

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4785034号
(P4785034)

(45) 発行日 平成23年10月5日(2011.10.5)

(24) 登録日 平成23年7月22日(2011.7.22)

(51) Int.Cl.		F I	
H05B 33/02	(2006.01)	H05B 33/02	
H05B 33/12	(2006.01)	H05B 33/12	C
H01L 51/50	(2006.01)	H05B 33/14	A
H05B 33/24	(2006.01)	H05B 33/24	
H05B 33/26	(2006.01)	H05B 33/26	Z

請求項の数 6 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2005-91894 (P2005-91894)	(73) 特許権者	000002303 スタンレー電気株式会社 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号
(22) 出願日	平成17年3月28日(2005.3.28)	(74) 代理人	100062225 弁理士 秋元 輝雄
(65) 公開番号	特開2006-100245 (P2006-100245A)	(72) 発明者	田中 進一 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 ス タンレー電気株式会社内
(43) 公開日	平成18年4月13日(2006.4.13)	(72) 発明者	堀井 正俊 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 ス タンレー電気株式会社内
審査請求日	平成19年7月31日(2007.7.31)	(72) 発明者	小川 昭雄 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 ス タンレー電気株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2004-257169 (P2004-257169)		
(32) 優先日	平成16年9月3日(2004.9.3)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
特許法第30条第1項適用 2004年12月8日 映像情報メディア学会(ITE)、Society for Information Display(SID)共催の「IDW'04 Proceedings of The 11th International Display Workshops」に文書をもって発表			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 EL素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも1層の発光層を含む薄膜多層構造が、対向する一対の電極によって挟持されたEL素子であって、

前記発光層の発光界面からの光学距離が、下記式

$$L_c = p^2 /$$

(但し、 p は発光層から放出される光の発光スペクトルのピーク波長、 L_c は発光層から放出される光の発光スペクトル半値幅)

で表される、前記発光界面から放出される光の可干渉距離 L_c 以上離れて配置された反射ミラーを有し、

前記発光層から前記反射ミラーの方向および前記反射ミラーと反対の方向のいずれの方向においても、

前記発光層の発光界面からの光学距離が前記発光界面から放出される光の可干渉距離未満の範囲内では、前記反射ミラーを除いた隣接する2つの層全ての屈折率差が0.6以下であることを特徴とするEL素子。

【請求項2】

前記一対の電極はいずれも透明電極で構成され、前記透明電極のうちのいずれか一方の透明電極の外側の面に接して、或いは前記外側の面から一定の距離を置いて前記透明電極と対向するように、反射ミラーを配置したことを特徴とする請求項1に記載のEL素子。

【請求項3】

前記透明電極のうちのいずれか一方の透明電極の外側、及び/又は、透明電極と反射ミラーとの間にバッファ層を形成することを特徴とする請求項2に記載のEL素子。

【請求項4】

前記バッファ層は、透光性材料、気体、真空の群の中から選択された一つからなることを特徴とする請求項3に記載のEL素子。

【請求項5】

前記一对の電極は、前記電極のうちのいずれか一方が透明電極で、他方が反射電極であり、該反射電極が前記反射ミラーであることを特徴とする請求項1に記載のEL素子。

【請求項6】

前記薄膜多層構造は、少なくとも1層以上の発光層を含む発光ユニットを複数個有し、各該発光ユニット間に形成された電荷発生層を有し、

前記反射ミラーは、前記各発光ユニットにおける各発光層から放出される光のPLスペクトルから求められる可干渉距離を夫々の発光界面から保った位置のうち、前記反射ミラー側の前記電極から最も離れた位置、あるいは、これよりも更に離れた位置に配置され、前記各発光層から前記反射ミラーの方向および前記反射ミラーと反対の方向のいずれの方向においても、

前記各発光層の発光界面からの光学距離が前記各発光層の発光面から放出される光のPLスペクトルから求められる可干渉距離未満の範囲内では、前記反射ミラーを除いた隣接する2つの層全ての屈折率差が0.6以下であることを特徴とする請求項1～5の何れか1項に記載のEL素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、注入型エレクトロルミネッセンス(EL)とも称され、薄膜状としたEL物質に電子、正孔を注入し、再結合させることで発光を行なうEL素子に関する。

【背景技術】

【0002】

有機EL素子は、有機物発光層に電流を注入することによって電気エネルギーを光エネルギーに変換する自己発光型の表示素子であり、近年、研究・開発が活発に進められている。特に、芳香族ジアミンからなる有機正孔輸送層と8-ヒドロキシキノリンのアルミニウム錯体からなる有機発光層とを設けた有機EL素子がアントラセン等を使用した電界発光素子に比べて発光効率の改善がなされて以降、研究・開発への積極的な取り組みが行なわれている(例えば、非特許文献1参照。)

【0003】

有機EL素子の一般的な構造を図20に示す。透明基板の上に透明電極層(陽極)を設け、更にその上に正孔輸送層、有機発光層及び陰極層の各層を順次真空蒸着法によって形成した構成としている。そして、陽極となる透明電極層と陰極層との間に直流電圧を印加すると、透明電極層から注入された正孔と陰極層から注入された電子が有機層(正孔輸送層及び有機発光層)に到達して電子と正孔の再結合が行なわれ、その時、電気エネルギーが光エネルギーに変換されて有機発光層から光が放出される。

【0004】

この場合、陽極と陰極との間に設けられる有機層は陽極側から順に正孔輸送層/有機発光層の2層構造としているが、他に正孔注入層/正孔輸送層/有機発光層/電子輸送層の構造のものや、正孔注入層/正孔輸送層/有機発光層/の構造のものや、正孔輸送層/有機発光層/電子輸送層の構造のもの等があり、前記有機発光層を多層として積層したものもある。

【0005】

正孔輸送層は陽極から正孔が注入され易くする働きと、電子をブロックする働きを有している。また、電子注入層は陰極から電子が注入され易くする働きを有している。

【0006】

10

20

30

40

50

陽極層を形成する材料には仕事関数の大きい金属、それらの合金及び化合物が使用され、ニッケル、金、白金、パラジウムやこれらの合金或いは酸化錫 (SnO_2)、沃化銅、更にはポリピロール等の導電性ポリマー等が可能であるが、一般的にはITOの透明電極層が多く使用されている。

【0007】

陰極層は電子注入に有効な材料で形成する必要があるために、電子注入効率の向上が図られる仕事関数の小さい金属（低仕事関数金属材料）を使用することが好ましく、アルミニウム、マグネシウム、マグネシウムインジウム合金、マグネシウムアルミニウム合金、マグネシウム銀合金及びアルミニウムリチウム合金等を用いて真空蒸着法やスパッタリング法のドライプロセスによって成膜される。

10

【0008】

有機材料によって成膜される有機層は、トリス（8-ヒドロキシキノリナト）アルミニウム（以下、 Alq_3 と略記する）及びN,N'-ジフェニル-N,N'-ビス（3-メチルフェニル）1,1'-ピフェニル-4,4'-ジアミン（以下、TPDと略記する）等の低分子系材料や、ポリパラフェニレンビニレン（PPV）等の高分子系材料を使用することが試みられており、高輝度化及び多色化等のための研究・開発が活発に行なわれ、実用化も始まっている。

【0009】

上記構造の有機EL素子において、有機発光層から放出されて透明基板から外部（大気中）に出射される光には、有機発光層から透明電極方向に放出されて透明電極及び透明基板を介して出射する光、有機発光層から陰極方向に放出され、陰極の表面で反射されて透明電極及び透明基板を介して出射する光、有機発光層から放出されて透明基板、透明電極及び多層化された有機化合物材料層（正孔輸送層及び有機発光層）の各界面で反射・屈折を繰り返しながら透明基板から出射される光、が存在する。そして夫々の光は有機発光層から放出されて透明基板を介して外部に出射されるに至るまでの光路長が異なるために光路差を生じ、それに起因した干渉が出力に影響を及ぼすことが知られている。

20

【0010】

そこで、このような現象に対して、有機EL素子の有機発光層を除いた有機化合物材料層の各層を発光色に対応して異なる膜厚に設定し、反射干渉現象を利用することによって各発光色の光の取り出し効率の向上を図る提案がなされている。

30

【0011】

具体的には、有機発光層を挟んだ陽極側の正孔輸送層（正孔注入層及び正孔輸送層）と陰極側の電子輸送層（電子注入層及び電子輸送層）の膜厚の制御が行なわれる。図21に示す有機EL素子の素子構造の場合、有機発光層の発光界面から透明電極と透明基板の境界平面までの光学距離（ $(n_{org} \cdot d_{org}) + (n_{ITO} \cdot d_{ITO})$ ）が所望するピーク発光波長 λ_p の1/4の略偶数倍となるように正孔輸送層を成膜することによって、発光界面から透明電極方向に放出されて透明電極と透明基板の境界平面で内部反射して発光界面に戻る光と発光光が干渉して強め合い、明るさが最大となる。

【0012】

また、発光界面から陰極層までの光学距離（ $n_{org} \cdot d_0$ ）が所望するピーク発光波長 λ_p の1/4の略奇数倍となるように有機発光層を成膜することによって、発光界面から陰極方向に放出されて陰極の表面で反射して発光界面に戻る光と発光光が干渉して強め合い、明るさが最大になる（例えば、特許文献1参照。）。

40

【0013】

また、同様に透明電極及び有機化合物材料層（正孔輸送層及び有機発光層）の光学距離を制御することにより、所望するピーク波長の発光光を得るようにしたものがある（例えば、特許文献2及び3参照。）。

【0014】

更に、複数の発光位置がとびとびに分離して存在するMPE構造（一对の対向する電極によって挟持された有機層が、少なくとも1層の発光層を含む発光ユニットを複数個有し

50

たものであり、各発光ユニットが少なくとも1層からなる電荷発生層によって仕切られた構造)の有機EL素子において、各発光位置から光反射電極までの光学膜厚を全て $1/4$ 波長の略奇数倍にすることにより、発光効率の高効率化を実現したものがある(例えば、特許文献4及び5参照。)

【非特許文献1】Applied Physics Letters Vol. 51, p. 913, 1987

【特許文献1】特開2000-323277号公報

【特許文献2】特許第2846571号公報

【特許文献3】特開2003-142277号公報

【特許文献4】特開2003-272860号公報

【特許文献5】特開2003-45676号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

しかしながら、「特開2000-323277号公報」、「特許第2846571号公報」及び「特開2003-142277号公報」に記載された発明では、有機EL素子を構成する有機層或いは透明電極層の膜厚を制御することによって所望するピーク波長の発光光を得るようにしているが、透明電極層の膜厚を制御しただけでは、発光界面から陰極方向に放出されて陰極の表面で反射して発光界面に戻る光と発光光との干渉を制御することはできない。

【0016】

また、有機層の膜厚制御の本来の目的は、その発光機構に鑑み、注入されたキャリアの輸送、再結合及び発光が効率良く行なわれるようにすることであり、干渉現象のみに対象を絞って膜厚制御を行なうと電圧-輝度特性が悪化するなどして発光効率の低下を招くことになる。

【0017】

また、「特開2003-272860号公報」及び「特開2003-45676号公報」に記載された発明では、複数の発光位置がとびとびに分離して存在する有機EL素子において、各発光位置から光反射電極までの光学膜厚を全て $1/4$ 波長の略奇数倍にすることにより、発光効率の高効率化が実現できたとされている。

【0018】

しかしながら、この場合は膜厚が厚いために干渉効果が顕著であり、膜厚制御の少しのズレによっても大きく相殺されることになる。その結果、発光スペクトル分布が変化して色調のズレ及び発光効率の低下を生じることになる。

【0019】

従って、各発光位置から光反射電極までの光学膜厚を極めて厳密に制御することが要求されるが、この有機EL素子の構造においても注入されたキャリアの輸送、再結合及び発光が効率良く行なわれるような膜厚を設定することは当然必要であり、干渉条件との両方を対象にした膜厚設定は極めて難しいものとなる。

【0020】

また、たとえ各発光位置から光反射電極までの光学膜厚が厳密に制御できたとしても、有機EL素子を構成する発光ユニット(少なくとも1層の発光層を含む有機膜構成)が多くなり膜厚が厚くなると、ピーク発光波長は変化しないがスペクトル半値幅が小さくなり、発光材料が有する本来の発光スペクトル分布からズレてしまう。更に、有機EL素子の観視角度によって光の色調が変わって見えるといった問題も生じることになる。

【0021】

ところで現状では、通常の有機EL素子(MPEでない1発光ユニット構成の有機EL素子)において注入されたキャリアの輸送、再結合及び発光が効率良く行なわれるような最適なキャリアバランスを得る膜厚設定を、そのままMPEに適用することは不相当であり、光学及び電気特性を多少犠牲にした状態でMPE化を行なっている。また、1発光ユ

