

有機エレクトロルミネッセンス

榎 田 年 男*

Recent Trends of the Displays : Organic Light Emitting Diodes (OLEDs)

Toshio ENOKIDA*

* Technical Development Department of OLED Materials, Color Materials R&D Division, Toyo Ink Mfg. Co., Ltd.
27, Wadai, Tsukuba, Ibaraki, 300-4247 JAPAN

日本印刷学会誌 第39巻 第4号抜刷

社団法人 日 本 印 刷 学 会



有機エレクトロルミネッセンス

榎 田 年 男*

Recent Trends of the Displays : Organic Light Emitting Diodes (OLEDs)

Toshio ENOKIDA*

* Technical Development Department of OLED Materials, Color Materials R&D Division, Toyo Ink Mfg. Co., Ltd.
27, Wadai, Tsukuba, Ibaraki, 300-4247 JAPAN

1. はじめに

有機エレクトロルミネッセンス (EL) 素子の開発には、有機感光体 (OPC) 材料や有機太陽電池などの有機エレクトロニクス材料分野の研究成果が大きな影響を与えている。OPC 材料の電荷発生機構や正孔・電子の輸送および注入機構の解明は、有機 EL 素子の機構解明や機能向上に大きな役割を果たした。また、有機太陽電池の研究も、有機層同士、有機層と金属電極との接合状態や接合界面での電荷の注入状態の解析結果など、有機 EL 素子を開発する上で大いに参考になっている¹⁾。このような有機半導体の光電変換特性についての地道な研究により、有機 EL は液晶 (LCD) に続くフラットパネルディスプレイとして大きく推進されていくものと思われる²⁾。

本稿では、有機 EL 材料について解説すると共に今後の展開についても説明する。

2. 開発の歴史と今後の動向

有機物質の蛍光 (ルミネッセンス) 現象を発光素子に応用した有機 EL 素子は、固体自発光型のフルカラー表示素子としての用途が有望視され、多くの開発が行われてきた。1960 年代には、アントラセンなどの有機多環化合物の蛍光作用に注目して、多くの研究者が有機 EL 素子の研究を行っていたが、駆動電圧が高く、発光輝度や発光効率も著しく低く、実用領域には程遠い状況であった。1980 年代後半にイーストマン・コダックの C.W. Tang らにより、10

V 以下の低電圧で発光する高い蛍光量子効率を持った有機化合物を含有した薄膜を積層した有機 EL 素子が報告され関心を集めた³⁾。この素子は、金属キレート錯体を発光層、アミン系化合物を正孔注入層に使用して高輝度の緑色発光を得ており、6~7 V の直流電圧で輝度は数 1000 (cd/m²)、最大発光効率は 1.5 (lm/W) を達成した。発表当時の素子の駆動寿命は初期輝度 50 (cd/m²) で 100 時間であり実用には遠かったが、各研究機関の努力により、この数年に発表された素子の駆動時間は 1 万時間を大きく越え、実用化の目途が立ってきた⁴⁾。OPC は高電圧下で使用されるが、感光層内を流れる電流は多くても数 10 (μA/cm²) である。それに対して、有機 EL 素子は mA のオーダーで使用されることから耐性に対して不利とされてきたにも係わらず、近年の材料開発、素子作製技術の向上により駆動安定性などの問題点が克服されつつある。

1997 年 11 月に世界で始めて 256×64 ドットの緑色有機 EL ディスプレイが車載用途に販売された。1998 年以降、数々の電子機器、ディスプレイ関連のショウに多くのメーカーから出品されて、この分野の技術的発展が著しいことを示している。その中でも、低温 poly-Si TFT-LCD 技術と有機 EL 表示技術の融合によるアクティブマトリックス

— 榎 田 年 男 —

1982 年静岡大学工学研究科修士課程修了。同年東洋インキ製造株式会社入社。同社開発研究所で、有機顔料、有機光導電材料の開発・実用化に従事。1992 年千葉大学自然科学研究科博士課程修了。その後、同社筑波研究所で、有機 EL 材料の開発に従事。1999 年筑波研究所所長。2002 年 3 月より色材技術統括部 EL 開発部部长、工学博士。



* 東洋インキ製造株式会社 ケミカル事業本部 色材技術統括部 EL 開発部
(〒300-4247 茨城県つくば市和台 27 番地)

ス型フルカラータイプ有機 EL ディスプレイが大きな注目を浴びている。2002 年以降は、携帯電話を始め、多くの携帯情報機器用ディスプレイに使用され始めていくものと予測されている⁹⁾。

