

有機 EL ディスプレイの開発状況

Development Progress of Organic EL Display

宮口 敏

Satoshi Miyaguchi

要 旨 次世代のフラットパネルディスプレイとして注目されている有機 EL は、自発光で薄型のディスプレイであり、広視野角・高コントラスト・高速応答など LCD にない特長を有している反面、水分に弱いという問題点があり、実用化が遅れていた。本稿では有機 EL ディスプレイの現在の市場動向、特徴、材料、プロセス、駆動方式の開発状況について述べるとともに、新技術による高効率・高機能化へのアプローチについて述べる。

また有機 EL の実用化では信頼性の向上が重要な課題で、有機 EL の製造ラインには半導体工場クラスのクリーン度が要求される。

Summary Organic electroluminescent (OEL) displays attract great attention as the next generation flat panel display. OEL displays have particular characteristics such as self emitting nature and very thin structure, but they have a weak point of low tolerance to moisture. This paper summarizes the mass-production situation, the features, materials, process, driving system, and the novel technological approach to get high-efficiency on the OEL display. One of the future challenges of the OEL display is the improvement of reliability, and we need a level of cleanliness equal to a semiconductor factory.

キーワード： 有機 EL，アクティブマトリックス駆動，燐光発光，防湿膜，
有機 EL フィルムディスプレイ

1. まえがき

有機 EL ディスプレイ (Organic electroluminescent display) は、自発光型のディスプレイであり、視野角が広い、コントラストが高い、応答速度が速いなど、LCD (Liquid Crystal Display) にない特長を有している。

有機 EL ディスプレイの実用化は低分子有機 EL 材料を用いたものが先行し、続いて高分子型有機 EL 材料を用いたものも実用化され、現在は両方式で、高精細化・高コントラスト化な

どディスプレイの性能向上に各社研究開発を進めている。

1997 年に、当社から世界初のカーオーディオ用緑単色ドットマトリックスディスプレイが市場導入された。その後、1999 年に 4 色エリアカラーディスプレイを開発、カーオーディオに採用、2000 年にはモトローラ社製携帯電話のディスプレイに採用された。

また他社からも有機 EL の市場導入がなされた。2000 年にアルパイン社のカーステレオに

TDK 社製ディスプレイが搭載され、2001 年に NTT ドコモ社の携帯電話FOMAにサムスンNECモバイルディスプレイ (SNMD) 社製のフルカラーディスプレイが採用された。

一方、高分子型有機ELディスプレイは、フリップス社が2002年にシェーバーに搭載し、市場導入した。2003年には、エス・ケイディスプレイ社から初の TFT 駆動フルカラーディスプレイがコダック社製デジタルカメラに搭載された。

有機ELは車載用として導入されたが、今日では携帯電話を始めさまざまな分野で採用されるようになってきている。さらに、最近では17インチのフルカラーディスプレイの試作パネルや多方面での応用が可能なフレキシブルタイプのフルカラーディスプレイの試作も発表され、本格的な実用段階を迎えたと考えられる有機ELディスプレイの技術動向を中心に述べる。

2. 有機ELの特徴

1987年、イーストマンコダック社のC. W. Tangなどによる高輝度、高効率有機EL素子の報告⁽¹⁾以来、有機ELの研究が活発化した。

有機EL素子は、

- (1) 電流注入型薄膜面発光タイプの素子である。
- (2) 低電圧駆動が可能である。
- (3) 明確なダイオード特性を示す。
- (4) 応答速度が速い。
- (5) 有機材料を用いているので新規材料の設計、合成が比較的容易である。

などの特長を有しており、高機能フラットパネ

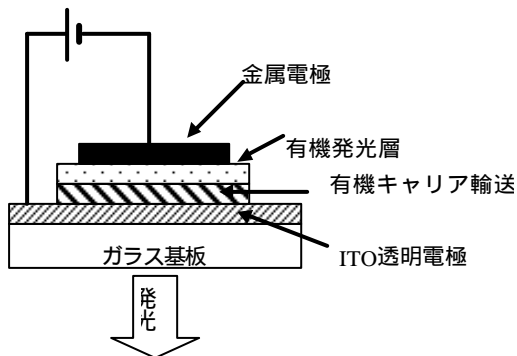


図1 有機EL素子の構造

ルディスプレイの実現が可能である。

図1に有機EL素子の構造を示す。有機ELは、ガラスなどの透明な基板の上に、陽極としてITO (Indium Tin Oxide) 透明導電膜、その上に単層あるいは多層の有機発光層、陰極にAlなどの金属が順次成膜された構造の素子で、両電極を含めた厚さはサブミクロンの極薄デバイスである。両電極間にDC数Vの電圧を印加することで、100 cd/m²以上の輝度を得ることができる。また、有機EL素子は電流注入型で、かつダイオード特性を示すので、OLED (Organic Light Emitting Diodes) とも呼ばれる。