10

20

30

40

50

ニット構成内に複数の発光部を有している有機EL素子（例えば、青色及び橙色の発光光の加法混色によって白色光を放出する素子）を積層する場合には、隣接する発光部に複数の目標波長が存在することになり、所望する色調の光を放出する素子を実現するための設計すら困難なものとなっている。

【0022】

そこで、上記のような厳密な膜厚制御を行なわなくても干渉の影響を抑制することができる方法として、従来光反射電極であった陰極を黒色化して無反射電極とするか、若しくは発光層と陰極の間に存在する少なくとも1層を光吸収層として機能させることが提案されている。しかし、このような方法では有機EL素子の内部反射光を利用することができず、従来の有機EL素子に比べて輝度が低下するといった問題点を有している。

10

【0023】

そこで、本発明は上記問題に鑑みて創案なされたもので、その目的とするところは、発光層の発光界面で放出されてEL素子の内部で反射された光が干渉の要因とならないようにし、且つ発光層の発光界面で放出されてEL素子の内部で反射された光を有効に活用し、干渉の影響を排除した光を効率良く外部に取り出すことができるようなEL素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0024】

上記課題を解決するために、本発明の請求項1に記載された発明は、少なくとも1層の発光層を含む薄膜多層構造が、対向する一对の電極によって挟持されたEL素子であって

20

前記発光層の発光界面からの光学距離が、下記式

$$L_c = p^2 /$$

（但し、 p は発光層から放出される光の発光スペクトルのピーク波長、 L_c は発光層から放出される光の発光スペクトル半値幅）

で表される、前記発光層から放出される光の可干渉距離 L_c 以上離れて配置された反射ミラーを有し、前記発光層から前記反射ミラーの方向および前記反射ミラーと反対の方向のいずれの方向においても、前記発光層の発光界面からの光学距離が前記発光層から放出される光の可干渉距離未満の範囲内では、前記反射ミラーを除いた隣接する2つの層全ての屈折率差が0.6以下であることを特徴とするものである。

30

【0025】

また、本発明の請求項2に記載された発明は、請求項1において、前記一对の電極はいずれも透明電極で構成され、前記透明電極のうちのいずれか一方の透明電極の外側の面に接して、或いは前記外側の面から一定の距離を置いて前記透明電極と対向するように、反射ミラーを配置したことを特徴とするものである。

【0026】

また、本発明の請求項3に記載された発明は、請求項2において、前記透明電極のうちのいずれか一方の透明電極の外側、及び/又は、透明電極と反射ミラーとの間にバッファ層を形成することを特徴とするものである。

【0027】

また、本発明の請求項4に記載された発明は、請求項3において、前記バッファ層は、透光性材料、気体、真空の群の中から選択された一つからなることを特徴とするものである。

40

【0028】

また、本発明の請求項5に記載された発明は、請求項1において、前記一对の電極は、前記電極のうちのいずれか一方が透明電極で、他方が反射電極であり、該反射電極が前記反射ミラーであることを特徴とするものである。

【0029】

また、本発明の請求項6に記載された発明は、請求項1～5の何れか1項において、前記薄膜多層構造は、少なくとも1層以上の発光層を含む発光ユニットを複数個有し、各該

50

発光ユニット間に形成された電荷発生層を有し、前記反射ミラーは、前記各発光ユニットにおける各発光層から放出される光のPLスペクトルから求められる可干渉距離を夫々の発光界面から保った位置のうち、前記反射ミラー側の前記電極から最も離れた位置、あるいは、これよりも更に離れた位置に配置され、前記各発光層から前記反射ミラーの方向および前記反射ミラーと反対の方向のいずれの方向においても、前記各発光層の発光界面からの光学距離が前記各発光層の発光面から放出される光のPLスペクトルから求められる可干渉距離未満の範囲内では、前記反射ミラーを除いた隣接する2つの層全ての屈折率差が0.6以下であることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0030】

10

本発明のEL素子は、少なくとも1層以上の発光層を含む薄膜多層構造が、対向する一对の透明電極によって挟持されたEL素子であって、前記一对の透明電極の何れか一方の外側の面に接触して、或いは前記外側の面から一定の距離を置いて前記透明電極と対向するように、反射ミラーを配置し、且つ前記発光層の発光界面から前記反射ミラーまでの光学距離を前記発光界面から放出される光の可干渉距離以上とした。

【0031】

また、少なくとも1層以上の発光層を含む薄膜多層構造が、対向する一对の透明電極によって挟持されたEL素子であって、前記一对の透明電極の何れか一方の外側の面に接触して、或いは前記外側の面から一定の距離を置いて前記透明電極と対向するように、反射ミラーを配置し、且つ前記発光層の発光界面から前記反射ミラーまでの光学距離を前記発光界面から放出される光の可干渉距離未満の場合は、EL素子を構成する薄膜層、第一バッファ層及び透明電極のなかの全ての隣接する2つの層の屈折率差が0.6以下になるように設定した。

20

【0032】

また、少なくとも1層の発光層を含む薄膜多層構造が、対向する透明電極と反射電極によって挟持され、最終積層の発光ユニットと反射電極との間に第二バッファ層が形成されたEL素子であって、前記発光層の発光界面から反射電極までの光学距離を可干渉距離以上とし、且つ発光界面から反射電極までに存在する全ての界面の屈折率差が0.6以下となるようにした。

【0033】

30

その結果、発光層の発光界面で放出されてEL素子の内部で反射された光が干渉の要因とならないようになった。

【0034】

そして、発光層の発光界面で放出されてEL素子の内部で反射された光を有効に活用し、干渉の影響を排除した光を効率良く外部に取り出すことができるようになった。

【0035】

また、特に有機EL素子について、有機EL素子を構成する各透明電極層及び各有機薄膜層の膜厚設定に際して干渉の影響を考慮に入れる必要がなくなり、よってキャリアの輸送効率、再結合及び発光の効率等のみに重点を置いて膜厚設定が可能になるために膜厚の最適化が実現できるようになった。

40

【0036】

また、膜厚が変わっても発光スペクトルの分布に変化は生じず、発光光の色調が変化することがなくなった。

【0037】

また、有機EL素子の発光面に対する観視角度が変わっても、スペクトル分布の変化はほとんど無く、どの方向から観視しても発光光の色調の変化が認められなくなった。

【発明を実施するための最良の形態】

【0038】

本実施形態では、以下のごとく一例として有機EL素子を挙げて説明するが、本発明は両電極間に薄膜積層構造を有する点で共通する、無機EL素子でも良い。そこで以下、本

50

発明の実施形態を図 1 ~ 図 19 を参照しながら詳細に説明する。尚、以下に述べる実施形態は、本発明の好適な具体例であるから、技術的に好ましい種々の限定が付されているが、本発明の範囲は、以下の説明において特に本発明を限定する旨の記載がない限り、これらの実施形態に限られるものではない。

【 0 0 3 9 】

図 1 は本発明の有機 E L 素子に係わる実施形態の構造を示す断面図である。透明基板の上に第一透明電極層（陽極）、正孔輸送層、有機発光層及び第二透明電極層（陰極）の各層が順次形成されている。そして更に、第二透明電極層（陰極）の外側には第二透明電極層から一定の距離を置いた位置に、反射面が第二透明電極層と対向するように反射ミラーが配置されている。

10

【 0 0 4 0 】

反射ミラーが配置される位置は、有機発光層の発光界面から反射ミラーまでの光学距離が「発光層から放出される光の可干渉距離」以上となるように設定された位置である。なお、本明細書で使用する用語「可干渉距離」は以下のように定義するものである。

【 0 0 4 1 】

1 つの発光体から放出される光波は図 2 に示すような減衰振動の形態をとり、その場合光波を実効的に波動とみなすことができるのは振幅が初期値の $1/e$ （ e は自然対数の底）となる有限の長さ l までと考えられる。

【 0 0 4 2 】

1 つの発光体はこのような波動を放出した後、続いて同一振動数の次の波動を放出するが、先行する波動と後続の波動の位相は異なっている。従って、同一光源から放出された波動を 2 分した後に再度重畳させたとしても、夫々の波動が迎える光路の光路差が l を超えていれば異なる位相の波面が重畳することになり、干渉現象は起こらない。

20

【 0 0 4 3 】

本発明はこのような原理を利用して、有機 E L 素子の発光層から放出された光が外部に出射されるまでの光学系に対して干渉の影響を排除したものである。そこで、光の「可干渉距離」とは、上述の波動の有限な長さ l に相当し、一般的に以下の関係式（1）によって表される。

$$L_c = \frac{\lambda_p^2}{\Delta\lambda}$$

（但し、 L_c は可干渉距離、 λ_p は発光スペクトルのピーク波長（ピーク発光波長）、 $\Delta\lambda$ はスペクトル半値幅である）

30

【 0 0 4 4 】

従来の有機 E L 素子では、例えば、発光界面から陰極側方向に放出され、陰極の表面で反射されて陽極側に戻ってくる光と発光界面から陽極側に放出される光とで干渉が生じていた。この夫々の光が迎える光路の光路差は発光界面から陰極の反射面までの光学距離の 2 倍となる。従って、この光路差が可干渉距離 L_c よりも大きければ干渉を生じないことになる。言い換えると、発光界面から陰極の反射面までの光学距離が $L_c/2$ より大きければ干渉の影響を抑制できるものと考えられる。

【 0 0 4 5 】

ところが、実際の有機 E L 素子においては、発光界面から陰極の反射面までの光学距離を $L_c/2$ より大きくしたとしても、干渉の影響は減少されるものの、不完全なために膜厚がズレると色度もズレてしまうことが判明した。そして、實際上、色度等への干渉の影響を完全に抑制するためには、発光界面から陰極の反射面までの光学距離が可干渉距離 L_c 以上であることが望ましい。

40

【 0 0 4 6 】

有機 E L 素子における発光光の可干渉距離 L_c を算出するにあたって、上記関係式に使用されている発光光のピーク波長 λ_p 及びスペクトル半値幅 $\Delta\lambda$ は発光層の P L（フォトルミネッセント）スペクトルから読み取ることができる。

【 0 0 4 7 】

例えば、図 3 に示す P L スペクトルを有する A l q₃ の可干渉距離は、P L スペクトル

50

から $p = 523 \text{ nm}$ 、 $\lambda = 105 \text{ nm}$ という数値が得られ、これを上記関係式に代入すると 2605 nm となる。従って、図 1 に示す本発明の有機 EL 素子において発光層を $A1q_3$ で形成すると仮定した場合、発光界面から反射ミラーまでの光学距離を 2605 nm 以上に設定することになる。

【0048】

よって、この場合、発光界面から反射ミラーまでの各層の膜厚は、以下の関係式(2)を満足するように設定される。

$$L_c = d_0 \cdot n_0 + d_{\text{TO}_2} \cdot n_{\text{TO}_2} + d_B \cdot n_B$$

なお、発光界面から反射ミラーまでの光学距離に関しては特に上限はないが、有機 EL 素子の薄さの利点損なわないためには $1000 \mu\text{m}$ 以内とすることが望ましい。一方、下限は光学距離 L_c 以上が望ましいが、干渉の影響を完全に排除するためには L_c の 2 倍程度が更に望ましい。ここで、発光領域は、発光層内で一定の幅を有するものと考え、発光強度の高いと想定される所定の位置を発光界面として設定する。例えば、図 1 に示したような正孔輸送層と有機発光層からなる構成においては、有機発光層の正孔輸送層側で発光強度が最大となるものと想定され、正孔輸送層と有機発光層との界面を発光界面と考えることができる。

【0049】

また、1つの発光層を2種類以上の発光材料で形成した場合は、夫々の発光材料の PL スペクトルから算出された可干渉距離のうち最も長いものを採用する。

【0050】

図 4 は本発明の有機 EL 素子に係わる他の実施形態の構造を示す断面図である。本実施形態は発光位置がとびとびに分離して複数存在する MPE 構造(一对の対向する電極によって挟持された有機層が、少なくとも1層の発光層を含む発光ユニットを複数個有したものであり、各発光ユニットが少なくとも1層からなる電荷発生層によって仕切られた構造)である。

【0051】

なお、発光ユニットとは、主に有機化合物からなる少なくとも1層の発光層を含む層構造を有し、一般的な有機 EL 素子の構成要素のうち陽極及び陰極を除いた要素を指すものである。また、電荷発生層は、ITO、IZO、 SnO_2 、 ZnO_2 等の透明導電材料、 V_2O_5 及び 4F-TCNQ 等、その上に成膜する正孔輸送材料と酸化還元反応による電荷移動錯体を形成しうる物質が使用され、電荷発生層の陰極側に接する発光ユニットには正孔を注入し、陽極側に接する発光ユニットには電子を注入する層として働く。

