

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5982321号
(P5982321)

(45) 発行日 平成28年8月31日 (2016. 8. 31)

(24) 登録日 平成28年8月5日 (2016. 8. 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 33/22 D

請求項の数 9 (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2013-87112 (P2013-87112)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成25年4月18日 (2013. 4. 18)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2013-239704 (P2013-239704A)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地
(43) 公開日	平成25年11月28日 (2013. 11. 28)	(72) 発明者	瀬尾 広美
審査請求日	平成28年4月6日 (2016. 4. 6)		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2012-96887 (P2012-96887)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成24年4月20日 (2012. 4. 20)	(72) 発明者	瀬尾 哲史
(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
早期審査対象出願		(72) 発明者	下垣 智子
			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
		審査官	本田 博幸
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子、発光装置、電子機器、および照明装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一対の電極間に、正孔輸送層と、発光層と、を有し、
 前記発光層は、
 電子輸送性を有する第 1 の有機化合物と、
 正孔輸送性を有する第 2 の有機化合物と、
 三重項励起エネルギーを発光に変える第 3 の有機化合物と、を有し、
 前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、
 前記正孔輸送層は、第 4 の有機化合物と、第 5 の有機化合物と、を有し、
 前記第 4 の有機化合物の H O M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位以下であり、
 前記第 5 の有機化合物の H O M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位よりも高く、
前記励起錯体の発光スペクトルは、前記第 3 の有機化合物の吸収スペクトルと重なりを有する

ことを特徴とする発光素子。

【請求項 2】

一対の電極間に、正孔輸送層と、発光層と、を有し、
前記発光層は、

10

20

電子輸送性を有する第 1 の有機化合物と、
正孔輸送性を有する第 2 の有機化合物と、
三重項励起エネルギーを発光に変える第 3 の有機化合物と、を有し、
前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであ
り、

前記正孔輸送層は、第 4 の有機化合物と、第 5 の有機化合物と、を有し、
前記第 4 の有機化合物の HOMO 準位は、前記第 2 の有機化合物の HOMO 準位以下で
あり、

前記第 5 の有機化合物の HOMO 準位は、前記第 2 の有機化合物の HOMO 準位よりも
高く、

前記励起錯体から前記第 3 の有機化合物へエネルギー移動し、前記第 3 の有機化合物が
発光する

ことを特徴とする発光素子。

【請求項 3】

一对の電極間に、正孔注入層と、正孔輸送層と、発光層と、電子輸送層と、電子注入層
と、を有し、

前記発光層は、

電子輸送性を有する第 1 の有機化合物と、

正孔輸送性を有する第 2 の有機化合物と、

三重項励起エネルギーを発光に変える第 3 の有機化合物と、を有し、

前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであ
り、

前記正孔輸送層は、第 4 の有機化合物と、第 5 の有機化合物と、を有し、

前記第 4 の有機化合物の HOMO 準位は、前記第 2 の有機化合物の HOMO 準位以下で
あり、

前記第 5 の有機化合物の HOMO 準位は、前記第 2 の有機化合物の HOMO 準位よりも
高く、

前記励起錯体の発光スペクトルは、前記第 3 の有機化合物の吸収スペクトルと重なりを
有する

ことを特徴とする発光素子。

【請求項 4】

一对の電極間に、正孔注入層と、正孔輸送層と、発光層と、電子輸送層と、電子注入層
と、を有し、

前記発光層は、

電子輸送性を有する第 1 の有機化合物と、

正孔輸送性を有する第 2 の有機化合物と、

三重項励起エネルギーを発光に変える第 3 の有機化合物と、を有し、

前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであ
り、

前記正孔輸送層は、第 4 の有機化合物と、第 5 の有機化合物と、を有し、

前記第 4 の有機化合物の HOMO 準位は、前記第 2 の有機化合物の HOMO 準位以下で
あり、

前記第 5 の有機化合物の HOMO 準位は、前記第 2 の有機化合物の HOMO 準位よりも
高く、

前記励起錯体から前記第 3 の有機化合物へエネルギー移動し、前記第 3 の有機化合物が
発光する

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 のいずれか一において、

前記第 4 の有機化合物の T_1 準位は、前記第 1 の有機化合物の T_1 準位よりも高い

10

20

30

40

50

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 のいずれか一において、
前記第 4 の有機化合物の T_1 準位は、前記第 2 の有機化合物の T_1 準位よりも高い
ことを特徴とする発光素子。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一に記載の発光素子を有する発光装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の発光装置を有する電子機器。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の発光装置を有する照明装置。

【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有機化合物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体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、その素子特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（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2010 - 182699 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献 1 において報告されているように、素子構造の改良などは進んできてはいるものの、発光効率、信頼性、発光特性といった面での改善の余地が残されており、より優れた発光素子の開発が望まれている。

【0007】

そこで、本発明の一態様では、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とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様は、一对の電極間に正孔輸送層と、正孔輸送層上に形成された発光層と、を有し、発光層は、電子輸送性を有する第 1 の有機化合物と、正孔輸送性を有する第 2

10

20

30

40

50

の有機化合物と、三重項励起エネルギーを発光に変える発光性の第3の有機化合物と、を有し、第1の有機化合物と第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、正孔輸送層は、少なくとも第2の有機化合物のHOMO準位以下の第4の有機化合物と、第2の有機化合物よりもHOMO準位が高い第5の有機化合物を有することを特徴とする発光素子である。

【0009】

また、本発明の他の一態様は、一对の電極間に正孔注入層と、正孔注入層上に形成された正孔輸送層と、正孔輸送層上に形成された発光層と、発光層上に形成された電子輸送層と、電子輸送層上に形成された電子注入層と、を有し、発光層は、電子輸送性を有する第1の有機化合物と、正孔輸送性を有する第2の有機化合物と、三重項励起エネルギーを発光に変える発光性の第3の有機化合物と、を有し、第1の有機化合物と第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、正孔輸送層は、少なくとも第2の有機化合物のHOMO準位以下の第4の有機化合物と、第2の有機化合物よりもHOMO準位が高い第5の有機化合物を有することを特徴とする発光素子である。

【0010】

なお、上記各構成において、第1の有機化合物をホスト材料として用い、第2の有機化合物をアシスト材料として用い、第3の有機化合物をゲスト材料として用いると好ましい。すなわち、発光層における第3の有機化合物の質量分率（または体積分率）が、第1の有機化合物および第2の有機化合物のそれに比して少ないことが好ましい。

【0011】

また、上記各構成において、第1の有機化合物（ホスト材料）と第2の有機化合物（アシスト材料）により形成された励起錯体の発光波長は、第1の有機化合物（ホスト材料）と第2の有機化合物（アシスト材料）のそれぞれの発光波長（蛍光波長）に比べて、長波長側に存在するため、第1の有機化合物（ホスト材料）の蛍光スペクトルや第2の有機化合物（アシスト材料）の蛍光スペクトルを、より長波長側に位置する発光スペクトルに変換することができる。

【0012】

したがって、本発明の一態様である発光素子は、発光層において励起錯体を形成することにより、第1の有機化合物（ホスト材料）と第2の有機化合物（アシスト材料）それぞれの発光波長（蛍光波長）よりも長波長側に存在する励起錯体の発光スペクトルと、第3の有機化合物（ゲスト材料）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を行うことができ、エネルギー移動効率が高く、発光効率の高い発光素子を実現することができる。

【0013】

また、正孔輸送層において、該正孔輸送層は、少なくとも第2の有機化合物（アシスト材料）のHOMO準位以下の第4の有機化合物と、第2の有機化合物（アシスト材料）よりもHOMO準位が高い第5の有機化合物を有する。正孔輸送層の第4の有機化合物から、発光層の第2の有機化合物（アシスト材料）に正孔が注入されることによって、正孔が発光層の内部へ入りやすくなり、発光効率を高めることができる。また、正孔輸送層の第5の有機化合物は、第2の有機化合物（アシスト材料）よりもHOMO準位が高いため、発光層の駆動電圧（単に電圧ともいう）、とくに駆動開始電圧を低くすることができる。この効果は、正孔輸送層が2種類以上の上記有機化合物を有し、且つ上記HOMO準位の関係でのみ得られる効果である。

【0014】

また、上記各構成において、第4の有機化合物は、第1の有機化合物及び第2の有機化合物よりも最低三重項励起エネルギー準位（ T_1 準位）が高いと好ましい。このような構成にすることで、発光層の三重項励起エネルギーが正孔輸送層にまで拡散するのを抑制することができるため、素子の発光効率を高めることができる。なお、発光層の三重項励起エネルギーが正孔輸送層にまで拡散することを防ぐためには、正孔輸送層における第4の有機化合物の質量分率（または体積分率）は、20%以上（100%未満）であることが

好ましい。

【0015】

また、上記各構成において、第1の有機化合物（ホスト材料）が 不足型複素芳香族化合物であり、第2の有機化合物（アシスト材料）が 過剰型複素芳香族化合物または芳香族アミン化合物であり、第3の有機化合物（ゲスト材料）が燐光性化合物であると好ましい。

【0016】

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TAB（Tape Automated Bonding）テープもしくはTCP（Tape Carrier Package）が取り付けられたモジュール、TABテープや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。

【発明の効果】

【0017】

本発明の一態様である発光素子は、発光層において、励起錯体を形成することにより、第1の有機化合物（ホスト材料）と第2の有機化合物（アシスト材料）それぞれの発光波長（蛍光波長）よりも長波長側に存在する励起錯体の発光スペクトルと、第3の有機化合物（ゲスト材料）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を行うことができるため、エネルギー移動効率が高く、発光効率の高い発光素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の一態様の発光素子を説明する図。

【図2】本発明の一態様の概念を説明する図。

【図3】DBq（略称）一分子、TPA（略称）一分子、及びDBq（略称）とTPA（略称）の二量体のエネルギー準位を説明する図。

【図4】DBq（略称）一分子、TPA（略称）一分子、及びDBq（略称）とTPA（略称）の二量体のHOMO及びLUMOの分布を説明する図。

【図5】本発明の一態様の正孔輸送層と発光層のエネルギー準位の概念を説明する図。

【図6】本発明の一態様の発光素子を説明する図。

【図7】発光素子の構造について説明する図。

【図8】発光素子の構造について説明する図。

【図9】発光装置について説明する図。

【図10】電子機器について説明する図。

【図11】電子機器について説明する図。

【図12】照明器具について説明する図。

【図13】実施例における発光素子の構造について説明する図。

【図14】実施例1に示す発光素子の電流密度 - 輝度特性を示す図。

【図15】実施例1に示す発光素子の電圧 - 輝度特性を示す図。

【図16】実施例1に示す発光素子の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図17】実施例1に示す発光素子の電圧 - 電流特性を示す図。

【図18】実施例1に示す発光素子の発光スペクトルを示す図。

【図19】実施例1に示す発光素子の輝度 - パワー効率特性を示す図。

【図20】2mDBTPDBq - II（略称）の燐光発光スペクトルを示す図。

【図21】PCBA1BP（略称）の燐光発光スペクトルを示す図。

【図 2 2】B P A F L P (略称) の燐光発光スペクトルを示す図。

【発明を実施するための形態】

【0019】

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。

【0020】

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

【0021】

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。

【0022】

(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の素子構造について、図 1 を用いて説明する。

【0023】

20

図 1 に示す素子構造は、一对の電極 (第 1 の電極 101、第 2 の電極 103) 間に正孔輸送層 112 と、正孔輸送層 112 上に形成された発光層 113 と、を有し、発光層 113 は、電子輸送性を有する第 1 の有機化合物 120 と、正孔輸送性を有する第 2 の有機化合物 122 と、三重項励起エネルギーを発光に変える発光性の第 3 の有機化合物 124 と、を有し、第 1 の有機化合物 120 と第 2 の有機化合物 122 は、励起錯体を形成する組み合わせであり、正孔輸送層 112 は、少なくとも第 2 の有機化合物 122 の HOMO 準位以下の第 4 の有機化合物 126 と、第 2 の有機化合物 122 よりも HOMO 準位が高い第 5 の有機化合物 128 を有する。

【0024】

なお、図 1 において、第 1 の電極 101 と正孔輸送層 112 の間に設けられた領域には、正孔注入層や、正孔輸送層を必要に応じて形成することができる。また、図 1 において、第 2 の電極 103 と発光層 113 の間に設けられた領域には、電子注入層や電子輸送層を必要に応じて形成することができる。

30

【0025】

なお、第 1 の有機化合物 120 をホスト材料として用い、第 2 の有機化合物 122 をアシスト材料として用い、第 3 の有機化合物 124 をゲスト材料として用いるとよい。すなわち、発光層における第 3 の有機化合物の質量分率 (または体積分率) が、第 1 の有機化合物および第 2 の有機化合物のそれに比して少ないことが好ましい。以下の説明において、第 1 の有機化合物 120 をホスト材料、第 2 の有機化合物 122 をアシスト材料、第 3 の有機化合物 124 をゲスト材料として呼ぶ場合がある。

40

【0026】

第 1 の有機化合物 120 (ホスト材料) は、例えば $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する電子輸送性材料を用いることができる。また、第 2 の有機化合物 122 (アシスト材料) は、例えば $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する正孔輸送性材料を用いることができる。

【0027】

なお、上記構成において、第 1 の有機化合物 120 (ホスト材料) 及び第 2 の有機化合物 122 (アシスト材料) のそれぞれの最低三重項励起エネルギーの準位 (T_1 準位) は、第 3 の有機化合物 124 (ゲスト材料) の T_1 準位よりも高いことが好ましい。第 1 の有機化合物 120 (ホスト材料) 及び第 2 の有機化合物 122 (アシスト材料) の T_1 準

50

位が、第3の有機化合物124（ゲスト材料）の T_1 準位よりも低いと、発光に寄与する第3の有機化合物124（ゲスト材料）の三重項励起エネルギーを第1の有機化合物120（ホスト材料）及び第2の有機化合物122（アシスト材料）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。

【0028】

また、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）およびデクスター機構（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。

【0029】

しかしながら、ゲスト材料として、例えば燐光性化合物を用いた場合、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 T_1 準位が燐光性化合物の T_1 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 T_1 準位がゲスト材料として用いた燐光性化合物の T_1 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。

【0030】

そこで本発明においては、第1の有機化合物120、および第2の有機化合物122は、励起錯体（exciplex：エキサイプレックスとも言う）を形成する組み合わせである。励起錯体について、図2（A）、及び図2（B）を用いて以下説明を行う。

【0031】

図2（A）は、励起錯体の概念を示す模式図であり、第1の有機化合物120（又は第2の有機化合物122）の蛍光スペクトル、第1の有機化合物120（又は第2の有機化合物122）の燐光スペクトル、第3の有機化合物124の吸収スペクトル、及び励起錯体の発光スペクトルを表す。

【0032】

例えば、発光層113において、第1の有機化合物120（ホスト材料）の蛍光スペクトル及び第2の有機化合物122（アシスト材料）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第3の有機化合物124（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、第1の有機化合物120（ホスト材料）と第2の有機化合物122（アシスト材料）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（図2（A）参照）。

【0033】

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。

【0034】

したがって、形成された励起錯体の発光波長は、第1の有機化合物120（ホスト材料）と、第2の有機化合物122（アシスト材料）のそれぞれの発光波長（蛍光波長）に比べて、長波長側に存在することから、第1の有機化合物120（ホスト材料）の蛍光スペクトルや第2の有機化合物122（アシスト材料）の蛍光スペクトルを、より長波長側に

位置する発光スペクトルとすることができる。

【0035】

さらに、励起錯体は一重項励起エネルギーと三重項励起エネルギーの差が極めて小さいと考えられる。換言すれば、励起錯体の一重項状態からの発光スペクトルと三重項状態からの発光スペクトルは、極めて近接することになる。したがって、上述したように励起錯体の発光スペクトル（一般には、励起錯体の一重項状態からの発光スペクトル）を、第3の有機化合物124（ゲスト材料）の最も長波長側に位置する吸収帯に重なるよう設計した場合、励起錯体の三重項状態からの発光スペクトル（常温では観測されず、低温でも観測されない場合が多い）も、第3の有機化合物124（ゲスト材料）の最も長波長側に位置する吸収帯に重なることになる。つまり、一重項励起状態からのエネルギー移動だけでなく、三重項励起状態からのエネルギー移動の効率も高まり、結果的に、一重項・三重項の双方を効率よく発光させることができる。

10

【0036】

このように、本発明の一態様である発光素子は、発光層113において形成された励起錯体の発光スペクトルと、第3の有機化合物124（ゲスト材料）の吸収スペクトルとの重なりを利用して、エネルギー移動をするために、エネルギー移動効率が高い。

【0037】

また、励起錯体は励起状態でのみ存在するため、エネルギーを吸収できる基底状態が存在しない。したがって、第3の有機化合物124（ゲスト材料）の一重項励起状態及び三重項励起状態から励起錯体へのエネルギー移動により第3の有機化合物124（ゲスト材料）が発光する前に失活する（すなわち発光効率を損なう）という現象は、原理的に生じないと考えられる。

20

【0038】

なお、上述した励起錯体は、励起状態における異種分子間の相互作用によって形成される。また、励起錯体は、比較的低いLUMO（LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital、最低空分子軌道）準位をもつ材料と、高いHOMO（HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital、最高被占有軌道）準位をもつ材料との間で形成しやすいことが一般に知られている。

【0039】

ここで、第1の有機化合物120、第2の有機化合物122、及び励起錯体のエネルギー準位の概念について、図2（B）を用いて説明を行う。なお、図2（B）は、第1の有機化合物120、第2の有機化合物122、及び励起錯体のエネルギー準位を模式的に示した図である。

