

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-134538

(P2012-134538A)

(43) 公開日 平成24年7月12日(2012.7.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 51/50 (2006.01)	H O 5 B 33/22 D	3 K 1 0 7
	H O 5 B 33/14 A	

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 64 頁)

(21) 出願番号	特願2012-47909 (P2012-47909)	(71) 出願人	000153878
(22) 出願日	平成24年3月5日 (2012.3.5)		株式会社半導体エネルギー研究所
(62) 分割の表示	特願2007-176201 (P2007-176201) の分割	(72) 発明者	鈴木 恒徳
原出願日	平成19年7月4日 (2007.7.4)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2006-184653 (P2006-184653)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成18年7月4日 (2006.7.4)	(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398番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2006-327610 (P2006-327610)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成18年12月4日 (2006.12.4)	(72) 発明者	野村 亮二
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2007-73089 (P2007-73089)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成19年3月20日 (2007.3.20)	Fターム (参考)	3K107 AA01 BB01 BB02 BB03 CC04
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		CC14 CC21 DD51 DD53 DD58
			DD67 DD73 DD78 FF14

(54) 【発明の名称】 発光素子

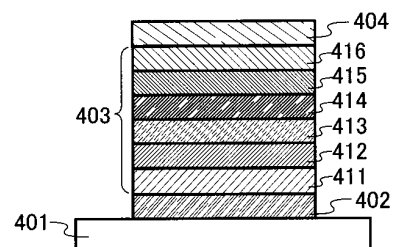
(57) 【要約】

【課題】 寿命の長い発光素子を提供することを課題とする。また、寿命の長い発光装置および電子機器を提供することを課題とする。

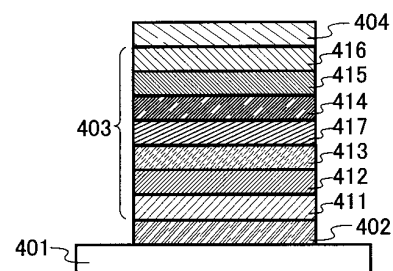
【解決手段】 その発光素子は、第1の電極、第1の層、第2の層、第2の電極を順に有し、第1の層は、発光性を有し、第2の層は、第1の有機化合物及び第2の有機化合物を有し、第1の有機化合物は、正孔輸送性を有し、第2の有機化合物は、正孔トラップ性を有し、第2の層には、第2の有機化合物よりも第1の有機化合物が多く含まれている。なお、第1の有機化合物は正孔輸送性に代え電子輸送性を有してもよく、その場合第2の有機化合物は正孔トラップ性に代え電子トラップ性を有してもよい。

【選択図】 図5

(A)



(B)



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 の電極、第 1 の層、第 2 の層、第 2 の電極を順に有し、
前記第 1 の層は、発光性を有し、
前記第 2 の層は、第 1 の有機化合物及び第 2 の有機化合物を有し、
前記第 1 の有機化合物は、正孔輸送性を有し、
前記第 2 の有機化合物は、正孔トラップ性を有し、
前記第 2 の層には、前記第 2 の有機化合物よりも前記第 1 の有機化合物が多く含まれて
いることを特徴とする発光素子。

【請求項 2】

10

請求項 1 において、
前記第 1 の層は、第 3 の有機化合物及び第 4 の有機化合物を有し、
前記第 3 の有機化合物は、前記発光性を有し、
前記第 4 の有機化合物は、正孔輸送性を有することを特徴とする発光素子。

【請求項 3】

前記第 2 の有機化合物及び前記第 3 の有機化合物は、燐光材料であ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 のいずれか一項において、
前記第 2 の有機化合物の濃度は、前記第 3 の有機化合物の濃度よりも低いことを特徴と
する発光素子。

20

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、電流励起型の発光素子に関する。また、その発光素子を有する発光装置、電
子機器に関する。

より詳しくは、寿命の長い電流励起型の発光素子に関する。またそれを用いた発光装置
、電子機器に関する。

【背景技術】**【0002】**

30

近年、エレクトロルミネッセンス (Electroluminescence) を利用した発光素子の研究
開発が盛んに行われている。これら発光素子の基本的な構成は、一対の電極間に発光性の
物質を含む層を挟んだものである。この素子に電圧を印加することにより、発光性の物質
からの発光を得ることができる。

【0003】

このような発光素子は自発光型であるため、液晶ディスプレイに比べ画素の視認性が高
く、バックライトが不要である等の利点があり、フラットパネルディスプレイ素子として
好適であると考えられている。また、このような発光素子は、薄型軽量に作製できること
も大きな利点である。さらに非常に応答速度が速いことも特徴の一つである。

【0004】

40

そして、これらの発光素子は膜状に形成することが可能であるため、大面積の素子を形
成することにより、面状の発光を容易に得ることができる。このことは、白熱電球や L E
D に代表される点光源、あるいは蛍光灯に代表される線光源では得難い特色であるため、
照明等に応用できる面光源としての利用価値も高い。

【0005】

そのエレクトロルミネッセンスを利用した発光素子は、発光性の物質が有機化合物であ
るか、無機化合物であるかによって大別できるが、本発明は、発光性の物質に有機化合物
を用いるものである。

その場合、発光素子に電圧を印加することにより、一対の電極から電子および正孔がそ
れぞれ発光性の有機化合物を含む層に注入され、電流が流れる。そして、それらキャリア

50

(電子および正孔)が再結合することにより、発光性の有機化合物が励起状態を形成し、その励起状態が基底状態に戻る際に発光する。

【0006】

このようなメカニズムから、このような発光素子は電流励起型の発光素子と呼ばれる。なお、有機化合物が形成する励起状態の種類としては、一重項励起状態と三重項励起状態が可能であり、一重項励起状態からの発光が蛍光、三重項励起状態からの発光が燐光と呼ばれている。

【0007】

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上で、材料に依存した問題が多く、これらを克服するために素子構造の改良や材料開発等が行われている。

例えば、非特許文献1では、正孔ブロック層を設けることにより、燐光材料を用いた発光素子を効率良く発光させている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】テツオ ツツイ、外8名、ジャパニーズ ジャーナル オブ アプライド フィジックス、vol. 38、L1502-L1504 (1999)。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、非特許文献1に記載されているように正孔ブロック層は耐久性がなく、発光素子の寿命は短く、そのため発光素子のさらなる長寿命化が望まれている。

以上のようなことから、本発明は寿命の長い発光素子を提供することを課題とする。

また、寿命の長い発光装置および電子機器を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、鋭意検討を重ねた結果、キャリアの移動、すなわち電子又は正孔の移動を制御する層を設けることにより、キャリアバランスの経時変化を抑制できることを見出した。またそれにより、寿命の長い発光素子が見出されることを見出した。

【0011】

前記のとおりであり、本発明の一は、第1の電極と第2の電極の間に、発光層とキャリアの移動を制御する層とを有し、前記キャリアの移動を制御する層は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物とを有し、前記キャリアの移動を制御する層は、前記発光層と前記第2の電極の間に設けられており、前記第1の有機化合物は、電子輸送性の有機化合物であり、前記第2の有機化合物は、電子トラップ性の有機化合物であり、前記キャリアの移動を制御する層において、前記第2の有機化合物よりも第1の有機化合物が多く含まれており、前記第1の電極の電位が前記第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加することにより、前記発光層からの発光が見られることを特徴とする発光素子である。

【0012】

また、上記構成において、第2の有機化合物は第1の有機化合物の最低空軌道準位より0.3 eV以上低い最低空軌道準位を有することが好ましい。さらに、発光層は、電子輸送性であることが好ましい。例えば、発光層は、第3の有機化合物と第4の有機化合物とを有し、第3の有機化合物は、第4の有機化合物よりも多く含まれており、第3の有機化合物は電子輸送性であることが好ましい。また、第1の有機化合物と第3の有機化合物とは異なる有機化合物であることが好ましい。

【0013】

また、上記構成において、第1の有機化合物は、金属錯体であることが好ましい。また、第2の有機化合物は、0.1重量%～5重量%、または0.1 mol %～5 mol %の濃度で前記キャリアの移動を制御する層に含まれていることが好ましい。これによって、キャリアがトラップされる量を適切に制御することができる。

さらに、上記構成において、第2の有機化合物は、クマリン誘導体であることが好ましい。

【0014】

そして、本発明の一は、第1の電極と第2の電極との間に、発光層とキャリアの移動を制御する層とを有し、前記キャリアの移動を制御する層は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物とを有し、前記キャリアの移動を制御する層は、前記発光層と第1の電極との間に設けられており、前記第1の有機化合物は、正孔輸送性の有機化合物であり、

前記第2の有機化合物は、正孔トラップ性の有機化合物であり、前記キャリアの移動を制御する層において、前記第2の有機化合物よりも第1の有機化合物が多く含まれており、
前記第1の電極の電位が前記第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加することにより、前記発光層からの発光が得られることを特徴とする発光素子である。

【0015】

また、上記構成において、第2の有機化合物は第1の有機化合物の最高被占有軌道準位より0.3 eV以上高い最高被占有軌道準位を有することが好ましい。さらに、発光層は、正孔輸送性であることが好ましい。例えば、発光層は、第3の有機化合物と第4の有機化合物とを有し、第3の有機化合物は、第4の有機化合物よりも多く含まれており、第3の有機化合物は正孔輸送性であることが好ましい。また、第1の有機化合物と第3の有機化合物とは異なる有機化合物であることが好ましい。

【0016】

また、第2の有機化合物は、0.1重量%～5重量%、または0.1mol%～5mol%の濃度で前記キャリアの移動を制御する層に含まれていることが好ましい。これによって、キャリアがトラップされる量を適切に制御することができる。

さらに、上記構成において、第1の有機化合物は、芳香族アミン化合物であることが好ましい。

【0017】

そして、上記構成において、キャリアの移動を制御する層の膜厚は、5 nm以上20 nm以下であることが好ましい。すなわち、キャリア輸送性である第1の有機化合物が電子輸送性あるいは正孔輸送性のいずれの場合においても、またキャリアトラップ性の化合物が電子トラップ性あるいは正孔トラップ性のいずれの場合においても、キャリアの移動を制御する層の膜厚は、5 nm以上20 nm以下であることが好ましい。

さらに、それらのいずれの場合においても、キャリアの移動を制御する層と発光層とは接するように設けられていることが好ましい。

【0018】

また、本発明は、上述した発光素子を有する発光装置も範疇に含めるものである。本明細書中における発光装置とは、画像表示デバイス、発光デバイス、もしくは光源（照明装置を含む）を含む。また、発光素子が形成されたパネルにコネクタ、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、または発光素子が形成された基板に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。

【0019】

さらに、本発明の発光素子を表示部に用いた電子機器も本発明の範疇に含めるものとする。したがって、本発明の電子機器は、表示部を有し、表示部は、上述した発光素子と発光素子の発光を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする。

【0020】

前記のとおりであるから、本発明においては、キャリア輸送性（すなわち電子輸送性又は正孔輸送性）である第1の有機化合物と、キャリアトラップ性（すなわち電子トラップ性又は正孔トラップ性）ある第2の有機化合物とを、キャリアの移動を制御する層におい

て組み合わせて用いることを特徴とするものである。

その際におけるキャリアトラップ性とは、絶対的なものではなく、キャリア輸送性との対比における相対的なものである。

すなわち、キャリアトラップ性とは、キャリアの移動を制御する層において使用されている第1の有機化合物のキャリア輸送性を所定範囲で低減できるものである。

【0021】

その尺度としては、電子輸送性の場合には最低空軌道準位、正孔輸送性の場合には最高被占有軌道準位を目安とすることができ、それらを用いるのがよい。

例えば、第1の有機化合物が電子輸送性である場合には、電子トラップ性の第2の有機化合物は、前記第1の有機化合物の最低空軌道準位より0.3 eV以上低い最低空軌道準位を有することが好ましい。

また、第1の有機化合物が正孔輸送性である場合には、正孔トラップ性の第2の有機化合物は、前記第1の有機化合物の最高被占有軌道準位より0.3 eV以上高い最高被占有軌道準位を有することが好ましい。

【発明の効果】

【0022】

本発明の発光素子は、キャリアの移動を制御する層を設けており、キャリアバランスの経時変化を抑制することができる。よって、長寿命の発光素子を得ることができる。

さらに、本発明の発光素子を、発光装置および電子機器に適用することにより、発光効率が高く、消費電力が低減された発光装置および電子機器を得ることができる。また、寿命の長い発光装置および電子機器を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の実施の形態1の発光素子を示す図。

【図2】本発明の実施の形態1における図1とは別の積層構造を持つ発光素子を示す図。

【図3】本発明の実施の形態1の発光素子の発光の態様を示す図。

【図4】図1(A)で示した本発明の発光素子のバンド図の一例を示す図。

【図5】本発明の実施の形態2の発光素子を示す図。

【図6】本発明の実施の形態2における図5とは別の積層構造を持つ発光素子を示す図。

【図7】本発明の実施の形態2の発光素子の発光の態様を示す図。

【図8】図5(A)で示した本発明の実施の形態2の発光素子のバンド図の一例を示す図。

【図9】本発明の実施の形態3における複数の発光ユニットを積層した構成の発光素子を示す図。

【図10】本発明の実施の形態4におけるアクティブマトリクス型発光装置を示す図。

【図11】本発明の実施の形態4におけるパッシブマトリクス型発光装置を示す図。

【図12】本発明の電子機器を説明する図。

【図13】本発明の発光装置をバックライトとして用いた電子機器を示す図。

【図14】本発明の照明装置を電気スタンドとした図。

【図15】本発明の照明装置を室内照明装置とした図。

【図16】実施例の発光素子を示す図。

【図17】発光素子1の電流密度－輝度特性を示す図。

【図18】発光素子1の電圧－輝度特性を示す図。

【図19】発光素子1の輝度－電流効率特性を示す図。

【図20】発光素子1の発光スペクトルを示す図。

【図21】発光素子1および比較発光素子2の定電流駆動による連続点灯試験結果を示す図。

【図22】発光素子3の電流密度－輝度特性を示す図。

【図23】発光素子3の電圧－輝度特性を示す図。

【図24】発光素子3の輝度－電流効率特性を示す図。

10

20

30

40

50

- 【図 2 5】発光素子 3 の発光スペクトルを示す図。
- 【図 2 6】発光素子 3、発光素子 4、発光素子 5、比較発光素子 6 の定電流駆動による連続点灯試験結果を示す図。
- 【図 2 7】発光素子 4 の電流密度－輝度特性を示す図。
- 【図 2 8】発光素子 4 の電圧－輝度特性を示す図。
- 【図 2 9】発光素子 4 の輝度－電流効率特性を示す図。
- 【図 3 0】発光素子 4 の発光スペクトルを示す図。
- 【図 3 1】発光素子 5 の電流密度－輝度特性を示す図。
- 【図 3 2】発光素子 5 の電圧－輝度特性を示す図。
- 【図 3 3】発光素子 5 の輝度－電流効率特性を示す図。 10
- 【図 3 4】発光素子 5 の発光スペクトルを示す図。
- 【図 3 5】A l q の還元反応特性を示す図。
- 【図 3 6】D P Q d の還元反応特性を示す図。
- 【図 3 7】クマリン 6 の還元反応特性を示す図。
- 【図 3 8】発光素子 7 の電流密度－輝度特性を示す図。
- 【図 3 9】発光素子 7 の電圧－輝度特性を示す図。
- 【図 4 0】発光素子 7 の輝度－電流効率特性を示す図。
- 【図 4 1】発光素子 7 の発光スペクトルを示す図。
- 【図 4 2】発光素子 7 の定電流駆動による連続点灯試験結果を示す図。
- 【図 4 3】発光素子 8 の電流密度－輝度特性を示す図。 20
- 【図 4 4】発光素子 8 の電圧－輝度特性を示す図。
- 【図 4 5】発光素子 8 の輝度－電流効率特性を示す図。
- 【図 4 6】発光素子 8 の発光スペクトルを示す図。
- 【図 4 7】発光素子 8 の定電流駆動による連続点灯試験結果を示す図。
- 【図 4 8】実施例の発光素子を説明する図。
- 【図 4 9】発光素子 9 の電流密度－輝度特性を示す図。
- 【図 5 0】発光素子 9 の電圧－輝度特性を示す図。
- 【図 5 1】発光素子 9 の輝度－電流効率特性を示す図。
- 【図 5 2】発光素子 9 の発光スペクトルを示す図。
- 【図 5 3】発光素子 9 の定電流駆動による連続点灯試験結果を示す図。 30
- 【図 5 4】発光素子 1 0 の電流密度－輝度特性を示す図。
- 【図 5 5】発光素子 1 0 の電圧－輝度特性を示す図。
- 【図 5 6】発光素子 1 0 の輝度－電流効率特性を示す図。
- 【図 5 7】発光素子 1 0 の発光スペクトルを示す図。
- 【図 5 8】発光素子 1 0 の定電流駆動による連続点灯試験結果を示す図。
- 【図 5 9】発光素子 1 1 の電流密度－輝度特性を示す図。
- 【図 6 0】発光素子 1 1 の電圧－輝度特性を示す図。
- 【図 6 1】発光素子 1 1 の輝度－電流効率特性を示す図。
- 【図 6 2】発光素子 1 1 の発光スペクトルを示す図。
- 【図 6 3】発光素子 1 1 の定電流駆動による連続点灯試験結果を示す図。 40
- 【図 6 4】B P A P Q の還元反応特性を示す図。
- 【図 6 5】D N T P D の還元反応特性を示す図。
- 【発明を実施するための形態】

【0024】

以下において、本発明について、発明を実施するための最良の形態を含む実施の態様に
関し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は当業者
であれば容易に理解される。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。

【0025】

まず、発光素子における輝度劣化要因について説明する。発光素子は通常、一定電流によって駆動されることが多いが、その場合、輝度劣化とは電流効率の低下である。そして電流効率は、流れている電流に対する光の出力であるため、流れているキャリアのうちどのくらいが発光層内において再結合に寄与しているか（キャリアバランス）、あるいは発光層内で再結合したキャリアのうち（つまり励起子のうち）どのくらいが発光に寄与しているか（量子収率）に大きく左右される。

【0026】

してみると、輝度劣化要因としては、キャリアバランスの経時的な変化、あるいは量子収率の経時劣化が大きなウェイトを占めていると考えられる。そのようなことから、本発明では、キャリアバランスの経時的な変化に着目し、そのキャリアバランスの経時的な変化を抑制することができる発光素子の開発に成功した。

10

【0027】

（実施の形態1）

本発明の発光素子の一態様について図1（A）を用いて以下に説明する。本実施の形態では、キャリアの移動を制御する層として、電子の移動を制御する層を設けた発光素子について説明する。

すなわち、本発明では、キャリアの移動を制御する層を用いて、キャリアバランスの経時変化を抑制し、発光素子を長寿命化するために、電極から離れた部位でキャリアの再結合が行われるようにしたものである。

【0028】

20

本発明の発光素子は、一对の電極間に複数の層を有する。当該複数の層は、電極から離れたところに発光領域が形成されるように、つまり電極から離れた部位でキャリアの再結合が行われるように、キャリア注入性の高い物質やキャリア輸送性の高い物質からなる層を組み合わせることで積層されたものである。

【0029】

本実施の形態において、発光素子は、第1の電極202と、第2の電極204と、第1の電極202と第2の電極204との間に設けられたEL層203とから構成されている。なお、本形態では第1の電極202は陽極として機能し、第2の電極204は陰極として機能するものとして、以下説明をする。つまり、第1の電極202の方が第2の電極204よりも電位が高くなるように、第1の電極202と第2の電極204に電圧を印加したときに、発光が得られるものとして、以下説明をする。

30

【0030】

基板201は発光素子の支持体として用いられる。基板201としては、例えばガラス、またはプラスチックなどを用いることができる。

なお、本発明の発光素子においては、基板201は、該発光素子を利用する製品である発光装置あるいは電気機器中に残存するようにしてよいが、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ってもよく、その場合には最終製品中に残存しないことになる。

【0031】

第1の電極202としては、仕事関数の大きい（具体的には4.0 eV以上）金属、合金、導電性化合物、およびこれらの混合物などを用いることが好ましい。具体的には、例えば、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（IZO：Indium Zinc Oxide）、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（IWZO）等が挙げられる。

40

【0032】

これらの導電性金属酸化物膜は、通常スパッタにより成膜されるが、ゾルーゲル法などを応用して、インクジェット法、スピンコート法などにより作製しても構わない。例えば、酸化インジウム－酸化亜鉛（IZO）は、酸化インジウムに対し1～20 wt %の酸化亜鉛を加えたターゲットを用いてスパッタリング法により形成することができる。また、

50

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（IWZO）は、酸化インジウムに対し酸化タングステンを0.5～5wt%、酸化亜鉛を0.1～1wt%含有したターゲットを用いてスパッタリング法により形成することができる。この他、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）、または金属材料の窒化物（例えば、窒化チタン）等が挙げられる。

【0033】

また、第1の電極と接する層として、後述する複合材料を含む層を用いた場合には、第1の電極として、仕事関数の大小に関わらず、様々な金属、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。例えば、アルミニウム（Al）、銀（Ag）、アルミニウムを含む合金（AlSi）等を用いることができる。

なお、本明細書中において、複合とは、単に2つの材料を混合させるだけでなく、複数の材料を混合することによって材料間での電荷の授受が行われ得る状態になることを言う。

【0034】

また、仕事関数の小さい材料である、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）、ユーロビウム（Eu）、イットルビウム（Yb）等の希土類金属およびこれらを含む合金等を用いることもできる。アルカリ金属、アルカリ土類金属、これらを含む合金の膜は、真空蒸着法を用いて形成することができる。また、アルカリ金属またはアルカリ土類金属を含む合金の膜はスパッタリング法により形成することも可能である。また、銀ペーストなどをインクジェット法などにより成膜することも可能である。

【0035】

EL層203は、第1の層211、第2の層212、第3の層213、第4の層214、第5の層215、第6の層216を有しており、このEL層203において、第3の層213は発光層、第4の層214はキャリアの移動を制御する層である。なお、本発明においては、EL層203は、本実施の形態で示すキャリアの移動を制御する層と、発光層とを有していればよく、その他の層積層構造については特に限定されない。例えば、正孔注入層、正孔輸送層、発光層、キャリアの移動を制御する層、電子輸送層、電子注入層等を適宜組み合わせる構成することができる。

【0036】

第1の層211は、正孔注入性の高い物質を含む層である。正孔注入性の高い物質としては、モリブデン酸化物やバナジウム酸化物、ルテニウム酸化物、タングステン酸化物、マンガン酸化物等を用いることができる。

この他、低分子の有機化合物としては、フタロシアニン（略称：H₂Pc）、銅（II）フタロシアニン（略称：CuPc）、バナジルフタロシアニン（略称：VO₂Pc）等のフタロシアニン系の化合物が挙げられる。

【0037】

さらに、低分子の有機化合物としては、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-（4-ジフェニルアミノフェニル）-N-フェニルアミノ〕ビフェニル（略称：DPAB）、4,4'-ビス（N-〔4-〔N'-（3-メチルフェニル）-N'-フェニルアミノ〕フェニル〕-N-フェニルアミノ）ビフェニル（略称：DNTPD）、1,3,5-トリス〔N-（4-ジフェニルアミノフェニル）-N-フェニルアミノ〕ベンゼン（略称：DPA3B）、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）等の芳香族アミン化合物等が挙げられる。

【0038】

また、第1の層211として、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を用いることができる。なお、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させたものを用いることにより、電極の仕事関数に依らず電極を形成する材料を選ぶことができる。つまり、第1の電極202として仕事関数の大きい材料だけでなく、仕事関数の小さい材料を用いることができる。これらの複合材料は、正孔輸送性の高い物質とアクセプター物質とを共蒸着することにより形成することができる。

10

【0039】

複合材料に用いる有機化合物としては、芳香族アミン化合物、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、高分子化合物（オリゴマー、デンドリマー、ポリマー等）など、種々の化合物を用いることができる。なお、複合材料に用いる有機化合物としては、正孔輸送性の高い有機化合物であることが好ましい。具体的には、 $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質であることが好ましい。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。以下では、複合材料に用いることのできる有機化合物を具体的に列挙する。

【0040】

複合材料に用いることのできる有機化合物としては、例えば、MTDATA、TDATA、DPAB、DNTPD、DPA3B、PCzPCA1、PCzPCA2、PCzPCN1、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）、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）等の芳香族アミン化合物や、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：TCPB）、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：CzPA）、1,4-ビス[4-(N-カルバゾリル)フェニル]-2,3,5,6-テトラフェニルベンゼン等のカルバゾール誘導体を挙げるができる。

20

【0041】

また、2-tert-ブチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン（略称：t-BuDNA）、2-tert-ブチル-9,10-ジ(1-ナフチル)アントラセン、9,10-ビス(3,5-ジフェニルフェニル)アントラセン（略称：DPPA）、2-tert-ブチル-9,10-ビス(4-フェニルフェニル)アントラセン（略称：t-BuDBA）、9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン（略称：DNA）、9,10-ジフェニルアントラセン（略称：DPAnth）、2-tert-ブチルアントラセン（略称：t-BuAnth）、9,10-ビス(4-メチル-1-ナフチル)アントラセン（略称：DMNA）、9,10-ビス[2-(1-ナフチル)フェニル]-2-tert-ブチル-アントラセン、9,10-ビス[2-(1-ナフチル)フェニル]アントラセン、2,3,6,7-テトラメチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン等の芳香族炭化水素化合物を挙げるができる。