【0052】

図 4 に示す有機 EL 素子の具体的な構造は、透明基板の上に第一透明電極層(陽極)が形成され、その上に第一発光界面を含む第一発光ユニット、第一電荷発生層、第二発光界面を含む第二発光ユニット、第二電荷発生層、第三発光界面を含む第三発光ユニット及び第二透明電極層(陰極)が順次形成されている。そして更に、第二透明電極層(陰極)の外側には第二透明電極層から一定の距離を置いた位置に、反射面が第二透明電極層と対向するように反射ミラーが配置されている。

【0053】

このような構造の有機 EL 素子において、3つの発光ユニットの夫々の発光界面から放出された光の間で干渉を生じさせないように反射ミラーを配置するには、各発光ユニットの夫々の発光界面から放出される光の PL スペクトルから上記関係式(1)を用いて夫々の可干渉距離を求め、夫々の発光界面から可干渉距離を保った位置のうち第二透明電極層から最も距離が離れた位置を求める。その結果、図 4 に示すように L_{c1} が第二透明電極層から最も離れた位置にあることから、反射ミラーの配置位置をこの位置か、或いは第二透明電極層に対してこれよりも更に離れた位置に設定する。それによって、各発光ユニットから放出される光の干渉の影響を全て排除することができる。

【0054】

図 1 及び図 4 において、第二透明電極層と反射ミラーとの間は、真空或いは気体で満た

10

20

30

40

50

されてもよいし、液体を充填してもよい。また、第二透明電極層の上に透光性材料からなる透明第一バッファ層を形成し、透明第一バッファ層の上面に金属蒸着を施すことにより反射ミラーとしてもよい。

【0055】

第二透明電極層と反射ミラーとの間の空間を満たす気体の物質に関しては特に制約はないが、主に除湿された N_2 ガス、 Ar ガス等の不活性気体が望ましい。透明な液体物質としては、脱水されたシリコン系オイル、フッ素系オイルなどが挙げられる。

【0056】

第一バッファ層としては、 TiO_2 、 SiO_2 、 $SiNx$ 、 Ta_2O_5 、 SiO 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 Sb_2O_3 、 TiO 、 HfO_2 、 Y_2O_3 、 MgO 、 CeO_2 、 Nb_2O_5 、 MgF 、 SrF_2 、 BaF_2 等の透明な金属酸化物、窒化物、弗化物或いは低分子系材料、透明エポキシ、アクリル、ナイロン等の高分子系材料でも良く、透明で膜厚を μm オーダーで形成できる物質であれば何でも良い。

10

【0057】

いずれにしても、第二透明電極層と反射ミラーの間は発光界面から反射ミラーまでの光学距離を可干渉距離 L_c 以上に保つために設けられるものであるため、真空或いは透明な物質で満たされれば目的は果される。

【0058】

但し、透明物質の屈折率と第二透明電極層の屈折率の差が干渉を生じさせる要因となることがある。それは、屈折率の異なる2つの物質によって境界平面が形成される場合、境界平面を形成する2つの物質の屈折率の差が大きいほど、入射光線の反射率が大きくなる為である。

20

【0059】

その結果、発光界面から第二透明電極層と反射ミラーの間に設けられた透明物質と第二透明電極層との境界平面までの光の光学距離は可干渉距離 L_c よりも小さいため、干渉を起こす要因となる。そして、この境界平面を形成する2つの物質の屈折率の差が大きいほど反射率が高くなり、発生する干渉の程度も大きくなる。

【0060】

そこで、第二透明電極層と反射ミラーとの間に設けられた透明物質と第二透明電極層において、干渉を生じないような屈折率の差は0.6以下であることが望ましく、限りなく0に近づくことが更に望ましい。

30

【0061】

例えば、本実施形態を示す図1において、発光界面から反射ミラーまでの間に存在する境界平面は、有機層/有機層の境界平面、有機層/第二透明電極層の境界平面、及び第二透明電極層/第二透明電極層上の透明物質の境界平面である。これら夫々の境界平面は発光界面からの光学距離が可干渉距離 L_c 未満となる可能性がある位置に反射面として存在するため、反射率が大きくなると強い干渉を生じる原因となる。

【0062】

そのなかでも特に、第二透明電極層/第二透明電極層上の透明物質の境界平面が比較的大きな反射率の反射面となる可能性がある。例えば、第二透明電極層と反射ミラーの間が真空或いは気体(屈折率:約1.0)で満たされたとき、第二透明電極層として使用されるITO、IZO、ZnO及びSnO₂等(屈折率:約1.95)との屈折率の差が約0.95となり、この屈折率段差0.95の反射面では発光界面から第二透明電極層/第二透明電極層上の透明物質の境界平面までの光学距離が約300nmにおいては多少干渉の影響が現れる程度である。

40

【0063】

ところが、本発明の他の実施形態を示す図4のように、発光位置がとびとびに分離して複数存在するような、発光界面から第二透明電極層/第二透明電極層上の透明物質の境界平面までの光学距離が非常に長い構造の有機EL素子においては、干渉の影響が顕著に現れてくる。

50

【0064】

従って、干渉の発生を抑制するためには、発光界面から第二透明電極層/第二透明電極層上の透明物質の境界平面までの光学距離に応じて、第二透明電極層を形成する材料と第二透明電極層上の透明物質の材料とを適宜選択することによって両者の屈折率の差を設定することが必要である。

【0065】

そこで、図1で示すような、発光界面から第二透明電極層/第二透明電極層上の透明物質の境界平面までの光学距離が約300nmの構造の有機EL素子においては、第二透明電極層と第二透明電極層上の透明物質との屈折率の差を0.6以下にすることが干渉の発生を殆んど抑制することに繋がるために好ましいものである。

10

【0066】

一方、図4に示すような、発光位置がとびとびに分離して複数存在するような構造の有機EL素子においては、少なくとも1層の発光層を含む発光ユニットの数の増加に伴って、発光界面から第二透明電極層/第二透明電極層上の透明物質の境界平面までの光学距離が増加するために、第二透明電極層と第二透明電極層上の透明物質の屈折率の差を更に小さくする必要がある。

【0067】

反射ミラーとしては、Ag、Al、Au、Pt、W、Mg、Ni及びRh等の金属単体或いは合金の蒸着膜、屈折率の異なる2種類の酸化物、窒化物、或いは半導体の層を交互に積層した多層膜ミラー等が使用できる。その組み合わせの例として、TiO₂とSiO₂、SiNxとSiO₂、Ta₂O₅とSiO₂或いはGaAsとGaInAsなどが挙げられるが、この他にもSiO、Al₂O₃、ZrO₂、Sb₂O₃、TiO、HfO₂、Y₂O₃、MgO、CeO₂、Nb₂O₅、MgF、SrF₂及びBaF₂等の中から屈折率の異なる材料を適宜選択して組み合わせることも可能である。

20

【0068】

ここまでは、有機EL素子の発光界面から反射ミラーの方向に放出された光に係わる干渉現象について様々な角度から検討を加えてきたが、発光界面から透明基板の方向に放出された光も同様に干渉現象に係わるものである。

【0069】

図1に示す有機EL素子の構造において、発光界面から透明基板の方向には、有機層/有機層の境界平面、有機層/第一透明電極層の境界平面及び第一透明電極層/透明基板の境界平面が存在し、発光界面から各境界平面までの光学距離は可干渉距離Lc未満となる可能性がある。従って、発光界面から透明基板の方向に放出されてこれらの境界平面で反射された光と発光界面から第二透明電極層の方向に放出された光とで干渉が生じる可能性があるため、夫々の境界平面を構成する両者の屈折率の差を極力小さくすることによって干渉の発生を抑制することが望ましい。

30

【0070】

そのなかでも特に、第一透明電極層/透明基板の境界平面が、3つの境界平面のうちで最も屈折率の差が大きい。例えば、透明基板にソーダガラス(屈折率:約1.55)を使用し、第一透明電極に一般的なITO、IZO、ZnO及びSnO₂等(屈折率:約1.95)を使用すると、屈折率の差は約0.4となってしまう。この屈折率段差約0.4の反射面では発光界面から透明基板までの光学距離が約400nmにおいてはほとんど干渉の影響は現れない。

40

【0071】

ところが、本発明の他の実施形態を示す図4のように、発光位置がとびとびに分離して複数存在するような、発光界面から透明基板までの光学距離が非常に長い構造の有機EL素子においては、干渉の影響が顕著に現れてくる。

【0072】

従って、干渉の発生を抑制するためには、発光界面から透明基板までの光学距離に応じて、第一透明電極層を形成する材料と透明基板の材料とを適宜選択することによって両者

50

の屈折率の差を設定することが必要である。

【0073】

具体的には、第一透明電極層と透明基板の間に、第一透明電極層との屈折率の差が極めて小さい第一バッファ層を、発光界面から透明基板までの光学距離が発光層から放出される光の可干渉距離 L_c 以上となるような膜厚に形成する。また、第一透明電極層に対して屈折率の差が小さい透明基板を使用すれば第一バッファ層を不要とすることも可能である。

【0074】

第一バッファ層に使用される材料としては、上述の第二透明電極層と反射ミラーの間に設けられた第一バッファ層と同様の材料が使用できる。また、第一透明電極層に対して屈折率の差が極めて小さい透明基板の材料としては特に限定するものではないが、一例を挙げるとすればLaSFN9(SCHOTT GLASS社製)(屈折率:1.85)が使用できる。

【0075】

なお、有機EL素子は、反射ミラーを透明基板の外側に設け、発光界面から放出された光を第二透明電極を介して外部に出射する構造にすることも可能である。その場合、透明基板の外側表面に金属膜を成膜して反射ミラーとしても良いし、反射ミラーを基板としてその上に有機EL素子を形成しても良い。

【0076】

透明基板の材料としては、ガラス、PET、ポリカーボネート及び非晶質ポリオレフィン等が使用される。また、第一透明電極及び第二透明電極はITO、IZO、 SnO_2 、及びZnO等の透明導電膜として形成されるのが好ましく、膜厚は10~500nmの範囲内であることが望ましい。

【0077】

有機EL素子の構造は、上記図1及び図4で示すものの他に、透明基板の上の第一透明電極側からの有機層を正孔注入層/正孔輸送層/発光層/電子輸送層/としたものや、正孔注入層/正孔輸送層/発光層としたものや、正孔輸送層/発光層/電子輸送層としたものや、前記発光層を多層に積層したもの等が可能である。

【0078】

正孔輸送層は第一透明電極層から正孔が注入され易くする働きと、電子をブロックする働きを有しており、正孔移動度が高く、透明で成膜性の良好なものが好ましく、TPD等のトリフェニルアミン誘導体、フタロシアニン、銅フタロシアニン等のポリオレフィン系化合物、ヒドラゾン誘導体及びアリールアミン誘導体等が用いられる。

【0079】

なお、正孔輸送層は、陽極からの正孔の注入を容易にする働きを有する正孔注入層と、正孔を輸送する働き及び電子を妨げる働きを有する正孔輸送層とに分けて設けても良い。その場合、正孔注入層及び正孔輸送層の膜厚は共に10~200nmの範囲内であることが望ましい。

【0080】

また、電子注入層は、第二透明電極層から電子が注入され易いように、有機発光層或いは電子輸送層の上に形成しても良い。電子注入層を形成する材料は、Li、Ca、Sr、及びCs等の仕事関数が低い金属が主に使用され、有機層の上に極微量蒸着される。

【0081】

また、発光層は、電子と正孔の再結合による発光効率が高く、薄膜性が良好で、輸送材料との境界平面で強い相互作用のないことが望ましく、アルミキレート錯体(Alq_3)、ジスチリルピフェニル誘導体(DPVBi)等のジスチリルアリーレン(DSA)系の誘導体、キナクリドン誘導体、ルブレン、クマリン及びペリレン系等の材料が用いられる。そして、これらの材料を単独で、或いは2種類以上を混合して発光層が形成される。また発光層は多層として積層しても良い。なお、発光層の膜厚は10~200nmの範囲内であることが望ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 2 】

電子輸送層を形成する材料は、アルミキレート錯体 (Alq_3)、ジスチリルピフェニル誘導体 (DPVBi)、オキサジアゾール誘導体、ビスチリルアントラセン誘導体、及びベンゾオキサゾールチオフェン誘導体等が用いられ、膜厚は10~200nmの範囲内であることが望ましい。

【 0 0 8 3 】

本発明の有機EL素子に関わる他の実施形態は、透明基板/第一透明電極/発光層を含む複数の薄膜層/第二透明電極からなるEL素子であって、前記第二透明電極の外側に形成された透光性材料からなる第一バッファ層、さらにその上に金属を成膜して形成された反射ミラーを有する。前記発光層の発光界面から前記反射ミラーまでの光学距離、および前記発光層の発光界面から前記透明基板の外側表面までの光学距離を、前記発光界面から放出される光の可干渉距離以上とし、更に前記第一バッファ層を形成する透光性材料と該透光性材料に隣接する第二透明電極の屈折率差、および前記透明基板と該透明基板に隣接する第一透明電極の屈折率差を0.6以下とする。第一バッファ層は、異なる材料からなる複数の層から形成されていてもよい。