30

【0040】

第1の有機化合物120（ホスト材料）と、第2の有機化合物122（アシスト材料）のHOMO準位及びLUMO準位は、それぞれ異なる。具体的には、第1の有機化合物120のHOMO準位<第2の有機化合物122のHOMO準位<第1の有機化合物120のLUMO準位<第2の有機化合物122のLUMO準位という順でエネルギー準位が異なる。そして、この2つの有機化合物により励起錯体が形成された場合、励起錯体のLUMO準位は、第1の有機化合物120（ホスト材料）に由来し、HOMO準位は、第2の有機化合物122（アシスト材料）に由来する（図2（B）参照）。

40

【0041】

また、励起錯体の発光波長は、HOMO準位とLUMO準位間のエネルギー差に依存する。大まかな傾向として、エネルギー差が大きいと発光波長は短くなり、エネルギー差が小さいと発光波長は長くなる。

【0042】

したがって、励起錯体のエネルギー差は、第1の有機化合物120（ホスト材料）のエネルギー差、及び第2の有機化合物122（アシスト材料）のエネルギー差よりも小さくなる。つまり、第1の有機化合物120と第2の有機化合物122のそれぞれの発光波長

50

に比べて、励起錯体の発光波長は長波長となる。

【0043】

ここで、実際に励起錯体がこのような特性を有しているかどうかに関し、分子軌道計算を用いて検証した。一般に、複素芳香族化合物と芳香族アミンとの組み合わせは、芳香族アミンのLUMO準位に比べて低い複素芳香族化合物のLUMO準位（電子が入りやすい性質）と、複素芳香族化合物のHOMO準位に比べて高い芳香族アミンのHOMO準位（ホールが入りやすい性質）の影響で、励起錯体を形成することが多い。そこで、本発明の一態様における第1の有機化合物120のモデルとして複素芳香族化合物のLUMOを構成する代表的な骨格のジベンゾ[f, h]キノキサリン（略称：DBq）を用い、本発明の一態様における第2の有機化合物122のモデルとして芳香族アミンのHOMOを構成する代表的な骨格のトリフェニルアミン（略称：TPA）を用い、これらを組み合わせて計算を行った。

10

【0044】

まず、DBq（略称）一分子とTPA（略称）一分子の最低励起一重項状態（ S_1 ）と最低励起三重項状態（ T_1 ）における最適分子構造及び励起エネルギーを、時間依存密度汎関数法（TD-DFT）を用いて計算した。さらに、DBq（略称）とTPA（略称）の二量体についても励起エネルギーを計算した。

【0045】

DFT（密度汎関数法）の全エネルギーはポテンシャルエネルギー、電子間静電エネルギー、電子の運動エネルギー、及び、複雑な電子間の相互作用を全て含む交換相関エネルギーの和で表される。DFTでは、交換相関相互作用を電子密度で表現された一電子ポテンシャルの汎関数（関数の関数の意）で近似しているため、計算は高速かつ高精度である。ここでは、混合汎関数であるB3LYPを用いて、交換と相関エネルギーに係る各パラメータの重みを規定した。

20

【0046】

また、基底関数として、6-311（それぞれの原子価軌道に三つの短縮関数を用いたtriple split valence基底系の基底関数）を全ての原子に適用した。

【0047】

上述の基底関数により、例えば、水素原子であれば、1s～3sの軌道が考慮され、また、炭素原子であれば、1s～4s、2p～4pの軌道が考慮されることになる。さらに、計算精度向上のため、分極基底系として、水素原子にはp関数を、水素原子以外にはd関数を加えた。

30

【0048】

なお、量子化学計算プログラムとしては、Gaussian 09を使用した。計算は、ハイパフォーマンスコンピュータ（SGI社製、Altix 4700）を用いて行った。

【0049】

まず、DBq（略称）一分子、TPA（略称）一分子、及びDBq（略称）とTPA（略称）の二量体に関し、HOMO準位及びLUMO準位を算出した。HOMO準位及びLUMO準位を図3に示す。

40

【0050】

図3に示すように、DBq（略称）とTPA（略称）の二量体は、TPA（略称）のLUMO準位に比べて低いDBq（略称）のLUMO準位（ -1.99 eV ）と、DBq（略称）のHOMO準位に比べて高いTPA（略称）のHOMO準位（ -5.21 eV ）との影響で、DBq（略称）とTPA（略称）の励起錯体を形成することが示唆される。

【0051】

次に、DBq（略称）一分子、TPA（略称）一分子、及びDBq（略称）とTPA（略称）の二量体のHOMO及びLUMOの分布を図4に示す。

【0052】

50

なお、図4(A)はDBq(略称)一分子のLUMOの分布を示し、図4(B)はDBq(略称)一分子のHOMOの分布を示し、図4(C)はTPA(略称)一分子のLUMOの分布を示し、図4(D)はTPA(略称)一分子のHOMOの分布を示し、図4(E)はDBq(略称)とTPA(略称)の二量体のLUMOの分布を示し、図4(F)はDBq(略称)とTPA(略称)の二量体のHOMOの分布を、それぞれ示している。

【0053】

図4(E)及び図4(F)に示すように、DBq(略称)とTPA(略称)の二量体のLUMOはDBq(略称)側に、HOMOはTPA(略称)側に分布し、図3に示す結果を示唆している。

【0054】

また、本発明の一態様における励起錯体の形成過程には、以下の2つの過程が考えられる。

【0055】

1つ目の励起錯体の形成過程は、第1の有機化合物120(ホスト材料)及び第2の有機化合物122(アシスト材料)がキャリアを持った状態(カチオンまたはアニオン)から、励起錯体を形成する形成過程である。

【0056】

一般的には、電子及び正孔がホスト材料中で再結合した場合、励起状態のホスト材料からゲスト材料に励起エネルギーが移動し、ゲスト材料が励起状態に至り、発光するが、ホスト材料からゲスト材料に励起エネルギーが移動する前に、ホスト材料自体が発光する、または励起エネルギーが熱エネルギーとなることで、励起エネルギーの一部を失活してしまう。

【0057】

しかし、本発明の一態様においては、第1の有機化合物120(ホスト材料)及び第2の有機化合物122(アシスト材料)がキャリアを持った状態(カチオンまたはアニオン)から励起錯体を形成するため、第1の有機化合物120(ホスト材料)の一重項励起子の形成を抑制することができる。つまり、一重項励起子を形成することなく、直接励起錯体を形成する過程が存在しうる。これにより、上記一重項励起エネルギーの失活も抑制することができる。したがって、寿命が長い発光素子を実現することができる。

【0058】

例えば、第1の有機化合物120が、電子輸送性材料の中でも電子(キャリア)を捕獲しやすい性質を有する(LUMO準位の低い)電子トラップ性の化合物であり、第2の有機化合物122が、正孔輸送性の材料の中でも正孔(キャリア)を捕獲しやすい性質を有する(HOMO準位の高い)正孔トラップ性の化合物である場合には、第1の有機化合物120のアニオンと第2の有機化合物122のカチオンから、直接励起錯体が形成されることになる。このような過程で形成される励起錯体のことを特にエレクトロプレックス(electroplex)と呼ぶこととする。

【0059】

このようにして第1の有機化合物120(ホスト材料)の一重項励起状態の発生を抑制し、エレクトロプレックスから第3の有機化合物124(ゲスト材料)にエネルギー移動を行うことにより、発光効率が高い発光素子が得られる。なお、この場合、第1の有機化合物120(ホスト材料)の三重項励起状態の発生も同様に抑制され、直接励起錯体が形成されるため、励起錯体から第3の有機化合物124(ゲスト材料)にエネルギー移動すると考えられる。

【0060】

2つ目の励起錯体の形成過程は、第1の有機化合物120(ホスト材料)及び第2の有機化合物122(アシスト材料)の一方が一重項励起子を形成した後、基底状態の他方と相互作用して励起錯体を形成する素過程である。エレクトロプレックスとは異なり、この場合は一旦、第1の有機化合物120(ホスト材料)または第2の有機化合物122(アシスト材料)の一重項励起状態が生成してしまうが、これは速やかに励起錯体に変換され

10

20

30

40

50

るため、やはり一重項励起エネルギーの失活を抑制することができる。したがって、第1の有機化合物120または第2の有機化合物122が励起エネルギーを失活することを抑制することができる。なお、この場合、第1の有機化合物120（ホスト材料）の三重項励起状態も同様に、速やかに励起錯体に変換され、励起錯体から第3の有機化合物124（ゲスト材料）にエネルギー移動すると考えられる。

【0061】

なお、第1の有機化合物120（ホスト材料）が電子トラップ性の化合物であり、一方で第2の有機化合物122（アシスト材料）が正孔トラップ性の化合物であり、これら化合物のHOMO準位の差、及びLUMO準位の差が大きい場合（具体的には差が0.3 eV以上）、電子は選択的に第1の有機化合物120（ホスト材料）に入り、正孔は選択的に第2の有機化合物122（アシスト材料）に入る。この場合、一重項励起子を経て励起錯体が形成される過程よりも、エレクトロプレックスが形成される過程の方が優先されると考えられる。

10

【0062】

次に、励起エネルギーの計算結果を示す。DBq（略称）一分子の S_1 の励起エネルギーは、3.294 eVであり、蛍光波長は、376.4 nmであった。また、DBq（略称）一分子の T_1 の励起エネルギーは、2.460 eVであり、燐光波長は、504.1 nmであった。一方、TPA（略称）一分子の S_1 の励起エネルギーは、3.508 eVであり、蛍光波長は、353.4 nmであった。また、TPA（略称）一分子の T_1 の励起エネルギーは、2.610 eVであり、燐光波長は、474.7 nmであった。

20

【0063】

ここで、DBq（略称）とTPA（略称）の二量体の S_1 と T_1 における最適分子構造から得られた励起エネルギーを示す。DBq（略称）とTPA（略称）の二量体の S_1 の励起エネルギーは、2.036 eVであり、蛍光波長は、609.1 nmであった。また、DBq（略称）とTPA（略称）の二量体の T_1 の励起エネルギーは、2.030 eVであり、燐光波長は、610.0 nmであった。

【0064】

以上のことから、DBq（略称）とTPA（略称）の二量体の蛍光波長は、DBq（略称）一分子やTPA（略称）一分子の蛍光波長に比べ、より長波長側に存在することがわかる。そして、DBq（略称）とTPA（略称）の二量体の蛍光波長と燐光波長の差はわずか0.9 nmであり、ほぼ同じ波長であることがわかる。

30

【0065】

この結果から、励起錯体は一重項励起エネルギーと三重項励起エネルギーをほぼ同じエネルギーに集約することができると言える。したがって、上述したように、励起錯体はその一重項状態、及び三重項状態の双方から、燐光性化合物に対して効率よくエネルギー移動できることが示唆された。

【0066】

このような効果は、励起錯体をエネルギー移動の媒体に用いることによる特異な効果である。一般的には、ホスト材料の一重項励起状態あるいは三重項励起状態から、燐光性化合物へのエネルギー移動が考慮されている。一方、本発明の一態様では、ホスト材料と他の材料との励起錯体をまず形成させ、その励起錯体からのエネルギー移動を用いている点で従来と大きく異なる。そして、この相違点により、従来にない高い発光効率が得られているのである。

40

【0067】

なお、一般に、励起錯体を発光素子の発光層に用いると、発光色を制御できるなどの利用価値はあるものの、発光効率は大きく低下するのが常である。したがって、励起錯体を用いた発光素子は、高効率な発光素子を得るには適さないと従来は考えられてきた。しかしながら、本発明の一態様で示すように、励起錯体をエネルギー移動の媒体に用いることで、逆に極限まで発光効率を高めることができることを本発明者等は見出した。これは、従来の固定概念とは相反する技術思想である。

50

【 0 0 6 8 】

なお、励起錯体の発光スペクトルと第3の有機化合物124（ゲスト材料）の吸収スペクトルを十分に重ねるためには、発光スペクトルのピークのエネルギー値と、吸収スペクトルの最も低エネルギー側の吸収帯のピークのエネルギー値との差が0.3 eV以内であることが好ましい。より好ましくは0.2 eV以内であり、最も好ましいのは0.1 eV以内である。

【 0 0 6 9 】

また、本発明の一態様である発光素子において、励起錯体の励起エネルギーは第3の有機化合物124（ゲスト材料）に十分にエネルギー移動し、励起錯体からの発光は実質的に観察されないことが好ましい。したがって、励起錯体を介して第3の有機化合物124（ゲスト材料）にエネルギーを移動して、第3の有機化合物124が、燐光を発することが好ましい。なお、第3の有機化合物124としては、三重項励起エネルギーを発光に変える発光性の材料であればよく、特に燐光性化合物であることが好ましい。

10

【 0 0 7 0 】

次に、本発明の一態様である正孔輸送層112と発光層113のエネルギー準位の概念について、図5（A）、図5（B）、及び図5（C）を用いて説明を行う。なお、図5（A）、図5（B）、及び図5（C）は、正孔輸送層112（正孔輸送層112a、112b、112c）と発光層113のエネルギー準位を模式的に示した図である。

【 0 0 7 1 】

なお、図5（A）、図5（B）、及び図5（C）に示す発光層113は、上記説明した励起錯体を形成する第1の有機化合物120と第2の有機化合物122との組み合わせである。

20

【 0 0 7 2 】

図5（A）に示す正孔輸送層112aのエネルギー準位は、第2の有機化合物122（アシスト材料）よりも T_1 準位が高く、且つ第2の有機化合物122（アシスト材料）よりもHOMO準位が低い1種類の有機化合物により正孔輸送層112aを形成する構成について、例示している。

【 0 0 7 3 】

図5（A）に示す構成の場合、励起錯体を形成する発光層113のHOMO準位よりも正孔輸送層112aのHOMO準位が低いため、正孔輸送層112aから発光層113のより内部へ正孔が入りやすくなり、発光層113の発光効率を高めることができる。一方、駆動開始電圧は、図5（A）に示す E_1 （励起錯体を形成する発光層113のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差）のエネルギーによって決定され、そのエネルギーに相当する電圧よりも低くすることはできない。例えば、 E_1 が2 eVであれば、駆動開始電圧を2 Vよりも低くすることはできない。図5（A）に示す構成の場合、 E_1 のエネルギーに比べ、 E_{2a} （励起錯体を形成する発光層113のLUMO準位と正孔輸送層112aのHOMO準位とのエネルギー差）のエネルギーの方が大きいためである。

30

【 0 0 7 4 】

次に、図5（B）に示す正孔輸送層112bのエネルギー準位は、第2の有機化合物122（アシスト材料）よりも T_1 準位が高く、且つ第2の有機化合物122（アシスト材料）よりもHOMO準位が高い1種類の有機化合物により正孔輸送層112bを形成する構成について、例示している。

40

【 0 0 7 5 】

図5（B）に示す構成の場合、励起錯体を形成する発光層113のHOMO準位よりも正孔輸送層112bのHOMO準位が高いため、駆動電圧（特に、駆動開始電圧）は、正孔輸送層112bのHOMO準位に影響される。具体的には、図5（B）に示す E_{2b} （励起錯体を形成する発光層113のLUMO準位と正孔輸送層112bのHOMO準位とのエネルギー差）のエネルギーによって、駆動開始電圧が決定される。したがって、図5（B）に示す構成の場合、 E_1 （励起錯体を形成する発光層113のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差）のエネルギーよりも E_{2b} のエネルギーが小さいため、駆動

50

開始電圧を低くすることができる。しかしながら、正孔輸送層 1 1 2 b から発光層 1 1 3 へ正孔が移動しづらく、特に高輝度（実用輝度）領域で発光効率が低下してしまう。

【 0 0 7 6 】

次に、図 5（C）に示す正孔輸送層 1 1 2 c のエネルギー準位は、本発明の一態様の概念を表しており、少なくとも第 2 の有機化合物 1 2 2（アシスト材料）の HOMO 準位以下の第 4 の有機化合物 1 2 6 と、第 2 の有機化合物 1 2 2（アシスト材料）よりも HOMO 準位が高い第 5 の有機化合物 1 2 8 を有する正孔輸送層 1 1 2 c を形成する構成について、例示している。

【 0 0 7 7 】

図 5（C）に示す構成の場合、正孔輸送層 1 1 2 c の HOMO 準位は、第 4 の有機化合物 1 2 6 の影響により、第 2 の有機化合物 1 2 2（アシスト材料）の HOMO 準位以下とすることができる。したがって、正孔輸送層 1 1 2 c から発光層 1 1 3 のより内部へ正孔が入りやすくなり、発光層 1 1 3 の発光効率を高めることができる。また、駆動電圧（特に、駆動開始電圧）は、正孔輸送層 1 1 2 c の HOMO 準位に影響される。正孔輸送層 1 1 2 c は、第 5 の有機化合物 1 2 8 の影響により HOMO 準位が決定される。また、正孔輸送層 1 1 2 c は、第 4 の有機化合物 1 2 6 の影響より LUMO 準位が決定される。図 5（C）に示す E_{2c} （励起錯体を形成する発光層 1 1 3 の LUMO 準位と第 5 の有機化合物 1 2 8 の HOMO 準位とのエネルギー差）のエネルギーによって、駆動開始電圧が決定される。したがって、図 5（C）に示す構成の場合、 E_1 （励起錯体を形成する発光層 1 1 3 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差）のエネルギーよりも E_{2c} のエネルギーが小さいため、駆動開始電圧を低くすることができる。