一方、有機ELは水分による陰極の酸化などでダークスポット (非発光領域) の発生・拡大などにより表示品質を劣化させるなど、水分による損傷を受けやすい性質は、有機ELのディスプレイとしての実用化を困難にしていた最大の原因であり、これを解決するために多方面からの研究開発がなされた。

3. 有機ELの現状

各社から各種方式の有機EL素子が開発され、さらに高性能化を実現するため各社は新技術の研究開発を進めている状況である。本章では材料、プロセス、駆動方式に関する現状を述べる。

3.1 低分子材料 vs. 高分子材料

低分子有機EL材料は、材料を真空チャンパー内にセットし、抵抗加熱により昇華、蒸発させて基板上に成膜させる、いわゆる真空蒸着法を用いる。蒸着法を用いると、有機膜の多層化を簡単に行うことができ、キャリア輸送能の高い材料、発光材料、キャリア阻止能の高い材料などを所望の構成、厚さで作製することができる。現在までに多数の材料メーカーが新規材料を開発している。それらの典型的な材料の構造を図2に示す。赤、青、緑の3原色をはじめ、黄、橙、白などの発光材料が開発されており、効率も蛍光色素の理論限界といわれる外部量子効率5%に近い値を達成しており、駆動寿命も初期輝度100cd/m²では10,000時間以上を得ている⁽²⁾。

それに対して高分子(ポリマー)材料では、発光層を印刷など溶液で塗布することで成膜できる特徴を有している。図3に高分子材料の典型的な材料の構造を示す。塗布型の素子であるので基本的には単層膜であるが、PEDT-PSS(poly(ethylene-dioxy)thiophene - poly(styrene-sulfonic acid))という各種溶媒に不溶なバッファ材料をITO上に塗布することで、特性、寿命の飛躍的な向上が見られた⁽³⁾。発光材料としてはPPV(poly p-phenylene vinylene)系、Polyfluorene系が主流である。効率や駆動寿命も緑、黄、橙、赤では低分子系に劣らない値を示しているが、青系の材料は色純度と駆動寿命が劣っているといわれ、高分子系フルカラー有機ELディスプレイの実現には青色材料の開発が急務である。

現在のところ、実用化の面では低分子系が先行しているが、後述のフルカラー化プロセスでは、高分子系の優位性を主張する声もある。

3.2 陰極のパターニング・封止

有機EL素子は有機溶剤はもちろん、水分などの影響でダメージを受ける。水分は陰極を酸化、劣化させる。そのため従来は、成膜した有機材料にダメージを与えないように陰極を微細にパターニングすることが困難であった。この問題を解決するために有機材料成膜前に陰極パターニング機能を内蔵した構造を予めガラス基板に形成する技術が開発された⁽⁴⁾。

図4に陰極パターニング工程の概要を示す。この工程のキーポイントは、予め基板に形成された断面形状が逆テーパの構造物(陰極隔壁)がシャドウマスクとして働き、自動的に隣接した陰極金属膜を分断し、電気的に絶縁する点である。

また有機EL素子の大きな課題の一つにダークスポット(非発光領域)の発生があげられる。ディスプレイ作製後の陰極でのピンホールなどの欠陥から進入する水分の影響により、陰極・有機膜界面の陰極の酸化や剥離で円形状のダークスポットが発生、拡大し、著しい表示品位の

