である必要がある。一般にディスプレイのムラは隣接画素間で1%程度に抑えないと人の目で認識できてしまうと言われている。すなわち、1画素に対応するノズル数が少なくなるほど、インク量の制御を正確に行わなければならない。このようなことから、高精細になるほど画素内のインク量の調整は難しくなる。

ヘッド内のノズルごとのインク吐出スピードばらつきを

図5に示す。ノズルごとのインク重量を簡易的に測定することは難しいため、インクスピードを代用特性としている。波形調整を行わない場合は、隣接ピエゾ素子間の電氣的なクロストークが発生するために、中心と端のノズルでインクスピードに±5%程度の差が発生してしまう。しかし、前述の波形調整を行うことにより、±2%程度にまで抑えることができている。

3.3 EL材料のインク化

有機EL素子は、陽極から正孔(ホール)を陰極から電子(電子)を注入し、両者の電荷が再結合して励起状態を形成し、それらが基底状態に戻る際のエネルギーの一部が光として発現する。

現在高分子系では、それらの役割を担う2種類の材料を用いる場合が多い。陽極側からホールを注入する材料としては、導電性高分子であるPEDOT/PSS(ポリエチレンジオキシチオフェン/ポリスチレンスルホン酸)、陰極側から電子を注入し発光に寄与する材料としては、PPV(ポリフェニレンビニレン)に代表される高分子材料(LEP: Light Emitting Polymer)が挙げられる。

PEDOT/PSSは水分散系であり、高分子材料は極性の低い有機溶剤に溶解することによりインク化することができる。PEDOT/PSSは膜形成後、焼成することによって不溶化するため、上層の発光層と混ざり合っていないので、このような液体プロセスを成立させることができている。

各材料をインク化して、ディスプレイを作製するためには、ヘッドから安定にインクが吐出できること、また、吐出したインクが均一に乾燥して画素内の膜形状を制御することが必要になる。これらを満足するためには、インク設計が非常に重要な要素となり、そのポイントとなる項目を以下に記載する。

- (1) 経時安定性がある
- (2) 材料の特性を低下させない
- (3) 粘度が低い(約20mPa・s以下)
- (4) 揮発しにくい

これらの中で(3)、(4)は、インクジェット特有の項目として挙げられる。インクジェットは微小なピエゾの力で吐出しているため、その力には限界がある。したがって、粘度が高かったり、粘弾性を有したりしているとインクチャンバからインクが出なくなる。ピエゾのパワーを上げればこれを回避することはできるが、1滴のインク量が多くなってしまいうため、微小なインク量の制御ができなくなる。したがって、きれいなディスプレイを作製するという最も重要な項目に対して、画素内のインク量均一化を達成できなくなってしまうので、インクの粘度は高くすることができない。

また、揮発性が低いことも重要な要素となる。インクが吐出されるノズルの大きさは、約φ30μm程度である。そのため、ノズル表面のインクは非常に速く乾燥する。インク中の溶媒が揮発するとインクの固形分濃度が上昇し、ノズル近傍でのインク粘度が上昇するため、前述のようにノ

ズルからインクが出なくなる。

さらに、画素内に描画したインクを均一に乾燥して、同一の膜形状にするためには、描画開始から最後まで間に画素内のインク量を一定に維持する、すなわち、揮発しにくくする必要がある。このような点からも、揮発性の低いインクにしなければならない。

これらのポイントを満足したインクにするために、どのような溶媒を選定するかがインク設計をする上で非常に重要になる。

4. インクジェット技術の大画面化への適用

4.1 基板プロセス

フラットパネルディスプレイ (FPD) で高精細表示を得るためには、X-Yの交点の画素を点灯させる「マトリクス駆動法」が用いられている。マトリクス駆動法には、いわゆるアクティブとパッシブがある。有機ELディスプレイで高精細表示を行うためには、アクティブマトリクス駆動法 (AM駆動法) が採用されている。AM駆動法は、マトリクスの各画素にスイッチ素子を内蔵させ、点灯させたい画素の選択性を高め、画素の画像を一定の時間内保持する駆動方法である。画素数の多いディスプレイでもクロストークのない高画質の表示体が実現できる。