【 0 0 7 8 】

図 5（C）に示す構成とすることで、発光層 1 1 3 の発光エネルギーよりも低い電気エネルギーで再結合電流を流すことが可能となる。一般には、駆動開始電圧は発光層 1 1 3 の発光エネルギーに相当する電圧となり、それ以下の電圧で動作を開始することはないと考えられている。しかしながら本発明の一態様における駆動開始電圧は、正孔輸送層 1 1 2 c に含まれる第 5 の有機化合物 1 2 8 により決定されるため、従来常識であった駆動開始電圧よりも低くすることができる。また、駆動開始時には第 5 の有機化合物 1 2 8 が励起エネルギー形成に寄与しているため、発光効率は低いと考えられるが、駆動開始時はほとんど視認できない輝度であるため、実用上問題はない。実際、実用輝度領域（具体的には 1 cd/m^2 以上）では、第 4 の有機化合物 1 2 6 から発光層 1 1 3 への正孔注入が主となり、第 5 の有機化合物 1 2 8 は発光層 1 1 3 への正孔注入や励起状態に関与しにくくなるため、高い発光効率を得ることができる。

【 0 0 7 9 】

このように、本実施の形態に示す発光素子は、正孔輸送層 1 1 2 c において、正孔輸送層 1 1 2 c は、少なくとも第 2 の有機化合物 1 2 2（アシスト材料）の HOMO 準位以下の第 4 の有機化合物 1 2 6 と、第 2 の有機化合物 1 2 2（アシスト材料）よりも HOMO 準位が高い第 5 の有機化合物 1 2 8 を有する。正孔輸送層 1 1 2 c の第 4 の有機化合物 1 2 6 から、発光層 1 1 3 の第 2 の有機化合物 1 2 2（アシスト材料）に正孔が注入されることによって、発光効率を高めることができる。また、正孔輸送層 1 1 2 c の第 5 の有機化合物 1 2 8 は、第 2 の有機化合物 1 2 2（アシスト材料）よりも HOMO 準位が高いため、発光層の駆動電圧、とくに駆動開始電圧を低くすることができる。この効果は、正孔輸送層が 2 種類以上の上記有機化合物を有し、且つ上記 HOMO 準位の関係でのみ得られる効果である。

【 0 0 8 0 】

また、本発明の一態様である発光素子において、第 1 の有機化合物 1 2 0（ホスト材料）に燐光性化合物を用いると、第 1 の有機化合物 1 2 0 自体が発光しやすくなり、第 3 の有機化合物 1 2 4（ゲスト材料）にエネルギー移動されにくくなる。この場合、第 1 の有機化合物 1 2 0 が効率よく発光すればよいが、第 1 の有機化合物 1 2 0（ホスト材料）は濃度消光の問題が発生するため、高い発光効率を達成するのは困難である。したがって、

第1の有機化合物120（ホスト材料）、及び第2の有機化合物122（アシスト材料）の少なくとも一方が蛍光性化合物（すなわち、一重項励起状態から発光や熱失活が起こりやすい化合物）である場合が有効となる。したがって、第1の有機化合物120および第2の有機化合物122の少なくとも一方が蛍光性化合物であることが好ましい。

【0081】

以上のように、本実施の形態で示した発光素子は、励起錯体の発光スペクトルと第3の有機化合物（ゲスト材料）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、発光効率の高い発光素子を実現することができる。

【0082】

また、本実施の形態で示した発光素子は、発光層に用いる正孔輸送性を有する第2の有機化合物のHOMO準位以下の第4の有機化合物と、第2の有機化合物よりもHOMO準位が高い第5の有機化合物を、正孔輸送層に有する構成である。このような構成とすることで、発光素子の電流効率を高くし、且つ発光素子の電圧、特に駆動開始電圧を低くすることができる。

【0083】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

【0084】

（実施の形態2）

本実施の形態では、実施の形態1に示す発光素子の変形例について、図6を用いて説明する。なお、実施の形態1で示す発光素子と同様の機能を有する部分については、同様の符号を用い、その繰り返しの説明は省略する。

【0085】

本実施の形態に示す発光素子は、図6に示すように、一对の電極（第1の電極101、第2の電極103）間に正孔注入層111と、正孔注入層111上に形成された正孔輸送層112と、正孔輸送層112上に形成された発光層113と、発光層113上に形成された電子輸送層114と、電子輸送層114上に形成された電子注入層115と、を有し、発光層113は、電子輸送性を有する第1の有機化合物120と、正孔輸送性を有する第2の有機化合物122と、三重項励起エネルギーを発光に変える発光性の第3の有機化合物124と、を有し、第1の有機化合物120と第2の有機化合物122は、励起錯体を形成する組み合わせであり、正孔輸送層112は、少なくとも第2の有機化合物122のHOMO準位以下の第4の有機化合物126と、第2の有機化合物122よりもHOMO準位が高い第5の有機化合物128を有する。

【0086】

なお、発光層113において、第3の有機化合物124（ゲスト材料）を第1の有機化合物120（ホスト材料）及び第2の有機化合物122（アシスト材料）に分散させた構成とすることにより、発光層113の濃度が高いことによる濃度消光を抑制し、発光素子の発光効率を高めることができる。

【0087】

また、第1の有機化合物120（ホスト材料）、及び第2の有機化合物122（アシスト材料）は、励起錯体を形成する組み合わせである。

【0088】

以下に本実施の形態に示す発光素子を作製する上での具体例について説明する。

【0089】

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、ポリエーテルスルホ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

10

20

30

40

50

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。

【0090】

第1の電極101及び第2の電極103には、金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることができる。具体的には、酸化インジウム - 酸化スズ (ITO: Indium Tin Oxide)、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、酸化インジウム - 酸化亜鉛、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、金 (Au)、白金 (Pt)、ニッケル (Ni)、タングステン (W)、クロム (Cr)、モリブデン (Mo)、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、銅 (Cu)、パラジウム (Pd)、チタン (Ti) の他、元素周期表の第1族または第2族に属する元素、すなわちリチウム (Li) やセシウム (Cs) 等のアルカリ金属、およびマグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca)、ストロンチウム (Sr) 等のアルカリ土類金属、およびこれらを含む合金 (MgAg、AlLi)、ユウロピウム (Eu)、イッテルビウム (Yb) 等の希土類金属およびこれらを含む合金、その他グラフェン等を用いることができる。なお、第1の電極101及び第2の電極103は、例えばスパッタリング法や蒸着法 (真空蒸着法を含む) 等により形成することができる。なお、本実施の形態においては、第1の電極101を陽極として用い、第2の電極103を陰極として用いる。

【0091】

正孔注入層111及び正孔輸送層112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-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''-トリス(カルバゾール-9-イル)トリフェニルアミン (略称: TCTA)、4,4',4''-トリス(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-トリス[4-(N-カルバゾリル)フェニル]ベンゼン (略称: TCBP)、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。また、後述する正孔輸送性材料を用いることもできる。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。

【0092】

さらに、正孔注入層111及び正孔輸送層112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。

【0093】

また、正孔注入層111に用いることができるアクセプター性物質としては、遷移金属酸化物や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を挙げることができる。具体的には、酸化モリブデンが特に好ましい。

【 0 0 9 4 】

また、正孔輸送層 1 1 2 は、上述した物質の中から、第 2 の有機化合物 1 2 2 (アシスト材料) の H O M O 準位以下の第 4 の有機化合物 1 2 6 と、第 2 の有機化合物 1 2 2 (アシスト材料) よりも H O M O 準位が高い第 5 の有機化合物 1 2 8 に用いる物質を選択すればよい。なお、第 4 の有機化合物 1 2 6 と第 5 の有機化合物 1 2 8 に用いる物質は、上述した物質に限定されない。第 2 の有機化合物 1 2 2 (アシスト材料) に用いる物質により、実施者が適宜選択することができる。

【 0 0 9 5 】

また、発光層 1 1 3 は、第 1 の有機化合物 1 2 0 (ホスト材料)、第 2 の有機化合物 1 2 2 (アシスト材料)、及び第 3 の有機化合物 1 2 4 (ゲスト材料) を有している。

10

【 0 0 9 6 】

第 1 の有機化合物 1 2 0 (ホスト材料) としては、電子輸送性材料を用いることが好ましい。また、第 2 の有機化合物 1 2 2 (アシスト材料) としては、正孔輸送性材料を用いることが好ましい。また、第 3 の有機化合物 1 2 4 (ゲスト材料) としては、三重項励起エネルギーを発光に変える発光性材料が好ましい。

【 0 0 9 7 】

上記電子輸送性材料としては、含窒素複素芳香族化合物のような 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 - t e r t - ブチルフェニル) - 1 , 3 , 4 - オキサジアゾール (略称 : P B D) 、 3 - (4 - ビフェニル) - 4 - フェニル - 5 - (4 - t e r t - ブチルフェニル) - 1 , 2 , 4 - トリアゾール (略称 : T A Z) 、 1 , 3 - ビス [5 - (p - t e r t - 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 : O X D - 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] - 9 H - カルバゾール (略称 : C O 1 1) 、 2 , 2 ' , 2 ' ' - (1 , 3 , 5 - ベンゼントリイル) トリス (1 - フェニル - 1 H - ベンゾイミダゾール) (略称 : T P B I) 、 2 - [3 - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) フェニル] - 1 - フェニル - 1 H - ベンゾイミダゾール (略称 : m D B T B I m - I I) 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 - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) フェニル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称 : 2 m D B T P D B q - I I) 、 2 - [3 ' - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) ビフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称 : 2 m D B T B P D B q - I I) 、 2 - [3 ' - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) ビフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称 : 2 m C z B P D B q) 、 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 , 6 m P n P 2 P m) 、 4 , 6 - ビス [3 - (4 - ジベンゾチエニル) フェニル] ピリミジン (略称 : 4 , 6 m D B T P 2 P m - I I) 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 [(3 - 9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] ピリジン (略称 : 3 5 D C z P P y) 、 1 , 3 , 5 - トリ [3 - (3 - ピリジル) フェニル] ベンゼン (略称 : T m P y P B) 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。

20

30

40

【 0 0 9 8 】

また、上記正孔輸送性材料としては、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 : N P B) 、 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 : T P D) 、 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 : B S P B) 、 4 - フェニ

50

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: BPALP)、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: mBPALP)、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(ジベンゾチオフェン) (略称: DBT3P - III)、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]ジベンゾチオフェン (略称: DBTFLP - III)、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ェン (略称: DBTFLP - IV)などのチオフェ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 - III)、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 - III)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。

【0099】

なお、これらの電子輸送性材料および正孔輸送性材料は、青色の領域に吸収スペクトルを有さないことが好ましい。具体的には、吸収スペクトルの吸収端が440nm以下であることが好ましい。

【0100】

一方、三重項励起エネルギーを発光に変える発光性材料としては、例えば、燐光性材料や熱活性化遅延蛍光を示す熱活性化遅延蛍光(TADF)材料が挙げられる。

【0101】

燐光性材料として、例えば440nm~520nmに発光のピークを有する燐光性材料としては、トリス{2 - [5 - (2 - メチルフェニル) - 4 - (2, 6 - ジメチルフェニル) - 4H - 1, 2, 4 - トリアゾール - 3 - イル - N²]フェニル - C}イリジウム(III) (略称: Ir(mppztz - dmp)₃)、トリス(5 - メチル - 3, 4 - ジフェニル - 4H - 1, 2, 4 - トリアゾラト)イリジウム(III) (略称: [Ir(Mpztz)₃])、トリス[4 - (3 - ビフェニル) - 5 - イソプロピル - 3 - フェニル - 4H - 1, 2, 4 - トリアゾラト]イリジウム(III) (略称: Ir(iPrptz - 3b)₃)のような4H - トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス[3 - メチル - 1 - (2 - メチルフェニル) - 5 - フェニル - 1H - 1, 2, 4 - トリアゾラト]イリジウム(III) (略称: [Ir(Mpztz1 - mp)₃])、トリス(1 - メチル - 5 - フェニル - 3 - プロピル - 1H - 1, 2, 4 - トリアゾラト)イリジウム(III) (略称: Ir(Prptz1 - Me)₃)のような1H - トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、fac - トリス[1 - (2, 6 - ジイソプロピルフェニル) - 2 - フェニル - 1H - イミダゾール]イリジウム(III) (略称: Ir(iPrpmi)₃)、トリス[3 - (2, 6 - ジメチルフェニル) - 7 - メチルイミダゾ]

1, 2 - f] フェナントリジナト] イリジウム (III) (略称: Ir (dmp impt - Me)₃) のようなイミダゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、ビス [2 - (4', 6' - ジフルオロフェニル) ピリジナト - N, C^{2'}] イリジウム (III) テトラキス (1 - ピラゾリル) ボラート (略称: FIr6)、ビス [2 - (4', 6' - ジフルオロフェニル) ピリジナト - N, C^{2'}] イリジウム (III) ピコリナート (略称: FIrpic)、ビス {2 - [3', 5' - ビス (トリフルオロメチル) フェニル] ピリジナト - N, C^{2'}} イリジウム (III) ピコリナート (略称: Ir (CF₃ppy)₂ (pic))、ビス [2 - (4', 6' - ジフルオロフェニル) ピリジナト - N, C^{2'}] イリジウム (III) アセチルアセトナート (略称: FIr (acac)) のような電子吸引基を有するフェニルピリジン誘導体を配位子と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、4H - トリアゾール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優れるため、特に好ましい。

10

【0102】

また、例えば 520 nm ~ 600 nm に発光のピークを有する燐光性材料としては、トリス (4 - メチル - 6 - フェニルピリミジナト) イリジウム (III) (略称: Ir (mp pm)₃)、トリス (4 - t - ブチル - 6 - フェニルピリミジナト) イリジウム (III) (略称: Ir (tBup pm)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 (III) (略称: Ir (mp pm)₂ (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 (III) (略称: Ir (tBup pm)₂ (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 (III) (endo -, exo - 混合物) (略称: Ir (nb ppm)₂ (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 (III) (略称: Ir (mp mpp pm)₂ (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 (III) (略称: Ir (dpp pm)₂ (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 (III) (略称: Ir (mp pr - Me)₂ (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 (III) (略称: Ir (mp pr - iPr)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 (2 - フェニルピリジナト - N, C^{2'}) イリジウム (III) (略称: Ir (ppy)₃)、ビス (2 - フェニルピリジナト - N, C^{2'}) イリジウム (III) アセチルアセトナート (略称: Ir (ppy)₂ acac)、ビス (ベンゾ [h] キノリナト) イリジウム (III) アセチルアセトナート (略称: Ir (bzq)₂ (acac))、トリス (ベンゾ [h] キノリナト) イリジウム (III) (略称: Ir (bzq)₃)、トリス (2 - フェニルキノリナト - N, C^{2'}) イリジウム (III) (略称: Ir (pq)₃)、ビス (2 - フェニルキノリナト - N, C^{2'}) イリジウム (III) アセチルアセトナート (略称: Ir (pq)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の他、トリス (アセチルアセトナト) (モノフェナントロリン) テルビウム (III) (略称: Tb (acac)₃ (Phen)) のような希土類金属錯体が挙げられる。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。

20

30

40

【0103】

また、例えば 600 nm ~ 700 nm に発光のピークを有する燐光性材料としては、ビス [4, 6 - ビス (3 - メチルフェニル) ピリミジナト] (ジイソブチリルメタナト) イリジウム (III) (略称: Ir (5md ppm)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 (5md ppm)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 (d1

50

n p m)₂ (d p m)) 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や、(アセチルアセトナト)ピス(2, 3, 5 - トリフェニルピラジナト)イリジウム(I I I) (略称: I r (t p p r)₂ (a c a c))、ピス(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(I I I) (略称: I r (t p p r)₂ (d p m))、(アセチルアセトナト)ピス[2, 3 - ピス(4 - フルオロフェニル)キノキサリナト]イリジウム(I I I) (略称: I r (F d p q)₂ (a c a c)) 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(I I I) (略称: I r (p i q)₃)、ピス(1 - フェニルイソキノリナト - N, C^{2'})イリジウム(I I I) アセチルアセトナト(略称: I r (p i q)₂ a c a c) 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の他、2, 3, 7, 8, 12, 13, 17, 18 - オクタエチル - 21H, 23H - ポルフィリン白金(I I) (略称: P t O E P) のような白金錯体や、トリス(1, 3 - ジフェニル - 1, 3 - プロパンジオナト)(モノフェナントロリン)ユーロピウム(I I I) (略称: E u (D B M)₃ (P h e n))、トリス[1 - (2 - テノイル) - 3, 3, 3 - トリフルオロアセトナト](モノフェナントロリン)ユーロピウム(I I I) (略称: E u (T T A)₃ (P h e n)) のような希土類金属錯体が挙げられる。上述した中でも、ピリ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。

10

【0104】

20

なお、TADF材料における遅延蛍光とは、通常の蛍光と同様のスペクトルを持ちながら、寿命が著しく長い発光をいう。その寿命は、 10^{-6} 秒以上、好ましくは 10^{-3} 秒以上である。TADF材料として、具体的には、フラーレンやその誘導体、プロフラビン等のアクリジン誘導体、エオシン等が挙げられる。また、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)、スズ(Sn)、白金(Pt)、インジウム(In)、もしくはパラジウム(Pd)等を含む金属含有ポルフィリンが挙げられる。該金属含有ポルフィリンとしては、例えば、プロトポルフィリン - フッ化スズ錯体(SnF₂(Proto IX))、メソポルフィリン - フッ化スズ錯体(SnF₂(Meso IX))、ヘマトポルフィリン - フッ化スズ錯体(SnF₂(Hemato IX))、コプロポルフィリンテトラメチルエステル - フッ化スズ錯体(SnF₂(Copro III - 4Me))、オクタエチルポルフィリン - フッ化スズ錯体(SnF₂(OEP))、エチオポルフィリン - フッ化スズ錯体(SnF₂(Etio I))、オクタエチルポルフィリン - 塩化白金錯体(PtCl₂(OEP))等が挙げられる。さらに、2 - ビフェニル - 4, 6 - ピス(12 - フェニルインドロ[2, 3 - a]カルバゾール - 11 - イル) - 1, 3, 5 - トリアジン(略称: PIC - TRZ)等の過剰型複素芳香環及び不足型複素芳香環を有する複素環化合物を用いることもできる。なお、過剰型複素芳香環と不足型複素芳香環とが直接結合した物質は、過剰型複素芳香環のドナー性と不足型複素芳香環のアクセプター性が共に強くなり、S₁とT₁のエネルギー差が小さくなるため、特に好ましい。