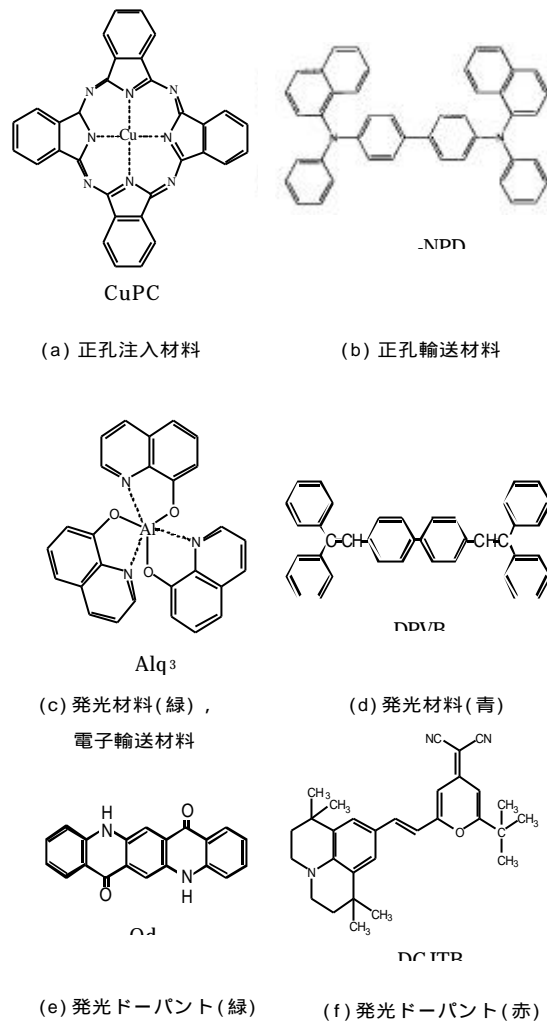


図2 低分子材料の構造

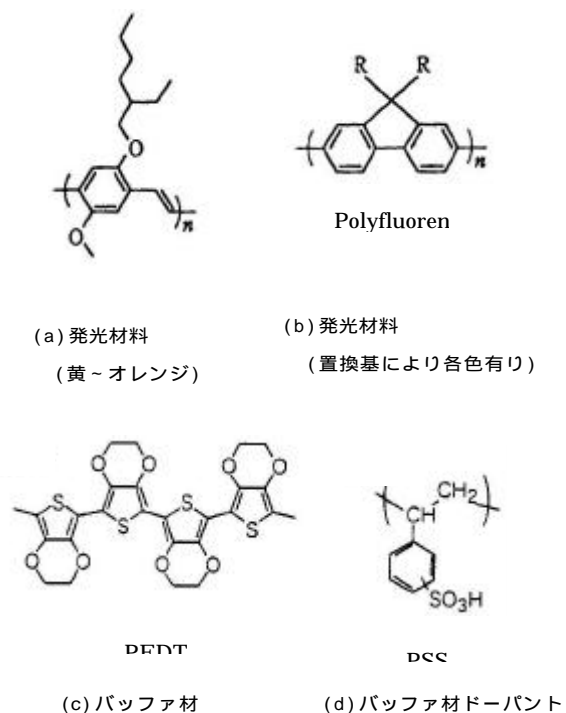


図3 高分子材料の構造

劣化や輝度減少を招くことである。これを防ぐために中空の缶を素子の裏面(成膜面)にエポキシ系樹脂を用いて貼り合わせ、中空部には乾燥窒素を封入し、捕水剤として酸化バリウム(BaO)を用いる方法⁽⁵⁾が開発された。

