

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6785811号
(P6785811)

(45) 発行日 令和2年11月18日(2020.11.18)

(24) 登録日 令和2年10月29日(2020.10.29)

(51) Int.Cl.	F I
HO5B 33/12 (2006.01)	HO5B 33/12 C
HO1L 51/50 (2006.01)	HO5B 33/14 B

請求項の数 6 (全 60 頁)

(21) 出願番号	特願2018-41809 (P2018-41809)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成30年3月8日(2018.3.8)		株式会社半導体エネルギー研究所
(62) 分割の表示	特願2013-44996 (P2013-44996) の分割		神奈川県厚木市長谷398番地
原出願日	平成25年3月7日(2013.3.7)	(72) 発明者	瀬尾 広美
(65) 公開番号	特開2018-101636 (P2018-101636A)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社 半導体エネルギー研究所内
(43) 公開日	平成30年6月28日(2018.6.28)	(72) 発明者	下垣 智子
審査請求日	平成30年4月4日(2018.4.4)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社 半導体エネルギー研究所内
(31) 優先権主張番号	特願2012-56990 (P2012-56990)	(72) 発明者	瀬尾 哲史
(32) 優先日	平成24年3月14日(2012.3.14)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社 半導体エネルギー研究所内
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72) 発明者	牛窪 孝洋
			神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社 半導体エネルギー研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子、発光装置、電子機器および照明装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

陽極と陰極との間に発光層を有し、
 前記発光層は、第1の発光層と、第2の発光層とを有し、
 前記第1の発光層は、前記陽極と、前記第2の発光層との間に位置し、
 前記第1の発光層は、第1の燐光性化合物と、電子輸送性を有する第1の有機化合物と、
 正孔輸送性を有する第2の有機化合物とを含み、
 前記第2の発光層は、第2の燐光性化合物と、前記第1の有機化合物と、前記第2の有機化合物とを含み、
 前記第1の発光層における前記第2の有機化合物の割合は、前記第2の発光層における
 前記第2の有機化合物の割合よりも大きく、
 前記第1の有機化合物と前記第2の有機化合物は励起錯体を形成し、
 前記励起錯体の発光スペクトルのピークのエネルギー値と、前記第1の燐光性化合物の
 吸収スペクトルの最も長波長側に位置する吸収帯のエネルギー値との差が、0.2 eV以
 内である、発光素子。

【請求項2】

請求項1において、
前記第1の有機化合物のT1準位は、前記第1の燐光性化合物のT1準位よりも高く、
前記第2の有機化合物のT1準位は、前記第1の燐光性化合物のT1準位よりも高い、
 発光素子。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 において、
前記第 1 の燐光性化合物は、前記第 2 の燐光性化合物よりも短波長の光を呈する、発光素子。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一に記載の発光素子を有する発光装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の発光装置を有する電子機器。

【請求項 6】

請求項 4 に記載の発光装置を有する照明装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

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

【背景技術】

【0002】

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

20

【0003】

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

【0004】

このような発光素子に関しては、その素子特性を向上させる為に、素子構造の改良や材料開発等が盛んに行われている（例えば、特許文献 1 参照。 ）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2010 - 182699 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、現状における発光素子の光取り出し効率は 20% ~ 30% 程度と言われており、反射電極や透明電極による光の吸収を考慮しても、燐光性化合物を用いた発光素子の外部量子効率の限界は、25% 程度と考えられている。

40

【0007】

そこで、本発明の一態様では、外部量子効率が高い発光素子を提供する。また、本発明の一態様は、寿命の長い発光素子を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様は、一对の電極間に発光層を有し、発光層は、燐光性化合物、電子輸送性を有する第 1 の有機化合物（ホスト材料）、および正孔輸送性を有する第 2 の有機化合物（アシスト材料）を少なくとも有し、また、発光層は、第 1 の発光層と第 2 の発光層の積層構造であり、第 1 の発光層には、第 2 の発光層よりも第 2 の有機化合物が多く含まれ

50

ることを特徴とする発光素子である。また、発光層（第1の発光層および第2の発光層）において、第1の有機化合物および第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであることを特徴とする。

【0009】

また、本発明の別の態様は、陽極と陰極との間に発光層を有し、陽極と発光層との間に正孔輸送層を有し、陰極と発光層との間に電子輸送層を有し、発光層は、燐光性化合物、電子輸送性を有する第1の有機化合物、および正孔輸送性を有する第2の有機化合物を少なくとも含み、かつ正孔輸送層と接して形成された第1の発光層と、燐光性化合物、電子輸送性を有する第1の有機化合物、および正孔輸送性を有する第2の有機化合物を少なくとも含み、かつ電子輸送層と接して形成された第2の発光層との積層であり、第1の有機化合物と第2の有機化合物は励起錯体を形成し、第1の発光層には、第2の発光層よりも第2の有機化合物が多く含まれることを特徴とする発光素子である。

10

【0010】

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

【0011】

従って、本発明の一態様である発光素子は、発光層において励起錯体を形成することにより、第1の有機化合物と第2の有機化合物それぞれの発光波長（蛍光波長）よりも長波長側に存在する励起錯体の発光スペクトルと、燐光性化合物（ゲスト材料）の吸収スペクトルとの重なりを利用したエネルギー移動を行うことができ、エネルギー移動効率が高く、外部量子効率の高い発光素子を実現することができる。

20

【0012】

なお、上記構成において、発光層に含まれる燐光性化合物は、第1の発光層に含まれる物質と第2の発光層に含まれる物質とで同じであっても、異なっても良い。但し、異なっている場合には、第1の発光層から得られる発光は、第2の発光層から得られる発光よりも短波長な光であることを特徴とする。

30

【0013】

なお、上記構成において、第1の有機化合物のアニオンおよび第2の有機化合物のカチオンから励起錯体が形成されることを特徴とする。

【0014】

また、上記構成において、燐光性化合物は、有機金属錯体であり、第1の有機化合物は、主として $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する電子輸送性材料、具体的には電子不足型複素芳香族化合物であり、第2の有機化合物は、主として $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する正孔輸送性材料、具体的には電子過剰型複素芳香族化合物または芳香族アミン化合物であることを特徴とする。

【0015】

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

40

【発明の効果】

【0016】

50

なお、本発明の一態様である発光素子は、発光層において励起錯体を形成することにより、第1の有機化合物と第2の有機化合物それぞれの発光波長（蛍光波長）よりも長波長側に存在する励起錯体の発光スペクトルと、燐光性化合物（ゲスト材料）の吸収スペクトルとの重なりを利用したエネルギー移動を行うことができるため、エネルギー移動効率が高く、外部量子効率の高い発光素子を実現することができる。

【0017】

さらに、本発明の一態様における発光層は、第1の発光層と第2の発光層との積層構造であり、第1の発光層と第2の発光層は、いずれも電子輸送性を有する第1の有機化合物（ホスト材料）と、正孔輸送性を有する第2の有機化合物（アシスト材料）とを含み、第1の発光層は、第2の発光層よりも第2の有機化合物（アシスト材料）が多く含まれる構成とすることにより、発光層内におけるキャリア（正孔、電子の双方）バランスを向上させ、発光層で形成される励起子を第1の発光層と第2の発光層の界面に分布させることができる。これにより、局所的に励起子の密度が高くなることによる発光層の劣化を防止することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の一態様の概念を説明する図。

【図2】本発明の一態様に係る計算結果を示す図。

【図3】本発明の一態様に係る計算結果を示す図。

【図4】本発明の一態様で適用する励起錯体のエネルギー準位を説明する図。

20

【図5】発光素子の構造について説明する図。

【図6】発光素子の構造について説明する図。

【図7】発光装置について説明する図。

【図8】発光装置について説明する図。

【図9】電子機器について説明する図。

【図10】電子機器について説明する図。

【図11】照明器具について説明する図。

【図12】発光素子1の構造について説明する図。

【図13】発光素子1の電流密度 - 輝度特性を示す図。

【図14】発光素子1の電圧 - 輝度特性を示す図。

30

【図15】発光素子1の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図16】発光素子1の電圧 - 電流特性を示す図。

【図17】発光素子1の発光スペクトルを示す図。

【図18】発光素子1の信頼性を示す図。

【図19】発光素子2の電流密度 - 輝度特性を示す図。

【図20】発光素子2の電圧 - 輝度特性を示す図。

【図21】発光素子2の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図22】発光素子2の電圧 - 電流特性を示す図。