30

40

【0042】

さらに、2,3,6,7-テトラメチル-9,10-ジ(1-ナフチル)アントラセン、2,3,6,7-テトラメチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン、9,9'-ビアントリル、10,10'-ジフェニル-9,9'-ビアントリル、10,10'-ビス(2-フェニルフェニル)-9,9'-ビアントリル、10,10'-ビス[(2,3,4,5,6-ペンタフェニル)フェニル]-9,9'-ビアントリル、アントラセン、テトラセン、ルブレネン、ペリレン、2,5,8,11-テトラ(tert-ブチル)ペリレン、ペンタセン、コロネン、4,4'-ビス(2,2-ジフェニルビニル)ビフェニル（略称：DPVBi）、9,10-ビス[4-(2,2-ジフェニルビニル)フェニル]

50

ル] アントラセン (略称: DPVPA) 等の芳香族炭化水素化合物を挙げることができる。

【0043】

また、アクセプター性物質としては、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: F_4 -TCNQ)、クロラニル等の有機化合物や、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。

10

【0044】

また、第1の層211としては、高分子化合物 (オリゴマー、デンドリマー、ポリマー等) を用いることができる。例えば、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が挙げられる。また、ポリ (3, 4-エチレンジオキシチオフェン) / ポリ (スチレンスルホン酸) (PEDOT/ PSS)、ポリアニリン / ポリ (スチレンスルホン酸) (PANI/ PSS) 等の酸を添加した高分子化合物を用いることができる。

20

なお、上述したPVK、PVTPA、PTPDMA、Poly-TPD等の高分子化合物と、上述したアクセプター性物質を用いて複合材料を形成し、第1の層211としてもよい。

【0045】

第2の層212は、正孔輸送性の高い物質を含む層である。正孔輸送性の高い物質としては、低分子の有機化合物としては、NPB (または α -NPD)、TPD、4, 4'-ビス [N- (9, 9-ジメチルフルオレン-2-イル) -N-フェニルアミノ] ビフェニル (略称: DFLLDPBi)、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。

30

【0046】

但し、第2の層212については、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、前記以外のものを用いてもよい。なお、正孔輸送性の高い物質を含む層は、単層のものだけでなく、上記物質からなる層が二層以上積層したものとしてもよい。

また、第2の層212として、PVK、PVTPA、PTPDMA、Poly-TPDなどの高分子化合物を用いることもできる。

【0047】

第3の層213は、発光性の高い物質を含む層であり、本発明の発光層に該当し、種々の材料を用いることができる。低分子の有機化合物としては、具体的には、青色系の発光材料として、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: YGAS)、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: YGAPA) などが挙げられる。

40

【0048】

また、緑色系の発光材料として、N- (9, 10-ジフェニル-2-アントリル) -N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン (略称: 2PCAPA)、N- [9, 10-ビス (1, 1'-ビフェニル-2-イル) -2-アントリル] -N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン (略称: 2PCABPhA)、N- (9, 10-ジフェニル-2-アントリル) -N, N', N'-トリフェニル-1, 4-フェニレンジ

50

アミン（略称：2DPAPA）、N-[9, 10-ビス（1, 1'-ビフェニル-2-イル）-2-アントリル]-N, N', N'-トリフェニル-1, 4-フェレンジアミン（略称：2DPABPhA）、N-[9, 10-ビス（1, 1'-ビフェニル-2-イル）]-N-[4-（9H-カルバゾール-9-イル）フェニル]-N-フェニルアントラセン-2-アミン（略称：2YGABPhA）、N, N, 9-トリフェニルアントラセン-9-アミン（略称：DPhAPhA）などが挙げられる。

【0049】

また、黄色系の発光材料として、ルブレン、5, 12-ビス（1, 1'-ビフェニル-4-イル）-6, 11-ジフェニルテトラセン（略称：BPT）などが挙げられる。さらに、赤色系の発光材料として、N, N, N', N'-テトラキス（4-メチルフェニル）テトラセン-5, 11-ジアミン（略称：p-mPhTD）、7, 13-ジフェニル-N, N, N', N'-テトラキス（4-メチルフェニル）アセナフト[1, 2-a]フルオランテン-3, 10-ジアミン（略称：p-mPhAFD）などが挙げられる。また、ビス[2-（2'-ベンゾ[4, 5-a]チエニル）ピリジナト-N, C^{3'}]イリジウム（III）アセチルアセトナート（略称：Ir(btp)₂(acac)）のような燐光材料を用いることもできる。

【0050】

なお、本実施の形態では、キャリアの移動を制御する層を、発光層と、陰極として機能する第2の電極との間に設けており、そのため、発光層は、電子輸送性であることが好ましい。発光層が電子輸送性の場合、従来では発光層内からの電子の突き抜けを防ぐため、電子ブロック層を発光層の陽極側に設けていた。しかしながら、その電子ブロック機能が経時的に劣化すると、再結合領域が電子ブロック層内（あるいは正孔輸送層内）にまで及んでしまい、電流効率の低下（すなわち輝度劣化）が顕著となる。

他方本発明の場合は、逆に、発光層の手前（陰極側）において電子の移動を制御しているため、多少電子のバランス（正孔に対する移動度や電荷量等）が崩れたとしても、発光層内における再結合の割合は変化しにくく、輝度が低下しにくいというメリットがある。

【0051】

なお、発光層としては、上述した発光性の高い物質を他の物質に分散させた構成としてもよい。発光性の物質を分散させるための材料としては、各種のものをを用いることができ、発光性の物質よりも最低空軌道準位（LUMO準位）が高く、最高被占有軌道準位（HOMO準位）が低い物質を用いることが好ましい。

【0052】

なお、本実施の形態では、キャリアの移動を制御する層を、発光層と、陰極として機能する第2の電極との間に設けるため、発光層は、電子輸送性であることが好ましい。つまり、正孔輸送性よりも電子輸送性の方が高いことが好ましい。よって、上述した発光性の高い物質を分散させるための材料としては、電子輸送性の有機化合物であることが好ましい。

【0053】

具体的には、トリス（8-キノリノラト）アルミニウム（III）（略称：Alq）、トリス（4-メチル-8-キノリノラト）アルミニウム（III）（略称：Almq₃）、ビス（10-ヒドロキシベンゾ[h]キノリナト）ベリリウム（II）（略称：BeBq₂）、ビス（2-メチル-8-キノリノラト）（4-フェニルフェノラト）アルミニウム（III）（略称：BA1q）、ビス（8-キノリノラト）亜鉛（II）（略称：Znq）、ビス[2-（2-ベンゾオキサゾリル）フェノラト]亜鉛（II）（略称：ZnPBO）、ビス[2-（2-ベンゾチアゾリル）フェノラト]亜鉛（II）（略称：ZnBTZ）などの金属錯体を用いることができる。

【0054】

さらに、2-（4-ビフェニリル）-5-（4-tert-ブチルフェニル）-1, 3, 4-オキサジアゾール（略称：PBD）、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）

、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)、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)、バソフェナントロリン(略称:BPhen)、バソキュプロイン(略称:BCP)などの複素環化合物も用いることができる。

【0055】

また、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:CzPA)、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:DPCzPA)、9,10-ビス(3,5-ジフェニルフェニル)アントラセン(略称:DPPA)、9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン(略称:DNA)、2-tert-ブチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン(略称:t-BuDNA)、9,9'-ビアントリル(略称:BANT)、9,9'-(スチルベン-3,3'-ジイル)ジフェナントレン(略称:DPNS)、9,9'-(スチルベン-4,4'-ジイル)ジフェナントレン(略称:DPNS2)、3,3',3''-(ベンゼン-1,3,5-トリイル)トリピレン(略称:TPB3)などの縮合芳香族化合物を用いることができる。

【0056】

また、発光性の物質を分散させるための材料は複数種用いることができる。例えば、結晶化を抑制するためにルブレン等の結晶化を抑制する物質をさらに添加してもよい。さらに、発光性の物質へのエネルギー移動をより効率良く行うためにNPB、あるいはAlq等を添加してもよい。

また、発光性の高い物質を他の物質に分散させた構成とすることにより、第3の層213の結晶化を抑制することができる。さらに、発光性の高い物質の濃度が高いことによる濃度消光を抑制することができる。

【0057】

また、発光層である第3の層213として高分子化合物を用いることができる。具体的には、青色系の発光材料として、ポリ(9,9-ジオクチルフルオレン-2,7-ジイル)(略称:POF)、ポリ[(9,9-ジオクチルフルオレン-2,7-ジイル)-co-(2,5-ジメトキシベンゼン-1,4-ジイル)](略称:PF-DMOP)、ポリ{(9,9-ジオクチルフルオレン-2,7-ジイル)-co-[N,N'-ジ(p-ブチルフェニル)-1,4-ジアミノベンゼン]}(略称:TAB-PFH)などが挙げられる。

【0058】

さらに、緑色系の発光材料として、ポリ(p-フェニレンビニレン)(略称:PPV)、ポリ[(9,9-ジヘキシルフルオレン-2,7-ジイル)-alt-co-(ベンゾ[2,1,3]チアジアゾール-4,7-ジイル)](略称:PFBT)、ポリ[(9,9-ジオクチル-2,7-ジビニレンフルオレニレン)-alt-co-(2-メトキシ-5-(2-エチルヘキシルオキシ)-1,4-フェニレン)]などが挙げられる。

【0059】

また、橙色～赤色系の発光材料として、ポリ[2-メトキシ-5-(2'-エチルヘキソキシ)-1,4-フェニレンビニレン](略称:MEH-PPV)、ポリ(3-ブチルチオフェン-2,5-ジイル)、ポリ{[9,9-ジヘキシル-2,7-ビス(1-シアノビニレン)フルオレニレン]-alt-co-[2,5-ビス(N,N'-ジフェニルアミノ)-1,4-フェニレン]}、ポリ{[2-メトキシ-5-(2-エチルヘキシロキシ)-1,4-ビス(1-シアノビニレンフェニレン)]-alt-co-[2,5-ビス(N,N'-ジフェニルアミノ)-1,4-フェニレン]}(略称:CN-PPV-DPD)などが挙げられる。

【0060】

第4の層214はキャリアの移動を制御する層であり、2種類以上の物質を含む。

本発明の発光素子においては、このキャリアの移動を制御する層を有することが最大の

特徴であり、その制御する層は、キャリア輸送性の有機化合物である第1の有機化合物とキャリアトラップ性の有機化合物である第1の有機化合物を含むものである。

そのキャリア輸送性の有機化合物には、電子輸送性の化合物と正孔輸送性の化合物があり、またキャリアトラップ性の有機化合物には電子トラップ性の化合物と正孔トラップ性の化合物とがある。

【0061】

本実施の形態の第4の層214においては、第1の有機化合物は、第2の有機化合物よりも多く含まれている。本実施の形態では、キャリアの移動を制御する層を、発光機能を担う層、すなわち発光層よりも陰極として機能する第2の電極側に設ける場合について説明する。つまり、発光機能を担う第3の層213と第2の電極204との間に設ける場合

10

発光機能を担う層よりも陰極として機能する第2の電極側に設ける場合、第1の有機化合物は、電子輸送性を有する有機化合物であることが好ましい。つまり、第1の有機化合物は、正孔輸送性よりも電子輸送性の方が高い物質であることが好ましい。

【0062】

それに対して、第2の有機化合物は、電子をトラップする機能を有する有機化合物であることが好ましい。つまり、第2の有機化合物は、第1の有機化合物の最低空軌道準位（LUMO準位）より0.3 eV以上低い最低空軌道準位（LUMO準位）を有する有機化合物であることが好ましい。

第2の有機化合物が含まれることにより、層全体としては、第1の有機化合物のみからなる層よりも電子輸送速度が小さくなる。つまり、第2の有機化合物を添加することにより、キャリアの移動を制御することが可能となる。また、第2の有機化合物の濃度を制御することにより、キャリアの移動速度を制御することが可能となる。

20

具体的には、第2の有機化合物の濃度は、0.1重量%～5重量%、または、0.1mol%～5mol%であることが好ましい。

【0063】

また、第2の有機化合物は発光してもよいが、その場合には、発光素子の色純度を保つため、発光機能を担う層の発光色と第2の有機化合物の発光色とが同系色の発光色であることが好ましい。例えば、発光機能を担う層に含まれる有機化合物がYGA2SやYGAPPのような青色系の発光を示す有機化合物である場合、第2の有機化合物はアクリドン、クマリン102、クマリン6H、クマリン480D、クマリン30などの青色～青緑色の発光を示す物質であることが好ましい。これによって、第2の有機化合物が意に反して発光した場合にも発光素子の色純度を保つことができる。

30

【0064】

また、発光機能を担う層に含まれる有機化合物が2PCAPA、2PCABPhA、2DPAPA、2DPABPhA、2YGABPhA、DPhAPhAのような緑色系の発光色を示す有機化合物である場合、第2の有機化合物はN、N'-ジメチルキナクリドン（略称：DMQd）、N、N'-ジフェニルキナクリドン（略称：DPQd）、9,18-ジヒドロベンゾ[h]ベンゾ[7,8]キノ[2,3-b]アクリジン-7,16-ジオン（略称：DMNQd-1）、9,18-ジヒドロ-9,18-ジメチルベンゾ[h]ベンゾ[7,8]キノ[2,3-b]アクリジン-7,16-ジオン（略称：DMNQd-2）、クマリン30、クマリン6、クマリン545T、クマリン153などの青緑色～黄緑色の発光を示す物質であることが好ましい。

40

【0065】

また、発光機能を担う層に含まれる有機化合物がルブレン、BPTのような黄色系の発光を示す有機化合物である場合、第2の有機化合物はDMQd、（2-〔2-〔4-（9H-カルバゾール-9-イル）フェニル〕エチル〕-6-メチル-4H-ピラン-4-イルイデン）プロパンジニトリル（略称：DCMCZ）などの黄緑色～黄橙色の発光を示す物質であることが好ましい。

【0066】

50

また、発光機能を担う層に含まれる有機化合物が $p-mPhTD$ 、 $p-mPhAFD$ のような赤色系の発光を示す有機化合物である場合、第2の有機化合物は(2- {2- [4- (ジメチルアミノ) フェニル] エテニル} -6-メチル-4H-ピラン-4-イリデン) プロパンジニトリル (略称: $DCM1$)、{2-メチル-6- [2- (2, 3, 6, 7-テトラヒドロ-1H, 5H-ベンゾ [i j] キノリジン-9-イル) エテニル] -4H-ピラン-4-イリデン} プロパンジニトリル (略称: $DCM2$)、{2- (1, 1-ジメチルエチル) -6- [2- (2, 3, 6, 7-テトラヒドロ-1, 1, 7, 7-テトラメチル-1H, 5H-ベンゾ [i j] キノリジン-9-イル) エテニル] -4H-ピラン-4-イリデン} プロパンジニトリル (略称: $DCJTB$)、ナイルレッドなどの橙色～赤色の発光を示す物質であることが好ましい。

10

【0067】

また、発光機能を担う層の発光材料が燐光材料である場合、第2の有機化合物も燐光材料であることが好ましい。例えば、発光材料が上述した $Ir(btp)_2(acac)$ である場合、 $Ir(btp)_2(acac)$ は赤色発光を示すため、第2の有機化合物として赤色の燐光材料である(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: $Ir(Fdpq)_2(acac)$) などを用いればよい。なお、上述した化合物は、発光素子に用いられる化合物の中でも $LUMO$ 準位が低い化合物であり、後述する第1の有機化合物に添加することで良好な電子トラップ性を示す。

【0068】

20

なお、第2の有機化合物としては、上記に列挙した物質の中でも、 $DMQd$ 、 $DPQd$ 、 $DMNQd-1$ 、 $DMNQd2$ のようなキナクリドン誘導体が化学的に安定であるため好ましい。すなわち、キナクリドン誘導体を適用することにより、特に発光素子を長寿命化することができる。また、キナクリドン誘導体は緑色系の発光を示すため、本発明の発光素子の素子構造は、緑色系の発光素子に対して特に有効である。緑色は、フルカラーディスプレイを作製する際には最も輝度が必要な色であるため、劣化が他の色に比して大きくなってしまう場合があるが、本発明を適用することによりそれを改善することができる。

【0069】

また、第4の層214に含まれる第1の有機化合物は、電子輸送性を有する有機化合物である。つまり、正孔輸送性よりも電子輸送性の方が高い物質である。具体的には、 Alq 、 $Almq_3$ 、 $BeBq_2$ 、 $BAlq$ 、 Znq 、 $BAlq$ 、 $ZnPBO$ 、 $ZnBTZ$ などの金属錯体、 PBD 、 $OXD-7$ 、 TAZ 、 $TPBI$ 、 $BPhen$ 、 BCP などの複素環化合物、 $CzPA$ 、 $DPCzPA$ 、 $DPPA$ 、 DNA 、 $t-BuDNA$ 、 $BANT$ 、 $DPNS$ 、 $DPNS2$ 、 $TPB3$ などの縮合芳香族化合物を用いることができる。

30

【0070】

また、ポリ[(9, 9-ジヘキシルフルオレン-2, 7-ジイル)-co-(ピリジン-3, 5-ジイル)] (略称: $PF-Py$)、ポリ[(9, 9-ジオクチルフルオレン-2, 7-ジイル)-co-(2, 2'-ビピリジン-6, 6'-ジイル)] (略称: $PF-BPy$) などの高分子化合物を用いることができる。中でも電子に対して安定な金属錯体であることが好ましい。

40

【0071】

また、先に述べたように、第2の有機化合物の $LUMO$ 準位は、第1の有機化合物の $LUMO$ 準位より 0.3 eV 以上低いことが好ましい。したがって、用いる第2の有機化合物の種類に応じて、そのような条件を満たすように適宜第1の有機化合物を選択すればよい。例えば、後記する実施例に示すように、第2の有機化合物として $DPQd$ やクマリン6を用いる場合、第1の有機化合物として Alq を用いることで、上述の条件を満たすようになる。

【0072】

なお、第3の層213に含まれる発光性の高い物質の発光色と、第4の層214に含ま

50

れる第2の有機化合物の発光色は同系色の発光色であることが好ましい。そのため、発光性の高い物質の発光スペクトルのピーク値と第2の有機化合物の発光スペクトルのピーク値との差は、30nm以内であることが好ましい。30nm以内であることにより、発光性の高い物質の発光色と第2の有機化合物の発光色は、同系色の発光色となる。よって、電圧等の変化により、第2の有機化合物が発光した場合にも、発光色の変化を抑制することができる。

【0073】

ただし、必ずしも第2の有機化合物が発光する必要はない。例えば、発光性の高い物質の方が発光効率が高い場合は、実質的に発光性の高い物質の発光のみが得られるように、第4の層214における第2の有機化合物の濃度を調節する（第2の有機化合物の発光が抑制されるように、その濃度を若干低くする）ことが好ましい。この場合、発光性の高い物質の発光色と第2の有機化合物の発光色は同系統の発光色である（すなわち、同程度のエネルギーギャップを持つ）ため、発光性の高い物質から第2の有機化合物へのエネルギー移動は生じにくく、高い発光効率を得られる。

【0074】

なお、第2の有機化合物は、クマリン102、クマリン6H、クマリン480D、クマリン30、クマリン6、クマリン545T、クマリン153などのクマリン誘導体であることが好ましい。クマリン誘導体は、電子トラップ性が弱いいため、第1の有機化合物に添加する濃度が比較的高くてもよい。つまり、濃度の調節がしやすく、所望の性質を有するキャリアの移動を制御する層を得ることができる。また、クマリン誘導体は発光効率が高いため、第2の有機化合物が発光した場合、発光素子全体の発光効率の低下を抑制することができる。

【0075】

図4は、図1（A）で示した本発明の発光素子のバンド図の一例である。図4において、第1の電極202から注入された正孔は、正孔注入性の高い物質が含まれる第1の層211、正孔輸送性の高い物質が含まれる第2の層212を通り、発光性の高い物質が含まれる第3の層213に注入される。一方、第2の電極204から注入された電子は、電子注入性の高い物質が含まれる第6の層216、電子輸送性の高い物質が含まれる第5の層215を通り、キャリアの移動を制御する層である第4の層214に注入される。キャリアの移動を制御する層に注入された電子は、電子トラップ性を有する第2の有機化合物により、電子の移動が遅くなる。遅くなった電子は、発光性の高い物質を含む第3の層213に注入され、正孔と再結合し、発光する。

【0076】

例えば、第3の層213が電子輸送性を有する場合、第2の層212から第3の層213に注入された正孔は移動が遅くなる。また、第4の層214から第3の層213に注入された電子は、第4の層214で移動が遅くなっているため、第3の層213でも移動が遅い。よって、移動の遅い正孔と移動の遅い電子が第3の層213で再結合するため、再結合確率が高くなり、発光効率が向上する。

【0077】

もし第4の層214を設けない従来の発光素子であれば、電子の移動は遅くならないまま第3の層213に注入され、第2の層212と第3の層213との界面付近まで達する。そのため、発光領域は第2の層212と第3の層213との界面近傍に形成される。その場合、電子が第2の層212にまで達してしまい、第2の層212を劣化させる恐れがある。また、経時的に第2の層212にまで達してしまう電子の量が増えていくと、経時的に発光層内での再結合確率が低下していくことになるため、素子寿命の低下（輝度の経時劣化）に繋がってしまう。

【0078】

本発明の発光素子において、第2の電極204から注入された電子は、電子注入性の高い物質が含まれる第6の層216、電子輸送性の高い物質が含まれる第5の層215を通り、キャリアの移動を制御する層である第4の層214に注入される。ここで、第4の層

214は、電子輸送性を有する第1の有機化合物に、電子をトラップする機能を有する第2の有機化合物を添加した構成となっている。したがって、第4の層214に注入された電子は、その移動が遅くなり、第3の層213への電子注入が制御される。

【0079】

その結果、従来では正孔輸送性の高い物質が含まれる第2の層212と第3の層213との界面近傍で形成されたはずの発光領域が、本発明の発光素子においては、第3の層213から、第3の層213と第4の層214との界面付近にかけて形成されることになる。したがって、電子が第2の層212にまで達してしまい、正孔輸送性の高い物質が含まれる第2の層212を劣化させる可能性が低くなる。また正孔に関しても、第4の層214が電子輸送性を有する第1の有機化合物を有しているため、正孔が第5の層215にまで達して電子輸送性の高い物質が含まれる第5の層215を劣化させる可能性は低い。

10

【0080】

さらに、本発明においては、第4の層214において、単に電子移動度の遅い物質を適用するのではなく、電子輸送性を有する有機化合物、すなわちキャリア輸送性の有機化合物に、電子をトラップする機能を有する有機化合物、すなわちキャリアトランプ性の有機化合物を添加している点が重要である。このような構成とすることで、単に第3の層213への電子注入を制御するだけでなく、その制御された電子注入量が経時的に変化するのを抑制することができる。以上のことから本発明の発光素子は、発光素子において経時的にキャリアバランスが悪化して再結合確率が低下していく現象を防ぐことができるため、素子寿命の向上（輝度の経時劣化の抑制）に繋がる。

20

【0081】

本発明の発光素子は、発光層と正孔輸送層との界面または発光層と電子輸送層との界面に発光領域が形成されていないため、正孔輸送層や電子輸送層に発光領域が近接することによる劣化の影響を受けることがない。また、キャリアバランスの経時的な変化（特に電子注入量の経時的変化）を抑制することができる。したがって、劣化が少なく、寿命の長い発光素子を得ることができる。

【0082】

また、第4の層214に含まれる第2の有機化合物の発光色と、発光層である第3の層213に含まれる発光性の高い物質の発光色とは、同系色の発光色であることが好ましい。具体的には、第2の有機化合物の発光スペクトルのピーク値と発光性の高い物質の発光スペクトルのピーク値との差は、30nm以内であることが好ましい。30nm以内であることにより、第2の有機化合物の発光色と発光性の高い物質の発光色は、同系色の発光色となる。よって、電圧等の変化により、第2の有機化合物が発光した場合にも、発光色の変化を抑制することができる。ただし、必ずしも第2の有機化合物が発光する必要はない。

30

【0083】

また、第4の層214の膜厚は、5nm以上20nm以下であることが好ましい。厚すぎる膜厚だと、キャリアの移動速度を低下させすぎてしまい、駆動電圧が高くなってしまふ。また、薄すぎる膜厚だと、キャリアの移動を制御する機能を実現しなくなってしまう。よって、5nm以上20nm以下の膜厚であることが好ましい。

40

【0084】

第5の層215は、電子輸送性の高い物質を含む層である。例えば、低分子の有機化合物として、Alq、Almq₃、BeBq₂、BALq、ZnPBO、ZnBTZなどの金属錯体を用いることができる。さらに、金属錯体以外にも、PBD、OXD-7、TAZ、TPBI、BPhen、BCPなどの複素環化合物も用いることができる。ここに述べた物質は、主に10⁻⁶cm²/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として用いても構わない。また、電子輸送層は、単層のものだけでなく、上記物質からなる層が二層以上積層したものとしてもよい。