エプソンにおいてもこの駆動方法を採用し、さらにTFTの移動度が高い低温多結晶Si-TFT (Low Temperature Poly Si: LTPS) を用いている。LTPS基板を用いた高精細有機ELディスプレイに関しては、1998年にセイコーエプソンと英国CDT (Cambridge Display Technology) から報告¹²⁾ されている。

TFT駆動のメリットは、陰極をパターンニングする必要がなく高精細化が容易なこと、ドライバを内蔵することでコンパクトにディスプレイ全体が収まること、有機EL材料の発光効率の良い電圧で駆動するため消費電力が少なく済むこと、画素毎にスイッチングするため原理的に大画面化が可能なこと、低電圧域で有機EL材料に負荷をかけずに寿命をのばせることなどが挙げられる。

この基板を用いてフルカラーディスプレイを作製するのであるが、Red, Green, Blueのインクを各画素にパターンニングさせる技術が必要になる。それを得るために、インクジェット法で各画素にインクをパターンニングする手法を用いる場合、ヘッドから吐出されるインクは、ヘッド固有のばらつきあるいはインクの特性により飛行曲がり発生してしまうことがある。例えば、基板とヘッドのギャップが0.3mmの場合、インクの着弾精度は約±10 μ mになる。このようなばらつきを吸収するために、基板への薄膜形成と基板表面処理のプロセス技術を確立することで課題を解決した。

インクをパターンニングさせるためには、画素毎にインクだまりとなる隔壁 (バンク) を数 μ mの厚みで形成させる。バンク材料はポリイミド等の感光性有機材料であり、露光・現像のプロセスによって画素を開口する (図6)。

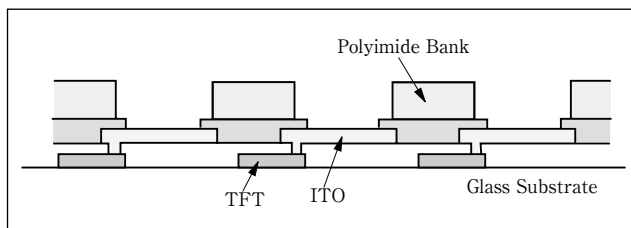


図6 基板バンク構造

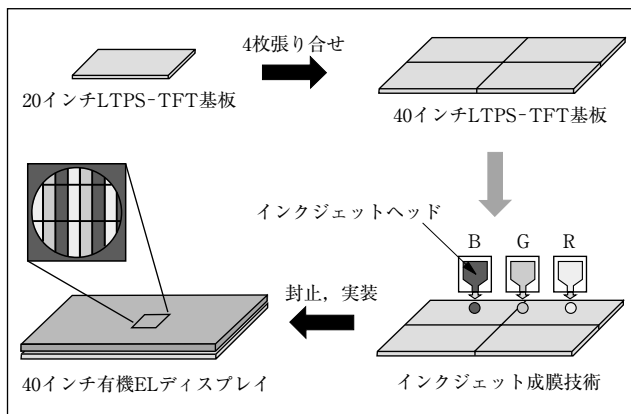


図7 40インチ有機ELディスプレイの製造方法

また、着弾したインクを高精度にパターンニングさせるために、バンク内は親水表面、バンク上は撥水表面になるような処理を行う。親水状態は酸素プラズマ処理、撥水状態はCF₄プラズマ処理を行うことによって、表面状態を制御できるようになる。まず、酸素プラズマを行うと、ITO (画素内) とPIバンクのPEDOT/PSSインクに対する接触角は20°になる。つづいてCF₄プラズマ処理を行うと、PI表面にCF₂やCFHが形成され、インクに対する接触角は100°位まで上昇する。CF₄プラズマ処理を行ってもITOに対する接触角は微増にとどまるため、ITOを親水性、PIバンクを撥水性に制御できるようになる¹³⁾。このようにしてからインクジェットでPEDOT/PSSインクをバンク内に打ち込むと、液滴の自己パターンニング現象により、すべての液滴は表面エネルギーの力で着弾誤差が補正されバンク内にきちんと収納される。