有機 EL ディスプレイは、LCD と異なり自己発光型の素子であるのでバックライトを必要としない。視野角の依存性もなく、応答速度も LCD より早い。また、コントラストの高い動画用ディスプレイに適している。また、高い発光効率であり、LCD で使用する偏光板やカラーフィルターを使用する必要がないので、低消費電力で高輝度、薄膜化が達成される。携帯用端末機器などに使用すれば、ファッション性を持った高品位で薄型・軽量の機器が可能になると思われる。

3. 動作原理

有機 EL 素子は陽極と陰極からそれぞれ正孔と電子を注入し、有機層内での再結合エネルギーにより励起させ、蛍光量子効率の高い有機化合物（蛍光性分子）の蛍光を利用している。図 1 に発光機構と電荷輸送機構について記述した。

陽極界面で有機分子から電子を引き抜かれて酸化されたカチオンラジカルは陰極に向かってホッピング移動する。また、陰極から電子を受け取り還元された有機分子はアニオンラジカルになり陽極に向かってホッピング移動する。これらのラジカル種が有機薄膜中で電子授受反応を起こし、そこで励起された分子から固有の蛍光が有機 EL 素子の発光として観測される。従って、蛍光性分子固有の蛍光波長、蛍光寿命などの励起状態での特性が素子特性に直接反映することになる。有機 EL 素子に使用される材料は、分子蒸着膜や塗布膜などでは非晶質状態である場合が多い。このような非晶質状態における電荷キャリアの移動度は、電界、温度、分子状態に大きく依存する。

図 2 に有機 EL 素子のエネルギーダイアグラムの一例を

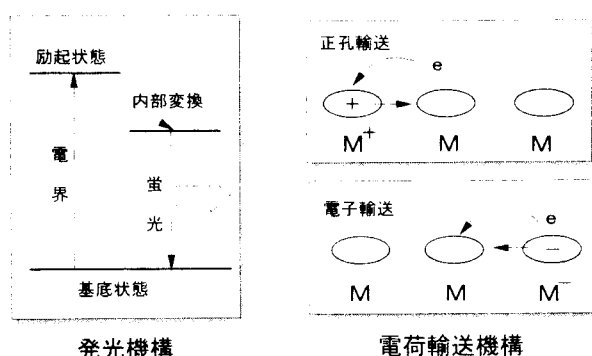


図 1 発光機構と電荷輸送機構

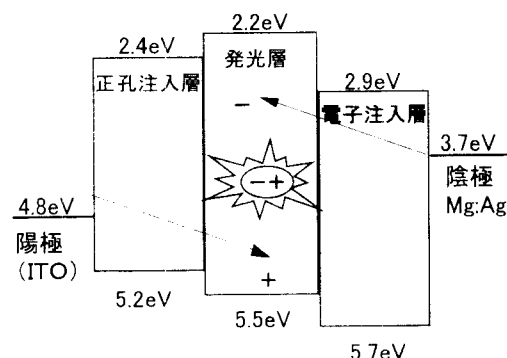


図 2 有機 EL 素子のエネルギーダイアグラム例

示す。このように、各層で使用する材料の仕事関数を設計することにより、発光帯域内で効果的に発光させることができる。有機 EL 素子の動作機構は、電極/有機層界面および有機層間の界面でのキャリア注入現象と有機層内部でのキャリア注入現象に基づいている。陽極から正孔を、陰極から電子をより注入できるようにすれば駆動電圧は低減する。効率良くキャリアを注入するためには、電極と有機層のエネルギーレベルの整合性を図る方法が一般的であるが、素子全体の導電性を向上させて低電圧駆動させる方法も有効である。

4. 素子構造

注入型素子である有機 EL 素子は、電流密度に対して直線的に輝度が増大する。有機層は絶縁性であり電極からの電荷注入はトンネル注入機構により生じ、電荷輸送は空間電荷に制限を受ける。従って、空間電荷制限の法則によれば、電極からの注入効率を上げるためには、電荷注入材料と接合の良い適切な仕事関数の電極を選択すること、有機層中では電荷注入材料の電荷移動度を高く、さらには有機層の膜厚を薄くすることで高い電流密度を得ることができる²⁾。

有機 EL 素子は ITO 等の透明電極（陽極）と低い仕事関数金属からなる背面電極（陰極）で有機層を挟んだ構造になっている。有機層は、低分子材料は真空蒸着法、高分子材料はディップやスピンコート法のような湿式法により均一な非結晶性薄膜として形成され、有機層合計で 200 nm 以下の極めて薄い膜厚である。この素子に電圧を印加することにより、有機分子に電荷の注入、励起状態、再結合状態を作り出して発光させている。有機 EL 素子は基本的には以下の項目を満足する必要がある。