【0085】

50

また、第5の層215として、高分子化合物を用いることができる。例えば、ポリ〔(9, 9-ジヘキシルフルオレン-2, 7-ジイル)-co-(ピリジン-3, 5-ジイル)〕(略称: PF-Py)、ポリ〔(9, 9-ジオクチルフルオレン-2, 7-ジイル)-co-(2, 2'-ビピリジン-6, 6'-ジイル)〕(略称: PF-BPy)などを用いることができる。

【0086】

また、第6の層216は、電子注入性の高い物質を含む層である。電子注入性の高い物質としては、フッ化リチウム(LiF)、フッ化セシウム(CsF)、フッ化カルシウム(CaF₂)等のようなアルカリ金属又はアルカリ土類金属又はそれらの化合物を用いることができる。例えば、電子輸送性を有する物質からなる層中にアルカリ金属又はアルカリ土類金属又はそれらの化合物を含有させたもの、例えばAlq中にマグネシウム(Mg)を含有させたもの等を用いることができる。なお、電子注入層として、電子輸送性を有する物質からなる層中にアルカリ金属又はアルカリ土類金属を含有させたものを用いることにより、第2の電極204からの電子注入が効率良く行われるためより好ましい。

【0087】

第2の電極204を形成する物質としては、仕事関数の小さい(具体的には3.8eV以下)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。このような陰極材料の具体例としては、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)、ユーロビウム(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等が挙げられる。アルカリ金属、アルカリ土類金属、これらを含む合金の膜は、真空蒸着法を用いて形成することができる。また、アルカリ金属またはアルカリ土類金属を含む合金の膜はスパッタリング法により形成することも可能である。また、銀ペーストなどをインクジェット法などにより成膜することも可能である。

【0088】

また、第2の電極204と第5の層215との間に、電子注入を促す機能を有する層である第6の層216を設けることにより、仕事関数の大小に関わらず、Al、Ag、ITO、珪素若しくは酸化珪素を含有した酸化インジウム-酸化スズ等様々な導電性材料を第2の電極204として用いることができる。これら導電性材料は、スパッタリング法やインクジェット法、スピンコート法等を用いて成膜することが可能である。

【0089】

また、EL層の形成方法としては、乾式法、湿式法を問わず、種々の方法を用いることができる。例えば、真空蒸着法、インクジェット法またはスピンコート法など用いても構わない。また各電極または各層ごとに異なる成膜方法を用いて形成しても構わない。

例えば、上述した材料のうち、高分子化合物を用いて湿式法でEL層を形成してもよい。または、低分子の有機化合物を用いて湿式法で形成することもできる。また、低分子の有機化合物を用いて真空蒸着法などの乾式法を用いてEL層を形成してもよい。

また、電極についても、ゾルーゲル法を用いて湿式法で形成しても良いし、金属材料のペーストを用いて湿式法で形成してもよい。また、スパッタリング法や真空蒸着法などの乾式法を用いて形成しても良い。

【0090】

以下、具体的な発光素子の形成方法を示す。本発明の発光素子を表示装置に適用し、発光層を塗り分ける場合には、発光層は湿式法により形成することが好ましい。発光層をインクジェット法を用いて形成することにより、大型基板であっても発光層の塗り分けが容易となる。

【0091】

例えば、図1(A)に示した構成において、第1の電極を乾式法であるスパッタリング法、第1の層を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法、第2の層を乾式法であ

10

20

30

40

50

る真空蒸着法、第3の層を湿式法であるインクジェット法、第4の層を乾式法である共蒸着法、第5の層および第6の層を乾式法である真空蒸着法、第2の電極を湿式法であるインクジェット法やスピコート法を用いて形成してもよい。

【0092】

また、第1の電極を湿式法であるインクジェット法、第1の層を乾式法である真空蒸着法、第2の層を湿式法であるインクジェット法やスピコート法、第3の層を湿式法であるインクジェット法、第4の層を湿式法であるインクジェット法やスピコート法、第5の層および第6の層を湿式法であるインクジェット法やスピコート法、第2の電極を湿式法であるインクジェット法やスピコート法を用いて形成してもよい。なお、上記の方法に限らず、湿式法と乾式法を適宜組み合わせればよい。

10

【0093】

例えば、図1(A)に示した構成の場合、第1の電極を乾式法であるスパッタリング法、第1の層および第2の層を湿式法であるインクジェット法やスピコート法、発光層である第3の層を湿式法であるインクジェット法、第4の層を乾式法である共蒸着法、第5の層および第6の層を乾式法である真空蒸着法、第2の電極を乾式法である真空蒸着法で形成することができる。

【0094】

つまり、第1の電極が所望の形状で形成されている基板上に、第1の層から第3の層までを湿式法で形成し、第4の層から第2の電極までを乾式法で形成することができる。この方法では、第1の層から第3の層までを大気圧で形成することができ、第3の層の塗り分けも容易である。また、第4の層から第2の電極までは、真空一貫で形成することができる。よって、工程を簡略化し、生産性を向上させることができる。

20

【0095】

一例を以下に示す。第1の電極上に、第1の層としてPEDOT/ PSSを形成する。PEDOT/ PSSは水溶性であるため、水溶液としてスピコート法やインクジェット法などにより、成膜することができる。第2の層は設けず、第1の層上に発光層として第3の層を設ける。発光層は、すでに形成されている第1の層(PEDOT/ PSS)が溶解しない溶媒(トルエン、ドデシルベンゼン、あるいはドデシルベンゼンとテトラリンとの混合溶媒など)に、発光性の物質を溶かした溶液を用いてインクジェット法を用いて形成することができる。次に、第3の層上に第4の層を形成するが、第4の層を湿式法で形成する場合には、すでに形成されている第1の層および第3の層が溶解しない溶媒を用いて形成しなくてはならない。その場合、溶媒の選択肢が狭まるため、乾式法を用いて形成の方が容易である。よって、第4の層から第2の電極までを乾式法である真空蒸着法を用いて真空一貫で形成することにより、工程を簡略化することができる。

30

【0096】

また、図2(A)に示した構成の場合、上記の方法とは逆の順番で、第2の電極を乾式法であるスパッタリングまたは真空蒸着法、第6の層から第5の層を乾式法である真空蒸着法、第4の層を乾式法である共蒸着法、第3の層を湿式法であるインクジェット法、第2の層および第1の層を湿式法であるインクジェット法やスピコート法、第1の電極を湿式法であるインクジェット法やスピコート法により形成することができる。この方法では、第2の電極から第4の層までを乾式法により真空一貫で形成し、第3の層から第1の電極までを大気圧で形成することができる。よって、工程を簡略化し、生産性を向上させることができる。

40

【0097】

以上のような構成を有する本発明の発光素子は、第1の電極202と第2の電極204との間に生じた電位差により電流が流れ、EL層203において正孔と電子とが再結合し、発光するものである。

発光は、第1の電極202または第2の電極204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。従って、第1の電極202または第2の電極204のいずれか一方または両方は、透光性を有する電極である。

50

【0098】

第1の電極202のみが透光性を有する電極である場合、図3（A）に示すように、発光は第1の電極202を通して基板側から取り出される。また、第2の電極204のみが透光性を有する電極である場合、図3（B）に示すように、発光は第2の電極204を通して基板と逆側から取り出される。第1の電極202および第2の電極204がいずれも透光性を有する電極である場合、図3（C）に示すように、発光は第1の電極202および第2の電極204を通して、基板側および基板と逆側の両方から取り出される。

【0099】

なお、第1の電極202と第2の電極204との間に設けられる層の構成は、上記のものには限定されない。発光領域と金属とが近接することによって生じる消光を防ぐように、第1の電極202および第2の電極204から離れた部位に正孔と電子とが再結合する発光領域を設けた構成であり、キャリアの移動を制御する層を有する構成であれば、上記以外のものでもよい。

【0100】

つまり、層の積層構造については特に限定されず、電子輸送性の高い物質または正孔輸送性の高い物質、電子注入性の高い物質、正孔注入性の高い物質、バイポーラ性（電子及び正孔の輸送性の高い物質）の物質等から成る層と、本実施の形態で示すキャリアの移動を制御する層および発光層を適宜組み合わせる構成すればよい。

【0101】

なお、本実施の形態で示すキャリアの移動を制御する層は、電子の移動を制御するものであるため、発光層よりも陰極として機能する電極側に設けることが好ましい。

例えば、図1（B）に示すように、発光機能を担う第3の層213と、キャリアの移動を制御する層である第4の層214との間に、電子輸送性の高い物質を含む第7の層217を設けてもよい。

【0102】

より好ましくは、キャリアの移動を制御する層は発光層と接するように設けることが望ましい。キャリアの移動を制御する層を発光層と接するように設けることにより、発光層への電子注入を直接制御できるため、発光層内におけるキャリアバランスの経時変化をより抑制することができ、素子寿命向上に関してより大きな効果が得られる。また、電子輸送性の高い物質を含む第7の層217を設けることがないので、プロセス的にも簡便となる。

【0103】

なお、キャリアの移動を制御する層を発光層と接するよう設ける場合には、キャリアの移動を制御する層に含まれる第1の有機化合物と、発光層に多く含まれている有機化合物とは、異なる有機化合物であることが好ましい。特に、発光層の構成が、発光性の高い物質を分散させる物質（第3の有機化合物）と、発光性の高い物質（第4の有機化合物）とを含む場合、第3の有機化合物と、第1の有機化合物とは、異なる有機化合物であることが好ましい。このような構成により、キャリアの移動を制御する層から発光層へのキャリア（本実施の形態においては電子）の移動が、第1の有機化合物と第3の有機化合物との間においても抑制され、キャリアの移動を制御する層を設ける効果がより高くなる。

【0104】

また、図2（A）に示す発光素子は、基板201上に、陰極として機能する第2の電極204、EL層203、陽極として機能する第1の電極202とが順に積層された構成となっている。EL層203は、第1の層211、第2の層212、第3の層213、第4の層214、第5の層215、第6の層216を有する。第4の層214は、第3の層213よりも陰極として機能する第2の電極側に設けられている。

【0105】

本実施の形態においては、ガラス、プラスチックなどからなる基板上に発光素子を作製している。一基板上にこのような発光素子を複数作製することで、パッシブマトリクス型の発光装置を作製することができる。また、ガラス、プラスチックなどからなる基板上に

10

20

30

40

50

、例えば、薄膜トランジスタ（T F T）を形成し、T F Tと電氣的に接続された発光素子を作製してもよい。これにより、T F Tによって発光素子の駆動を制御するアクティブマトリクス型の発光装置を作製できる。

【0106】

なお、その際におけるT F Tの構造については、特に限定されない。スタガ型のT F Tでもよいし、逆スタガ型のT F Tでもよい。また、T F T基板に形成される駆動用回路についても、N型およびP型のT F Tからなるものでもよいし、若しくはN型のT F TまたはP型のT F Tのいずれか一方からのみなるものであってもよい。また、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。非晶質半導体膜を用いてもよいし、結晶性半導体膜を用いてもよい。

10

【0107】

本発明の発光素子は、キャリアの移動を制御する層を有している。キャリアの移動を制御する層は、2種類以上の物質を含むため、物質の組み合わせや混合比、膜厚などを制御することにより、キャリアバランスを精密に制御することが可能である。

さらに、物質の組み合わせや混合比、膜厚などの制御でキャリアバランスを制御することが可能であるので、従来よりも容易にキャリアバランスの制御が可能となる。つまり、用いる材料そのものの物性を変化させなくても、混合比や膜厚等により、キャリアの移動を制御することができる。

【0108】

また、キャリアの移動を制御する層を用いてキャリアバランスを向上させることにより、発光素子の発光効率を向上させることができる。

20

さらに、キャリアの移動を制御する層を用いることにより、過剰の電子が注入されることや、発光層を突き抜けて正孔輸送層や正孔注入層へ電子が達することを抑制することができる。正孔輸送層や正孔注入層へ電子が達してしまうと、発光層内で再結合する確率が低下してしまい（すなわちキャリアバランスが崩れてしまい）、経時的な発光効率の低下を招いてしまう。つまり、発光素子の寿命が短くなってしまう。

【0109】

しかしながら、本発明では、本実施の形態で示すように、キャリアの移動を制御する層を用いることにより、過剰の電子が注入されることや、発光層を突き抜けて正孔輸送層や正孔注入層へ電子が達することを抑制し、経時的な発光効率の低下を抑制することができる。つまり、長寿命の発光素子を得ることができる。

30

さらに詳述すれば、キャリアの移動を制御する層に含まれる2種類以上の物質のうち、第1の有機化合物よりも少なく含まれている第2の有機化合物を用いてキャリアの移動を制御している。よって、キャリアの移動を制御する層に含まれている成分のうち少ない成分でキャリアの移動を制御することが可能である。その結果、経時劣化しにくく、発光素子の長寿命化を実現することができる。

【0110】

つまり、単一物質によりキャリアバランスを制御する場合に比べ、キャリアバランスの変化が起きにくい。例えば、単一物質により形成された層でキャリアの移動を制御する場合には、部分的なモルフォロジーの変化や、部分的な結晶化により、層全体のバランスが変化してしまう。そのため、経時劣化しやすい。しかし、本実施の形態で示すように、キャリアの移動を制御する層に含まれている成分のうち少ない成分でキャリアの移動を制御することにより、モルフォロジーの変化や結晶化、凝集等の影響が小さくなり、経時劣化が起きにくい。よって、経時的な発光効率の低下が起こりにくい長寿命の発光素子を得ることができる。

40

【0111】

本実施の形態で示したように、キャリアの移動を制御する層を、発光層と陰極として機能する第2の電極との間に設ける構成は、電子過多の発光素子に適用すると特に有効である。例えば、発光層が、電子輸送性であり、第2の電極から注入された電子が発光層を突き抜けてしまう割合が経時的に増加していく恐れがあるような場合において本実施の形態

50

で示した構成を適用すると特に有効である。

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。

【0112】

(実施の形態2)

本実施の形態は、実施の形態1とは異なる本発明の発光素子の一態様であり、それについて図5(A)を用いて説明する。本実施の形態は、キャリアの移動を制御する層として、正孔の移動を制御する層を設けた発光素子であり、それについて説明する。

本発明の発光素子は、一对の電極間に複数の層を有する。当該複数の層は、電極から離れたところに発光領域が形成されるように、つまり電極から離れた部位でキャリアの再結合が行われるように、キャリア注入性の高い物質やキャリア輸送性の高い物質からなる層を組み合わせ、積層されたものである。

10

【0113】

本実施の形態において、発光素子は、第1の電極402と、第2の電極404と、第1の電極402と第2の電極404との間に設けられたEL層403とから構成されている。なお、本形態では第1の電極402は陽極として機能し、第2の電極404は陰極として機能するものとして、以下説明をする。つまり、第1の電極402の方が第2の電極404よりも電位が高くなるように、第1の電極402と第2の電極404に電圧を印加したときに、発光が得られるものとして、以下説明をする。

【0114】

基板401としては、実施の形態1と同様なものを用いることができる。

20

第1の電極402としては、仕事関数の大きい(具体的には4.0eV以上)金属、合金、導電性化合物、およびこれらの混合物などを用いることが好ましく、実施の形態1で示したものと同様なものを用いることができる。

【0115】

EL層403は、第1の層411、第2の層412、第3の層413、第4の層414、第5の層415、第6の層416を有している。なお、EL層403は、実施の形態1と同様に本実施の形態で示すキャリアの移動を制御する層と、発光層とを有していればよく、その他の層積層構造については特に限定されない。例えば、正孔注入層、正孔輸送層、発光層、キャリアの移動を制御する層、電子輸送層、電子注入層等を適宜組み合わせ、構成することができる。

30

【0116】

第1の層411は、正孔注入性の高い物質を含む層であり、実施の形態1で示したものと同様なものを用いることができる。

第2の層412は、正孔輸送性の高い物質を含む層であり、実施の形態1で示したものと同様なものを用いることができる。

【0117】

第3の層413は、キャリアの移動を制御する層である。第3の層413は、2種類以上の物質を含む。第3の層413において、第1の有機化合物は、第2の有機化合物よりも多く含まれている。本実施の形態では、キャリアの移動を制御する層を、発光機能を担う層よりも陽極として機能する第1の電極側に設ける場合について説明する。つまり、発光機能を担う第4の層414と第1の電極402との間に設ける場合について説明する。

40

発光機能を担う層よりも陽極として機能する第1の電極側に設ける場合、第1の有機化合物は、正孔輸送性を有する有機化合物であることが好ましい。つまり、第1の有機化合物は、電子輸送性よりも正孔輸送性の方が高い物質であることが好ましい。

【0118】

他方、第2の有機化合物は、正孔をトラップする機能を有する有機化合物であることが好ましい。つまり、第2の有機化合物は、第1の有機化合物の最高被占有道準位(HOMO準位)より0.3eV以上高い最高被占有道準位(HOMO準位)を有する有機化合物であることが好ましい。第2の有機化合物が含まれることにより、層全体としては、第1の有機化合物のみからなる層よりも電子輸送速度が小さくなる。つまり、第2の有機化合

50

物を添加することにより、キャリアの移動を制御することが可能となる。また、第2の有機化合物の濃度を制御することにより、キャリアの移動速度を制御することが可能となる。

具体的には、第2の有機化合物の濃度は、0.1重量%～5重量%、または0.1mol%～5mol%であることが好ましい。

【0119】

また、第2の有機化合物としては、例えば、CuPc、DNTPD、DPAB、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))、(アセチルアセトナート)ビス(10-(2-ピリジル)フェノキサジナト)イリジウム(III)(略称: Ir(ppx)₂(acac))、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-(2'-ベンゾ[4,5-α]チエニル)ピリジナト-N, C^{3'}]イリジウム(III)アセチルアセトナート(略称: Ir(btp)₂(acac))、N, N', N'-tert-ブチルアントラセン-9, 10-ジイルジ-4, 1-フェニレン)ビス[N, N', N'-トリフェニル-1, 4-フェニレンジアミン](略称: DPABPA)などが挙げられる。

【0120】

上述した化合物は、発光素子に用いられる化合物の中でもHOMO準位が高い化合物であり、後述する第1の有機化合物に添加することで良好な正孔トラップ性を示す。第2の有機化合物は、発光してもよいが、その場合には、発光素子の色純度を保つため、発光機能を担う層の発光色と第2の有機化合物の発光色とが同系色の発光色であることが好ましい。

【0121】

また、第3の層413に含まれる第1の有機化合物は、正孔輸送性を有する有機化合物である。つまり、電子輸送性よりも正孔輸送性の方が高い物質である。具体的には、9, 10-ジフェニルアントラセン(略称: DPAnth)、6, 12-ジメトキシ-5, 11-ジフェニルクリセンのような縮合芳香族炭化水素が挙げられる。

【0122】

また、N, N-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-3-アミン(略称: CzAlPA)、4-(10-フェニル-9-アントリル)トリフェニルアミン(略称: DPhPA)、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: PCAPA)、N, 9-ジフェニル-N-{4-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]フェニル}-9H-カルバゾール-3-アミン(略称: PCAPBA)、N-(9, 10-ジフェニル-2-アントリル)-N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称: 2PCAPA)、NPB(またはα-NPD)、TPD、DFLDPBi、BSPB、2, 3-ビス{4-[N-(4-ビフェニル)-N-フェニルアミノ]フェニル}キノキサリン(略称: BPAPQ)などの芳香族アミン化合物等が挙げられる。さらに、PVK、PVTPA、PTPDMA、Poly-TPDなどの高分子化合物を用いることもできる。

【0123】

それらの中でも正孔に対して安定な芳香族アミン化合物であることが好ましい。また、先に述べたように、本実施の形態2においては、第2の有機化合物は正孔トラップ性の化合物であることが必要であり、そのためにはHOMO準位は、第1の有機化合物のHOMO準位より0.3eV以上高いことが好ましい。したがって、用いる第2の有機化合物の種類に応じて、そのような条件を満たすように適宜第1の有機化合物を選択すればよい。

【0124】

なお、第4の層414に含まれる発光性の高い物質の発光色と、第3の層413に含まれる第2の有機化合物の発光色は同系色の発光色であることが好ましいため、発光性の高い物質の発光スペクトルのピーク値と第2の有機化合物の発光スペクトルのピーク値との

差は、30 nm以内であることが好ましい。30 nm以内であることにより、発光性の高い物質の発光色と第2の有機化合物の発光色は、同系色の発光色となる。よって、電圧等の変化により、第2の有機化合物が意に反して発光した場合にも、発光色の変化を抑制することができる。

【0125】

ただし、必ずしも第2の有機化合物が発光する必要はない。例えば、発光性の高い物質の方が発光効率が高い場合は、実質的に発光性の高い物質の発光のみが得られるように、第3の層413における第2の有機化合物の濃度を調節する（第2の有機化合物の発光が抑制されるように、その濃度を若干低くする）ことが好ましい。この場合、発光性の高い物質の発光色と第2の有機化合物の発光色は同系統の発光色である（すなわち、同程度のエネルギーギャップを持つ）ため、発光性の高い物質から第2の有機化合物へのエネルギー移動は生じにくく、高い発光効率を得られる。

【0126】

図8は、図5（A）で示した本発明の発光素子のバンド図の一例である。図8において、第2の電極404から注入された電子は、電子注入性の高い物質が含まれる第6の層416、電子輸送性の高い物質が含まれる第5の層415を通り、発光性の高い物質が含まれる第4の層414に注入される。一方、第1の電極402から注入された正孔は、正孔注入性の高い物質が含まれる第1の層411、正孔輸送性の高い物質が含まれる第2の層412を通り、キャリアの移動を制御する層である第3の層413に注入される。キャリアの移動を制御する層に注入された正孔は、正孔トラップ性を有する第2の有機化合物により、正孔の移動が遅くなる。遅くなった正孔は、発光性の高い物質を含む第4の層414に注入され、正孔と再結合し、発光する。

【0127】

例えば、第4の層414が正孔輸送性を有する場合、第5の層415から第4の層414に注入された電子は移動が遅くなる。また、第3の層413から第4の層414に注入された正孔は、第3の層413で移動が遅くなっているため、第4の層414でも移動が遅い。よって、移動の遅い正孔と移動の遅い電子が第4の層414で再結合するため、再結合確率が高くなり、発光効率が向上する。

【0128】

もし第3の層413を設けない従来の発光素子であれば、正孔の移動は遅くならないまま第4の層414に注入され、第4の層414と第5の層415との界面付近まで達する。そのため、発光領域は第4の層414と第5の層415との界面近傍に形成される。その場合、正孔が第5の層415にまで達してしまい、第5の層415を劣化させる恐れがある。また、経時的に第5の層415にまで達してしまう正孔の量が増えていくと、経時的に発光層内での再結合確率が低下していくことになるため、素子寿命の低下（輝度の経時劣化）に繋がってしまう。

【0129】

本発明の発光素子において、第1の電極402から注入された正孔は、正孔注入性の高い物質が含まれる第1の層411、正孔輸送性の高い物質が含まれる第2の層412を通り、キャリアの移動を制御する層である第3の層413に注入される。ここで、第3の層413は、正孔輸送性を有する第1の有機化合物に、正孔をトラップする機能を有する第2の有機化合物を添加した構成となっている。したがって、第3の層413に注入された正孔は、その移動が遅くなり、第4の層414への正孔注入が制御される。

【0130】

その結果、従来では電子輸送性の高い物質が含まれる第5の層415と第4の層414との界面近傍で形成されたはずの発光領域が、本発明の発光素子においては、第4の層414から第4の層414と第3の層413との界面付近にかけて形成されることになる。したがって、本発明の発光素子においては、正孔が第5の層415にまで達してしまい、電子輸送性の高い物質が含まれる第5の層415を劣化させる可能性が低くなる。また電子に関しても、第3の層413が正孔輸送性を有する第1の有機化合物を有しているため

、電子が第2の層412にまで達して正孔輸送性の高い物質が含まれる第2の層412を劣化させる可能性は低い。

【0131】

さらに、本発明においては、第3の層413において、単に正孔移動度の遅い物質を適用するのではなく、正孔輸送性を有する有機化合物に正孔をトラップする機能を有する有機化合物を添加している点が重要である。このような構成とすることで、単に第4の層414への正孔注入を制御するだけではなく、その制御された正孔注入量が経時的に変化するのを抑制することができる。以上のことから本発明の発光素子は、発光素子において経時的にキャリアバランスが悪化して再結合確率が低下していく現象を防ぐことができるため、素子寿命の向上（輝度の経時劣化の抑制）に繋がる。

10

【0132】

本発明の発光素子は、発光層と正孔輸送層との界面または発光層と電子輸送層との界面に発光領域が形成されていないため、正孔輸送層や電子輸送層に発光領域が近接することによる劣化の影響を受けることがない。また、キャリアバランスの経時的な変化（特に電子注入量の経時変化）を抑制することができる。したがって、劣化が少なく、寿命の長い発光素子を得ることができる。

