

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6411045号
(P6411045)

(45) 発行日 平成30年10月24日 (2018. 10. 24)

(24) 登録日 平成30年10月5日 (2018. 10. 5)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 51/50 (2006. 01)	H O 5 B 33/14 B
H O 5 B 33/12 (2006. 01)	H O 5 B 33/22 B
	H O 5 B 33/12 B

請求項の数 8 (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2014-61071 (P2014-61071)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成26年3月25日 (2014. 3. 25)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2014-209607 (P2014-209607A)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地
(43) 公開日	平成26年11月6日 (2014. 11. 6)	(72) 発明者	鈴木 恒徳
審査請求日	平成29年3月10日 (2017. 3. 10)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2013-65394 (P2013-65394)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成25年3月27日 (2013. 3. 27)	(72) 発明者	橋本 直明
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
			半導体エネルギー研究所内
		(72) 発明者	西條 絵里子
			神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
			半導体エネルギー研究所内
		(72) 発明者	瀬尾 哲史
			神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
			半導体エネルギー研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子、発光装置、電子機器、及び照明装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

陰極と陽極の間の発光層と、
 前記陰極と前記発光層との間の電子輸送層と、を有し、
 前記発光層は前記電子輸送層に接して設けられ、
 前記発光層は、第 1 の発光層と、第 2 の発光層と、第 3 の発光層と、を有し、
 前記第 1 の発光層、前記第 2 の発光層及び前記第 3 の発光層は、互いに重ならず、
 前記第 1 の発光層、前記第 2 の発光層及び前記第 3 の発光層は、それぞれ前記電子輸送層に接する領域を有し、
 前記第 1 の発光層は、第 1 の燐光性材料と、第 1 の電子輸送性材料と、を有し、
 前記第 2 の発光層は、第 2 の燐光性材料と、第 2 の電子輸送性材料と、を有し、
 前記第 3 の発光層は、蛍光性材料と、第 3 の電子輸送性材料と、を有し、
前記電子輸送層は、前記第 3 の電子輸送性材料を有し、
 前記電子輸送層が有する材料の三重項励起エネルギー準位は、前記第 1 の電子輸送性材料及び前記第 2 の電子輸送性材料の三重項励起エネルギー準位よりも低いことを特徴とする発光素子。

【請求項 2】

請求項 1 において、
 前記第 1 の発光層は、前記第 1 の燐光性材料と、前記第 1 の電子輸送性材料と、第 1 の正孔輸送性材料と、を有し、

前記第 1 の電子輸送性材料と、前記第 1 の正孔輸送性材料が励起錯体を形成することを特徴とする発光素子。

【請求項 3】

請求項 1 及び請求項 2 のいずれか一つにおいて、

前記第 2 の発光層は、前記第 2 の燐光性材料と、前記第 2 の電子輸送性材料と、第 2 の正孔輸送性材料と、有し、

前記第 2 の電子輸送性材料と、前記第 2 の正孔輸送性材料が励起錯体を形成することを特徴とする発光素子。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一つにおいて、

前記第 1 の燐光性材料及び前記第 2 の燐光性材料は、イリジウムを含む有機金属錯体である

ことを特徴とする発光素子。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一つにおいて、

前記第 1 の発光層は赤色を発光し、前記第 2 の発光層は緑色を発光し、前記第 3 の発光層は青色を発光する

ことを特徴とする発光素子。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一つに記載の発光素子を用いた発光装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の発光装置を用いた電子機器。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の発光装置を用いた照明装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の一態様は、電界を加えることにより発光が得られる発光層を一对の電極間に挟んでなる発光素子、また、このような発光素子を有する発光装置、電子機器、及び照明装置に関する。

【背景技術】

【0002】

薄型軽量、高速応答性、直流低電圧駆動などの特徴を有する有機化合物を発光層として用いた発光素子は、次世代のフラットパネルディスプレイへの応用が期待されている。特に、発光素子をマトリクス状に配置した表示装置は、従来の液晶表示装置と比較して、視野角が広く視認性が優れる点に優位性があると考えられている。

【0003】

発光素子の発光機構は、一对の電極間に発光体を含む発光層を挟んで電圧を印加することにより、陰極から注入された電子および陽極から注入された正孔が発光層の発光中心で再結合して分子励起子を形成し、その分子励起子が基底状態に緩和する際にエネルギーを放出して発光するといわれている。励起状態には一重項励起状態と三重項励起状態が知られ、発光はどちらの励起状態を経ても可能であると考えられており、一重項励起状態（ S^* ）からの発光が蛍光、三重項励起状態（ T^* ）からの発光が燐光と呼ばれている。

【0004】

このような発光素子に関しては、素子特性または生産性を向上させる為に、素子構造の改良や材料開発等が盛んに行われている。また、発光素子としては、有機 EL 素子の研究開発が精力的に行われており、フルカラー化への開発が活発化している。

【0005】

フルカラー化の手法の一つとして、例えば、発光層を画素ごとに塗り分ける手法がある。該発光層は、シャドウマスクを用いて必要な画素のみに蒸着される。この場合、工程を

10

20

30

40

50

減らしてコストを削減するために、発光層以外の層、例えば、正孔輸送層、電子輸送層、及び陰極を複数の画素で共通に形成する構成が開示されている（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2004-6362号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1に記載された構成の場合、正孔輸送層または電子輸送層は、複数の画素で共通して用いられるために、異なる色を表示する画素ごとで駆動電圧などの素子特性が異なる。また、このような構成の場合、異なる色を表示する画素で、正孔輸送層または電子輸送層が共通のため、画素ごとに最適な素子構成になっておらず、複数の画素の少なくともいずれか一つの画素において、素子特性の異常、例えば駆動電圧の上昇または信頼性の低下などが発生するといった課題がある。

10

【0008】

上述した課題に鑑み、本発明の一態様では、一对の電極間に複数の発光層を有する発光素子であって、該複数の発光層の各々において、駆動電圧が低く、且つ発光効率が高い発光素子を提供することを目的の一つとする。

【課題を解決するための手段】

20

【0009】

本発明の一態様は、陰極と陽極の間に第1の発光層乃至第3の発光層を具備する発光素子であって、第1の発光層は、第1の燐光性材料と、第1の電子輸送性材料と、を有し、第2の発光層は、第2の燐光性材料と、第2の電子輸送性材料と、を有し、第3の発光層は、蛍光性材料と、第3の電子輸送性材料と、を有し、第1の発光層乃至第3の発光層は、それぞれ陰極側に配置された電子輸送層に接して設けられ、電子輸送層を形成する材料の三重項励起エネルギー準位が、第1の電子輸送性材料及び第2の電子輸送性材料の三重項励起エネルギー準位よりも低いことを特徴とする発光素子である。

【0010】

このように電子輸送層が第1乃至第3の発光層に共通して接する構成とすることで、発光素子形成時の生産性を高めることができる。また、該電子輸送層は、第1の電子輸送性材料及び第2の電子輸送性材料の三重項励起エネルギー準位（T1準位）よりもT1準位が低い材料で形成されている。第1の電子輸送性材料及び第2の電子輸送性材料の電子輸送性が高いため、本発明の一態様の発光素子の発光領域は、発光層の正孔輸送層側に形成される。そのため、第1の発光層及び第2の発光層は、電子輸送層の低いT1準位に影響を受けず、駆動電圧が低く、且つ発光効率が高い素子構成となる。

30

【0011】

また、本発明の他の一態様は、陰極と陽極の間に第1の発光層乃至第3の発光層を具備する発光素子であって、第1の発光層は、第1の燐光性材料と、第1の電子輸送性材料とを有し、第2の発光層は、第2の燐光性材料と、第2の電子輸送性材料とを有し、第3の発光層は、蛍光性材料と、第3の電子輸送性材料とを有し、且つ第1の発光層及び第2の発光層の陰極側に接して設けられ、第3の電子輸送性材料の三重項励起エネルギー準位が、第1の電子輸送性材料及び第2の電子輸送性材料の三重項励起エネルギー準位よりも低いことを特徴とする発光素子である。

40

【0012】

このように第3の発光層が第1の発光層及び第2の発光層の陰極側に接して設けられることで、第3の発光層は、第1の発光層上及び第2の発光層上においては、電子輸送層として機能し、第3の発光層においては、発光層として機能する。なお、第3の発光層に含まれる蛍光性材料（ドーパント、またはゲスト材料ともいう）は、第1の電子輸送性材料及び第2の電子輸送性材料の電子輸送性が高いため、第1の発光層上及び第2の発光層上

50

では、発光に寄与しない。一方で、第3の発光層においては、蛍光性材料からの発光が得られる。すなわち、第3の発光層が電子輸送層と発光層の機能を同時に備えるため、第1の発光層上及び第2の発光層上においては、電子輸送層として共通に用いることが可能となり、第3の発光層においては発光層として用いることが可能となる。したがって、発光素子形成時の生産性を高めることができる。

【0013】

また、本発明の一態様は、発光素子を有する発光装置、発光装置を有する電子機器、及び照明装置も範疇に含めるものである。したがって、本明細書中における発光装置とは、画像表示デバイス、もしくは光源（照明装置含む）を指す。また、発光装置にコネクタ、例えばFPC（Flexible printed circuit）もしくはTCP（Tape Carrier Package）が取り付けられたモジュール、TCPの先にプリント配線板が設けられたモジュール、または発光素子にCOG（Chip On Glass）方式によりIC（集積回路）が直接実装されたモジュールも全て発光装置に含むものとする。

10

【発明の効果】

【0014】

本発明の一態様である発光素子は、一对の電極間に複数の発光層を有する発光素子であって、該複数の発光層の各々において、駆動電圧が低く、且つ発光効率が高い発光素子を提供することができる。また、該発光素子を形成する際の生産性を向上させることが実現できる。

20

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の一態様の発光素子を説明する図。

【図2】本発明の一態様の発光素子を説明する図。

【図3】本発明の一態様の発光素子を説明する図。

【図4】本発明の一態様の発光素子を用いた発光装置を説明する図。

【図5】本発明の一態様である発光素子及び発光装置を用いた電子機器を説明する図。

【図6】実施例の発光素子を説明する図。

【図7】発光素子1及び比較発光素子2の電流密度－輝度特性を示す図。

【図8】発光素子1及び比較発光素子2の電圧－輝度特性を示す図。

30

【図9】発光素子1及び比較発光素子2の輝度－電流効率特性を示す図。

【図10】発光素子1及び比較発光素子2の電圧－電流特性を示す図。

【図11】発光素子1及び比較発光素子2の発光スペクトルを示す図。

【図12】発光素子3及び比較発光素子4の電流密度－輝度特性を示す図。

【図13】発光素子3及び比較発光素子4の電圧－輝度特性を示す図。

【図14】発光素子3及び比較発光素子4の輝度－電流効率特性を示す図。

【図15】発光素子3及び比較発光素子4の電圧－電流特性を示す図。

【図16】発光素子3及び比較発光素子4の発光スペクトルを示す図。

【図17】発光素子5及び比較発光素子6の電流密度－輝度特性を示す図。

【図18】発光素子5及び比較発光素子6の電圧－輝度特性を示す図。

40

【図19】発光素子5及び比較発光素子6の輝度－電流効率特性を示す図。

【図20】発光素子5及び比較発光素子6の電圧－電流特性を示す図。

【図21】発光素子5及び比較発光素子6の発光スペクトルを示す図。

【図22】発光素子7及び発光素子8の電流密度－輝度特性を示す図。

【図23】発光素子7及び発光素子8の電圧－輝度特性を示す図。

【図24】発光素子7及び発光素子8の輝度－電流効率特性を示す図。

【図25】発光素子7及び発光素子8の電圧－電流特性を示す図。

【図26】発光素子7及び発光素子8の発光スペクトルを示す図。

【図27】発光素子1、3、7、8及び比較発光素子2、4の信頼性試験の結果を示す図。

。

50

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施の態様について図面を用いて詳細に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更し得ることが可能である。従って、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

【0017】

なお、図面等において示す各構成の、位置、大きさ、範囲などは、理解の簡単のため、実際の位置、大きさ、範囲などを表していない場合がある。このため、開示する発明は、必ずしも、図面等を開示された位置、大きさ、範囲などに限定されない。

10

【0018】

なお、本明細書等における「第1」、「第2」、「第3」などの序数詞は、構成要素の混同を避けるために付すものであり、数的に限定するものではないことを付記する。

【0019】

(実施の形態1)

本実施の形態では、本発明の一態様である発光素子を構成する上での概念および具体的な発光素子の構成について説明する。まず、本発明の一態様である発光素子について、図1(A)、(B)を用いて説明する。

【0020】

図1(A)に示す発光素子は、一对の電極(陽極101及び陰極103)間に発光層115を有し、発光層115は、第1の燐光性材料121aと第1の電子輸送性材料122aを含む第1の発光層115aと、第2の燐光性材料131aと第2の電子輸送性材料132aを含む第2の発光層115bと、蛍光性材料141aと第3の電子輸送性材料142aを含む第3の発光層115cと、を有する。

20

【0021】

また、第1の発光層115a、第2の発光層115b、第3の発光層115cのそれぞれは、陰極103側に配置された電子輸送層117と接して設けられる。

【0022】

また、第1の発光層115aは、第1の燐光性材料121aと、第1の電子輸送性材料122aと、さらに第1の正孔輸送性材料123aを含む構成としてもよい。また、第2の発光層115bは、第2の燐光性材料131aと、第2の電子輸送性材料132aと、さらに第2の正孔輸送性材料133aを含む構成としてもよい。

30

【0023】

第1の発光層115aにおいて、第1の電子輸送性材料122aは、ホスト材料として機能し、第1の燐光性材料121aは、ゲスト材料(ドーパントともいう)として機能する。また、第1の正孔輸送性材料123aは、アシスト材料として機能する。すなわち、ホスト材料として機能する第1の電子輸送性材料122aに第1の燐光性材料121a及び第1の正孔輸送性材料123aが分散された構成である。また、第2の発光層115bにおいて、第2の電子輸送性材料132aは、ホスト材料として機能し、第2の燐光性材料131aは、ゲスト材料として機能する。また、第2の正孔輸送性材料133aは、アシスト材料として機能する。すなわち、ホスト材料として機能する第2の電子輸送性材料132aに第2の燐光性材料131a及び第2の正孔輸送性材料133aが分散された構成である。また、第3の発光層115cにおいて、第3の電子輸送性材料142aは、ホスト材料として機能し、蛍光性材料141aは、ゲスト材料として機能する。すなわち、ホスト材料として機能する第3の電子輸送性材料142aに蛍光性材料141aが分散された構成である。

40

【0024】

例えば、第1の燐光性材料121aとしては、赤色の発光を示す燐光性材料を発光物質として用いることができる。また、第2の燐光性材料131aとしては、緑色の発光を示す燐光性材料を発光物質として用いることができる。また、蛍光性材料141aとしては

50

、青色の発光を示す蛍光性材料を発光物質として用いることができる。なお、本明細書中において、赤色の発光を示す燐光性材料の最大発光波長は、570nmより大きく740nm以下であり、緑色の発光を示す燐光性材料の最大発光波長は、500nmより大きく570nm以下であり、青色の発光を示す蛍光性材料の最大発光波長は、400nm以上500nm以下である。

【0025】

また、図1（A）において、一对の電極間には、発光層115及び電子輸送層117以外にも、正孔注入層111、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、第3の正孔輸送層113c、及び電子注入層119が形成されている。

【0026】

より具体的には、図1（A）に示す発光素子は、基板100上の陽極101と、陽極101上の正孔注入層111と、正孔注入層111上の第1の正孔輸送層113aと、正孔注入層111上の第2の正孔輸送層113bと、正孔注入層111上の第3の正孔輸送層113cと、第1の正孔輸送層113a上の第1の発光層115aと、第2の正孔輸送層113b上の第2の発光層115bと、第3の正孔輸送層113c上の第3の発光層115cと、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115c上の電子輸送層117と、電子輸送層117上の電子注入層119と、電子注入層119上の陰極103と、を有する。

【0027】

このように必要に応じて、一对の電極間に発光層115及び電子輸送層117以外の層、例えば、正孔注入性もしくは電子注入性の物質、正孔輸送性もしくは電子輸送性の物質、またはバイポーラ性の物質（電子輸送性及び正孔輸送性が高い物質）等を含む層を形成してもよい。ただし、これらは必ずしも必要ではない。

【0028】

また、図1（A）に示す発光素子においては、第1の正孔輸送層113aと、第2の正孔輸送層113bと、第3の正孔輸送層113cと、が各発光層（第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115c）に対して、それぞれ配置されている。ただし、この構成に限定されず、正孔輸送層は、各発光層に対して共通に形成してもよい。また、図1（A）に示す発光素子においては、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、及び第3の正孔輸送層113cの膜厚を調整することによって、各発光層から射出される光の光学距離を調整することができる。

【0029】

また、図1（A）に示す発光素子においては、発光層115（第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115c）は、電子輸送層117、電子注入層119及び陰極103が共通している。このように、電子輸送層117、電子注入層119及び陰極103を発光層115で共通して用いることによって、発光素子形成時の生産性を高めることができる。なお、図1（A）に示す発光素子形成時の塗り分け工程は、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b及び第3の正孔輸送層113cを正孔注入層111の上に形成し、第1の発光層115a、第2の発光層115b及び第3の発光層115cをそれぞれ第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b及び第3の正孔輸送層113cの上に形成する。また、各正孔輸送層と各発光層を連続して形成することで、塗り分け回数を低減することが可能である。例えば、第1の正孔輸送層113aと第1の発光層115aを連続して形成し、第2の正孔輸送層113bと第2の発光層115bを連続して形成し、第3の正孔輸送層113cと第3の発光層115cを連続して形成する。したがって、合計3回の塗り分けで、図1（A）に示す発光素子を形成することができる。

【0030】

また、図1（A）に示す発光素子は、第1の電子輸送性材料122a及び第2の電子輸送性材料132aの電子輸送性が非常に高い。したがって、第1の発光層115a及び第2の発光層115bの発光領域は、第1の正孔輸送層113a及び第2の正孔輸送層11

10

20

30

40

50

3 b 近傍の領域に形成される。そのため、第 1 の発光層 1 1 5 a 及び第 2 の発光層 1 1 5 b からの発光は、電子輸送層 1 1 7 の三重項励起エネルギー準位が第 1 の電子輸送性材料 1 2 2 a 及び第 2 の電子輸送性材料 1 3 2 a の三重項励起エネルギーよりも低いにもかかわらず、電子輸送層 1 1 7 の三重項励起エネルギー準位の影響を受けない、あるいは極めて影響を受けにくい。

【0031】

すなわち、本発明の一態様の発光素子では、第 1 の発光層 1 1 5 a、第 2 の発光層 1 1 5 b、及び第 3 の発光層 1 1 5 c において、共通の電子輸送層 1 1 7 を用いた場合においても、各発光層において、最適化された素子構成とすることができ、生産性が高く、且つ発光効率の高い発光素子を実現することができる。

10

【0032】

次に、図 1 (B) に示す発光素子について、以下説明を行う。

【0033】

図 1 (B) に示す発光素子は、一对の電極（陽極 1 0 1 及び陰極 1 0 3）間に発光層 1 1 5 を有し、発光層 1 1 5 は、第 1 の燐光性材料 1 2 1 a と第 1 の電子輸送性材料 1 2 2 a を含む第 1 の発光層 1 1 5 a と、第 2 の燐光性材料 1 3 1 a と第 2 の電子輸送性材料 1 3 2 a を含む第 2 の発光層 1 1 5 b と、第 1 の発光層 1 1 5 a 及び第 2 の発光層 1 1 5 b を覆い、且つ蛍光性材料 1 4 1 a と第 3 の電子輸送性材料 1 4 2 a を含む第 3 の発光層 1 1 5 c と、を有する。