このような基板を用いて、インクジェット法により40インチパネルを試作した。しかし、エプソンのLTPSラインで使用している基板サイズは400×500mmであるため、基板1枚から40インチを取出すことができない。そこで、20インチサイズのLTPS基板を大きなガラスに4枚張り合わせること (タイリング) によって、40インチサイズの基板を作り上げた (図7)。

精度良くタイリングされた基板を以下のような一連の工程を流すことにより、インクジェットで一括描画した40インチディスプレイを作製した。

- (1) 基板洗浄 (タイリング済み基板)
- (2) 基板表面処理 (親水・撥水)
- (3) IJ描画 (PEDOT/PSS層, LEP層)
- (4) 乾燥 ((3), (4) は2回繰り返し)

(5) 陰極蒸着

(6) 封止・実装

4.2 インクジェット装置

インクジェット装置はヘッドと基板が載るX-Yテーブルを取り付けた位置決め装置で、通常は高い位置精度を得るためにヘッドを固定して基板を精密に移動させる。しかし、40インチ作製に用いたインクジェット装置は、対応基板サイズが大きい(G5: 1,100×1,250mm)ため、テーブルをX-Y方向に動かせると、非常に大きな装置になってしまう。そこで本装置は、ヘッドがX軸を、テーブルがY軸を移動するタイプにした。

インク滴の着弾精度は、X-Yテーブル機械精度、インク滴の吐出速度ばらつき、インク滴の飛行曲がり等に影響される。MACHヘッドの場合、飛行曲がりによる誤差 a は $\pm 5 \mu\text{m}$ である。インク滴の飛行速度 V_d は $7.0 \pm 0.5 \text{m/s}$ であるので、基板の移動速度が 100mm/s である時、飛行速度ばらつきによる着弾誤差 b は $\pm 1.2 \mu\text{m}$ となる。また、X-Yテーブルの機械誤差 c は $\pm 10 \mu\text{m}$ である。全着弾誤差 d は、 $d = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$ で与えられ、その値は $d = \pm 11.2 \mu\text{m}$ となる。精度を上げるためには、ヘッドのノズルプレートと基板間の距離(ギャップ)を小さくすることが重要で、本装置はそのギャップを 0.3mm にして高精度化を実現した。

4.3 描画方法

40インチパネルのように大きなディスプレイは画素サイズも大きい。試作パネルの画素解像度は 38ppi であり、画素開口部の大きさは約 $180 \times 500 \mu\text{m}$ になる。それに対して、携帯電話等の小さいディスプレイは画素が高密度になり、それに伴って画素サイズが小さくなる。インクジェット描画という観点では、高精細の方が着弾精度を向上させなければならないので難しくなる。したがって、単純に描画させるという点では、大画素の方がハードルは低くなる。また、画素内に入れられるインク量の許容範囲が広がるので、インクに対する設計自由度が広がる。

しかし、大画素の場合大量のインクを入れる必要があるため、高速描画するためには描画方法を工夫する必要がある。使用しているMACHヘッドのノズルは1列あたり180ノズルで、 $141 \mu\text{m}$ 間隔で並んでいる。このようにヘッドのノズル間隔が決まっているため、ディスプレイの画素ピッチに合わせた構造にはなっていないので、装置(ヘッド配列)で対応する必要がある。その手段としては2案考えられる。まずノズル列を傾け描画方向への間隔を狭くする方法⁸⁾¹⁴⁾、またいくつかのノズル(ヘッド)を描画方向に対してずらして並べて見かけ上のノズルピッチを狭くする方法がある(図8)。本装置では後者を選択し、4列並べることによって、 $180 \text{dpi} \times 4 \text{列} = 720 \text{dpi}$ ($35.3 \mu\text{m}$ ピッチ)で構成した。これにより、ディスプレイの画素ピッチ・大きさが変わっても装置(ヘッド配列)を変えることなく対応することが可能になった。