- ① 電極から有機層に効率良く電荷を注入する。
- ② 注入された電荷を効率良く発光する分子の近傍に輸送する。

③ 正孔・電子の再結合確率を上げる。

④ 再結合後の発光効率を上げる。

これらの項目を満足するためには、有機材料の開発や改良も必要であるが、素子構造を工夫して達成することが近道でもある。これらの層構造に加えて、正孔注入層と電極の間にブロッキング層を設けて素子の耐性を向上させる試みや、発光層と正孔注入層もしくは発光層と電子注入層の間に、それぞれ、電子もしくは正孔ブロッキング層を設けて発光効率を向上させる試みなどもある。

フルカラー発光方式としては、

① 三種類の発光材料を各画素に塗り分ける三色独立法

② 白色光をカラーフィルターに通してフルカラー化する白色カラーフィルター法

③ 青色光を蛍光性フィルターに通すことによりフルカラーを表現する CCM 法

がある。

三色独立法は材料の面で無駄がなく、フィルターを使用しないのでコントラストや輝度の面で有利である。また、平面自発光型素子としての有機 EL の特性を最も生かしている方式と言える。有機 EL の特徴を最大限に生かすためには、最終的には三色独立の発光方式になると推測している。しかしながら、現在までに、色純度の高い発光材料、特に発光効率や発光輝度の良好な赤色発光材料は開発されていないので時間がかかったが、これら材料や蒸着時の高精度シャドウマスクの問題も開発の目処がたっており、今後はこの方式が主流になっていくであろう。白色カラーフィルター法は、生産プロセスが容易であり、カラーフィルターで多くの色表現ができるという優位性がある。しかしながら、光をフィルターに通すので光利用効率が大幅に低下し、必要部材も多いので、液晶などに対する有機 EL 素子の優位がなくなるのではないかと懸念される。CCM 法は、蛍光フィルターを使用しているので光変換効率はカラーフィルター法に比べて有利である。しかしながら、蛍光フィルターが有機 EL 発光面（素子の内側）と外部光の相方に対して発光するのでコントラストが上がらない。また、色変換層の製造工程が困難であり製造コストの問題もあると推測される。

陽極電極材料としては、可視光領域の透過性と導電性から、一般的には ITO 電極が用いられている。ITO 電極を使用する場合、未処理ではイオン化ポテンシャル (Ip) が 4.6 (eV) であるのに対して、UV や酸素プラズマ処理をすると 5.0 (eV) 以上になり、電極基板上の洗浄に加えて ITO の酸化処理を同時に行っているように思われる。新しい陽極電極材料としては、バナジウムやモリブデンなど

の酸化物が有効であることが報告されている。

陰極材料も精力的に検討されている。電子を注入する際のエネルギー障壁を小さくするために、仕事関数の小さい金属もしくは金属合金の電極が使用される。アルカリ金属類は、仕事関数が小さいので電子注入に優れているが、酸素や水分などに影響され易いという問題点がある。1980 年代後半から Mg/Ag 系が使用されてきた³⁾。Mg 単独では有機層への付着が充分ではないので、Ag を微量入れることにより、有機層との密着性を上げている。最近では、安定性、成膜性の問題から、Li/Al 系、LiF/Al 系、LiO₂/Al 系およびそれらの合金を使用している例が多い⁶⁾。これらの合金系では、Li の仕事関数が電子注入に大きな寄与を与えている。また、LiF 層が絶縁層として機能していること、LiF の大きなダイポールが電気二重層を形成し、電子の注入を促進していることが考えられる。また、ポリマー有機 EL 素子では Ca などのアルカリ土類金属を使用する例も多い⁷⁾。

5. 有機 EL 材料

有機 EL 素子に使用される有機材料は低分子材料とポリマー材料に大別される。低分子材料とポリマー材料は分子量やその分布に違いはあるものの、材料の特質に起因して材料特性や成膜方法が異なるのみであり、本質的な見地からはそれらには大きな違いはない。今後も、低分子、ポリマー共に新しい材料が探索されると思われるが、材料の置換基や分子骨格などの化学的な側面からの機構解明が必要であり、その結果により有機 EL 素子特性や耐久性などの改良がされるものと推測される。以下に、代表的な低分子およびポリマー有機 EL 材料と、今後の方向性を考えてみる。

5.1 低分子正孔注入および輸送材料

本稿では、ITO から正孔を受け取り発光層に渡す役割の有機層を正孔注入層と呼び、その層に使用される材料を正孔注入材料と称する。正孔注入材料としては、芳香族アミン化合物が最も多く使用されている。これは、適切なイオン化ポテンシャル (Ip)、正孔輸送特性に加えて、電気化学的に可逆であることが特徴であり他材料系にない利点である。正孔注入層の特性は有機 EL 素子特性に大きな影響を与える。特に発光寿命や温度や湿度などの環境特性の改善には、正孔注入材料の改良が不可欠である。正孔注入材料としての必要事項をまとめると、以下の項目があげられる。

