特 集

フラットパネルディスプレイの製造技術

【解 説】

量産対応有機 EL 製造技術*

濱田正樹**

Production Technology for Organic Electro Luminescence Diode/Masaki HAMADA

Key words: OLED, evaporation, encapsulation, E-Beam, alignment, substrate size, electro luminescence, throughput (tact time), vanix coating, polymer-OLED, post LCD

1. はじめに

有機 EL のフルカラーはいつ世に出るかといわれて久しい。そのような中、日本の FPD メーカーがフルカラーのパネルを生産、携帯電話のディスプレイ、デジタルカメラに搭載するとの発表があった。また時を同じくして、台湾の FPD メーカーがアモルフォース TFT 基板で 20 インチ（1 枚基板）のフルカラー化に成功したとの発表があったが、これはこれまでの国内最大の 17 インチを上回る大画面であり、携帯電話、PDP のみならず、いよいよ TV 画面が有機 EL の視野に入ってきた。年内には国内はじめ韓国、台湾各社もフルカラーパネルの量産化を計画しており、装置を担うメーカーの立場としては喜ばしい限りである。

有機 EL がポスト LCD として脚光を浴びているが、その最大の理由はブロードバンド、モバイルを目的とした次世代のディスプレイに限りなく向いているからである¹⁾。表 1 に有機 EL ディスプレイの特長をまとめてみた。

2. 量産装置に求められるもの

現在有機 EL のパネルを作っているところはパネルメーカーのほかにも有機材料メーカー、研究所などがあり、それぞれ各種の研究発表をしているが、量産メーカー以外では 1 日に 1 枚とか 2 枚のサンプル製作用の装置を使用している。

ところが単品生産と量産では装置のコンセプトが全く異なり、量産装置に求められるものは数的にも、質的にも高

度で厳しいものとなる。現在当社は有機 EL デバイスの量産装置を製作しているが、製造するために考えなければならないことを大別すれば表 2 のようになる。

2.1 製造環境

有機 EL デバイス作製で厄介なことの一つに成膜した有機発光層を大気環境から遮断するため、有機発光層を封止しなければならないことがある。例えば封止を行わなかつ

表 1 有機 EL ディスプレイの特長

液晶 (LCD) に見当たらない有機 EL ディスプレイの優れた特性。21 世紀の理想的な FPD として注目を集め、急成長が期待される。

- (1) 自己発光でバックライトを必要とせず、パネル厚みが 1~2 mm と超薄型・軽量。
- (2) 高輝度・高コントラストで鮮明に見え、視認性がよい。
- (3) 180° に近い視野角で、どんな斜めの角度からでもハッキリと見ることができる。
- (4) 応答スピードが液晶より 1000 倍も速く、ブロードバンド時代の動画再生に最適。
- (5) 直流電圧駆動で、低消費電力で省エネルギー。
- (6) -40℃ の氷点下から +100℃ 以上の高温まで、過酷な環境下にも耐えられる。
- (7) バックライトに水銀を含む液晶と異なり、有機材であるため地球環境の汚染なし。
- (8) 素子の構造が液晶と比べ非常に単純で、低コスト化が大きく期待できる。

表 2 量産装置の課題と対策

課 題	対 策
製造環境	成膜から封止工程の一貫連続製造
有機材料の安定蒸発	蒸発速度制御と蒸発源構造
有機材料の確保と供給	蒸発源の大型化と供給機構
金属電極の蒸発源	電子銃蒸着と 2 次電子対策
マスク交換と位置決め	各種交換 位置決め機構
封止環境	脱水機構と露点管理
安定封止	封止治具の精度と加圧管理
封止前工程	吸湿剤供給、接着剤塗布の自動化

* 原稿受付 平成 15 年 4 月 7 日

** トッキ(株) (東京都中央区銀座 7-15-5)
神戸商船大学機関科卒、日本郵船、日本バル
ザースを経て、2000 年トッキ (株) 入社。真
空装置営業部勤務。

図 1 有機 EL 発光層のダークスポット

た場合、有機発光層は図 1 のように大気中の水分を吸湿して激しく劣化、発光層にダークスポットを発生させ、その部分の発光機能を阻害する。これはディスプレイデバイスとしては致命的な欠陥であり、回避する手段を講じなければならない。

封止は封止材料、封止の環境およびタイミングを考える必要がある。

2.1.1 封止材料

図 2 のように有機発光層を封止するのであるが、封止材料としてはスチール、ガラスが現在のところ一般的である。将来的にはシート PC、フィルムディスプレイへの適用に最適な膜封止の方向に進むものと思われる。