インクジェット描画する機能層は前述のように、PEDOT/PSS層とLEP層がある。今回試作したインクジェ

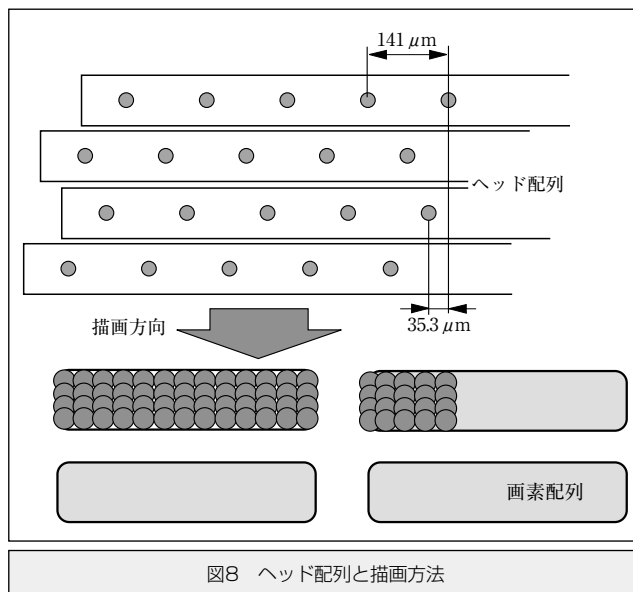


図8 ヘッド配列と描画方法

ット装置は、12個のヘッドを組んであるキャリッジを二つ搭載し、一方のキャリッジにPEDOT/PSSインク、もう一方にLEPインクを載せた。したがって、1台で全層を成膜できる構成にした。LEP層は3色(R.G.B)あるためキャリッジ内で分割した。

描画は各層ともに、40インチパネル内を一括で行った。PEDOT/PSSインクを描画・乾燥した後に、RGBインクを同時に描画・乾燥するプロセスである。もちろん、RGBインクを別々に描画する方法でも良いが、トータルの描画時間が長くなるので現実的ではない。

4.4 溶媒の乾燥による固体膜の形成

微小溶液の乾燥速度は主にその溶媒の蒸気圧に依存する。また、ディスプレイのように画素が多数並んだ液滴が乾燥する場合、液滴の発する蒸気がお互いに周囲の液滴の乾燥に影響を与える。したがって、パネル全体を均一に乾燥させるためには、その制御方法が非常に重要な要素となる。さらに、有機ELのように膜自体が電気的な特性、発光を左右する場合には、画素内の膜形状(プロファイル)をより平坦にしなければならない。画素内で膜厚ムラがあると、薄い部分により多くの電流が偏って流れるため、均一な発光状態が得られないからである。これらの要素を満足するために、以下のようなポイントに着眼した。

- (1) 基板構造
- (2) 乾燥速度
- (3) インク組成

画素内に描画したインクは、パネルの周囲の方から乾燥していく。これは、周囲に位置する画素は溶媒蒸気がお互い影響を与えにくいから、より速く溶媒が抜けていくからである。これに防ぐために、基板構造を改良した。発光画素の周囲に同じ形状のダミー画素を設け、そこに描画を行うことによって、発光する画素のインクが乾燥の影響を受けないようにする手法である。

また、パネル内の均一性に加えて画素内の平坦性を向上させるために、真空乾燥速度(乾燥プロファイル)、インク

組成を検討した。膜形状を決めるポイントは、溶媒が揮発している時の減圧スピードである。画素内のインクは、乾燥時に溶液のエッジが基板にピン止めされると、エッジ付近から蒸発する液分を補うために中央部から周辺に向かう流れができる。この流れによって溶質が周囲に運ばれ、最終的にはその部分の膜厚が厚くなり、真中がへこんだリング状の膜になる。いわゆる「コーヒーのしみ」のような状態である。

このような挙動は、対流が起きる程度にゆっくりと乾燥させると起きる。逆に非常に速く溶媒を揮発させることにより、対流を発生させない状態で膜を形成できれば、「コーヒーのしみ」ではなく平坦な膜にすることは可能である。