10

【 0 0 8 4 】

また、本発明の有機EL素子に関わる他の実施形態は、透明基板/第一透明電極/発光層を含む複数の薄膜層/第二透明電極からなるEL素子であって、前記第二透明電極から外側に一定の距離を置いて前記第二透明電極と対向するように配置された反射ミラー、前記対向する第二透明電極と反射ミラーとの間を満たす第一バッファ層を有する。前記発光層の発光界面から前記反射ミラーまでの光学距離、および前記発光層の発光界面から前記透明基板の外側表面までの光学距離を、前記発光界面から放出される光の可干渉距離以上とし、かつ、前記透明基板と該透明基板に隣接する第一透明電極の屈折率差を0.6以下とする。該第一バッファ層は、前記第二透明電極との屈折率差が0.6以下の透光性材料からなり、気体あるいは液体からなる層でもよく、真空でもよい。また、前記反射ミラーは、基板表面に反射面を形成して構成されるものでもよく、金属板から構成されてもよい。

20

【 0 0 8 5 】

また、本発明の有機EL素子に関わる他の実施形態は、透明基板/第一透明電極/発光層を含む複数の薄膜層/第二透明電極からなるEL素子であって、前記透明基板の外側表面に金属膜を形成して構成される反射ミラー、前記第二透明電極上に形成された透光性材料からなる第一バッファ層を有する。前記発光層の発光界面から前記反射ミラーまでの光学距離、および前記発光層の発光界面から前記第一バッファ層の外側表面までの光学距離を、前記発光界面から放出される光の可干渉距離以上とし、更に前記第一バッファ層を形成する透光性材料と該透光性材料に隣接する第二透明電極の屈折率差、および前記透明基板と該透明基板に隣接する第一透明電極の屈折率差を0.6以下とする。

30

【 0 0 8 6 】

次に、本発明の有機EL素子に係わる実施例1~13及び比較例1~5について説明する。まず、実施例1~12は本発明の有機EL素子に係わる実施形態を示す図1の構造を基本構造として採用している。そこでまず、実施例1~9の有機EL素子の構造において、共通する構成要素を以下に記す。

40

【 0 0 8 7 】

透明基板となるガラス基板の上に第一透明電極層(陽極)となるITO透明電極をスパッタ法によって形成した。ITOのシート抵抗は10 Ω /である。そして、ITO透明電極を所定の形状にエッチングして、アセトン及びイソプロピルアルコール等で超音波洗浄した後に乾燥させた。更に、UV-O₃洗浄した後に真空蒸着槽内にセットして槽内を約1 \times 10⁻⁵Torrまで減圧し、ITO透明電極の上に正孔輸送層を100nmの膜厚に蒸着した。次いで、図5に示す発光スペクトルの光を放出する青色発光材料(以下、青色発光ドーパントと記す)を重量比1%の濃度で添加した有機発光層を共蒸着し、その上に電子注入層を微量蒸着成膜し、その上に第二透明電極(陰極)としてIZO透明電極

50

をスパッタ法により50nmの膜厚に成膜し、その上に第一バッファ層としてSiO₂を成膜し、更に、その上に反射ミラーとしてAlを200nmの膜厚に蒸着した。なお、SiO₂層の屈折率は450nmの波長の光に対して1.90であった。

【0088】

実施例1～9においては、夫々第一バッファ層として形成したSiO₂層の膜厚が異なり、それに伴って、発光界面からAl反射ミラーまでの光学距離が異なる。実施例1～9において異なるこれらの要素を以下の表1に示す。

【表1】

実施例 No.	第一バッファ層(SiO ₂)層の膜厚 (nm)	発光界面からAl反射ミラーまでの光学距離 (nm)
1	525	1285
2	784	1776
3	998	2183
4	1699	3515
5	2595	5217
6	3841	7585
7	4815	9435
8	6373	12395
9	7638	14800

10

【0089】

実施例10は、ガラス基板からIZO透明電極までの構成は上記実施例1～9と同様であるが、第一バッファ層及び反射ミラーの替わりにIZO透明電極の上に約0.5mmの厚みのオイル層を設けた構造である。オイルの屈折率は450nmの波長の光に対して1.55であった。

【0090】

実施例11は、上記実施例10のオイル層の替わりに、IZO透明電極と反射ミラーで構成された18μmの隙間にN₂ガスを充填した構造である。反射ミラーは基板にAgを蒸着したものであり、この反射ミラーを反射面がIZO透明基板と対向するように配置し、

反射ミラーとIZO透明電極の隙間の外周部に18μmのギャップ剤を分散したUV硬化性シール剤を塗布して接着・固定し、反射ミラーとITO透明電極とシール剤で囲まれた空間にN₂ガスを充填したものである。

30

【0091】

実施例12は、上記実施例11のN₂ガスの替わりに、450nmの波長の光に対して屈折率が1.55のオイルを充填したものである。

【0092】

実施例13は、本発明の有機EL素子に係わる他の実施形態を示す図4の構造を基本構造として採用している。但し、この場合は発光位置を2つで構成している。具体的な構造は、透明基板となるガラス基板の上に第一透明電極層(陽極)となるITO透明電極をスパッタ法によって形成した。ITOのシート抵抗は10Ωである。そして、ITO透明電極を所定の形状にエッチングして、アセトン及びイソプロピルアルコール等で超音波洗浄した後に乾燥させた。更に、UV-O₃洗浄した後に真空蒸着槽内にセットして槽内を約1×10⁻⁵Torrまで減圧し、ITO透明電極の上に正孔輸送層を成膜した。次いで、図5に示す発光スペクトルの光を放出する青色発光ドーパントを重量比1%の濃度で添加した有機発光層を共蒸着した。この正孔輸送層と有機発光層の積層構造を発光ユニットとし、この発光ユニットの上に電荷発生層を形成した後に黄色発光ドーパントを添加した有機発光層を有する他の発光ユニットを形成した。更にその上に電子注入層を微量蒸着し、その上にIZO透明電極を形成した。そして、基板にAgを蒸着した反射ミラーを反射面がIZO透明基板と対向するように配置し、反射ミラーとIZO透明電極の隙間の外周部に18μmのギャップ剤を分散したUV硬化性シール剤を塗布して接着・固定し、

40

50

反射ミラーとITO透明電極とシール剤で囲まれた空間に450nmの波長の光に対して屈折率が1.6のオイルを充填したものである。

【0093】

次に、比較例1~5の構造について説明する。比較例1~3は図21に示す従来の有機EL素子の構造を基本構造として採用している。比較例1の構造は、透明基板となるガラス基板の上に第一透明電極層(陽極)となるITO透明電極をスパッタ法によって形成した。ITOのシート抵抗は10 Ω /である。そして、ITO透明電極を所定の形状にエッチングして、アセトン及びイソプロピルアルコール等で超音波洗浄した後に乾燥させた。更に、UV-O₃洗浄した後に真空蒸着槽内にセットして槽内を約1 \times 10⁻⁵Torrまで減圧し、ITO透明電極の上に正孔輸送層を100nmの膜厚に蒸着した。次いで、図5に示す発光スペクトルの光を放出する青色発光ドーパントを重量比1%の濃度で添加した有機発光層を62nmの膜厚に共蒸着した。更に、その上に電子注入層を微量蒸着成膜し、その上に陰極としてAlを200nmの膜厚に蒸着した。なお、有機発光層の屈折率は450nmの波長の光に対して1.80であった。

10

【0094】

この場合、発光界面からAl陰極までの光学距離は112nmであり、ピーク発光波長450nmのほぼ1/4であった。

【0095】

比較例2の構造は上記比較例1の構造と同様であるが、青色ドーパントを添加して共蒸着した有機発光層の膜厚を105nmとし、発光界面からAl陰極までの光学距離は189nmであり、ピーク発光波長450nmの奇数倍から外れることが異なるものである。

20

【0096】

比較例3の構造は、ガラス基板から青色ドーパントを添加して共蒸着した有機発光層までの構成は上記比較例2と同様であるが、青色ドーパントを添加して共蒸着した有機発光層の上に電子注入層を微量蒸着成膜し、その上にIZO透明電極をスパッタ法によって50nmの膜厚に形成し、さらにその上にAlを反射ミラーとして200nmの膜厚に形成したところが異なる。なお、IZO透明電極の屈折率は450nmの波長の光に対して1.95であった。その結果、発光界面からAl反射ミラーまでの光学距離は286nmとなり、比較例2と同様にピーク発光波長450nmの奇数倍から外れるものとなった。

【0097】

比較例4は、比較例3に対してAl反射ミラーを取り除き、IZO透明電極の上をN₂雰囲気としたものである。

30

【0098】

比較例5は、本発明の有機EL素子に係わる他の実施形態を示す図4の構造を基本構造として採用している。但し、この場合は発光位置を2つで構成している。具体的な構造は、透明基板となるガラス基板の上に第一透明電極層(陽極)となるITO透明電極をスパッタ法によって形成した。ITOのシート抵抗は10 Ω /である。そして、ITO透明電極を所定の形状にエッチングして、アセトン及びイソプロピルアルコール等で超音波洗浄した後に乾燥させた。更に、UV-O₃洗浄した後に真空蒸着槽内にセットして槽内を約1 \times 10⁻⁵Torrまで減圧し、ITO透明電極の上に正孔輸送層を成膜した。次いで、図5に示す発光スペクトルの光を放出する青色発光ドーパントを重量比1%の濃度で添加した有機発光層を共蒸着した。この正孔輸送層と有機発光層の積層構造を発光ユニットとし、この発光ユニットの上に電荷発生層を形成した後に黄色発光ドーパントを添加した有機発光層を有する他の発光ユニットを形成した。更にその上に電子注入層を微量蒸着し、最後にAl陰極を200nmの膜厚に蒸着した。

40

【0099】

以上、本発明の有機EL素子に係わる実施例1~13及び比較例1~5について説明したが、以下にそれらの特性について説明する。

【0100】

50

図6は比較例1～3の従来構造の有機EL素子についての発光スペクトルを示している。比較例1の有機EL素子は発光界面からAl電極までの光学距離をほぼ $\lambda_p/4$ (発光光のピーク波長 $\lambda_p = 450\text{nm}$)とした素子であり、発光スペクトル分布は図5に示す青色発光ドーパントのPLスペクトル分布とはほぼ同様の形態をなしている。

【0101】

一方、比較例2のように有機発光層の膜厚が105nmになると、発光スペクトル分布が青色発光ドーパントのPLスペクトル分布とは大きく異なるものとなっている。これは発光界面からAl電極までの光学距離が $\lambda_p/4$ (発光光のピーク波長 $\lambda_p = 450\text{nm}$)の奇数倍からズレているためである。また、比較例3も同様に発光界面からAl電極までの光学距離が $\lambda_p/4$ (発光光のピーク波長 $\lambda_p = 450\text{nm}$)の奇数倍からズレており、青色ドーパントのPLスペクトルの分布とは異なるものとなっている。

10

【0102】

図7は実施例1の発光スペクトル、図8は実施例4の発光スペクトル、図9は実施例6の発光スペクトル、図10は実施例9の発光スペクトルを示している。

【0103】

図7に示す実施例1の有機EL素子の発光スペクトル分布は、干渉の影響によって青色発光ドーパントのPLスペクトルとは大きく異なるものとなっているが、実施例2～9のように第一バッファ層(SiO)層の膜厚を厚くして発光界面のAl反射ミラーまでの光学距離を長くしてゆくと、図8～10に示すように発光スペクトル分布は次第に青色発光ドーパントのPLスペクトル分布に近づいてゆく。

20

【0104】

ここで、発光スペクトル分布の近似度を客観的に表す方法として「変調の度合」の概念を導入した。それは、まず各波長において、比較の対象となる光の発光スペクトル分布の相対光度を、基準となる光の発光スペクトル分布の相対光度で割って変調スペクトル分布を算出する。そして、変調スペクトル分布において、近似度を求めたい発光波長範囲内に存在する最大値(I_{MAX})と最小値(I_{MIN})から以下の式を用いて「変調の度合(V)」を算出するものである。

$$V = (I_{MAX} - I_{MIN}) / (I_{MAX} + I_{MIN})$$

【0105】

図11は、一例として、実施例1の有機EL素子から放出される光を比較光とし、青色発光ドーパントから放出される光を基準光としたときの変調スペクトル分布を示している。そしてこの変調スペクトル分布と上記式から変調の度合が算出される。