封止缶、封止ガラスの内部には、有機発光層あるいは UV 接着材からの水分発散による有機発光層劣化防止のため、乾燥剤を投入している。ここでは封止缶、あるいは封止ガラスをガラス基板に貼り付け、有機発光層を密閉する技術が必要となる。UV 接着材の材質、塗布時の幅、高さ、連続性などが要求される。

2.1.2 封止プロセス

前述したように有機発光層を蒸着した基板を大気中に取り出す方式では、ダークスポットの発生を阻止することはできない。したがって蒸着プロセスと封止プロセスは連続した流れの中で処理されなければならない。図 3 は製造工程の流れを示したものである。封止は蒸着とは異なり、低真空中で窒素ガス雰囲気の中で処理される。

2.2 有機材の安定蒸発

有機デバイスに求められる品

質の一つに、有機発光層の膜厚分布 (Uniformity) がある。性能のよいデバイスを作るには、現在基板上で $\pm 7\%$ を確保する必要がある。安定蒸発のための蒸発源の開発、蒸発速度の適正制御が必要になる。有機 EL デバイス量産装置開発の中で最重要項目の一つであり、思考錯誤の連続で苦勞した部分であった。

有機材は粉末状の固体であり蒸発させるためには、セル形状のるつぽに入れて加熱する。セル形状をどのようなものにするかは設計思想にもよるが、制御の容易さをベースとした安定蒸発を考えた場合、図 4 のようなポイントセル方式がよいとの結論に達した。図 4 は一般的なセルの形状であり、実際はもっと複雑な形状となっており、材料が突沸時のスプラッシュ防止、開口部への有機材の堆積防止、材料の充填率に左右されない安定蒸発等の対策が施された構造となっている。蒸発速度は蒸発レート、温度によ

図 2 有機 EL 構造および成膜、封止²⁾

図 3 製造工程の流れ

図4 ポイントセル

図5 リボルバー式セル

るPID制御を行っている。基板への成膜速度は材料により異なるが、毎秒2 Åから10 Åで調整している。

2.3 有機材料の確保と供給

量産装置を効率よく稼働させるにはメンテナンスを考慮しながら、できるだけ連続運転時間をのばすことが必要となる。一般的には連続5～6日運転を基準として蒸着室の設計をすることが多い。セルを図5のように切り換えながら使用することで、長時間有機材の充填なしに連続運転を可能ならしめるが、セルの切り替え後の蒸発量安定まで若干の時間を必要とする。セルの容量は30～90 ccが一般的であるが、150 ccも実用化のめどがたっている。セルが大きくなると先に述べた諸問題の対策がより複雑となるため、十分な検証を積み重ねる必要がある。

2.4 金属電極の蒸発源

金属電極としてはパッシブ方式の場合ITO基板が陽極となるため、有機発光層を成膜後に陰極として金属膜を成膜する必要がある。金属膜として最も使われているのがAlで、有機材の加熱方法とは異なる電子ビームによる加熱、溶解方法を採用している。Alの蒸発はセル方式による高温加熱ではレートが稼げないため、二次電子防止対策を施した電子ビーム方式を採用している。長時間の使用に当たっては、Al材をフィーダにより供給している。

2.5 マスク交換と位置決め

蒸発源とともに重要な機能としてマスクと基板の位置決

図6 2.2型OLEDパネル

め機構があげられる。フルカラーのデバイスを作る場合、3色塗り分け、色変換、カラーフィルタと3方式があるが、当社は図2にあるように3色塗り分け方式を採用している。この方法は基板とマスクの位置精度が出ないと、色が重なるなどの問題が発生し3色の発光ができなくなる。

図2では基板に対しマスクをずらす（移動させる）ように記載されているが、現実には同一蒸着室で3色を蒸着させることは、コンタミの問題があるため一部の実験機を除き行われていない。3色の蒸着はそれぞれ別の蒸着室（3室）で専用のマスクを使い行っている。

図6に有機EL2.2型パネルの一例を示す。このパネルの場合では、色間の距離が88μmなのでマスクをそれぞれ88μmシフトさせる調整を行い塗り分けしている。ちなみに位置決め精度は5μmであるが、最近では3μmを要求するパネルメーカーも出てきている。