30

【0105】

40

ただし、上述した第1の有機化合物120(ホスト材料)、第2の有機化合物122(アシスト材料)、及び第3の有機化合物124(ゲスト材料)にそれぞれ用いることができる材料は、これらに限定されることなく、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3の有機化合物124(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3の有機化合物124(ゲスト材料)の吸収スペクトルのピークよりも長波長なものであればよい。

【0106】

また、第1の有機化合物120(ホスト材料)に電子輸送性材料を用い、第2の有機化合物122(アシスト材料)に正孔輸送性材料を用いる場合、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の有機化合物120:第2の有機

50

化合物 1 2 2 = 1 : 9 ~ 9 : 1 の範囲とするのが好ましい。

【 0 1 0 7 】

電子輸送層 1 1 4 は、電子輸送性の高い物質を含む層である。電子輸送層 1 1 4 には、上述した電子輸送性材料の他、トリス (8 - キノリノラト) アルミニウム (略称 : A l q₃)、トリス (4 - メチル - 8 - キノリノラト) アルミニウム (略称 : A l m q₃)、ビス (1 0 - ヒドロキシベンゾ [h] キノリナト) ベリリウム (略称 : B e B q₂)、B A l q、Z n (B O X)₂、ビス [2 - (2 - ヒドロキシフェニル) ベンゾチアゾラト] 亜鉛 (略称 : Z n (B T Z)₂) などの金属錯体を用いることができる。また、2 - (4 - ピフェニル) - 5 - (4 - t e r t - ブチルフェニル) - 1 , 3 , 4 - オキサジアゾール (略称 : P B D)、1 , 3 - ビス [5 - (p - t e r t - 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 : O X D - 7)、3 - (4 - t e r t - ブチルフェニル) - 4 - フェニル - 5 - (4 - ピフェニル) - 1 , 2 , 4 - トリアゾール (略称 : T A Z)、3 - (4 - t e r t - ブチルフェニル) - 4 - (4 - エチルフェニル) - 5 - (4 - ピフェニル) - 1 , 2 , 4 - トリアゾール (略称 : p - E t T A Z)、バソフェナントロリン (略称 : B P h e n)、バソキュプロイン (略称 : B C P)、4 , 4 ' - ビス (5 - メチルベンゾオキサゾール - 2 - イル) スチルベン (略称 : B z O s) などの複素芳香族化合物も用いることができる。また、ポリ (2 , 5 - ピリジン - ジイル) (略称 : P P y)、ポリ [(9 , 9 - ジヘキシルフルオレン - 2 , 7 - ジイル) - c o - (ピリジン - 3 , 5 - ジイル)] (略称 : P F - P y)、ポリ [(9 , 9 - ジオクチルフルオレン - 2 , 7 - ジイル) - c o - (2 , 2 ' - ビピリジン - 6 , 6 ' - ジイル)] (略称 : P F - B P y) のような高分子化合物を用いることもできる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する物質である。なお、正孔よりも電子の輸送性の高い物質であれば、上記以外の物質を電子輸送層 1 1 4 として用いてもよい。

【 0 1 0 8 】

また、電子輸送層 1 1 4 は、単層のものだけでなく、上記物質からなる層が 2 層以上積層したものとしてもよい。

【 0 1 0 9 】

電子注入層 1 1 5 は、電子注入性の高い物質を含む層である。電子注入層 1 1 5 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。また、上述した電子輸送層 1 1 4 を構成する物質を用いることもできる。

【 0 1 1 0 】

あるいは、電子注入層 1 1 5 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、具体的には、例えば上述した電子輸送層 1 1 4 を構成する物質 (金属錯体や複素芳香族化合物等) を用いることができる。電子供与体としては、有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、テトラチアフルバレン (略称 : T T F) 等の有機化合物を用いることもできる。

【 0 1 1 1 】

なお、上述した正孔注入層 1 1 1、正孔輸送層 1 1 2、発光層 1 1 3、電子輸送層 1 1 4、電子注入層 1 1 5 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。

【 0 1 1 2 】

また、上述した発光素子の発光層 1 1 3 で得られた発光は、第 1 の電極 1 0 1 及び第 2 の電極 1 0 3 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第 1 の電極 1 0 1 及び第 2 の電極 1 0 3 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。

【 0 1 1 3 】

以上のように、本実施の形態で示した発光素子は、励起錯体の発光スペクトルと第 3 の有機化合物（ゲスト材料）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、発光効率の高い発光素子を実現することができる。

10

【 0 1 1 4 】

また、本実施の形態で示した発光素子は、発光層に用いる正孔輸送性を有する第 2 の有機化合物の H O M O 準位以下の第 4 の有機化合物と、第 2 の有機化合物よりも H O M O 準位が高い第 5 の有機化合物を、正孔輸送層に有する構成である。このような構成とすることで、発光素子の電流効率を高くし、且つ発光素子の電圧、特に駆動開始電圧を低くすることができる。

【 0 1 1 5 】

また、本実施の形態で示した発光素子は、本発明の一態様であり、特に正孔輸送層及び発光層の構成に特徴を有する。したがって、本実施の形態で示した構成を適用することで、パッシブマトリクス型の発光装置やアクティブマトリクス型の発光装置などを作製することができる、これらは、いずれも本発明に含まれるものとする。

20

【 0 1 1 6 】

なお、アクティブマトリクス型の発光装置の場合において、T F T の構造は、特に限定されない。例えば、スタガ型や逆スタガ型の T F T を適宜用いることができる。また、T F T 基板に形成される駆動回路についても、N 型および P 型の T F T からなるものでもよいし、N 型の T F T または P 型の T F T のいずれか一方のみからなるものであってもよい。さらに、T F T に用いられる半導体膜の結晶性についても特に限定されない。例えば、非晶質半導体膜、結晶性半導体膜、その他、酸化物半導体膜等を用いることができる。

【 0 1 1 7 】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

30

【 0 1 1 8 】

（実施の形態 3）

本実施の形態では、本発明の一態様として、電荷発生層を挟んで発光層を複数有する構造の発光素子（以下、タンデム型発光素子という）について説明する。

【 0 1 1 9 】

本実施の形態に示す発光素子は、図 7（A）に示すように一対の電極（第 1 の電極 3 0 1 及び第 2 の電極 3 0 3）間に、複数の発光層（第 1 の発光層 3 1 1、第 2 の発光層 3 1 2）を有するタンデム型発光素子である。

40

【 0 1 2 0 】

本実施の形態において、第 1 の電極 3 0 1 は、陽極として機能する電極であり、第 2 の電極 3 0 3 は陰極として機能する電極である。なお、第 1 の電極 3 0 1 及び第 2 の電極 3 0 3 は、実施の形態 2 と同様な構成を用いることができる。また、複数の発光層（第 1 の発光層 3 1 1、第 2 の発光層 3 1 2）は、実施の形態 1 または実施の形態 2 で示した発光層と同様な構成であっても良いが、いずれかが同様の構成であっても良い。すなわち、第 1 の発光層 3 1 1 と第 2 の発光層 3 1 2 は、同じ構成であっても異なる構成であってもよく、その構成は実施の形態 1 または実施の形態 2 と同様なものを適用することができる。ただし、第 1 の発光層 3 1 1 または第 2 の発光層 3 1 2 のいずれか一方または両方が、実施の形態 1 または実施の形態 2 で説明した正孔輸送層を有する構成である。

50

【 0 1 2 1 】

また、複数の発光層（第 1 の発光層 3 1 1、第 2 の発光層 3 1 2）の間には、電荷発生層 3 1 3 が設けられている。電荷発生層 3 1 3 は、第 1 の電極 3 0 1 と第 2 の電極 3 0 3 に電圧を印加したときに、一方の発光層に電子を注入し、他方の発光層に正孔を注入する機能を有する。本実施の形態の場合には、第 1 の電極 3 0 1 に第 2 の電極 3 0 3 よりも電位が高くなるように電圧を印加すると、電荷発生層 3 1 3 から第 1 の発光層 3 1 1 に電子が注入され、第 2 の発光層 3 1 2 に正孔が注入される。

【 0 1 2 2 】

なお、電荷発生層 3 1 3 は、光の取り出し効率の点から、可視光に対して透光性を有する（具体的には、電荷発生層 3 1 3 に対する可視光の透過率が、40%以上）ことが好ましい。また、電荷発生層 3 1 3 は、第 1 の電極 3 0 1 や第 2 の電極 3 0 3 よりも低い導電率であっても機能する。

10

【 0 1 2 3 】

電荷発生層 3 1 3 は、正孔輸送性の高い有機化合物に電子受容体（アクセプター）が添加された構成であっても、電子輸送性の高い有機化合物に電子供与体（ドナー）が添加された構成であってもよい。また、これらの両方の構成が積層されていても良い。

【 0 1 2 4 】

正孔輸送性の高い有機化合物に電子受容体が添加された構成とする場合において、正孔輸送性の高い有機化合物としては、例えば、NPB や TPD、TDATA、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]ピフェニル（略称：BSPB）などの芳香族アミン化合物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有機化合物であれば、上記以外の物質を用いても構わない。

20

【 0 1 2 5 】

また、電子受容体としては、7,7,8,8-テトラシアノ-2,3,5,6-テトラフルオロキノジメタン（略称：F₄-TCNQ）、クロラニル等を挙げることができる。また、遷移金属酸化物を挙げることができる。また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を挙げることができる。具体的には、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タングステン、酸化マンガン、酸化レニウムは電子受容性が高いため好ましい。中でも特に、酸化モリブデンは大気中でも安定であり、吸湿性が低く、扱いやすいため好ましい。

30

【 0 1 2 6 】

一方、電子輸送性の高い有機化合物に電子供与体が添加された構成とする場合において、電子輸送性の高い有機化合物としては、例えば、Alq、Almq₃、BeBq₂、BALq など、キノリン骨格またはベンゾキノリン骨格を有する金属錯体等を用いることができる。また、この他、Zn(BOX)₂、Zn(BTZ)₂ などのオキサゾール系、チアゾール系配位子を有する金属錯体なども用いることができる。さらに、金属錯体以外にも、PBD や OXD-7、TAZ、BPhen、BCP など用いることができる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する物質である。なお、正孔よりも電子の輸送性の高い有機化合物であれば、上記以外の物質を用いても構わない。

40

【 0 1 2 7 】

また、電子供与体としては、アルカリ金属またはアルカリ土類金属または希土類金属または元素周期表における第 13 族に属する金属およびその酸化物、炭酸塩を用いることができる。具体的には、リチウム(Li)、セシウム(Cs)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、イッテルビウム(Yb)、インジウム(In)、酸化リチウム、炭酸セシウムなどを用いることが好ましい。また、テトラシアナフタセンのような有機化合物を電子供与体として用いてもよい。

【 0 1 2 8 】

50

なお、上述した材料を用いて電荷発生層 3 1 3 を形成することにより、発光層が積層された場合における駆動電圧の上昇を抑制することができる。

【 0 1 2 9 】

また、図 7 (A) においては、発光層を 2 層有する発光素子について説明したが、図 7 (B) に示すように、n 層 (ただし、n は、3 以上) の発光層を積層した発光素子についても、同様に適用することが可能である。本実施の形態に係る発光素子のように、一対の電極間に複数の発光層を有する場合、発光層と発光層との間に電荷発生層 3 1 3 を配置することで、電流密度を低く保ったまま、高輝度領域での発光が可能である。電流密度を低く保てるため、長寿命素子を実現できる。また、照明を応用例とした場合は、電極材料の抵抗による電圧降下を小さくできるので、大面積での均一発光が可能となる。また、低電圧駆動が可能で消費電力が低い発光装置を実現することができる。

10

【 0 1 3 0 】

また、それぞれの発光層の発光色を異なるものにすることで、発光素子全体として、所望の色の発光を得ることができる。例えば、2 つの発光層を有する発光素子において、第 1 の発光層の発光色と第 2 の発光層の発光色を補色の関係になるようにすることで、発光素子全体として白色発光する発光素子を得ることも可能である。なお、補色とは、混合すると無彩色になる色同士の関係をいう。つまり、補色の関係にある色を発光する物質から得られた光と混合すると、白色発光を得ることができる。

【 0 1 3 1 】

また、3 つの発光層を有する発光素子の場合でも同様であり、例えば、第 1 の発光層の発光色が赤色であり、第 2 の発光層の発光色が緑色であり、第 3 の発光層の発光色が青色である場合、発光素子全体としては、白色発光を得ることができる。

20

【 0 1 3 2 】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。

【 0 1 3 3 】

(実施の形態 4)

本実施の形態では、本発明の一態様である発光装置について説明する。

【 0 1 3 4 】

本実施の形態に示す発光装置は、一対の電極間での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) 構造を有しており、図 8 に示す様に一対の電極 (反射電極 4 5 1 及び半透過・半反射電極 4 5 2) 間に少なくとも E L 層 4 5 5 を有する発光素子を、複数有している。また、E L 層 4 5 5 は、少なくとも正孔輸送層 (図示しない) と、発光層 4 5 4 (4 5 4 R、4 5 4 G、4 5 4 B) を有し、その他、正孔注入層、電子輸送層、電子注入層、電荷発生層などが含まれていても良い。

30

【 0 1 3 5 】

第 1 の発光素子 4 5 0 R は、反射電極 4 5 1 上に第 1 の透明導電層 4 5 3 a と、第 1 の発光層 4 5 4 B、第 2 の発光層 4 5 4 G、第 3 の発光層 4 5 4 R を一部に含む E L 層 4 5 5 と、半透過・半反射電極 4 5 2 とが順次積層された構造を有する。また、第 2 の発光素子 4 5 0 G は、反射電極 4 5 1 上に第 2 の透明導電層 4 5 3 b と、E L 層 4 5 5 と、半透過・半反射電極 4 5 2 とが順次積層された構造を有する。また、第 3 の発光素子 4 5 0 B は、反射電極 4 5 1 上に E L 層 4 5 5 と、半透過・半反射電極 4 5 2 とが順次積層された構造を有する。

40

【 0 1 3 6 】

なお、上記発光素子 (第 1 の発光素子 4 5 0 R、第 2 の発光素子 4 5 0 G、第 3 の発光素子 4 5 0 B) において、反射電極 4 5 1、E L 層 4 5 5、半透過・半反射電極 4 5 2 は共通である。また、第 1 の発光層 4 5 4 B では、4 2 0 n m 以上 4 8 0 n m 以下の波長領域にピークをもつ光 (λ_B) を発光させ、第 2 の発光層 4 5 4 G では、5 0 0 n m 以上 5 5 0 n m 以下の波長領域にピークを持つ光 (λ_G) を発光させ、第 3 の発光層 4 5 4 R では、6 0 0 n m 以上 7 6 0 n m 以下の波長領域にピークを持つ光 (λ_R) を発光させる。

50

これにより、いずれの発光素子（第1の発光素子450R、第2の発光素子450G、第3の発光素子450B）でも、第1の発光層454B、第2の発光層454G、及び第3の発光層454Rからの発光が重ね合わされた、すなわち可視光領域に渡るブロードな光を発光させることができる。なお、上記より、波長の長さは、 $\lambda_B < \lambda_G < \lambda_R$ なる関係であるとする。

【0137】

本実施の形態に示す各発光素子は、それぞれ反射電極451と半透過・半反射電極452との間にEL層455を挟んでなる構造を有しており、EL層455に含まれる各発光層から全方向に射出される発光は、微小光共振器（マイクロキャビティ）としての機能を有する反射電極451と半透過・半反射電極452とによって共振される。なお、反射電極451は、反射性を有する導電性材料により形成され、その膜に対する可視光の反射率が40%～100%、好ましくは70%～100%であり、かつその抵抗率が $1 \times 10^{-2} \text{ cm}$ 以下の膜であるとする。また、半透過・半反射電極452は、反射性を有する導電性材料と光透過性を有する導電性材料とにより形成され、その膜に対する可視光の反射率が20%～80%、好ましくは40%～70%であり、かつその抵抗率が $1 \times 10^{-2} \text{ cm}$ 以下の膜であるとする。

【0138】

また、本実施の形態では、各発光素子で、第1の発光素子450Rと第2の発光素子450Gにそれぞれ設けられた透明導電層（第1の透明導電層453a、第2の透明導電層453b）の厚みを変えることにより、発光素子毎に反射電極451と半透過・半反射電極452の間の光学距離を変えている。つまり、各発光素子の各発光層から発光するブロードな光は、反射電極451と半透過・半反射電極452との間において、共振する波長の光を強め、共振しない波長の光を減衰させることができるため、素子毎に反射電極451と半透過・半反射電極452の間の光学距離を変えることにより、異なる波長の光を取り出すことができる。

【0139】

なお、光学距離（光路長ともいう）とは、実際の距離に屈折率をかけたものであり、本実施の形態においては、実膜厚に n （屈折率）をかけたものを表している。すなわち、「光学距離＝実膜厚 $\times n$ 」である。

【0140】

また、第1の発光素子450Rでは、反射電極451から半透過・半反射電極452までの光学的距離を $m_R / 2$ （ただし、 m は1以上の自然数）、第2の発光素子450Gでは、反射電極451から半透過・半反射電極452までの光学的距離を $m_G / 2$ （ただし、 m は1以上の自然数）、第3の発光素子450Bでは、反射電極451から半透過・半反射電極452までの光学的距離を $m_B / 2$ （ただし、 m は1以上の自然数）としている。