30

【0106】

図12は、比較光を実施例1～9及び比較例2の有機EL素子から放出される光とし、基準光を青色発光ドーパントから放出される光として、実施例1～9及び比較例2の有機EL素子における「発光界面から反射ミラーまでの光学距離」と「変調の度合」の関係を表したものである。発光界面から陰極(反射ミラー)までの光学距離が数十～数百nm程度の有機EL素子における変調の度合はほぼ1に近い値を示している。例えば、比較例2の有機EL素子における変調の度合は0.94であった。これに対し、図中に点線で示した青色発光ドーパントの放出する光の可干渉距離 L_c と同等の値(4218nm)における変調の度合は約0.36であり、多少の干渉は生じているものの、その影響は大きく軽減されていることが認められた。従って、有機EL素子において干渉の影響を最小限に抑制するためには、上記方法で求められる「変調の度合」を約0.36以下にすることが一つの基準になることが確認できた。

40

【0107】

また、有機EL素子は自発光の素子であることが特徴であり、そのため発光色も重要な要件の一つである。そこで、実施例1～9及び比較例1～4の有機EL素子における「発光界面から反射ミラーまでの光学距離」と発光光の「色度」の関係を示したものが図13及び図14であり、図13は色度座標(x)を、図14は色度座標(y)を表している。

【0108】

50

比較例 1 ~ 3 のように発光界面から陰極（反射ミラー）までの光学距離が数十 ~ 数百 nm 程度の有機 EL 素子においては、膜厚が微妙に変化しただけでも発光光の色度（ x 、 y ）が大幅に変わることがわかる。これに対し、実施例 1 ~ 9 のように発光界面から陰極（反射ミラー）までの光学距離を長くしてゆき、図中に点線で示した青色発光ドーパントの放出する光の可干渉距離 L_c と同等の値（4218 nm）以上にすると、青色発光ドーパントが本来放出する光の色度（PL 発光時）に対する差は x 、 y 共に 0.01 以下まで収束してゆくことがわかる。

【0109】

つまり、発光界面から陰極（反射ミラー）までの光学距離は大きいほど、干渉の抑制効果は大きくなるが、距離が小さい場合においても、本発明の構成とすることにより、比較例の構成よりも干渉の抑制効果を奏することが確認できる。特に、前記光学距離を青色発光ドーパントの放出する光の可干渉距離 L_c と同等の値（4218 nm）以上とすることにより、青色発光ドーパントが本来放出する光の色度をほぼ再現でき、膜厚が多少変化しても色度はほとんど変わらないことがわかる。

【0110】

ここまでは、青色発光ドーパントを添加した有機発光層を有する有機 EL 素子の特性について説明してきたが、図 15 で示すような PL スペクトルの分布の光を放出する緑色発光ドーパント及び赤色発光ドーパントを添加した有機発光層を有する有機 EL 素子についても特性の確認を行なった。実施例 1 ~ 9 の有機 EL 素子と同様の構造において、有機発光層に添加するドーパントを緑色発光ドーパント及び赤色発光ドーパントとし、夫々のドーパントから放出される光の可干渉距離 L_c と同等の値（4992 nm 及び 5362 nm）における変調の度合を以下の表 2 に示す。青色以外の他の発光色の有機 EL 素子においても青色発光の有機 EL 素子の場合と同様の結果を確認した。

【0111】

【表 2】

ドーパントの発光色	PL スペクトルから求められた可干渉距離 L_c nm	変調の度合
青	4218	0.360
緑	4992	0.340
赤	5362	0.355

【0112】

図 16 は比較例 4 及び実施例 10 の有機 EL 素子のガラス基板から放射される光の発光スペクトルを示している。比較例 4 と実施例 10 の構造の違いは、比較例 4 は、450 nm の波長の光に対して屈折率が 1.95 の IZO 透明電極の上を N_2 雰囲気としたのに対し、実施例 10 では、同じく IZO 透明電極の上に 450 nm の波長の光に対して屈折率が 1.55 のオイル層を約 0.5 μ m の厚みに設けた構造である。

【0113】

従って、比較例 4 における IZO 透明電極と N_2 雰囲気の屈折率差は 0.95 であり、実施例 10 における IZO 透明電極とオイル層との屈折率差は 0.4 である。ところで、比較例 4 と実施例 10 の発光スペクトル分布を比較すると、比較例 4 の発光スペクトルの分布は図 5 に示す青色発光ドーパントが放出する光のスペクトル分布とは異なっており、干渉の影響を反映しているのに対し、実施例 10 の発光スペクトル分布は青色発光ドーパントが放出する光のスペクトル分布とほぼ同じとなった。

【0114】

このことにより、境界平面を形成する 2 つの層の屈折率差が 0.95 程度であっても干渉を生じる原因となることが確認できた。また同時に、この屈折率差を小さくすることによって干渉の問題を解決することができることも確認できた。

【0115】

図17は実施例11及び実施例12の有機EL素子のガラス基板から放射される光の発光スペクトルを示している。実施例11と実施例12の構造の違いは、基板にAgを蒸着した反射ミラーを反射面がIZO透明基板と対向するように配置し、反射ミラーとIZO透明電極の隙間の外周部に18 μ mのギャップ剤を分散したUV硬化性シール剤を塗布して接着・固定し、反射ミラーとIZO透明電極とシール剤で囲まれた隙間を形成した構造において、実施例11の有機EL素子の場合はこの隙間にN₂ガスを充填し、実施例11の有機EL素子では450nmの波長の光に対して屈折率が1.55のオイル充填した構造になっている。

【0116】

IZO透明電極の上を単にN₂雰囲気とした構造の比較例4の発光スペクトル分布(図16)と、IZO透明電極の上をN₂雰囲気としてその上にAgを蒸着した反射ミラーを設けた構造の実施例11の発光スペクトルの分布を比較すると、実施例11の発光スペクトルの分布の方が青色発光ドーパントのPLスペクトル分布に近いものとなっている。つまり、IZO透明電極に対向するように設けた反射ミラーによって干渉の影響を抑制できることがわかった。

10

【0117】

更に、IZO透明電極と反射ミラーとの隙間に450nmの波長の光に対して屈折率が1.55のオイルを充填した構造の実施例12の発光スペクトル分布は、青色発光ドーパントのPLスペクトル分布とほぼ同等のものとなっている。

【0118】

20

図18及び図19は夫々青色発光ドーパントを共蒸着した有機発光層を有する発光ユニットと、黄色発光ドーパントを共蒸着した有機発光層を有する発光ユニットの2ヶ所の発光部がとびとびに存在する構造の有機EL素子である比較例5及び実施例13の発光スペクトルである。

【0119】

比較例5と実施例13の構造の違いは、比較例5の場合は、電子注入層の上に陰極となるAlを直接200nmの膜厚に形成した構造であるのに対し、実施例13の場合は、電子注入層の上にIZO透明電極を形成し、更に、基板にAgを蒸着した反射ミラーを反射面がIZO透明基板と対向するように配置し、反射ミラーとIZO透明電極の隙間の外周部に18 μ mのギャップ剤を分散したUV硬化性シール剤を塗布して接着・固定し、反射ミラーとITO透明電極とシール剤で囲まれた空間に450nmの波長の光に対して屈折率が1.6のオイルを充填した構造になっている。

30

【0120】

図18に示す比較例5の構造の有機EL素子の発光スペクトルは、有機EL素子の発光面を発光面の法線方向(0deg)から見た場合、青色発光ドーパントのPLスペクトル分布及び黄色発光ドーパントのPLスペクトル分布の両方を再現しておらず、観視角度(発光面の法線に対する交角が30deg及び60deg)によってスペクトル分布が著しく変わっている。

【0121】

それに対し、図19に示す実施例13の構造の有機EL素子の発光スペクトルは、上記同様に発光面を法線方向から見た場合、青色発光ドーパントのPLスペクトル分布及び黄色発光ドーパントのPLスペクトル分布の両方をほぼ再現したものとなっており、観視角度が変わってもスペクトル分布の変化はほとんど無い。

40

【0122】

その結果、本発明の有機EL素子においては、有機EL素子の構造が、2枚の対向する透明電極によって挟持された有機層が、少なくとも1層の発光層を含む発光ユニットを複数個有したものであり、各発光ユニットが少なくとも1層からなる電荷発生層によって仕切られた有機EL素子においても、1層の発光層を有する有機EL素子と同様の効果が得られることがわかった。

【0123】

50

ここで、本発明の実施形態に係わる効果について説明する。まず、有機EL素子構造を、透明基板の上に第一透明電極層（陽極）、正孔輸送層、有機発光層及び第二透明電極層（陰極）の各層を順次形成し、更に第二透明電極層（陰極）の外側に所定の距離を保って反射ミラーを配置した。反射ミラーの位置は、有機発光層の発光界面から反射ミラーまでの光学距離が発光層から放出される光の可干渉距離 L_c 以上となるように設定した。なお、可干渉距離 L_c は $L_c = \lambda_p^2 / 4$ （但し、 λ_p は発光スペクトルのピーク波長、 $\lambda_p/4$ はスペクトル半値幅）の式で算出される。

【0124】

有機EL素子を上記構造にすることによって、有機発光層の発光界面で放出されて有機EL素子の内部で反射された光が干渉の要因とならないようにすることができた。

10

【0125】

その結果、有機発光層の発光界面で放出されて有機EL素子の内部で反射された光を有効に活用し、干渉の影響を排除した光を効率良く外部に取り出すことができるようになった。

【0126】

また、有機EL素子を構成する各透明電極層及び各有機層の膜厚設定に際して干渉の影響を考慮に入れる必要がなくなった。よって、キャリアの輸送効率、再結合及び発光の効率等のみに重点を置いて膜厚設定が可能になるために膜厚の最適化が実現できる。

【0127】

また、膜厚が変わっても発光スペクトル分布に変化は生じず、有機EL素子から出射される光の色調が変化することがない。

20

【0128】

また、有機EL素子の発光面に対する観視角度が変わっても、スペクトル分布の変化はほとんど無く、有機EL素子から出射される光をどの方向から観視しても色調の変化はない。

【0129】

更に、透明基板の上に第一透明電極層（陽極）が形成され、その上に発光層を含む発光ユニットが電荷発生層を挟んで複数個設けられ、その上に形成された第二透明電極層（陰極）の上方に所定の距離を保って反射ミラーを配置した構造の本発明の他の実施形態の有機EL素子においても、上述と同様の効果を奏することが確認できた。

30

【0130】

次に、本発明の有機EL素子に係わる実施例14～20及び比較例6について説明する。まず、実施例14は上記比較例4の N_2 ガスの代わりに、IZO透明電極と該IZO透明電極に対向するように配置された封止用ガラス基板で構成された $18\mu m$ の隙間に屈折率が1.55のオイルを充填した構造のものである。IZO透明電極と封止用ガラス基板の $18\mu m$ の隙間は、上方に素子を形成したガラス基板と素子を封止するように配置された封止用ガラス基板をギャップ剤を分散したUV硬化性シール剤により接着、固定することによって確保される。

【0131】

実施例15は、IZO透明電極と封止用ガラス基板の隙間に屈折率1.33のオイルを充填した。それ以外の条件は実施例14と同様とした。

40

【0132】

実施例16は、IZO透明電極と封止用ガラス基板の隙間に屈折率1.37のオイルを充填した。それ以外の条件は実施例14と同様とした。

【0133】

実施例17は、IZO透明電極と封止用ガラス基板の隙間に屈折率1.43のオイルを充填した。それ以外の条件は実施例14と同様とした。

【0134】

実施例18は、比較例5の N_2 ガスの代わりに、IZO透明電極と該IZO透明電極に対向するように配置された封止用ガラス基板で構成された $18\mu m$ の隙間に屈折率が1.