【0133】

また、第3の層413に含まれる第2の有機化合物の発光色と、第4の層414に含まれる発光性の高い物質の発光色とは、同系色の発光色であることが好ましい。具体的には、第2の有機化合物の発光スペクトルのピーク値と発光性の高い物質の発光スペクトルのピーク値との差は、30nm以内であることが好ましい。30nm以内であることにより、第2の有機化合物の発光色と発光性の高い物質の発光色は、同系色の発光色となる。よって、電圧等の変化により、第2の有機化合物が意に反して発光した場合にも、発光色の変化を抑制することができる。

20

【0134】

また、キャリアの移動を制御する層である第3の層413の膜厚は、5nm以上20nm以下であることが好ましい。厚すぎる膜厚だと、キャリアの移動速度を低下させすぎてしまい、駆動電圧が高くなってしまう。また、薄すぎる膜厚だと、キャリアの移動を制御する機能を実現しなくなってしまう。よって、5nm以上20nm以下の膜厚であることが好ましい。

30

第4の層414は、発光性の高い物質を含む層であり、実施の形態1で示した発光性の高い物質を用いることができる。また、（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））のような燐光材料を用いることもできる。

【0135】

発光性の高い物質として燐光材料を用いる場合、第3の層413における第2の有機化合物としては、Ir（ppy）₂（acac）、Ir（ppx）₂（acac）、Ir（ppy）₃、Ir（btp）₂（acac）のような燐光材料が好ましい。例えば、Ir（Fdpq）₂（acac）は赤色発光を示すため、第3の層413における第2の有機化合物としては同系色の赤色発光を示すIr（btp）₂（acac）を用いることが好ましい。また、発光層としては、実施の形態1で示したように、発光性の高い物質を他の物質に分散させた構成としてもよい。

40

【0136】

なお、本実施の形態では、キャリアの移動を制御する層を、発光層と、陽極として機能する第1の電極との間に設けるため、発光層は、正孔輸送性であることが好ましい。つまり、電子輸送性よりも正孔輸送性の方が高いことが好ましい。発光層が正孔輸送性の場合、従来では発光層内からの正孔の突き抜けを防ぐため、正孔ブロック層を発光層の陰極側に設けていた。しかしながら、その正孔ブロック機能が経時的に劣化すると、再結合領域が正孔ブロック層内（あるいは電子輸送層内）にまで及んでしまい、電流効率の低下（すなわち輝度劣化）が顕著となる。他方、本発明の場合は、逆に、発光層の手前（陽極側）

50

において正孔の移動を制御しているため、多少正孔のバランス（電子に対する移動度や電荷量等）が崩れたとしても、発光層内における再結合の割合は変化しにくく、輝度が低下しにくいというメリットがある。

【0137】

よって、実施の形態1で示した発光性の高い物質を分散させるための材料としては、正孔輸送性の有機化合物であることが好ましい。具体的には、DPAnt h、6, 12-ジメトキシ-5, 11-ジフェニルクリセンのような縮合芳香族炭化水素や、CzAlPA、DPhPA、PCAPA、PCAPBA、2PCAPA、NPB（または α -NPD）、TPD、DFLDPBi、BSPBなどの芳香族アミン化合物を用いることができる。

【0138】

第5の層415は、電子輸送性の高い物質を含む層であり、実施の形態1で示したものと同様なものを用いることができる。

第6の層416は、電子注入性の高い物質を含む層であり、実施の形態1で示したものと同様なものを用いることができる。

【0139】

また、EL層の形成方法としては、乾式法、湿式法を問わず、種々の方法を用いることができる。例えば、真空蒸着法、インクジェット法またはスピンコート法など用いても構わない。また各電極または各層ごとに異なる成膜方法を用いて形成しても構わない。

例えば、上述した材料のうち、高分子化合物を用いて湿式法でEL層を形成してもよい。または、低分子の有機化合物を用いて湿式法で形成することもできる。また、低分子の有機化合物を用いて真空蒸着法などの乾式法を用いてEL層を形成してもよい。

また、電極についても、ゾルーゲル法を用いて湿式法で形成しても良いし、金属材料のペーストを用いて湿式法で形成してもよい。また、スパッタリング法や真空蒸着法などの乾式法を用いて形成しても良い。

【0140】

以下、具体的な発光素子の形成方法を示す。本発明の発光素子を表示装置に適用し、発光層を塗り分ける場合には、発光層は湿式法により形成することが好ましい。発光層をインクジェット法を用いて形成することにより、大型基板であっても発光層の塗り分けが容易となる。

【0141】

例えば、図5（A）に示した構成において、第1の電極を乾式法であるスパッタリング法、第1の層を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法、第2の層を乾式法である真空蒸着法、第3の層を湿式法であるインクジェット法、第4の層を乾式法である共蒸着法、第5の層および第6の層を乾式法である真空蒸着法、第2の電極を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法を用いて形成してもよい。

【0142】

また、第1の電極を湿式法であるインクジェット法、第1の層を乾式法である真空蒸着法、第2の層を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法、第3の層を湿式法であるインクジェット法、第4の層を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法、第5の層および第6の層を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法、第2の電極を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法を用いて形成してもよい。なお、上記の方法に限らず、湿式法と乾式法を適宜組み合わせればよい。

【0143】

さらに具体的には、例えば、図5（A）に示した構成の場合、第1の電極を乾式法であるスパッタリング法、第1の層および第2の層を乾式法である真空蒸着法、第3の層を乾式法である共蒸着法、発光層である第4の層を湿式法であるインクジェット法、第5の層を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法、第6の層を設けず、第2の電極を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法により形成することができる。

【0144】

つまり、第1の電極から第3の層までを乾式法で形成し、第4の層から第2の電極まで

10

20

30

40

50

を湿式法で形成することができる。この方法では、第1の電極から第3の層までを真空一貫で形成することができ、第4の層から第2の電極までを大気圧中で形成することができる。また、第4の層の塗り分けも容易である。よって、工程を簡略化し、生産性を向上させることができる。

【0145】

また、図6(A)に示した構成の場合、上記の方法とは逆の順番で、第2の電極を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法、第6の層から第5の層を湿式法であるインクジェット法やスピンコート法、第4の層を湿式法であるインクジェット法、第3の層を乾式法である共蒸着法、第2の層および第1の層を乾式法である真空蒸着法、第1の電極を乾式法である真空蒸着法により形成することができる。この方法では、第2の電極から第4の層までを大気圧中で形成し、第3の層から第1の電極までを乾式法により真空一貫で形成することができる。よって、工程を簡略化し、生産性を向上させることができる。

【0146】

以上のような構成を有する本発明の発光素子は、第1の電極402と第2の電極404との間に生じた電位差により電流が流れ、EL層403において正孔と電子とが再結合し、発光するものである。

発光は、第1の電極402または第2の電極404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。従って、第1の電極402または第2の電極404のいずれか一方または両方は、透光性を有する電極である。

【0147】

第1の電極402のみが透光性を有する電極である場合、図7(A)に示すように、発光は第1の電極402を通して基板側から取り出される。また、第2の電極404のみが透光性を有する電極である場合、図7(B)に示すように、発光は第2の電極404を通して基板と逆側から取り出される。第1の電極402および第2の電極404がいずれも透光性を有する電極である場合、図7(C)に示すように、発光は第1の電極402および第2の電極404を通して、基板側および基板と逆側の両方から取り出される。

【0148】

なお、第1の電極402と第2の電極404との間に設けられる層の構成は、上記のものには限定されない。すなわち、本発明及び本実施の形態においては、発光領域と金属とが近接することによって生じる消光を防ぐように、第1の電極402および第2の電極404から離れた部位に正孔と電子とが再結合する発光領域を設けた構成であり、キャリアの移動を制御する層を有する構成であれば、上記以外のものでもよい。

【0149】

つまり、層の積層構造については特に限定されず、電子輸送性の高い物質または正孔輸送性の高い物質、電子注入性の高い物質、正孔注入性の高い物質、バイポーラ性（電子及び正孔の輸送性の高い物質）の物質等から成る層と、本実施の形態で示すキャリアの移動を制御する層および発光層を適宜組み合わせる構成すればよい。

【0150】

なお、本実施の形態で示すキャリアの移動を制御する層は、正孔の移動を制御するものであるため、発光層よりも陽極として機能する電極側に設けることが好ましい。

例えば、図5(B)に示すように、発光機能を担う第4の層414と、キャリアの移動を制御する層である第3の層413との間に、正孔輸送性の高い物質を含む第7の層417を設けてもよい。

【0151】

より好ましくは、キャリアの移動を制御する層は発光層と接するように設けることが望ましい。キャリアの移動を制御する層を発光層と接するように設けることにより、発光層への正孔注入を直接制御できるため、発光層内におけるキャリアバランスの経時変化をより抑制することができ、素子寿命向上に関してより大きな効果が得られる。また、正孔輸送性の高い物質を含む第7の層を設けることがないので、プロセス的にも簡便となる。

【0152】

なお、キャリアの移動を制御する層を発光層と接するよう設ける場合には、キャリアの移動を制御する層に含まれる第1の有機化合物と、発光層に多く含まれている有機化合物とは、異なる有機化合物であることが好ましい。特に、発光層の構成が、発光性の高い物質を分散させる物質（第3の有機化合物）と、発光性の高い物質（第4の有機化合物）とを含む場合、第3の有機化合物と、第1の有機化合物とは、異なる有機化合物であることが好ましい。このような構成により、キャリア（本実施の形態においては正孔）の移動が、第1の有機化合物と第3の有機化合物との間においても抑制され、キャリアの移動を制御する層を設ける効果がより高くなる。

【0153】

また、図6（A）に示す発光素子は、基板401上に、陰極として機能する第2の電極404、EL層403、陽極として機能する第1の電極402とが順に積層された構成となっている。EL層403は、第1の層411、第2の層412、第3の層413、第4の層414、第5の層415、第6の層416を有する。第3の層413は、第4の層414よりも陽極として機能する第1の電極側に設けられている。

【0154】

本発明の発光素子は、キャリアの移動を制御する層を有している。キャリアの移動を制御する層は、2種類以上の物質を含むため、物質の組み合わせや混合比や膜厚などを制御することにより、キャリアバランスを精密に制御することが可能である。

また、物質の組み合わせや混合比、膜厚などの制御でキャリアバランスを制御することが可能であるから、従来よりも容易にキャリアバランスの制御が可能となる。つまり、用いる材料そのものの物性を変化させなくても、混合比や膜厚等を制御することにより、キャリアの移動を制御することができる。

【0155】

また、キャリアの移動を制御する層を用いてキャリアバランスを向上させることにより、発光素子の発光効率を向上させることができる。

さらに、キャリアの移動を制御する層を用いることにより、過剰の正孔が注入されることや、発光層を突き抜けて電子輸送層や電子注入層へ正孔が達することを抑制することができる。電子輸送層や電子注入層へ正孔が達してしまうと、発光層内で再結合する確率が低下してしまい（すなわちキャリアバランスが崩れてしまい）、経時的な発光効率の低下を招いてしまう。つまり、発光素子の寿命が短くなってしまう。

【0156】

しかし、本実施の形態で示すように、キャリアの移動を制御する層を用いることにより、過剰の正孔が注入されることや、発光層を突き抜けて電子輸送層や電子注入層へ正孔が達することを抑制し、発光効率の低下を抑制することができる。つまり、長寿命の発光素子を得ることができる。

【0157】

また、キャリアの移動を制御する層に含まれる2種類以上の物質のうち、第1の有機化合物よりも少なく含まれている第2の有機化合物を用いてキャリアの移動を制御している。よって、キャリアの移動を制御する層に含まれている成分のうち少ない成分でキャリアの移動を制御することが可能であるから、経時劣化しにくく、発光素子の長寿命化を実現することができる。つまり、単一物質によりキャリアバランスを制御する場合に比べ、キャリアバランスの変化が起きにくい。

【0158】

例えば、単一物質により形成された層でキャリアの移動を制御する場合には、部分的なモルフォロジーの変化や、部分的な結晶化により、層全体のバランスが変化してしまう。そのため、経時劣化しやすい。しかし、本実施の形態で示すように、キャリアの移動を制御する層に含まれている成分のうち少ない成分でキャリアの移動を制御することにより、モルフォロジーの変化や結晶化、凝集等の影響が小さくなり、経時劣化が起きにくい。よって、経時的な発光効率の低下が起こりにくい長寿命の発光素子を得ることができる。

【0159】

本実施の形態で示したように、キャリアの移動を制御する層を、発光層と陽極として機能する第1の電極との間に設ける構成は、正孔過多の発光素子に適用すると特に有効である。例えば、発光層が正孔輸送性であり、第1の電極から注入された正孔が発光層を突き抜けてしまう割合が経時的に増加していく恐れがあるような場合において、本実施の形態で示した構成を適用すると特に有効である。

【0160】

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。例えば、発光層と陽極として機能する第1の電極との間に、正孔の移動を制御する層を設け、発光層と陰極として機能する第2の電極との間に、電子の移動を制御する層を設けてもよい。

10

すなわち、このようにすることにより、発光層の両側に、キャリアの移動を制御する層を設けることもでき、発光層の両側において、電極から離れた部位でキャリアの再結合が行われるようになり、より好ましい。

その結果、発光層の両側において、キャリアの移動を制御することにより、より一層モルフォロジーの変化や結晶化、凝集等の影響が小さくなり、経時劣化が起きにくく、経時的な発光効率の低下が起こりにくい長寿命の発光素子を得ることができる。

【0161】

(実施の形態3)

本実施の形態は、本発明に係る複数の発光ユニットを積層した構成の発光素子の態様を示すものであり、それについて、図9を参照して説明する。この発光素子は、第1の電極と第2の電極との間に、複数の発光ユニットを有する積層型発光素子である。発光ユニットとしては、実施の形態1で示したEL層203や実施の形態2で示したEL層403と同様な構成を用いることができる。つまり、実施の形態1や実施の形態2で示した発光素子は、1つの発光ユニットを有する発光素子であり、本実施の形態では、複数の発光ユニットを有する発光素子について説明する。

20

【0162】

図9において、第1の電極501と第2の電極502との間には、第1の発光ユニット511と第2の発光ユニット512が積層されており、第1の発光ユニット511と第2の発光ユニット512との間には電荷発生層513が設けられている。第1の電極501と第2の電極502は実施の形態1と同様なものを適用することができる。また、第1の発光ユニット511と第2の発光ユニット512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及び実施の形態2と同様なものを適用することができる。

30

【0163】

電荷発生層513には、有機化合物と金属酸化物の複合材料が含まれている。この有機化合物と金属酸化物の複合材料は、実施の形態1で示した複合材料であり、有機化合物とバナジウム酸化物やモリブデン酸化物やタングステン酸化物等の金属酸化物を含む。有機化合物としては、芳香族アミン化合物、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、高分子化合物（オリゴマー、 dendリマー、ポリマー等）など、種々の化合物を用いることができる。なお、有機化合物としては、正孔輸送性有機化合物として正孔移動度が $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であるものを適用することが好ましい。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。有機化合物と金属酸化物の複合材料は、キャリア注入性、キャリア輸送性に優れているため、低電圧駆動、低電流駆動を実現することができる。

40

【0164】

なお、電荷発生層513は、有機化合物と金属酸化物の複合材料を含む層と他の材料とを組み合わせ形成してもよい。例えば、有機化合物と金属酸化物の複合材料を含む層と、電子供与性物質の中から選ばれた一の化合物と電子輸送性の高い化合物とを含む層とを組み合わせ形成してもよい。また、有機化合物と金属酸化物の複合材料を含む層と、透

50

明導電膜とを組み合わせ形成してもよい。

【0165】

いずれにしても、第1の発光ユニット511と第2の発光ユニット512に挟まれる電荷発生層513は、第1の電極501と第2の電極502に電圧を印加したときに、一方の発光ユニットに電子を注入し、他方の発光ユニットに正孔を注入するものであれば良い。例えば、図9において、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加した場合、電荷発生層513は、第1の発光ユニット511に電子を注入し、第2の発光ユニット512に正孔を注入するものであればよい。

【0166】

本実施の形態では、2つの発光ユニットを有する発光素子について説明したが、3つ以上の発光ユニット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、一对の電極間に複数の発光ユニットを電荷発生層で仕切って配置することで、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。

【0167】

また、それぞれの発光ユニット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つの発光ユニットを有する発光素子において、第1の発光ユニットの発光色と第2の発光ユニット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の発光を混合すると、白色発光を得ることができる。また、3つの発光ユニットを有する発光素子の場合でも同様であり、例えば、第1の発光ユニットの発光色が赤色であり、第2の発光ユニットの発光色が緑色であり、第3の発光ユニット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。

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。

【0168】

(実施の形態4)

本実施の形態は、本発明の発光素子を有する発光装置を示すものであり、それについて説明する。

本実施の形態では、画素部に本発明の発光素子を有する発光装置について図10を用いて説明する。なお、図10(A)は、発光装置を示す上面図、図10(B)は図10(A)をA-A'およびB-B'で切断した断面図である。

点線で示された601は駆動回路部(ソース側駆動回路)、602は画素部、603は駆動回路部(ゲート側駆動回路)である。さらに、604は封止基板、605はシール材であり、シール材605で囲まれた内側は、空間607になっている。

【0169】

また、引き回し配線608はソース側駆動回路601及びゲート側駆動回路603に入力される信号を伝送するための配線であり、外部入力端子となるFPC(フレキシブルプリントサーキット)609からビデオ信号、クロック信号、スタート信号、リセット信号等を受け取る。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。

【0170】

次に、断面構造について図10(B)を用いて説明する。素子基板610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、駆動回路部であるソース側駆動回路601と、画素部602中の一つの画素が示されている。

なお、ソース側駆動回路601はNチャネル型TFT623とPチャネル型TFT62

4とを組み合わせたCMOS回路が形成される。また、駆動回路は、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、画素部と同一の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、駆動回路を画素部と同一の基板上ではなく外部に形成することもできる。

【0171】

また、画素部602はスイッチング用TFT611と、電流制御用TFT612とそのドレインに電氣的に接続された第1の電極613とを含む複数の画素により形成される。なお、第1の電極613の端部を覆って絶縁物614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膜を用いることにより形成する。

【0172】

また、被覆性を良好なものとするため、絶縁物614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。例えば、絶縁物614の材料としてポジ型の感光性アクリルを用いた場合、絶縁物614の上端部のみに曲率半径(0.2 μ m~3 μ m)を有する曲面を持たせることが好ましい。また、絶縁物614として、光の照射によってエッチャントに不溶解性となるネガ型、或いは光の照射によってエッチャントに溶解性となるポジ型のいずれも使用することができる。

【0173】

第1の電極613上には、EL層616、および第2の電極617がそれぞれ形成されている。ここで、第1の電極613に用いる材料としては、さまざまな金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物を用いることができる。第1の電極を陽極として用いる場合には、その中でも、仕事関数の大きい(仕事関数4.0eV以上)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好ましい。

【0174】

例えば、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、窒化チタン膜、クロム膜、タングステン膜、Zn膜、Pt膜などの単層膜の他、窒化チタンとアルミニウムを主成分とする膜との積層膜、窒化チタン膜とアルミニウムを主成分とする膜と窒化チタン膜との3層構造等の積層膜を用いることができる。なお、積層構造とすると、配線としての抵抗も低く、良好なオーミックコンタクトがとれ、さらに陽極として機能させることができる。

【0175】

また、EL層616は、蒸着マスクを用いた蒸着法、インクジェット法、スピンコート法等の種々の方法によって形成される。EL層616は、実施の形態1及び実施の形態2で示したキャリアの移動を制御する層および発光層を有している。また、EL層616を構成する他の材料としては、低分子化合物、または高分子化合物(オリゴマー、 dendrimerを含む)であっても良い。また、EL層に用いる材料としては、有機化合物だけでなく、無機化合物を用いてもよい。

【0176】

また、第2の電極617に用いる材料としては、さまざまな金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物を用いることができる。第2の電極を陰極として用いる場合には、その中でも、仕事関数の小さい(仕事関数3.8eV以下)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好ましい。例えば、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)等が挙げられる。

【0177】

なお、EL層616で生じた光を第2の電極617を透過させる場合には、第2の電極617として、膜厚を薄くした金属薄膜と、透明導電膜(酸化インジウム-酸化スズ(ITO)、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(IZO)、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(IWZ

10

20

30

40

50

Ｏ）等）との積層を用いることも可能である。

【０１７８】

さらに、本実施の形態の発光装置では、素子基板６１０はシール材６０５で封止基板６０４と貼り合わされており、それにより、素子基板６１０、封止基板６０４、およびシール材６０５で囲まれた空間６０７に発光素子６１８が備えられた構造になっている。なお、空間６０７には、充填材が充填されており、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６０５で充填される場合もある。

【０１７９】

なお、シール材６０５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６０４に用いる材料としてガラス基板や石英基板の他、FRP（Fiberglass-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。

【０１８０】

以上のようにして、本発明の発光素子を有する発光装置を得ることができる。

このようにして得られる本発明の発光装置は、長寿命の発光素子を有しているため、長寿命である。

また、本発明の発光素子は発光効率の高い発光素子であるため、高輝度の発光が可能であり、消費電力が低減された発光装置を得ることができる。

【０１８１】

以上のように、本実施の形態では、トランジスタによって発光素子の駆動を制御するアクティブマトリクス型の発光装置について示しており、それに関し説明した。しかし、本発明の発光素子は、トランジスタ等の駆動用の素子を特に設けずに発光素子を駆動させるパッシブマトリクス型の発光装置とすることもでき、その場合の構造について図１１に図示する。その図１１には、本発明を適用して作製したパッシブマトリクス型の発光装置について斜視図および断面図を示す。なお、図１１（Ａ）は、発光装置を示す斜視図、図１１（Ｂ）は図１１（Ａ）をX-Yで切断した断面図である。図１１において、基板９５１上には、電極９５２と電極９５６との間にはEL層９５５が設けられている。電極９５２の端部は絶縁層９５３で覆われている。

【０１８２】

そして、絶縁層９５３上には隔壁層９５４が設けられている。隔壁層９５４の側壁は、基板面に近くなるに伴って、一方の側壁と他方の側壁との間隔が狭くなっていくような傾斜を有する。つまり、隔壁層９５４の短辺方向の断面は、台形状であり、底辺（絶縁層９５３の面方向と同様の方向を向き、絶縁層９５３と接する辺）の方が上辺（絶縁層９５３の面方向と同様の方向を向き、絶縁層９５３と接しない辺）よりも短い。このように、隔壁層９５４を設けることで、静電気等に起因した発光素子の不良を防ぐことが出来る。また、パッシブマトリクス型の発光装置においても、寿命の長い本発明の発光素子を含むことによって、寿命の長い発光装置を得ることができる。また、発光効率が高い本発明の発光素子を含むことによって、消費電力の低減された発光装置を得ることができる。

【０１８３】

（実施の形態５）

本実施の形態は、実施の形態４に示す発光装置をその一部に含む本発明の電子機器を示すものであり、それについて説明する。本発明の電子機器は、実施の形態１ないし実施の形態３で示した発光素子を有し、寿命の長い表示部を有する。また、発光効率の高い発光素子を有するため、消費電力の低減された表示部を得ることができる。

【０１８４】

本発明の発光装置を用いて作製された電子機器として、ビデオカメラ、デジタルカメラ、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、携帯型ゲーム機または電子書籍等）、記録媒体を備えた画像再生装置（具

10

20

30

40

50

体的にはDigital Versatile Disc (DVD) 等の記録媒体を再生し、その画像を表示す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を図12に示す。

【0185】

図12(A)は本発明に係るテレビ装置であり、筐体9101、支持台9102、表示部9103、スピーカー部9104、ビデオ入力端子9105等を含む。このテレビ装置において、表示部9103は、実施の形態1ないし実施の形態3で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、寿命が長いという特徴を有している。その発光素子で構成される表示部9103も同様の特徴を有するため、このテレビ装置は寿命が長いという特徴を有している。つまり、長時間の使用に耐えうるテレビ装置を提供することができる。また、発光効率が高い発光素子を有するため、消費電力の低減された表示部を有するテレビ装置を得ることができる。

10

【0186】

図12(B)は本発明に係るコンピュータであり、本体9201、筐体9202、表示部9203、キーボード9204、外部接続ポート9205、ポインティングデバイス9206等を含む。このコンピュータにおいて、表示部9203は、実施の形態1ないし実施の形態3で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、寿命が長いという特徴を有している。その発光素子で構成される表示部9203も同様の特徴を有するため、このコンピュータは寿命が長いという特徴を有している。つまり、長時間の使用に耐えうるコンピュータを提供することができる。また、発光効率が高い発光素子を有するため、消費電力の低減された表示部を有するコンピュータを得ることができる。

20

【0187】

図12(C)は本発明に係る携帯電話であり、本体9401、筐体9402、表示部9403、音声入力部9404、音声出力部9405、操作キー9406、外部接続ポート9407、アンテナ9408等を含む。この携帯電話において、表示部9403は、実施の形態1ないし実施の形態3で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、寿命が長いという特徴を有している。その発光素子で構成される表示部9403も同様の特徴を有するため、この携帯電話は寿命が長いという特徴を有している。つまり、長時間の使用に耐えうる携帯電話を提供することができる。また、発光効率が高い発光素子を有するため、消費電力の低減された表示部を有する携帯電話を得ることができる。