【図23】発光素子2の発光スペクトルを示す図。

【図24】発光素子3の構造について説明する図。

40

【図25】発光素子3の電流密度 - 輝度特性を示す図。

【図26】発光素子3の電圧 - 輝度特性を示す図。

【図27】発光素子3の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図28】発光素子3の電圧 - 電流特性を示す図。

【図29】発光素子3の発光スペクトルを示す図。

【図30】発光素子4の電流密度 - 輝度特性を示す図。

【図31】発光素子4の電圧 - 輝度特性を示す図。

【図32】発光素子4の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図33】発光素子4の電圧 - 電流特性を示す図。

【図34】発光素子4の発光スペクトルを示す図。

50

- 【図35】発光素子4の信頼性を示す図。
- 【図36】発光素子5の電流密度 - 輝度特性を示す図。
- 【図37】発光素子5の電圧 - 輝度特性を示す図。
- 【図38】発光素子5の輝度 - 電流効率特性を示す図。
- 【図39】発光素子5の電圧 - 電流特性を示す図。
- 【図40】発光素子5の発光スペクトルを示す図。
- 【図41】発光素子5の信頼性を示す図。
- 【図42】発光素子6の電流密度 - 輝度特性を示す図。
- 【図43】発光素子6の電圧 - 輝度特性を示す図。
- 【図44】発光素子6の輝度 - 電流効率特性を示す図。
- 【図45】発光素子6の電圧 - 電流特性を示す図。
- 【図46】発光素子6の発光スペクトルを示す図。
- 【図47】発光素子6の信頼性を示す図。

10

【発明を実施するための形態】

【0019】

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

【0020】

20

(発光素子における発光の素過程について)

まず、燐光性化合物をゲスト材料として用いる発光素子における発光の一般的な素過程について説明する。なお、ここでは、励起エネルギーを与える側の分子をホスト分子、励起エネルギーを受け取る側の分子をゲスト分子と記す。

【0021】

(1) 電子及び正孔(ホール)がゲスト分子において再結合し、ゲスト分子が励起状態となる場合(直接再結合過程)。

【0022】

(1-1) ゲスト分子の励起状態が三重項励起状態のとき
ゲスト分子は燐光を発する。

30

【0023】

(1-2) ゲスト分子の励起状態が一重項励起状態のとき
一重項励起状態のゲスト分子は三重項励起状態に項間交差し、燐光を発する。

【0024】

つまり、上記(1)の直接再結合過程においては、ゲスト分子の項間交差効率、及び燐光量子収率さえ高ければ、高い発光効率を得られることになる。なお、ホスト分子のT1準位はゲスト分子のT1準位よりも高いことが好ましい。

【0025】

(2) 電子及び正孔(ホール)がホスト分子において再結合し、ホスト分子が励起状態となる場合(エネルギー移動過程)。

40

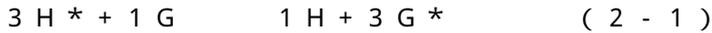
【0026】

(2-1) ホスト分子の励起状態が三重項励起状態のとき

ホスト分子のT1準位がゲスト分子のT1準位よりも高い場合、ホスト分子からゲスト分子に励起エネルギーが移動し、ゲスト分子が三重項励起状態となる。三重項励起状態となったゲスト分子は燐光を発する。なお、ホスト分子のT1準位からゲスト分子の一重項励起エネルギーの準位(S1準位)へのエネルギー移動は、ホスト分子が燐光発光しない限り禁制であり、主たるエネルギー移動過程になりにくいいため、ここでは省略する。つまり、下記式(2-1)の通り、ホスト分子の三重項励起状態(3H*)からゲスト分子の三重項励起状態(3G*)へのエネルギー移動が重要である(式中、1Gはゲスト分子の一重項基底状態、1Hはホスト分子の一重項基底状態を表す)。

50

【 0 0 2 7 】



【 0 0 2 8 】

(2 - 2) ホスト分子の励起状態が一重項励起状態のとき

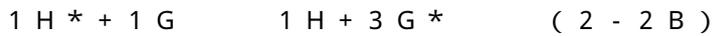
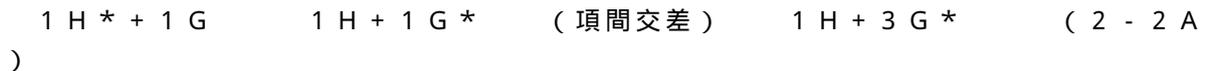
ホスト分子の S 1 準位がゲスト分子の S 1 準位および T 1 準位よりも高い場合、ホスト分子からゲスト分子に励起エネルギーが移動し、ゲスト分子が一重項励起状態又は三重項励起状態となる。三重項励起状態となったゲスト分子は燐光を発する。また、一重項励起状態となったゲスト分子は、三重項励起状態に項間交差し、燐光を発する。

【 0 0 2 9 】

つまり、下記式 (2 - 2 A) の通り、ホスト分子の一重項励起状態 (1 H *) からゲスト分子の一重項励起状態 (1 G *) へエネルギー移動し、その後項間交差によってゲスト分子の三重項励起状態 (3 G *) が生成する過程と、下記式 (2 - 2 B) の通り、ホスト分子の一重項励起状態 (1 H *) からゲスト分子の三重項励起状態 (3 G *) へ直接エネルギー移動する過程が考えられる。

10

【 0 0 3 0 】



【 0 0 3 1 】

上記 (2) で述べた全てのエネルギー移動過程が効率よく生じれば、ホスト分子の三重項励起エネルギー及び一重項励起エネルギーの双方が効率よくゲスト分子の三重項励起状態 (3 G *) に変換されるため、高効率な発光が可能となる。逆に、ホスト分子からゲスト分子に励起エネルギーが移動する前に、ホスト分子自体がその励起エネルギーを光又は熱として放出して失活してしまうと、発光効率が低下することになる。

20

【 0 0 3 2 】

次に、上述したホスト分子とゲスト分子との分子間のエネルギー移動過程の支配因子について説明する。分子間のエネルギー移動の機構としては、以下の 2 つの機構が提唱されている。

【 0 0 3 3 】

まず、1 つ目の機構であるフェルスター機構 (双極子 - 双極子相互作用) は、エネルギー移動に、分子間の直接的接触を必要とせず、ホスト分子及びゲスト分子間の双極子振動の共鳴現象を通じてエネルギー移動が起こる機構である。双極子振動の共鳴現象によってホスト分子がゲスト分子にエネルギーを受け渡し、ホスト分子が基底状態になり、ゲスト分子が励起状態になる。なお、フェルスター機構の速度定数 $k_{h^* \rightarrow g}$ を数式 (1) に示す。

30

【 0 0 3 4 】

【 数 1 】

$$k_{h^* \rightarrow g} = \frac{9000c^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(\nu) \epsilon_g(\nu)}{\nu^4} d\nu \quad (1)$$

40

【 0 0 3 5 】

数式 (1) において、 ϕ は、振動数を表し、 $f'_h(\nu)$ は、ホスト分子の規格化された発光スペクトル (一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光スペクトル) を表し、 $\epsilon_g(\nu)$ は、ゲスト分子のモル吸光係数を表し、 N は、アボガドロ数を表し、 n は、媒体の屈折率を表し、 R は、ホスト分子とゲスト分子の分子間距離を表し、 τ は、実測される励起状態の寿命 (蛍光寿命や燐光寿命) を表し、 c は、光速を表し、 K は、発光量子収率 (一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光量子収率、三重項励起状態からの

50

エネルギー移動を論じる場合は燐光量子収率)を表し、 K^2 は、ホスト分子とゲスト分子の遷移双極子モーメントの配向を表す係数(0~4)である。なお、ランダム配向の場合は $K^2 = 2/3$ である。

【0036】

次に、2つ目の機構であるデクスター機構(電子交換相互作用)では、ホスト分子とゲスト分子が軌道の重なりを生じる接触有効距離に近づき、励起状態のホスト分子の電子と基底状態のゲスト分子の電子の交換を通じてエネルギー移動が起こる。なお、デクスター機構の速度定数 $k_{h^* \rightarrow g}$ を数式(2)に示す。