① 均質な薄膜形成性がある。

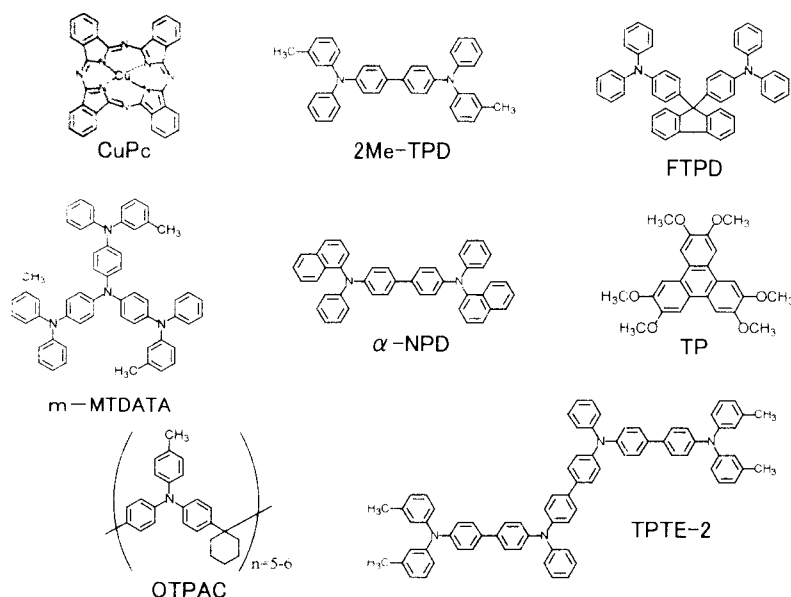


図3 代表的な低分子正孔注入・輸送材料

- ② 正孔移動度が高く、輸送電荷量が大きい。
- ③ 電気化学的に安定である。
- ④ 適切なイオン化ポテンシャルと電子親和力が必要。
- ⑤ ガラス転移点温度 (Tg) が高い。

有機 EL 素子の有機層は極めて薄い膜であり、駆動時の電界強度は 10^5 (V/cm) 以上にもなる。この高電圧下で安定な素子として働くためには、正孔注入層としては均一で密な薄膜の形成が必要になる。有機化合物によりそのような薄膜を形成するためには、立体性を持った化合物を設計する必要があり、薄膜としてはアモルファス状態になる。芳香族アミン化合物、とりわけトリフェニルアミン構造を持つ化合物は、立体性があり、アモルファス状態を形成するためには最適の化学構造である。多くの低分子正孔注入材料は蒸着法で薄膜形成される。基板上にアモルファス状態で薄膜形成された正孔注入層を有する有機 EL 素子を駆動した場合、発生するジュール熱で素子温度が急激に上昇する。そのような状況では、正孔注入層の基板への密着性、収縮性、および Tg などの特性が素子寿命に大きく影響を及ぼしていることが容易に推測される。つまり、ジュール熱により素子温度が上昇し、正孔注入層の Tg に接近すると、正孔注入材料の分子運動が活発になり分子同士が凝集を始める。このような状態では、薄膜層内の分子構造の変化や結晶化が起こり始め、水分子や活性ガスなどが存在すると、更に薄膜のアモルファス状態が崩壊することになる。その結果、電極界面との接触不良や絶縁破壊などの現象が起こり、駆動電圧の上昇や、発光輝度の低下などを引き起こす。これらの現象は正孔注入層の Tg のみが原因ではないが、ITO 電極に直接接する薄膜のアモルファス性もし

くはその堅牢性により、有機 EL 素子の特性や寿命が大きな影響を受けることは間違いない。

これまで報告された代表的な正孔注入材料を図3に示す。ベンジジン型 (2Me-TPD, α -NPD)、シクロアルキレン型 (TPAC) は Ip 値が高いので、更に Ip 値の低い材料を開発する必要が出てきた。低 Ip 材料としては、スターバースト型アミン (例えば m-MTDATA) や、ベンジジン型アミンの多量体 (TPTE)、および銅フタロシアニン (CuPc) がある。前記の正孔注入材料と ITO の間に、これらの Ip 値の低い材料化合物からなる層を挿入すればさらに注入特性を向上させることもできる。

Tg を向上させて耐熱性を改良した正孔注入材料としては、耐熱性部位であるフルオレン基を導入した FTPD, spiro-TPD およびシクロアルキレン型アミンのオリゴマー (OTPAC) 等がある。このように、耐熱性を向上させるためにはパルキーな縮合基を導入するか、トリフェニルアミン骨格などの化学単位を多くして分子量を大きくする方法がある。正孔輸送性は電子を出してカチオンラジカルを形成し易い化合物が有利であるので、Ip が低い化合物ほど正孔移動度は高い。また、正孔注入性から見れば、ITO 電極のフェルミ準位と正孔注入層の Ip との差が小さい方が有利である。逆に、Ip との差が大きいと正孔注入に必要な電圧が高くなり、大きなジュール熱が発生するので、素子の耐性や寿命に対して不利になる。