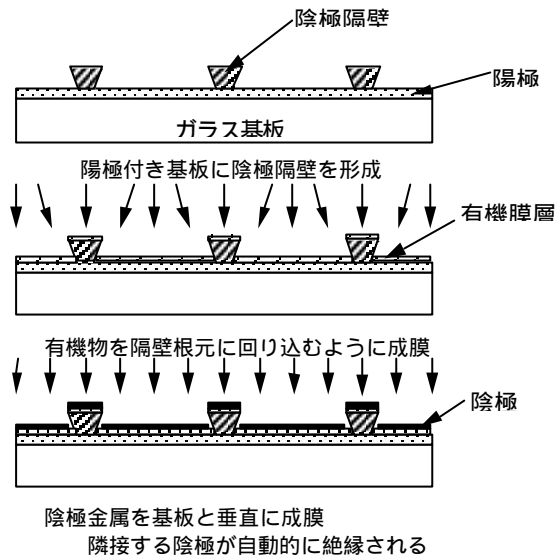


図4 陰極パターニング工程の概念

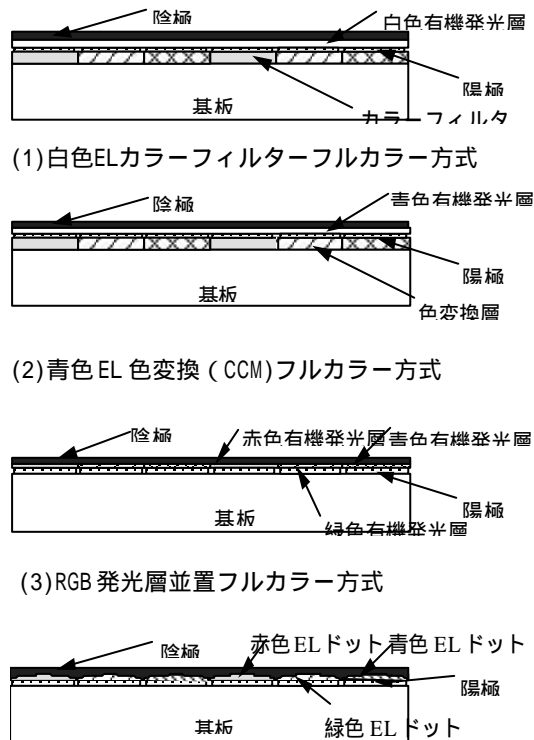


図5 有機ELフルカラーディスプレイの各種方式

3.3 フルカラー化方式

フルカラー化への試みは、今までいくつかの研究機関から発表されている。図5に代表的なフルカラー化方式を示す。

なお、フルカラーとは各色256階調、1677万色以上の表示の場合を定義しているが、実際には表示制御回路により階調が限定され、フルカラーの定義を満たさない場合もある。本稿ではデバイスとしてRGB(Red, Green, Blue)3色表示できるものをフルカラーディスプレイと呼んでいる。

3.3.1 白色ELカラーフィルターフルカラー方式

液晶ディスプレイと同様の原理で、白色発光の有機ELをカラーフィルターを用いてRGB(Red, Green, Blue)3色で発光させる方式である。本方式では有機層をベタで成膜できる利点はあるが、フィルターによる効率が低下する欠点がある。

3.3.2 青色EL色変換(CCM)フルカラー方式

青色発光の有機ELをCCM(Color Changing Mediums)という青色の光を吸収して緑や赤の色で発光させる色変換層を用いて、RGB3色を発光させる方式⁽⁶⁾である。本方式も有機層をパターニングする必要がない。またカラーフィルター方式よりは効率の低下が少ないが、特に青から赤への変換効率が低下する欠点がある。

3.3.3 RGB発光層並置フルカラー方式

RGB発光する有機EL素子を画素ごとに塗り分けていく方式⁽⁷⁾である。各有機EL素子に最適な材料を選択でき、効率的には最も優れているが、塗り分け用シャドウマスクの寸法精度・位置決め精度の難易度が高く、特に大面積で高精細なパターニングを行うのが難しい。

本方式はパイオニア、ソニー、エス・ケイディスプレイ、SNMDなどの各社が採用し、現在、低分子系フルカラーディスプレイの主流となっている。

3.3.4 インクジェット印刷高分子ELフルカラー方式

上述した各方式は低分子系であるのに対し、

図5(4)はインクジェット印刷高分子ELフルカラー方式⁽⁸⁾で、RGBの塗り分けが簡単で、コスト的に優位にあるといわれている高分子系フルカラーディスプレイである。

本方式は、溶媒に溶かした高分子EL材料をインクジェットプリンタでカラー印刷して画素を形成するので、真空成膜装置を用いなくても高解像度のパターンニングができる利点があるが、ドット内、基板内での膜厚均一性と素子特性、駆動寿命の両立が困難である。

本方式はセイコーエプソン、東芝、フィリップスなどの各社が実用化に向け研究開発を行っている。

3.4 アクティブマトリックス駆動

現在商品化されているデバイスは、N本ある走査側電極ラインを1/Nの時間だけ1ラインずつ駆動して必要輝度のN倍明るく発光させる、いわゆる線順次駆動単純マトリックス方式を採用している。本方式は、5インチ以上のディスプレイで、解像度を高くすると、配線抵抗による消費電力の増加、デューティ駆動による素子効率・駆動寿命の低下などでディスプレイへの悪影響は避けられない。

1998年頃から有機ELにおいても、消費電力・駆動寿命の改善、高精細・大画面化を実現させるため、TFT(Thin Film Transistor)基板によるアクティブマトリックス化の技術開発が発表⁽⁹⁾され始めた。電流注入型素子である有機ELをアクティブマトリックス化するためには、液晶ディスプレイに用いられているTFT基板をそのまま流用することは難しく、電流を多く流せる低温ポリシリコンTFT(LT-pSi TFT)を用い、1画素内に2Trあるいは4Trを内蔵する構造となっている。

2001年、ソニー、東芝の両社が新たにTFT駆動有機ELへの参入を発表した。特にソニー社は、13インチサイズのフルカラーを発表し、導入当初より現行のCRT方式テレビの置き換えを強く意識した方向性を打ち出している点が注目される。また同社はTAC(Top-emission Adaptive Current

drive)という、従来基板側から取出していた光を素子側から取出しTFTの回路による開口率低下を回避するとともに、光干渉効果で色純度も改善するという技術を開発した⁽¹⁰⁾。