【0037】

【数2】

$$k_{h^* \rightarrow g} = \left(\frac{2\pi}{h} \right) K^2 \exp\left(-\frac{2R}{L} \right) \int f'_h(\nu) \epsilon'_g(\nu) d\nu \quad (2)$$

10

【0038】

数式(2)において、 h は、プランク定数であり、 K' は、エネルギーの次元を持つ定数であり、 ν は、振動数を表し、 $f'_h(\nu)$ は、ホスト分子の規格化された発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光スペクトル)を表し、 $\epsilon'_g(\nu)$ は、ゲスト分子の規格化された吸収スペクトルを表し、 L は、実効分子半径を表し、 R は、ホスト分子とゲスト分子の分子間距離を表す。

20

【0039】

ここで、ホスト分子からゲスト分子へのエネルギー移動効率 Φ_{ET} は、数式(3)で表されると考えられる。 k_r は、ホスト分子の発光過程(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光)の速度定数を表し、 k_n は、ホスト分子の非発光過程(熱失活や項間交差)の速度定数を表し、 τ は、実測されるホスト分子の励起状態の寿命を表す。

【0040】

【数3】

$$\Phi_{ET} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{k_r + k_n + k_{h^* \rightarrow g}} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{\left(\frac{1}{\tau} \right) + k_{h^* \rightarrow g}} \quad (3)$$

30

【0041】

数式(3)より、エネルギー移動効率 Φ_{ET} を高くするためには、エネルギー移動の速度定数 $k_{h^* \rightarrow g}$ を大きくし、他の競合する速度定数 $k_r + k_n (= 1/\tau)$ が相対的に小さくなれば良いことがわかる。

40

【0042】

((2-1) のエネルギー移動効率について)

ここでまず、(2-1)のエネルギー移動過程を考えてみる。この場合、フェルスター型(式(1))は禁制となるため、デクスター型(式(2))のみを考えれば良い。式(2)によれば、速度定数 $k_{h^* \rightarrow g}$ を大きくするにはホスト分子の発光スペクトル(三重項励起状態からのエネルギー移動を論じているので燐光スペクトル)とゲスト分子の吸収スペクトル(一重項基底状態から三重項励起状態への直接遷移に相当する吸収)との重なりが大きい方が良いことがわかる。

【0043】

本発明の一態様では、燐光性化合物をゲスト材料として用いるが、燐光性化合物の吸収

50

スペクトルにおいては、一重項基底状態から三重項励起状態への直接遷移に相当する吸収が観測される場合があり、それは最も長波長側に現れる吸収帯である。特に発光性のイリジウム錯体では、最も長波長側の吸収帯は、500~600nm付近にブロードな吸収帯として現れる場合が多い(無論、発光波長によっては、より短波長側やより長波長側に現れる場合もある)。この吸収帯は、主として、三重項MLCT(Metal to Ligand Charge Transfer)遷移に由来する。ただし、該吸収帯には三重項 - * 遷移や一重項MLCT遷移に由来する吸収も一部含まれ、これらが重なって、吸収スペクトルの最も長波長側にブロードな吸収帯を形成していると考えられる。換言すれば、最低一重項励起状態と最低三重項励起状態の差は小さく、これらに由来する吸収が重なって、吸収スペクトルの最も長波長側にブロードな吸収帯を形成していると考えられる。したがって、ゲスト材料に、有機金属錯体(特にイリジウム錯体)を用いるときは、このように最も長波長側に存在するブロードな吸収帯と、ホスト材料の燐光スペクトルが大きく重なることによって、速度定数 k_{h*g} を大きくし、エネルギー移動効率を高めることができる。

【0044】

さらに、通常、ホスト材料には蛍光性化合物を用いるため、燐光寿命()はミリ秒以上と非常に長い($k_r + k_n$ が小さい)。これは、三重項励起状態から基底状態(一重項)への遷移が禁制遷移のためである。数式(3)から、このことはエネルギー移動効率 E_T に対して有利に働く。

【0045】

以上のことを考慮すると、ホスト材料の三重項励起状態からゲスト材料の三重項励起状態へのエネルギー移動、すなわち式(2-1)の過程は、ホスト材料の燐光スペクトルと、ゲスト材料の一重項基底状態から三重項励起状態への直接遷移に相当する吸収スペクトルとを重ねさえすれば、総じて起こりやすい傾向にある。

【0046】

((2-2) のエネルギー移動効率について)

次に、(2-2)のエネルギー移動過程を考えてみる。式(2-2A)の過程は、ゲスト材料の項間交差効率が影響してしまう。したがって、極限まで発光効率を高めるためには、式(2-2B)の過程が重要であると考えられる。この場合、デクスター型(式(2))は禁制となるため、フェルスター型(式(1))のみを考えれば良い。

【0047】

式(1)と式(3)から を消去すると、エネルギー移動効率 E_T は、量子収率(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じているので、蛍光量子収率)が高い方が良いと言える。しかし実際は、さらに重要なファクターとして、ホスト分子の発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じているので蛍光スペクトル)とゲスト分子の吸収スペクトル(一重項基底状態から三重項励起状態への直接遷移に相当する吸収)との重なりが大きいことも必要である(なお、ゲスト分子のモル吸光係数も高い方が好ましい)。このことは、ホスト材料の蛍光スペクトルと、ゲスト材料である燐光性化合物の最も長波長側に現れる吸収帯とが重なることを意味する。

【0048】

しかしながら、このことを実現することは、従来は非常に困難であった。なぜならば、上述した(2-1)の過程と(2-2)の過程の双方を効率よく行おうとすると、上述の議論から、ホスト材料の燐光スペクトルだけでなく、蛍光スペクトルをもゲスト材料の最も長波長側の吸収帯と重ねるように設計しなければならないためである。換言すれば、ホスト材料の蛍光スペクトルが、燐光スペクトルと同じような位置に来るようにホスト材料を設計しなければならないということになる。

【0049】

ところが、一般に、S1準位とT1準位は大きく異なる(S1準位 > T1準位)ため、蛍光の発光波長と燐光の発光波長も大きく異なる(蛍光の発光波長 < 燐光の発光波長)。例えば、燐光性化合物を用いた発光素子において、ホスト材料として良く用いられる4,

10

20

30

40

50

4'-ジ(N-カルbazolリル)ピフェニル(略称:CBP)は、500nm付近に燐光スペクトルを有するが、一方で蛍光スペクトルは400nm付近であり、100nmもの隔りがある。この例から考えてみても、ホスト材料の蛍光スペクトルが燐光スペクトルと同じような位置に来るようにホスト材料を設計することは、極めて困難である。したがって、ホスト材料の一重項励起状態からのゲスト材料へのエネルギー移動効率の向上は、とても重要である。

【0050】

従って、本発明の一態様は、このようなホスト材料の一重項励起状態からのゲスト材料へのエネルギー移動効率に関する問題点を克服できる、有用な手法を提供するものである。以下に、その具体的な態様を説明する。

10

【0051】

(実施の形態1)

本実施の形態では、本発明の一態様である発光素子を構成する上での概念および具体的な発光素子の構成について説明する。なお、本発明の一態様である発光素子は、一对の電極間に発光層を含むEL層を挟んで形成されており、発光層は、燐光性化合物であるゲスト材料と、第1の有機化合物と、第2の有機化合物とを含んで形成される。

【0052】

まず、本発明の一例である発光素子の素子構造について、図1(A)により説明する。

【0053】

図1(A)に示す素子構造は、一对の電極(陽極101、陰極102)間に発光層106を含むEL層103が挟まれており、EL層103は、陽極101側から正孔(ホール)注入層104、正孔(ホール)輸送層105、発光層106(106a、106b)、電子輸送層107、電子注入層108等が順次積層された構造を有する。

20

【0054】

また、本発明の一態様における発光層106は、図1(A)に示すようにゲスト材料である燐光性化合物109と、第1の有機化合物110と、第2の有機化合物111とを含む層であり、第1の有機化合物110としては、主として $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する電子輸送性材料を用い、第2の有機化合物111としては、主として $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する正孔(ホール)輸送性材料を用いることとする。また、本明細書中では、第1の有機化合物110をホスト材料と呼び、第2の有機化合物111をアシスト材料と呼ぶこととする。