20

【0034】

また、第 3 の発光層 1 1 5 c は、第 1 の発光層 1 1 5 a 及び第 2 の発光層 1 1 5 b の陰極 1 0 3 側に接して設けられている。

【0035】

また、第 1 の発光層 1 1 5 a は、第 1 の燐光性材料 1 2 1 a と、第 1 の電子輸送性材料 1 2 2 a と、さらに第 1 の正孔輸送性材料 1 2 3 a を含む構成としてもよい。また、第 2 の発光層 1 1 5 b は、第 2 の燐光性材料 1 3 1 a と、第 2 の電子輸送性材料 1 3 2 a と、さらに第 2 の正孔輸送性材料 1 3 3 a を含む構成としてもよい。

【0036】

また、図 1 (B) において、一对の電極間には、発光層 1 1 5 以外にも、正孔注入層 1 1 1、第 1 の正孔輸送層 1 1 3 a、第 2 の正孔輸送層 1 1 3 b、第 3 の正孔輸送層 1 1 3 c、及び電子注入層 1 1 9 が形成されている。ただし、これらは必要に応じて設ければよい。

30

【0037】

より具体的には、図 1 (B) に示す発光素子は、基板 1 0 0 上の陽極 1 0 1 と、陽極 1 0 1 上の正孔注入層 1 1 1 と、正孔注入層 1 1 1 上の第 1 の正孔輸送層 1 1 3 a と、正孔注入層 1 1 1 上の第 2 の正孔輸送層 1 1 3 b と、正孔注入層 1 1 1 上の第 3 の正孔輸送層 1 1 3 c と、第 1 の正孔輸送層 1 1 3 a 上の第 1 の発光層 1 1 5 a と、第 2 の正孔輸送層 1 1 3 b 上の第 2 の発光層 1 1 5 b と、第 1 の発光層 1 1 5 a、第 2 の発光層 1 1 5 b、及び第 3 の正孔輸送層 1 1 3 c 上の第 3 の発光層 1 1 5 c と、第 3 の発光層 1 1 5 c 上の電子注入層 1 1 9 と、電子注入層 1 1 9 上の陰極 1 0 3 と、を有する。

40

【0038】

図 1 (B) に示す発光素子においては、第 3 の発光層 1 1 5 c は、発光層と第 1 の発光層 1 1 5 a 及び第 2 の発光層 1 1 5 b の電子輸送層として機能する。

【0039】

なお、第 1 の電子輸送性材料 1 2 2 a、及び第 2 の電子輸送性材料 1 3 2 a の電子輸送性が高いため、第 3 の発光層 1 1 5 c に含まれる蛍光性材料 1 4 1 a は、第 1 の発光層 1 1 5 a 及び第 2 の発光層 1 1 5 b では、発光に寄与しない。一方で、第 3 の発光層 1 1 5 c においては、第 3 の発光層 1 1 5 c に含まれる蛍光性材料 1 4 1 a からの発光が得られる。

【0040】

50

すなわち、本発明の一態様の発光素子では、第3の発光層115cが電子輸送層と発光層の機能を同時に備えるため、第1の発光層115a上及び第2の発光層115b上においては、第3の発光層115cを電子輸送層として共通に用いることが可能となり、第3の正孔輸送層113c上においては、第3の発光層115cを発光層として用いることが可能となる。したがって、生産性が高く、且つ発光効率の高い発光素子を実現することができる。なお、図1(B)に示す発光素子形成時の塗り分け工程は、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b及び第3の正孔輸送層113cを正孔注入層111の上に形成し、第1の発光層115a、第2の発光層115bをそれぞれ第1の正孔輸送層113a及び第2の正孔輸送層113bの上に形成し、第3の発光層115cを第1の発光層115a、第2の発光層115b及び第3の正孔輸送層113cの上に形成する。また、各正孔輸送層と各発光層を連続して形成することで、塗り分け回数を低減することが可能である。例えば、第1の正孔輸送層113aと第1の発光層115aを連続して形成し、第2の正孔輸送層113bと第2の発光層115bを連続して形成し、第3の正孔輸送層113cを形成する。その後、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の正孔輸送層113c上に第3の発光層115cを形成する。したがって、合計3回の塗り分けで、図1(B)に示す発光素子を形成することができる。また、図1(B)に示す発光素子は、図1(A)に示す発光素子よりも電子輸送層117を形成する工程を省略することが可能となる。

10

【0041】

ここで、図1(A)、(B)に示す発光素子のその他の構成要素について、以下詳細に説明する。

20

【0042】

<基板>

基板100は、発光素子の支持体として用いられる。基板100としては、例えばガラス、石英、又はプラスチックなどを用いることができる。また可撓性基板を用いてもよい。可撓性基板とは、曲げることができる(フレキシブル)基板のことであり、例えば、ポリカーボネート、ポリアリレート、ポリエーテルスルフォンからなるプラスチック基板等が挙げられる。また、フィルム(ポリプロピレン、ポリエステル、ポリフッ化ビニル、ポリ塩化ビニル等からなる)、無機蒸着フィルムなどを用いることもできる。なお、発光素子の作製工程において支持体として機能するものであれば、これら以外のものでもよい。

30

【0043】

<陽極>

陽極101は、導電性を有する金属、合金、導電性化合物等を1種又は複数種用いて形成することができる。特に、仕事関数の大きい(4.0eV以上)材料を用いることが好ましい。例えば、インジウムスズ酸化物(ITO: Indium Tin Oxide)、珪素もしくは酸化珪素を含有したインジウムスズ酸化物、インジウム亜鉛酸化物、酸化タングステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウム、グラフェン、金、白金、ニッケル、タングステン、クロム、モリブデン、鉄、コバルト、銅、パラジウム、又は金属材料の窒化物(例えば、窒化チタン)等が挙げられる。または、銀、銅、アルミニウム、チタン等をナノワイヤ状(もしくは細線状)に形成し、その上に導電性物質(導電性有機材料やグラフェンなど)を、塗布法又は印刷法等によって形成することで陽極101を形成してもよい。

40

【0044】

<陰極>

陰極103は、導電性を有する金属、合金、導電性化合物などを1種又は複数種用いて形成することができる。特に、仕事関数が小さい(3.8eV以下)材料を用いることが好ましい。例えば、元素周期表の第1族又は第2族に属する元素(例えば、リチウム、セシウム等のアルカリ金属、カルシウム、ストロンチウム等のアルカリ土類金属、マグネシウム等)、これら元素を含む合金(例えば、Mg-Ag、Al-Li)、ユーロピウム、イッテルビウム等の希土類金属、これら希土類金属を含む合金、アルミニウム、銀等を用

50

いることができる。

【0045】

<正孔注入層及び正孔輸送層>

正孔注入層111、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、及び第3の正孔輸送層113cに用いる正孔輸送性の高い物質としては、例えば、4,4'-ビス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称:NPBまたは α -NPD)やN,N'-ビス(3-メチルフェニル)-N,N'-ジフェニル[1,1'-ビフェニル]-4,4'-ジアミン(略称:TPD)、4,4',4''-トリリス(カルバゾール-9-イル)トリフェニルアミン(略称:CTTA)、4,4',4''-トリリス(N,N'-ジフェニルアミノ)トリフェニルアミン(略称:TDATA)、4,4',4''-トリリス[N-(3-メチルフェニル)-N-フェニルアミノ]トリフェニルアミン(略称:MTDATA)、4,4'-ビス[N-(スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-イル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称:BSPB)などの芳香族アミン化合物、3-[N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称:PCzPCA1)、3,6-ビス[N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称:PCzPCA2)、3-[N-(1-ナフチル)-N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)アミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称:PCzPCN1)等が挙げられる。その他、4,4'-ジ(N-カルバゾリル)ビフェニル(略称:CBP)、1,3,5-トリリス[4-(N-カルバゾリル)フェニル]ベンゼン(略称:TCPB)、9-[4-(10-フェニル-9-アントラセニル)フェニル]-9H-カルバゾール(略称:CzPA)等のカルバゾール誘導体、等を用いることができる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質である。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、これら以外のものを用いてもよい。

【0046】

さらに、正孔注入層111、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、及び第3の正孔輸送層113cとして、ポリ(N-ビニルカルバゾール)(略称:PVK)、ポリ(4-ビニルトリフェニルアミン)(略称:PVTPA)、ポリ[N-(4-{N'-[4-(4-ジフェニルアミノ)フェニル]フェニル-N'-フェニルアミノ}フェニル)メタクリルアミド](略称:PTPDMA)ポリ[N,N'-ビス(4-ブチルフェニル)-N,N'-ビス(フェニル)ベンジジン](略称:Poly-TPD)などの高分子化合物を用いることもできる。

【0047】

また、正孔注入層111、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、及び第3の正孔輸送層113cに用いることができるアクセプター性物質としては、遷移金属酸化物を挙げることができる。該遷移金属酸化物としては、元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物が好ましい。具体的には、酸化モリブデンが特に好ましい。

【0048】

<第1の発光層>

第1の発光層115aは、第1の燐光性材料121a(ゲスト材料)、第1の電子輸送性材料122a(ホスト材料)、及び第1の正孔輸送性材料123a(アシスト材料)を有している。また、第1の発光層115aは、赤色の発光を示すと好ましい。

【0049】

なお、ホスト材料(または、アシスト材料)のT1準位は、ゲスト材料のT1準位よりも高いことが好ましい。ホスト材料のT1準位がゲスト材料のT1準位よりも低いと、発光に寄与するゲスト材料の三重項励起エネルギーをホスト材料が消光(クエンチ)してしまい、発光効率の低下を招くためである。

【0050】

また、第1の燐光性材料121a(ゲスト材料)、第1の電子輸送性材料122a(ホ

10

20

30

40

50

スト材料)、及び第1の正孔輸送性材料123a(アシスト材料)は、励起錯体を形成できる組み合わせであり、励起錯体の発光スペクトルが、第1の燐光性材料121a(ゲスト材料)の吸収スペクトルと重なり、励起錯体の発光スペクトルのピークが第1の燐光性材料121a(ゲスト材料)の吸収スペクトルのピークよりも長波長であると好ましい。

【0051】

ここで、ホスト材料からゲスト材料へのエネルギー移動効率を高めるため、分子間の移動機構として知られているフェルスター機構(双極子-双極子相互作用)及びデクスター機構(電子交換相互作用)を考慮した上で、ホスト材料の発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光スペクトル)とゲスト材料の吸収スペクトル(より詳細には、最も長波長(低エネルギー)側の吸収帯におけるスペクトル)との重なりが大きくなることが好ましい。

10

【0052】

しかしながら通常、ホスト材料の蛍光スペクトルを、ゲスト材料の最も長波長(低エネルギー)側の吸収帯における吸収スペクトルと重ねることは困難である。なぜならば、そのようにしてしまうと、ホスト材料の燐光スペクトルは蛍光スペクトルよりも長波長(低エネルギー)側に位置するため、ホスト材料のT1準位が燐光性化合物のT1準位を下回ってしまい、上述したクエンチの問題が生じてしまうからである。一方、クエンチの問題を回避するため、ホスト材料のT1準位が燐光性化合物のT1準位を上回るように設計すると、今度はホスト材料の蛍光スペクトルが短波長(高エネルギー)側にシフトするため、その蛍光スペクトルはゲスト材料の最も長波長(低エネルギー)側の吸収帯における吸収スペクトルと重ならなくなる。したがって、ホスト材料の蛍光スペクトルをゲスト材料の最も長波長(低エネルギー)側の吸収帯における吸収スペクトルと重ね、ホスト材料の一重項励起状態からのエネルギー移動を最大限に高めることは、通常困難である。

20

【0053】

そこで本発明の一態様の発光素子が有する、第1の発光層115aは、ゲスト材料である第1の燐光性材料121a(第1の物質とする)とホスト材料である第1の電子輸送性材料122a(第2の物質とする)の他に、第1の正孔輸送性材料123a(第3の物質とする)を含み、ホスト材料と第3の物質は励起錯体(エキサイプレックスともいう)を形成する組み合わせであることが好ましい。この場合、発光層におけるキャリア(電子及び正孔)の再結合の際にホスト材料と第3の物質は、励起錯体を形成する。

30

【0054】

これにより、発光層において、ホスト材料の蛍光スペクトル及び第3の物質の蛍光スペクトルは、より長波長側に位置する励起錯体の発光スペクトルに変換される。そして、励起錯体の発光スペクトルとゲスト材料の吸収スペクトルとの重なりが大きくなるように、ホスト材料と第3の物質を選択すれば、一重項励起状態からのエネルギー移動を最大限に高めることができる。なお、三重項励起状態に関しても、ホスト材料ではなく励起錯体からのエネルギー移動が生じると考えられる。このような構成を適用した本発明の一態様では、励起錯体の発光スペクトルと燐光性化合物の吸収スペクトルとの重なりを利用したエネルギー移動により、エネルギー移動効率を高めることができるため、外部量子効率の高い発光素子を実現することができる。

40

【0055】

また、第1の電子輸送性材料122a(ホスト材料)と第1の正孔輸送性材料123a(アシスト材料)を用いる場合、その混合比によってキャリアバランスを制御することができる。具体的には、第1の電子輸送性材料122a:第1の正孔輸送性材料123a=1:9~9:1(重量比)の範囲とするのが好ましい。

【0056】

また、励起錯体同士のエネルギー移動(励起子拡散)は起こりにくいため、上述のように励起錯体を利用することで、電子輸送層117への励起子拡散を防ぐことができる。

【0057】

50

第1の発光層115aに用いることのできる第1の燐光性材料121aとしては、例えば600nm〜700nmに発光のピークを有する燐光性材料が挙げられる。該燐光性材料としては、例えば、(ジイソブチリルメタナト)ビス[4,6-ビス(3-メチルフェニル)ピリミジナト]イリジウム(III)(略称:[Ir(5mdppm)₂(dibm)])、ビス[4,6-ビス(3-メチルフェニル)ピリミジナト](ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)(略称:[Ir(5mdppm)₂(dpm)])、ビス[4,6-ジ(ナフタレン-1-イル)ピリミジナト](ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)(略称:[Ir(dlnpm)₂(dpm)])のようなピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、(アセチルアセトナト)ビス(2,3,5-トリフェニルピラジナト)イリジウム(III)(略称:[Ir(tppr)₂(acac)])、ビス(2,3,5-トリフェニルピラジナト)(ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)(略称:[Ir(tppr)₂(dpm)])、(アセチルアセトナト)ビス[2,3-ビス(4-フルオロフェニル)キノキサリナト]イリジウム(III)(略称:[Ir(Fdpq)₂(acac)])のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス(1-フェニルイソキノリナト-N, C^{2'})イリジウム(III)(略称:[Ir(piq)₃])、ビス(1-フェニルイソキノリナト-N, C^{2'})イリジウム(III)アセチルアセトナト(略称:[Ir(piq)₂(acac)])のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体が挙げられる。上述した中でも、ピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率にも際だって優れるため、特に好ましい。また、ピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、色度の良い赤色発光が得られる。

【0058】

第1の発光層115aに用いることのできる第1の電子輸送性材料122aとしては、含窒素複素芳香族化合物のようなπ電子不足型複素芳香族化合物が好ましく、例えば、2-(4-ビフェニル)-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(略称:PBD)、3-(4-ビフェニル)-4-フェニル-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,2,4-トリアゾール(略称:TAZ)、1,3-ビス[5-(p-tert-ブチルフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール-2-イル]ベンゼン(略称:OXD-7)、9-[4-(5-フェニル-1,3,4-オキサジアゾール-2-イル)フェニル]-9H-カルバゾール(略称:COL1)、2,2',2'-((1,3,5-ベンゼントリイル)トリス(1-フェニル-1H-ベンゾイミダゾール)(略称:TPBI)、2-[3-(ジベンゾチオフエン-4-イル)フェニル]-1-フェニル-1H-ベンゾイミダゾール(略称:mDBTBI-m-II)などのポリアゾール骨格を有する複素環化合物(オキサジアゾール誘導体、イミダゾール誘導体、トリアゾール誘導体等)や、2-[3-(ジベンゾチオフエン-4-イル)フェニル]ジベンゾ[f,h]キノキサリン(略称:2mDBTPDBq-II)、2-[3'-(ジベンゾチオフエン-4-イル)ピフェニル-3-イル]ジベンゾ[f,h]キノキサリン(略称:2mDBTPDBq-II)、2-[3'-(9H-カルバゾール-9-イル)ピフェニル-3-イル]ジベンゾ[f,h]キノキサリン(略称:2mCzBPDBq)、4,6-ビス[3-(フェナントレン-9-イル)フェニル]ピリミジン(略称:4,6mPnP2Pm)、4,6-ビス[3-(4-ジベンゾチフェニル)フェニル]ピリミジン(略称:4,6mDBTP2Pm-II)などのジアジン骨格を有する複素環化合物(ピラジン誘導体、ピリミジン誘導体、ピリダジン誘導体、キノキサリン誘導体、ジベンゾキノキサリン誘導体等)や、3,5-ビス(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]ピリジン(略称:3,5DCzPPy)、1,3,5-トリ[(3-ピリジル)-フェン-3-イル]ベンゼン(略称:TmPyPB)などのピリジン骨格を有する複素環化合物(ピリジン誘導体、キノリン誘導体、ジベンゾキノリン誘導体等)が挙げられる。上述した中でも、ジアジン骨格を有する複素環化合物やピリジン骨格を有する複素環化合物は、信頼性が良好であり好ましい。特に、ジアジン(ピリミジンやピラジン)骨格を有する複素環化合物は、電子輸送性が高く、駆動電圧低減にも寄与する。

10

20

30

40

50

【0059】

また、第1の発光層115aに用いることのできる第1の正孔輸送性材料123aとしては、 π 電子過剰型複素芳香族化合物（例えばカルバゾール誘導体やインドール誘導体）や芳香族アミン化合物が好ましく、例えば、4, 4'-ビス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル（略称：NPB）、N, N'-ビス(3-メチルフェニル)-N, N'-ジフェニル-[1, 1'-ビフェニル]-4, 4'-ジアミン（略称：TPD）、4, 4'-ビス[N-(スピロ-9, 9'-ビフルオレン-2-イル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル（略称：BSPB）、4-フェニル-4'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン（略称：BPAPLP）、4-フェニル-3'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン（略称：mBPAPLP）、4-フェニル-4'-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン（略称：PCBA1BP）、4, 4'-ジフェニル-4''-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン（略称：PCBBi1BP）、4-(1-ナフチル)-4'-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン（略称：PCBANB）、4, 4'-ジ(1-ナフチル)-4''-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン（略称：PCBNBB）、9, 9-ジメチル-N-フェニル-N-[4-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)フェニル]-フルオレン-2-アミン（略称：PCBAF）、N-フェニル-N-[4-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)フェニル]-スピロ-9, 9'-ビフルオレン-2-アミン（略称：PCBASF）などの芳香族アミン骨格を有する化合物や、1, 3-ビス(N-カルバゾリル)ベンゼン（略称：mCP）、4, 4'-ジ(N-カルバゾリル)ビフェニル（略称：CBP）、3, 6-ビス(3, 5-ジフェニルフェニル)-9-フェニル-カルバゾール（略称：CzTP）、3, 3'-ビス(9-フェニル-9H-カルバゾール)（略称：PCCP）などのカルバゾール骨格を有する化合物や、4, 4', 4''-(ベンゼン-1, 3, 5-トリイル)トリ(ジベンゾチオフエン)（略称：DBT3P-II）、2, 8-ジフェニル-4-[4-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]ジベンゾチオフエン（略称：DBTFLP-II）、4-[4-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]-6-フェニルジベンゾチオフエン（略称：DBTFLP-IV）などのチオフエン骨格を有する化合物や、4, 4', 4''-(ベンゼン-1, 3, 5-トリイル)トリ(ジベンゾフラン)（略称：DBF3P-II）、4-{3-[3-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]フェニル}ジベンゾフラン（略称：mmDBFFLBi-II）などのフラン骨格を有する化合物が挙げられる。上述した中でも、芳香族アミン骨格を有する化合物やカルバゾール骨格を有する化合物は、信頼性が良好であり、また、正孔輸送性が高く、駆動電圧低減にも寄与するため好ましい。