2002年以降、LT-pSi TFTではなくアモルファスシリコンTFT(a-Si TFT)基板を用いたアクティブマトリックスディスプレイの開発も進み、エーユー・オプトロニクス社やインターナショナルディスプレイテクノロジー社などから次々と発表されている。

また、前述したように2003年エス・ケイディスプレイ社がLT-pSi TFT基板を用いたアクティブマトリックスディスプレイをデジタルカメラに搭載し、世界で初めて量産化した。

4. 次世代に向けた技術開発

4.1 新規高効率発光素子の開発

1999年、Baldoらの発表したイリジウム錯体($\text{Ir}(\text{ppy})_3$)を発光材料として用いた緑色素子は、これまでの蛍光発光による素子と異なり、燐光発光による素子で、従来の常識を覆す高い外部量子効率を示した⁽¹¹⁾。有機ELの発光メカニズムにおいて、キャリア再結合後の一重項励起子と三重項励起子の発生確率は1:3といわれ、一重項励起子のみが発光に寄与する従来の蛍光材料を用いた素子に比べ、三重項励起子が発光に寄与する燐光材料を用いた素子は、単純に計算して、3倍の発光効率を得られる。さらに一重項励起子による発光を加えることができれば、理論的には、注入された電気エネルギーをすべて光エネルギーに変換可能で、省エネが厳しく求められる時代には最適なデバイスと考える。但し、実際には外部量子効率は最大20%程度といわれ、基板内部で全反射し、外部に取出すことのできない光、すなわち内部損失が80%あると考えられている。なお、3.1で述べた低分子材料・高分子材料を用いた素子はいずれも蛍光発光であり最大外部量子効率は5%程度である。

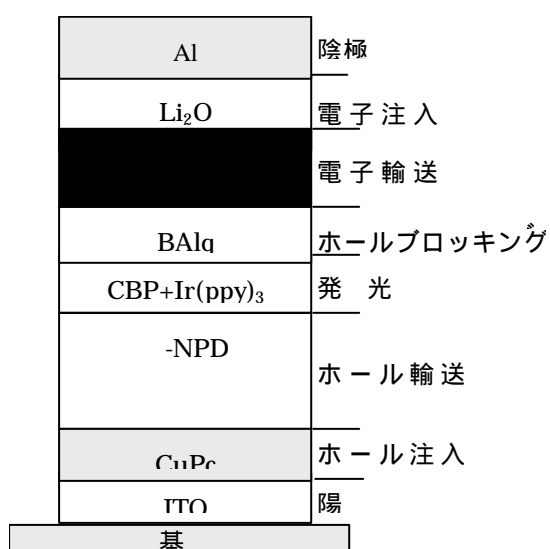
現在、燐光材料を用いた素子で、緑色では外

部量子効率 19.2%が⁽¹²⁾、赤色では10.3%が⁽¹³⁾それぞれ得られているが、燐光素子実用化の最大の問題点は効率と駆動寿命の両立である。Baldoらの発表した構造の素子は寿命が短く、DC 2.5mA/cm²駆動で、たかだか100時間程度で輝度が半減する。これは、発光機構に燐光が関与すること自体が短寿命の原因であるという可能性が考えられるが、素子の駆動寿命を左右する要因はその他にも、素子を構成する他の有機材料の安定性、各材料の純度、素子構造などが考えられ、原因の特定がなされていなかった。川見らは、Baldoらの発表した素子を基本とし、蛍光材料素子長寿命化対策と同様の手法で、燐光素子の駆動寿命が改善されないかどうか検討を行った⁽¹⁴⁾。図6(a)に緑色燐光素子の駆動寿命改善構造を、同図(b)に材料の構造を示す。

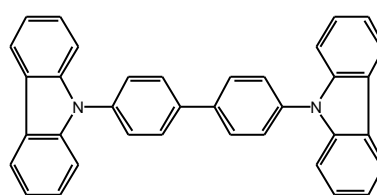
以下に改善手法を示す。

- 1) 燐光材料ドーパントである Ir(ppy)₃ のドーブ濃度を寿命の観点から最適化
- 2) ホール注入層としての CuPc 層の導入
- 3) ガラス基板・ITO 界面の屈折率段差による光学干渉を利用し光取出し効率を最適化
- 4) ホールブロッキング層の材料である BCP を BAlq へ変更