30

【0188】

図12(D)は本発明に係るカメラであり、本体9501、表示部9502、筐体9503、外部接続ポート9504、リモコン受信部9505、受像部9506、バッテリー9507、音声入力部9508、操作キー9509、接眼部9510等を含む。このカメラにおいて、表示部9502は、実施の形態1ないし実施の形態3で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、寿命が長いという特徴を有している。その発光素子で構成される表示部9502も同様の特徴を有するため、このカメラは寿命が長いという特徴を有している。つまり、長時間の使用に耐えうるカメラを提供することができる。また、発光効率が高い発光素子を有するため、消費電力の低減された表示部を有するカメラを得ることができる。

40

【0189】

以上の様に、本発明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。本発明の発光装置を用いることにより、長時間の使用に耐えうる、寿命の長い表示部を有する電子機器を提供することが可能となる。また、消費電力の低減された表示部を有する電子機器を得ることができる。

【0190】

また、本発明の発光装置は、照明装置として用いることもできる。本発明の発光素子を照明装置として用いる一態様を、図13を用いて説明する。

50

図１３は、本発明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１３に示した液晶表示装置は、筐体９０１、液晶層９０２、バックライト９０３、筐体９０４を有し、液晶層９０２は、ドライバＩＣ９０５と接続されている。また、バックライト９０３は、本発明の発光装置が用いられおり、端子９０６により、電流が供給されている。

【０１９１】

本発明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、寿命の長いバックライトが得られる。また、本発明の発光装置は、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が可能であり、液晶表示装置の大面積化も可能になる。さらに、本発明の発光装置は薄型で低消費電力であるため、表示装置の薄型化、低消費電力化も可能となる。また、発光効率の高い発光素子を有しているため、高輝度の発光が可能な発光装置を得ることができる。また、本発明の発光装置は長寿命であるため、寿命の長い液晶表示装置を得ることができる。

10

【０１９２】

図１４は、本発明を適用した発光装置を、照明装置である電気スタンドとして用いた例である。図１４に示す電気スタンドは、筐体２００１と、光源２００２を有し、光源２００２として、本発明の発光装置が用いられている。本発明の発光装置は長寿命であるため、電気スタンドも長寿命である。

図１５は、本発明を適用した発光装置を、室内の照明装置３００１として用いた例である。本発明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、本発明の発光装置は、長寿命であるため、長寿命の照明装置として用いることが可能となる。

20

【０１９３】

このように、本発明を適用した発光装置を、室内の照明装置３００１として用いた部屋に、図１２（Ａ）で説明したような、本発明に係るテレビ装置３００２を設置して公共放送や映画を鑑賞することができる。このような場合、両装置は長寿命であるので、照明装置やテレビ装置の買い換え回数を減らすことができ、環境への負荷を低減することができる。

【実施例１】

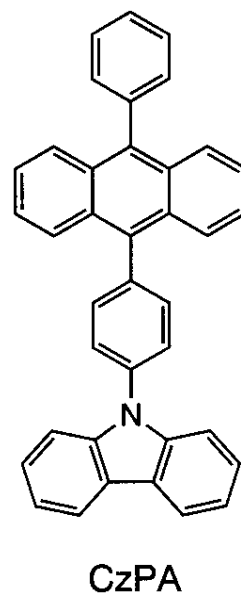
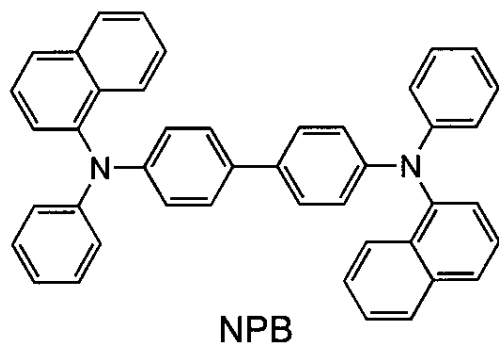
【０１９４】

本実施例では、図１６に積層構造を示す本発明の発光素子の作製例及び作製された発光素子の特性について具体的に説明する。また、特性については測定結果を示す図を用いて具体的に説明する。なお、実施例１で用いる有機化合物の構造式を以下に示す。

30

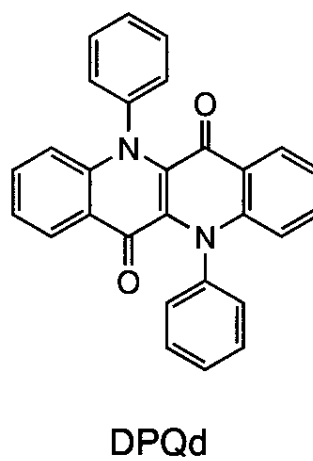
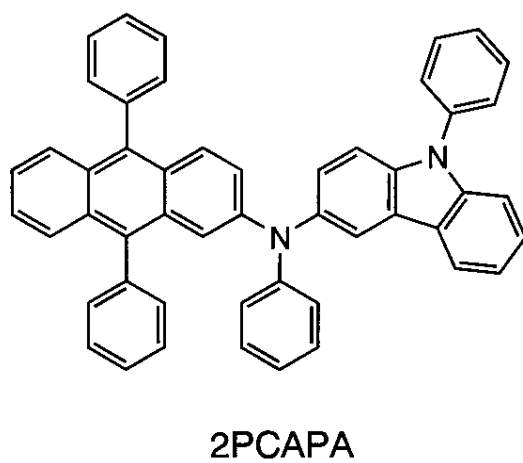
【０１９５】

【化 1】

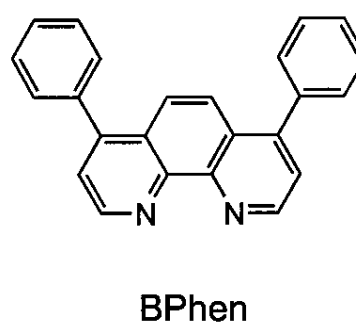
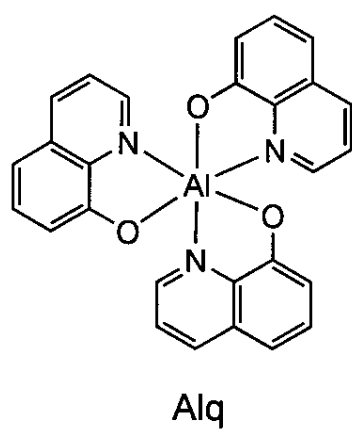


10

20



30



40

【 0 1 9 6 】

50

(発光素子 1 の作製)

まず、ガラス基板 2 2 0 1 上に、酸化珪素を含む酸化インジウム－酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極 2 2 0 2 を形成した。なお、その膜厚は 1 1 0 nm とし、電極面積は 2 mm × 2 mm とした。

続いて、第 1 の電極 2 2 0 2 が形成された面が下方となるように、第 1 の電極 2 2 0 2 が形成された基板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。

【0 1 9 7】

次いで、第 1 の電極 2 2 0 2 上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層 2 2 1 1 を形成した。その膜厚は 5 0 nm とし、NPB と酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で 4 : 1 = (NPB : 酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。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。

【0 1 9 8】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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)を 1 0 nm の膜厚となるように成膜し、正孔輸送層 2 2 1 2 を形成した。

その後、正孔輸送層 2 2 1 2 上に、発光層 2 2 1 3 を形成した。その際には、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:CzPA)とN-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:2PCAPPA)とを共蒸着することにより、発光層 2 2 1 3 を 3 0 nm の膜厚で形成した。ここで、CzPA と 2PCAPPA との重量比は、1 : 0.05 (=CzPA : 2PCAPPA)となるように蒸着レートを調節した。

【0 1 9 9】

さらに、発光層 2 2 1 3 上に、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)とN,N'-ジフェニルキナクリドン(略称:DPQd)とを共蒸着することにより、キャリアの移動を制御する層 2 2 1 4 を 1 0 nm の膜厚で形成した。ここで、Alq と DPQd との重量比は、1 : 0.003 (=Alq : DPQd)となるように蒸着レートを調節した。

【0 2 0 0】

次いで、抵抗加熱による蒸着法を用いて、キャリアの移動を制御する層 2 2 1 4 上にトリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)を 3 0 nm の膜厚となるように成膜し、電子輸送層 2 2 1 5 を形成した。

その後、電子輸送層 2 2 1 5 上に、フッ化リチウム(LiF)を 1 nm の膜厚となるように成膜することにより、電子注入層 2 2 1 6 を形成した。

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを 2 0 0 nm の膜厚となるように成膜することにより、第 2 の電極 2 2 0 4 を形成し、発光素子 1 を作製した。

【0 2 0 1】

以上により得られた本発明の発光素子 1 を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、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。

発光素子 1 の電流密度－輝度特性を図 1 7 に示す。また、電圧－輝度特性を図 1 8 に示す。また、輝度－電流効率特性を図 1 9 に示す。また、1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図 2 0 に示す。

【0 2 0 2】

また、発光素子 1 に関し、初期輝度を 5000 cd/m^2 として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図 2 1 に示す(縦軸は、 5000 cd/m^2 を 1 0 0 % とした時の相対輝度である)。

発光素子 1 は、輝度 5000 cd/m^2 のときの CIE 色度座標が ($x = 0.30$ 、 y

10

20

30

40

50

= 0.64) であり、2PCAPAに由来する緑色の発光を示した。また、輝度5000 cd/m²のときの電流効率は14 cd/Aであり、駆動電圧は8.1 Vであった。

さらに、発光素子1に関し、初期輝度を5000 cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、740時間後でも初期輝度の93%の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。

【0203】

(比較発光素子2の作製)

次に、比較のため、上述した発光素子1のキャリアの移動を制御する層2214を設けない構成の比較発光素子2を作製した。作製方法を以下に示す。まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含む酸化インジウム-酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110 nmとし、電極面積は2 mm×2 mmとした。

【0204】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板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の電極上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50 nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で4:1=(NPB:酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。

【0205】

続いて、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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)を10 nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層を形成した。

その後、正孔輸送層上に、発光層を形成した。その際には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:CzPA)とN-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:2PCAPA)とを共蒸着することにより、発光層を40 nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAと2PCAPAとの重量比は、1:0.05(=CzPA:2PCAPA)となるように蒸着レートを調節した。

【0206】

次いで、抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にトリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)を30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。つまり、発光素子1とは異なり、キャリアの移動を制御する層を設けず、発光層上に電子輸送層を形成した。

その後、電子輸送層上に、フッ化リチウム(LiF)を1 nmの膜厚となるように成膜することにより、電子注入層を形成した。

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成し、比較発光素子2を作製した。

【0207】

以上により得られた比較発光素子2を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、比較発光素子2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。

比較発光素子2は、輝度5000 cd/m²のときのCIE色度座標は(x=0.29、y=0.62)、電流効率が13 cd/Aであり、発光素子1と同様、2PCAPAに由来する緑色の発光を示した。

【0208】

しかしながら、初期輝度を5000 cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、図21に示す通り、740時間後には初期輝度の73%にまで輝度が低下しており、発光素子1よりも寿命が短かった。

よって、本発明を適用することにより、長寿命な発光素子を得られることがわかった。

【実施例2】

10

20

30

40

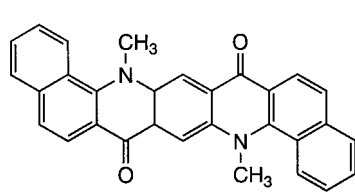
50

【0209】

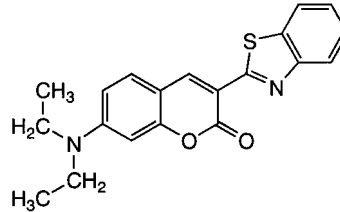
本実施例では、図16に積層構造を示す本発明の発光素子の作製例及び作製された発光素子の特性について具体的に説明する。また、特性については測定結果を示す図を用いて具体的に説明する。実施例2で用いる有機化合物の構造式を以下に示す。なお、実施例1で既に示した有機化合物については省略する。

【0210】

【化2】



DMNQd-2



Coumarin6

10

【0211】

(発光素子3の作製)

まず、ガラス基板2201上に、酸化珪素を含む酸化インジウム－酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第1の電極2202を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

20

その後、第1の電極2202が形成された面が下方となるように、第1の電極2202が形成された基板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

【0212】

次に、第1の電極2202上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層2211を形成した。その膜厚は50nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で4:1(=NPB:酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。

30

続いて、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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)を10nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層2212を形成した。

【0213】

次に、正孔輸送層2212上に、発光層2213を形成した。その際には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:CzPA)とN-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:2PCAPA)とを共蒸着することにより、発光層2213を30nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAと2PCAPAとの重量比は、1:0.05(=CzPA:2PCAPA)となるように蒸着レートを調節した。

40

【0214】

さらに、発光層2213上に、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)とN,N'-ジフェニルキノクリドン(略称:DPQd)とを共蒸着することにより、キャリアの移動を制御する層2214を10nmの膜厚で形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005(=Alq:DPQd)となるように蒸着レートを調節した。

【0215】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、キャリアの移動を制御する層2214上にバソフェナントロリン(略称:BPhen)を30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層2215を形成した。

50

電子輸送層 2215 上に、フッ化リチウム (LiF) を 1 nm の膜厚となるように成膜することにより、電子注入層 2216 を形成した。

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを 200 nm の膜厚となるように成膜することにより、第 2 の電極 2204 を形成し、発光素子 3 を作製した。

【0216】

以上により得られた本発明の発光素子 3 を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、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。発光素子 3 の電流密度-輝度特性を図 22 に示す。また、電圧-輝度特性を図 23 に示す。また、輝度-電流効率特性を図 24 に示す。また、1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図 25 に示す。

10

【0217】

また、発光素子 3 に関し、初期輝度を 5000 cd/m^2 として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図 26 に示す (縦軸は、 5000 cd/m^2 を 100% とした時の相対輝度である)。

発光素子 3 は、輝度 5000 cd/m^2 のときの CIE 色度座標が ($x = 0.30$, $y = 0.63$) であり、2PCAPA に由来する緑色の発光を示した。また、輝度 5000 cd/m^2 のときの電流効率は 13 cd/A であり、駆動電圧は 5.5 V であった。

さらに、発光素子 3 に関し、初期輝度を 5000 cd/m^2 として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、570 時間後でも初期輝度の 88% の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。

20

【0218】

(発光素子 4 の作製)

まず、ガラス基板 2201 上に、酸化珪素を含む酸化インジウム-酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極 2202 を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ とした。

続いて、第 1 の電極 2202 が形成された面が下方となるように、第 1 の電極 2202 が形成された基板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。

【0219】

30

次いで、第 1 の電極 2202 上に、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) と酸化モリブデン (VI) とを共蒸着することにより、複合材料を含む層 2211 を形成した。その膜厚は 50 nm とし、NPB と酸化モリブデン (VI) の比率は、重量比で 4:1 = (NPB:酸化モリブデン) となるように蒸着レートを調節した。

その後、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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) を 10 nm の膜厚となるように成膜し、正孔輸送層 2212 を形成した。

【0220】

40

次に、正孔輸送層 2212 上に、発光層 2213 を形成した。その際には、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: CzPA) と N-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン (略称: 2PCAPA) とを共蒸着することにより、発光層 2213 を 30 nm の膜厚で形成した。ここで、CzPA と 2PCAPA との重量比は、1:0.05 (=CzPA:2PCAPA) となるように蒸着レートを調節した。

【0221】

さらに、発光層 2213 上に、トリス (8-キノリノラト) アルミニウム (III) (略称: Alq) と 9,18-ジヒドロ-9,18-ジメチルベンゾ [h] ベンゾ [7,8] キノ [2,3-b] アクリジン-7,16-ジオン (略称: DMNQd-2) とを共蒸着することにより、キャリアの移動を制御する層 2214 を 10 nm の膜厚で形成した。こ

50

ここで、AlqとDMNQd-2との重量比は、1:0.005 (=Alq:DMNQd-2)となるように蒸着レートを調節した。

【0222】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、キャリアの移動を制御する層2214上にバソフェナントロリン（略称：BPhen）を30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層2215を形成した。

電子輸送層2215上に、フッ化リチウム（LiF）を1nmの膜厚となるように成膜することにより、電子注入層2216を形成した。

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極2204を形成し、発光素子4を作製した。

10

【0223】

以上により得られた本発明の発光素子4を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、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。

発光素子4の電流密度-輝度特性は図27に示す。また、電圧-輝度特性は図28に示す。また、輝度-電流効率特性は図29に示す。また、1mAの電流を流したときの発光スペクトルは図30に示す。

【0224】

また、発光素子4に関し、初期輝度を5000cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図26に示す（縦軸は、5000cd/m²を100%とした時の相対輝度である）。

20

発光素子4は、輝度5000cd/m²のときのCIE色度座標が（x=0.30、y=0.64）であり、2PCAPAに由来する緑色の発光を示した。また、輝度5000cd/m²のときの電流効率は17cd/Aであり、駆動電圧は4.2Vであった。

さらに、発光素子4に関し、初期輝度を5000cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、570時間後でも初期輝度の87%の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。

【0225】

（発光素子5の作製）

まず、ガラス基板2201上に、酸化珪素を含む酸化インジウム-酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第1の電極2202を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

30

その後、第1の電極2202が形成された面が下方となるように、第1の電極2202が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、10⁻⁴Pa程度まで減圧した。

【0226】

次に、第1の電極2202上に、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）と酸化モリブデン（VI）とを共蒸着することにより、複合材料を含む層2211を形成した。その膜厚は50nmとし、NPBと酸化モリブデン（VI）の比率は、重量比で4:1 = (NPB:酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。

40

その後、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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）を10nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層2212を形成した。

【0227】

次に、正孔輸送層2212上に、発光層2213を形成した。その際には、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：CzPA）とN-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン（略称：2PCAPA）とを共蒸着することにより、発光層2213を30nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAと2PCAPAとの重量比は、1:0

50

． 0 5 (= C z P A : 2 P C A P A) となるように蒸着レートを調節した。

【0228】

さらに、発光層 2 2 1 3 上に、トリス (8-キノリノラト) アルミニウム (III) (略称: A l q) とクマリン 6 (Coumarin 6) とを共蒸着することにより、キャリアの移動を制御する層 2 2 1 4 を 1 0 n m の膜厚で形成した。ここで、A l q とクマリン 6 との重量比は、1 : 0. 0 1 (= A l q : クマリン 6) となるように蒸着レートを調節した。

【0229】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、キャリアの移動を制御する層 2 2 1 4 上にバソフェナントロリン (略称: B P h e n) を 3 0 n m の膜厚となるように成膜し、電子輸送層 2 2 1 5 を形成した。

電子輸送層 2 2 1 5 上に、フッ化リチウム (L i F) を 1 n m の膜厚となるように成膜することにより、電子注入層 2 2 1 6 を形成した。

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを 2 0 0 n m の膜厚となるように成膜することにより、第 2 の電極 2 2 0 4 を形成し、発光素子 5 を作製した。

【0230】

以上により得られた本発明の発光素子 5 を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、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 (2 5 °C に保たれた雰囲気) で行った。

発光素子 5 の電流密度-輝度特性を図 3 1 に示す。また、電圧-輝度特性を図 3 2 に示す。また、輝度-電流効率特性を図 3 3 に示す。また、1 m A の電流を流したときの発光スペクトルを図 3 4 に示す。

【0231】

そして、発光素子 5 に関し、初期輝度を 5 0 0 0 c d / m² として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図 2 6 に示す (縦軸は、5 0 0 0 c d / m² を 1 0 0 % とした時の相対輝度である)。

発光素子 5 は、輝度 5 0 0 0 c d / m² のときの C I E 色度座標が (x = 0. 3 0、y = 0. 6 3) であり、2 P C A P A に由来する緑色の発光を示した。また、輝度 5 0 0 0 c d / m² のときの電流効率は 1 6 c d / A であり、駆動電圧は 4. 5 V であった。

さらに、発光素子 5 に関し、初期輝度を 5 0 0 0 c d / m² として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、1 5 0 時間後でも初期輝度の 9 3 % の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。

【0232】

(比較発光素子 6 の作製)

次に、比較のため、上述した発光素子 3 ないし発光素子 5 のキャリアの移動を制御する層 2 2 1 4 において、電子トラップ性の有機化合物を含まないようにした (すなわち A l q のみを用いて 2 2 1 4 を形成した) 以外は発光素子 3 ないし発光素子 5 と同様にして、比較発光素子 6 を作製した。作製方法を以下に示す。まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含む酸化インジウム-酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極を形成した。なお、その膜厚は 1 1 0 n m とし、電極面積は 2 m m × 2 m m とした。

【0233】

次に、第 1 の電極が形成された面が下方となるように、第 1 の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、1 0⁻⁴ P a 程度まで減圧した後、第 1 の電極上に、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) と酸化モリブデン (VI) とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は 5 0 n m とし、N P B と酸化モリブデン (VI) の比率は、重量比で 4 : 1 = (N P B : 酸化モリブデン) となるように蒸着レートを調節した。

【0234】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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) を 1 0 n m の膜厚となるように成膜し、正孔輸送層を形成した。

10

20

30

40

50

その後、正孔輸送層上に、発光層を形成した。その際には、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:CzPA)とN-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:2PCAPA)とを共蒸着することにより、発光層を30nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAと2PCAPAとの重量比は、1:0.05(=CzPA:2PCAPA)となるように蒸着レートを調節した。

【0235】

次いで、発光層上に、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)を10nmの膜厚で形成した。つまり、発光素子3ないし発光素子5とは異なり、Alqのみからなる層を形成した。

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、Alqのみからなる層上にバソフェナントロリン(略称:BPhen)を30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

さらに、電子輸送層上に、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚となるように成膜することにより、電子注入層を形成した。

【0236】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成し、比較発光素子6を作製した。

以上により得られた比較発光素子6を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、比較発光素子6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。

【0237】

比較発光素子6は、輝度5000cd/m²のときのCIE色度座標が(x=0.28、y=0.64)、電流効率が18cd/Aであり、発光素子3ないし発光素子5と同様、2PCAPAに由来する緑色の発光を示した。しかしながら、初期輝度を5000cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、図26に示す通り、260時間後には初期輝度の75%にまで輝度が低下しており、発光素子3ないし発光素子5よりも寿命が短かった。

以上のことから、本発明を適用することにより、長寿命な発光素子が得られることがわかった。

【実施例3】

【0238】

本実施例では、実施例1及び実施例2で作製した、発光素子1、発光素子3及び発光素子5においてキャリアの移動を制御する層に用いた、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)、N,N'-ジフェニルキナクリドン(略称:DPQd)及びクマリン6の還元反応特性について、サイクリックボルタンメトリ(CV)測定によって調べた。また、その測定から、Alq、DPQd、クマリン6のLUMO準位を求めた。なお測定には、電気化学アナライザー(ビー・エー・エス(株)製、型番:ALSモデル600Aまたは600C)を用いた。

【0239】

CV測定における溶液は、溶媒として脱水ジメチルホルムアミド(DMF)((株)アルドリッチ製、99.8%、カタログ番号;22705-6)を用い、支持電解質である過塩素酸テトラ-n-ブチルアンモニウム(n-Bu₄NClO₄)((株)東京化成製、カタログ番号;T0836)を100mmol/Lの濃度となるように溶解させ、さらに測定対象を1mmol/Lの濃度となるように溶解させて調製した。また、作用電極としては白金電極(ビー・エー・エス(株)製、PTE白金電極)を、補助電極としては白金電極(ビー・エー・エス(株)製、VC-3用Ptカウンター電極(5cm))を、参照電極としてはAg/Ag⁺電極(ビー・エー・エス(株)製、RE5非水溶媒系参照電極)をそれぞれ用いた。なお、測定は室温(20~25℃)で行った。

【0240】

(参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーの算出)

10

20

30

40

50

まず、本実施例 3 で用いる参照電極 (Ag/Ag^+ 電極) の真空準位に対するポテンシャルエネルギー (eV) を算出した。つまり、 Ag/Ag^+ 電極のフェルミ準位を算出した。メタノール中におけるフェロセンの酸化還元電位は、標準水素電極に対して $+0.610 [\text{V vs. SHE}]$ であることが知られている (参考文献; Christian R. Goldsmith et al., J. Am. Chem. Soc., Vol. 124, No. 1, 83-96, 2002)。他方、本実施例 3 で用いる参照電極を用いて、メタノール中におけるフェロセンの酸化還元電位を求めたところ、 $+0.20 \text{ V} [\text{vs. Ag}/\text{Ag}^+]$ であった。

【0241】

してみると、本実施例 3 で用いる参照電極のポテンシャルエネルギーは、標準水素電極に対して $0.41 [\text{eV}]$ 低くなっていることがわかった。

ここで、標準水素電極の真空準位からのポテンシャルエネルギーは -4.44 eV であることが知られている (参考文献; 大西敏博・小山珠美著、高分子 EL 材料 (共立出版)、p. 64-67)。以上のことから、本実施例 3 で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、 $-4.44 - 0.41 = -4.85 [\text{eV}]$ であると算出できた。