【0060】

<第2の発光層>

第2の発光層115bは、第2の燐光性材料131a（ゲスト材料）、第2の電子輸送性材料132a（ホスト材料）、及び第2の正孔輸送性材料133a（アシスト材料）を有している。また、第2の発光層115bは、緑色の発光を示すと好ましい。

【0061】

また、第2の燐光性材料131a（ゲスト材料）、第2の電子輸送性材料132a（ホスト材料）、及び第2の正孔輸送性材料133a（アシスト材料）は、励起錯体を形成できる組み合わせであり、励起錯体の発光スペクトルが、第2の燐光性材料131a（ゲスト材料）の吸収スペクトルと重なり、励起錯体の発光スペクトルのピークが第2の燐光性材料131a（ゲスト材料）の吸収スペクトルのピークよりも長波長であると好ましい。なお、励起錯体の構成については、第1の発光層115aと同様の構成を第2の発光層115bにも適用することができる。

【0062】

また、第2の電子輸送性材料132a（ホスト材料）と第2の正孔輸送性材料133a

(アシスト材料)を用いる場合、その混合比によってキャリアバランスを制御することができる。具体的には、第2の電子輸送性材料132a：第2の正孔輸送性材料133a＝1：9～9：1（重量比）の範囲とするのが好ましい。

【0063】

また、励起錯体同士のエネルギー移動（励起子拡散）は起こりにくいため、上述のように励起錯体を利用することで、電子輸送層117への励起子拡散を防ぐことができる。

【0064】

第2の発光層115bに用いることのできる第2の燐光性材料131aとしては、例えば520nm～600nmに発光のピークを有する燐光性材料が挙げられる。該燐光性材料としては、例えば、トリス（4-メチル-6-フェニルピリミジナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{mppm})_3]$ ）、トリス（4-tert-ブチル-6-フェニルピリミジナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_3]$ ）、（アセチルアセトナト）ビス（6-メチル-4-フェニルピリミジナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ ）、（アセチルアセトナト）ビス（6-tert-ブチル-4-フェニルピリミジナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ ）、（アセチルアセトナト）ビス[4-（2-ノルボルニル）-6-フェニルピリミジナト]イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（endo-，exo-混合物）（略称： $\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})$ ）、（アセチルアセトナト）ビス[5-メチル-6-（2-メチルフェニル）-4-フェニルピリミジナト]イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{mpmppm})_2(\text{acac})]$ ）、（アセチルアセトナト）ビス（4，6-ジフェニルピリミジナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ ）のようなピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、（アセチルアセトナト）ビス（3，5-ジメチル-2-フェニルピラジナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{acac})]$ ）、（アセチルアセトナト）ビス（5-イソプロピル-3-メチル-2-フェニルピラジナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{mppr-iPr})_2(\text{acac})]$ ）のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス（2-フェニルピリジナト-N， $\text{C}^{2'}$ ）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{ppy})_3]$ ）、ビス（2-フェニルピリジナト-N， $\text{C}^{2'}$ ）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）アセチルアセトナト（略称： $[\text{Ir}(\text{ppy})_2(\text{acac})]$ ）、ビス（ベンゾ[h]キノリナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）アセチルアセトナト（略称： $[\text{Ir}(\text{bzq})_2(\text{acac})]$ ）、トリス（ベンゾ[h]キノリナト）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{bzq})_3]$ ）、トリス（2-フェニルキノリナト-N， $\text{C}^{2'}$ ）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）（略称： $[\text{Ir}(\text{pq})_3]$ ）、ビス（2-フェニルキノリナト-N， $\text{C}^{2'}$ ）イリジウム（ $\text{Ir}(\text{I})$ ）アセチルアセトナト（略称： $[\text{Ir}(\text{pq})_2(\text{acac})]$ ）のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体が挙げられる。上述した中でも、ピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率にも際だって優れるため、特に好ましい。

【0065】

第2の発光層115bに用いることのできる第2の電子輸送性材料132aとしては、第1の電子輸送性材料122aに示す材料と同様の材料を用いることができる。また、第2の発光層115bに用いることのできる第2の正孔輸送性材料133aとしては、第1の正孔輸送性材料123aに示す材料と同様の材料を用いることができる。

【0066】

<第3の発光層>

第3の発光層115cは、蛍光性材料141a（ゲスト材料）、及び第3の電子輸送性材料142a（ホスト材料）を有している。また、第3の発光層115cは、青色の発光を示すと好ましい。

【0067】

第3の発光層115cに用いることのできる蛍光性材料141aとしては、N，N'-ビス[4-（9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル）フェニル]-N，N'-ジフ

10

20

30

40

50

エニル-ピレン-1, 6-ジアミン (略称: 1, 6 FL P A P r n)、N, N'-ビス (3-メチルフェニル)-N, N'-ビス [3-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]-ピレン-1, 6-ジアミン (略称: 1, 6 m M e m F L P A P r n)、N, N'-ビス [4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N, N'-ジフェニルスチルベン-4, 4'-ジアミン (略称: Y G A 2 S)、4-(9H-カルバゾール-9-イル)-4'-(10-フェニル-9-アントリル)トリフェニルアミン (略称: Y G A P A)、4-(9H-カルバゾール-9-イル)-4'-(9, 10-ジフェニル-2-アントリル)トリフェニルアミン (略称: 2 Y G A P P A)、N, 9-ジフェニル-N-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール-3-アミン (略称: P C A P A)、ペリレン、2, 5, 8, 11-テトラ-*t e r t*-ブチルペリレン (略称: T B P)、4-(10-フェニル-9-アントリル)-4'-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン (略称: P C B A P A) などが挙げられる。特に、ピレン骨格を有する蛍光性化合物は正孔トラップ性が高く、発光効率や信頼性に優れているため好ましい。また、1, 6 FL P A P r n や 1, 6 m M e m F L P A P r n のようなピレンジアミン化合物に代表される縮合芳香族ジアミン化合物は、正孔トラップ性が高く、発光効率や信頼性に優れているため好ましい。

【0068】

第3の発光層115cに用いることのできる第3の電子輸送性材料142aとしては、例えば、アントラセン骨格を含む有機化合物が好ましい。該アントラセン骨格を含む有機化合物としては、例えば、9-[4-(10-フェニル-9-アントラセニル)フェニル]-9H-カルバゾール (略称: C z P A)、9-フェニル-3-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール (略称: P C z P A)、3, 6-ジフェニル-9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール (略称: D P C z P A)、9, 10-ビス (3, 5-ジフェニルフェニル) アントラセン (略称: D P P A)、9, 10-ジ (2-ナフチル) アントラセン (略称: D N A)、2-*t e r t*-ブチル-9, 10-ジ (2-ナフチル) アントラセン (略称: *t*-B u D N A) など電子輸送性である一方で正孔を受け取りやすい化合物を好適に用いることができる。本発明の一態様の発光素子において、第3の電子輸送性材料142aは、アントラセン骨格を有すると、電子輸送性を有するだけでなく正孔も受け取りやすいため好ましい。

【0069】

<電子輸送層>

電子輸送層117は、電子輸送性の高い物質を含む層である。また、電子輸送層117を形成する材料の三重項励起エネルギー準位が、第1の発光層115a及び第2の発光層115bに用いる第1の電子輸送性材料122a及び第2の電子輸送性材料132aの三重項励起エネルギー準位よりも低い材料である。このような材料としては、第3の発光層115cに用いることのできる第3の電子輸送性材料142aと同様の材料を用いることができる。

【0070】

<電子注入層>

電子注入層119は、電子注入性の高い物質を含む層である。電子注入層119には、フッ化リチウム (L i F)、フッ化セシウム (C s F)、フッ化カルシウム (C a F₂)、リチウム酸化物 (L i O x) 等のようなアルカリ金属またはアルカリ土類金属の化合物を用いることができる。また、フッ化エルビウム (E r F₃) のような希土類金属化合物を用いることができる。

【0071】

あるいは、電子注入層119に、有機化合物と電子供与体 (ドナー) とを混合してなる複合材料を用いてもよい。このような複合材料は、電子供与体によって有機化合物に電子が発生するため、電子注入性および電子輸送性に優れている。この場合、有機化合物としては、発生した電子の輸送に優れた材料であることが好ましく、電子供与体としては、有

10

20

30

40

50

機化合物に対し電子供与性を示す物質であればよい。具体的には、アルカリ金属やアルカリ土類金属や希土類金属が好ましく、リチウム、セシウム、マグネシウム、カルシウム、エルビウム、イッテルビウム等が挙げられる。また、アルカリ金属酸化物やアルカリ土類金属酸化物が好ましく、リチウム酸化物、カルシウム酸化物、バリウム酸化物等が挙げられる。また、酸化マグネシウムのようなルイス塩基を用いることもできる。また、テトラシアフルバレン（略称：TTF）等の有機化合物を用いることもできる。

【0072】

なお、上述した正孔注入層111、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、第3の正孔輸送層113c、第1の発光層115a、第2の発光層115b、第3の発光層115c、電子輸送層117、及び電子注入層119は、それぞれ、蒸着法（真空蒸着法を含む）、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。

10

【0073】

また、上述した発光素子の第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115cで得られた発光は、陽極101及び陰極103のいずれか一方または両方を通して外部に取り出される。したがって、本実施の形態における陽極101及び陰極103のいずれか一方、または両方が透光性を有する電極となる。

【0074】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態または実施例に示す構成と適宜組み合わせることができる。

【0075】

20

（実施の形態2）

本実施の形態においては、図1に示す本発明の一態様の発光素子の変形例について、図2及び図3を用いて説明を行う。なお、先の実施の形態に示す同様の箇所、または同様の機能を有する部分については、同様の符号を付し、その詳細の説明は省略する。

【0076】

図2（A）に示す発光素子は、一对の電極（陽極101及び陰極103）間に発光層115を有し、発光層115は、第1の燐光性材料121aと第1の電子輸送性材料122aを含む第1の発光層115aと、第2の燐光性材料131aと第2の電子輸送性材料132aを含む第2の発光層115bと、蛍光性材料141aと第3の電子輸送性材料142aを含む第3の発光層115cと、を有する。

30

【0077】

また、第1の発光層115a、第2の発光層115b、第3の発光層115cのそれぞれは、陰極103側に配置された電子輸送層117と接して設けられる。

【0078】

また、第1の発光層115aは、第1の燐光性材料121aと、第1の電子輸送性材料122aと、さらに第1の正孔輸送性材料123aを含む構成としてもよい。また、第2の発光層115bは、第2の燐光性材料131aと、第2の電子輸送性材料132aと、さらに第2の正孔輸送性材料133aを含む構成としてもよい。

【0079】

また、図2（A）において、一对の電極間には、発光層115及び電子輸送層117以外にも、正孔注入層111、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、第4の正孔輸送層113d、及び電子注入層119が形成されている。

40

【0080】

より具体的には、図2（A）に示す発光素子は、基板100上の陽極101と、陽極101上の正孔注入層111と、正孔注入層111上の第4の正孔輸送層113dと、第4の正孔輸送層113d上の第1の正孔輸送層113aと、第4の正孔輸送層113d上の第2の正孔輸送層113bと、第1の正孔輸送層113a上の第1の発光層115aと、第2の正孔輸送層113b上の第2の発光層115bと、第4の正孔輸送層113d上の第3の発光層115cと、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115c上の電子輸送層117と、電子輸送層117上の電子注入層119と、電子

50

注入層 119 上の陰極 103 と、を有する。

【0081】

次に、図 2 (B) に示す発光素子について、以下説明を行う。

【0082】

図 2 (B) に示す発光素子は、一对の電極（陽極 101 及び陰極 103）間に発光層 115 を有し、発光層 115 は、第 1 の燐光性材料 121 a と第 1 の電子輸送性材料 122 a を含む第 1 の発光層 115 a と、第 2 の燐光性材料 131 a と第 2 の電子輸送性材料 132 a を含む第 2 の発光層 115 b と、第 1 の発光層 115 a 及び第 2 の発光層 115 b を覆い、且つ蛍光性材料 141 a と第 3 の電子輸送性材料 142 a を含む第 3 の発光層 115 c と、を有する。

10

【0083】

また、第 3 の発光層 115 c は、第 1 の発光層 115 a 及び第 2 の発光層 115 b の陰極 103 側に接して設けられている。

【0084】

また、第 1 の発光層 115 a は、第 1 の燐光性材料 121 a と、第 1 の電子輸送性材料 122 a と、さらに第 1 の正孔輸送性材料 123 a を含む構成としてもよい。また、第 2 の発光層 115 b は、第 2 の燐光性材料 131 a と、第 2 の電子輸送性材料 132 a と、さらに第 2 の正孔輸送性材料 133 a を含む構成としてもよい。

【0085】

また、図 2 (B) において、一对の電極間には、発光層 115 以外にも、正孔注入層 111、第 1 の正孔輸送層 113 a、第 2 の正孔輸送層 113 b、第 4 の正孔輸送層 113 d、及び電子注入層 119 が形成されている。

20

【0086】

より具体的には、図 2 (B) に示す発光素子は、基板 100 上の陽極 101 と、陽極 101 上の正孔注入層 111 と、正孔注入層 111 上の第 4 の正孔輸送層 113 d と、第 4 の正孔輸送層 113 d 上の第 1 の正孔輸送層 113 a と、第 4 の正孔輸送層 113 d 上の第 2 の正孔輸送層 113 b と、第 1 の正孔輸送層 113 a 上の第 1 の発光層 115 a と、第 2 の正孔輸送層 113 b 上の第 2 の発光層 115 b と、第 1 の発光層 115 a、第 2 の発光層 115 b、及び第 4 の正孔輸送層 113 d 上の第 3 の発光層 115 c と、第 3 の発光層 115 c 上の電子注入層 119 と、電子注入層 119 上の陰極 103 と、を有する。

30

【0087】

図 2 (A)、(B) に示す発光素子は、図 1 (A)、(B) に示す発光素子と異なる点として、正孔注入層 111 上に第 4 の正孔輸送層 113 d が設けられている。また、第 3 の発光層 115 c には、第 3 の正孔輸送層 113 c が設けられていない。すなわち、第 3 の発光層 115 c は、第 4 の正孔輸送層 113 d と接して設けられている。また、第 4 の正孔輸送層 113 d に用いることのできる材料は、第 3 の正孔輸送層 113 c と同様の材料を用いることができる。

【0088】

第 4 の正孔輸送層 113 d は、第 1 の発光層 115 a、第 2 の発光層 115 b、及び第 3 の発光層 115 c に対して共通して用いることができる。従って、図 2 (A)、(B) に示す発光素子は、図 1 (A)、(B) に示す本発明の一態様の発光素子の優れた効果に加え、さらに発光素子形成時の生産性を高めることができる。なお、図 2 (A) に示す発光素子形成時の塗り分け工程は、第 1 の正孔輸送層 113 a、第 2 の正孔輸送層 113 b、第 1 の発光層 115 a、第 2 の発光層 115 b、及び第 3 の発光層 115 c となる。また、各正孔輸送層と各発光層を連続して形成することで、塗り分け回数を低減することが可能である。例えば、第 1 の正孔輸送層 113 a と第 1 の発光層 115 a を連続して形成し、第 2 の正孔輸送層 113 b と第 2 の発光層 115 b を連続し、第 3 の発光層 115 c を形成する。したがって、合計 3 回の塗り分けで、図 2 (A) に示す発光素子を形成することができる。また、図 2 (B) に示す発光素子形成時の塗り分け工程は、第 1 の正孔輸送層 113 a、第 2 の正孔輸送層 113 b、第 1 の発光層 115 a、及び第 2 の発光層 1

40

50

15bとなる。また、各正孔輸送層と各発光層を連続して形成することで、塗り分け回数を低減することが可能である。例えば、第1の正孔輸送層113aと第1の発光層115aを連続して形成し、第2の正孔輸送層113bと第2の発光層115bを連続して形成する。したがって、合計2回の塗り分けで、図2(B)に示す発光素子を形成することができる。

【0089】

また、図2(A)、(B)に示す発光素子においては、第1の発光層115a、及び第2の発光層115bは、それぞれ独立して第1の正孔輸送層113a、及び第2の正孔輸送層113bと接して形成されている。したがって、各発光層で最適な素子構成とすることができ、各発光層の各々において、発光効率の高い発光素子を実現することができる。

10

【0090】

また、図2(A)、(B)に示す発光素子においては、第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、及び第4の正孔輸送層113dの膜厚を調整することによって、各発光層における光学距離を調整することができる。

【0091】

次に、図3(A)に示す発光素子について、以下説明を行う。

【0092】

図3(A)に示す発光素子は、一对の電極(陽極101及び陰極103)間に発光層115を有し、発光層115は、第1の燐光性材料121aと第1の電子輸送性材料122aを含む第1の発光層115aと、第2の燐光性材料131aと第2の電子輸送性材料132aを含む第2の発光層115bと、蛍光性材料141aと第3の電子輸送性材料142aを含む第3の発光層115cと、を有する。

20

【0093】

また、第1の発光層115a、第2の発光層115b、第3の発光層115cのそれぞれは、陰極103側に配置された電子輸送層117と接して設けられる。

【0094】

また、第1の発光層115aは、第1の燐光性材料121aと、第1の電子輸送性材料122aと、さらに第1の正孔輸送性材料123aを含む構成としてもよい。また、第2の発光層115bは、第2の燐光性材料131aと、第2の電子輸送性材料132aと、さらに第2の正孔輸送性材料133aを含む構成としてもよい。

30

【0095】

また、図3(A)において、一对の電極間には、発光層115以外にも、正孔注入層111、正孔輸送層113、及び電子注入層119が形成されている。

【0096】

より具体的には、図3(A)に示す発光素子は、基板100上の陽極101と、陽極101上の正孔注入層111と、正孔注入層111上の正孔輸送層113と、正孔輸送層113上の第1の発光層115aと、正孔輸送層113上の第2の発光層115bと、正孔輸送層113上の第3の発光層115cと、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115c上の電子注入層119と、電子注入層119上の陰極103と、を有する。

40

【0097】

次に、図3(B)に示す発光素子について、以下説明を行う。

【0098】

図3(B)に示す発光素子は、一对の電極(陽極101及び陰極103)間に発光層115を有し、発光層115は、第1の燐光性材料121aと第1の電子輸送性材料122aを含む第1の発光層115aと、第2の燐光性材料131aと第2の電子輸送性材料132aを含む第2の発光層115bと、第1の発光層115a及び第2の発光層115bを覆い、且つ蛍光性材料141aと第3の電子輸送性材料142aを含む第3の発光層115cと、を有する。