30

【0055】

なお、上記構成において、第1の有機化合物(ホスト材料)110及び第2の有機化合物(アシスト材料)111のそれぞれの三重項励起エネルギーの準位(T1準位)は、燐光性化合物(ゲスト材料)109のT1準位よりも高いことが好ましい。第1の有機化合物110(又は第2の有機化合物111)のT1準位が燐光性化合物109のT1準位よりも低いと、発光に寄与する燐光性化合物109の三重項励起エネルギーを第1の有機化合物110(又は第2の有機化合物111)が消光(クエンチ)してしまい、発光効率の低下を招くためである。

【0056】

また、本発明の一態様における発光層106は、発光層106中に含まれる第2の有機化合物(アシスト材料)111の割合が異なる発光層が積層された構造であることを特徴とする。具体的には、図1(A)に示すように、発光層106が第1の発光層106aと第2の発光層106bとの積層構造であり、第1の発光層106aにおいて第2の有機化合物(アシスト材料)111が含まれる割合は、第2の発光層106bにおいて第2の有機化合物(アシスト材料)111が含まれる割合よりも多いことを特徴とする。

40

【0057】

さらに、発光層106を構成する第1の発光層106aおよび第2の発光層106bのそれぞれについて、第1の有機化合物(ホスト材料)110および第2の有機化合物(アシスト材料)111が含まれる割合については、どちらが多くても良く、本発明では、ど

50

ちらの場合も含めることとする。

【0058】

なお、上記構造の第1の発光層106aにおいて、正孔（ホール）輸送性材料である第2の有機化合物（アシスト材料）111の比率が少ないと、発光領域が第1の発光層106aの陽極側（正孔輸送層105側）に偏ることになる。一方、第1の発光層106a、第2の発光層106b双方における第2の有機化合物（アシスト材料）111が多くなりすぎると、キャリア（正孔、電子の双方）が発光層106を突き抜けやすくなってしまい、再結合効率が低下してしまう。しかし、図1（A）にて述べた本発明の一態様の構成とすることにより、第1の発光層106aの正孔輸送性は第2の発光層106bの正孔輸送性に比べて相対的に高まり、電子輸送性はその逆になるため、励起子は第1の発光層106aと第2の発光層106bの界面を中心に、偏ることなく、かつ発光層106内から逸脱することなく分布させることができる。その結果、発光層106内部での励起子の偏りを防ぐことができ、励起子の密度が高くなることによる発光層106の劣化を防止することができる。また、発光層106からキャリアが突き抜けることを防げるため、発光効率を高く保つことができる。

10

【0059】

ここで、上記第1の発光層106aおよび第2の発光層106bのいずれにおいても第1の有機化合物（ホスト材料）110と第2の有機化合物（アシスト材料）111とは、励起錯体（exciplex：エキサイプレックスとも言う）を形成する組み合わせであることを特徴とする。また、形成された励起錯体の発光波長は、第1の有機化合物（ホスト材料）110と第2の有機化合物（アシスト材料）111のそれぞれの発光波長（蛍光波長）に比べて、長波長側に存在することから、第1の有機化合物（ホスト材料）110の蛍光スペクトルや第2の有機化合物（アシスト材料）111の蛍光スペクトルを、より長波長側に位置する発光スペクトルに変換することができる。

20

【0060】

このことは、図1（B）に示すように第1の有機化合物110（又は第2の有機化合物111）の蛍光スペクトルが、たとえ燐光性化合物（ゲスト材料）109の最も長波長側に位置する吸収帯に比べて短波長側に位置し、燐光性化合物（ゲスト材料）109の最も長波長側に位置する吸収帯との重なりがなかったとしても、励起錯体を形成することで、その重なりを大きくできることを意味する。このことにより、上述した式（2-2B）のエネルギー移動効率を高めることができる。

30

【0061】

さらに、励起錯体は一重項励起エネルギーと三重項励起エネルギーの差が極めて小さいと考えられる。換言すれば、励起錯体の一重項状態からの発光スペクトルと三重項状態からの発光スペクトルは、極めて近接することになる。したがって、上述したように励起錯体の発光スペクトル（一般には、励起錯体の一重項状態からの発光スペクトル）を燐光性化合物の最も長波長側に位置する吸収帯に重ねよう設計した場合、励起錯体の三重項状態からの発光スペクトル（常温では観測されず、低温でも観測されない場合が多い）も、燐光性化合物の最も長波長側に位置する吸収帯に重なることになる。つまり、一重項励起状態からのエネルギー移動（（2-2））だけでなく、三重項励起状態からのエネルギー移動（（2-1））の効率も高まり、結果的に、一重項・三重項の双方を効率よく発光に変換することができる。

40

【0062】

そこで、実際に励起錯体がこのような特性を有しているかどうかに関し、以下では、分子軌道計算を用いて検証した。一般に、複素芳香族化合物と芳香族アミンとの組み合わせは、芳香族アミンの最低空分子軌道（LUMO：Lowest Unoccupied Molecular Orbital）準位に比べて深い複素芳香族化合物のLUMO準位（電子が入りやすい性質）と複素芳香族化合物の最高被占有軌道（HOMO：Highest Occupied Molecular Orbital）準位に比べて浅い芳香族アミンのHOMO準位（ホールが入りやすい性質）の影響で、励起錯体を形成するこ

50

とが多い。そこで、本発明の一態様における第1の有機化合物110のモデルとして複素芳香族化合物のLUMOを構成する代表的な骨格のジベンゾ[f, h]キノキサリン(略称: DBq)を用い、本発明の一態様における第2の有機化合物111のモデルとして芳香族アミンのHOMOを構成する代表的な骨格のトリフェニルアミン(略称: TPA)を用い、これらを組み合わせて計算を行った。

【0063】

まず、DBq(略称)一分子とTPA(略称)一分子の最低励起一重項状態(S1)と最低励起三重項状態(T1)における最適分子構造及び励起エネルギーを、時間依存密度汎関数法(TD-DFT)を用いて計算した。さらに、DBq(略称)とTPA(略称)の二量体についても励起エネルギーを計算した。

10

【0064】

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

【0065】

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

20

【0066】

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

【0067】

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

30

【0068】

まず、DBq(略称)一分子、TPA(略称)一分子、及びDBq(略称)とTPA(略称)の二量体に関し、HOMO準位及びLUMO準位を算出した。HOMO準位及びLUMO準位を図2に、HOMO及びLUMOの分布を図3に、それぞれ示す。

【0069】

図3(A1)に、DBq(略称)一分子のLUMOの分布を示し、図3(A2)に、DBq(略称)一分子のHOMOの分布を示し、図3(B1)に、TPA(略称)一分子のLUMOの分布を示し、図3(B2)に、TPA(略称)一分子のHOMOの分布を示し、図3(C1)に、DBq(略称)とTPA(略称)の二量体のLUMOの分布を示し、図3(C2)に、DBq(略称)とTPA(略称)の二量体のHOMOの分布を示す。

40

【0070】

図2に示すように、DBq(略称)とTPA(略称)の二量体は、TPA(略称)のLUMO準位に比べて深い(低い)DBq(略称)のLUMO準位(-1.99 eV)と、DBqのHOMO準位に比べて浅い(高い)TPA(略称)のHOMO準位(-5.21 eV)との影響で、DBq(略称)とTPA(略称)の励起錯体を形成することが示唆される。実際に図3からわかるように、DBq(略称)とTPA(略称)の二量体のLUMOはDBq(略称)側に、HOMOはTPA(略称)側に分布している。

【0071】

次に、DBq(略称)一分子のS1準位とT1準位における最適分子構造から得られた励起エネルギーを示す。ここで、S1準位とT1準位の励起エネルギーは、DBq(略称)

50

) 一分子が発する蛍光と燐光の波長にそれぞれ相当する。DBq (略称) 一分子のS1準位の励起エネルギーは、3.294 eVであり、蛍光波長は、376.4 nmであった。また、DBq (略称) 一分子のT1準位の励起エネルギーは、2.460 eVであり、燐光波長は、504.1 nmであった。

【0072】

また、TPA (略称) 一分子のS1準位とT1準位における最適分子構造から得られた励起エネルギーを示す。ここで、S1準位とT1準位の励起エネルギーは、TPA (略称) 一分子が発する蛍光と燐光の波長にそれぞれ相当する。TPA (略称) 一分子のS1準位の励起エネルギーは、3.508 eVであり、蛍光波長は、353.4 nmであった。また、TPA (略称) 一分子のT1準位の励起エネルギーは、2.610 eVであり、燐光波長は、474.7 nmであった。