5.2 低分子発光材料

有機 EL 素子には、単独化合物で発光層を形成する方法と、正孔もしくは電子輸送性のホスト化合物に蛍光性色素

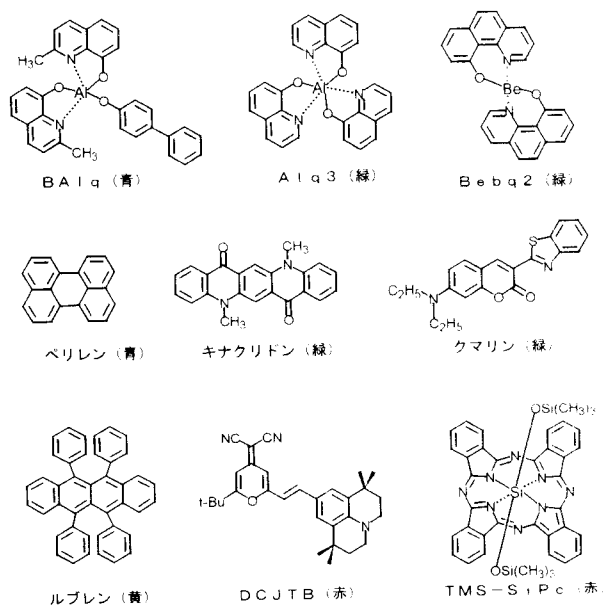


図4 代表的な低分子蛍光発光材料

化合物をドーピングする方法がある。図4に代表的な発光材料を示した。単独化合物もしくはホスト材料としては、Balq、トリス(8-ヒドロキシキノリナト)アルミニウム錯体(Alq_3)、Bebq₂等があり、蛍光性色素化合物としては、クマリン、DCM誘導体、ペリレン、ルブレンなどが報告されている²¹⁾。

単独で使用可能な化合物は固体で強い蛍光を示す特徴がある。これに対して、ドーピング材料は、固体では濃度消光等のため蛍光が弱い、ホスト材料中に数%ほどドーピングすると強い蛍光を示す。これらのドーピング材料単独では、正孔もしくは電子輸送能力が極めて低く、また、均一な薄膜を形成するようにも分子設計されていない。しかしながら、現在までに報告されているほとんどの素子の発光層はドーピング法により形成されている。これは、既に有機蛍光色素の技術分野が存在し、クマリンなどの蛍光色素が開発済みであったことも見逃せない。また、ドーピングにより発光効率、最大発光輝度、寿命が向上する例も多く報告されている。耐久性(寿命)の向上は、発光層内の再結合サイトの経時変化抑制、熱による配向性抑制によるものと思われる。顔料系発光材料(NMQやTMS-SiPc)もドーピング材料として開発されている。有機顔料はインキや塗料用途に使用されるため、耐熱性、堅牢性が必要であり、顔料分子同士を強固に結合させる水素結合が必要とされてきた。しかしながら、有機EL素子用の発光材料としては、置換基導入により顔料特有の水素結合を弱めて濃度消光を減少させ、化合物本来の持つ緑や赤の蛍光強度を強めている。これにより、顔料系ドーピング材料で問題であった発光寿命を向上させた²²⁾。

素子(A): α -NPD/TYG-201/TYE-704
素子(B): α -NPD/TYG-201/Alq₃

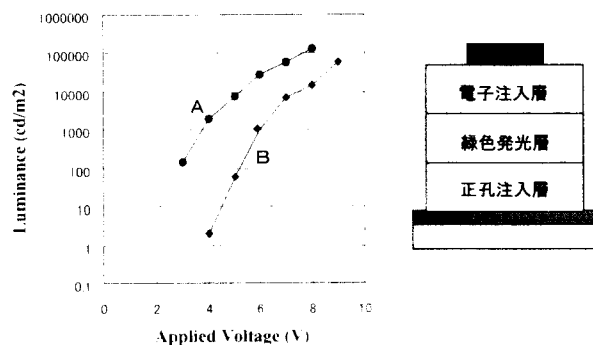


図5 ノンドープ緑色発光材料を用いた有機EL素子の特性

単独化合物(ノンドープ発光材料)は、発光材料としての基本条件に加えて、濃度消光が少なく、正孔もしくは電子輸送性を持たせることにより達成される。素子量産化の際のタクトタイム、発光層内へのドーピング材料のドーピング量や駆動電力の違いによる発光色度変化などを考えれば、一概にドーピングが有利とはいえない。