【0099】

50

また、第3の発光層115cは、第1の発光層115a及び第2の発光層115bの陰極103側に接して設けられている。

【0100】

また、第1の発光層115aは、第1の燐光性材料121aと、第1の電子輸送性材料122aと、さらに第1の正孔輸送性材料123aを含む構成としてもよい。また、第2の発光層115bは、第2の燐光性材料131aと、第2の電子輸送性材料132aと、さらに第2の正孔輸送性材料133aを含む構成としてもよい。

【0101】

また、図3(B)において、一对の電極間には、発光層115以外にも、正孔注入層111、正孔輸送層113、及び電子注入層119が形成されている。

10

【0102】

より具体的には、図3(B)に示す発光素子は、基板100上の陽極101と、陽極101上の正孔注入層111と、正孔注入層111上の正孔輸送層113と、正孔輸送層113上の第1の発光層115aと、正孔輸送層113上の第2の発光層115bと、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び正孔輸送層113上の第3の発光層115cと、第3の発光層115c上の電子注入層119と、電子注入層119上の陰極103と、を有する。

【0103】

図3(A)、(B)に示す発光素子は、図1(A)、(B)に示す発光素子と異なる点として、正孔注入層111上に正孔輸送層113が設けられている。すなわち、正孔輸送層113は、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115cの共通の正孔輸送層として用いることができる。また、正孔輸送層113に用いることのできる材料は、第3の正孔輸送層113cと同様の材料を用いることができる。したがって、図3(A)、(B)に示す発光素子は、図1(A)、(B)に示す本発明の一態様の発光素子の優れた効果に加え、さらに発光素子形成時の生産性を高めることができる。なお、図3(A)に示す発光素子形成時の塗り分け工程は、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115cとなり、合計3回となる。また、図3(B)に示す発光素子形成時の塗り分け工程は、第1の発光層115a、及び第2の発光層115bとなり、合計2回となる。

20

【0104】

ただし、図3(A)、(B)に示す素子構成においては、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115cは、共通して正孔輸送層113を用いるため、第1の発光層115a、及び第2の発光層115b、及び第3の発光層115cのいずれか1つまたは2つにおいては、素子特性が低下する可能性がある。ただし、素子特性よりも生産性を優先する場合においては、図3(A)、(B)に示す構成を適用しても良い。また、図3(A)、(B)に示す構成においては、第1の電子輸送性材料122a及び第2の電子輸送性材料132a及び第3の発光層115cの電子輸送性が非常に高い。したがって、各発光層で共通の正孔輸送層を用いた場合においても、電子輸送層側での素子特性の低下がない、または極めて少ないため、複数の発光層全体でバランスのとれた発光素子とすることができる。

30

40

【0105】

また、図3(A)、(B)に示す発光素子においては、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115cは、下方に共通の陽極101を用いている構成について例示したが、これに限定されない。例えば、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及び第3の発光層115cは、それぞれ独立に異なる膜厚の陽極101を下方に有する構成としてもよい。例えば、異なる膜厚の陽極101の構成としては、第1の発光層115a、第2の発光層115b、第3の発光層115cの順に陽極101の膜厚を厚くすることができる。

【0106】

図3(A)、(B)に示す発光素子においては、各発光層において共通の正孔輸送層1

50

13を用いているため、陽極101の膜厚によって光学距離を調整する構成は、各発光層の素子特性を向上させるのに有用な構成の一つである。

【0107】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態または実施例に示す構成と適宜組み合わせることができる。

【0108】

(実施の形態3)

本実施の形態では、本発明の一態様である発光素子を適用して作製された発光装置について図4を用いて説明する。

【0109】

図4(A)、(B)は、陰極と陽極の間に第1の発光層乃至第3の発光層を有する発光装置250及び発光装置260の断面図である。

【0110】

まず、図4(A)に示す発光装置250について、以下説明を行う。

【0111】

発光装置250は、基板200側(図4(A)に示す矢印側)から光を取り出すことのできる、所謂ボトムエミッション構造の発光装置である。

【0112】

また、発光装置250は、基板200上に、それぞれ島状に分離された陽極201a、201b、201cを有する。基板200は、実施の形態1に示す基板100に示す材料を用いることができる。陽極201a、201b、201cは、実施の形態1に示す陽極101に示す材料を用いることができる。また、陽極201a、201b、201cは、異なる色を発する素子ごとに厚さを異ならせて設けても良い。また、発光装置250においては、ボトムエミッション構造の発光装置であるため、陽極201a、201b、201cは、可視光において透光性を有する材料(例えば、ITOなど)を用いて形成すると良い。

【0113】

また、発光装置250は、隔壁251a、251b、251c、251dを有する。隔壁251aは、陽極201aの一方の端部を覆う。また、隔壁251bは、陽極201aの他方の端部と、陽極201bの一方の端部を覆う。また、隔壁251cは、陽極201bの他方の端部と、陽極201cの一方の端部を覆う。また、隔壁251dは、陽極201cの他方の端部を覆う。隔壁251a、251b、251c、251dは、有機樹脂または無機絶縁材料を用いることができる。有機樹脂としては、例えば、ポリイミド樹脂、ポリアミド樹脂、アクリル樹脂、シロキサン樹脂、エポキシ樹脂、またはフェノール樹脂等を用いることができる。無機絶縁材料としては、酸化シリコン、酸化窒化シリコン等を用いることができる。隔壁251a、251b、251c、251dの作製が容易となるため、特に感光性の樹脂を用いることが好ましい。

【0114】

また、発光装置250は、陽極201a、201b、201c及び隔壁251a、251b、251c、251d上に正孔注入層211を有する。正孔注入層211は、実施の形態1に示す正孔注入層111に示す材料を用いることができる。

【0115】

また、発光装置250は、正孔注入層211上に、それぞれ島状に分離された第1の正孔輸送層213a、第2の正孔輸送層213b、及び第3の正孔輸送層213cを有する。また、第1の正孔輸送層213a、第2の正孔輸送層213b、及び第3の正孔輸送層213c上にそれぞれ、第1の発光層215a、第2の発光層215b、及び第3の発光層215cを有する。第1の正孔輸送層213a、第2の正孔輸送層213b、第3の正孔輸送層213c、第1の発光層215a、第2の発光層215b、及び第3の発光層215cは、それぞれ実施の形態1に示す第1の正孔輸送層113a、第2の正孔輸送層113b、第3の正孔輸送層113c、第1の発光層115a、第2の発光層115b、及

10

20

30

40

50

び第3の発光層115cに示す材料を用いることができる。

【0116】

また、第1の発光層215aは、図1(A)に示す第1の発光層115aと同様に、第1の燐光性材料と、第1の電子輸送性材料と、第1の正孔輸送性材料と、を有する。また、第2の発光層215bは、図1(A)に示す第2の発光層115bと同様に、第2の燐光性材料と、第2の電子輸送性材料と、第2の正孔輸送性材料と、を有する。また、第3の発光層215cは、図1(A)に示す第3の発光層115cと同様に、蛍光性材料と、第3の電子輸送性材料と、を有する。ただし、図4(A)において、図の煩雑を避けるため、第1の燐光性材料、第1の電子輸送性材料、第1の正孔輸送性材料、第2の燐光性材料、第2の電子輸送性材料、第2の正孔輸送性材料、蛍光性材料、及び第3の電子輸送性材料は省略して図示している。

10

【0117】

また、発光装置250は、第1の発光層215a、第2の発光層215b、及び第3の発光層215c上に、電子輸送層217を有する。また、電子輸送層217上に、電子注入層219を有する。また、電子注入層219上に、陰極203を有する。電子輸送層217は、実施の形態1に示す電子輸送層117に示す材料を用いることができる。電子注入層219は、実施の形態1に示す電子注入層119に示す材料を用いることができる。陰極203は、実施の形態1に示す陰極103に示す材料を用いることができる。また、発光装置250においては、ボトムエミッション構造の発光装置であるため、陰極203は、特に反射性を有する材料（例えば、アルミニウムなど）を用いて形成すると良い。

20

【0118】

なお、図4(A)では、陽極を下方に配置し陰極を上方に配置する構成について説明したが、これに限定されず、例えば、陽極を上方に配置し陰極を下方に配置する構成としてもよい。この場合、陽極と陰極の間の正孔注入層、正孔輸送層、発光層、電子注入層、及び電子輸送層の積層順を入れ替えればよい。

【0119】

発光装置250の第1の発光層215a、第2の発光層215b、及び第3の発光層215cは、電子輸送層217に接して設けられており、電子輸送層217を形成する材料の三重項励起エネルギー準位が、第1の発光層215aに含まれる電子輸送性材料及び第2の発光層215bに含まれる第2の電子輸送性材料の三重項励起エネルギー準位よりも低い。このように発光装置250が有する各発光素子は、各発光層が共通の電子輸送層を用いた場合においても、最適な素子構成となっているため、低い駆動電圧、高い電流効率、または長寿命となる。したがって、低消費電力または長寿命の発光装置250を提供することができる。また、共通の電子輸送層を用いていることから、生産性の高い発光装置250を提供することができる。

30

【0120】

次に、図4(B)に示す発光装置260について、以下説明を行う。

【0121】

発光装置260は、発光装置250の変形例であり、図4(B)に示す矢印側から光を取り出すことのできる、所謂トップエミッション構造の発光装置である。

40

【0122】

また、発光装置260は、基板200上に、それぞれ島状に分離された反射電極253a、253b、253cを有する。また、反射電極253a、253b、253c上に、それぞれ島状に分離された陽極201a、201b、201cを有する。発光装置260においては、トップエミッション構造の発光装置であるため、反射電極253a、253b、253cは、反射性を有する材料（例えば、アルミニウムまたは銀など）を用いて形成すると良い。

【0123】

また、発光装置260は、隔壁251a、251b、251c、251dを有する。隔壁251aは、反射電極253a及び陽極201aの一方の端部を覆う。また、隔壁25

50

1 b は、反射電極 2 5 3 a 及び陽極 2 0 1 a の他方の端部と、反射電極 2 5 3 b 及び陽極 2 0 1 b の一方の端部を覆う。また、隔壁 2 5 1 c は、反射電極 2 5 3 b 及び陽極 2 0 1 b の他方の端部と、反射電極 2 5 3 c 及び陽極 2 0 1 c の一方の端部を覆う。また、隔壁 2 5 1 d は、反射電極 2 5 3 c 及び陽極 2 0 1 c の他方の端部を覆う。

【0 1 2 4】

また、発光装置 2 6 0 は、陽極 2 0 1 a、2 0 1 b、2 0 1 c 及び隔壁 2 5 1 a、2 5 1 b、2 5 1 c、2 5 1 d 上に正孔注入層 2 1 1 を有する。

【0 1 2 5】

また、発光装置 2 6 0 は、正孔注入層 2 1 1 上に、それぞれ島状に分離された第 1 の正孔輸送層 2 1 3 a、第 2 の正孔輸送層 2 1 3 b、及び第 3 の正孔輸送層 2 1 3 c を有する。また、第 1 の正孔輸送層 2 1 3 a、第 2 の正孔輸送層 2 1 3 b、及び第 3 の正孔輸送層 2 1 3 c 上にそれぞれ、第 1 の発光層 2 1 5 a、第 2 の発光層 2 1 5 b、及び第 3 の発光層 2 1 5 c を有する。

【0 1 2 6】

なお、第 1 の発光層 2 1 5 a は、図 1 (A) に示す第 1 の発光層 1 1 5 a と同様に、第 1 の燐光性材料と、第 1 の電子輸送性材料と、第 1 の正孔輸送性材料と、を有する。また、第 2 の発光層 2 1 5 b は、図 1 (A) に示す第 2 の発光層 1 1 5 b と同様に、第 2 の燐光性材料と、第 2 の電子輸送性材料と、第 2 の正孔輸送性材料と、を有する。また、第 3 の発光層 2 1 5 c は、図 1 (A) に示す第 3 の発光層 1 1 5 c と同様に、蛍光性材料と、第 3 の電子輸送性材料と、を有する。ただし、図 4 (B) において、図の煩雑を避けるため、第 1 の燐光性材料、第 1 の電子輸送性材料、第 1 の正孔輸送性材料、第 2 の燐光性材料、第 2 の電子輸送性材料、第 2 の正孔輸送性材料、蛍光性材料、第 3 の電子輸送性材料は省略して図示している。

【0 1 2 7】

また、発光装置 2 6 0 は、第 1 の発光層 2 1 5 a、第 2 の発光層 2 1 5 b、及び第 3 の発光層 2 1 5 c 上に、電子輸送層 2 1 7 を有する。また、電子輸送層 2 1 7 上に、電子注入層 2 1 9 を有する。また、電子注入層 2 1 9 上に、陰極として機能する半透過・半反射電極 2 5 3 を有する。半透過・半反射電極 2 5 3 は、例えば、薄い金属膜（好ましくは 2 0 nm 以下、更に好ましくは 1 0 nm 以下）と導電性の金属酸化物を積層して形成することができる。薄い金属膜としては、銀、マグネシウム、またはこれらの金属材料を含む合金等を、単層または積層して形成することが出来る。導電性の金属酸化物としては、酸化インジウム (In_2O_3)、酸化スズ (SnO_2)、酸化亜鉛 (ZnO)、ITO、酸化インジウム酸化亜鉛 ($\text{In}_2\text{O}_3-\text{ZnO}$)、またはこれらの金属酸化物材料に酸化シリコンを含ませたものを用いることができる。

【0 1 2 8】

発光装置 2 6 0 においては、トップエミッション構造の発光装置であるため、反射電極 2 5 3 a、2 5 3 b、2 5 3 c と半透過・半反射電極 2 5 3 との間で、光の共振効果を利用した微小光共振器（マイクロキャビティ）を採用し、特定波長における光強度を増加させることができる。なお、このマイクロキャビティとしての機能は、反射電極 2 5 3 a、2 5 3 b、2 5 3 c と半透過・半反射電極 2 5 3 の間に挟持される材料、または光路長等で調整することが可能である。例えば、陽極 2 0 1 a、2 0 1 b、2 0 1 c、第 1 の正孔輸送層 2 1 3 a、第 2 の正孔輸送層 2 1 3 b、及び第 3 の正孔輸送層 2 1 3 c の膜厚を調整することで、各発光層から発する特定波長の光強度を増加させればよい。なお、発光装置 2 6 0 においては、第 1 の正孔輸送層 2 1 3 a、第 2 の正孔輸送層 2 1 3 b、及び第 3 の正孔輸送層 2 1 3 c の膜厚によって、光路長を調整する構成について例示している。

【0 1 2 9】

また、図 4 (B) では、陽極を下方に配置し陰極を上方に配置する構成について説明したが、これに限定されず、例えば、陽極を上方に配置し陰極を下方に配置する構成としてもよい。この場合、陽極と陰極の間の正孔注入層、正孔輸送層、発光層、電子注入層、及び電子輸送層の積層順を入れ替えればよい。

10

20

30

40

50

【0130】

発光装置260の第1の発光層215a、第2の発光層215b、及び第3の発光層215cは、電子輸送層217に接して設けられており、電子輸送層217を形成する材料の三重項励起エネルギー準位が、第1の発光層215aに含まれる電子輸送性材料及び第2の発光層215bに含まれる第2の電子輸送性材料の三重項励起エネルギー準位よりも低い。このように発光装置260が有する各発光素子は、各発光層が共通の電子輸送層を用いた場合においても、最適な素子構成となっているため、低い駆動電圧、高い電流効率、または長寿命となる。したがって、低消費電力または長寿命の発光装置260を提供することができる。また、共通の電子輸送層を用いていることから、生産性の高い発光装置260を提供することができる。

10

【0131】

また、図4(A)に示す発光装置250及び図4(B)に示す発光装置260は、基板200上に発光素子のみが形成された構成について例示したが、これに限定されず、例えば、基板200上にトランジスタ(例えば、TFTなど)を別途形成し、該トランジスタと、陽極201a、201b、201cまたは反射電極253a、253b、253cとを電氣的に接続させる構成とすると好ましい。

【0132】

ここで、図4(A)に示す発光装置250の作製方法について、以下説明を行う。

【0133】

まず、基板200上に導電膜を形成し、該導電膜を所望の形状に加工することで陽極201a、201b、201cを形成する。次に、基板200及び陽極201a、201b、201c上に隔壁251a、251b、251c、251dを形成する。なお、陽極201a、201b、201c及び隔壁251a、251b、251c、251dは、トランジスタの作製工程で形成すると好ましい。

20

【0134】

また、上記トランジスタの構造は限定されず、トップゲート型のトランジスタを用いてもよいし、逆スタガ型などのボトムゲート型のトランジスタを用いてもよい。また、nチャネル型トランジスタを用いても、pチャネル型トランジスタを用いてもよい。また、トランジスタに用いる材料についても特に限定されない。例えば、シリコンやIn-Ga-Zn系金属酸化物等の酸化物半導体をチャネル形成領域に用いたトランジスタを適用することができる。

30

【0135】

次に、陽極201a、201b、201c及び隔壁251a、251b、251c、251d上に、正孔注入層211を形成する。陽極201a、201b、201cは、蒸着法(真空蒸着法を含む)、スパッタリング法、塗布法、またはインクジェット法を用いて形成することができる。また、正孔注入層211は、蒸着法(真空蒸着法を含む)、転写法、印刷法、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。

【0136】

次に、正孔注入層211と接し、陽極201aと重畳する位置に第1の正孔輸送層213aを形成する。第1の正孔輸送層213aは、蒸着法(真空蒸着法を含む)、転写法、印刷法、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。本実施の形態においては、蒸着法を用い、蒸着マスク(メタルマスク、ファインメタルマスク、またはシャドウマスクともいう)を用いて所望の領域に形成する。

40

【0137】

次に、第1の正孔輸送層213a上に第1の発光層215aを形成する。第1の発光層215aは、蒸着法(真空蒸着法を含む)、転写法、印刷法、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。本実施の形態においては、蒸着法を用い、蒸着マスク(メタルマスク、ファインメタルマスク、またはシャドウマスクともいう)を用いて所望の領域に形成する。なお、第1の正孔輸送層213a及び第1の発光層215aは、同一の蒸着マスクを用いて、連続して形成すると好ましい。

50

【0138】

次に、正孔注入層211と接し、陽極201bと重畳する位置に第2の正孔輸送層213bを形成する。第2の正孔輸送層213bは、第1の正孔輸送層213aと同様の手法を用いて形成することができる。

【0139】

次に、第2の正孔輸送層213b上に第2の発光層215bを形成する。第2の発光層215bは、第1の発光層215aと同様の手法を用いて形成することができる。なお、第2の正孔輸送層213b及び第2の発光層215bは、同一の蒸着マスクを用いて、連続して形成すると好ましい。

【0140】

次に、正孔注入層211と接し、陽極201cと重畳する位置に第3の正孔輸送層213cを形成する。第3の正孔輸送層213cは、第1の正孔輸送層213aと同様の手法を用いて形成することができる。

【0141】

次に、第3の正孔輸送層213c上に第3の発光層215cを形成する。第3の発光層215cは、第1の発光層215aと同様の手法を用いて形成することができる。なお、第3の正孔輸送層213c及び第3の発光層215cは、同一の蒸着マスクを用いて、連続して形成すると好ましい。

【0142】

次に、正孔注入層211、第1の発光層215a、第2の発光層215b、及び第3の発光層215c上に電子輸送層217を形成し、その後、電子輸送層217上に電子注入層219を形成する。電子輸送層217及び電子注入層219は、蒸着法（真空蒸着法を含む）、転写法、印刷法、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。

【0143】

次に、電子注入層219上に陰極203を形成する。陰極203は、蒸着法（真空蒸着法を含む）、スパッタリング法、塗布法、またはインクジェット法を用いて形成することができる。