50

55のオイルを充填した構造のものである。IZO透明電極と封止用ガラス基板の18 μ mの隙間は、上方に素子を形成したガラス基板と素子を封止するように配置された封止用ガラス基板をギャップ剤を分散したUV硬化性シール剤により接着、固定することによって確保される。

【0135】

実施例19は、IZO透明電極と封止用ガラス基板の隙間に屈折率1.33のオイルを充填した。それ以外の条件は実施例18と同様とした。

【0136】

実施例20は、IZO透明電極と封止用ガラス基板の隙間に屈折率1.43のオイルを充填した。それ以外の条件は実施例18と同様とした。

【0137】

次に、比較例6について説明する。比較例6の構造は、透明基板となる屈折率が560nmの波長の光に対して1.53であるガラス基板上にITO透明電極をスパッタ法によって形成した。ITOの膜厚は125nmで、シート抵抗は10 Ω 、屈折率は560nmの波長の光に対して1.90である。そして、ITO透明電極を所定の形状にエッチングして、アセトン及びイソプロピルアルコール等で超音波洗浄した後に乾燥させた。更に、UV-O₃洗浄した後に真空蒸着槽内にセットして槽内を約1 \times 10⁻⁵Torrまで減圧し、ITO透明電極の上に正孔輸送層を100nmの膜厚に蒸着した。次いで、図22に示す発光スペクトルの光を放出する黄色発光ドーパントを重量比1%の濃度で添加した有機発光層を80nmの膜厚に共蒸着した。更に、その上に電子注入層を微量蒸着成膜し、その上に陰極としてIZOを50nmの膜厚に蒸着した。なお、有機発光層の屈折率は560nmの波長の光に対して1.75であり、IZO透明電極の屈折率は560nmの波長の光に対して1.90であった。IZO表面の上はN₂雰囲気とした。

【0138】

以上、本発明の有機EL素子に係わる実施例14~20及び比較例6について説明したが、以下にそれらの特性について比較例4を交えて説明する。

【0139】

図23は比較例4及び実施例14の有機EL素子のガラス基板から放射される光の発光スペクトルを示している。比較例4と実施例14の構造の違いは、比較例4は、450nmの波長の光に対して屈折率が1.95のIZO透明電極の上をN₂雰囲気としたのに対し、実施例14では、同じくIZO透明電極の上に450nmの波長の光に対して屈折率が1.55のオイル層を設けた構造である。

【0140】

従って、比較例4におけるIZO透明電極とN₂雰囲気の屈折率差は0.95であり、実施例14におけるIZO透明電極とオイル層との屈折率差は0.4である。ところで、比較例4と実施例14の発光スペクトル分布を比較すると、比較例4の発光スペクトル分布は図5に示す青色発光ドーパントが放出する光のスペクトル分布とは異なっている。これは、発光界面からの光学距離が、図5の青色発光ドーパントのPLスペクトルから求めた可干渉距離L_c(約4.2 μ m)未満の範囲内にIZOとN₂雰囲気の屈折率差0.95の反射面が存在しているために、干渉の影響を大きく受けているものと思われる。

【0141】

これに対し、実施例14の発光スペクトル分布は図5に示す青色発光ドーパントが放出する光のスペクトル分布とほぼ同じとなった。これは、比較例4のN₂雰囲気に替えて屈折率1.55のオイルを充填し、IZOとの屈折率差を0.4としたことによるものと考えられる。

【0142】

以上の結果より、発光界面からの光学距離が可干渉距離L_c(約4.2 μ m)未満に存在する屈折率段差の値が0.95程度でも干渉を起こす原因となることがわかった。また、この屈折率段差の値を極力小さくすることによって発光に対する干渉の影響を抑制できることがわかった。

10

20

30

40

50

【0143】

図24は実施例14～17及び比較例4に於いて、IZO透明電極と該IZO透明電極と境界面を形成する物質との屈折率段差に対して、ガラス基板側から出射される光の色度(x, y)を示したものである。屈折率段差が小さくなるに伴ってガラス基板側から出射される光への干渉の影響が小さくなり、ガラス基板側から出射される光の色度(x, y)が青色発光ドーパント特有のPLスペクトルから求めた色度(x, y)に近づいていくことがわかる。

【0144】

そして、屈折率段差が0.6以下になると青色発光ドーパントの色度(x, y)に対するズレがx, y共に0.01以下となり、人間の色識別能力では識別できない領域まで色度ズレを抑えることが可能となることがわかった。

10

【0145】

以上の結果より、0.95程度の屈折率差であっても、それが有機発光層の発光界面からの距離が光学距離で発光界面から放出される光の可干渉距離 L_c 未満の範囲内に存在する場合は、干渉を起こす要因となることがわかった。また、この屈折率差を小さくすることで干渉の影響を抑制できることがわかった。

【0146】

また以上の結果は、反射ミラーを有する有機EL素子の発光において、発光界面から反射ミラーまでの光学距離を「可干渉距離 L_c 」(4.2 μm)以上の値としても、青色発光ドーパント本来の色度を再現できない場合があることを示している。つまり、発光界面と反射ミラーの間で、発光界面からの光学距離が可干渉距離(4.2 μm)未満に屈折率段差の大きな界面が存在すると、この界面が反射面として作用し、ガラス基板面からの発光に影響を与えてしまう。従って、反射ミラーを有する素子の発光において、青色発光ドーパント本来の色度を再現するためには、発光界面から反射ミラーまでの光学距離を「可干渉距離 L_c 」(4.2 μm)以上とし、更に発光界面からの光学距離が可干渉距離(4.2 μm)未満に存在する屈折率段差を極力小さく(少なくとも屈折率段差を0.6以下に調節)する必要がある。これにより、青色ドーパント本来の色度に対するズレをx, y共に0.01以内とすることができるとわかった。

20

【0147】

図25は比較例6及び実施例18の有機EL素子のガラス基板から放射される光の発光スペクトルを示している。比較例6と実施例18の構造の違いは、比較例6は、560nmの波長の光に対して屈折率が1.90のIZO透明電極の上を N_2 雰囲気としたのに対し、実施例18では、同じくIZO透明電極の上に560nmの波長の光に対して屈折率が1.55のオイル層を設けた構造である。

30

【0148】

従って、比較例6におけるIZO透明電極と N_2 雰囲気の屈折率差は0.90であり、実施例18におけるIZO透明電極とオイル層との屈折率差は0.35である。ところで、比較例6と実施例18の発光スペクトル分布を比較すると、比較例6の発光スペクトル分布は図22に示す黄色発光ドーパントが放出する光のスペクトル分布とは異なっている。これは、発光界面からの光学距離が、図22の黄色発光ドーパントのPLスペクトルから求めた可干渉距離 L_c (約4.8 μm)未満の範囲内にIZOと N_2 雰囲気の屈折率差0.90の反射面が存在しているために、干渉の影響を大きく受けているものと思われる。

40

【0149】

これに対し、実施例18の発光スペクトル分布は図22に示す黄色発光ドーパントが放出する光のスペクトル分布とほぼ同じとなった。これは、比較例6の N_2 雰囲気に替えて屈折率1.55のオイルを充填し、IZOとの屈折率差を0.35としたことによるものと考えられる。

【0150】

以上の結果より、発光界面からの距離が可干渉距離 L_c (約4.8 μm)未満に存在す

50

る屈折率段差の値が0.90程度でも干渉を起こす原因となることがわかった。また、この屈折率段差の値を極力小さくすることによって発光に対する干渉の影響を抑制できることがわかった。

【0151】

図26は実施例18~20及び比較例6に於いて、IZO透明電極と該IZO透明電極と境界面を形成する物質との屈折率段差に対して、ガラス基板側から出射される光の色度(x, y)を示したものである。屈折率段差が小さくなるに伴ってガラス基板側から出射される光への干渉の影響が小さくなり、ガラス基板側から出射される光の色度(x, y)が黄色発光ドーパント特有のPLスペクトルから求めた色度(x, y)に近づいていくことがわかる。

10

【0152】

そして、屈折率段差が0.6以下になると黄色発光ドーパントの色度(x, y)に対するズレがx, y共に0.01以下となり、人間の色識別能力では識別できない領域まで色度ズレを抑えることが可能となることがわかった。

【0153】

以上の結果より、0.90程度の屈折率差であっても、それが有機発光層の発光界面からの距離が光学距離で発光界面から放出される光の可干渉距離Lc未満の範囲内に存在する場合は、干渉を起こす要因となることがわかった。また、この屈折率差を小さくすることで干渉の影響を抑制できることがわかった。

【0154】

また以上の結果は、反射ミラーを有する有機EL素子の発光において、発光界面から反射ミラーまでの光学距離を「可干渉距離Lc」(4.8μm)以上の値としても、黄色発光ドーパント本来の色度を再現できない場合があることを示している。つまり、発光界面と反射ミラーの間で、発光界面からの光学距離が可干渉距離(4.8μm)未満に屈折率段差の大きな界面が存在すると、この界面が反射面として作用し、ガラス基板面からの発光に影響を与えてしまう。従って、反射ミラーを有する素子の発光において、黄色発光ドーパント本来の色度を再現するためには、発光界面から反射ミラーまでの光学距離を「可干渉距離Lc」(4.8μm)以上とし、更に発光界面からの光学距離が可干渉距離(4.8μm)未満し存在する屈折率段差を極力小さく(少なくとも屈折率段差を0.6以下に調節)する必要がある。これにより、黄色ドーパント本来の色度に対するズレをx, y共に0.01以内とすることができるとわかった。

20

30

【0155】

発光界面から屈折率段差までの光学距離をほぼ同レベルの光学距離として比較した場合、発光波長が長波長の場合ほど屈折率段差はやや大きめでも色度のズレを小さくすることができる。また、人間の眼は青の近辺ではわずかな色度差でも感知できるが、緑の近辺では大きな色度差がないと感知できない。黄色や赤色に関しても青より大きな色度差がないと感知できない。従って、発光界面からの光学距離が可干渉距離未満の範囲内に屈折率段差が存在する場合、段差は0.6以下とし、色度のズレを0.01以下に抑えることで、どのような色調においても、発光材料本来の発光色と同等であると認識できる色調の発光を得ることができる。

40

【0156】

次に、本発明の有機EL素子に係る他の実施形態について説明する。透明基板/第一透明基板/発光層を含む複数の薄膜層/反射電極からなるEL素子であって、前記発光層と反射電極の間に形成された第二バッファ層を有する。前記発光層の発光界面から反射電極までの光学距離を前記発光界面から放出される光の可干渉距離以上とし、前記発光層の発光界面からの光学距離が前記発光界面から放出される光の可干渉距離未満の範囲内では、前記反射電極を除いた隣接する2つの層全ての屈折率差を0.6以下としている。

【0157】

図27は当該実施形態の構造の一つを示す断面図である。本実施形態は発光位置がとびとびに分離して複数存在するMPE構造(一对の対向する電極によって挟持された有機層

50

が、少なくとも1層の発光層を含む発光ユニットを少なくとも1個有し、発光ユニットを複数個有する場合には、各発光ユニットが少なくとも1層からなる電荷発生層によって仕切られた構造)である。また、各発光ユニットから発せられる光は種々の組み合わせが考えられ、同一発光色の単色発光ユニットの積層、異なる発光色の単色発光ユニットの積層、および、白色等混色発光ユニットの積層など種々の組み合わせが考えられる。

【0158】

図27に示す有機EL素子の具体的な構造は、透明基板の上に透明電極層(陽極)が形成され、その上に第一発光界面を含む第一発光ユニット、第一電荷発生層、第二発光界面を含む第二発光ユニット、第二電荷発生層、第三発光界面を含む第三発光ユニット及び第二バッファ層が順次形成されている。そして更に、第二バッファ層の外側には反射面が第三発光ユニットと対向するように反射ミラーを兼ねた電極(反射電極(陰極))が配置されている。

10

【0159】

そして、最終積層の発光ユニット(第三発光ユニット)と反射電極との間に第二バッファ層を形成し、発光層の発光界面から反射電極までの光学距離を可干渉距離以上とし、且つ発光界面から反射電極までに存在する全ての界面の屈折率差が0.6以下となるようにした。

【0160】

従って、素子を作製するにあたり、光学干渉の影響に依存することなく、発光ユニットをキャリアバランスの最適膜厚で構成することが可能となる。電子輸送層膜厚や透明電極膜厚により各発光界面から陰極までの光学距離を $\lambda/4$ の奇数倍とし、光学干渉効果の強めあいの条件を利用するといった従来の技術における膜厚調整を行うことなく、発光層から発せられる光のピーク波長とほぼ同一の発光光を得ることができる。

20

特に、MPE素子を作製するにあたり、最適膜厚で構成された発光ユニットを単純に積層してMPE化したとしても、MPE化に伴う光学干渉条件の変化は第二バッファ層によって修正されるため、各発光界面から陰極までの光学長を $\lambda/4$ の奇数倍に調整する必要がなくなる。すなわち、所望である材料本来の発光色を維持しつつ、最適キャリアバランス特性の発光ユニットを積層することができ、より効率の良い理想的なMPE素子を作製することが可能となる。

【0161】

第二バッファ層は、キャリアバランスに影響を及ぼすことなく、各発光界面から陰極までの光学距離を可干渉距離以上に調整する、前述した第一バッファ層と同様の役割を担うが、前述の第一バッファ層とは、絶縁体を用いることができない点で異なる。

30

また、陰極にIZOなどの透明電極を形成するために電子輸送層の上面にスパッタ法などによる成膜が施される場合には、電子輸送層にダメージを与え、素子を劣化させてしまうことになるが、本構成の有機EL素子においては、電子輸送層の上の第二バッファ層が、スパッタ成膜時のダメージから電子輸送層を保護する役割をも担っている。