10

【0073】

さらに、DBq (略称) とTPA (略称) の二量体のS1準位とT1準位における最適分子構造から得られた励起エネルギーを示す。S1準位とT1準位の励起エネルギーは、DBq (略称) とTPA (略称) の二量体が発する蛍光と燐光の波長にそれぞれ相当する。DBq (略称) とTPA (略称) の二量体のS1準位の励起エネルギーは、2.036 eVであり、蛍光波長は、609.1 nmであった。また、DBq (略称) とTPA (略称) の二量体のT1準位の励起エネルギーは、2.030 eVであり、燐光波長は、610.0 nmであった。

【0074】

20

以上のことから、DBq (略称) 一分子、TPA (略称) 一分子のいずれにおいても、燐光波長が100 nm近く長波長シフトしていることがわかる。これは、上述したCBP (略称) (実測値) と同様の傾向であり、計算の妥当性を支持する結果である。

【0075】

一方、DBq (略称) とTPA (略称) の二量体の蛍光波長は、DBq (略称) 一分子やTPA (略称) 一分子の蛍光波長に比べ、より長波長側に存在することがわかる。DBq (略称) とTPA (略称) の二量体の蛍光波長と燐光波長の差はわずか0.9 nmであり、ほぼ同じ波長であることがわかる。

【0076】

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

30

【0077】

このように、本発明の一態様である発光素子は、発光層において形成された励起錯体の発光スペクトルと燐光性化合物 (ゲスト材料) の吸収スペクトルとの重なりを利用して、エネルギー移動をするため、エネルギー移動効率が高い。したがって、外部量子効率の高い発光素子を実現することができる。

【0078】

また、励起錯体は励起状態でのみ存在するため、エネルギーを吸収できる基底状態が存在しない。したがって、燐光性化合物 (ゲスト材料) の一重項励起状態及び三重項励起状態から励起錯体へのエネルギー移動により燐光性化合物 (ゲスト材料) 109が発光する前に失活する (すなわち発光効率を損なう) という現象は、原理的に生じないと考えられる。このことも、外部量子効率を高くできる一因である。

40

【0079】

なお、上述した励起錯体は、励起状態における異種分子間の相互作用によって形成される。また、励起錯体は、比較的深いLUMO準位をもつ材料と、浅いHOMO準位をもつ材料との間で形成しやすいことが一般に知られている。

【0080】

励起錯体の発光波長は、HOMO準位とLUMO準位間のエネルギー差に依存する。大

50

まかな傾向として、エネルギー差が大きいと発光波長は短くなり、エネルギー差が小さいと発光波長は長くなる。

【0081】

従って、本実施の形態における第1の有機化合物（ホスト材料）110と第2の有機化合物（アシスト材料）111のHOMO準位及びLUMO準位は、それぞれ異なる。具体的には、第1の有機化合物110のHOMO準位<第2の有機化合物111のHOMO準位<第1の有機化合物110のLUMO準位<第2の有機化合物111のLUMO準位という順でエネルギー準位が異なる（図4参照）。

【0082】

そして、この2つの有機化合物により励起錯体が形成された場合、励起錯体のLUMO準位は、第1の有機化合物（ホスト材料）110に由来し、HOMO準位は、第2の有機化合物（アシスト材料）111に由来する（図4参照）。したがって、励起錯体のエネルギー差は、第1の有機化合物（ホスト材料）110のエネルギー差、及び第2の有機化合物（アシスト材料）111のエネルギー差よりも小さくなる。つまり、第1の有機化合物（ホスト材料）110と第2の有機化合物（アシスト材料）111のそれぞれの発光波長に比べて、励起錯体の発光波長は長波長となる。

10

【0083】

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

【0084】

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

20

【0085】

一般には、電子及び正孔（ホール）がホスト材料中で再結合した場合、励起状態のホスト材料からゲスト材料に励起エネルギーが移動し、ゲスト材料が励起状態に至り、発光するが、ホスト材料からゲスト材料に励起エネルギーが移動する前に、ホスト材料自体が発光する、又は励起エネルギーが熱エネルギーとなることで、励起エネルギーの一部を失活してしまう。特に、ホスト材料が一重項励起状態である場合は、（2-2）で述べたようにエネルギー移動が生じにくい。このような励起エネルギーの失活は、発光素子の寿命の低下につながる要因の一つである。

30

【0086】

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

【0087】

例えば、第1の有機化合物110が、電子輸送性材料の中でも電子（キャリア）を捕獲しやすい性質を有する（LUMO準位の深い）電子トラップ性の化合物であり、第2の有機化合物111が、正孔輸送性の材料の中でもホール（キャリア）を捕獲しやすい性質を有する（HOMO準位の浅い）ホールトラップ性の化合物である場合には、第1の有機化合物のアニオンと第2の有機化合物のカチオンから、直接励起錯体が形成されることになる。このような過程で形成される励起錯体のことを特にエレクトロプレックス（electroplex）と呼ぶこととする。このようにして第1の有機化合物（ホスト材料）の一重項励起状態の発生を抑制し、エレクトロプレックスから燐光性化合物（ゲスト材料）にエネルギー移動を行うことにより、発光効率が高い発光素子が得られる。なお、この場合、第1の有機化合物（ホスト材料）の三重項励起状態の発生も同様に抑制され、直接励起錯体が形成されるため、励起錯体から燐光性化合物（ゲスト材料）にエネルギー移動す

40

50

ると考えられる。

【0088】

2つ目の形成過程は、第1の有機化合物（ホスト材料）及び第2の有機化合物（アシスト材料）の一方が一重項励起子を形成した後、基底状態の他方と相互作用して励起錯体を形成する素過程である。エレクトロプレックスとは異なり、この場合は一旦、第1の有機化合物（ホスト材料）又は第2の有機化合物（アシスト材料）の一重項励起状態が生成してしまうが、これは速やかに励起錯体に変換されるため、やはり一重項励起エネルギーの失活を抑制することができる。したがって、第1の有機化合物（ホスト材料）又は第2の有機化合物（アシスト材料）が励起エネルギーを失活することを抑制することができる。なお、この場合、ホスト材料の三重項励起状態も同様に、速やかに励起錯体に変換され、励起錯体から燐光性化合物（ゲスト材料）にエネルギー移動すると考えられる。

10

【0089】

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

【0090】

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

20

【0091】

また、本発明の一態様である発光素子において、励起錯体の励起エネルギーは燐光性化合物（ゲスト材料）に十分にエネルギー移動し、励起錯体からの発光は実質的に観察されないことが好ましい。したがって、励起錯体を介して燐光性化合物（ゲスト材料）にエネルギーを移動して、燐光性化合物（ゲスト材料）が、燐光を発することが好ましい。なお、燐光性化合物（ゲスト材料）としては、有機金属錯体であることが好ましい。

30

【0092】

また、本発明の一態様である発光素子において、第1の有機化合物（ホスト材料）に燐光性化合物を用いると、第1の有機化合物（ホスト材料）自体が発光しやすくなり、燐光性化合物（ゲスト材料）にエネルギー移動されにくくなる。この場合、該第1の有機化合物が効率よく発光すればよいが、ホスト材料は濃度消光の問題が発生するため、高い発光効率を達成するのは困難である。従って、第1の有機化合物（ホスト材料）および第2の有機化合物（アシスト材料）の少なくとも一方が燐光性化合物（すなわち、一重項励起状態から発光や熱失活が起こりやすい化合物）である場合が有効となる。したがって、第1の有機化合物（ホスト材料）および第2の有機化合物（アシスト材料）の少なくとも一方が燐光性化合物であることが好ましい。

40

【0093】

なお、したがって、第1の有機化合物（ホスト材料）は、燐光性化合物であり、励起錯体をエネルギー移動の媒体に用いる構成であることが好ましい。

【0094】

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

【0095】

（実施の形態2）

本実施の形態では、本発明の一態様である発光素子の一例について図5を用いて説明する。

50

【0096】

本実施の形態に示す発光素子は、図5に示すように一対の電極（第1の電極（陽極）201と第2の電極（陰極）202）間に発光層206を含むEL層203が挟まれており、EL層203は、第1の発光層206aと第2の発光層206bとの積層構造を有する発光層206の他に、正孔（または、ホール）注入層204、正孔（または、ホール）輸送層205、電子輸送層207、電子注入層208などを含んで形成される。