実際の位置決めは図7のような方法があるが、有機発光層の位置決めにはCCDアライメント方式が使われている。

また、蒸着室でのCCDアライメントを可能ならしめるためには、図7のガラス基板とマスク蒸着マスクのアライメント直前の位置精度が1mm以内になければならず、通常プレアライメント室を設け、そこで1mm以内の調整を行い蒸着室に持ち込むのが一般的であるが、余分なチャンバが増えコストもかさむことから、基板、マスクの取り入れ室、ストック室の段階から位置調整機能を設けることにより、蒸着室に基板が入り、次にマスクが入った時点で位置精度が1mm以内になるような工夫を行い、プレアライメント室を省いている。

2.6 封止環境

先に述べた通り有機発光層は水分をきらうので、封止工程は大気圧に近い低真空、窒素ガス雰囲気で行ってい

図7 基板とマスクの位置決め

る。

窒素ガスを循環精製しながら、露点管理を行い常にベストコンディションで封止が行われるようになっている。

図3にある封止前工程においても同様の処置がとられており、乾燥剤の充填から封止室まで露点管理された、窒素雰囲気の中ですべてが処理される。

2.7 安定封止

封止方法は図2のように封止缶を押し上げてガラス基板に密着させ、UVを照射し接着剤を硬化させる方法を採用している。ここで問題となるのは、1枚のガラス基板、例えばサイズが370×470 mmでパネル数が約200枚の場合、封止缶トレイには200個の封止缶が整列配置されている。その200個の封止缶を一括で押し上げ、それぞれを均一に封止しミスのないようにするためには、加圧の均一性などが要求されるが、そのための封止機構の開発と高度な調整が必要となる。この部分も長期間にわたり思考錯誤を繰り返しながら、最良のモデルを作製、現在の量産機に至っている。またこの封止機構は封止缶から1枚のガラス封止になっても応用が利き、現行の缶、ガラス封止に対しては万全となっている。

2.8 封止前工程

この工程は封止缶、あるいはガラスを封止に適した状態に封止室に送りこむための準備工程である。

工程は大まかには封止缶（ガラス）整列→乾燥剤充填→乾燥剤シール貼り→接着剤塗布→ガス出し→封止室となる。

ここでは先に述べたように、缶封止なのかガラス封止か、あるいはガラスでも1枚ガラスなのか、缶同様の多数枚ガラスなのか、でそれぞれ対応を変える必要がある。また、乾燥剤も粉から最近ではテープ状のものに変わってきており、装置メーカーとしてはそれらの動向を踏まえながら、事前に適切な技術対応を講じている。

2.9 スループット

最近の量産装置では生産性向上のため、スループット

（基板1枚が生産される時間）は4分を要求される場合が多い。前処理、蒸着、封止、封止前のどの工程においても、4分を上回することは許されない。特に蒸着工程では4分間に蒸着、搬送、アライメントを行わなければならない。どうしても搬送、アライメントにしわ寄せがくる。搬送速度は基板の安定搬送により制限を受けるためむやみに速度を上げられない。したがってロボット手を複数にして対応するなどの対策が必要となる。またアライメントは数回で調整しているのが現状であるが、これを1回にできれば十数秒の時間短縮となるため、アライメント機構の見直しを行っている。

3. 実際の量産装置²⁾

これまで述べてきたことを応用したのが図8、図9にあるフルカラー有機ELデバイス量産装置である。図8は成膜と封止の工程を一体化させた、量産製造用フルカラー有機ELデバイス製造装置（ELVESS-C）の平面概要図を示す。

搬送室の周囲に処理室を放射状に配置した、8角形のクラスタ型で構成されており、搬送室の中央にはロボットが設置され、ガラス基板を各処置室に順次移送しながら有機ELデバイスを完成させるシステムとなっている。