これらの方法によって、最終的に9%という高

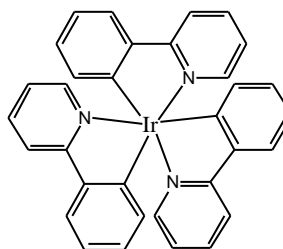


(a) 駆動素子改善素子構造



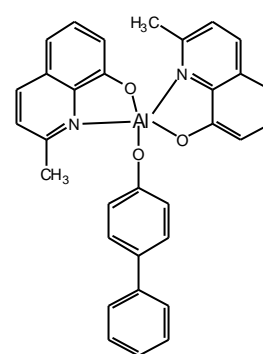
CRP

(b) 発光材料(ホスト材料)



Ir(ppy)₃

(d) 発光材料(ドーパント材料 = 燐光発光材料)



BAlq

(c) 正孔阻止材料(ホールブロッキング)

い外部量子効率を維持しながら 2.5mA/cm²時、初期輝度 818cd/m²で約3,000時間まで寿命が延びることを確認した。図7に輝度と駆動時間の関係を示す。

赤色燐光素子に関しても、同様の検討が行われ、ホールブロッキング材料に BAlq を用いて素子を作製し、大幅な駆動寿命改善効果を得ることができた⁽¹⁵⁾。

青色燐光素子の報告はあるが、色純度、駆動寿命などの点で満足すべきレベルには至っていない。

一方、高分子材料系では、前述の燐光材料ドーパントを高分子系ホスト材料に修飾させることで素子を作製させることに成功しており、

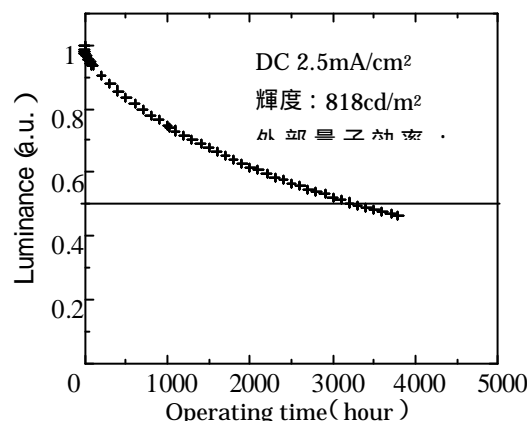


図7 緑色燐光素子最適化構造での駆動寿命

図6 緑色燐光素子の駆動寿命改善素子構造と材料の構造

緑色で外部量子効率5.9%を得ている⁽¹⁶⁾。

4.2 有機EL フィルムディスプレイの開発

フィルムディスプレイは液晶を用いて一部実用化されているのもあるが、超薄膜で発光する特徴を有する有機ELの基板をプラスチックにすることで、さらなる薄型化が容易で、電子ペーパーとして使用可能なディスプレイが実現できる。しかし、有機ELは前述したように水分に非常に影響されやすく、プラスチック基板の水分透過性がフィルムディスプレイ実現を難しくしていた。杉本らは、この問題を解決するために、プラスチック基板への防湿膜の開発を行い⁽¹⁷⁾、有機ELを用いたフィルムディスプレイの可能性を示した。

プラスチック基板からの水分浸透を防ぐためには基板と有機EL素子の間に防湿性に優れ、かつ光学的な透明性を有する膜を形成する必要がある。また成膜時には、成膜温度がプラスチック基板の耐熱温度以上には高くないこと、成膜された膜の応力があまり大きくならないことなどが重要である。

従来から防湿層には酸化シリコンと窒化シリコンが用いられてきたが、酸化シリコン膜を防湿層としてプラスチック基板上に成膜した有機EL素子は、常温常湿下では数日放置しただけで透明電極端部から非発光部分の進行が観察され、有機ELの防湿膜として不十分であった。一方、窒化シリコン膜は酸化シリコン膜に比べ防湿性の点で優れているが、プラスチック基板上に窒化シリコンを成膜すると茶褐色を帯びた膜となり、透過性が劣化する。そこで両者の元素を含む膜を形成することで、優れた防湿性と光学透明性を両立させ、有機ELの優れた特徴を十分に引き出すことが可能ではないかと考え、窒化酸化シリコン(SiO_xN_y)膜の検討を行った。

図8に窒化酸化シリコン膜における酸素窒素比と、光学透過率および保存試験後に陽極端部より進行した非発光部の関係を示す。同図から酸素窒素比率 $0/(0+N)$ がおよそ40%から80%の範囲で、膜の光学透過率が90%以上でかつ十分

な防湿性の膜が得られていることが分かる。

上述の窒化酸化シリコン膜を用いて、図9に示す有機ELフィルムディスプレイのプロトタイプを開発した。本ディスプレイは、薄さ約0.2mm、軽さ約3g(駆動ICを含む)と超軽量薄型で、フィルムディスプレイを曲げた状態でも鮮明な画像の表示が可能であることを示した。