【0097】

なお、本実施の形態に示す発光層206（第1の発光層206aおよび第2の発光層206b）には、ゲスト材料である燐光性化合物209、ホスト材料である第1の有機化合物210、およびアシスト材料である第2の有機化合物211がそれぞれ含まれている。なお、本実施の形態において、第1の有機化合物210は、第2の有機化合物211よりも発光層206（206a、206bのいずれにおいても）中に含まれる割合が多い。

10

【0098】

また、本実施の形態に示す発光層206は、第1の発光層206aと第2の発光層206bとの積層構造を有するが、第1の発光層206aにおいて第2の有機化合物（アシスト材料）211が含まれる割合は、第2の発光層206bにおいて第2の有機化合物（アシスト材料）211が含まれる割合よりも多いことを特徴とする。

【0099】

なお、発光層206（第1の発光層206aおよび第2の発光層206b）において、燐光性化合物209を第1の有機化合物（ホスト材料）210及び第2の有機化合物（アシスト材料）211に分散させた構成とすることにより、発光層206の結晶化を抑制することができる。また、燐光性化合物209の濃度が高いことによる濃度消光を抑制し、発光素子の発光効率を高くすることができる。

20

【0100】

また、第1の有機化合物210及び第2の有機化合物211のそれぞれの三重項励起エネルギーの準位（T1準位）は、燐光性化合物209のT1準位よりも高いことが好ましい。第1の有機化合物210（又は第2の有機化合物211）のT1準位が燐光性化合物（ゲスト材料）209のT1準位よりも低いと、発光に寄与する燐光性化合物（ゲスト材料）209の三重項励起エネルギーを第1の有機化合物210（又は第2の有機化合物211）が消光（クエンチ）してしまい、発光効率の低下を招くためである。

30

【0101】

本実施の形態における発光層206では、両電極からそれぞれ注入されるキャリア（電子及びホール）の再結合の際に、第1の有機化合物210と第2の有機化合物211から励起錯体（エキサイプレックス）が形成される。これにより、発光層206における第1の有機化合物210の蛍光スペクトル、および第2の有機化合物211の蛍光スペクトルは、より長波長側に位置する励起錯体の発光スペクトルに変換することができる。従って、一重項励起状態からのエネルギー移動を最大限に高めるために励起錯体の発光スペクトルと燐光性化合物（ゲスト材料）209の吸収スペクトルとの重なりが大きくなるように、第1の有機化合物210と第2の有機化合物211とをそれぞれ選択することとする。なお、ここでは三重項励起状態に関しても、ホスト材料ではなく励起錯体からのエネルギー移動が生じるものと考えられる。

40

【0102】

なお、燐光性化合物209としては、有機金属錯体が好ましい。また、第1の有機化合物（ホスト材料）210としては、電子輸送性材料を用いることが好ましい。また、第2の有機化合物（アシスト材料）211としては、正孔（ホール）輸送性材料を用いることが好ましい。

【0103】

なお、上記有機金属錯体としては、例えば、ビス[2-(4',6'-ジフルオロフェニル)ピリジナト-N,C^{2'}]イリジウム(III)テトラキス(1-ピラゾリル)ポラート(略称: Fir6)、ビス[2-(4',6'-ジフルオロフェニル)ピリジナト

50

, 9'-ビフルオレン(略称: DPA2SF)、N, N'-ビス(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N, N'-ジフェニルベンゼン-1, 3-ジアミン(略称: PCA2B)、N-(9, 9-ジメチル-2-ジフェニルアミノ-9H-フルオレン-7-イル)ジフェニルアミン(略称: DPNF)、N, N', N''-トリフェニル-N, N', N''-トリス(9-フェニルカルバゾール-3-イル)ベンゼン-1, 3, 5-トリアミン(略称: PCA3B)、2-[N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N-フェニルアミノ]スピロ-9, 9'-ビフルオレン(略称: PCASF)、2-[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]スピロ-9, 9'-ビフルオレン(略称: DPASF)、N, N'-ビス[4-(カルバゾール-9-イル)フェニル]-N, N'-ジフェニル-9, 9-ジメチルフルオレン-2, 7-ジアミン(略称: YGA2F)、4, 4'-ビス[N-(3-メチルフェニル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称: TPD)、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)、N-(9, 9-ジメチル-9H-フルオレン-2-イル)-N-{9, 9-ジメチル-2-[N'-フェニル-N'-(9, 9-ジメチル-9H-フルオレン-2-イル)アミノ]-9H-フルオレン-7-イル}フェニルアミン(略称: DFLADFL)、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-[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzDPA1)、3, 6-ビス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzDPA2)、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)、3, 6-ビス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-(1-ナフチル)アミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzTPN2)、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)が挙げられる。

10

20

【0106】

但し、上述した燐光性化合物209、第1の有機化合物(ホスト材料)210、および第2の有機化合物(アシスト材料)211にそれぞれ用いることができる材料は、これらに限定されることなく、励起錯体を形成できる組み合わせであり、励起錯体の発光スペクトルが、燐光性化合物209の吸収スペクトルと重なり、励起錯体の発光スペクトルのピークが、燐光性化合物209の吸収スペクトルのピークよりも長波長なものであればよい。

30

【0107】

また、第1の有機化合物210に電子輸送性材料を用い、第2の有機化合物211に正孔(ホール)輸送性材料を用いる場合、その混合比によってキャリアバランスを制御することができる。具体的には、第1の有機化合物210:第2の有機化合物211=1:9~9:1の範囲とするのが好ましい。

【0108】

以下に本実施の形態に示す発光素子を作製する上での具体例について説明する。

40

【0109】

第1の電極(陽極)201および第2の電極(陰極)202には、金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることができる。具体的には、酸化インジウム-酸化スズ(ITO: Indium Tin Oxide)、珪素若しくは酸化珪素を含有した酸化インジウム-酸化スズ、酸化インジウム-酸化亜鉛(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、金(Au)、白金(Pt)、ニッケル(Ni)、タングステン(W)、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)、鉄(Fe)、コバルト(Co)、銅(Cu)、パラジウム(Pd)、チタン(Ti)の他、元素周期表の第1族または第2族に属する元素、すなわちリチウム(Li)やセシウム(Cs)等のアルカリ金属、およびマグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)

50

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(Mg Ag、AlLi)、ユウロピウム(Eu)、イッテルビウム(Yb)等の希土類金属およびこれらを含む合金、その他グラフェン等を用いることができる。なお、第1の電極(陽極)201および第2の電極(陰極)202は、例えばスパッタリング法や蒸着法(真空蒸着法を含む)等により形成することができる。

【0110】

正孔注入層204および正孔輸送層205に用いる正孔輸送性の高い物質としては、例えば、4,4'-ビス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称:NPBまたは-NPD)やN,N'-ビス(3-メチルフェニル)-N,N'-ジフェニル-[1,1'-ビフェニル]-4,4'-ジアミン(略称:TPD)、4,4',4''-トリス(カルバゾール-9-イル)トリフェニルアミン(略称:CTTA)、4,4',4''-トリス(N,N'-ジフェニルアミノ)トリフェニルアミン(略称:TDATA)、4,4',4''-トリス[N-(3-メチルフェニル)-N-フェニルアミノ]トリフェニルアミン(略称:MTDATA)、4,4'-ビス[N-(スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-イル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称:BSPB)などの芳香族アミン化合物、3-[N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称:PCzPCA1)、3,6-ビス[N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称:PCzPCA2)、3-[N-(1-ナフチル)-N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)アミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称:PCzPCN1)等が挙げられる。その他、4,4'-ジ(N-カルバゾリル)ビフェニル(略称:CBP)、1,3,5-トリス[4-(N-カルバゾリル)フェニル]ベンゼン(略称:TCPB)、9-[4-(10-フェニル-9-アントラセニル)フェニル]-9H-カルバゾール(略称:CzPA)等のカルバゾール誘導体、等を用いることができる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質である。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、これら以外のものを用いてもよい。