【0144】

以上により図4（A）に示す発光装置250を作製することができる。

【0145】

また、図4（B）に示す発光装置260は、上記発光装置250の作製工程に加え、陽極201a、201b、201cの下方に反射電極253a、253b、253cを形成する工程と、陰極203の代わりに半透過・半反射電極253を形成する工程を追加することで形成することができる。

【0146】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態または実施例に示す構成と適宜組み合わせることができる。

【0147】

（実施の形態4）

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子または発光装置を用いて完成させた様々な電子機器および照明装置の一例について、図5を用いて説明する。

【0148】

電子機器としては、例えば、テレビジョン装置（テレビ、またはテレビジョン受信機ともいう）、コンピュータ用などのモニタ、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機（携帯電話、携帯電話装置ともいう）、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、パチンコ機などの大型ゲーム機などが挙げられる。

【0149】

本発明の一態様の発光素子を、可撓性を有する基板上に作製することで、曲面を有する発光部を有する電子機器、照明装置を実現することができる。

【0150】

また、本発明の一態様の発光素子が備える一対の電極を可視光に対する透光性を有する材料を用いて形成することで、シースルーの発光部を有する電子機器、照明装置を実現することができる。

【0151】

また、本発明の一態様を適用した発光装置は、自動車の照明にも適用することができ、例えば、ダッシュボードや、フロントガラス、天井等に照明を設置することもできる。

【0152】

図5(A)は、テレビジョン装置の一例を示している。テレビジョン装置7100は、筐体7101に表示部7103が組み込まれている。表示部7103により、映像を表示することが可能であり、発光装置を表示部7103に用いることができる。また、こ
10

【0153】

テレビジョン装置7100の操作は、筐体7101が備える操作スイッチや、別体のリモコン操作機7110により行うことができる。リモコン操作機7110が備える操作キー7109により、チャンネルや音量の操作を行うことができ、表示部7103に表示される映像を操作することができる。また、リモコン操作機7110に、当該リモコン操作機7110から出力する情報を表示する表示部7107を設ける構成としてもよい。

【0154】

なお、テレビジョン装置7100は、受信機やモデムなどを備えた構成とする。受信機により一般のテレビ放送の受信を行うことができ、さらにモデムを介して有線又は無線による通信ネットワークに接続することにより、一方向（送信者から受信者）又は双方向（送信者と受信者間、あるいは受信者間同士など）の情報通信を行うことも可能である。
20

【0155】

図5(B)はコンピュータであり、本体7201、筐体7202、表示部7203、キーボード7204、外部接続ポート7205、ポインティングデバイス7206等を含む。なお、コンピュータは、発光装置をその表示部7203に用いることにより作製される。

【0156】

図5(C)は携帯型遊技機であり、筐体7301と筐体7302の2つの筐体で構成されており、連結部7303により、開閉可能に連結されている。筐体7301には表示部7304が組み込まれ、筐体7302には表示部7305が組み込まれている。また、図5(C)に示す携帯型遊技機は、その他、スピーカ部7306、記録媒体挿入部7307、LEDランプ7308、入力手段（操作キー7309、接続端子7310、センサ7311（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、におい又は赤外線を測定する機能を含むもの）、マイクロフォン7312）等を備えている。もちろん、携帯型遊技機の構成は上述のものに限定されず、少なくとも表示部7304および表示部7305の両方、又は一方に発光装置を用いていればよく、その他付属設備が適宜設けられた構成とすることができる。図5(C)に示す携帯型遊技機は、記録媒体に記録されているプログラム又はデータを読み出して表示部に表示する機能や、他の携帯型遊技機と無線通信を行って情報を共有する機能を有する。なお、図5(C)に示す携帯型遊技機が有する機能はこれに限定されず、様々な機能を有することができる。
30
40

【0157】

図5(D)は、携帯電話機の一例を示している。携帯電話機7400は、筐体7401に組み込まれた表示部7402の他、操作ボタン7403、外部接続ポート7404、スピーカ7405、マイク7406などを備えている。なお、携帯電話機7400は、発光装置を表示部7402に用いることにより作製される。

【0158】

図5(D)に示す携帯電話機7400は、表示部7402を指などで触れることで、情報を入力することができる。また、電話を掛ける、或いはメールを作成するなどの操作は
50

、表示部 7402 を指などで触れることにより行うことができる。

【0159】

表示部 7402 の画面は主として 3 つのモードがある。第 1 は、画像の表示を主とする表示モードであり、第 2 は、文字等の情報の入力の主とする入力モードである。第 3 は表示モードと入力モードの 2 つのモードが混合した表示＋入力モードである。

【0160】

例えば、電話を掛ける、或いはメールを作成する場合は、表示部 7402 を文字の入力を主とする文字入力モードとし、画面に表示させた文字の入力操作を行えばよい。この場合、表示部 7402 の画面のほとんどにキーボード又は番号ボタンを表示させることが好ましい。

10

【0161】

また、携帯電話機 7400 内部に、ジャイロ、加速度センサ等の傾きを検出するセンサを有する検出装置を設けることで、携帯電話機 7400 の向き（縦か横か）を判断して、表示部 7402 の画面表示を自動的に切り替えるようにすることができる。

【0162】

また、画面モードの切り替えは、表示部 7402 を触れること、又は筐体 7401 の操作ボタン 7403 の操作により行われる。また、表示部 7402 に表示される画像の種類によって切り替えるようにすることもできる。例えば、表示部に表示する画像信号が動画のデータであれば表示モード、テキストデータであれば入力モードに切り替える。

20

【0163】

また、入力モードにおいて、表示部 7402 の光センサで検出される信号を検知し、表示部 7402 のタッチ操作による入力が一定期間ない場合には、画面のモードを入力モードから表示モードに切り替えるように制御してもよい。

【0164】

表示部 7402 は、イメージセンサとして機能させることもできる。例えば、表示部 7402 に掌や指で触れ、掌紋、指紋等を撮像することで、本人認証を行うことができる。また、表示部に近赤外光を発光するバックライト又は近赤外光を発光するセンシング用光源を用いれば、指静脈、掌静脈などを撮像することもできる。

【0165】

図 5 (E) は卓上照明装置であり、照明部 7501、傘 7502、可変アーム 7503、支柱 7504、台 7505、電源 7506 を含む。なお、卓上照明装置は、発光装置を照明部 7501 に用いることにより作製される。なお、照明装置には天井固定型の照明器具又は壁掛け型の照明器具なども含まれる。

30

【0166】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態または実施例に示す構成と適宜組み合わせることができる。

【実施例 1】

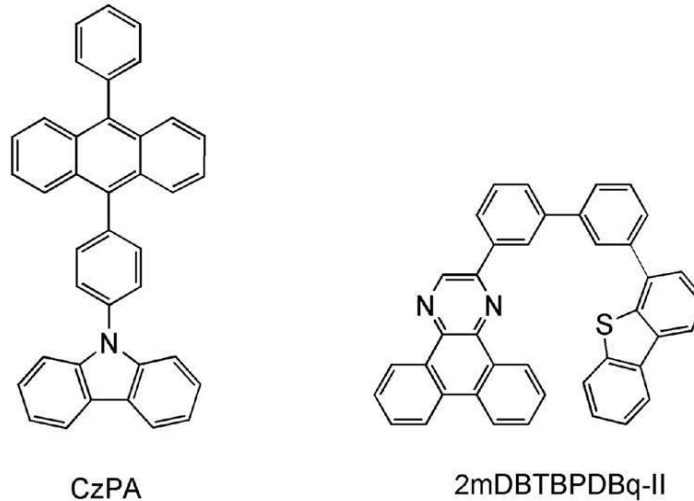
【0167】

本実施例では、本発明の一態様の発光素子の電子輸送層として用いることのできる 9-[4-(10-フェニル-9-アントラセニル)フェニル]-9H-カルバゾール（略称：CzPA）と、燐光性素子のホスト材料（第 1 の電子輸送性材料及び第 2 の電子輸送性材料）として用いることのできる 2-[3'-(ジベンゾチオフェン-4-イル)ピフェニル-3-イル]ジベンゾ[f, h]キノキサリン（略称：2mDBTBPD Bq-III）の三重項励起エネルギー準位（T1 準位）の測定を行った。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

40

【0168】

【化 1】



10

【0169】

T1 準位の測定には、各物質の燐光発光を測定することにより求めた。測定条件としては、325 nm の励起光を各物質に照射し、測定温度 10 K で測定した。また、2mDBTBPDq-II については、メカニカルチョップによる時間分解測定を行った。CzPA については、時間分解測定が難しいため、Ir(ppy)₃ を増感剤として添加し、時間分解をせずに測定を行った。測定条件としては、重量比として CzPA を 3 に対し、Ir(ppy)₃ を 1 の割合で添加した。なお、三重項励起エネルギー準位の測定は、発光波長より吸収波長から算出した方が精度は高い。しかしながら、T1 準位の吸収は極めて微弱であり、測定が困難であることから、ここでは、発光波長を測定することにより T1 準位を求めた。したがって、測定値に多少の誤差を含むものとする。測定結果は、表 1 に示す通りである。

20

【0170】

【表 1】

物質名	T1 準位
CzPA	1.72eV
2mDBTBPDq-II	2.41eV

30

【0171】

表 1 に示すように、電子輸送層として用いることのできる CzPA の三重項励起エネルギー準位が、燐光性素子のホスト材料（第 1 の電子輸送性材料及び第 2 の電子輸送性材料）として用いることのできる 2mDBTBPDq-II の三重項励起エネルギー準位よりも 0.69 eV 低いことが確認された。

【実施例 2】

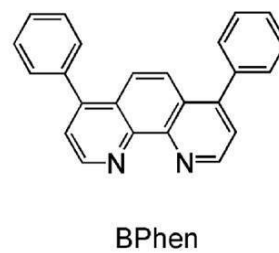
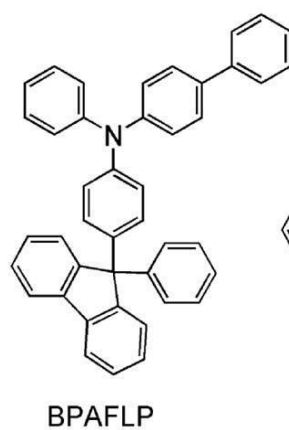
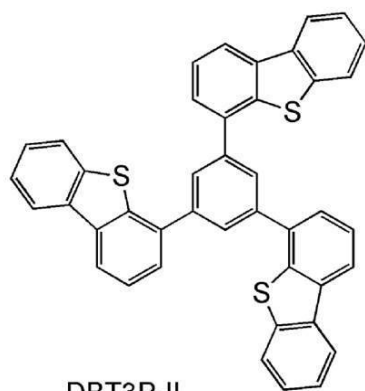
【0172】

本実施例では、本発明の一態様の発光素子（発光素子 1、発光素子 3、及び発光素子 5）、及び比較用の発光素子（比較発光素子 2、比較発光素子 4、及び比較発光素子 6）について、図 6（A）を用いて説明する。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

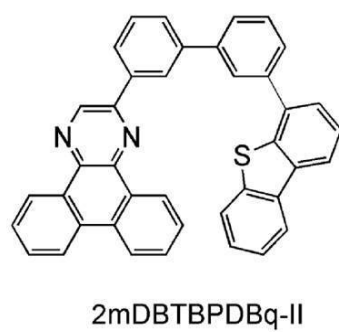
40

【0173】

【化 2】



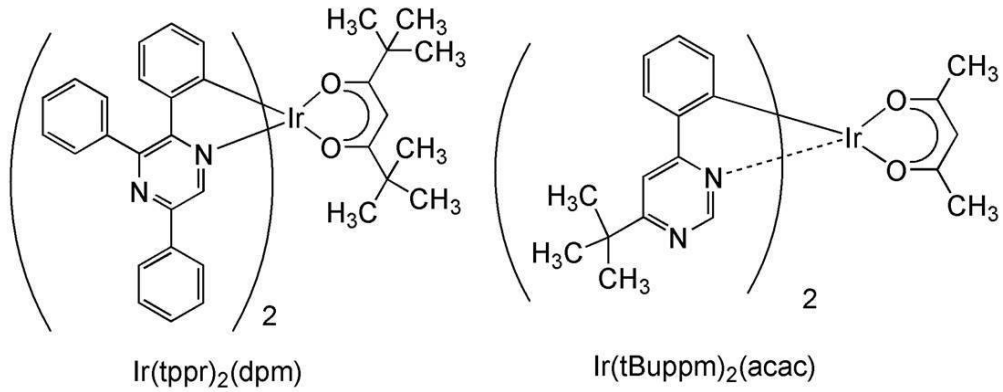
10



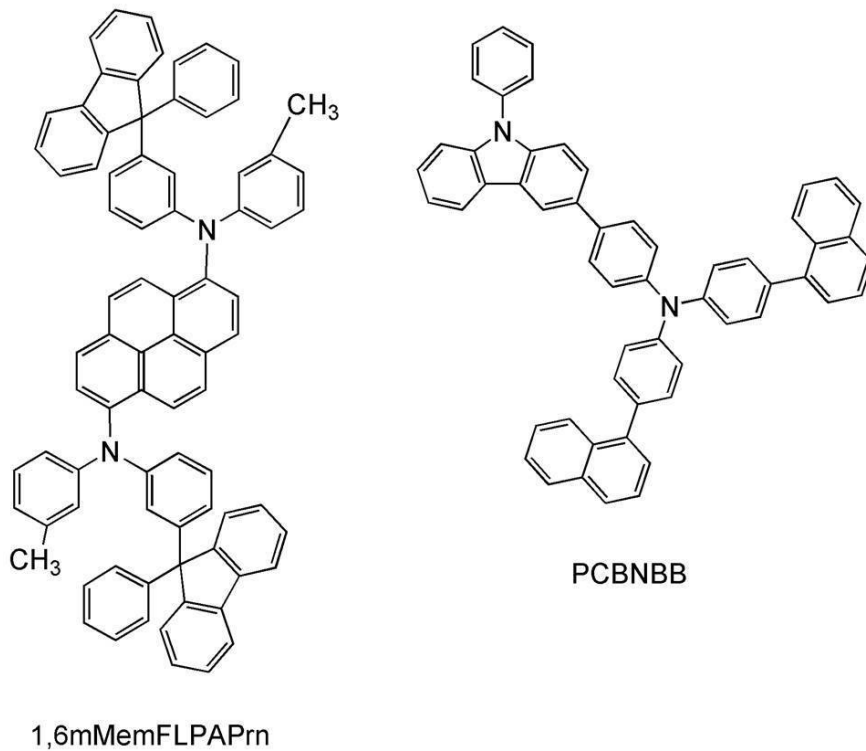
20

【 0 1 7 4 】

【化 3】



10



20

30

【0175】

以下に、本実施例で用いた本発明の一態様の発光素子（発光素子1、発光素子3、及び発光素子5）、及び比較用の発光素子（比較発光素子2、比較発光素子4、及び比較発光素子6）の作製方法を示す。

【0176】

なお、発光素子1及び比較発光素子2は、赤色の発光を示す発光素子であり、発光素子3及び比較発光素子4は、緑色の発光を示す発光素子であり、発光素子5及び比較発光素子6は、青色の発光を示す発光素子である。

40

【0177】

（発光素子1）

まず、基板1100上に、珪素若しくは酸化珪素を含有した酸化インジウム－酸化スズ化合物（ ITO-SiO_2 、以下 ITSO と略記する。）をスパッタリング法にて成膜し、陽極1101を形成した。なお、用いたターゲットの組成は、 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2:\text{SiO}_2=85:10:5$ 〔重量％〕とした。また、陽極1101の膜厚は、110nmとし、電極面積は $2\text{mm}\times 2\text{mm}$ とした。

【0178】

次に、基板1100上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄

50

し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

【0179】

その後、 10^{-4} Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、真空蒸着装置内の加熱室において、170℃で30分間の真空焼成を行った後、基板1100を30分程度放冷した。

【0180】

次に、陽極1101が形成された面が下方となるように、陽極1101が形成された基板1100を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、陽極1101上に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、4, 4', 4''-(ベンゼン-1, 3, 5-トリイル)トリ(ジベンゾチオフェン)(略称: DBT3P-I I)

10

と酸化モリブデンを共蒸着することで、正孔注入層1111を形成した。その膜厚は、40nmとし、DBT3P-I Iと酸化モリブデンの比率は、重量比で4:2(=DBT3P-I I:酸化モリブデン)となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で、複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0181】

次に、正孔注入層1111上に、4-フェニル-4'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン(略称: BPAFLP)を20nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層1113を形成した。

【0182】

20

次に、2mDBTBPD Bq-I Iと、4, 4'-ジ(1-ナフチル)-4''-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン(略称: PCBNBB)と、(ジピバロイルメタナト)ビス(2, 3, 5-トリフェニルピラジナト)イリジウム(I I I)(略称: Ir(tppr)₂dpm)と、を共蒸着し、正孔輸送層1113上に発光層1115を形成した。ここで、2mDBTBPD Bq-I I、PCBNBB、及びIr(tppr)₂dpmの重量比は、0.8:0.2:0.06(=2mDBTBPD Bq-I I:PCBNBB:Ir(tppr)₂dpm)となるように調節した。また、発光層1115の膜厚は40nmとした。

【0183】

なお、発光層1115において、2mDBTBPD Bq-I Iは、電子輸送性材料であり、ホスト材料として機能する。また、PCBNBBは、正孔輸送性材料であり、アシスト材料として機能する。また、Ir(tppr)₂dpmは、イリジウムを含む有機金属錯体であり、ゲスト材料として機能する。

30

【0184】

さらに、発光層1115上にCzPAを膜厚10nmとなるように成膜し、電子輸送層1117を形成した。

【0185】

その後、電子輸送層1117上にバソフェナントロリン(略称: BPhen)を膜厚15nmとなるように成膜し、第1の電子注入層1119aを形成した。

【0186】

40

さらに、第1の電子注入層1119a上に、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚で蒸着し、第2の電子注入層1119bを形成した。

【0187】

最後に、第2の電子注入層1119b上に陰極1103として、アルミニウムを200nmの膜厚となるように蒸着することで、本実施例の発光素子1を作製した。

【0188】

(比較発光素子2)

比較発光素子2は、発光素子1と比較し電子輸送層1117が異なる。具体的には、比較発光素子2の電子輸送層1117は、発光素子1に用いたCzPAの代わりに、2mDBTBPD Bq-I Iを用いた。なお、2mDBTBPD Bq-I Iの膜厚は10nmと

50

した。

【0189】

なお、比較発光素子2については、電子輸送層1117以外の構成は、発光素子1と同様に作製した。

【0190】

(発光素子3)

発光素子3は、発光素子1と比較し発光層1115が異なる。具体的には、発光素子3の発光層1115は、発光素子1に用いた2mDBTBPD Bq- I I、PCBNBB、及びIr (tpp r)₂ dpmの代わりに、2mDBTBPD Bq- I I、PCBNBB、及び(アセチルアセトナト)ビス(6-tert-ブチル-4-フェニルピリミジナト)イリジウム(I I I) (略称: Ir (tBup pm)₂ (a c a c))を用いた。

10

【0191】

また、発光素子3の発光層1115は、2mDBTBPD Bq- I Iと、PCBNBBと、Ir (tBup pm)₂ (a c a c)と、を共蒸着し形成した。ここで、2mDBTBPD Bq- I I、PCBNBB、及びIr (tBup pm)₂ (a c a c)の重量比は、0.8:0.2:0.06 (=2mDBTBPD Bq- I I:PCBNBB:Ir (tBup pm)₂ (a c a c))となるように調節した。また、発光素子3の発光層1115の膜厚は40nmとした。