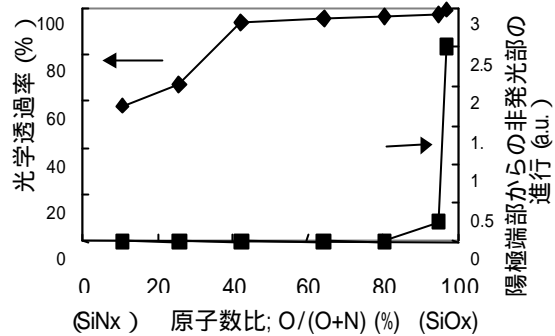


図8 SiON膜における酸素窒素比に対する光学透過率および防湿性の関係



図9 フルカラー有機ELフィルムディスプレイ

5. 今後の課題

5.1 製造ラインのクリーン度

早期に有機ELディスプレイの実用化が望まれているにもかかわらず、実用化が遅れている原因の一つに信頼性の問題がある。前述したように有機EL素子は厚さがサブミクロンオーダーの超薄膜素子で、また水分により性能が大幅に劣化する素子である。例えば0.1ミクロンオーダーのゴミが基板に付着していた場合、ゴミの厚さは、有機薄膜層と同程度の厚さとなり、そ

れで生じる欠陥により、ダークスポットが急速に拡大するなどの不良が多発し、ディスプレイとしての品質が大幅に劣化する。従って有機EL素子製造ラインの清浄度は、LCDよりもはるかに厳しく、歩留りを向上させるためにはクリーンルームのクリーン度は半導体製造ラインと同程度のレベルが要求される。

5.2 有機EL vs. LCD

現在、市場に導入されているフラットパネルディスプレイは中小型サイズではLCD、大型サイズではプラズマディスプレイが主流となっている。一方、有機ELディスプレイは、現在、小型ディスプレイ分野で実用化されている。産業規模では、LCDは2兆円強であるの対し、2004年で数百億円程度と予測されている。

有機ELはコントラストが良い、視角依存性が無い、応答速度が速いなどLCDに比べ優れた特徴を有しているが、LCDも改良を重ね、これらの性能はかなりのレベルまで得られている。LCDの有機ELに対する優位な点は、開発・量産がかなり早い時期から進められ、すでにディスプレイとしての基本的な技術および量産技術は確立されており、多数のメーカーが量産効果によるコストダウンを実現し、携帯電話からパソコンのモニター、家庭用TVなどの分野で用いられている点である。

一方、有機ELの研究開発は歴史が浅く、最近、急激に立ち上がってきてはいるが、現在は最適な条件を求めて研究開発を進めている段階で、有機ELを量産しているメーカーは極めて少なく、当分は量産効果によるコストダウンは期待できない状況にある。

しかし、有機EL素子は高コントラスト・高速応答・高輝度・広視野角などディスプレイとして優れた特徴を有しており、今後研究開発が進み、基礎技術および量産技術が確立され、ディスプレイとしての優れた特徴やカラーフィルターやバックライトなどの部品が不要で、かつシンプルな工程により、量産効果による低コストが進み、市場に徐々に普及し、浸透すること

で、LCDに置き換わる可能性がある。

6. まとめ

次世代のフラットパネルディスプレイとして注目を集めている有機ELディスプレイに関して、材料、プロセス、駆動回路の分野からみた開発状況を当社の開発成果を含めて述べた。

実用化が先行している蛍光発光を用いた有機ELディスプレイは低分子系・高分子系とも高性能、量産化技術の確立をめざして各社が研究開発を進めている。

有機ELの技術開発は、3重項励起子を利用した高効率発光、超軽量薄型のフィルムディスプレイ、アクティブマトリックス駆動など高性能・多機能・省電力化、および多方面への応用など次のフェイズへと移行し始めている。これらに関する研究開発は各社とも活発に進めており、本稿で述べた技術がすぐに陳腐化しそうな勢いである。当社を含め開発・量産化を進める各社とともに、有機ELの高性能化、量産技術の確立を実現し、高コントラスト・高速応答・高輝度・広視野角などディスプレイとして優れた特徴を有する有機ELの早急な実用化を達成し、今世紀の主力産業として立ち上げたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) C.W. Tang, S.A. VanSlyke: Organic electro-luminescent diodes, Appl. Phys. Lett., 51, p.913(1987)
- (2) 城戸淳二: 有機ELは液晶を超えるか?, 第11回フラットパネルディスプレイ製造技術展専門技術セミナーテキスト, 有機ELコースE1, p.5(2001)
- (3) A. Elschner, F. Bruder, H.-W. Heuer, F. Jonas, A. Karbach, S. Kirchmeyer, S. Thurm, R. Wehrmann: PEDT/PSS for efficient hole-injection in hybrid organic light-emitting diodes, Synthetic metals, 111-112, p.139(2000)
- (4) K. Nagayama, T. Yahagi, H. Nakada, T. Tohma, T. Watanabe, K. Yoshida, S. Miyaguchi: Micropatterning method for the cathode of