【0141】

以上より、第1の発光素子450Rからは、主としてEL層455に含まれる第3の発光層454Rで発光した光（ λ_R ）が取り出され、第2の発光素子450Gからは、主としてEL層455に含まれる第2の発光層454Gで発光した光（ λ_G ）が取り出され、第3の発光素子450Bからは、主としてEL層455に含まれる第1の発光層454Bで発光した光（ λ_B ）が取り出される。なお、各発光素子から取り出される光は、半透過・半反射電極452側からそれぞれ射出される。

【0142】

また、上記構成において、反射電極451から半透過・半反射電極452までの光学的距離は、厳密には反射電極451における反射領域から半透過・半反射電極452における反射領域までの距離である。しかし、反射電極451や半透過・半反射電極452における反射領域の位置を厳密に決定することは困難であるため、反射電極451と半透過・半反射電極452の任意の位置を反射領域と仮定することで十分に上述の効果を得ることができるものとする。

【 0 1 4 3 】

次に、第1の発光素子450Rにおいて、第3の発光層454Rからの発光のうち、反射電極451によって反射されて戻ってきた光（第1の反射光）は、第3の発光層454Rから半透過・半反射電極452に直接入射する光（第1の入射光）と干渉を起こすため、反射電極451と第3の発光層454Rの光学的距離を $(2n_R - 1) \cdot d_R / 4$ （ただし、 n_R は1以上の自然数）に調節する。光学的距離を調節することにより、第1の反射光と第1の入射光との位相を合わせ、第3の発光層454Rからの発光を増幅させることができる。

【 0 1 4 4 】

なお、反射電極451と第3の発光層454Rとの光学的距離とは、厳密には反射電極451における反射領域と第3の発光層454Rにおける発光領域との光学的距離といえることができる。しかし、反射電極451における反射領域や第3の発光層454Rにおける発光領域の位置を厳密に決定することは困難であるため、反射電極451と第3の発光層454Rの任意の位置を、それぞれ反射領域、発光領域と仮定することで十分に上述の効果をj得ることができるものとする。

10

【 0 1 4 5 】

次に、第2の発光素子450Gにおいて、第2の発光層454Gからの発光のうち、反射電極451によって反射されて戻ってきた光（第2の反射光）は、第2の発光層454Gから半透過・半反射電極452に直接入射する光（第2の入射光）と干渉を起こすため、反射電極451と第2の発光層454Gの光学的距離を $(2n_G - 1) \cdot d_G / 4$ （ただし、 n_G は1以上の自然数）に調節する。光学的距離を調節することにより、第2の反射光と第2の入射光との位相を合わせ、第2の発光層454Gからの発光を増幅させることができる。

20

【 0 1 4 6 】

なお、反射電極451と第2の発光層454Gとの光学的距離とは、厳密には反射電極451における反射領域と第2の発光層454Gにおける発光領域との光学的距離といえることができる。しかし、反射電極451における反射領域や第2の発光層454Gにおける発光領域の位置を厳密に決定することは困難であるため、反射電極451と第2の発光層454Gの任意の位置を、それぞれ反射領域、発光領域と仮定することで十分に上述の効果をj得ることができるものとする。

30

【 0 1 4 7 】

次に、第3の発光素子450Bにおいて、第1の発光層454Bからの発光のうち、反射電極451によって反射されて戻ってきた光（第3の反射光）は、第1の発光層454Bから半透過・半反射電極452に直接入射する光（第3の入射光）と干渉を起こすため、反射電極451と第1の発光層454Bの光学的距離を $(2n_B - 1) \cdot d_B / 4$ （ただし、 n_B は1以上の自然数）に調節する。光学的距離を調節することにより、第3の反射光と第3の入射光との位相を合わせ、第1の発光層454Bからの発光を増幅させることができる。

【 0 1 4 8 】

なお、反射電極451と第1の発光層454Bとの光学的距離とは、厳密には反射電極451における反射領域と第1の発光層454Bにおける発光領域との光学的距離といえることができる。しかし、反射電極451における反射領域や第1の発光層454Bにおける発光領域の位置を厳密に決定することは困難であるため、反射電極451と第1の発光層454Bの任意の位置を、それぞれ反射領域、発光領域と仮定することで十分に上述の効果をj得ることができるものとする。

40

【 0 1 4 9 】

なお、上記構成において、いずれの発光素子もEL層に複数の発光層を有する構造を有しているが、本発明はこれに限られることはなく、例えば、実施の形態3で説明したタンデム型（積層型）発光素子の構成と組み合わせて、一つの発光素子に電荷発生層を挟んで複数の発光層を形成する構成としてもよい。

50

【0150】

本実施の形態で示した発光装置は、マイクロキャピティ構造を有しており、同じ構成のEL層を有していても発光素子毎に異なる波長の光を取り出すことができるためRGBの塗り分けが不要となる。従って、高精細化を実現することが容易であるなどの理由からフルカラー化を実現する上で有利である。また、特定波長の正面方向の発光強度を強めることが可能となるため、低消費電力化を図ることができる。この構成は、3色以上の画素を用いたカラーディスプレイ（画像表示装置）に適用する場合に、特に有用であるが、照明などの用途に用いてもよい。

【0151】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

【0152】

（実施の形態5）

本実施の形態では、本発明の一態様である発光素子を有する発光装置について説明する。

【0153】

また、上記発光装置は、パッシブマトリクス型の発光装置でもアクティブマトリクス型の発光装置でもよい。なお、本実施の形態に示す発光装置には、他の実施形態で説明した発光素子を適用することが可能である。

【0154】

本実施の形態では、アクティブマトリクス型の発光装置について図9を用いて説明する。

【0155】

なお、図9（A）は発光装置を示す上面図であり、図9（B）は図9（A）を鎖線A-Bで切断した断面図である。本実施の形態に係るアクティブマトリクス型の発光装置は、素子基板501上に設けられた画素部502と、駆動回路部（ソース線駆動回路）503と、駆動回路部（ゲート線駆動回路）504（504a及び504b）と、を有する。画素部502、駆動回路部503、及び駆動回路部504は、シール材505によって、素子基板501と封止基板506との間に封止されている。

【0156】

また、素子基板501上には、駆動回路部503、及び駆動回路部504に外部からの信号（例えば、ビデオ信号、クロック信号、スタート信号、又はリセット信号等）や電位を伝達する外部入力端子を接続するための引き回し配線507が設けられる。ここでは、外部入力端子としてFPC（フレキシブルプリントサーキット）508を設ける例を示している。なお、ここではFPCしか図示されていないが、このFPCにはプリント配線基板（PWB）が取り付けられていても良い。本明細書における発光装置には、発光装置本体だけでなく、それにFPCもしくはPWBが取り付けられた状態をも含むものとする。

【0157】

次に、断面構造について図9（B）を用いて説明する。素子基板501上には駆動回路部及び画素部が形成されているが、ここでは、ソース線駆動回路である駆動回路部503と、画素部502が示されている。

【0158】

駆動回路部503はnチャネル型TFT509とpチャネル型TFT510とを組み合わせたCMOS回路が形成される例を示している。なお、駆動回路部を形成する回路は、種々のCMOS回路、PMOS回路もしくはNMOS回路で形成しても良い。また、本実施の形態では、基板上に駆動回路を形成したドライバー体型を示すが、必ずしもその必要はなく、基板上ではなく外部に駆動回路を形成することもできる。

【0159】

また、画素部502はスイッチング用TFT511と、電流制御用TFT512と電流制御用TFT512の配線（ソース電極又はドレイン電極）に電氣的に接続された第1の

10

20

30

40

50

電極 5 1 3 とを含む複数の画素により形成される。なお、第 1 の電極 5 1 3 の端部を覆って絶縁物 5 1 4 が形成されている。ここでは、ポジ型の感光性アクリル樹脂を用いることにより形成する。なお、本実施の形態においては、第 1 の電極 5 1 3 を陽極として用いる。

【 0 1 6 0 】

また、上層に積層形成される膜の被覆性を良好なものとするため、絶縁物 5 1 4 の上端部または下端部に曲率を有する曲面が形成されるようにするのが好ましい。例えば、絶縁物 5 1 4 の材料としてポジ型の感光性アクリル樹脂を用いた場合、絶縁物 5 1 4 の上端部に曲率半径 ($0.2 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$) を有する曲面を持たせることが好ましい。また、絶縁物 5 1 4 として、ネガ型の感光性樹脂、或いはポジ型の感光性樹脂のいずれも使用することができ、有機化合物に限らず無機化合物、例えば、酸化シリコン、酸化窒化シリコン等、の両者を使用することができる。

10

【 0 1 6 1 】

第 1 の電極 5 1 3 上には、E L 層 5 1 5 及び第 2 の電極 5 1 6 が積層形成されている。E L 層 5 1 5 は、少なくとも正孔輸送層、及び発光層が設けられている。正孔輸送層、及び発光層は、実施の形態 1 または実施の形態 2 で示した構成を適用することができる。なお、本実施の形態においては、第 2 の電極 5 1 6 を陰極として用いる。

【 0 1 6 2 】

なお、第 1 の電極 5 1 3、E L 層 5 1 5 及び第 2 の電極 5 1 6 との積層構造で、発光素子 5 1 7 が形成されている。第 1 の電極 5 1 3、E L 層 5 1 5 及び第 2 の電極 5 1 6 の用いる材料としては、実施の形態 2 に示す材料を用いることができる。また、ここでは図示しないが、第 2 の電極 5 1 6 は外部入力端子である F P C 5 0 8 に電氣的に接続されている。

20

【 0 1 6 3 】

また、図 9 (B) に示す断面図では発光素子 5 1 7 を 1 つのみ図示しているが、画素部 5 0 2 において、複数の発光素子がマトリクス状に配置されているものとする。画素部 5 0 2 には、3 種類 (R、G、B) の発光が得られる発光素子をそれぞれ選択的に形成し、フルカラー表示可能な発光装置を形成することができる。また、カラーフィルタと組み合わせることによってフルカラー表示可能な発光装置としてもよい。

【 0 1 6 4 】

30

さらに、シール材 5 0 5 で封止基板 5 0 6 を素子基板 5 0 1 と貼り合わせることで、素子基板 5 0 1、封止基板 5 0 6、およびシール材 5 0 5 で囲まれた空間 5 1 8 に発光素子 5 1 7 が備えられた構成になっている。なお、空間 5 1 8 には、不活性気体 (窒素やアルゴン等) が充填される場合の他、シール材 5 0 5 で充填される構成も含むものとする。

【 0 1 6 5 】

なお、シール材 5 0 5 にはエポキシ系樹脂を用いるのが好ましい。また、これらの材料はできるだけ水分や酸素を透過しない材料であることが望ましい。また、封止基板 5 0 6 に用いる材料としてガラス基板や石英基板の他、FRP (Fiber glass - Reinforced Plastics)、PVF (ポリビニルフロライド)、ポリエステルまたはアクリル等からなるプラスチック基板を用いることができる。

40

【 0 1 6 6 】

以上のようにして、アクティブマトリクス型の発光装置を得ることができる。

【 0 1 6 7 】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成を適宜組み合わせて用いることができる。

【 0 1 6 8 】

(実施の形態 6)

本実施の形態では、上記実施の形態に示す本発明の一態様の発光装置をその一部を含む電子機器について説明する。電子機器としては、ビデオカメラ、デジタルカメラ等のカメ

50

ラ、ゴーグル型ディスプレイ、ナビゲーションシステム、音響再生装置（カーオーディオ、オーディオコンポ等）、コンピュータ、ゲーム機器、携帯情報端末（モバイルコンピュータ、携帯電話、スマートフォン、携帯型ゲーム機、電子書籍、またはタブレット型端末等）、記録媒体を備えた画像再生装置（具体的には、Digital Versatile Disc（DVD）等の記録媒体を再生し、その画像を表示しうる表示装置を備えた装置）などが挙げられる。これらの電子機器の具体例について、図10、及び図11を用いて説明する。

【0169】

図10（A）は、本発明の一態様に係るテレビ装置であり、筐体611、支持台612、表示部613、スピーカー部614、ビデオ入力端子615等を含む。このテレビ装置において、表示部613には、本発明の一態様の発光装置を適用することができる。本発明の一態様の発光装置は、低駆動電圧で、高い電流効率が得られるため、本発明の一態様の発光装置を適用することで、消費電力の低減されたテレビ装置を得ることができる。

10

【0170】

図10（B）は、本発明の一態様に係るコンピュータであり、本体621、筐体622、表示部623、キーボード624、外部接続ポート625、ポインティングデバイス626等を含む。このコンピュータにおいて、表示部623には、本発明の一態様の発光装置を適用することができる。本発明の一態様の発光装置は、低駆動電圧で、高い電流効率が得られるため、本発明の一態様の発光装置を適用することで、消費電力の低減されたコンピュータを得ることができる。

20

【0171】

図10（C）は、本発明の一態様に係る携帯電話であり、本体631、筐体632、表示部633、音声入力部634、音声出力部635、操作キー636、外部接続ポート637、アンテナ638等を含む。この携帯電話において、表示部633には、本発明の一態様の発光装置を適用することができる。本発明の一態様の発光装置は、低駆動電圧で、高い電流効率が得られるため、本発明の一態様の発光装置を適用することで、消費電力の低減された携帯電話を得ることができる。

【0172】

図10（D）は、本発明の一態様に係るカメラであり、本体641、表示部642、筐体643、外部接続ポート644、リモコン受信部645、受像部646、バッテリー647、音声入力部648、操作キー649、接眼部650等を含む。このカメラにおいて、表示部642には、本発明の一態様の発光装置を適用することができる。本発明の一態様の発光装置は、低駆動電圧で、高い電流効率が得られるため、本発明の一態様の発光装置を適用することで、消費電力の低減されたカメラを得ることができる。

30

【0173】

図11は、本発明の一態様に係る携帯型端末の一例であり、図11（A）、図11（B）、及び図11（C）は、携帯型端末5000を示し、図11（D）は、携帯型端末6000を示している。

【0174】

図11（A）、図11（B）、及び図11（C）に示す携帯型端末5000において、図11（A）は正面図を、図11（B）は側面図を、図11（C）は背面図を、それぞれ示している。また、図11（D）に示す携帯型端末6000においては、正面図を示している。

40

【0175】

携帯型端末5000は、筐体5001、表示部5003、電源ボタン5005、前面カメラ5007、背面カメラ5009、第1の外部接続端子5011、及び第2の外部接続端子5013などにより構成されている。

【0176】

また、表示部5003は、筐体5001に組み込まれており、タッチパネルとしても用いることができる。例えば、表示部5003上にアイコン5015等を表示させて、メー

50

ルや、スケジュール管理といった作業を行うことができる。また、筐体 5 0 0 1 には、正面側に前面カメラ 5 0 0 7 が組み込まれており、使用者側の映像を撮影することができる。また、筐体 5 0 0 1 には、背面側に背面カメラ 5 0 0 9 が組み込まれており、使用者と反対側の映像を撮影することができる。また、筐体 5 0 0 1 には、第 1 の外部接続端子 5 0 1 1、及び第 2 の外部接続端子 5 0 1 3 を備えており、例えば、第 1 の外部接続端子 5 0 1 1 により、イヤホン等に音声を出力し、第 2 の外部接続端子 5 0 1 3 により、データの移動等を行うことができる。

【 0 1 7 7 】

次に、図 1 1 (D) に示す携帯型端末 6 0 0 0 は、第 1 の筐体 6 0 0 1、第 2 の筐体 6 0 0 3、ヒンジ部 6 0 0 5、第 1 の表示部 6 0 0 7、第 2 の表示部 6 0 0 9、電源ボタン 6 0 1 1、第 1 のカメラ 6 0 1 3、第 2 のカメラ 6 0 1 5 などにより構成されている。

10

【 0 1 7 8 】

また、第 1 の表示部 6 0 0 7 は、第 1 の筐体 6 0 0 1 に組み込まれており、第 2 の表示部 6 0 0 9 は、第 2 の筐体 6 0 0 3 に組み込まれている。第 1 の表示部 6 0 0 7、及び第 2 の表示部 6 0 0 9 は、例えば、第 1 の表示部 6 0 0 7 を表示用パネルとして使用し、第 2 の表示部 6 0 0 9 をタッチパネルとする。第 1 の表示部 6 0 0 7 に表示されたテキストアイコン 6 0 1 7 を確認し、第 2 の表示部 6 0 0 9 に表示させたアイコン 6 0 1 9、またはキーボード 6 0 2 1 (第 2 の表示部 6 0 0 9 に表示されたキーボード画像) を用いて、画像の選択、または文字の入力等を行うことができる。もちろん、第 1 の表示部 6 0 0 7 がタッチパネルであり、第 2 の表示部 6 0 0 9 が表示用パネルといった構成や、第 1 の表示部 6 0 0 7、及び第 2 の表示部 6 0 0 9 とともにタッチパネルといった構成としてもよい。

20

【 0 1 7 9 】

また、第 1 の筐体 6 0 0 1 と、第 2 の筐体 6 0 0 3 は、ヒンジ部 6 0 0 5 により接続されており、第 1 の筐体 6 0 0 1 と、第 2 の筐体 6 0 0 3 と、を開閉することができる。このような構成とすることにより、携帯型端末 6 0 0 0 を持ち運ぶ際に、第 1 の筐体 6 0 0 1 に組み込まれた第 1 の表示部 6 0 0 7 と、第 2 の筐体 6 0 0 3 に組み込まれた第 2 の表示部 6 0 0 9 と、を合わせることで、第 1 の表示部 6 0 0 7、及び第 2 の表示部 6 0 0 9 の表面 (例えば、プラスチック基板等) を保護することができるので好適である。