【0192】

なお、発光素子3の発光層1115において、2mDBTBPD Bq- I Iは、電子輸送性材料であり、ホスト材料として機能する。また、PCBNBBは、正孔輸送性材料であり、アシスト材料として機能する。また、Ir (tBup pm)₂ (a c a c)は、イリジウムを含む有機金属錯体であり、ゲスト材料として機能する。

20

【0193】

なお、発光素子3については、発光層1115以外の構成は、発光素子1と同様に作製した。

【0194】

(比較発光素子4)

比較発光素子4は、発光素子1と比較し発光層1115及び電子輸送層1117が異なる。具体的には、比較発光素子4の発光層1115は、発光素子1に用いた2mDBTBPD Bq- I I、PCBNBB、及びIr (tpp r)₂ dpmの代わりに、2mDBTBPD Bq- I I、PCBNBB、及びIr (tBup pm)₂ (a c a c)を用いた。また、比較発光素子4の電子輸送層1117は、発光素子1に用いたCzPAの代わりに、2mDBTBPD Bq- I Iを用いた。

30

【0195】

また、比較発光素子4の発光層1115は、2mDBTBPD Bq- I Iと、PCBNBBと、Ir (tBup pm)₂ (a c a c)と、を共蒸着し形成した。ここで、2mDBTBPD Bq- I I、PCBNBB、及びIr (tBup pm)₂ (a c a c)の重量比は、0.8:0.2:0.06 (=2mDBTBPD Bq- I I:PCBNBB:Ir (tBup pm)₂ (a c a c))となるように調節した。また、比較発光素子4の発光層1115の膜厚は40nmとした。

40

【0196】

また、比較発光素子4の電子輸送層1117の膜厚は、膜厚は10nmとした。

【0197】

なお、比較発光素子4については、発光層1115及び電子輸送層1117以外の構成は、発光素子1と同様に作製した。

【0198】

(発光素子5)

発光素子5は、発光素子1と比較し発光層1115が異なる。具体的には、発光素子5の発光層1115は、発光素子1に用いた2mDBTBPD Bq- I I、PCBNBB、

50

及び $\text{Ir}(\text{tppr})_2\text{dpm}$ の代わりに、CzPA、及び N, N'-ビス(3-メチルフェニル)-N, N'-ビス[3-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]-ピレン-1, 6-ジアミン(略称: 1, 6mMemFLPAPrn)を用いた。

【0199】

また、発光素子5の発光層1115は、CzPAと、1, 6mMemFLPAPrnと、を共蒸着し形成した。ここで、CzPA、及び1, 6mMemFLPAPrnの重量比は、1:0.05(=CzPA:1, 6mMemFLPAPrn)となるように調節した。また、発光素子5の発光層1115の膜厚は25nmとした。

【0200】

なお、発光素子5の発光層1115において、CzPAは、電子輸送性材料であり、ホスト材料として機能する。また、1, 6mMemFLPAPrnは、蛍光性材料であり、ゲスト材料として機能する。

10

【0201】

なお、発光素子5については、発光層1115以外の構成は、発光素子1と同様に作製した。

【0202】

(比較発光素子6)

比較発光素子6は、発光素子1と比較し発光層1115及び電子輸送層1117が異なる。具体的には、比較発光素子6の発光層1115は、発光素子1に用いた2mDBTB PDBq-III、PCBNBB、及び $\text{Ir}(\text{tppr})_2\text{dpm}$ の代わりに、CzPA、及び1, 6mMemFLPAPrnを用いた。また、比較発光素子6の電子輸送層1117は、発光素子1に用いたCzPAの代わりに、2mDBTB PDBq-IIIを用いた。

20

【0203】

また、比較発光素子6の発光層1115は、CzPAと、1, 6mMemFLPAPrnと、を共蒸着し形成した。ここで、CzPA、及び1, 6mMemFLPAPrnの重量比は、1:0.05(=CzPA:1, 6mMemFLPAPrn)となるように調節した。また、比較発光素子6の発光層1115の膜厚は25nmとした。

【0204】

なお、比較発光素子6の発光層1115において、CzPAは、電子輸送性材料であり、ホスト材料として機能する。また、1, 6mMemFLPAPrnは、蛍光性材料であり、ゲスト材料として機能する。

30

【0205】

また、比較発光素子6の電子輸送層1117の膜厚は、膜厚は10nmとした。

【0206】

なお、比較発光素子6については、発光層1115及び電子輸送層1117以外の構成は、発光素子1と同様に作製した。

【0207】

また、上述した本発明の一態様の発光素子(発光素子1、発光素子3、及び発光素子5)、並びに比較発光素子(比較発光素子2、比較発光素子4、及び比較発光素子6)の蒸着過程は、全て抵抗加熱法を用いた。

40

【0208】

このように、本発明の一態様の発光素子(発光素子1、発光素子3、及び発光素子5)、と、比較発光素子(比較発光素子2、比較発光素子4、及び比較発光素子6)は、発光層1115及び電子輸送層1117以外の構成は、同一の構成である。

【0209】

以上により得られた本発明の一態様の発光素子(発光素子1、発光素子3、及び発光素子5)、と、比較発光素子(比較発光素子2、比較発光素子4、及び比較発光素子6)の素子構造を表2に示す。

【0210】

【表 2】

	陽極	正孔注入層	正孔輸送層	発光層	電子輸送層	第1の電子注入層	第2の電子注入層	陰極	備考
発光素子 1	ITSO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記 参照	下記 参照	BPhen 15nm	LiF 1nm	Al 200nm	赤色 素子
比較 発光素子 2	ITSO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記 参照	下記 参照	BPhen 15nm	LiF 1nm	Al 200nm	赤色 素子
発光素子 3	ITSO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記 参照	下記 参照	BPhen 15nm	LiF 1nm	Al 200nm	緑色 素子
比較 発光素子 4	ITSO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記 参照	下記 参照	BPhen 15nm	LiF 1nm	Al 200nm	緑色 素子
発光素子 5	ITSO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記 参照	下記 参照	BPhen 15nm	LiF 1nm	Al 200nm	青色 素子
比較 発光素子 6	ITSO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記 参照	下記 参照	BPhen 15nm	LiF 1nm	Al 200nm	青色 素子

発光素子 1	2mDBTBPDq-II:PCBNBB:Ir(tppr) ₂ dpm (=0.8:0.2:0.06) 40nm	CzPA 10nm
比較 発光素子 2	2mDBTBPDq-II:PCBNBB:Ir(tppr) ₂ dpm (=0.8:0.2:0.06) 40nm	2mDBTBPDq-II 10nm
発光素子 3	2mDBTBPDq-II:PCBNBB:Ir(tBuppm) ₂ (acac) (=0.8:0.2:0.06) 40nm	CzPA 10nm
比較 発光素子 4	2mDBTBPDq-II:PCBNBB:Ir(tBuppm) ₂ (acac) (=0.8:0.2:0.06) 40nm	2mDBTBPDq-II 10nm
発光素子 5	CzPA:1,6mMemFLPAPrn (=1:0.05) 25nm	CzPA 10nm
比較 発光素子 6	CzPA:1,6mMemFLPAPrn (=1:0.05) 25nm	2mDBTBPDq-II 10nm

【0211】

表 2 に示すように本発明の一態様の発光素子は、燐光性材料（発光素子 1 及び発光素子 3）のホスト材料として、2mDBTBPDq-II を用い、蛍光性材料（発光素子 5）のホスト材料として、CzPA を用いている。また、発光素子 1、発光素子 3、及び発光素子 5 の電子輸送層は、共通の CzPA を用いている。一方で、比較用の発光素子は、燐光性材料（比較発光素子 2 及び比較発光素子 4）のホスト材料として、2mDBTBPDq-II を用い、蛍光性材料（比較発光素子 6）のホスト材料として、CzPA を用いている。また、比較発光素子 2、比較発光素子 4、及び比較発光素子 6 の電子輸送層は、共通の 2mDBTBPDq-II を用いている。

【0212】

次に、窒素雰囲気グローブボックス内において、上記作製した各発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に 80℃にて 1 時間熱処理）を行った。その後、各発光素子の動作特性について測定を行った。なお、測定は室温（25℃に保たれた雰囲気）で行った。

【0213】

発光素子 1 及び比較発光素子 2 の電流密度－輝度特性を図 7 に、電圧－輝度特性を図 8 に、輝度－電流効率特性を図 9 に、電圧－電流特性を図 10 に、発光スペクトルを図 11 に、それぞれ示す。

【0214】

発光素子 3 及び比較発光素子 4 の電流密度－輝度特性を図 12 に、電圧－輝度特性を図 13 に、輝度－電流効率特性を図 14 に、電圧－電流特性を図 15 に、発光スペクトルを図 16 に、それぞれ示す。

【0215】

発光素子 5 及び比較発光素子 6 の電流密度－輝度特性を図 17 に、電圧－輝度特性を図 18 に、輝度－電流効率特性を図 19 に、電圧－電流特性を図 20 に、発光スペクトルを図 21 に、それぞれ示す。

【0216】

なお、図 7、図 12、及び図 17 において、横軸は電流密度 (mA/cm^2) を、縦軸は輝度 (cd/m^2) を表す。また、図 8、図 13、及び図 18 において、横軸は電圧 (V) を、縦軸は輝度 (cd/m^2) を表す。また、図 9、図 14、及び図 19 において、横軸は輝度 (cd/m^2)、縦軸は電流効率 (cd/A) を表す。また、図 10、図 15、及び図 20 において、横軸は電圧 (V) を、縦軸は電流 (mA) を表す。また、図 11、図 16、及び図 21 において、横軸は波長 (nm) を、縦軸は強度 (任意単位) を表す。なお、図 11、図 16、及び図 21 において、各発光素子の発光スペクトルが概略重なっている。

【0217】

また、各発光素子における輝度 $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 付近のときの電圧 (V)、電流密度 (mA/cm^2)、CIE 色度座標 (x, y)、電流効率 (cd/A)、外部量子効率 (%) を表 3 に示す。

【0218】

【表 3】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	色度x	色度y	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	外部 量子効率(%)	備考
発光素子1	3.2	3.6	0.66	0.34	992	27	24	赤色素子
比較発光素子2	3.3	4.0	0.66	0.34	1103	27	23	赤色素子
発光素子3	2.8	0.9	0.43	0.56	804	91	26	緑色素子
比較発光素子4	2.9	1.1	0.43	0.56	987	93	26	緑色素子
発光素子5	3.2	8.1	0.14	0.19	905	11	9	青色素子
比較発光素子6	3.5	9.6	0.14	0.19	1115	12	9	青色素子

【0219】

表 3 に示す通り、発光素子 1 の輝度 $992 \text{ cd}/\text{m}^2$ における素子特性として、電流効率が $27 \text{ cd}/\text{A}$ であり、外部量子効率が 24 % であり、CIE 色度座標が、(x, y) = (0.66, 0.34) であった。また、比較発光素子 2 の輝度 $1103 \text{ cd}/\text{m}^2$ における素子特性として、電流効率が $27 \text{ cd}/\text{A}$ であり、外部量子効率が 23 % であり、CIE 色度座標が、(x, y) = (0.66, 0.34) であった。

【0220】

また、図 11 に示す通り、発光素子 1 及び比較発光素子 2 の発光スペクトルは、619 nm にピークを有している。

【0221】

以上のように発光素子 1 と比較発光素子 2 を比べた場合、素子特性に大きな違いは確認

10

20

30

40

50

されない。すなわち、発光素子1の電子輸送層1117 (CzPA)の電子輸送性、及び燐光性材料のホスト材料である電子輸送性材料(2mDBTBPD Bq-I I)の電子輸送性が非常に高いため、発光層1115で励起される発光が電子輸送層1117側に拡散しない、あるいは拡散しにくい素子構成であることが確認された。

【0222】

また、表3に示す通り、発光素子3の輝度 804 cd/m^2 における素子特性として、電流効率が 91 cd/A であり、外部量子効率が26%であり、CIE色度座標が、 $(x, y) = (0.43, 0.56)$ であった。また、比較発光素子4の輝度 987 cd/m^2 における素子特性として、電流効率が 93 cd/A であり、外部量子効率が26%であり、CIE色度座標が、 $(x, y) = (0.43, 0.56)$ であった。

10

【0223】

また、図16に示す通り、発光素子3及び比較発光素子4の発光スペクトルは、それぞれ 549 nm 、 546 nm にピークを有している。

【0224】

以上のように発光素子3と比較発光素子4を比べた場合、素子特性に大きな違いは確認されない。すなわち、発光素子3の電子輸送層1117 (CzPA)の電子輸送性及び燐光性材料のホスト材料である電子輸送性材料(2mDBTBPD Bq-I I)の電子輸送性が非常に高いため、発光層1115で励起される発光が電子輸送層1117側に拡散しない、あるいは拡散しにくい素子構成であることが確認された。

【0225】

20

また、表3に示す通り、発光素子5の輝度 905 cd/m^2 における素子特性として、電流効率が 11 cd/A であり、外部量子効率が9%であり、CIE色度座標が、 $(x, y) = (0.14, 0.19)$ であった。また、比較発光素子6の輝度 1115 cd/m^2 における素子特性として、電流効率が 12 cd/A であり、外部量子効率が9%であり、CIE色度座標が、 $(x, y) = (0.14, 0.19)$ であった。

【0226】

また、図21に示す通り、発光素子5及び比較発光素子6の発光スペクトルは、それぞれ 464 nm 、 465 nm にピークを有している。

【0227】

以上のように発光素子5と比較発光素子6を比べた場合、素子特性に違いが生じている。具体的には、表3及び図20に示すように、主に電圧-電流特性に違いが生じている。発光素子5は、 905 cd/m^2 における電圧が3.3Vであり、比較発光素子6は、 1115 cd/m^2 における電圧が3.5Vである。また、図20に示すように3V付近から電圧を上げた際に、本発明の一態様の発光素子5よりも比較発光素子6の電流値が低い。

30

【0228】

これは、比較発光素子6の電子輸送層1117が、燐光性材料のホスト材料である電子輸送性材料(2mDBTBPD Bq-I I)を用いていることに起因する。この燐光性材料のホスト材料は、発光層1115に使用している電子輸送性材料(CzPA)と比較して電子輸送性が低くなる。

40

【0229】

一方で本発明の一態様の発光素子5は、電子輸送層1117 (CzPA)の電子輸送性が、燐光性材料のホスト材料である電子輸送性材料(2mDBTBPD Bq-I I)の電子輸送性よりも優れているため、より低駆動電圧で優れた素子特性を有している。

【0230】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施の形態に示す構成、または他の実施例に示す構成と適宜組み合わせる用いることができるものとする。

【実施例3】

【0231】

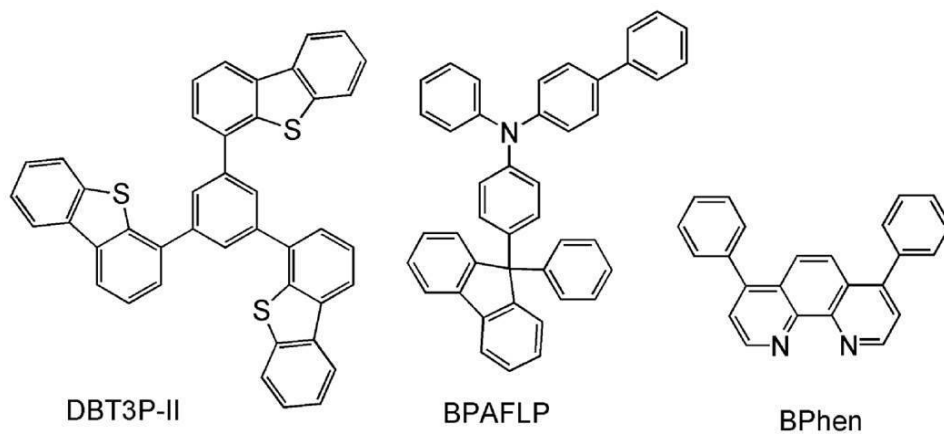
本実施例では、本発明の一態様の発光素子(発光素子7及び発光素子8)について、図

50

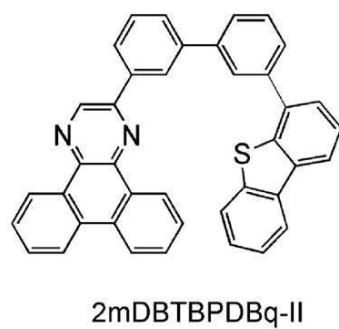
6 (B) を用いて説明する。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

【0232】

【化4】



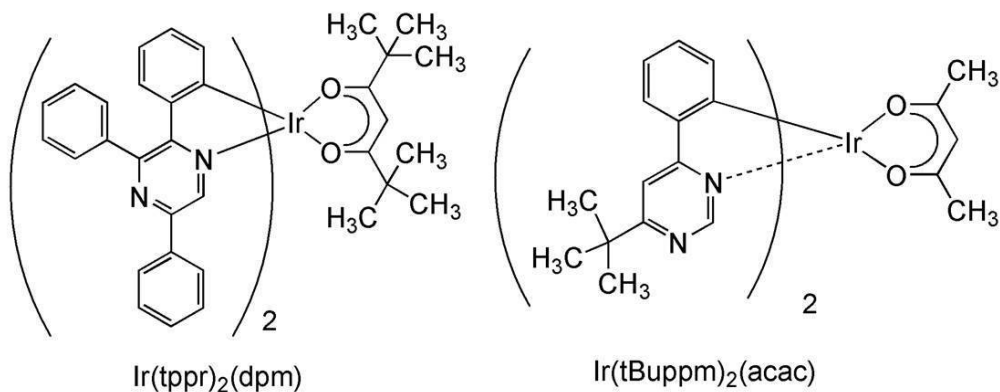
10



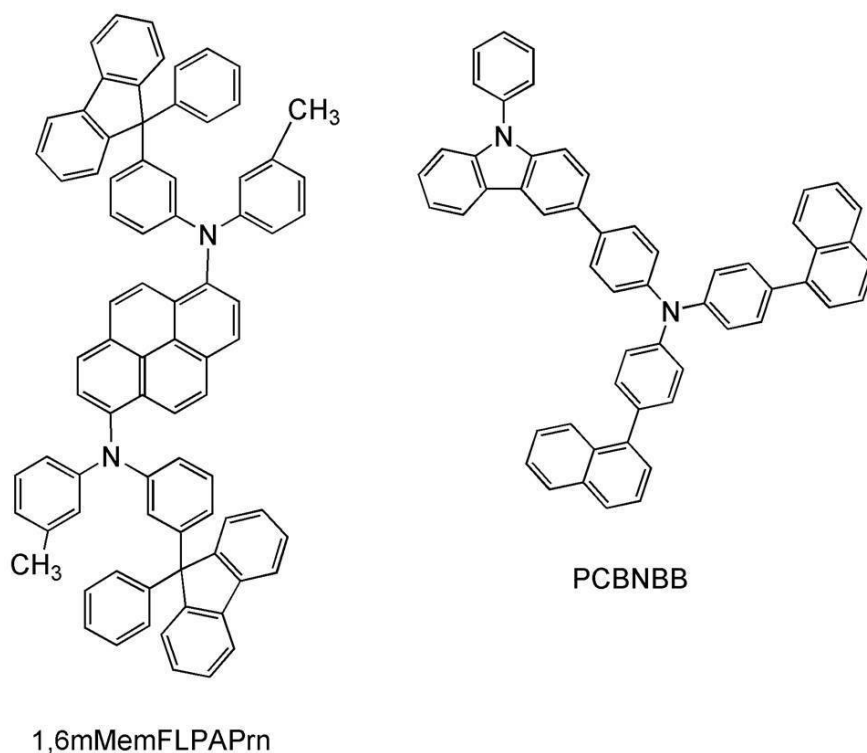
20

【0233】

【化 5】



10



20

30

【0234】

以下に、本実施例で用いた本発明の一態様の発光素子（発光素子7及び発光素子8）の作製方法を示す。

【0235】

なお、発光素子7は、赤色の発光を示す発光素子であり、発光素子8は、緑色の発光を示す発光素子である。

【0236】

（発光素子7）

まず、基板1100上に、珪素若しくは酸化珪素を含有した酸化インジウム－酸化スズ化合物（ITO）をスパッタリング法にて成膜し、陽極1101を形成した。なお、用いたターゲットの組成は、 $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{SnO}_2 : \text{SiO}_2 = 85 : 10 : 5$ [重量%]とした。また、陽極1101の膜厚は、110nmとし、電極面積は $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ とした。