量産対応のため成膜1工程、成膜2工程、封止工程からなる3つのクラスタ（搬送室）で構成されており、それぞ

図8 フルカラー量産製造装置

図9 フルカラー有機 EL 量産製造装置²⁾

れのクラスタは受渡し室で連結されている。この装置構成はガラス基板1枚当たりのスループットが4分前後で計画されたものである。

成膜1, 2工程は真空, 封止工程は露点管理された低真空窒素ガス雰囲気中で作動する。工程の流れは次の通りである。

- (1) 図左下の外部ロボットが基板ストックから ITO ガラス基板を取り出し、仕込室に自動供給する。
- (2) 成膜1工程は、プラズマ洗浄→正孔注入層蒸着→正孔輸送層蒸着→R蒸着と続き、成膜2工程に受け渡される。
- (3) 成膜2工程は、G蒸着→B蒸着→電子輸送層蒸着→金属陰極1, 2蒸着と移動し、フルカラーの有機発光層が成膜され封止工程に渡される。
- (4) 封止室1, 2に搬送された成膜済みのガラス基板は封止室内で封止缶（ガラス）を待つ。
- (5) 他方、封止工程の前工程で封止缶を封止できるように準備しなければならない。この工程は2.8項で述べた通りである。
- (6) 封止トレイは封止室に運ばれ、プレス機構でトレイは押し上げられ、待機していたガラス基板に押し当てられ加圧される。同時に UV 照射を行いすべての封止缶を接着する。
- (7) 装置外のロボットが封止されたガラス基板と、空のトレイを外に取り出す。取り出された完成基板はスクライバ、ブレーカ工程に運ばれ、60～200個のパネルに分割される。その後モジュール工程に運ばれフルカラー有機 EL パネルが完成する。

4. 今後の取り組み

これまで最新の技術を集大成した装置について述べてきたが、解決を図らねばならない問題はまだまだ残っている。その中で現在研究中、実装テスト中のものをいくつか紹介する。

(1) 大型基板への対応

現在 400×500 のガラス基板までの実績があるが、開発中の基板は 600×720, 730×920 と約2～4倍の大きさである。基板の大型化は搬送技術、成膜（膜の Uniformity）、基板、マスクの自重によるたわみの問題等を解決しなければならず容易なことではない。ただ、TV等の大型ディスプレイの実用化、および製作コストの削減を考えると基板の大型化は必至であり対応を急いでいる。

(2) 高分子有機 EL デバイス製造装置

高分子有機 EL は、まだ材料の問題、インクジェット方式による印刷技術の問題等々、実用化には解決しなければならない問題が多い。しかしながら、高価な真空蒸着装置を必要とせず低コストで生産できること、また大型基板対応も容易であることから、将来は有機 EL ディスプレイの主流になるといわれている。

当社は高分子有機 EL の基本特許を有している英国の CDT 社（Cambridge Display Technology）との間で協同開発契約を締結、当社の低分子有機 EL パネル製造装置と CDT 社の高分子技術を組み合わせることによる装置開発に着手している。

図10は完成予定の高分子フルカラー量産製造装置の概略図である。

(3) Vitex 社の薄膜封止技術を応用した量産設備

封止は缶にせよガラスにせよ、どうしてもその分だけパ

図10 高分子フルカラー量産製造装置概略図

図11 有機EL薄膜封止

ネル全体が厚くなり、有機ELの利点の一つである薄型化ができなくなる。またフレキシブルデバイスを考えた場合、缶、ガラス封止は阻害以外の何物でもなくなる。

このため封止缶、ガラスを使用せず、水分を透過させない薄膜を積層し封止ができれば、薄型、軽量化が実現することになり、有機ELの用途が大きく広がることにな

る³⁾。

当社は米国 Vitex 社と提携して、薄膜封止方を取り入れた成膜、封止連続処理の量産装置を完成させるべく、実験装置を製作して具体的な開発を開始した。

Vitex 社の薄膜封止 (Varix Coating) はピンホールのないポリマー層とセラミック層を交互に成膜、積層させてバリア性を高める技術である。図のようにモノマーを真空中で成膜し、UV照射でポリマー化しピンホールをなくす。その後膜の強度を高めるためセラミックをスパッタして5 μ mの層をつくる。1層では膜強度が不足するので

3～5層の多層膜とする。この膜は透過性に優れるため、トップエミッションの有機ELデバイスにも適している。

図11は薄膜封止の概念図である。

5. おわりに

有機ELは日々進歩を重ねておりその将来が期待されているが、進歩の過程で多くの解決しなければならない問題に遭遇する。これらの問題は製造メーカだけでは解決しない事柄も多く、材料メーカ、マスク製作メーカあるいは実際に装置を使用しているデバイスメーカの協力が不可欠である。

有機EL産業が大きく花開くよう、関係者のいっそうの努力と協力を期待したい。

参考文献

- 1) 吉田広幸：次世代ディスプレイ有機ELの市場性展望，月間ディスプレイ，9（2002）
- 2) 永澤 隆：フルカラーの実用化をアシストする有機ELディスプレイ製造装置，月間ディスプレイ，9（2002）
- 3) 杉本 晃：有機ELフィルムディスプレイの開発，OPTRONICS，3（2001）