- the organic electroluminescent device, Jpn. J. Appl. Phys., 36, L1555 (1997)
- (5) 川見 伸, 内藤 武実, 大畑 浩, 仲田 仁: 有機EL素子の封止における捕水剤BaOの効果, 第45回応用物理学関係連合講演会予稿集, 29p-G-10, p.1223 (1998)
- (6) C. Hosokawa, M. Matsumura, M. Eida, K. Fukuoka, H. Nakamura, T. Kusumoto: Organic multicolor EL display with fine pixels, Journal of the SID, 5, p.331 (1997)
- (7) S. Miyaguchi, S. Ishizuka, T. Wakimoto, J. Funaki, Y. Fukuda, H. Kubota, K. Yoshida, T. Watanabe, H. Ochi, T. Sakamoto, M. Tsuchida, I. Ohshita, T. Tohma: Organic LED full color passive-matrix display, 9th International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence, p.137 (1998)
- (8) T. Shimoda, S. Kanbe, H. Kobayashi, S. Seki, H. Kiguchi, I. Yudasaka, M. Kimura, S. Miyashita, R. H. Friend, J. H. Burroughes, C. R. Towns: Multicolor Pixel Patterning of Light-Emitting Polymers by Ink-Jet Printing, SID99 Digest, 26.3, p.376 (1999)
- (9) R. M. A. Dawson, Z. Shen, D. A. Furst, S. Connor, J. Hsu, M. G. Kane, R. G. Stewart, A. Ipri, C. N. King, P. J. Green, R. T. Flegal, S. Pearson, W. A. Barrow, E. Dickey, K. Ping, C. W. Tang, S. Van Slyke, F. Chen, J. Shi, J. C. Sturm, M. H. Lu: Design of an Improved Pixel for a Polysilicon Active-Matrix Organic LED Display, SID 98 Digest, 4.2, p.11 (1998)
- (10) J. Yamada, T. Hirano, Y. Iwase, T. Sasaoka: Micro Cavity Structures for Full Color AM-OLED Displays, AM-LCD '02 Digest of Technical Papers, OD-2, p.77 (2002)
- (11) M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson, S. R. Forrest: Very high-efficiency green organic light-emitting devices based on electrophosphorescence, Appl. Phys. Lett. 75, p4 (1999)
- (12) M. Ikai, S. Tokito, Y. Sakamoto, T. Suzuki, Y. Taga: Highly efficient phosphorescence from organic light-emitting devices with an exciton-block layer, Appl. Phys. Lett. 79, p.156 (2001)
- (13) R. C. Kwong, M. R. Nugent, L. Michalski, T. Ngo, K. Rajan, Y. J. Tung, M. S. Weaver, T. X. Zhou, M. Hack, M. E. Thompson, S. R. Forrest, J. J. Brown: High operational stability of electrophosphorescent devices, Appl. Phys. Lett., 81, p.162 (2002)
- (14) 川見 伸, 中村 健二, 脇本 健夫, 宮口 敏, 渡辺 輝一: 燐光材料を用いた有機EL素子の長寿命化の可能性, Pioneer R&D, Vol. 11, p.13 (2001)
- (15) T. Tsuji, S. Kawami, Y. Fukuda, S. Miyaguchi: Improvement of Operating Lifetime of Red Phosphorescent Organic Light Emitting Devices, Proceedings of Asia Display/IDW '01, OEL3-2, p.1423 (2001)
- (16) 時任 静士, 田中 功, 鈴木 充典, 蒲池 元昭, 白根 浩朗: 燐光性高分子を用いた高分子EL素子の高効率RGB発光, 第49回応用物理学連合講演会 講演予稿集, 28p-YE-1, p.1317 (2002)
- (17) A. Sugimoto, A. Yoshida, T. Miyadera, S. Miyaguchi: Organic light emitting devices on polymer film substrate, Proceedings of the 10th International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence (EL'00), p.365 (2000)

筆者

宮口 敏 (みやぐち さとし)

- a. 研究開発本部, 総合研究所, 表示デバイス研究部
- b. 1976年4月
- c. 磁気ヘッドの開発, 光集積回路の研究開発を経て, 現在, 有機ELディスプレイの研究開発に従事。