ノンドープ緑色発光材料を用いた有機EL素子の特性を図5に示す。最大輝度、発光効率ともに、キナクリドンやクマリンなどの緑色ドーピング系と比較しても極めて良好な特性を示した。各発光材料は適切な正孔注入層もしくは電子注入層の組み合わせで、発光効率を上げることも可能であり、発光寿命も問題はない。ノンドープ発光層の利点は、電流値、発光時間による発光色度の変化が少ないこともある。ノンドープ発光材料の報告例が少ないために、その実情が見え難いこともあったが、これらの特性値およびその化学構造設計の多様性から見て、今後の展開が期待される。

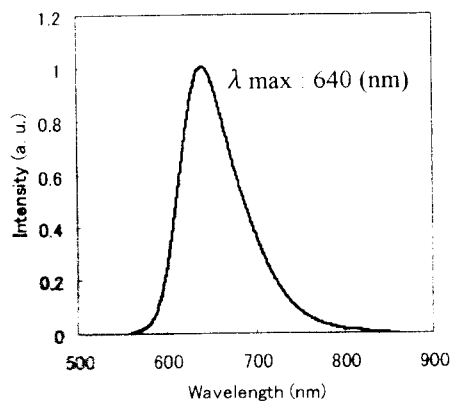
有機EL素子は、発光方式や発光材料に限らず、色純度の良い発光層の開発が必須であり、現在、その開発の可否がフラットパネルディスプレイとしての位置付けを決定すると言っても過言ではない状況にある。特に高性能赤色発光材料の開発により有機EL素子が大きく展開されることになるかと推測される。

赤色発光材料の開発状況について記述する。本年度になり、十分な発光効率、色度、発光寿命を併せて達成する材料が開発されてきた。表1に公表されている赤色発光材料の特性を示した。発光材料では、CIE色度が $X=0.65$ 以上、電流効率 $5(\text{cd/A})$ 以上の特性を併せ持つ材料も開発された。初期輝度によっても異なるが、これらの材料を使用した素子の発光寿命は、少なくとも1万時間以上あり実用性のある材料であると推測される。図6に我々が開発した赤色発光材料を使用した素子の特性を示した。

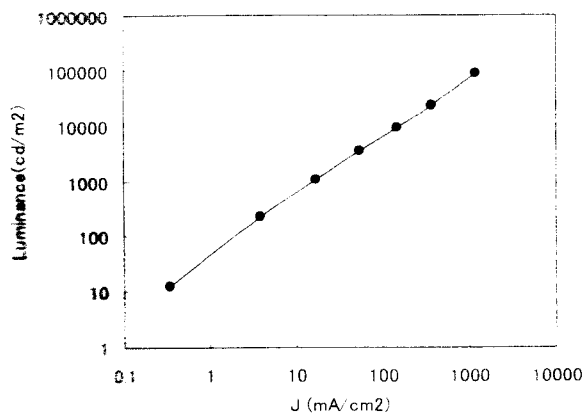
図

表1 赤色発光材料の特性

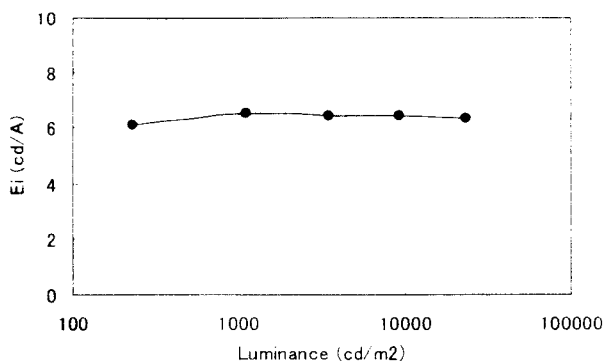
発光機構	研究機関	発光効率 (cd/A)	色度 CIE ($x=$, $y=$)
蛍光	バイオニア	2.6	0.62, 0.38
	NEC	7	0.61, 0.38
	三洋・コダック	2.2	0.64, 0.36
	出光興産	3.5	0.64, 0.36
	東レ	4.5	0.65, 0.34
	東洋インキ製造	6.5	0.65, 0.35
燐光	バイオニア	3.2	0.66, 0.32
	UDC	8.2	0.65, 0.34



(a) EL スペクトル



(b) 電流-輝度特性



(c) 輝度-電流効率

図6 代表的な赤色発光材料の有機 EL 特性 (東洋インキ社製)