【 0 1 8 0 】

30

また、第 1 の筐体 6 0 0 1 と第 2 の筐体 6 0 0 3 は、ヒンジ部 6 0 0 5 により、分離できる構成としても良い (所謂コンバーチブル型)。このような構成とすることで、例えば、第 1 の筐体 6 0 0 1 を縦置きとし、第 2 の筐体 6 0 0 3 を横置きとして使用するといったように、使用範囲が広がるので好適である。

【 0 1 8 1 】

また、第 1 のカメラ 6 0 1 3、及び第 2 のカメラ 6 0 1 5 により、3D 画像の撮影を行うこともできる。

【 0 1 8 2 】

また、携帯型端末 5 0 0 0、及び携帯型端末 6 0 0 0 は、無線で情報を送受信できる構成としてもよい。例えば、無線により、インターネット等に接続し、所望の情報を購入し、ダウンロードする構成とすることも可能である。

40

【 0 1 8 3 】

また、携帯型端末 5 0 0 0、及び携帯型端末 6 0 0 0 は、様々な情報 (静止画、動画、テキスト画像など) を表示する機能、カレンダー、日付又は時刻などを表示部に表示する機能、表示部に表示した情報をタッチ入力操作又は編集するタッチ入力機能、様々なソフトウェア (プログラム) によって処理を制御する機能、等を有することができる。また、外光の光量に応じて表示の輝度を最適にすることができる光センサや、ジャイロ、加速度センサの傾きを検出するセンサなどといった検出装置を内蔵させてもよい。

【 0 1 8 4 】

携帯型端末 5 0 0 0 の表示部 5 0 0 3、並びに携帯型端末 6 0 0 0 の第 1 の表示部 6 0

50

０７、または／および第２の表示部６００９において、本発明の一態様の発光装置を適用することができる。本発明の一態様の発光装置は、低駆動電圧で、高い電流効率が得られるため、本発明の一態様の発光装置を適用することで、消費電力の低減された携帯型端末を得ることができる。

【０１８５】

以上のように、本発明の一態様の発光装置の適用範囲は極めて広く、この発光装置をあらゆる分野の電子機器に適用することが可能である。本発明の一態様の発光装置を用いることにより、消費電力の低減された電子機器を得ることができる。

【０１８６】

また、本発明の一態様の発光装置は、照明装置として用いることもできる。照明装置の具体例について、図１２を用いて説明する。

10

【０１８７】

図１２（Ａ）は、本発明の一態様の発光装置をバックライトとして用いた液晶表示装置の一例である。図１２（Ａ）に示した液晶表示装置は、筐体７０１、液晶パネル７０２、バックライト７０３、筐体７０４を有し、液晶パネル７０２は、ドライバＩＣ７０５と接続されている。また、バックライト７０３は、本発明の一態様の発光装置が用いられおり、端子７０６により、電流が供給されている。このように本発明の一態様の発光装置を液晶表示装置のバックライトとして用いることにより、低消費電力のバックライトが得られる。また、本発明の一態様の発光装置は、面発光の照明装置であり大面積化も可能であるため、バックライトの大面積化も可能である。従って、低消費電力であり、大面積化された液晶表示装置を得ることができる。

20

【０１８８】

図１２（Ｂ）は、本発明の一態様の発光装置を、照明装置である電気スタンドとして用いた例である。図１２（Ｂ）に示す電気スタンドは、筐体８０１と、光源８０２を有し、光源８０２として、本発明の一態様の発光装置が用いられている。低駆動電圧で、高い電流効率が得られるため、本発明の一態様の発光装置を適用することで、低消費電力の電気スタンドを得ることが可能となる。

【０１８９】

図１２（Ｃ）は、本発明の一態様の発光装置を、室内の照明装置９０１として用いた例である。本発明の一態様の発光装置は大面積化も可能であるため、大面積の照明装置として用いることができる。また、本発明の一態様の発光装置は、低駆動電圧で、高い電流効率が得られるため、本発明の一態様の発光装置を適用することで、低消費電力の照明装置を得ることが可能となる。このように、本発明の一態様の発光装置を、室内の照明装置９０１として用いた部屋に、図１０（Ａ）で説明したような、本発明の一態様のテレビ装置９０２を設置して公共放送や映画を鑑賞することができる。

30

【０１９０】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることが可能である。

【実施例１】

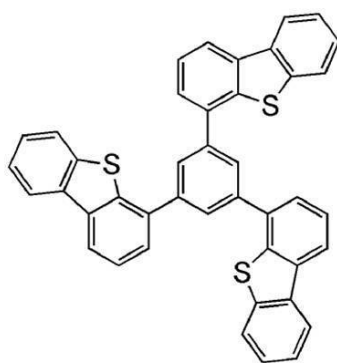
【０１９１】

本実施例では、本発明の一態様の発光素子（発光素子１）、及び比較用の発光素子（比較発光素子２）について、図１３を用いて説明する。また、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

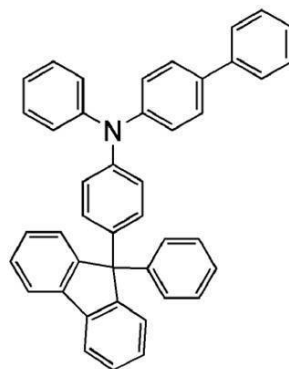
40

【０１９２】

【化 1】

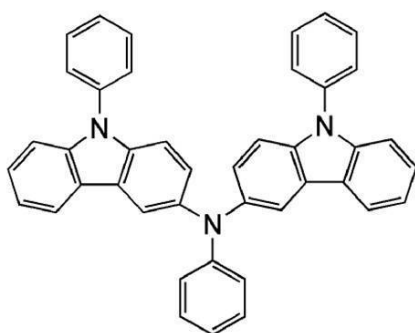


DBT3P-II

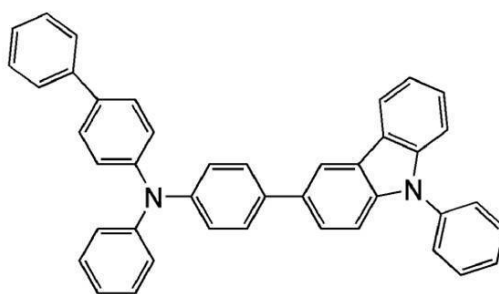


BPAFLP

10

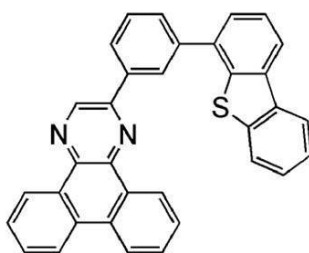


PCzPCA1



PCBA1BP

20

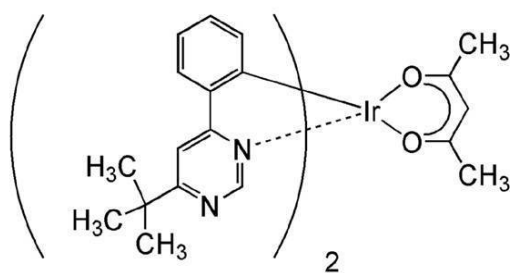


2mDBTPDBq-II

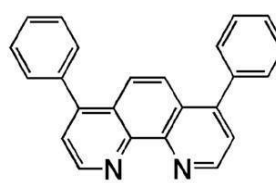
30

【 0 1 9 3 】

【化 2】

[Ir(tBuppm)₂(acac)]

40



BPhen

【 0 1 9 4 】

50

以下に、本実施例の発光素子 1、及び比較発光素子 2 の作製方法を示す。

【0195】

(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 ($\text{ITO} - \text{SiO}_2$ 、以下 ITSO と略記する。) をスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極 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、第 1 の電極 1101 の膜厚は、110 nm とし、電極面積は $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ とした。ここで、第 1 の電極 1101 は、発光素子の陽極として機能する電極である。

【0196】

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 で 1 時間焼成した後、UV オゾン処理を 370 秒行った。

【0197】

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。

【0198】

次に、第 1 の電極 1101 が形成された面が下方となるように、第 1 の電極 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、第 1 の電極 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: DBTP - II)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、DBTP - II (略称)と酸化モリブデンの比率は、重量比で 4 : 2 (= DBTP - II : 酸化モリブデン)となるように調節した。

【0199】

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)と、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)と、を共蒸着することで、正孔輸送層 1112 を形成した。その膜厚は、20 nm とし、BPAFLP (略称)と PCzPCA1 (略称)の比率は、重量比で 0.5 : 0.5 (= BPAFLP : PCzPCA1)となるように調節した。

【0200】

なお、正孔輸送層 1112 において、BPAFLP (略称)は、第 4 の有機化合物であり、PCzPCA1 (略称)は、第 5 の有機化合物である。

【0201】

次に、正孔輸送層 1112 上に、2mDBTPDBq - II (略称)と、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)と、(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(III) (略称: $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)と、を共蒸着し、第 1 の発光層 1113a を形成した。ここで、2mDBTPDBq - II (略称)、PCBA1BP (略称)、及び $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ (略称)の重量比は、0.8 : 0.2 : 0.06 (= 2mDBTPDBq - II : PCBA1BP : $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)となるように調節した。また、第 1 の発光層 1113a の膜厚は 20 nm とした。

【0202】

なお、第 1 の発光層 1113a において、2mDBTPDBq - II (略称)は、第 1 の有機化合物(ホスト材料)であり、PCBA1BP (略称)は、第 2 の有機化合物(アシスト材料)であり、 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ (略称)は、第 3 の有機化合物(ゲスト材料)である。

【0203】

10

20

30

40

50

次に、第1の発光層1113a上に、2mDBTPDBq-II（略称）と、PCBA1BP（略称）と、 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ （略称）と、を共蒸着し、第2の発光層1113bを形成した。ここで、2mDBTPDBq-II（略称）、PCBA1BP（略称）、及び $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ （略称）の重量比は、0.8:0.2:0.05（=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP: $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ ）となるように調節した。また、第2の発光層1113bの膜厚は20nmとした。

【0204】

なお、第2の発光層1113bにおいて、2mDBTPDBq-II（略称）は、第1の有機化合物（ホスト材料）であり、PCBA1BP（略称）は、第2の有機化合物（アシスト材料）であり、 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ （略称）は、第3の有機化合物（ゲスト材料）である。

10

【0205】

次に、第2の発光層1113b上に2mDBTPDBq-II（略称）を膜厚10nmとなるように成膜し、第1の電子輸送層1114aを形成した。

【0206】

次に、第1の電子輸送層1114a上にバソフェナントロリン（略称：BPhen）を膜厚20nmとなるように成膜し、第2の電子輸送層1114bを形成した。

【0207】

次に、第2の電子輸送層1114b上に、フッ化リチウム（LiF）を1nmの膜厚で蒸着し、電子注入層1115を形成した。

20

【0208】

最後に、陰極として機能する第2の電極1103として、アルミニウム（Al）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。

【0209】

なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【0210】

（比較発光素子2）

比較発光素子2は、発光素子1と正孔輸送層1112の構成が異なり、それ以外の構成は同じである。異なる構成のみ以下記載する。

30

【0211】

正孔注入層1111上に、BPAPLP（略称）を蒸着することで、正孔輸送層1112を形成した。その膜厚は、20nmとした。

【0212】

以上により得られた発光素子1、及び比較発光素子2の素子構造を表1に示す。

【0213】

【表 1】

	第1の電極	正孔注入層	正孔輸送層	第1の発光層	第2の発光層	第1の電子輸送層	第2の電子輸送層	電子注入層	第2の電極
発光素子1	ITO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP: PCzPCA1 (0.5:0.5) 20nm	下記記載	下記記載	2mDBTPDBq-II 10nm	BPhen 20nm	LiF 1nm	Al 200nm
比較 発光素子2	ITO 110nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	下記記載	下記記載	2mDBTPDBq-II 10nm	BPhen 20nm	LiF 1nm	Al 200nm

	第1の発光層	第2の発光層
発光素子1	2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:Ir(tBuppm) ₂ (acac) (=0.8:0.2:0.06) 20nm	2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:Ir(tBuppm) ₂ (acac) (=0.8:0.2:0.05) 20nm
比較 発光素子2	2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:Ir(tBuppm) ₂ (acac) (=0.8:0.2:0.06) 20nm	2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:Ir(tBuppm) ₂ (acac) (=0.8:0.2:0.05) 20nm

10

【0214】

次に、本実施例の発光素子1、及び比較発光素子2で用いた正孔輸送層、第1の発光層及び第2の発光層で用いたBPAFLP（略称）、PCzPCA1（略称）、及びPCBA1BP（略称）の各薄膜での電気化学的特性（HOMO準位、及びLUMO準位）を測定した（測定機器：理研計器社製、AC-2）。なお、各薄膜での電気化学的特性の測定は以下のように行った。

20

【0215】

HOMO準位の値は、大気中の光電子分光法（理研計器社製、AC-2）で測定したイオン化ポテンシャルの値を、負の値に換算することにより得た。また、LUMO準位の値は、各薄膜の吸収スペクトルのデータを測定し、該吸収スペクトルのデータを用い直接遷移を仮定したTaucプロットから吸収端を求め、その吸収端を光学的エネルギーギャップとしてHOMO準位の値に加算することにより得た。

【0216】

各薄膜での電気化学的特性の測定結果を表2に示す。

30

【0217】

【表 2】

	[eV]		
	HOMO準位	LUMO準位	B _g (ΔE)
BPAFLP	-5.63	-2.29	3.34
PCzPCA1	-5.17	-2.26	2.91
PCBA1BP	-5.42	-2.21	3.21

【0218】

表2より、BPAFLP（略称）のHOMO準位が-5.63eV、LUMO準位が-2.29eV、及びバンドギャップ（B_g）が3.34eVであった。また、PCzPCA1（略称）のHOMO準位が-5.17eV、LUMO準位が-2.26eV、及びバンドギャップ（B_g）が2.91eVであった。また、PCBA1BP（略称）のHOMO準位が-5.42eV、LUMO準位が-2.21eV、及びバンドギャップ（B_g）が3.21eVであった。

40

【0219】

また、表1及び表2より、本実施例の発光素子1、及び比較発光素子2の正孔輸送層、発光層（第2の有機化合物）の材料及びHOMO準位を表3に示す。

【0220】

【表 3】

	材料名/HOMO準位	正孔輸送層		発光層 (第2の有機化合物)
発光素子1	材料名(略称)	BPAFLP	PCzPCA1	PCBA1BP
	HOMO準位[eV]	-5.63	-5.17	-5.42
比較発光素子2	材料名(略称)	BPAFLP	-	PCBA1BP
	HOMO準位[eV]	-5.63	-	-5.42

【0221】

表3に示すように、本実施例の発光素子1の正孔輸送層は、第2の有機化合物（アシスト材料）であるPCBA1BP（略称）のHOMO準位以下の第4の有機化合物としてBPAFLP（略称）を用い、第2の有機化合物（アシスト材料）であるPCBA1BP（略称）よりもHOMO準位が高い第5の有機化合物としてPCzPCA1（略称）を用いた構成である。一方、比較発光素子2は、第2の有機化合物（アシスト材料）であるPCBA1BP（略称）よりもHOMO準位が低い1種類の有機化合物（BPAFLP（略称））を用いた構成である。

10

【0222】

次に、発光素子1、及び比較発光素子2を、窒素雰囲気グローブボックス内において、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、これらの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。

20

【0223】

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14に示す。図14において、横軸は電流密度（mA/cm²）を、縦軸は輝度（cd/m²）を表す。また、発光素子1、及び比較発光素子2の電圧-輝度特性を図15に示す。図15において、横軸は電圧（V）を、縦軸は輝度（cd/m²）を表す。また、発光素子1、及び比較発光素子2の輝度-電流効率特性を図16に示す。図16において、横軸は輝度（cd/m²）、縦軸は電流効率（cd/A）を表す。また、発光素子1、及び比較発光素子2の電圧-電流特性を図17に示す。図17において、横軸は電圧（V）を、縦軸は電流（mA）を表す。また、発光素子1、及び比較発光素子2の発光スペクトルを図18に示す。図18において、横軸は波長（nm）、縦軸は発光強度（任意単位）を表す。なお、図18において、各発光素子のデータが概略重なって示されている。また、発光素子1、及び比較発光素子2の輝度-パワー効率特性（lm/W）を図19に示す。

30

【0224】

図19に示すように、発光素子1の1000cd/m²付近のパワー効率は105（lm/W）であり、比較発光素子2の1000cd/m²付近のパワー効率は93（lm/W）であった。このように、本発明の一態様の発光素子は、比較発光素子2と比べ、12（lm/W）高い素子であることが確認された。

【0225】

また、各発光素子における輝度1000cd/m²付近のときの電圧（V）、電流密度（mA/cm²）、CIE色度座標（x、y）、電流効率（cd/A）、外部量子効率（%）を表4に示す。

40

【0226】

【表 4】

	電圧(V)	電流密度 (mA/cm ²)	CIE色度座標		輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	外部 量子効率(%)
			x	y			
発光素子1	2.6	1.3	0.43	0.56	1112	87	24
比較発光素子2	2.9	1.2	0.43	0.56	1037	85	24

【0227】

表4に示す通り、輝度1112cd/m²の発光素子1のCIE色度座標は、(x, y) = (0.43, 0.56)であった。また、輝度1037cd/m²の比較発光素子2のCIE色度座標は、(x, y) = (0.43, 0.56)であった。

10

【0228】

また、輝度1112cd/m²の発光素子1の電圧は2.6Vであり、電流効率は87cd/Aであった。また、輝度1037cd/m²の比較発光素子2の電圧は2.9Vであり、電流効率は85cd/Aであった。

【0229】

したがって、本発明の一態様である発光素子1は、比較発光素子2と比べると、電圧を0.3V低くすることができ、且つ電流効率も同等以上であることが確認された。また、図17に示すように、発光素子1は、比較発光素子2と比べると駆動開始電圧を低くできることが確認された。