【0162】

第二バッファ層に用いられる材料は、可視光領域において光の吸収がないこと、導電性が高い(特に電子輸送性)こと、非発光材料であることが必要となる。具体的には、IZO、ZnOなどに代表される透明電極材料、 V_2O_5 などに代表される電荷発生材料(CGL材料)(尚、ここで用いられている電荷発生材料とは、OPCなどに用いられているような光励起によって電荷を発生するものではなく、「特開2003-272860号公報」に記載されているように、対向する陽極電極と陰極電極の間に存在する複数個の発光ユニットが $1.0 \times 10^2 \cdot \text{cm}$ 以上の比抵抗を有する電荷発生層で仕切られて積層されている構造を有することにより、両電極間に所定電圧が印加された場合に、あたかも複数個の発光ユニットが電氣的に直列に接続されているように同時発光を行なえるものを指す。)及びこれらの混合あるいは積層による薄膜多層膜などが候補として挙げられる。好適な例としては、前述のCGL材料と低仕事関数金属(Cs、Liなど)の積層膜(Li/CGL/Li/CGL/.../Li/CGL)などが挙げられる。

40

50

【0163】

なお、第二バッファ層としては、他にも電子輸送材料あるいはホールブロック材料も候補として考えられる。この場合、一般的に用いられるこれら材料では、駆動電圧の上昇が著しいため、比抵抗 $1.0 \times 10^2 \cdot \text{cm}$ 以上の高移動度の電子輸送材料あるいはホールブロック材料が好ましい。

【0164】

更に、第二バッファ層は、上記構造のように、陰極及び電子輸送層と独立した層でなく、これらを共有したものであってもよい。すなわち、電子輸送層兼第二バッファ層あるいは、陰極兼第二バッファ層となる場合である。電子輸送層兼第二バッファ層については、前述のように高移動度の材料が好ましい。いずれにしても第二バッファ層は上記他の層の機能を兼ねない限り、発光ユニットに対して光学干渉の影響を排除すること以外には、光学的、電氣的に影響を与えないことが望ましい。

10

【0165】

図28には、1発光ユニットの青色有機EL素子、3発光ユニットの青色有機EL素子、第二バッファ層を導入した3発光ユニットの青色有機EL素子の発光スペクトルを示す。縦軸は各素子のEL強度、横軸は発光波長を示している。また、各素子のCIE色度は、それぞれ、(0.15、0.14)、(0.14、0.23)(0.15、0.15)となった。

【0166】

図中黒線で示される発光スペクトル(PLスペクトルと同一)の光を発する素子は、透明電極(材料:ITO*膜厚:160nm)/正孔注入層(スターバースト系材料*60nm)/正孔輸送層(-NPD*20nm)/青色発光部(35nm)/電子輸送層(Alq_3 *40nm)/陰極(Al *100nm)で構成される1発光ユニット青色有機EL素子である。尚、単位(nm)は、層構成については膜厚、Lc等については光学膜厚の単位を夫々示す。

20

【0167】

図中連続する黒三角印で示される発光スペクトルの光を発する素子は、上記1発光ユニット青色有機EL素子を単純に積層してMPE化したものであり、その構成は、透明電極(ITO*160nm)/正孔注入層(スターバースト系材料*60nm)/正孔輸送層(-NPD*20nm)/青色発光部(35nm)/電子輸送層(Alq_3 *40nm)/電荷発生層(五酸化バナジウム*30nm)/正孔注入層(スターバースト系材料*60nm)/正孔輸送層(-NPD*20nm)/青色発光部(35nm)/電子輸送層(Alq_3 *40nm)/電荷発生層(五酸化バナジウム*30nm)/正孔注入層(スターバースト系材料*60nm)/正孔輸送層(-NPD*20nm)/青色発光部(35nm)/電子輸送層(Alq_3 *40nm)/陰極(Al *100nm)からなる、青色有機EL素子である。

30

【0168】

図中連続する白丸印で示される発光スペクトルの光を発する素子は、上記1発光ユニット青色有機EL素子を積層してMPE化し、更に第二バッファ層(450nmの波長の光に対して屈折率1.95)を5000nm挿入した素子であり、その構成は、透明電極(ITO*160nm)/正孔注入層(スターバースト系材料*60nm)/正孔輸送層(-NPD*20nm)/青色発光部(35nm)/電子輸送層(Alq_3 *40nm)/電荷発生層(五酸化バナジウム*30nm)/正孔注入層(スターバースト系材料*60nm)/正孔輸送層(-NPD*20nm)/青色発光部(35nm)/電子輸送層(Alq_3 *40nm)/電荷発生層(五酸化バナジウム*30nm)/正孔注入層(スターバースト系材料*60nm)/正孔輸送層(-NPD*20nm)/青色発光部(35nm)/電子輸送層(Alq_3 *40nm)/第二バッファ層(酸化亜鉛*5000nm)/陰極(Al *100nm)からなる、青色有機EL素子である。

40

【0169】

3発光ユニットの青色有機EL素子(図中黒三角印)は、1発光ユニットの青色有機E

50

Ｌ素子（図中黒線）と比較して、干渉の影響を大きく受けた異なる発光スペクトル形状を示し、また、大きく異なる色度を示した。

一方、３発光ユニットの青色有機ＥＬ素子の素子構成に第二バッファ層を加えた３発光ユニットの有機ＥＬ素子（図中連続する白丸印）は、１発光ユニットの青色有機ＥＬ素子（図中黒線）と比較して、異なる発光スペクトル形状を示したが、ほぼ同等の色度を示した。つまり、そのスペクトル分布から、完全には光学干渉を排除できていないことが読み取れるが、ＣＩＥ色度に関しては、１発光ユニットからなる青色有機ＥＬ素子（図中黒線）と遜色ない青色発光色が得られた。

すなわち、第二バッファ層を導入した３発光ユニットの青色有機ＥＬ素子とすることにより、１発光ユニット青色有機ＥＬ素子を単純に３層積層してＭＰＥ化した、図中連続する黒三角印で示される発光スペクトルの光を発する青色有機ＥＬ素子の青緑発光に比べ、独立した単色発光素子としては使用可能なものとすることができた。

【 0 1 7 0 】

１発光ユニットを積層してＭＰＥ素子とする際の発光色の調整方法については、「発光界面から反射ミラーまでの光学距離に依存」し、大きく２通りある。複数の発光ユニットを有する有機ＥＬ素子において、「発光界面から反射ミラーまでの光学距離」の値を、前述した放出する光の可干渉距離 L_c 以上とすることにより、干渉の影響を排除して、発光色のＣＩＥ色度を１発光ユニットの有機ＥＬ素子の発光とほぼ同じとすることができる。また、上記「発光界面から反射ミラーまでの光学距離」の値を、 $2L_c$ 以上とすることにより、干渉の影響を完全に排除して、発光色のＣＩＥ色度のみならず、発光スペクトルの形状についても、１発光ユニットの有機ＥＬ素子の発光とほぼ同じとすることができる。

【 0 1 7 1 】

本実施形態では、素子を構成するいずれの有機層も屈折率は 450nm の波長の光に対して 1.8 であり、有機層／陰極あるいは第二バッファ層／陰極以外の界面において屈折率差が 0.6 より大きい界面は存在しない。発光部から反射ミラー兼電極（反射電極）までの光学距離は、第二バッファ層を有するＭＰＥ素子については、 5075nm であり、第二バッファ層を有さない単純に３層積層したＭＰＥ素子については、 75nm となる。青色発光ドーパントのＰＬスペクトルより、 L_c が 4218nm 、 $2L_c$ が 8436 と計算されるため、第二バッファ層を有するＭＰＥ素子は、上記条件の L_c 以上 $2L_c$ 未満の状態となる。つまり、この条件は、色度のみが発光材料発光と一致する条件であり、第二バッファ層を有するＭＰＥ素子のみが発光材料のＰＬと同一の色度となったものである。

【 0 1 7 2 】

以上の結果から、有機ＬＥＤ素子のＭＰＥ化において、積層する夫々の発光ユニットの膜厚を変化させることなく、１発光ユニット素子を単純に積層して第二バッファ層を挿入する構成のＭＰＥ素子においても、１発光ユニット素子と同様の発光色を得ることができることがわかる。

【 0 1 7 3 】

また、本実施形態における第二バッファ層／陰極が、厚膜透明陰極／反射ミラーという構成になった場合でも、同様の効果が期待できる。具体的には、 IZO （ 5000nm ）／ Al などである。つまり、第二バッファ層は、透明陰極より発光層側に設ける構成としてもよい。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 7 4 】

【図１】本発明に係わる実施形態の有機ＥＬ素子を示す概略断面図である。

【図２】発光体から放出される光波の減衰振動を示す波形図である。

【図３】 Alq_3 のフォトルミネッセント（ＰＬ）スペクトルを示すグラフである。

【図４】本発明に係わる他の実施形態の有機ＥＬ素子を示す概略断面図である。

【図５】青色発光ドーパントのＰＬスペクトルを示すグラフである。

【図６】比較例１～３のＰＬスペクトルを示すグラフである。

10

20

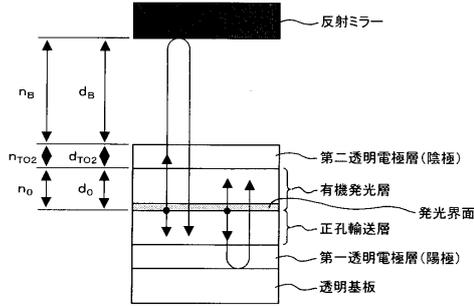
30

40

50

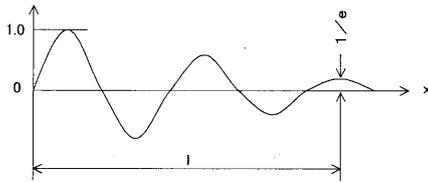
- 【図 7】実施例 1 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 8】実施例 4 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 9】実施例 6 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 10】実施例 9 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 11】実施例 1 の変調スペクトルを示すグラフである。
- 【図 12】実施例 1 ~ 9 及び比較例 2 の発光界面から反射ミラーまでの光学距離と変調の度合との関係を示すグラフである。
- 【図 13】実施例 1 ~ 9 及び比較例 1 ~ 4 の発光界面から反射ミラーまでの光学距離と発光光の色度座標 (x) との関係を示すグラフである。
- 【図 14】実施例 1 ~ 9 及び比較例 1 ~ 4 の発光界面から反射ミラーまでの光学距離と発光光の色度座標 (y) との関係を示すグラフである。
- 【図 15】緑色発光ドーパント及び赤色発光ドーパントの P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 16】実施例 10 及び比較例 4 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 17】実施例 11 及び実施例 12 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 18】比較例 5 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 19】実施例 13 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 20】一般的な有機 E L 素子の概略構造図である。
- 【図 21】同じく、一般的な有機 E L 素子の概略構造図である。
- 【図 22】黄色発光ドーパントの P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 23】実施例 14 及び比較例 4 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 24】実施例 14 ~ 17 及び比較例 4 の屈折率段差と出射光の色度座標との関係を示すグラフである。
- 【図 25】実施例 18 及び比較例 6 の P L スペクトルを示すグラフである。
- 【図 26】実施例 18 ~ 20 及び比較例 6 の屈折率段差と出射光の色度座標との関係を示すグラフである。
- 【図 27】本発明に係わる他の実施形態の有機 E L 素子を示す概略断面図である。
- 【図 28】3 種類の構成からなる有機 E L 素子の夫々の P L スペクトルを示すグラフである。

【図1】

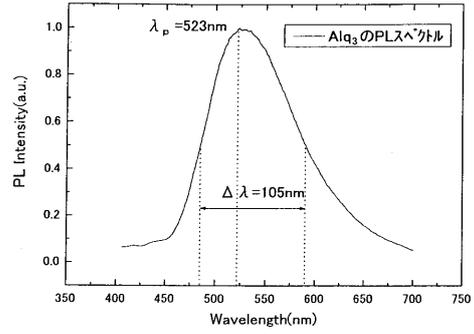


矢印 光線の進行ルート
 d_B 第二透明電極層と反射ミラー間の距離
 d_{TO2} 第二透明電極層の膜厚
 d_0 有機発光層の膜厚
 n_B 第二透明電極層と反射ミラー間の屈折率
 n_{TO2} 第二透明電極層の屈折率
 n_0 有機発光層の屈折率