【0242】

(測定例 1; Alq)

本測定例 1 では、Alq の還元反応特性について、サイクリックボルタンメトリ (CV) 測定によって調べた。スキャン速度は 0.1 V/sec とした。測定結果を図 35 に示す。なお、還元反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を -0.69 V から -2.40 V まで走査した後、 -2.40 V から -0.69 V まで走査することにより行った。

【0243】

図 35 に示すように、還元ピーク電位 E_{pc} は -2.20 V 、酸化ピーク電位 E_{pa} は -2.12 V と読み取ることができる。したがって、半波電位 (E_{pc} と E_{pa} の中間の電位) は -2.16 V と算出できる。このことは、Alq は $-2.16 \text{ V} [\text{vs. Ag}/\text{Ag}^+]$ の電気エネルギーにより還元されることを示しており、このエネルギーは LUMO 準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例 3 で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、 $-4.85 [\text{eV}]$ であるため、Alq の LUMO 準位は、 $-4.85 - (-2.16) = -2.69 [\text{eV}]$ であることがわかった。

【0244】

(測定例 2; DPQd)

本測定例 2 では、DPQd の還元反応特性について、サイクリックボルタンメトリ (CV) 測定によって調べた。スキャン速度は 0.1 V/sec とした。測定結果を図 36 に示す。なお、還元反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を -0.40 V から -2.10 V まで走査した後、 -2.10 V から -0.40 V まで走査することにより行った。また、DPQd は溶解性が悪く、 1 mmol/L の濃度となるように溶液を調製しようとしても溶け残りが生じたため、溶け残りが沈殿した状態で上澄み液を採取し、測定に使用した。

【0245】

図 36 に示すように、還元ピーク電位 E_{pc} は -1.69 V 、酸化ピーク電位 E_{pa} は -1.63 V と読み取ることができる。したがって、半波電位 (E_{pc} と E_{pa} の中間の電位) は -1.66 V と算出できる。このことは、DPQd は $-1.66 \text{ V} [\text{vs. Ag}/\text{Ag}^+]$ の電気エネルギーにより還元されることを示しており、このエネルギーは LUMO 準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例 3 で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、 $-4.85 [\text{eV}]$ であるため、DPQd の LUMO 準位は、 $-4.85 - (-1.66) = -3.19 [\text{eV}]$ であることがわかった。

【0246】

なお、上述のようにして求めた Alq と DPQd の LUMO 準位を比較すると、DPQd の LUMO 準位は Alq よりも $0.50 [\text{eV}]$ も低いことがわかる。このことは、D

P Q dをA l q中に添加することにより、D P Q dが電子トラップとして作用することを意味する。したがって、本発明の発光素子の第2の層において、第2の有機化合物としてD P Q dを、第1の有機化合物としてA l qを用いた実施例1および実施例2の素子構造は、本発明に好適な構造である。

【0247】

なお、発光素子4で用いた9, 18-ジヒドロ-9, 18-ジメチルベンゾ[h]ベンゾ[7, 8]キノ[2, 3-b]アクリジン-7, 16-ジオン(略称: DMNQd-2)は溶解性が極端に悪く、CV測定ができなかった。しかしながら、DMNQd-2はD P Q dと同様のキナクリドン誘導体であるため、分子骨格内にカルボニル基を有しており、強い電子トラップ性を有する。したがって、DMNQd-2はD P Q dと同様の物性を有していると考えられる。

10

【0248】

(測定例3; クマリン6)

本測定例3では、クマリン6の還元反応特性について、サイクリックボルタンメトリ(CV)測定によって調べた。スキャン速度は0.1 V/secとした。測定結果を図37に示す。なお、還元反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-0.31 Vから-2.00 Vまで走査した後、-2.00 Vから-0.31 Vまで走査することにより行った。

【0249】

図37に示すように、還元ピーク電位 E_{pc} は-1.85 V、酸化ピーク電位 E_{pa} は-1.77 Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{pc} と E_{pa} の中間の電位)は-1.81 Vと算出できる。このことは、クマリン6は-1.81 V [vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより還元されることを示しており、このエネルギーはLUMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例3で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85 [eV]であるため、クマリン6のLUMO準位は、-4.85 - (-1.81) = -3.04 [eV]であることがわかった。

20

【0250】

なお、上述のようにして求めたA l qとクマリン6のLUMO準位を比較すると、クマリン6のLUMO準位はA l qよりも0.35 [eV]も低いことがわかる。このことは、クマリン6をA l q中に添加することにより、クマリン6が電子トラップとして作用することを意味する。したがって、本発明の発光素子のキャリアの移動を制御する層において、第2の有機化合物としてクマリン6を、第1の有機化合物としてA l qを用いた実施例2の素子構造は、本発明に好適な構造である。

30

【実施例4】

【0251】

本実施例では、図16に積層構造を示す本発明の発光素子の作製例及び作製された発光素子の特性について具体的に説明する。また、特性については測定結果を示す図を用いて具体的に説明する。

(発光素子7の作製)

まず、ガラス基板2201上に、酸化珪素を含む酸化インジウム-酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第1の電極2202を形成した。なお、その膜厚は110 nmとし、電極面積は2 mm × 2 mmとした。

40

【0252】

続いて、第1の電極2202が形成された面が下方となるように、第1の電極2202が形成された基板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2202上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層2211を形成した。その膜厚は50 nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で4:1 = (NPB:酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。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

50

時に蒸着を行う蒸着法である。

【0253】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、4, 4'-ビス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]ピフェニル（略称：NPB）を10nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層2212を形成した。

その後、正孔輸送層2212上に、発光層2213を形成した。その際には、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：CzPA）とN-(9, 10-ジフェニル-2-アントリル)-N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン（略称：2PCAPA）とを共蒸着することにより、発光層2213を30nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAと2PCAPAとの重量比は、1：0.05（=CzPA：2PCAPA）となるように蒸着レートを調節した。

10

【0254】

さらに、発光層2213上に、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)（略称：Alq）とN, N'-ジフェニルキノクリドン（略称：DPQd）とを共蒸着することにより、キャリアの移動を制御する層2214を10nmの膜厚で形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1：0.002（=Alq：DPQd）となるように蒸着レートを調節した。

【0255】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、キャリアの移動を制御する層2214上にトリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)（略称：Alq）を30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層2215を形成した。

20

電子輸送層2215上に、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚となるように成膜することにより、電子注入層2216を形成した。

【0256】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極2204を形成し、発光素子7を作製した。

以上により得られた本発明の発光素子7を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、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。

発光素子7の電流密度-輝度特性を図38に示す。また、電圧-輝度特性を図39に示す。また、輝度-電流効率特性を図40に示す。また、1mAの電流を流したときの発光スペクトルを図41に示す。

30

【0257】

また、発光素子7に関し、初期輝度を1000cd/m²として、80℃における定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図42に示す（縦軸は、1000cd/m²を100%とした時の相対輝度である）。

発光素子7は、輝度1040cd/m²のときのCIE色度座標が(x=0.28、y=0.65)であり、2PCAPAに由来する緑色の発光を示した。また、輝度1040cd/m²のときの電流効率は16cd/Aであり、駆動電圧は5.4Vであり、パワー効率は9.1lm/Wであった。

40

【0258】

さらに、発光素子7に関し、初期輝度を1000cd/m²として、80℃における定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、1000時間後でも初期輝度の96%の輝度を保っており、1700時間後でも初期輝度の94%の輝度を保っていることがわかった。つまり、80℃という高温環境下でも非常に長寿命である発光素子を得ることができた。

よって、本発明を適用することにより、長寿命な発光素子を得られることがわかった。

【実施例5】

【0259】

本実施例では、図16に積層構造を示す、実施例4とは別の本発明の発光素子の作製例

50

及び作製された発光素子の特性について具体的に説明する。また、特性については測定結果を示す図を用いて具体的に説明する。

(発光素子 8 の作製)

まず、ガラス基板 2201 上に、酸化珪素を含む酸化インジウム－酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極 2202 を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は 2 mm × 2 mm とした。

【0260】

次いで、第 1 の電極 2202 が形成された面が下方となるように、第 1 の電極 2202 が形成された基板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 2202 上に、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) と酸化モリブデン (VI) とを共蒸着することにより、複合材料を含む層 2211 を形成した。その膜厚は 50 nm とし、NPB と酸化モリブデン (VI) の比率は、重量比で 4 : 1 = (NPB : 酸化モリブデン) となるように蒸着レートを調節した。

【0261】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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) を 10 nm の膜厚となるように成膜し、正孔輸送層 2212 を形成した。

その後、正孔輸送層 2212 上に、発光層 2213 を形成した。その際には、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: CzPA) と N-(9, 10-ジフェニル-2-アントリル)-N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン (略称: 2PCAPA) とを共蒸着することにより、発光層 2213 を 30 nm の膜厚で形成した。ここで、CzPA と 2PCAPA との重量比は、1 : 0.05 (= CzPA : 2PCAPA) となるように蒸着レートを調節した。

【0262】

さらに、発光層 2213 上に、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム (III) (略称: Alq) と N, N'-ジフェニルキナクリドン (略称: DPQd) とを共蒸着することにより、キャリアの移動を制御する層 2214 を 10 nm の膜厚で形成した。ここで、Alq と DPQd との重量比は、1 : 0.002 (= Alq : DPQd) となるように蒸着レートを調節した。

【0263】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、キャリアの移動を制御する層 2214 上にバソフェナントロリン (略称: BPhen) を 30 nm の膜厚となるように成膜し、電子輸送層 2215 を形成した。

電子輸送層 2215 上に、フッ化リチウム (LiF) を 1 nm の膜厚となるように成膜することにより、電子注入層 2216 を形成した。

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを 200 nm の膜厚となるように成膜することにより、第 2 の電極 2204 を形成し、発光素子 8 を作製した。

【0264】

以上により得られた本発明の発光素子 8 を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、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 °C に保たれた雰囲気) で行った。

発光素子 8 の電流密度－輝度特性を図 43 に示す。また、電圧－輝度特性を図 44 に示す。また、輝度－電流効率特性を図 45 に示す。また、1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図 46 に示す。

【0265】

また、発光素子 8 に関し、初期輝度を 1000 cd/m^2 として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図 47 に示す (縦軸は、 1000 cd/m^2 を 100 % とした時の相対輝度である)。

発光素子 8 は、輝度 1440 cd/m^2 のときの CIE 色度座標が ($x = 0.27$ 、 y

10

20

30

40

50

= 0.65) であり、2PCA PAに由来する緑色の発光を示した。また、輝度1440 cd/m²のときの電流効率は17 cd/Aであり、駆動電圧は3.8 Vであり、パワー効率は141 m/Wであった。

【0266】

さらに、発光素子8に関し、初期輝度を1000 cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、3300時間後でも初期輝度の99%の輝度を保っており、非常に長寿命な発光素子であることがわかった。

よって、本発明を適用することにより、長寿命な発光素子が得られることがわかった。

【実施例6】

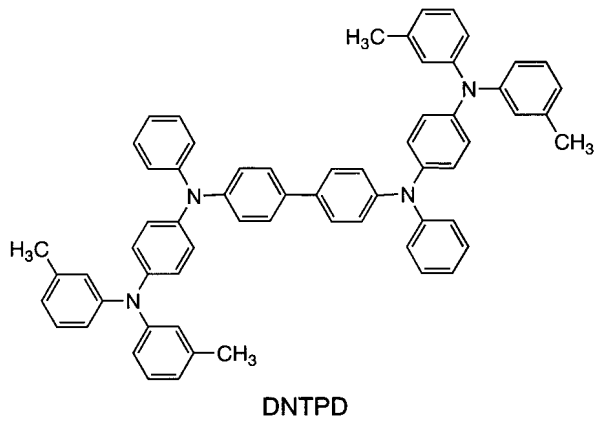
【0267】

本実施例では、図48に積層構造を示す、実施例4及び5とは別の本発明の発光素子の作製例及び作製された発光素子の特性について具体的に説明する。なお、特性については測定結果を示す図を用いて具体的に説明する。

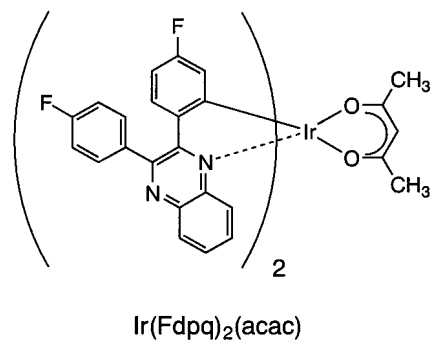
また、実施例6における発光素子9の作製で用いる有機化合物の構造式を以下に示す。なお、他の実施例で既に示した有機化合物については省略する。

【0268】

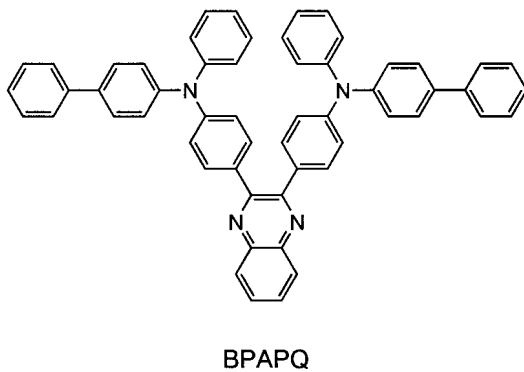
【化 3】



10



20



30

【0269】

(発光素子9の作製)

まず、ガラス基板2401上に、酸化珪素を含む酸化インジウム－酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第1の電極2402を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

40

続いて、第1の電極2402が形成された面が下方となるように、第1の電極2402が形成された基板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。

【0270】

その後、第1の電極2402上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層2411を形成した。その膜厚は50nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で4：1＝(NPB：酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。

50

【0271】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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)を10nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層2412を形成した。

さらに、正孔輸送層2412上に、2, 3-ビス{4-[N-(4-ビフェニル)-N-フェニルアミノ]フェニル}キノキサリン(略称:BPAPQ)と4, 4'-ビス[N-{4-[N'-(3-メチルフェニル)-N'-フェニルアミノ]フェニル}-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称:DNTPD)とを共蒸着することにより、キャリアの移動を制御する層2413を10nmの膜厚で形成した。ここで、BPAPQとDNTPDとの重量比は、1:0.1(=BPAPQ:DNTPD)となるように蒸着レートを調節した。

10

【0272】

次いで、キャリアの移動を制御する層2413上に、発光層2414を形成した。2, 3-ビス{4-[N-(4-ビフェニル)-N-フェニルアミノ]フェニル}キノキサリン(略称:BPAPQ)と(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))とを共蒸着することにより、発光層2414を20nmの膜厚で形成した。ここで、BPAPQとIr(Fdpq)₂(acac)との重量比は、1:0.07(=BPAPQ:Ir(Fdpq)₂(acac))となるように蒸着レートを調節した。

20

【0273】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層2414上にトリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)を10nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層2415を形成した。

電子輸送層2415上に、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)とリチウム(Li)とを共蒸着することにより、電子注入層2416を50nmの膜厚で形成した。ここで、AlqとLiとの重量比は、1:0.01(=Alq:Li)となるように蒸着レートを調節した。

【0274】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極2404を形成し、発光素子9を作製した。

30

以上により得られた本発明の発光素子9を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、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。

【0275】

発光素子9の電流密度-輝度特性を図49に示す。また、電圧-輝度特性を図50に示す。また、輝度-電流効率特性を図51に示す。また、1mAの電流を流したときの発光スペクトルを図52に示す。また、発光素子9に関し、初期輝度を1000cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図53に示す(縦軸は、1000cd/m²を100%とした時の相対輝度である)。

【0276】

40

発光素子9は、輝度1060cd/m²のときのCIE色度座標が(x=0.70、y=0.30)であり、Ir(Fdpq)₂(acac)に由来する赤色の発光を示した。また、輝度1060cd/m²のときの電流効率は4.7cd/Aであり、駆動電圧は6.2Vであり、パワー効率は2.4lm/Wであった。

さらに、発光素子9に関し、初期輝度を1000cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、2400時間後でも初期輝度の74%の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。

【0277】

(発光素子10の作製)

発光素子10は、発光素子9のキャリアの移動を制御する層2413を、2, 3-ビス

50

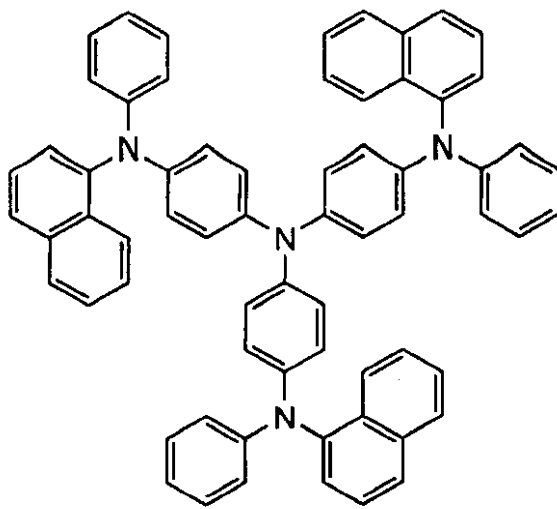
{4-[N-(4-ビフェニル)-N-フェニルアミノ]フェニル}キノキサリン(略称:BPAPQ)と4,4',4''-トリス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]トリフェニルアミン(略称:1-TNATA)とを用いて形成した。

【0278】

つまり、正孔輸送層2412上に、2,3-ビス{4-[N-(4-ビフェニル)-N-フェニルアミノ]フェニル}キノキサリン(略称:BPAPQ)と4,4',4''-トリス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]トリフェニルアミン(略称:1-TNATA)とを共蒸着することにより、キャリアの移動を制御する層2413を10nmの膜厚で形成した。ここで、BPAPQと1-TNATAとの重量比は、1:0.1(=BPAPQ:1-TNATA(これについては以下に構造式を示す))となるように蒸着レートを調節した。なお、キャリアの移動を制御する層2413以外は発光素子9と同様に作製した。

【0279】

【化4】



1-TNATA

【0280】

以上により得られた本発明の発光素子10を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、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。

発光素子10の電流密度-輝度特性を図54に示す。また、電圧-輝度特性を図55に示す。また、輝度-電流効率特性を図56に示す。また、1mAの電流を流したときの発光スペクトルを図57に示す。また、発光素子10に関し、初期輝度を1000cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図58に示す(縦軸は、1000cd/m²を100%とした時の相対輝度である)。

【0281】

発光素子10は、輝度960cd/m²のときのCIE色度座標が(x=0.70、y=0.30)であり、Ir(Fdpq)₂(acac)に由来する赤色の発光を示した。また、輝度960cd/m²のときの電流効率は5.1cd/Aであり、駆動電圧は7.0Vであり、パワー効率は2.3lm/Wであった。

さらに、発光素子10に関し、初期輝度を1000cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、1100時間後でも初期輝度の84%の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。

【0282】

(比較発光素子 11 の作製)

次に、比較のため、上述した発光素子 9 及び発光素子 10 のキャリアの移動を制御する層 2413 を設けない構成の比較発光素子 11 を作製した。作製方法を以下に示す。まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含む酸化インジウム－酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は 2 mm × 2 mm とした。

【0283】

続いて、第 1 の電極が形成された面が下方となるように、第 1 の電極が形成された基板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 の電極上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は 50 nm とし、NPB と酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で 4:1=(NPB:酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。

その後、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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)を 10 nm の膜厚となるように成膜し、正孔輸送層を形成した。

【0284】

次に、正孔輸送層上に、発光層を形成した。2, 3-ビス{4-[N-(4-ビフェニル)-N-フェニルアミノ]フェニル}キノキサリン(略称:BPAPQ)と(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))とを共蒸着することにより、発光層を 30 nm の膜厚で形成した。ここで、BPAPQ と Ir(Fdpq)₂(acac)との重量比は、1:0.07(=BPAPQ:Ir(Fdpq)₂(acac))となるように蒸着レートを調節した。つまり、発光素子 9 および発光素子 10 とは異なり、キャリアの移動を制御する層を設けず、正孔輸送層上に発光層を形成した。

【0285】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にトリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)を 10 nm の膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

電子輸送層上に、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)とリチウム(Li)とを共蒸着することにより、電子注入層を 50 nm の膜厚で形成した。ここで、Alq と Li との重量比は、1:0.01(=Alq:Li)となるように蒸着レートを調節した。

【0286】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを 200 nm の膜厚となるように成膜することにより、第 2 の電極を形成し、比較発光素子 11 を作製した。

以上により得られた比較発光素子 11 を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、比較発光素子 2 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。

【0287】

比較発光素子 11 の電流密度－輝度特性を図 59 に示す。また、電圧－輝度特性を図 60 に示す。また、輝度－電流効率特性を図 61 に示す。また、1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図 62 に示す。

また、比較発光素子 11 に関し、初期輝度を 1000 cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図 63 に示す(縦軸は、1000 cd/m²を 100%とした時の相対輝度である)。

【0288】

比較発光素子 11 は、輝度 1140 cd/m²のときの CIE 色度座標が(x=0.65、y=0.34)であり、Ir(Fdpq)₂(acac)に由来する赤色の発光を示した。しかしながら、図 62 からわかるように、発光層に接する Alq の発光が見られ、

10

20

30

40

50

発光素子 9 および発光素子 10 に比べ、色純度が低下していることがわかる。つまり、比較発光素子 11 は、発光素子 9 および発光素子 10 に比べキャリアバランスが悪くなっていることが示唆される。

【0289】

また、比較発光素子 11 の輝度 1140 cd/m^2 のときの電流効率は 2.9 cd/A であり、駆動電圧は 4.8 V であり、パワー効率は 1.91 m/W であった。

さらに、比較発光素子 11 に関し、初期輝度を 1000 cd/m^2 として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、1300 時間後では初期輝度の 73% の輝度であり、発光素子 9 および発光素子 10 よりも寿命が短かった。

よって、本発明を適用することにより、長寿命な発光素子を得られることがわかった。

10

【実施例 7】

【0290】

本実施例では、実施例 6 で作製した発光素子 9 におけるキャリアの移動を制御する層に用いた、2, 3-ビス {4- [N- (4-ビフェニル) -N-フェニルアミノ] フェニル} キノキサリン (略称: BPAPQ) と 4, 4'-ビス (N- {4- [N'- (3-メチルフェニル) -N'-フェニルアミノ] フェニル} -N-フェニルアミノ) ビフェニル (略称: DNTPD) の酸化反応特性について、サイクリックボルタンメトリ (CV) 測定によって調べた。

また、その測定から、BPAPQ、DNTPD の HOMO 準位を求めた。なお測定には、電気化学アナライザー (ビー・エー・エス (株) 製、型番: ALS モデル 600A または 600C) を用いた。

20

【0291】

CV 測定は、実施例 3 と同様に行った。CV 測定における溶液は、溶媒として脱水ジメチルホルムアミド (DMF) ((株) アルドリッチ製、99.8%、カタログ番号; 22705-6) を用い、支持電解質である過塩素酸テトラ-n-ブチルアンモニウム ($n\text{-Bu}_4\text{NClO}_4$) ((株) 東京化成製、カタログ番号; T0836) を 100 mmol/L の濃度となるように溶解させ、さらに測定対象を 1 mmol/L の濃度となるように溶解させて調製した。また、作用電極としては白金電極 (ビー・エー・エス (株) 製、PTE 白金電極) を、補助電極としては白金電極 (ビー・エー・エス (株) 製、VC-3 用 Pt カウンター電極 (5 cm)) を、参照電極としては Ag/Ag^+ 電極 (ビー・エー・エス (株) 製、RE5 非水溶媒系参照電極) をそれぞれ用いた。なお、測定は室温 ($20 \sim 25^\circ\text{C}$) で行った。

30

【0292】

[参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーの算出]

実施例 3 で示した方法により、本実施例 7 で用いる参照電極 (Ag/Ag^+ 電極) の真空準位に対するポテンシャルエネルギー (eV) を算出した。その結果、本実施例 7 で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、 $-4.44 - 0.41 = -4.85 \text{ [eV]}$ であると算出できた。

【0293】

(測定例 4; BPAPQ)

40

本測定例 4 では、BPAPQ の酸化反応特性について、サイクリックボルタンメトリ (CV) 測定によって調べた。スキャン速度は 0.1 V/sec とした。測定結果を図 64 に示す。なお、酸化反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を -0.16 V から 1.00 V まで走査した後、 1.00 V から -0.16 V まで走査することにより行った。

【0294】

図 64 に示すように、酸化ピーク電位 E_{pa} は 0.78 V 、還元ピーク電位 E_{pc} は 0.60 V と読み取ることができる。したがって、半波電位 (E_{pc} と E_{pa} の中間の電位) は 0.69 V と算出できる。このことは、BPAPQ は $0.69 \text{ V [vs. Ag/Ag}^+]$ の電気エネルギーにより酸化されることを示しており、このエネルギーは HOMO 準位に相当

50

する。ここで、上述した通り、本実施例 7 で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、 -4.85 [eV] であるため、BPAPQ の HOMO 準位は、 $-4.85 - 0.69 = -5.54$ [eV] であることがわかった。

【0295】

(測定例 5 ; DNTPD)