20

【0230】

以上のように、本発明の一態様である発光素子は、発光層に用いる正孔輸送性を有する第2の有機化合物のHOMO準位以下の第4の有機化合物と、第2の有機化合物よりもHOMO準位が高い第5の有機化合物を、正孔輸送層に有する構成である。このような構成とすることで、発光素子の駆動電圧を低くし、且つ電流効率を高くすることができる。

【0231】

なお、本実施例(発光素子1)の発光層に用いた第1の有機化合物(2mDBTPDBq-II)の薄膜のPLピーク波長は426nm、第2の有機化合物(PCBA1BP)のPLピーク波長は416nmであるが、これらの混合膜のPLピーク波長は519nmであり、長波長シフトしていることがわかった。したがって、これら2種類の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせである。

30

【0232】

このように、発光素子1においては、発光層にて励起錯体の形成に寄与している第2の有機化合物(PCBA1BP)よりもHOMO準位の高い第5の有機化合物(PCzPCA1)が正孔輸送層に添加されているため、それが添加されていない比較発光素子2よりも駆動開始電圧を低くすることができる。

【0233】

なお、第2の有機化合物として、PCBA1BPに換えてPCzPCA1を発光層に添加すると、駆動開始電圧は発光素子1と同様に低くすることができる。しかしながら、PCzPCA1はPCBA1BPよりもHOMO準位が高いため、第1の有機化合物(2mDBTPDBq-II)とPCzPCA1とで形成される励起錯体の発光波長は571nmとなり、PCBA1BPの場合(519nm)に比べて長波長シフトする。したがって、本実施例のように緑色燐光材料を発光層に用いる場合には、緑色燐光材料を励起しにくくなり、発光効率(外部量子効率)が低下してしまう。一方、本発明(発光素子1)においては、そのような問題はない。つまり、本発明の一態様の構成は、エネルギーギャップの大きい(つまり駆動開始電圧が原理的に高い)緑色や青色の発光素子において、発光効率を損なうことなく低電圧化させるのに、特に有効な手段であるとも言える。

40

【0234】

(参考例1)

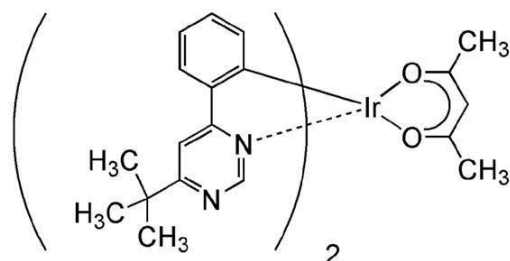
上記実施例で用いた(アセチルアセトナト)ビス(6-tert-ブチル-4-フェニ

50

ルピリミジナト)イリジウム(III)(略称:[Ir(tBuppm)₂(acac)])の合成例を具体的に例示する。なお、[Ir(tBuppm)₂(acac)]の構造を以下に示す。

【0235】

【化3】



[Ir(tBuppm)₂(acac)]

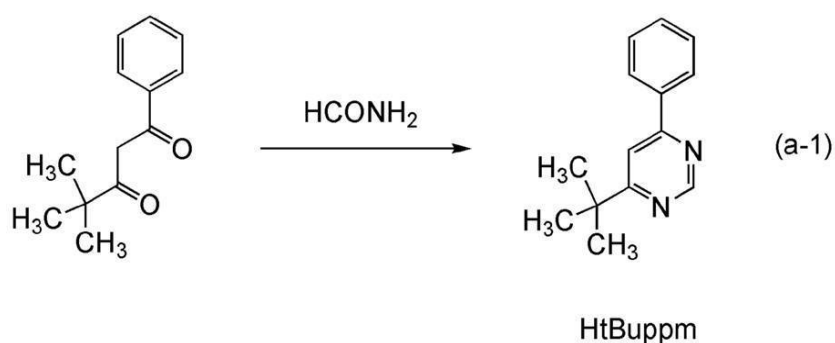
【0236】

<ステップ1; 4-tert-ブチル-6-フェニルピリミジン(略称:HtBuppm)の合成法>

まず、4,4-ジメチル-1-フェニルペンタン-1,3-ジオン22.5gとホルムアミド50gを、還流管を付けたナスフラスコに入れ、内部を窒素置換した。この反応容器を加熱することで反応溶液を5時間還流させた。その後、この溶液を水酸化ナトリウム水溶液に注ぎ、ジクロロメタンにて有機層を抽出した。得られた有機層を水、飽和食塩水で洗浄し、硫酸マグネシウムにて乾燥させた。乾燥した後の溶液を濾過した。この溶液の溶媒を留去した後、得られた残渣を、ヘキサン:酢酸エチル=10:1(体積比)を展開溶媒とするシリカゲルカラムクロマトグラフィーで精製し、ピリミジン誘導体HtBuppmを得た(無色油状物、収率14%)。ステップ1の合成スキームを下記(a-1)に示す。

【0237】

【化4】



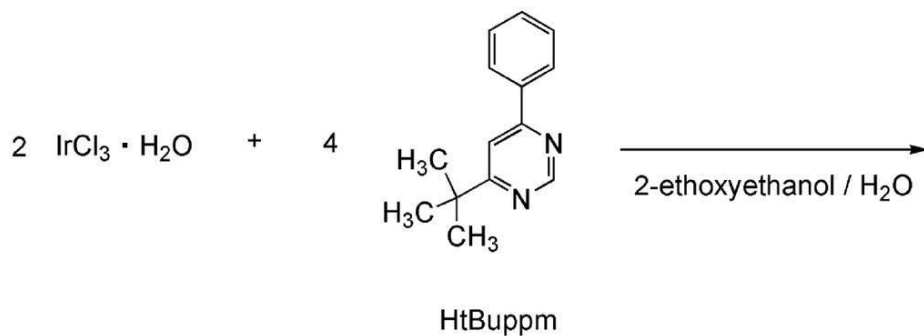
【0238】

<ステップ2; ジ-μ-クロロ-ビス[ビス(6-tert-ブチル-4-フェニルピリミジナト)イリジウム(III)](略称:[Ir(tBuppm)₂Cl]₂)の合成法>

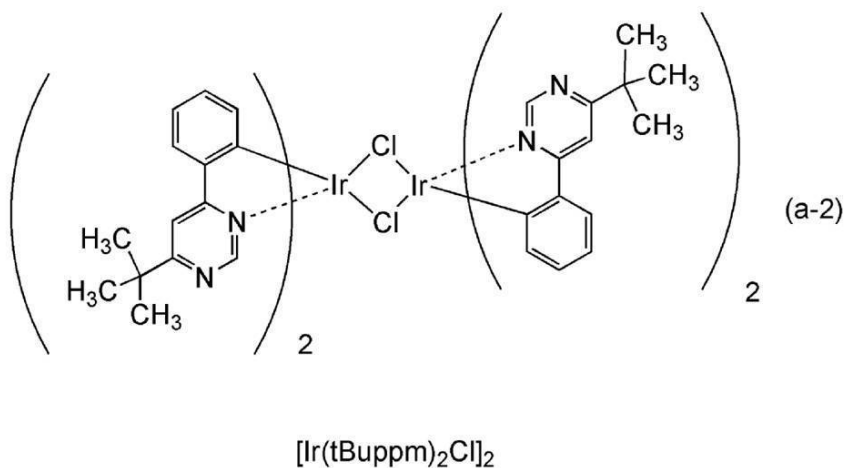
次に、2-エトキシエタノール15mLと水5mL、上記ステップ1で得たHtBuppm1.49g、塩化イリジウム水和物(IrCl₃·H₂O)1.04gを、還流管を付けたナスフラスコに入れ、フラスコ内をアルゴン置換した。その後、マイクロ波(2.45GHz 100W)を1時間照射し、反応させた。溶媒を留去した後、得られた残渣をエタノールで吸引濾過、洗浄し、複核錯体[Ir(tBuppm)₂Cl]₂を得た(黄緑色粉末、収率73%)。ステップ2の合成スキームを下記(a-2)に示す。

【0239】

【化 5】



10



20

【0240】

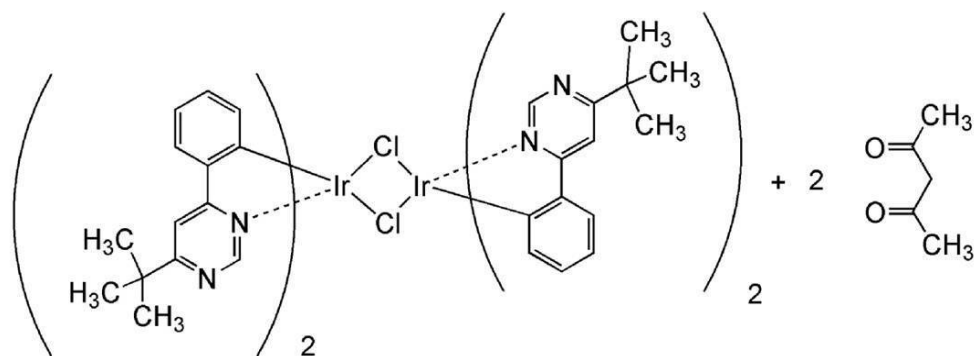
<ステップ3；（アセチルアセトナト）ビス（6-tert-ブチル-4-フェニルピリミジナト）イリジウム（III）（略称：[Ir(tBuppm)₂(acac)]）の合成法>

さらに、2-エトキシエタノール40mL、上記ステップ2で得た複核錯体[Ir(tBuppm)₂Cl]₂ 1.61g、アセチルアセトン0.36g、炭酸ナトリウム1.27gを、還流管を付けたナスフラスコに入れ、フラスコ内をアルゴン置換した。その後、マイクロ波（2.45GHz 100W）を60分間照射し、反応させた。溶媒を留去し、得られた残渣をエタノールで吸引濾過し、水、エタノールで洗浄した。この固体をジクロロメタンに溶解させ、セライト（和光純薬工業株式会社、カタログ番号：531-16855）、アルミナ、セライトの順で積層した濾過補助剤を通して濾過した。溶媒を留去して得られた固体をジクロロメタンとヘキサンとの混合溶媒にて再結晶することにより、目的物を黄色粉末として得た（収率68%）。ステップ3の合成スキームを下記（a-3）に示す。

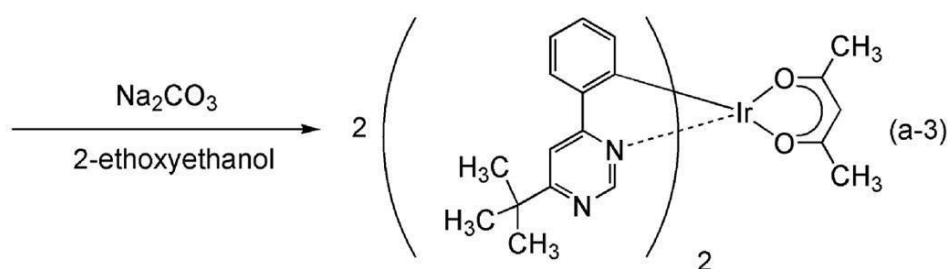
30

【0241】

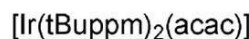
【化 6】



10



20



【 0 2 4 2 】

なお、上記合成方法により得られた化合物を核磁気共鳴分光法 (^1H -NMR) により測定した。測定結果から、 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ (略称) が得られたことがわかった。

30

【 0 2 4 3 】

得られた物質の ^1H -NMR データを以下に示す。

^1H -NMR. (CDCl_3): 1.50 (s, 18H), 1.79 (s, 6H), 5.26 (s, 1H), 6.33 (d, 2H), 6.77 (t, 2H), 6.85 (t, 2H), 7.70 (d, 2H), 7.76 (s, 2H), 9.02 (s, 2H).

【 0 2 4 4 】

(参考例 2)

上述した実施例において発光素子に用いた 2mDBTPDBq-II (略称)、PCBA1BP (略称)、および BPAPLP (略称) の T_1 準位について測定した。なお、 T_1 準位の測定は、各物質の燐光発光を測定し、燐光発光波長をエレクトロンボルトに換算することにより求めた。測定条件としては、325nm の励起光を各物質に照射し、測定温度 10K で測定した。なお、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、 T_1 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、燐光スペクトルの最も短波長側に位置するピーク波長を測定することにより T_1 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。

40

【 0 2 4 5 】

2mDBTPDBq-II (略称) の測定した燐光発光を図 20 に、PCBA1BP (略称) の測定した燐光発光を図 21 に、BPAPLP (略称) の測定した燐光発光を図 22 にそれぞれ示す。また、測定結果を表 5 にまとめた。この結果からわかるように、上述

50

した実施例において第1の有機化合物として用いた2mDBTPDBq-II(略称)や、第2の有機化合物として用いたPCBA1BP(略称)に比べ、正孔輸送層に用いた第4の有機化合物に相当するBPAFLP(略称)は、 T_1 準位が高いことがわかる。

【0246】

【表5】

物質名	燐光発光波長(nm)	T1準位(eV)
2mDBTPDBq-II(略称)	516	2.40
PCBA1BP(略称)	504	2.46
BPAFLP(略称)	497	2.49

10

【符号の説明】

【0247】

100 基板
 101 第1の電極
 103 第2の電極
 111 正孔注入層
 112 正孔輸送層
 112a 正孔輸送層
 112b 正孔輸送層
 112c 正孔輸送層
 113 発光層
 114 電子輸送層
 115 電子注入層
 120 第1の有機化合物
 122 第2の有機化合物
 124 第3の有機化合物
 126 第4の有機化合物
 128 第5の有機化合物
 301 第1の電極
 303 第2の電極
 311 第1の発光層
 312 第2の発光層
 313 電荷発生層
 450R 第1の発光素子
 450G 第2の発光素子
 450B 第3の発光素子
 451 反射電極
 452 半透過・半反射電極
 453a 第1の透明導電層
 453b 第2の透明導電層
 454 発光層
 454B 第1の発光層
 454G 第2の発光層
 454R 第3の発光層
 455 EL層
 501 素子基板
 502 画素部
 503 駆動回路部
 504 駆動回路部
 505 シール材

20

30

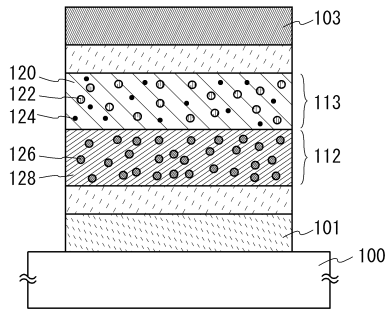
40

50

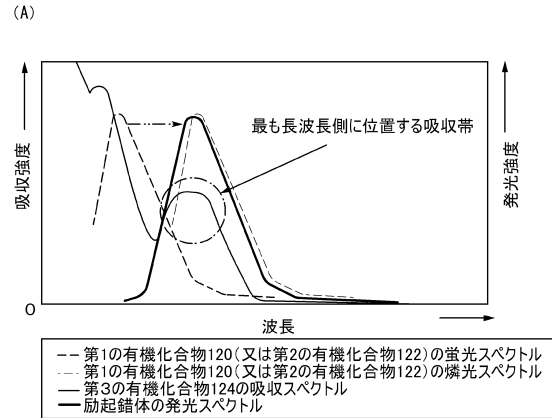
5 0 6	封止基板	
5 0 7	配線	
5 0 8	F P C	
5 0 9	nチャネル型 T F T	
5 1 0	pチャネル型 T F T	
5 1 1	スイッチング用 T F T	
5 1 2	電流制御用 T F T	
5 1 3	第 1 の電極	
5 1 4	絶縁物	
5 1 5	E L 層	10
5 1 6	第 2 の電極	
5 1 7	発光素子	
5 1 8	空間	
6 1 1	筐体	
6 1 2	支持台	
6 1 3	表示部	
6 1 4	スピーカ部	
6 1 5	ビデオ入力端子	
6 2 1	本体	
6 2 2	筐体	20
6 2 3	表示部	
6 2 4	キーボード	
6 2 5	外部接続ポート	
6 2 6	ポインティングデバイス	
6 3 1	本体	
6 3 2	筐体	
6 3 3	表示部	
6 3 4	音声入力部	
6 3 5	音声出力部	
6 3 6	操作キー	30
6 3 7	外部接続ポート	
6 3 8	アンテナ	
6 4 1	本体	
6 4 2	表示部	
6 4 3	筐体	
6 4 4	外部接続ポート	
6 4 5	リモコン受信部	
6 4 6	受像部	
6 4 7	バッテリー	
6 4 8	音声入力部	40
6 4 9	操作キー	
6 5 0	接眼部	
7 0 1	筐体	
7 0 2	液晶パネル	
7 0 3	バックライト	
7 0 4	筐体	
7 0 5	ドライバ I C	
7 0 6	端子	
8 0 1	筐体	
8 0 2	光源	50

9 0 1	照明装置	
9 0 2	テレビ装置	
1 1 0 0	基板	
1 1 0 1	第 1 の電極	
1 1 0 3	第 2 の電極	
1 1 1 1	正孔注入層	
1 1 1 2	正孔輸送層	
1 1 1 3 a	第 1 の発光層	
1 1 1 3 b	第 2 の発光層	
1 1 1 4 a	第 1 の電子輸送層	10
1 1 1 4 b	第 2 の電子輸送層	
1 1 1 5	電子注入層	
5 0 0 0	携帯型端末	
5 0 0 1	筐体	
5 0 0 3	表示部	
5 0 0 5	電源ボタン	
5 0 0 7	前面カメラ	
5 0 0 9	背面カメラ	
5 0 1 1	外部接続端子	
5 0 1 3	外部接続端子	20
5 0 1 5	アイコン	
6 0 0 0	携帯型端末	
6 0 0 1	筐体	
6 0 0 3	筐体	
6 0 0 5	ヒンジ部	
6 0 0 7	表示部	
6 0 0 9	表示部	
6 0 1 1	電源ボタン	
6 0 1 3	カメラ	
6 0 1 5	カメラ	30
6 0 1 7	テキストアイコン	
6 0 1 9	アイコン	
6 0 2 1	キーボード	