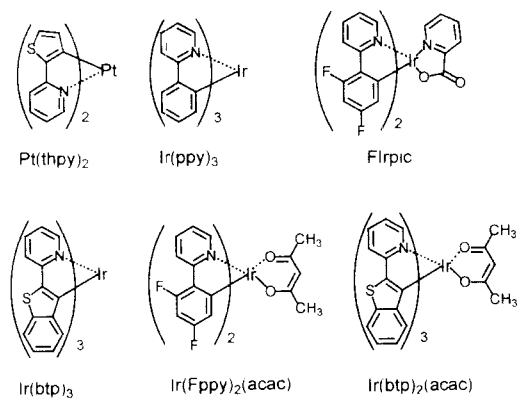


図7 代表的な低分子燐光発光材料

これらの赤色発光層は、適切な分子設計法によりホスト材料およびドープ材料を開発して、最適な組合せを探索した結果見出したものである。その結果、ピーク波長 640 nm の鮮明な赤色発光を有し、優れた電流-輝度特性を持つ赤色発光層を見出すことができた。また、燐光材料も、発光寿命の問題を解決すれば、更に高い電流効率が期待できるので、それらの開発が望まれている。

近年になり、高効率の燐光発光性金属錯体を発光層のドープ材料に使用した高発光効率素子の開発が盛んになってきた。図7に代表的な燐光発光材料を示した。蛍光発光素子の層構成を変え、N-フェニルカルバゾールなどの骨格を有するホスト材料などに図7に示した金属錯体をドープすることにより、高い発光効率が達成される。これらの材料を使用した素子について、発光寿命、青色発光材料の開発、最適素子構成の決定、貴金属供給の体制などの問題が解決できれば、有機 EL 素子の発光効率が飛躍的に向上して、新しい平面ディスプレイとしての大きな展開を望むことが出来ると思われる。

5.3 低分子電子注入材料

電子注入材料としては、大別して図8に示すような金属錯体系とオキサジアゾール (PBD)、トリアゾール (TAZ) 系化合物などの複素環化合物系の二種類が代表的である。発光層の電子輸送性ホスト材料としても Alq_3 を始めとする金属錯体がある。その高耐熱性、アモルファス性、電極との整合性は電子注入材料として適している。 Alq_3 は緑色発光材料として用いられていたが、現在では、電子注入層と発光層のホスト材料として用いられる場合が多い。その理由としては、 Alq_3 の発光輝度が充分ではないことや、 Alq_3 をホスト材料として緑色発光色素をドーピングした方が緑色発光材料としては色純度が良いことがあげられる。また、 Alq_3 の配位子である8-ヒドロキシキノリンを化学修飾した8-ヒドロキシキノリン系配位子を使用した金属錯体により、ドーピング用ホスト材料としての発光素子特性、耐熱性、アモルファス性を改良する試みもされている。また、トリアゾール系化合物等は正孔ブロッキング性を利用して青色もしくは白色素子のためのキャリアブロック層に使用される場合もある。

高性能電子注入材料を使用した有機EL素子は、 Alq_3 を電子注入層に使用した場合に比べて飛躍的に素子特性が向上する。このような電子注入材料を使用することにより、有機EL素子の低電力化や高輝度化が達成され、実用的な

ディスプレイとしての可能性が益々大きくなっていくと思われる。このように、電子注入層は正孔注入層を同様に、素子特性に大きな影響を及ぼす層であり、電子注入材料の選定も素子特性、寿命の向上のための大きな要因であることがわかる。

5.4 ポリマー材料

近年、フレキシブルディスプレイとして電子ペーパーの開発が開始されつつある。このディスプレイ用の材料として、有機ELポリマーが盛んに研究されている。これらのディスプレイは、インクジェット方式や印刷方式で薄膜を形成することができるので、精密印刷技術の応用展開として興味のある分野である。

ポリマー有機EL材料の代表例としては、 π 共役ポリマー発光材料とポリマー正孔注入 (バッファ) 材料とがある。ポリマー材料の特徴は、 T_g が高く、膜強度が高く、湿式塗布できることである。

図9に代表的なポリマー発光材料を示した。有機EL素子の発光層に使用される π 共役ポリマーとして、ポリパラフェニレンビニレン (PPV) の前駆体からの製膜、溶解性の向上のための分子設計などの研究が行われたが、低分子材料に比べて発光強度や効率では低かった⁹⁾。その改良としてポリ(2-メトキシ-5-(2'-エチル-ヘコキシ-1,4-フェニレン)ビニレン) (MEH-PPV) を発光層に使用して、効率の高い黄色、橙色発光の素子が可能になった。フルオレン骨格を導入したポリマー発光材料 (PF) を使用して、効率を大幅に改良したポリマー有機EL素子の例もある¹⁰⁾。これらのポリマー発光素子の特性向上には、Alより仕事関数の小さなCaへ陰極材料を変更して電子注入性を向上させ、再結合効率が大きくしたことも大きく貢献した。