本測定例 5 では、DNTPD の酸化反応特性について、サイクリックボルタンメトリ (CV) 測定によって調べた。スキャン速度は 0.1 V/s とした。測定結果を図 65 に示す。なお、酸化反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を -0.05 V から 1.20 V まで走査した後、 1.20 V から -0.05 V まで走査することにより行った。

10

【0296】

図 65 に示すように、酸化ピーク電位 E_{pa} は 0.16 V 、還元ピーク電位 E_{pc} は 0.26 V と読み取ることができる。したがって、半波電位 (E_{pc} と E_{pa} の中間の電位) は 0.21 V と算出できる。このことは、DPQd は 0.21 V [vs. Ag/Ag^+] の電気エネルギーにより酸化されることを示しており、このエネルギーは HOMO 準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例 7 で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、 -4.85 [eV] であるため、DPQd の HOMO 準位は、 $-4.85 - 0.21 = -5.06$ [eV] であることがわかった。

【0297】

なお、上述のようにして求めた BPAPQ と DNTPD の HOMO 準位を比較すると、DNTPD の HOMO 準位は BPAPQ よりも 0.48 [eV] も低いことがわかる。このことは、DNTPD を BPAPQ 中に添加することにより、DNTPD が正孔トラップとして作用することを意味する。したがって、本発明の発光素子の第 2 の層において、第 2 の有機化合物として DNTPD を、第 1 の有機化合物として BPAPQ を用いた実施例 6 の素子構造は、本発明に好適な構造である。

20

【符号の説明】

【0298】

- 201 基板
- 202 第 1 の電極
- 203 EL 層
- 204 第 2 の電極
- 211 第 1 の層
- 212 第 2 の層
- 213 第 3 の層
- 214 第 4 の層
- 215 第 5 の層
- 216 第 6 の層
- 217 第 7 の層
- 401 基板
- 402 第 1 の電極
- 403 EL 層
- 404 第 2 の電極
- 411 第 1 の層
- 412 第 2 の層
- 413 第 3 の層
- 414 第 4 の層
- 415 第 5 の層
- 416 第 6 の層
- 417 第 7 の層
- 501 第 1 の電極

30

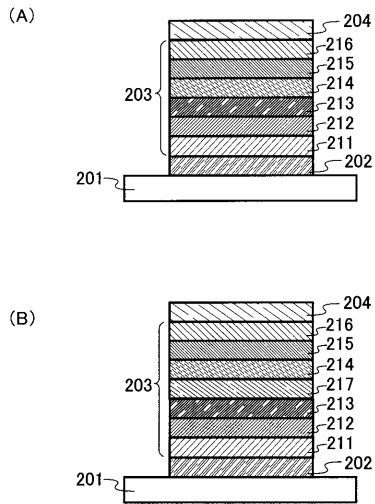
40

50

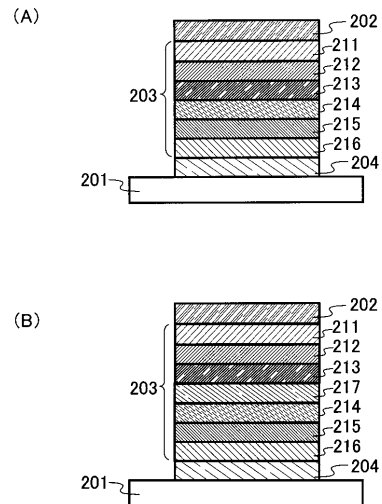
5 0 2	第 2 の電極	
5 1 1	第 1 の発光ユニット	
5 1 2	第 2 の発光ユニット	
5 1 3	電荷発生層	
6 0 1	ソース側駆動回路	
6 0 2	画素部	
6 0 3	ゲート側駆動回路	
6 0 4	封止基板	
6 0 5	シール材	
6 0 7	空間	10
6 0 8	配線	
6 0 9	F P C (フレキシブルプリントサーキット)	
6 1 0	素子基板	
6 1 1	スイッチング用 T F T	
6 1 2	電流制御用 T F T	
6 1 3	第 1 の電極	
6 1 4	絶縁物	
6 1 6	E L 層	
6 1 7	第 2 の電極	
6 1 8	発光素子	20
6 2 3	Nチャネル型 T F T	
6 2 4	Pチャネル型 T F T	
9 0 1	筐体	
9 0 2	液晶層	
9 0 3	バックライト	
9 0 4	筐体	
9 0 5	ドライバ I C	
9 0 6	端子	
9 5 1	基板	
9 5 2	電極	30
9 5 3	絶縁層	
9 5 4	隔壁層	
9 5 5	E L 層	
9 5 6	電極	
2 0 0 1	筐体	
2 0 0 2	光源	
2 2 0 1	ガラス基板	
2 2 0 2	第 1 の電極	
2 2 0 4	第 2 の電極	
2 2 1 1	複合材料を含む層	40
2 2 1 2	正孔輸送層	
2 2 1 3	発光層	
2 2 1 4	キャリアの移動を制御する層	
2 2 1 5	電子輸送層	
2 2 1 6	電子注入層	
2 4 0 1	ガラス基板	
2 4 0 2	第 1 の電極	
2 4 0 4	第 2 の電極	
2 4 1 1	複合材料を含む層	
2 4 1 2	正孔輸送層	50

2 4 1 3	キャリアの移動を制御する層	
2 4 1 4	発光層	
2 4 1 5	電子輸送層	
2 4 1 6	電子注入層	
3 0 0 1	照明装置	
3 0 0 2	テレビ装置	
9 1 0 1	筐体	
9 1 0 2	支持台	
9 1 0 3	表示部	
9 1 0 4	スピーカー部	10
9 1 0 5	ビデオ入力端子	
9 2 0 1	本体	
9 2 0 2	筐体	
9 2 0 3	表示部	
9 2 0 4	キーボード	
9 2 0 5	外部接続ポート	
9 2 0 6	ポインティングデバイス	
9 4 0 1	本体	
9 4 0 2	筐体	
9 4 0 3	表示部	20
9 4 0 4	音声入力部	
9 4 0 5	音声出力部	
9 4 0 6	操作キー	
9 4 0 7	外部接続ポート	
9 4 0 8	アンテナ	
9 5 0 1	本体	
9 5 0 2	表示部	
9 5 0 3	筐体	
9 5 0 4	外部接続ポート	
9 5 0 5	リモコン受信部	30
9 5 0 6	受像部	
9 5 0 7	バッテリー	
9 5 0 8	音声入力部	
9 5 0 9	操作キー	
9 5 1 0	接眼部	