【0237】

次に、基板1100上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、 200°C で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

【0238】

40

50

その後、 10^{-4} Pa 程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、真空蒸着装置内の加熱室において、 170°C で30分間の真空焼成を行った後、基板1100を30分程度放冷した。

【0239】

次に、陽極1101が形成された面が下方となるように、陽極1101が形成された基板1100を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、陽極1101上に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、4, 4', 4''- (ベンゼン-1, 3, 5-トリイル) トリ (ジベンゾチオフェン) (略称: DBT3P-I I)

と酸化モリブデンを共蒸着することで、正孔注入層1111を形成した。その膜厚は、40 nmとし、DBT3P-I Iと酸化モリブデンの比率は、重量比で4:2 (= DBT3P-I I:酸化モリブデン) となるように調節した。

10

【0240】

次に、正孔注入層1111上に、4-フェニル-4'- (9-フェニルフルオレン-9-イル) トリフェニルアミン (略称: BPAPLP) を20 nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層1113を形成した。

【0241】

次に、2mDBTBPD Bq-I Iと、4, 4'-ジ (1-ナフチル) -4''- (9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル) トリフェニルアミン (略称: PCBNBB) と、(ジピバロイルメタナト) ビス (2, 3, 5-トリフェニルピラジナト) イリジウム (I I I) (略称: Ir (tppr)₂dpm) と、を共蒸着し、正孔輸送層1113上に発光層1115を形成した。ここで、2mDBTBPD Bq-I I、PCBNBB、及びIr (tppr)₂dpmの重量比は、0.8:0.2:0.06 (= 2mDBTBPD Bq-I I:PCBNBB:Ir (tppr)₂dpm) となるように調節した。また、発光層1115の膜厚は40 nmとした。

20

【0242】

なお、発光層1115において、2mDBTBPD Bq-I Iは、電子輸送性材料であり、ホスト材料として機能する。また、PCBNBBは、正孔輸送性材料であり、アシスト材料として機能する。また、Ir (tppr)₂dpmは、イリジウムを含む有機金属錯体であり、ゲスト材料として機能する。

30

【0243】

さらに、発光層1115上にCzPAと、1, 6mMemFLPAPrnと、を共蒸着し、発光層1115上に電子輸送層1117aを形成した。ここで、CzPA、及び1, 6mMemFLPAPrnの重量比は、1:0.05 (= CzPA:1, 6mMemFLPAPrn) となるように調節した。また、発光素子7の電子輸送層1117aの膜厚は25 nmとした。

【0244】

なお、発光素子7の電子輸送層1117aは、先の実施例2に示す発光素子5及び比較発光素子6の発光層に用いた構成と同じである。すなわち、青色の発光を示す発光層を発光素子7の電子輸送層1117aとして用いた構成である。

40

【0245】

その後、電子輸送層1117上にバソフェナントロリン (略称: BPhen) を膜厚15 nmとなるように成膜し、第1の電子注入層1119aを形成した。

【0246】

さらに、第1の電子注入層1119a上に、フッ化リチウム (LiF) を1 nmの膜厚で蒸着し、第2の電子注入層1119bを形成した。

【0247】

最後に、第2の電子注入層1119b上に陰極1103として、アルミニウムを200 nmの膜厚となるように蒸着することで、本実施例の発光素子7を作製した。

【0248】

50

(発光素子 8)

発光素子 8 は、発光素子 7 と比較し発光層 1 1 1 5 が異なる。具体的には、発光素子 8 の発光層 1 1 1 5 は、発光素子 7 に用いた 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、及び Ir(tppr)₂dpm の代わりに、2mDBTPDBq-II、PCBNBB、及び Ir(tBuppm)₂(acac) を用いた。

【0249】

また、発光素子 8 の発光層 1 1 1 5 は、2mDBTPDBq-II と、PCBNBB と、Ir(tBuppm)₂(acac) と、を共蒸着し、正孔輸送層 1 1 1 3 上に形成した。ここで、2mDBTPDBq-II、PCBNBB、及び Ir(tBuppm)₂(acac) の重量比は、0.8 : 0.2 : 0.06 (= 2mDBTPDBq-II : PCBNBB : Ir(tBuppm)₂(acac)) となるように調節した。また、発光素子 8 の発光層 1 1 1 5 の膜厚は 40 nm とした。

【0250】

なお、発光素子 8 の発光層 1 1 1 5 において、2mDBTPDBq-II は、電子輸送性材料であり、ホスト材料として機能する。また、PCBNBB は、正孔輸送性材料であり、アシスト材料として機能する。また、Ir(tBuppm)₂(acac) は、イリジウムを含む有機金属錯体であり、ゲスト材料として機能する。

【0251】

また、発光素子 8 の電子輸送層 1 1 1 7 a は、発光素子 7 と同様に、先の実施例 2 に示す発光素子 5 及び比較発光素子 6 の発光層に用いた構成と同じである。すなわち、青色の発光を示す発光層を発光素子 8 の電子輸送層 1 1 1 7 a として用いた構成である。

【0252】

なお、発光素子 8 については、発光層 1 1 1 5 以外の構成は、発光素子 7 と同様に作製した。

【0253】

また、上述した本発明の一態様の発光素子（発光素子 7 及び発光素子 8）の蒸着過程は、全て抵抗加熱法を用いた。

【0254】

以上により得られた本発明の一態様の発光素子（発光素子 7 及び発光素子 8）の素子構造を表 4 に示す。

【0255】

【表 4】

	陽極	正孔注入層	正孔輸送層	発光層	電子輸送層	第1の電子注入層	第2の電子注入層	陰極	備考
発光素子 7	ITSO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記 参照	下記 参照	BPhen 15nm	LiF 1nm	Al 200nm	赤色 素子
発光素子 8	ITSO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記 参照	下記 参照	BPhen 15nm	LiF 1nm	Al 200nm	緑色 素子
発光素子 7	2mDBTPDBq-II:PCBNBB:Ir(tppr) ₂ dpm (=0.8:0.2:0.06) 40nm				CzPA:1,6mMemFLPAPrn (=1:0.05) 25nm				
発光素子 8	2mDBTPDBq-II:PCBNBB:Ir(tBuppm) ₂ (acac) (=0.8:0.2:0.06) 40nm				CzPA:1,6mMemFLPAPrn (=1:0.05) 25nm				

【0256】

表 4 に示すように本発明の一態様の発光素子は、燐光性材料（発光素子 7 及び発光素子 8）のホスト材料として、2mDBTPDBq-II を用いている。また、発光素子 7

及び発光素子 8 の電子輸送層は、共通の CzPA 及び 1, 6 mMemFLPAPrn を用いている。

【0257】

次に、窒素雰囲気グローブボックス内において、上記作製した各発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に 80℃にて 1 時間熱処理）を行った。その後、各発光素子の動作特性について測定を行った。なお、測定は室温（25℃に保たれた雰囲気）で行った。

【0258】

発光素子 7 及び発光素子 8 の電流密度－輝度特性を図 22 に、電圧－輝度特性を図 23 に、輝度－電流効率特性を図 24 に、電圧－電流特性を図 25 に、発光スペクトルを図 26 に、それぞれ示す。

【0259】

なお、図 22 において、横軸は電流密度 (mA/cm^2) を、縦軸は輝度 (cd/m^2) を表す。また、図 23 において、横軸は電圧 (V) を、縦軸は輝度 (cd/m^2) を表す。また、図 24 において、横軸は輝度 (cd/m^2)、縦軸は電流効率 (cd/A) を表す。また、図 25 において、横軸は電圧 (V) を、縦軸は電流 (mA) を表す。また、図 26 において、横軸は波長 (nm) を、縦軸は強度 (任意単位) を表す。

【0260】

また、各発光素子における輝度 $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 付近のときの電圧 (V)、電流密度 (mA/cm^2)、CIE 色度座標 (x, y)、電流効率 (cd/A)、外部量子効率 (%) を表 5 に示す。

【0261】

【表 5】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm^2)	色度x	色度y	輝度 (cd/m^2)	電流効率 (cd/A)	外部 量子効率(%)	備考
発光素子7	3.3	3.6	0.66	0.34	984	27	25	赤色素子
発光素子8	3.0	1.2	0.44	0.56	948	76	23	緑色素子

【0262】

表 5 に示す通り、発光素子 7 の輝度 $984 \text{ cd}/\text{m}^2$ における素子特性として、電流効率が $27 \text{ cd}/\text{A}$ であり、外部量子効率が 25% であり、CIE 色度座標が、(x, y) = (0.66, 0.34) であった。また、発光素子 8 の輝度 $948 \text{ cd}/\text{m}^2$ における素子特性として、電流効率が $76 \text{ cd}/\text{A}$ であり、外部量子効率が 23% であり、CIE 色度座標が、(x, y) = (0.44, 0.56) であった。

【0263】

また、図 26 に示す通り、発光素子 7 及び発光素子 8 の発光スペクトルは、それぞれ 620 nm、548 nm にピークを有している。また、電子輸送層に用いた 1, 6 mMemFLPAPrn からの青色発光（図 21 参照）は、観測されていないことがわかる。

【0264】

以上のように、本発明の一態様の発光素子 7 は、電子輸送層 1117a として、青色の発光を示す発光層を用いても、実施例 2 で示した発光素子 1 と同等の素子特性が得られた。また、本発明の一態様の発光素子 8 は、電子輸送層 1117a として、青色の発光を示す発光層を用いても、実施例 2 で示した発光素子 3 と同等の素子特性が得られた。

【0265】

したがって、電子輸送層 1117a に用いた蛍光性材料のホスト材料 (CzPA) の電子輸送性及び燐光性材料のホスト材料である電子輸送性材料 (2mDBTBPD Bq-I) の電子輸送性が大きいため、本発光素子の発光領域は、発光層 1115 の正孔輸送層 1113 近傍の領域に形成され、発光層 1115 で励起される発光が電子輸送層 1117a 側に拡散しない、あるいは拡散しにくい素子構成であることが確認された。また、発光

10

20

30

40

50

素子7及び発光素子8に用いた電子輸送層1117aには、蛍光性材料である1,6mMemFLPAPrnが含まれている。しかしながら、図22乃至図26に示す通り、蛍光性材料である1,6mMemFLPAPrnは、素子特性に影響を与えないことが確認された。

【0266】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施の形態に示す構成、または他の実施例に示す構成と適宜組み合わせる用いることができるものとする。

【実施例4】

【0267】

本実施例では、実施例2及び実施例3で作製した本発明の一態様の発光素子である発光素子1、発光素子3、発光素子7、及び発光素子8と、比較用の発光素子である比較発光素子2、及び比較発光素子4について、信頼性試験を行った。信頼性試験の結果を図27(A)、(B)に示す。

【0268】

図27(A)は、発光素子1、比較発光素子2、及び発光素子7、すなわち赤色の素子の信頼性試験結果である。また、図27(B)は、発光素子3、比較発光素子4、及び発光素子8、すなわち緑色の素子の信頼性試験結果である。なお、図27(A)、(B)において、信頼性試験の測定方法は、初期輝度を5000cd/m²に設定し、電流密度一定の条件で各発光素子を駆動した。横軸は素子の駆動時間(h)を、縦軸は初期輝度を100%とした時の規格化輝度(%)を表す。また、図27(A)、(B)において、各発光素子のデータが概略重なっている。

【0269】

図27(A)の結果より、発光素子1の357時間経過後の規格化輝度は、68%であった。また、比較発光素子2の357時間経過後の規格化輝度は、68%であった。また、発光素子7の357時間経過後の規格化輝度は、66%であった。また、図27(B)の結果より、発光素子3の688時間経過後の規格化輝度は、81%であった。また、比較発光素子4の688時間経過後の規格化輝度は、82%であった。また、発光素子8の688時間経過後の規格化輝度は、80%であった。

【0270】

以上のように、本発明の一態様である発光素子1及び発光素子7は、比較発光素子2と同等の信頼性試験の結果であった。また、本発明の一態様である発光素子3及び発光素子8は、比較発光素子4と同等の信頼性試験の結果であった。

【0271】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施の形態に示す構成、または他の実施例に示す構成と適宜組み合わせる用いることができるものとする。

【符号の説明】

【0272】

- 100 基板
- 101 陽極
- 103 陰極
- 111 正孔注入層
- 113 正孔輸送層
- 113a 第1の正孔輸送層
- 113b 第2の正孔輸送層
- 113c 第3の正孔輸送層
- 113d 第4の正孔輸送層
- 115 発光層
- 115a 第1の発光層
- 115b 第2の発光層
- 115c 第3の発光層

10

20

30

40

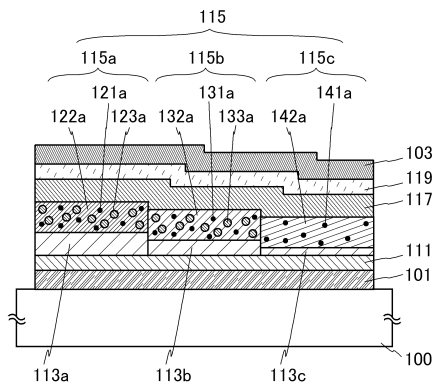
50

1 1 7	電子輸送層	
1 1 9	電子注入層	
1 2 1 a	第1の燐光性材料	
1 2 2 a	第1の電子輸送性材料	
1 2 3 a	第1の正孔輸送性材料	
1 3 1 a	第2の燐光性材料	
1 3 2 a	第2の電子輸送性材料	
1 3 3 a	第2の正孔輸送性材料	
1 4 1 a	蛍光性材料	
1 4 2 a	第3の電子輸送性材料	10
2 0 0	基板	
2 0 1 a	陽極	
2 0 1 b	陽極	
2 0 1 c	陽極	
2 0 3	陰極	
2 1 1	正孔注入層	
2 1 3 a	第1の正孔輸送層	
2 1 3 b	第2の正孔輸送層	
2 1 3 c	第3の正孔輸送層	
2 1 5 a	第1の発光層	20
2 1 5 b	第2の発光層	
2 1 5 c	第3の発光層	
2 1 7	電子輸送層	
2 1 9	電子注入層	
2 5 0	発光装置	
2 5 1 a	隔壁	
2 5 1 b	隔壁	
2 5 1 c	隔壁	
2 5 1 d	隔壁	
2 5 3	半透過・半反射電極	30
2 5 3 a	反射電極	
2 5 3 b	反射電極	
2 5 3 c	反射電極	
2 6 0	発光装置	
1 1 0 0	基板	
1 1 0 1	陽極	
1 1 0 3	陰極	
1 1 1 1	正孔注入層	
1 1 1 3	正孔輸送層	
1 1 1 5	発光層	40
1 1 1 7	電子輸送層	
1 1 1 7 a	電子輸送層	
1 1 1 9 a	電子注入層	
1 1 1 9 b	電子注入層	
7 1 0 0	テレビジョン装置	
7 1 0 1	筐体	
7 1 0 3	表示部	
7 1 0 5	スタンド	
7 1 0 7	表示部	
7 1 0 9	操作キー	50

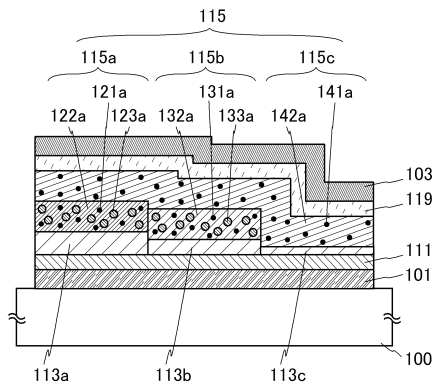
7 1 1 0	リモコン操作機	
7 2 0 1	本体	
7 2 0 2	筐体	
7 2 0 3	表示部	
7 2 0 4	キーボード	
7 2 0 5	外部接続ポート	
7 2 0 6	ポインティングデバイス	
7 3 0 1	筐体	
7 3 0 2	筐体	
7 3 0 3	連結部	10
7 3 0 4	表示部	
7 3 0 5	表示部	
7 3 0 6	スピーカ部	
7 3 0 7	記録媒体挿入部	
7 3 0 8	L E Dランプ	
7 3 0 9	操作キー	
7 3 1 0	接続端子	
7 3 1 1	センサ	
7 3 1 2	マイクロフォン	
7 4 0 0	携帯電話機	20
7 4 0 1	筐体	
7 4 0 2	表示部	
7 4 0 3	操作ボタン	
7 4 0 4	外部接続ポート	
7 4 0 5	スピーカ	
7 4 0 6	マイク	
7 5 0 1	照明部	
7 5 0 2	傘	
7 5 0 3	可変アーム	
7 5 0 4	支柱	30
7 5 0 5	台	
7 5 0 6	電源	

【図 1】

(A)

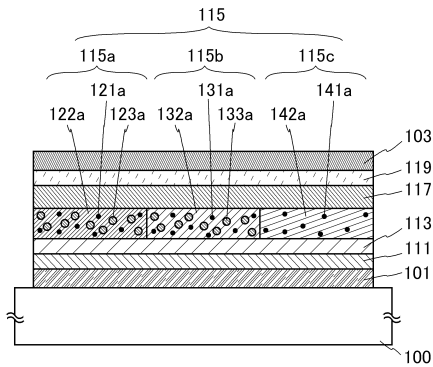


(B)

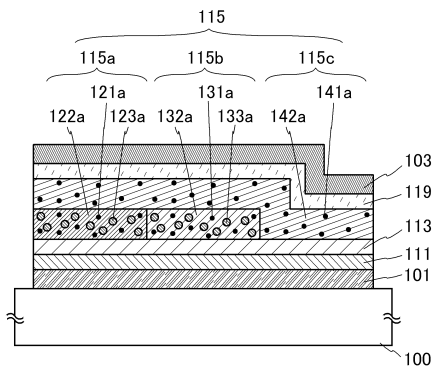


【図 3】

(A)

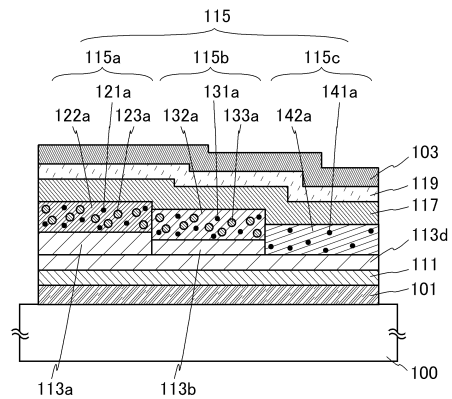


(B)