【0111】

さらに、ポリ(N-ビニルカルバゾール)(略称:PVK)、ポリ(4-ビニルトリフェニルアミン)(略称:PVTPA)、ポリ[N-(4-{N'-[4-(4-ジフェニルアミノ)フェニル]フェニル}-N'-フェニルアミノ}フェニル)メタクリルアミド](略称:PTPDMA)、ポリ[N,N'-ビス(4-ブチルフェニル)-N,N'-ビス(フェニル)ベンジジン](略称:Poly-TPD)などの高分子化合物を用いることもできる。

【0112】

また、正孔注入層204に用いることができるアクセプター性物質としては、遷移金属酸化物や元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物を挙げることができる。具体的には、酸化モリブデンが特に好ましい。

【0113】

発光層206(206a、206b)は、上述した通りであり、燐光性化合物209、第1の有機化合物(ホスト材料)210、および第2の有機化合物(アシスト材料)211を含んで形成される。

【0114】

電子輸送層207は、電子輸送性の高い物質を含む層である。電子輸送層207には、Alq₃、トリス(4-メチル-8-キノリノラト)アルミニウム(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(略称:BeBq₂)、BALq、Zn(BOX)₂、ビス[2-(2-ヒドロキシフェニル)ベンゾチアゾラト]亜鉛(略称:Zn(BTZ)₂)などの金属錯体を用いることができる。また、2-(4-ビフェニル)-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(略称:PBDD)、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-te

10

20

30

40

50

tert-ブチルフェニル)-4-フェニル-5-(4-ビフェニリル)-1,2,4-トリアゾール(略称:TAZ)、3-(4-tert-ブチルフェニル)-4-(4-エチルフェニル)-5-(4-ビフェニリル)-1,2,4-トリアゾール(略称:p-EtTAZ)、バソフェナントロリン(略称:BPhen)、バソキュプロイン(略称:BCP)、4,4'-ビス(5-メチルベンゾオキサゾール-2-イル)スチルベン(略称:BzOs)などの複素芳香族化合物も用いることができる。また、ポリ(2,5-ピリジン-ジイル)(略称:PPy)、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)のような高分子化合物を用いることもできる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する物質である。なお、正孔よりも電子の輸送性の高い物質であれば、上記以外の物質を電子輸送層207として用いてもよい。

10

【0115】

また、電子輸送層207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。

【0116】

電子注入層208は、電子注入性の高い物質を含む層である。電子注入層208には、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)、リチウム酸化物(LiOx)等のようなアルカリ金属、アルカリ土類金属、またはそれらの化合物を用いることができる。また、フッ化エルビウム(ErF₃)のような希土類金属化合物を用いることができる。また、上述した電子輸送層207を構成する物質を用いることもできる。

20

【0117】

あるいは、電子注入層208に、有機化合物と電子供与体(ドナー)とを混合してなる複合材料を用いてもよい。このような複合材料は、電子供与体によって有機化合物に電子が発生するため、電子注入性および電子輸送性に優れている。この場合、有機化合物としては、発生した電子の輸送に優れた材料であることが好ましく、具体的には、例えば上述した電子輸送層207を構成する物質(金属錯体や複素芳香族化合物等)を用いることができる。電子供与体としては、有機化合物に対し電子供与性を示す物質であればよい。具体的には、アルカリ金属やアルカリ土類金属や希土類金属が好ましく、リチウム、セシウム、マグネシウム、カルシウム、エルビウム、イッテルビウム等が挙げられる。また、アルカリ金属酸化物やアルカリ土類金属酸化物が好ましく、リチウム酸化物、カルシウム酸化物、バリウム酸化物等が挙げられる。また、酸化マグネシウムのようなルイス塩基を用いることもできる。また、テトラチアフルバレン(略称:TF)等の有機化合物を用いることもできる。

30

【0118】

なお、上述した正孔注入層204、正孔輸送層205、発光層206(206a、206b)、電子輸送層207、電子注入層208は、それぞれ、蒸着法(真空蒸着法を含む)、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。

40

【0119】

上述した発光素子の発光層206で得られた発光は、第1の電極201および第2の電極202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、本実施の形態における第1の電極201および第2の電極202のいずれか一方、または両方が透光性を有する電極となる。

【0120】

本実施の形態で示した発光素子は、励起錯体の発光スペクトルと燐光性化合物の吸収スペクトルとの重なりを利用したエネルギー移動により、エネルギー移動効率を高めることができるため、外部量子効率の高い発光素子を実現することができる。

【0121】

50

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

【0122】

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

10

【0123】

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

【0124】

(実施の形態3)

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

【0125】

本実施の形態に示す発光素子は、図6(A)に示すように一对の電極(第1の電極301および第2の電極304)間に、複数のEL層(第1のEL層302(1)、第2のEL層302(2))を有するタンデム型発光素子である。

20

【0126】

本実施の形態において、第1の電極301は、陽極として機能する電極であり、第2の電極304は陰極として機能する電極である。なお、第1の電極301および第2の電極304は、実施の形態1と同様な構成を用いることができる。また、複数のEL層(第1のEL層302(1)、第2のEL層302(2))は、実施の形態1または実施の形態2で示したEL層と同様な構成であっても良いが、いずれかが同様の構成であっても良い。すなわち、第1のEL層302(1)と第2のEL層302(2)は、同じ構成であっても異なる構成であってもよく、その構成は実施の形態1または実施の形態2と同様なものを適用することができる。

30

【0127】

また、複数のEL層(第1のEL層302(1)、第2のEL層302(2))の間には、電荷発生層(I)305が設けられている。電荷発生層(I)305は、第1の電極301と第2の電極304に電圧を印加したときに、一方のEL層に電子を注入し、他方のEL層に正孔を注入する機能を有する。本実施の形態の場合には、第1の電極301に第2の電極304よりも電位が高くなるように電圧を印加すると、電荷発生層(I)305から第1のEL層302(1)に電子が注入され、第2のEL層302(2)に正孔が注入される。

【0128】

なお、電荷発生層(I)305は、光の取り出し効率の点から、可視光に対して透光性を有する(具体的には、電荷発生層(I)305に対する可視光の透過率が、40%以上)ことが好ましい。また、電荷発生層(I)305は、第1の電極301や第2の電極304よりも低い導電率であっても機能する。

40

【0129】

電荷発生層(I)305は、正孔輸送性の高い有機化合物に電子受容体(アクセプター)が添加された構成であっても、電子輸送性の高い有機化合物に電子供与体(ドナー)が添加された構成であってもよい。また、これらの両方の構成が積層されていても良い。

【0130】

正孔輸送性の高い有機化合物に電子受容体が添加された構成とする場合において、正孔

50

輸送性の高い有機化合物としては、例えば、NPBやTPD、TDATA、MTDATA、4,4'-ビス[N-(スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-イル)-Nフェニルアミノ]ピフェニル(略称:BSPPB)などの芳香族アミン化合物等を用いることができる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質である。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い有機化合物であれば、上記以外の物質を用いても構わない。

【0131】

また、電子受容体としては、7,7,8,8-テトラシアノ-2,3,5,6-テトラフルオロキノジメタン(略称:F4-TCNQ)、クロラニル等を挙げることができる。また、遷移金属酸化物を挙げることができる。また元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物を挙げることができる。具体的には、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タングステン、酸化マンガン、酸化レニウムは電子受容性が高いため好ましい。中でも特に、酸化モリブデンは大気中でも安定であり、吸湿性が低く、扱いやすいため好ましい。

10

【0132】

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

20

【0133】

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

30

【0134】

なお、上述した材料を用いて電荷発生層(I)305を形成することにより、EL層が積層された場合における駆動電圧の上昇を抑制することができる。

【0135】

本実施の形態では、EL層を2層有する発光素子について説明したが、図6(B)に示すように、n層(ただし、nは、3以上)のEL層(302(1)、302(2)~302(n-1)、302(n))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、一對の電極間に複数のEL層を有する場合、EL層とEL層との間に電荷発生層(I)(305(1)、305(2)~305(n-2)、305(n-1))を配置することで、電流密度を低く保ったまま、高輝度領域での発光が可能である。電流密度を低く保てるため、長寿命素子を実現できる。また、照明を応用例とした場合は、電極材料の抵抗による電圧降下を小さくできるので、大面積での均一発光が可能となる。また、低電圧駆動が可能で消費電力が低い発光装置を実現することができる。