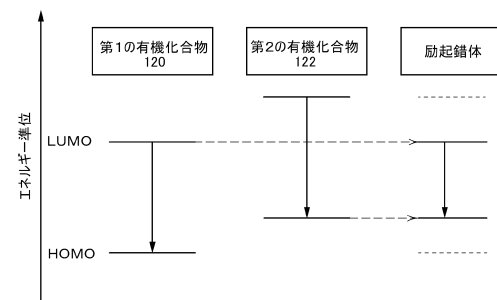
【図 1】



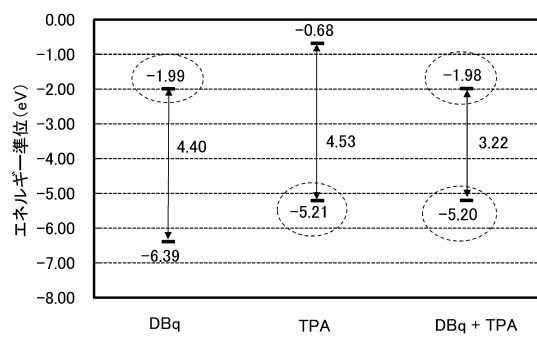
【図 2】



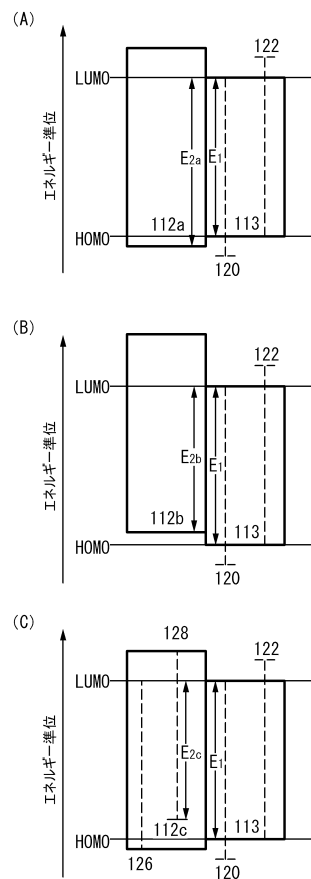
(B)



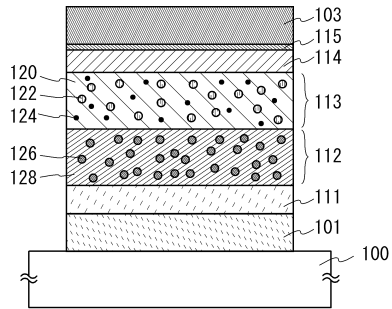
【図 3】



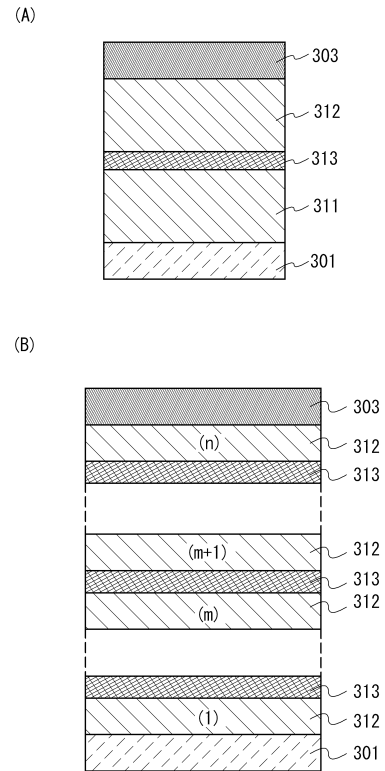
【図 5】



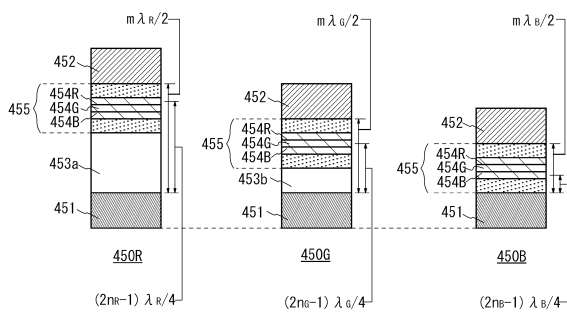
【 図 6 】



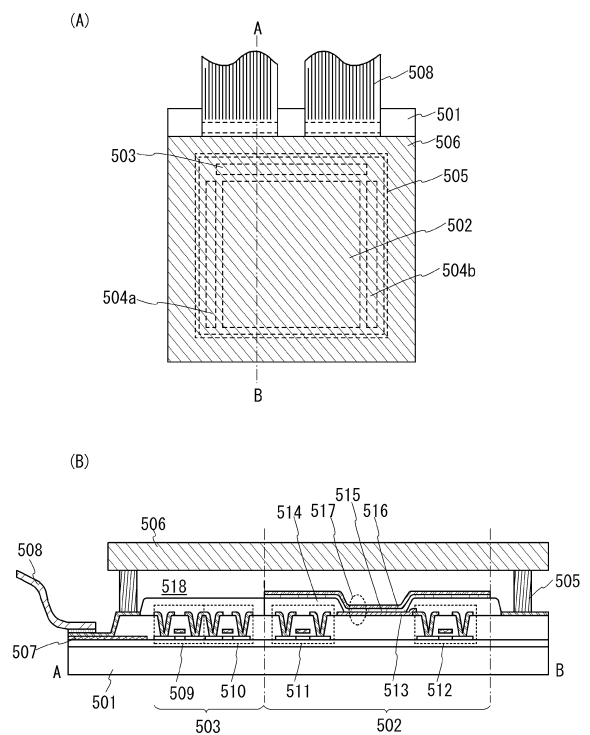
【 図 7 】



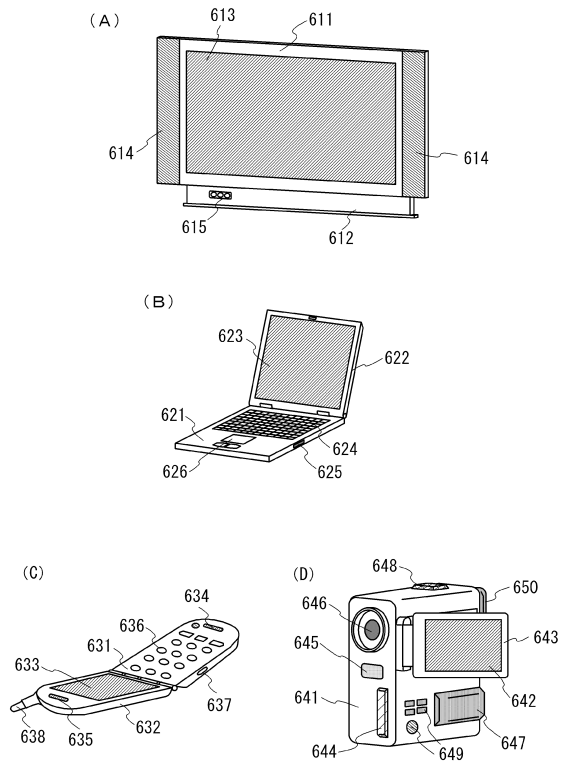
【圖 8】



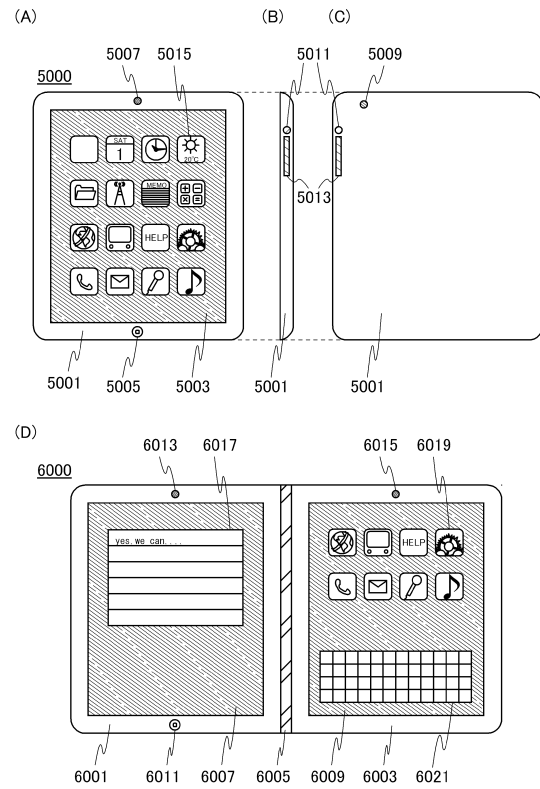
【圖 9】



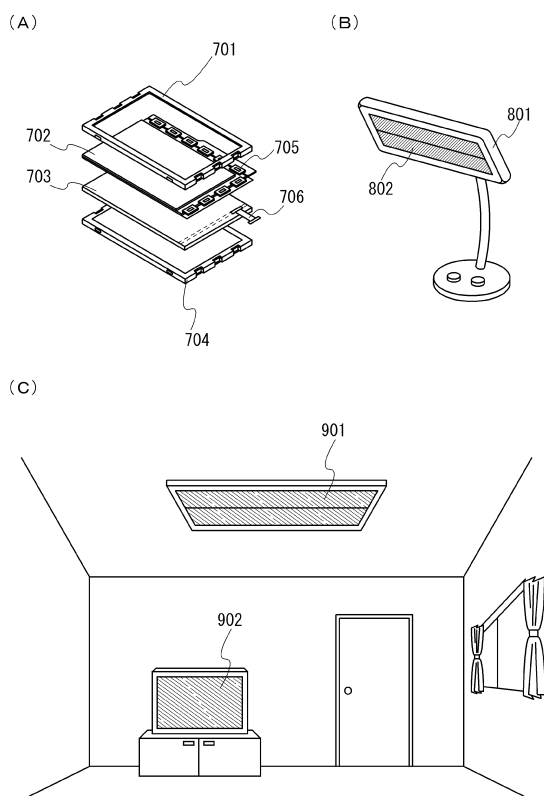
【図10】



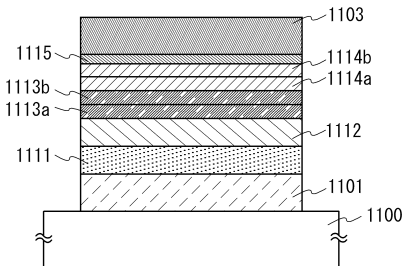
【図11】



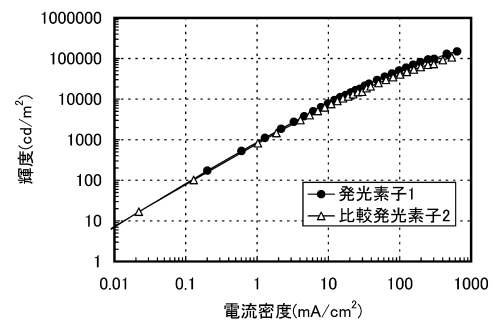
【図12】



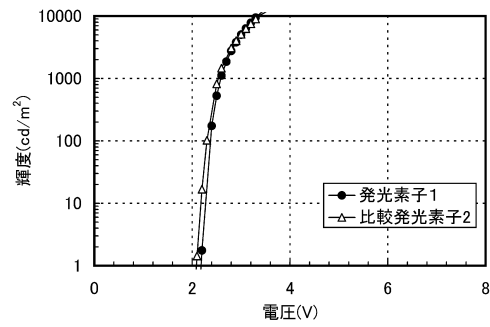
【図13】



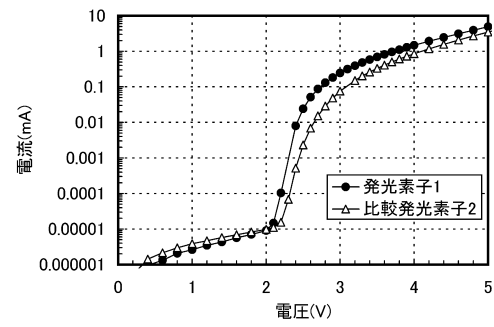
【図14】



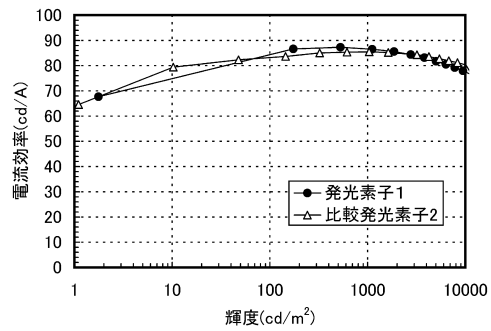
【図 15】



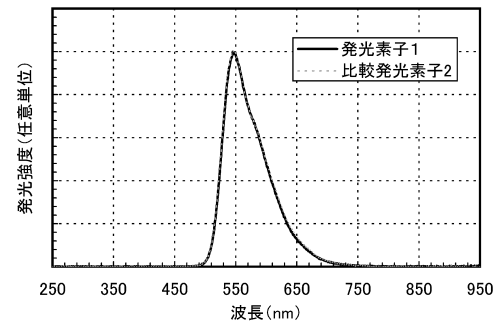
【図 17】



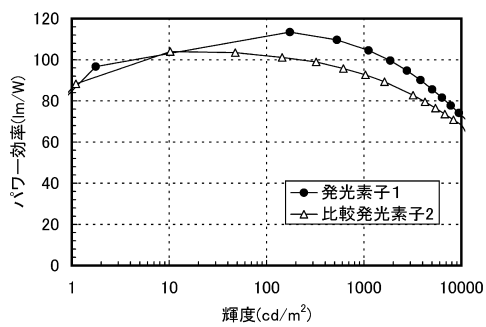
【図 16】



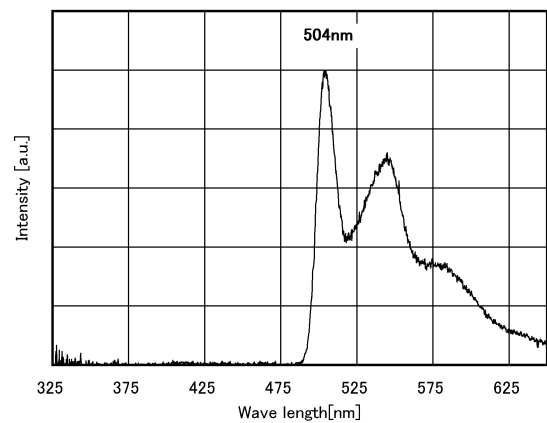
【図 18】



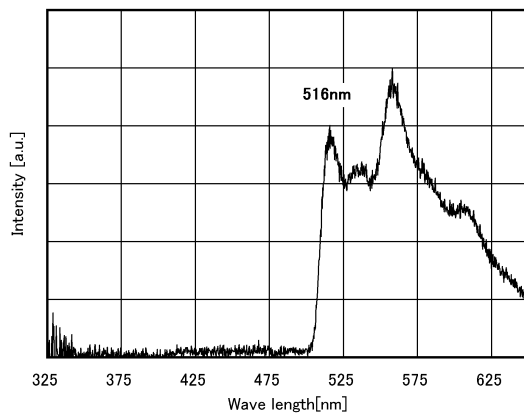
【図 19】



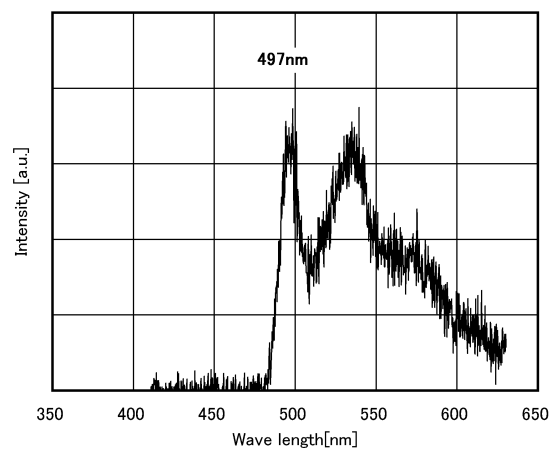
【図 21】



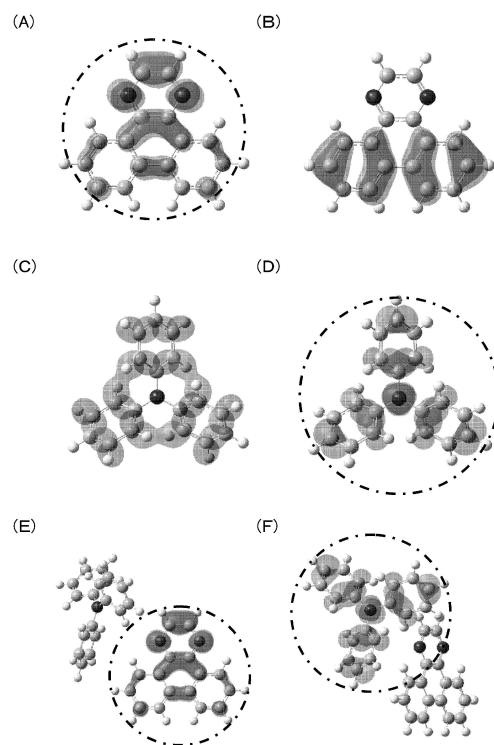
【図 20】



【図 2】



【図 4】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2011/042443(WO,A1)

特開2011-077494(JP,A)

JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 2008年, Vol.104, No.094501, p.1-17

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 51/50