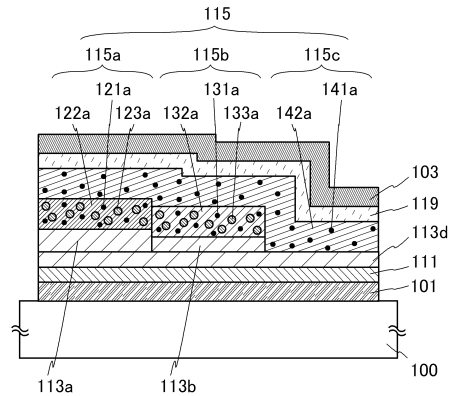


【図 2】

(A)

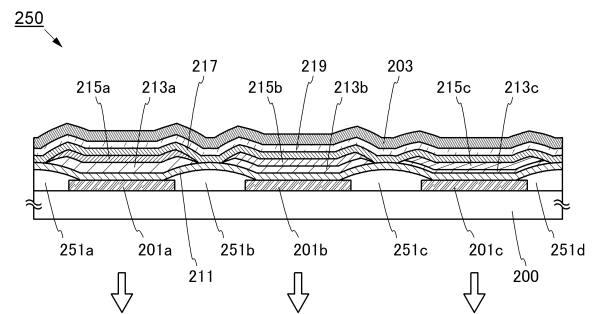


(B)

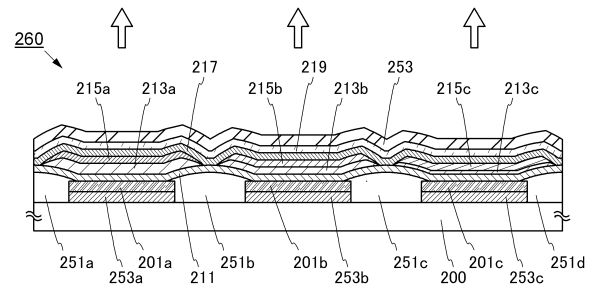


【図 4】

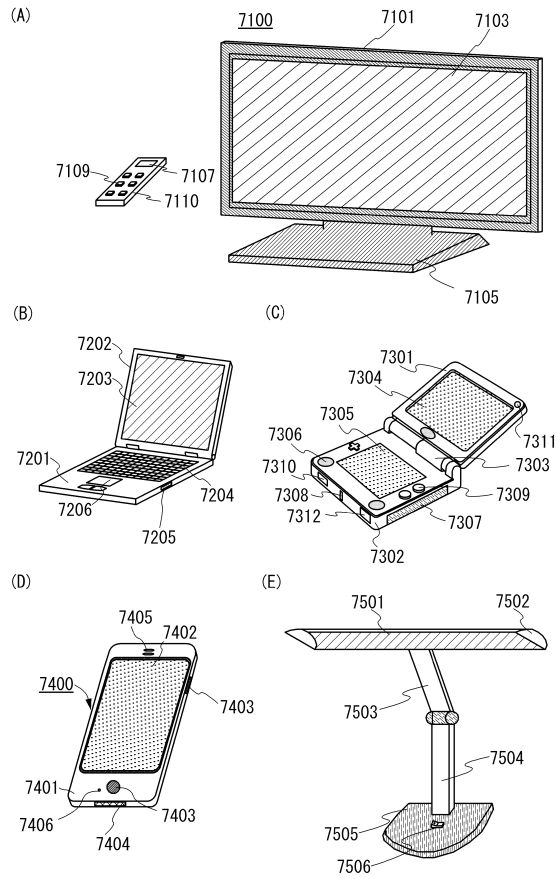
(A)



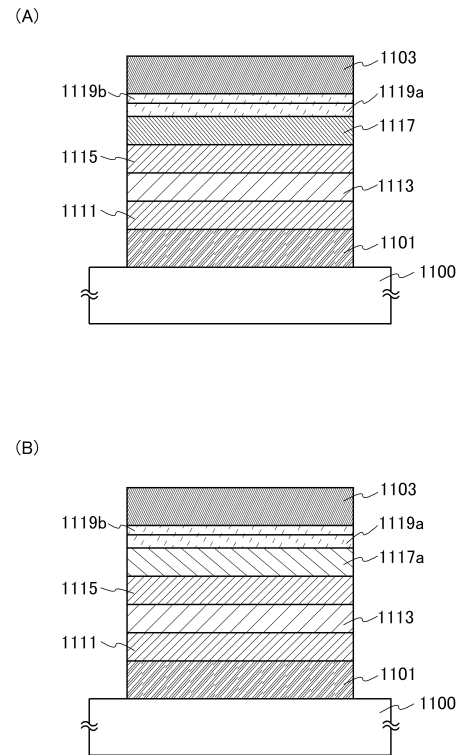
(B)



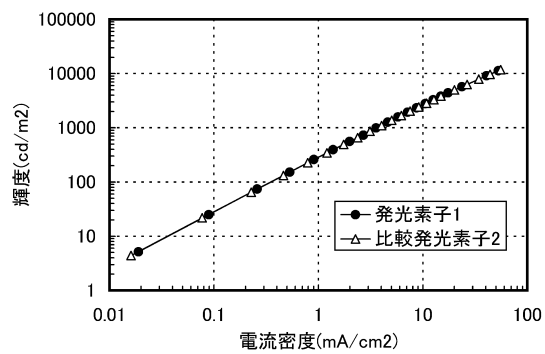
【図 5】



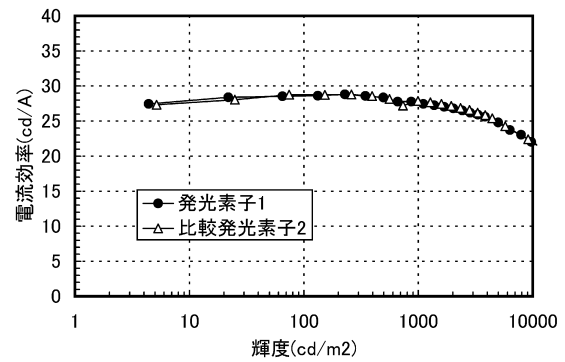
【図 6】



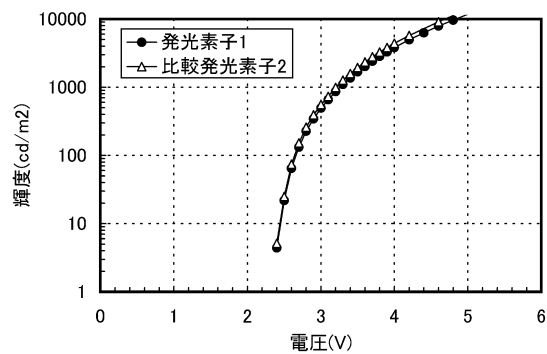
【図 7】



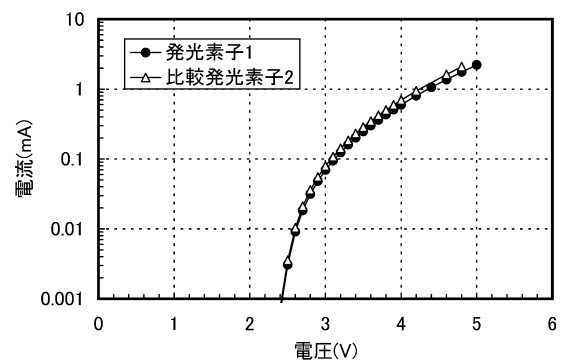
【図 9】



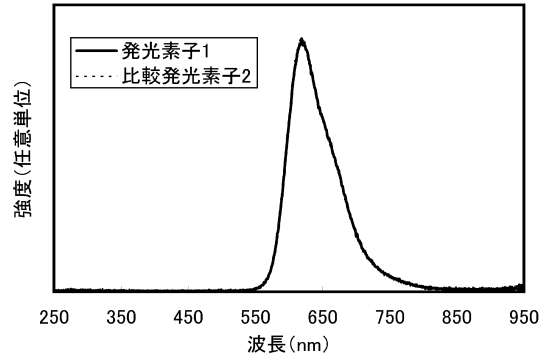
【図 8】



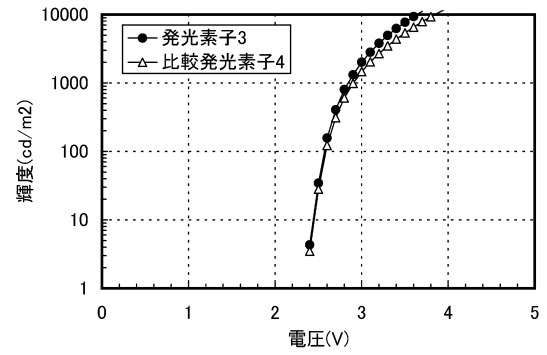
【図 10】



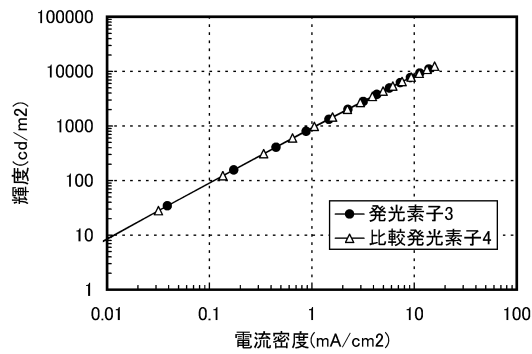
【図 1 1】



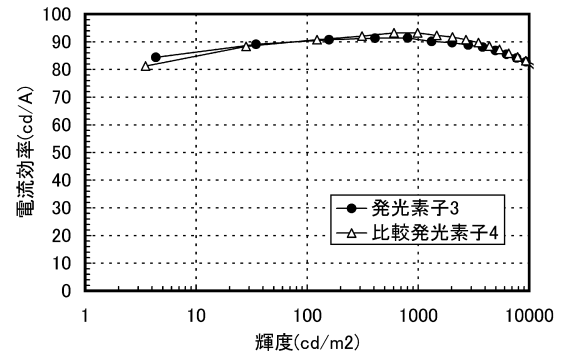
【図 1 3】



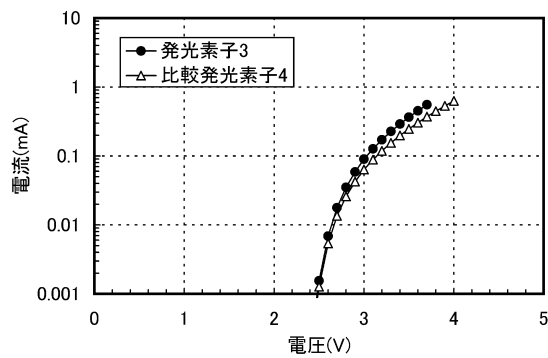
【図 1 2】



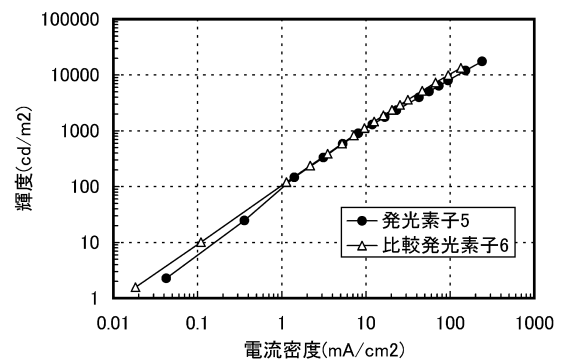
【図 1 4】



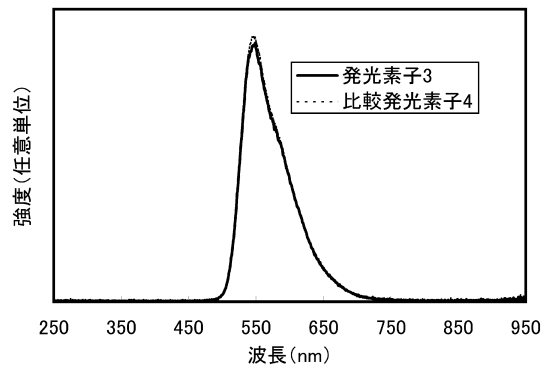
【図 1 5】



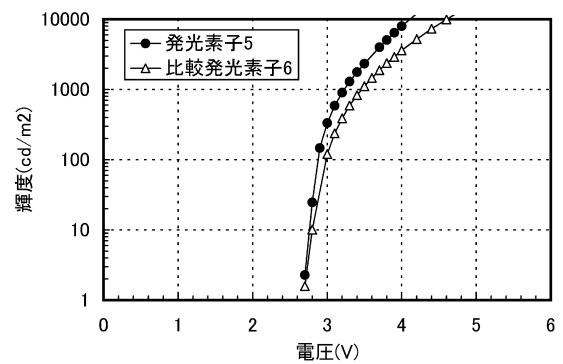
【図 1 7】



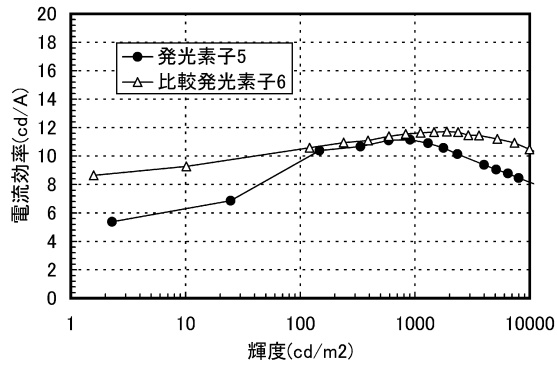
【図 1 6】



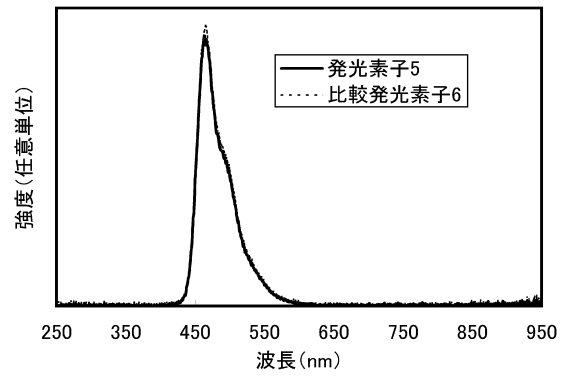
【図 1 8】



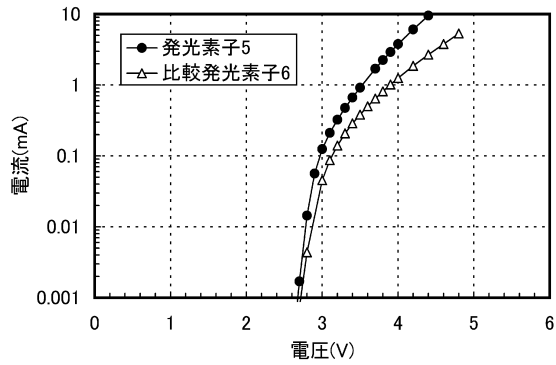
【図 19】



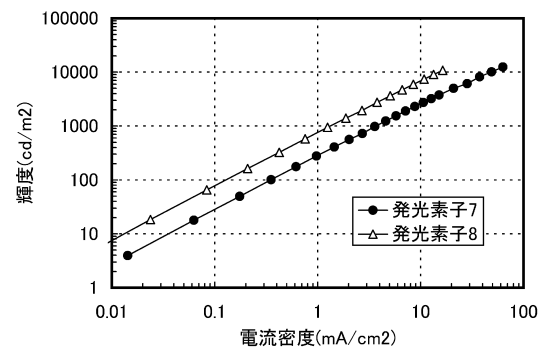
【図 21】



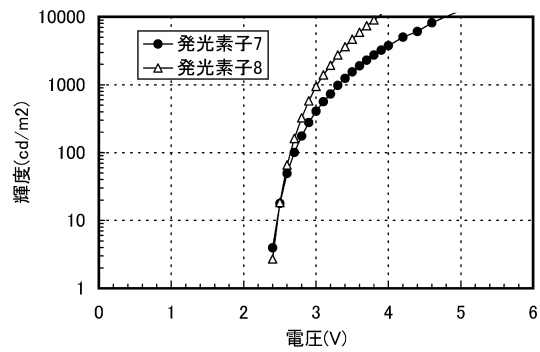
【図 20】



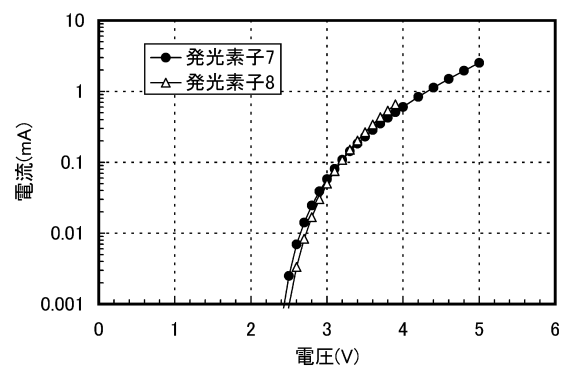
【図 22】



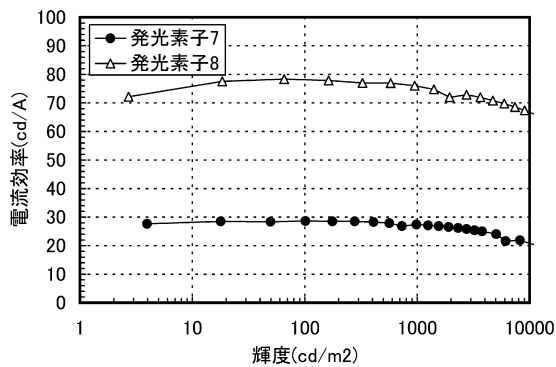
【図 23】



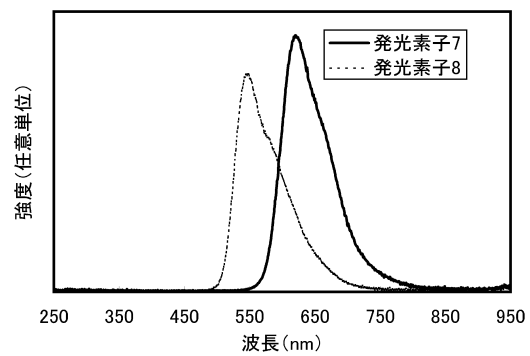
【図 25】



【図 24】

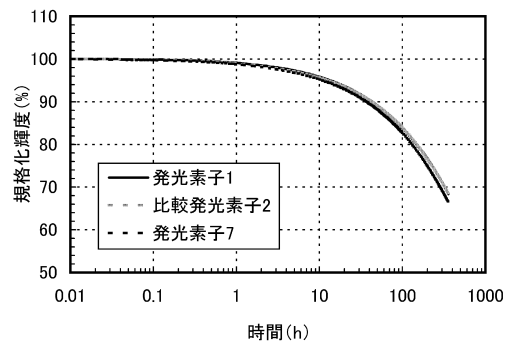


【図 26】

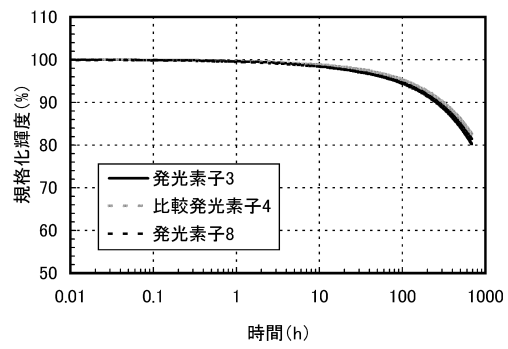


【図 27】

(A)



(B)



フロントページの続き

審査官 横川 美穂

- (56)参考文献 国際公開第2010/143434 (WO, A1)
特開2006-140434 (JP, A)
特開2012-238854 (JP, A)
国際公開第2012/008331 (WO, A1)
特開2012-186021 (JP, A)
特開2006-135295 (JP, A)
特開2006-128636 (JP, A)
特開2008-146904 (JP, A)

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