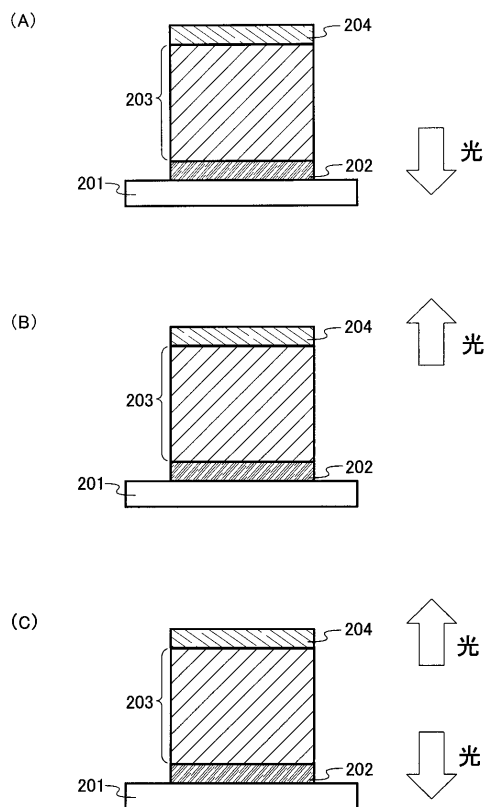
【図 1】



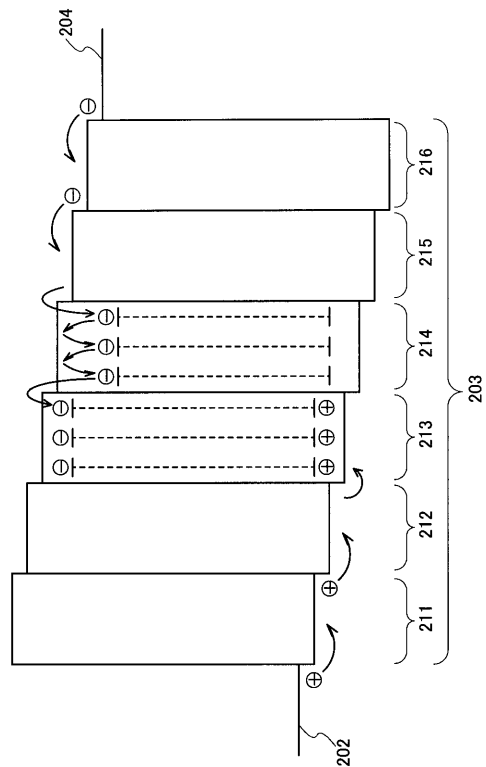
【図 2】



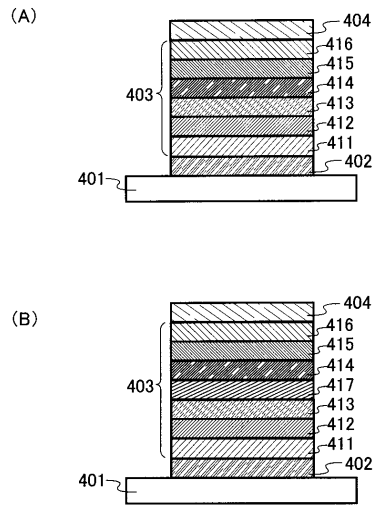
【図 3】



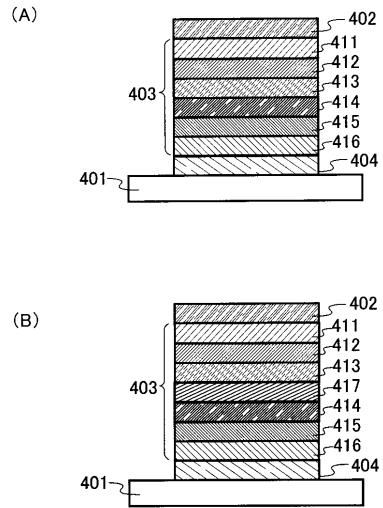
【図 4】



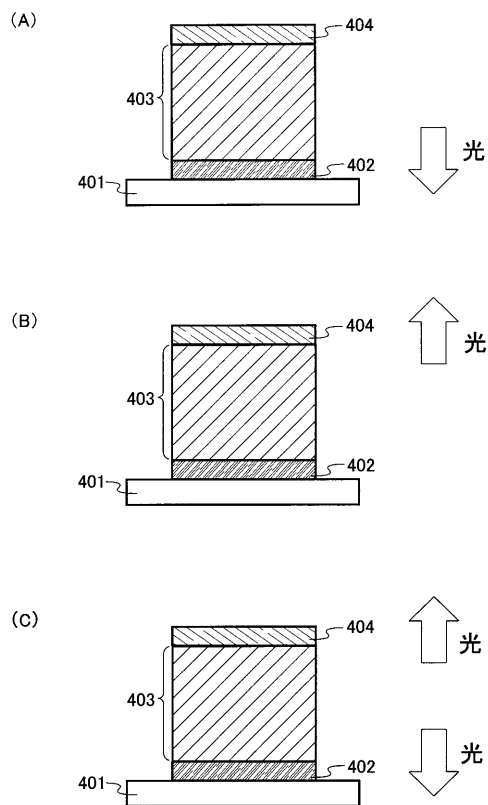
【図 5】



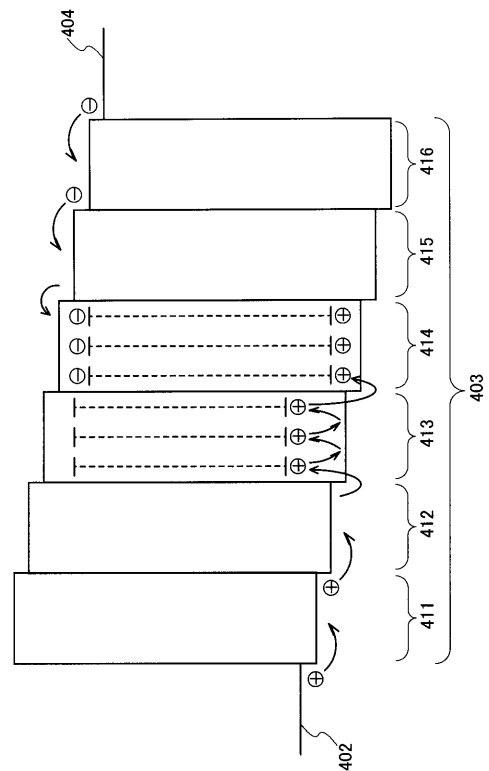
【図 6】



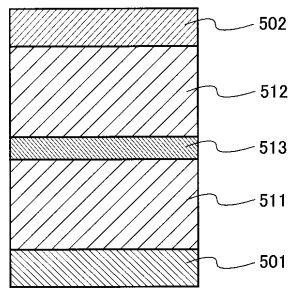
【図 7】



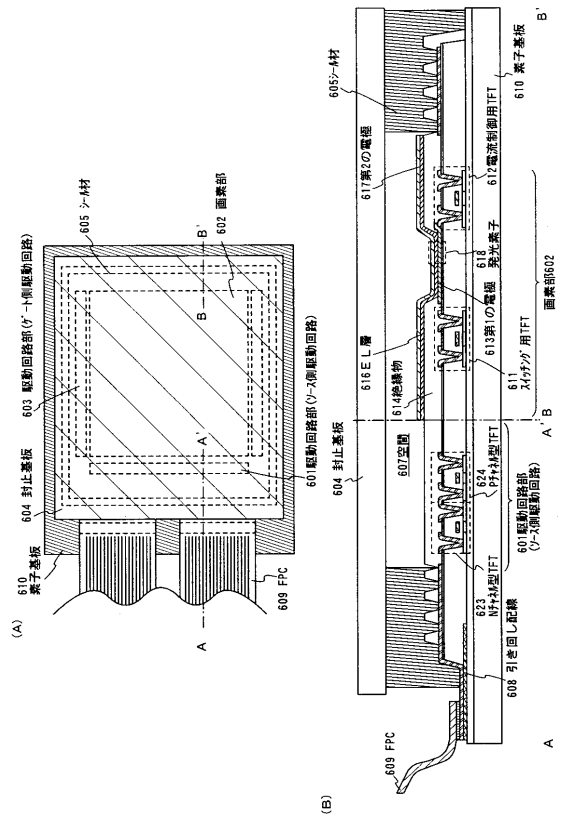
【図 8】



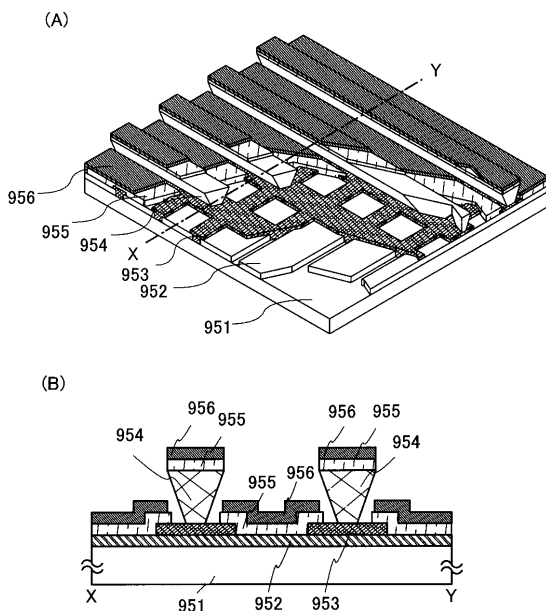
【図 9】



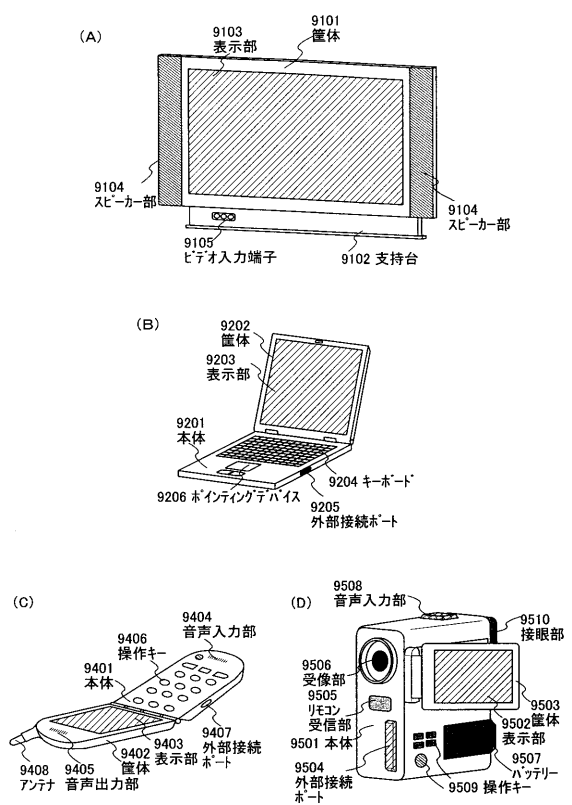
【図 10】



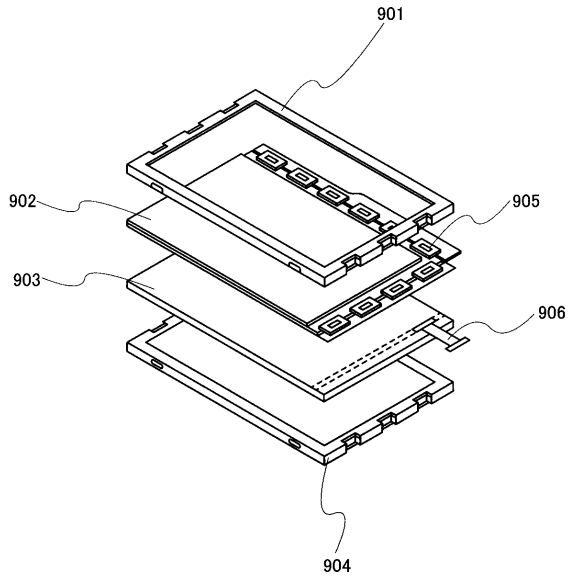
【図 11】



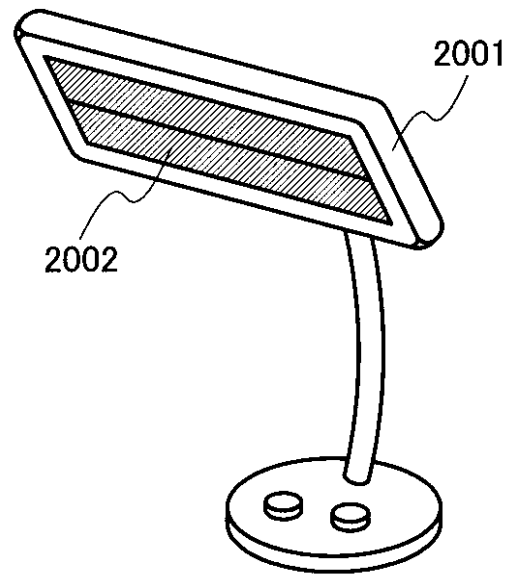
【図 12】



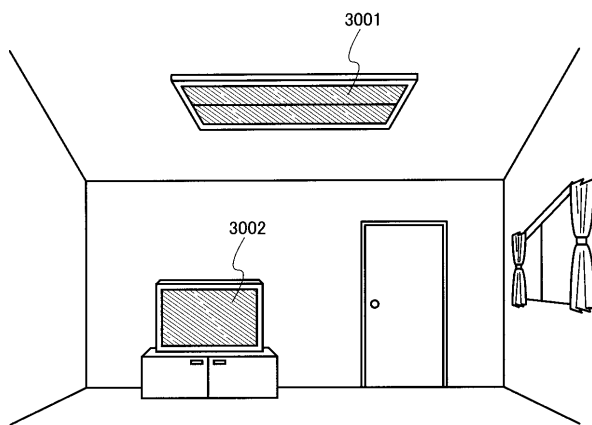
【図 1 3】



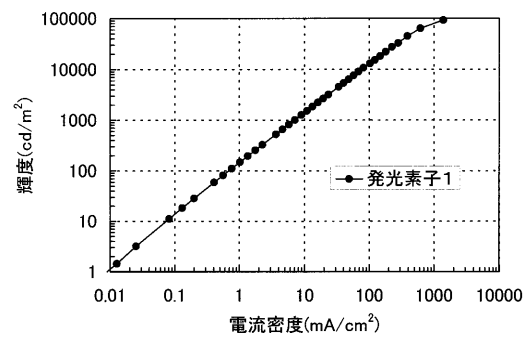
【図 1 4】



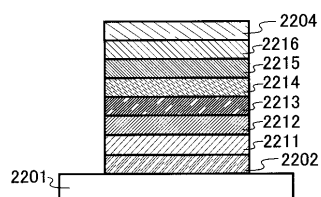
【図 1 5】



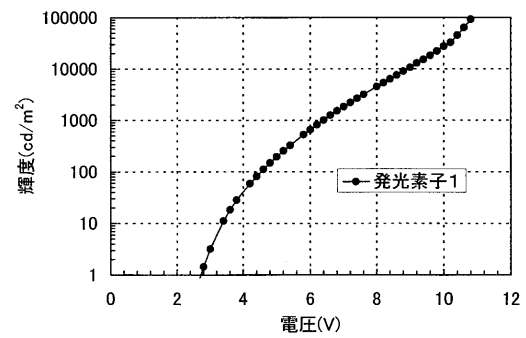
【図 1 7】



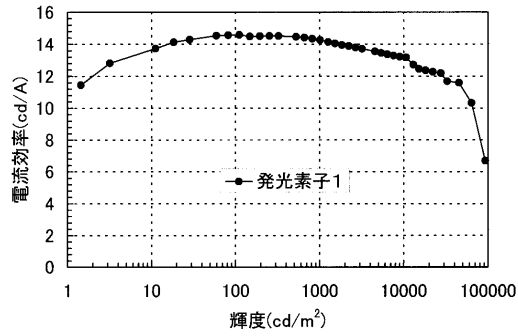
【図 1 6】



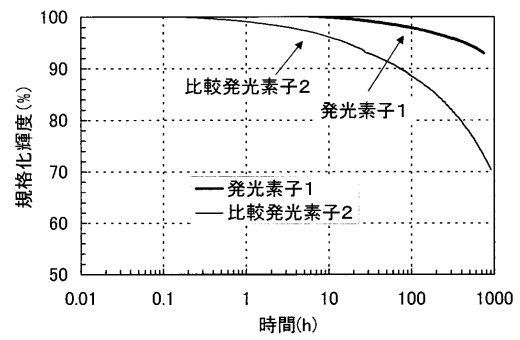
【図 1 8】



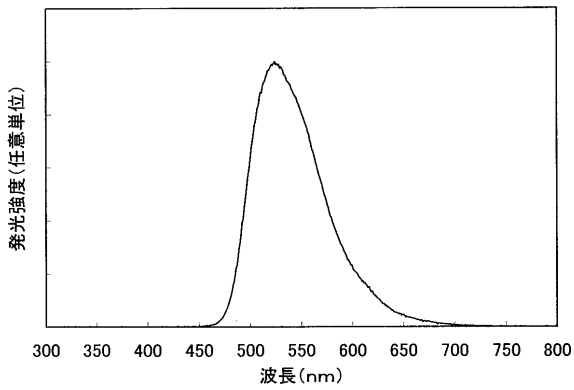
【図 19】



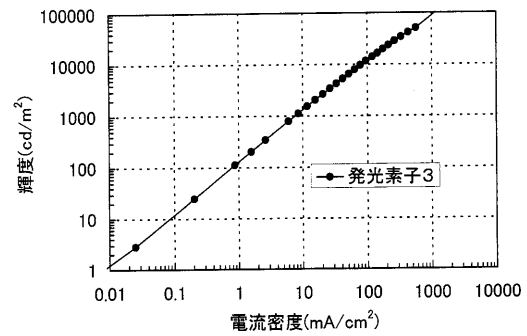
【図 21】



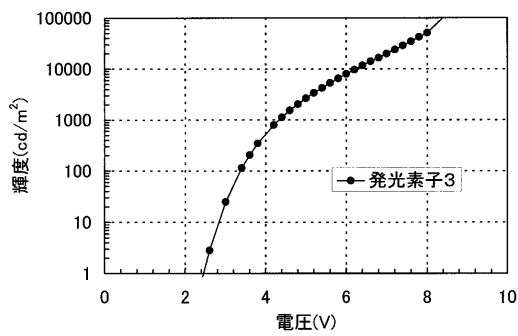
【図 20】



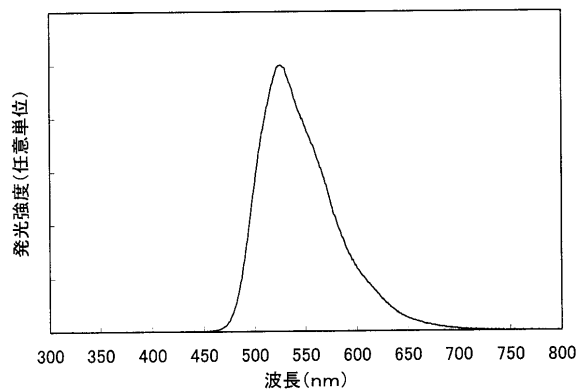
【図 22】



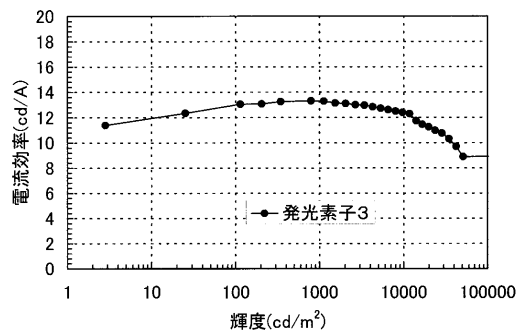
【図 23】



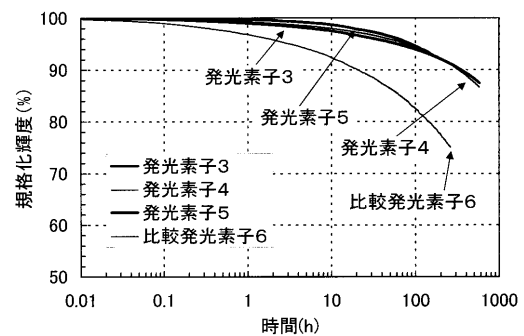
【図 25】



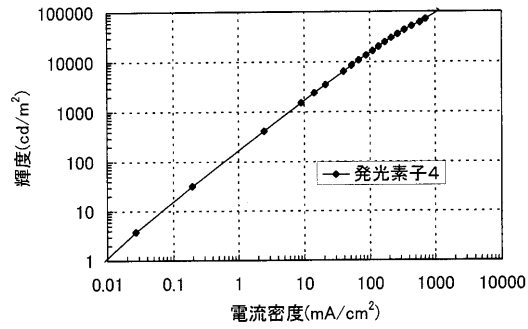
【図 24】



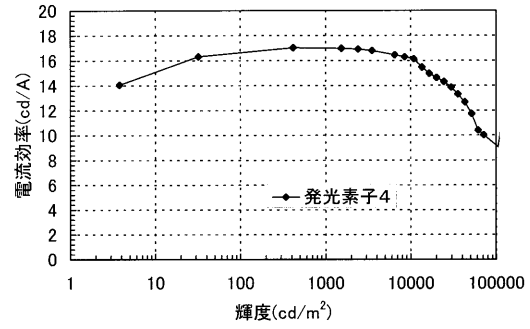
【図 26】



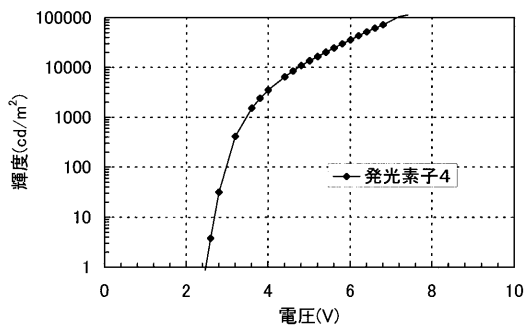
【図 2 7】



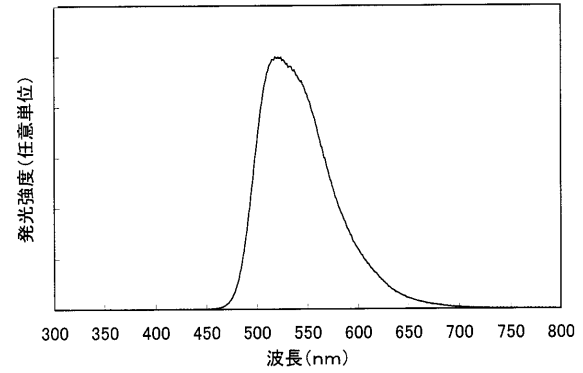
【図 2 9】



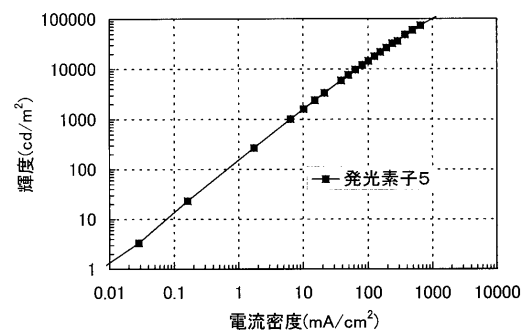
【図 2 8】



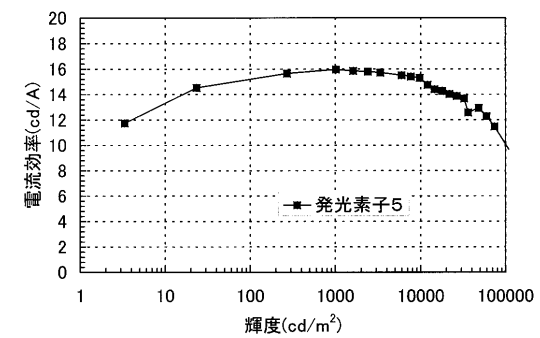
【図 3 0】



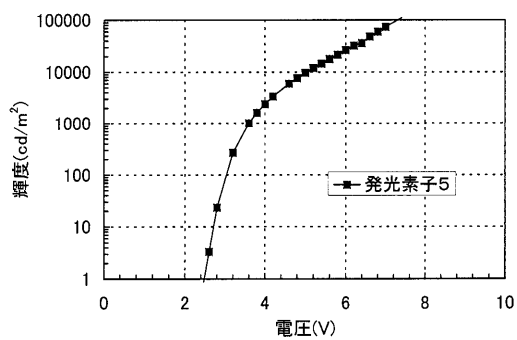
【図 3 1】



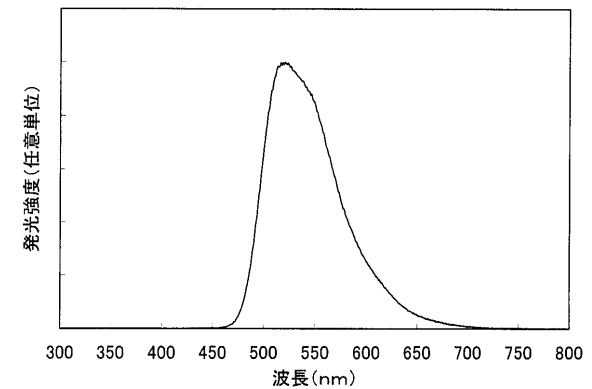
【図 3 3】



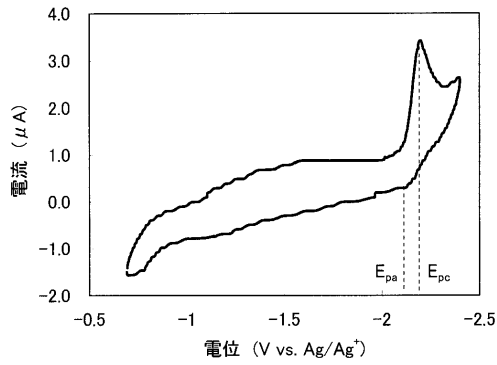
【図 3 2】



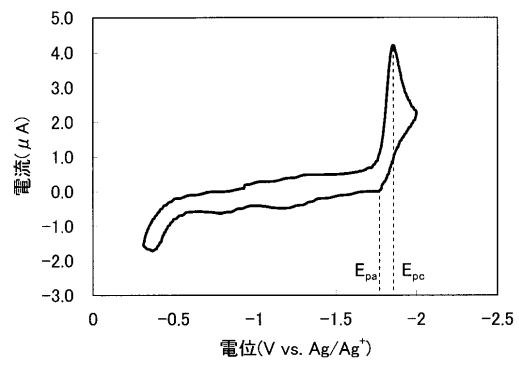
【図 3 4】



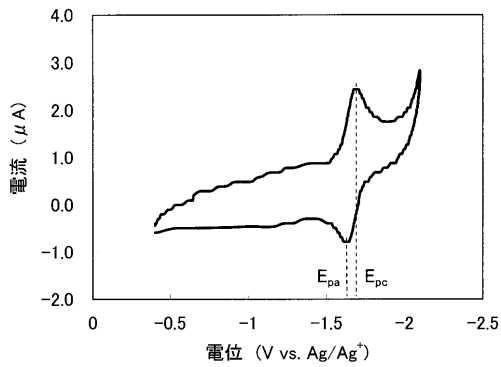
【図 3 5】



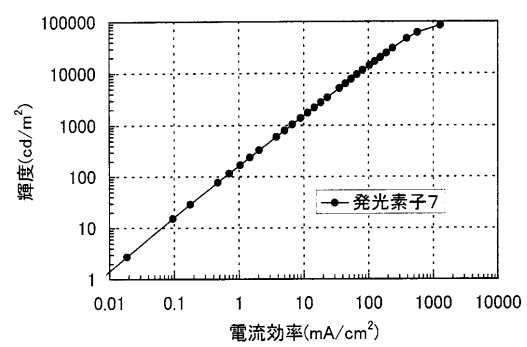
【図 3 7】



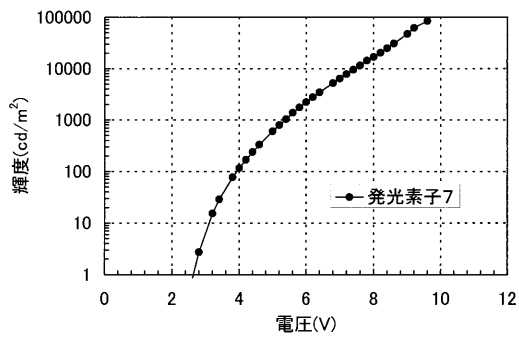
【図 3 6】



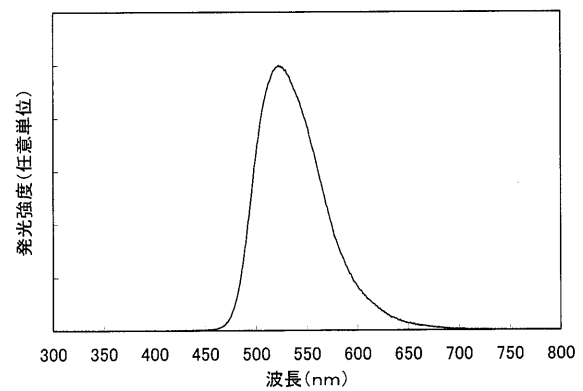
【図 3 8】



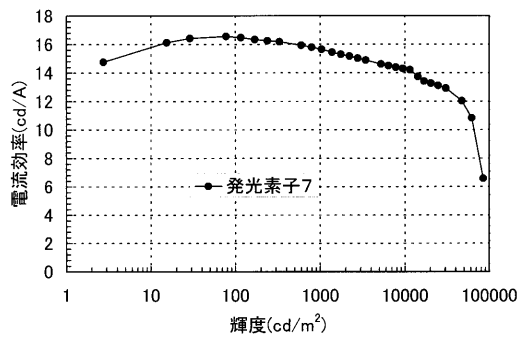
【図 3 9】



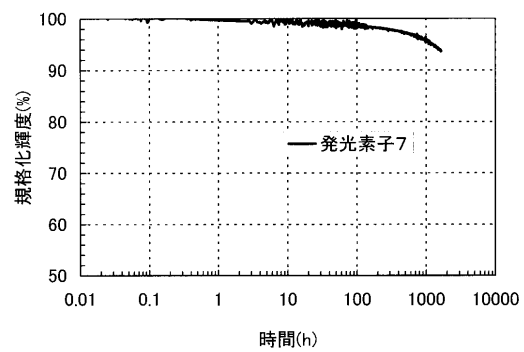
【図 4 1】



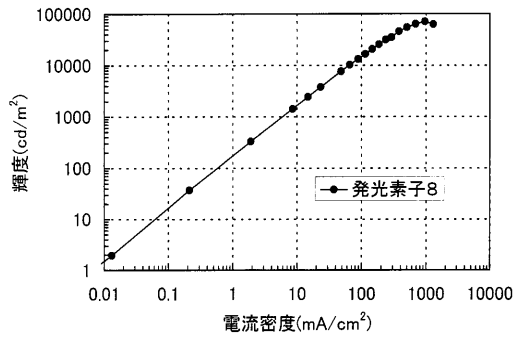
【図 4 0】



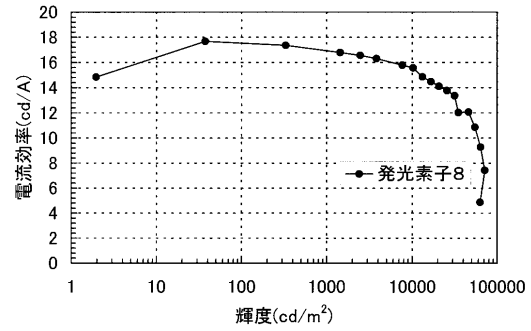
【図 4 2】



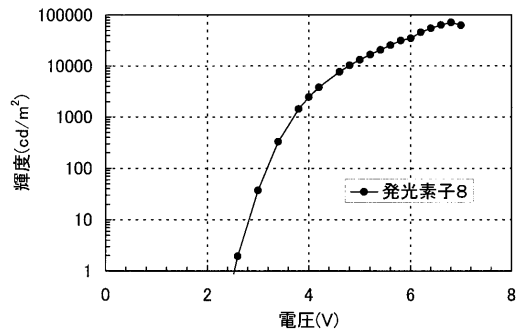
【図 4 3】



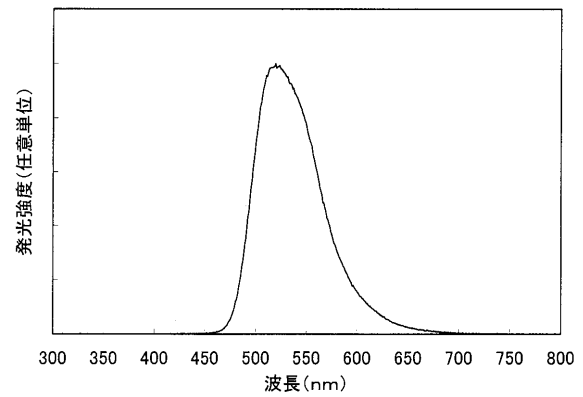
【図 4 5】



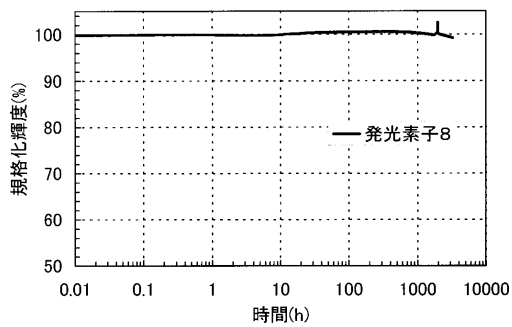
【図 4 4】



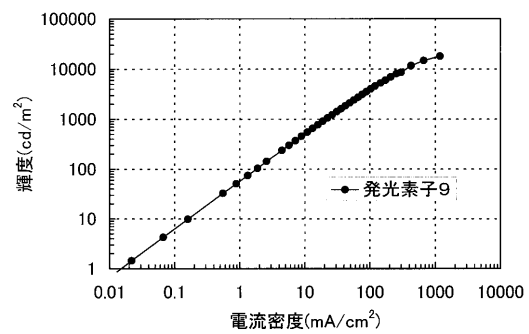
【図 4 6】



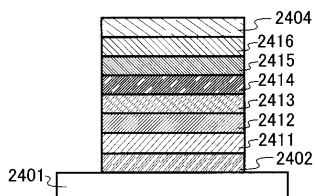
【図 4 7】



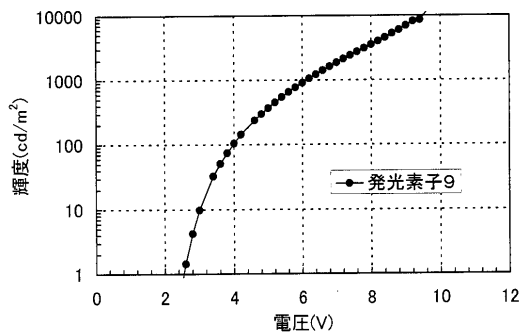
【図 4 9】



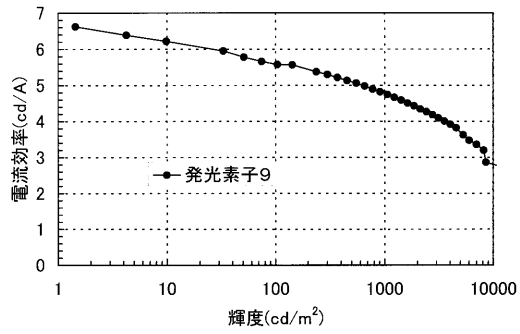
【図 4 8】



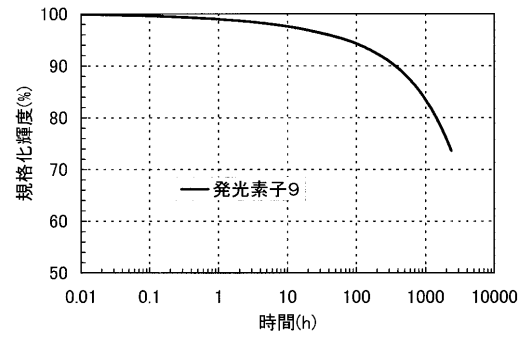
【図 5 0】



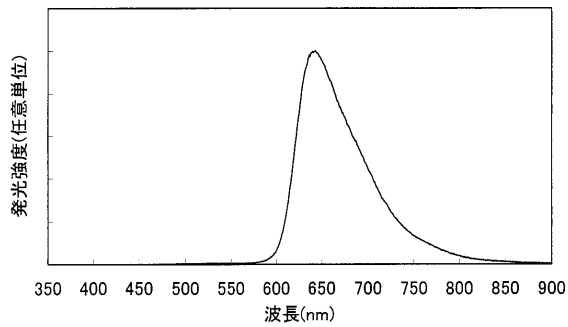
【図 5 1】



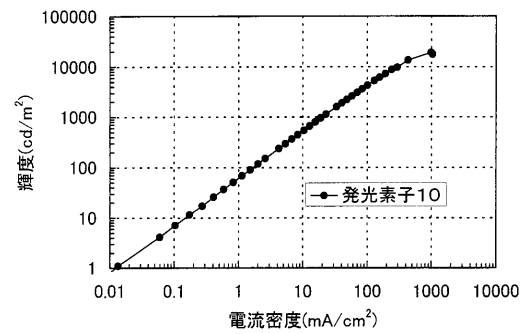
【図 5 3】



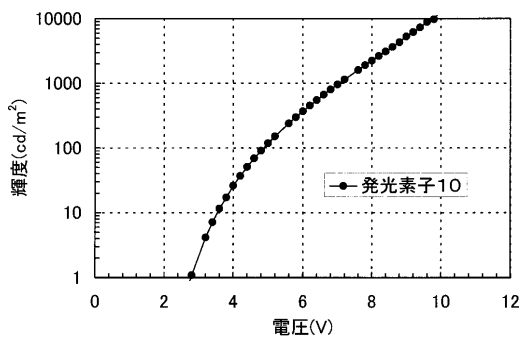
【図 5 2】



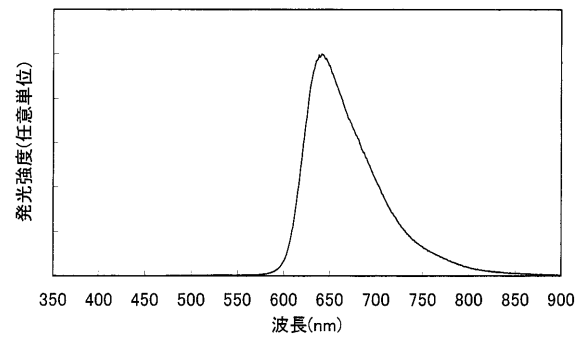
【図 5 4】



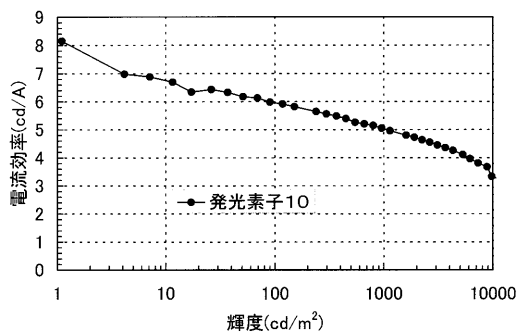
【図 5 5】



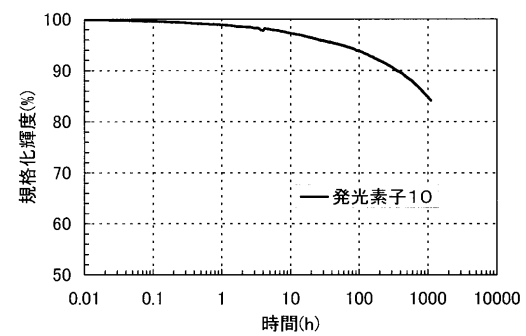
【図 5 7】



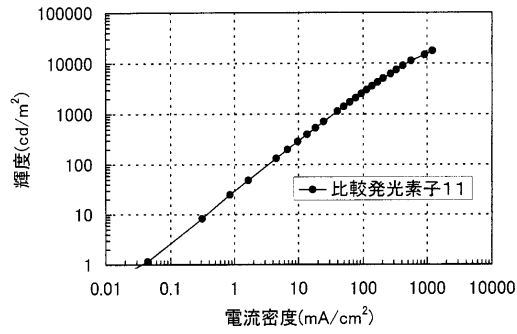
【図 5 6】



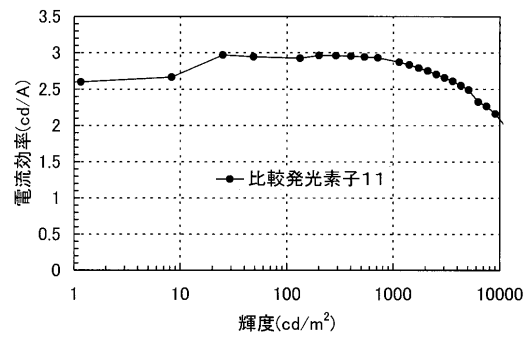
【図 5 8】



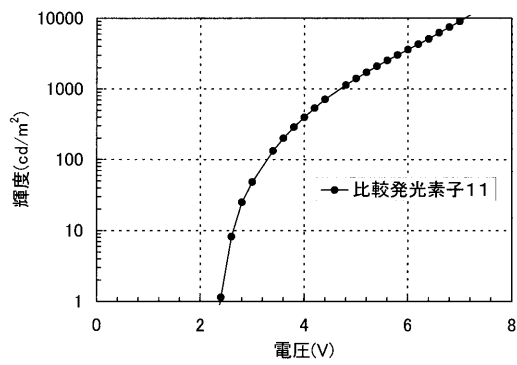
【図 5 9】



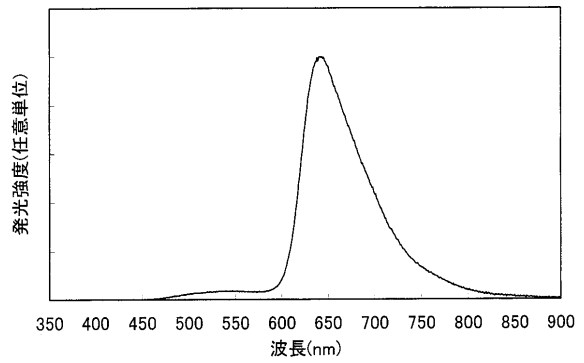
【図 6 1】



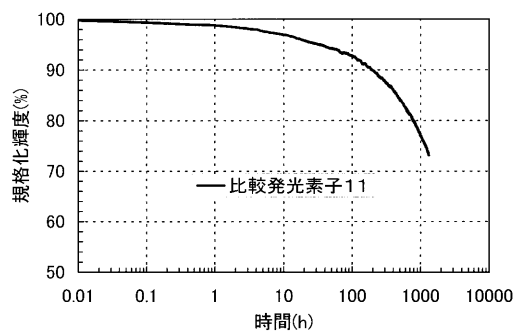
【図 6 0】



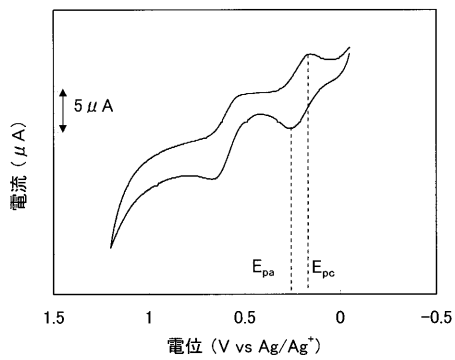
【図 6 2】



【図 6 3】



【図 6 5】



【図 6 4】