パネル全体の均一性、画素内の平坦性を得るために乾燥方法を制御することは最も重要な要素であるが、これらはインクの特性によっても左右される。例えばインクの揮発性が高い場合、インクジェット描画している最中から溶媒が揮発し、画素ごとのインク量バランスが崩れ均一性を得ることができない。特に40インチパネルのように大きい基板に対しては、そのような挙動が起きないようなインクにすることが必要になる。本試作でも、特に揮発性の低い溶媒を選定することにより、基板内の均一性を向上させることができた。また、3色とも同じ溶媒組成¹⁵⁾にすることにより、全色において膜厚約100nmの薄膜の膜プロファイル形状を同じにすることができた。

5. 大型フルカラー有機ELディスプレイ

以上述べたようなインクジェット技術、LTPS基板というエプソンのコア技術を適用し、40インチ有機ELディスプレイを試作した(図9)。

画面サイズ	対角40インチ
画素数	1280(×RGB)×768dots(W-XGA)
駆動方法	アクティブマトリクス
精細度	38ppi
色数	26万色

これにより、低分子系では困難とされている大型基板へのEL材料のパターニングが、高分子材料でインクジェット法を用いることにより、実現可能であることが実証できた。

6. む す び

インクジェット法を利用して40インチ大型有機ELディスプレイを試作した。このプロセスによって薄膜を形成させるためには、以下の三つの大きな工程に分類することができる。

- (1) 微小液体を生成・吐出するインクジェット工程
- (2) その微小液体をパターニングする工程
- (3) 液体が乾燥して固体薄膜になる工程

このような核となる技術を開発することで、目的の形状・性能を有する薄膜が基板上の正確な位置にきちんと形



図9 40インチ有機ELディスプレイ

成できるようになる。インクジェット技術のように微小液滴を形成するプロセスは、今後の有機ELディスプレイ等の薄膜デバイス作製には大変有力な製造方法であることが確認できた。

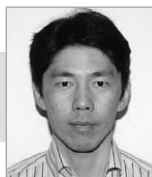
今後商品化を実現するためには、EL材料本来の発光寿命向上が必須となる。材料メーカーの開発推進で年々寿命は向上しているが、現在、輝度の半減寿命が数千時間程度であるので、実現化には10倍以上の向上が望まれる。

またインクジェットプロセスとしては、発光ムラのないきれいなパネルを作り上げることが最も重要な課題である。これは、インクジェットヘッドのヘッド内およびヘッド間の吐出ばらつきを低減すること、溶媒の乾燥を制御して均一なかつ平坦な膜形状にすることで実現可能であると考えている。

(2006年4月6日受付)

〔文 献〕

- 1) 碓井稔：“インクジェットプリンタ技術と材料 第8章”，CMC (1998)
- 2) C.W. Tang et al: Appl.Phys.Lett., 51, p.913 (1987)
- 3) J.H. Burroughes et al: Nature 347, p.539 (1990)
- 4) S.K. Heeks et al: SID Digest 2001, p.518 (2001)
- 5) C. MacPherson et al: SID Digest 2003, p.1191 (2003)
- 6) M. McDonald: SID Digest 2003, p.1186 (2003)
- 7) M. Fleuster et al: SID Digest 2004, p.1276 (2004)
- 8) D. Albertalli: SID Digest 2005, p.1200 (2005)
- 9) M. Akahira et al: IDW'98, p.295 (1998)
- 10) 下田達也：“マイクロリキッドプロセスを用いたデバイスの創生と将来展望”，微細化加工 [基礎編]，高分子学会編，エヌ・ティー・エス，pp.101-142 (2002)
- 11) S. Sakai: "Dynamics of Piezoelectric Inkjet Printing Systems", proc.IS&T NIP, pp.15-20 (2000)
- 12) T. Shimoda et al: SID Digest 1999, p.376 (1999)
- 13) T. Shimoda et al: Tech Digest of SID99, p.376 (1999)
- 14) N.C. van der Vaart et al: SID Digest 2004, p.1284 (2004)
- 15) S. Kanbe et al: Euro Display99 Late-news papers, p.85 (1999)



たなべ せいいち
田邊 誠一 1990年、信州大学大学院修士課程修了。同年、セイコーエプソン(株)入社。液晶材料、カラーフィルタ、インクジェットインクの開発を経て、2000年より、有機ELの開発に従事。現在、OLED開発センター課長。