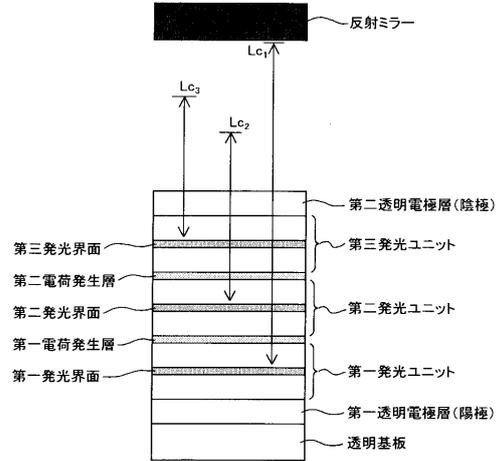
【図2】



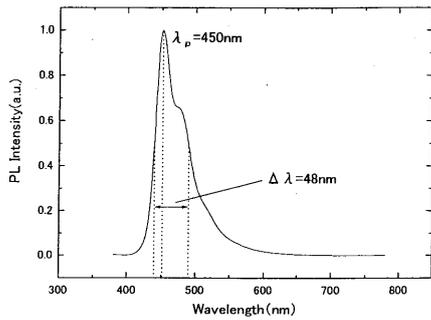
【図3】



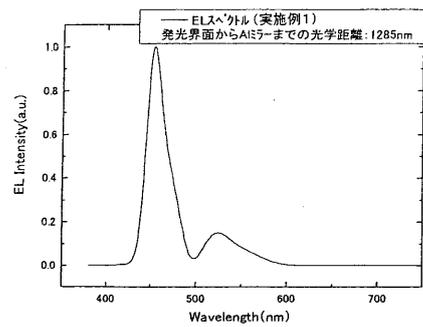
【図4】



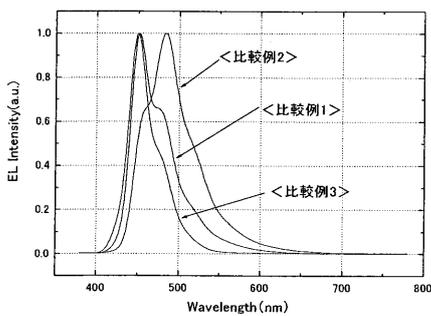
【図5】



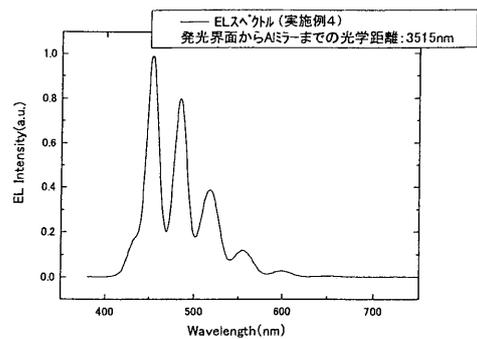
【図7】



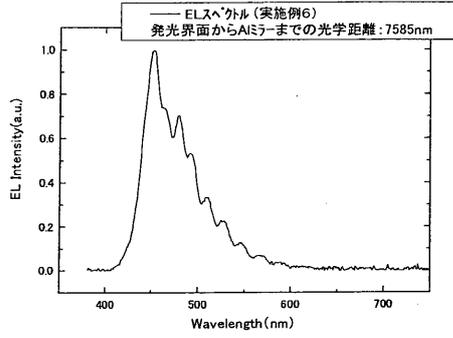
【図6】



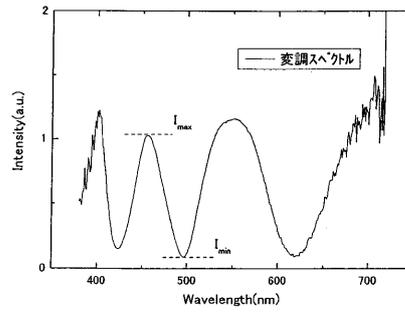
【図8】



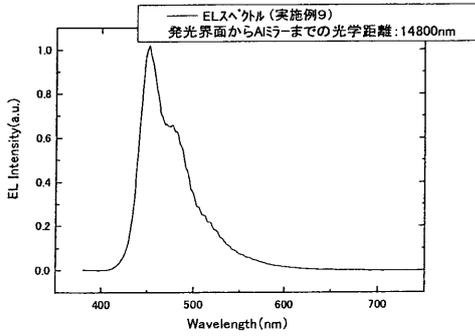
【図9】



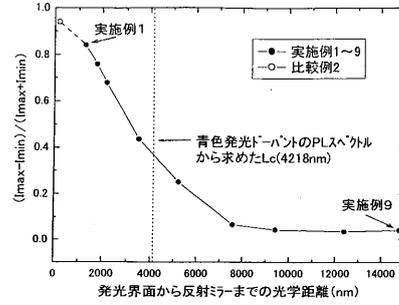
【図11】



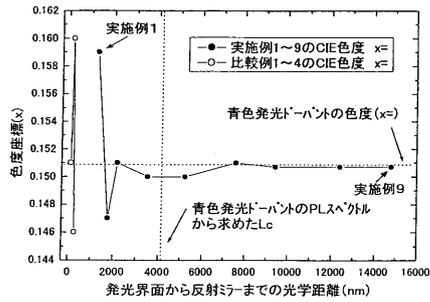
【図10】



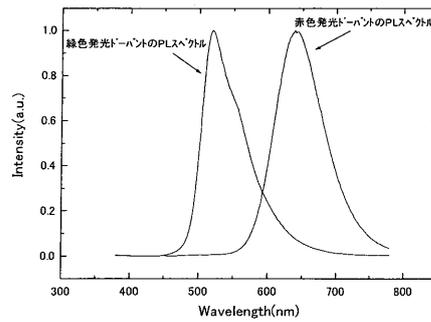
【図12】



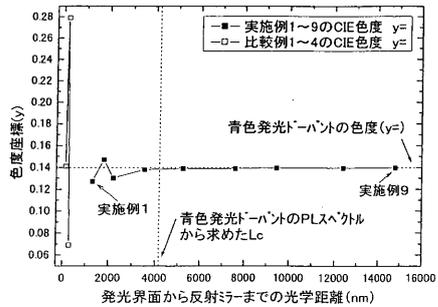
【図13】



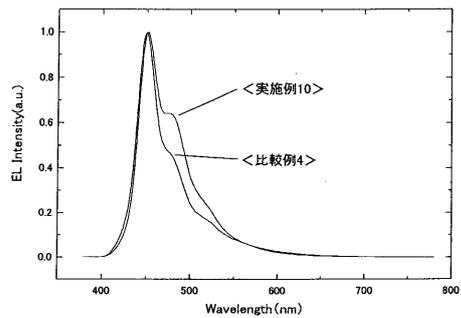
【図15】



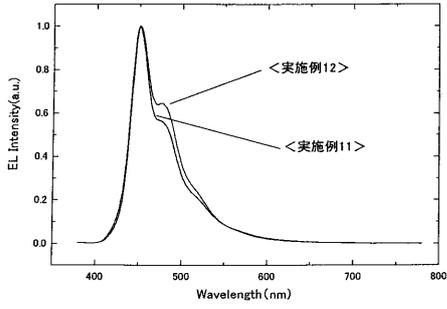
【図14】



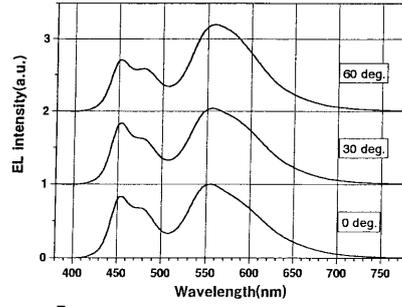
【図16】



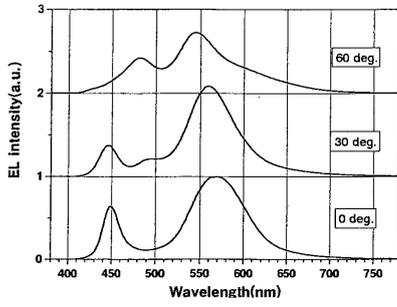
【図17】



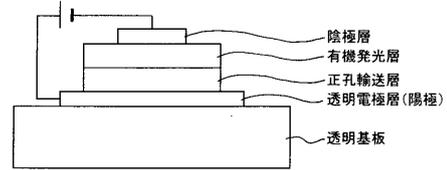
【図19】



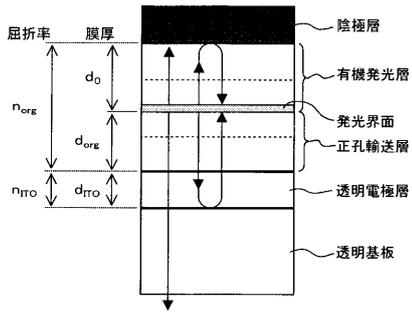
【図18】



【図20】

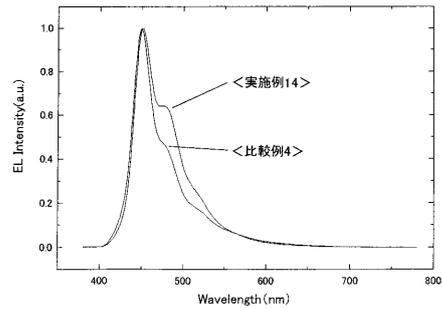


【図21】

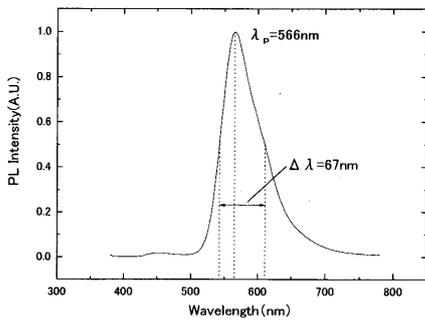


矢印 光線の進行ルート
 d_o 有機発光層の膜厚
 d_{org} 正孔輸送層の膜厚
 d_{ITO} 透明電極層の膜厚
 n_{org} 有機層の屈折率
 n_{ITO} 透明電極層の屈折率

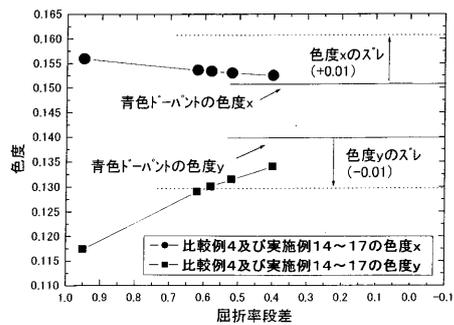
【図23】



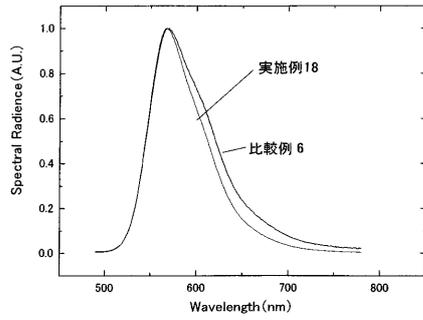
【図22】



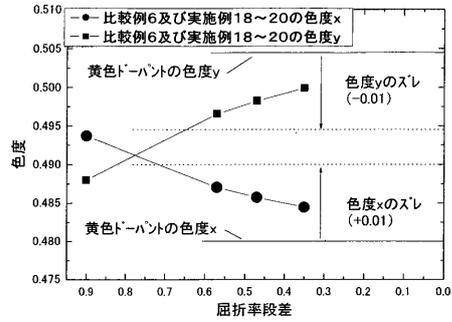
【図24】



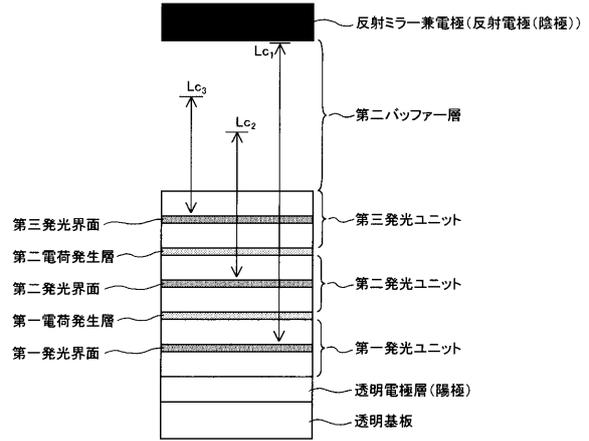
【図25】



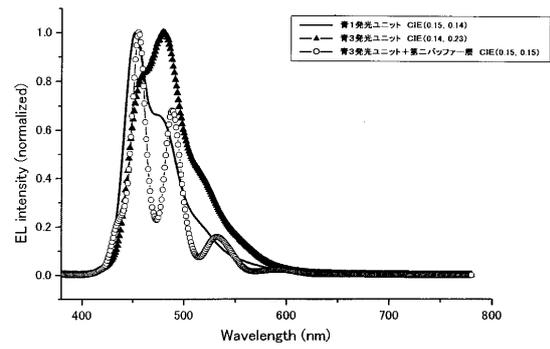
【図26】



【図27】



【図28】



フロントページの続き

(72)発明者 甚出 行俊
東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 スタンレー電気株式会社内

審査官 横川 美穂

(56)参考文献 特開2005-235668(JP,A)
特開2002-289358(JP,A)
特開2005-150043(JP,A)
特開2003-332067(JP,A)
特開2003-142277(JP,A)
特開2004-247137(JP,A)
特開2000-012235(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H05B 33/02
H01L 51/50
H05B 33/12
H05B 33/24
H05B 33/26