ポリマー正孔注入 (バッファ) 材料としては、ポリアニリン (APni)、ポリチオフェン (PEDOT) などの導電性の高いポリマーが使用される。本バッファ層は、ITO電

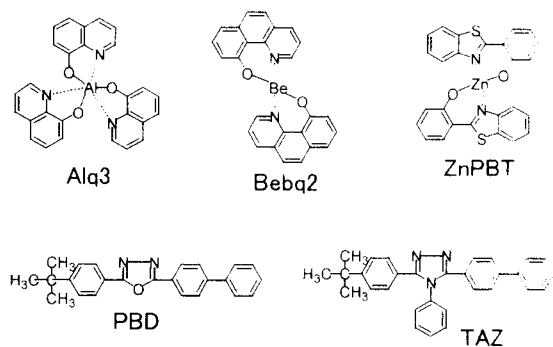


図8 代表的な低分子電子注入材料

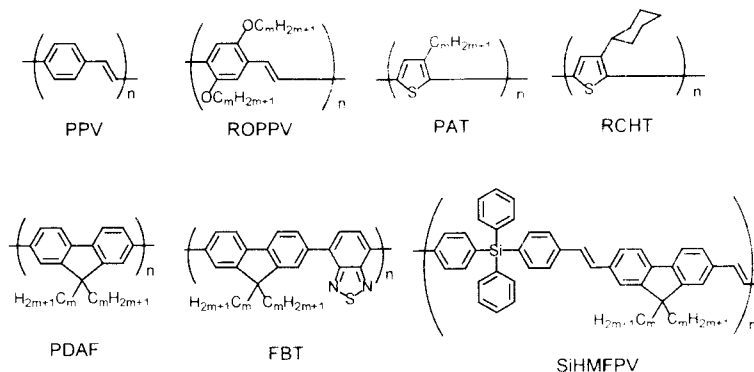


図9 代表的なポリマー発光材料

極とポリマー発光層との間に挿入され、その接触面積の増大を目的としている。耐性の高い有機EL素子を設計するためには、低分子、ポリマーに限らず、基板との密着性を向上させる高導電性のバッファ層の導入が、高耐性有機EL素子を実現する一つの方法であると思われる。

ポリマー材料および低分子材料系は、スピンコート法、ディッピング法などにより成膜しているが、微細な薄膜を形成するためには、水分や活性ガスに対する十分な注意が必要である。最近ではインクジェット方式で微細加工する試みもされている。材料の精製と量産化、パターン化、成膜雰囲気条件の整備がされれば興味のある方式である。

6. 現状と課題

有機ELの開発で特徴的なことは、有機材料の開発が素子の発光効率、安定性（寿命、環境特性）、フルカラー化に大きく影響を及ぼす。その中でも、発光材料の量子効率向上、耐熱性が高くアモルファス性のある正孔・電子注入材料の開発が急務である。しかしながら、有機EL材料は酸素、水分などに弱く安定性に大きく劣るという今までの常識に対して、多くの研究者の努力により克服されつつあり、更にもう一步の材料開発により有機ELディスプレイのフラットパネルディスプレイでの位置付けを明確にできるものと確信している。

本稿では有機EL素子の特性と有機材料について解説してきたが、有機EL素子開発の今後の課題としては、発光効率の向上、安定性の改善、フルカラー化、駆動方式の検討、パネル化技術などがある。これらの問題を解決するためには多くの努力が必要である。また、今後は材料の基本特性に加えて、環境や安全衛生性に問題のない材料を設計する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 木村秀一、榎田年男：日本画像学会誌，**37**, 289(1998)。
- 2) 榎田年男：電子材料，**38**(12), 39(1999)。
- 3) T.W. Tang, et al.: *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 913(1987)。
- 4) T. Wakimoto et al.: *SID96 Digest*, 849(1996)。
- 5) 半導体産業新聞編：“次世代ディスプレイはこうなる！ PART2（有機ELの実用技術と可能性）予稿集”，半導体産業新聞(2000)。
- 6) L.S. Hung, T.W. Tang, M.G. Mason: *Appl. Phys. Lett.*, **70**, 152(1997)。
- 7) R.H. Friend et al.: *Nature*, **397**, 121(1999)。
- 8) 有機エレクトロニクス材料研究会編：“有機LED素子の残された重要課題と実用化戦略”，ぶんしん出版(1999)。
- 9) J.H. Burroughes et al.: *Nature*, **347**, 539(1990)。
- 10) M.T. Bernius et al.: “Abstract of the 2nd international Conference on Electroluminescence from Molecular Materials and Related Phenomena”, Sheffield, UK, 13-15 May, Fr11(1999)。