40

【0136】

また、それぞれのEL層の発光色を異なるものにするすることで、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EL層を有する発光素子において、第1のEL層の発光色と第2のEL層の発光色を補色の関係になるようにすることで、発光素子全体として白色発光する発光素子を得ることも可能である。なお、補色とは、混合す

50

ると無彩色になる色同士の関係をいう。つまり、補色の関係にある色を発光する物質から得られた光と混合すると、白色発光を得ることができる。

【0137】

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

【0138】

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

【0139】

(実施の形態4)

本実施の形態では、本発明の一態様である発光装置について説明する。

【0140】

本実施の形態に示す発光装置は、一对の電極間での光の共振効果を利用した微小光共振器(マイクロキャビティ)構造を有しており、図7に示す様に一对の電極(反射電極401及び半透過・半反射電極402)間に少なくともEL層405を有する構造である発光素子を複数、有している。また、EL層405は、少なくとも発光領域となる発光層404(404R、404G、404B)を有し、その他、正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、電子注入層、電荷発生層(E)などが含まれていても良い。

【0141】

本実施の形態では、図7に示すように構造の異なる発光素子(第1の発光素子(R)410R、第2の発光素子(G)410G、第3の発光素子(B)410B)を有して構成される発光装置について説明する。

【0142】

第1の発光素子(R)410Rは、反射電極401上に第1の透明導電層403aと、第1の発光層(B)404B、第2の発光層(G)404G、第3の発光層(R)404Rを一部に含むEL層405と、半透過・半反射電極402とが順次積層された構造を有する。また、第2の発光素子(G)410Gは、反射電極401上に第2の透明導電層403bと、EL層405と、半透過・半反射電極402とが順次積層された構造を有する。また、第3の発光素子(B)410Bは、反射電極401上にEL層405と、半透過・半反射電極402とが順次積層された構造を有する。

【0143】

なお、上記発光素子(第1の発光素子(R)410R、第2の発光素子(G)410G、第3の発光素子(B)410B)において、反射電極401、EL層405、半透過・半反射電極402は共通である。また、第1の発光層(B)404Bでは、420nm以上480nm以下の波長領域にピークをもつ光(λ_B)を発光させ、第2の発光層(G)404Gでは、500nm以上550nm以下の波長領域にピークを持つ光(λ_G)を発光させ、第3の発光層(R)404Rでは、600nm以上760nm以下の波長領域にピークを持つ光(λ_R)を発光させる。これにより、いずれの発光素子(第1の発光素子(R)410R、第2の発光素子(G)410G、第3の発光素子(B)410B)でも、第1の発光層(B)404B、第2の発光層(G)404G、および第3の発光層(R)404Rからの発光が重ね合わされた、すなわち可視光領域に渡るブロードな光を発光させることができる。なお、上記より、波長の長さは、 $\lambda_B < \lambda_G < \lambda_R$ なる関係であるとする。

【0144】

本実施の形態に示す各発光素子は、それぞれ反射電極401と半透過・半反射電極402との間にEL層405を挟んでなる構造を有しており、EL層405に含まれる各発光層から全方向に射出される発光は、微小光共振器(マイクロキャビティ)としての機能を有する反射電極401と半透過・半反射電極402とによって共振される。なお、反射電極401は、反射性を有する導電性材料により形成され、その膜に対する可視光の反射

10

20

30

40

50

率が40%~100%、好ましくは70%~100%であり、かつその抵抗率が 1×10^{-2} cm以下の膜であるとする。また、半透過・半反射電極402は、反射性を有する導電性材料と光透過性を有する導電性材料とにより形成され、その膜に対する可視光の反射率が20%~80%、好ましくは40%~70%であり、かつその抵抗率が 1×10^{-2} cm以下の膜であるとする。

【0145】

また、本実施の形態では、各発光素子で、第1の発光素子(R)410Rと第2の発光素子(G)410Gにそれぞれ設けられた透明導電層(第1の透明導電層403a、第2の透明導電層403b)の厚みを変えることにより、発光素子毎に反射電極401と半透過・半反射電極402の間の光学距離を変えている。つまり、各発光素子の各発光層から発光するブロードな光は、反射電極401と半透過・半反射電極402との間において、共振する波長の光を強め、共振しない波長の光を減衰させることができるため、素子毎に反射電極401と半透過・半反射電極402の間の光学距離を変えることにより、異なる波長の光を取り出すことができる。

10

【0146】

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

【0147】

また、第1の発光素子(R)410Rでは、反射電極401から半透過・半反射電極402までの総厚を $m_R/2$ (ただし、 m は自然数)、第2の発光素子(G)410Gでは、反射電極401から半透過・半反射電極402までの総厚を $m_G/2$ (ただし、 m は自然数)、第3の発光素子(B)410Bでは、反射電極401から半透過・半反射電極402までの総厚を $m_B/2$ (ただし、 m は自然数)としている。

20

【0148】

以上より、第1の発光素子(R)410Rからは、主としてEL層405に含まれる第3の発光層(R)404Rで発光した光(γ_R)が取り出され、第2の発光素子(G)410Gからは、主としてEL層405に含まれる第2の発光層(G)404Gで発光した光(γ_G)が取り出され、第3の発光素子(B)410Bからは、主としてEL層405に含まれる第1の発光層(B)404Bで発光した光(γ_B)が取り出される。なお、各発光素子から取り出される光は、半透過・半反射電極402側からそれぞれ射出される。

30

【0149】

また、上記構成において、反射電極401から半透過・半反射電極402までの総厚は、厳密には反射電極401における反射領域から半透過・半反射電極402における反射領域までの総厚といえることができる。しかし、反射電極401や半透過・半反射電極402における反射領域の位置を厳密に決定することは困難であるため、反射電極401と半透過・半反射電極402の任意の位置を反射領域と仮定することで十分に上述の効果を得ることができるものとする。

【0150】

次に、第1の発光素子(R)410Rにおいて、反射電極401から第3の発光層(R)404Rへの光学距離を所望の膜厚($(2m'+1)\gamma_R/4$ (ただし、 m' は自然数))に調節することにより、第3の発光層(R)404Rからの発光を増幅させることができる。第3の発光層(R)404Rからの発光のうち、反射電極401によって反射されて戻ってきた光(第1の反射光)は、第3の発光層(R)404Rから半透過・半反射電極402に直接入射する光(第1の入射光)と干渉を起こすため、反射電極401から第3の発光層(R)404Rへの光学距離を所望の値($(2m'+1)\gamma_R/4$ (ただし、 m' は自然数))に調節して設けることにより、第1の反射光と第1の入射光との位相を合わせ、第3の発光層(R)404Rからの発光を増幅させることができる。

40

【0151】

なお、反射電極401と第3の発光層(R)404Rとの光学距離とは、厳密には反射

50

電極 401 における反射領域と第 3 の発光層 (R) 404 R における発光領域との光学距離ということが出来る。しかし、反射電極 401 における反射領域や第 3 の発光層 (R) 404 R における発光領域の位置を厳密に決定することは困難であるため、反射電極 401 の任意の位置を反射領域、第 3 の発光層 (R) 404 R の任意の位置を発光領域と仮定することで十分に上述の効果を得ることが出来るものとする。

【0152】

次に、第 2 の発光素子 (G) 410 G において、反射電極 401 から第 2 の発光層 (G) 404 G への光学距離を所望の膜厚 $((2m'' + 1) \lambda_G / 4$ (ただし、 m'' は自然数)) に調節することにより、第 2 の発光層 (G) 404 G からの発光を増幅させることが出来る。第 2 の発光層 (G) 404 G からの発光のうち、反射電極 401 によって反射されて戻ってきた光 (第 2 の反射光) は、第 2 の発光層 (G) 404 G から半透過・半反射電極 402 に直接入射する光 (第 2 の入射光) と干渉を起こすため、反射電極 401 から第 2 の発光層 (G) 404 G への光学距離を所望の値 $((2m'' + 1) \lambda_G / 4$ (ただし、 m'' は自然数)) に調節して設けることにより、第 2 の反射光と第 2 の入射光との位相を合わせ、第 2 の発光層 (G) 404 G からの発光を増幅させることが出来る。

10

【0153】

なお、反射電極 401 と第 2 の発光層 (G) 404 G との光学距離とは、厳密には反射電極 401 における反射領域と第 2 の発光層 (G) 404 G における発光領域との光学距離ということが出来る。しかし、反射電極 401 における反射領域や第 2 の発光層 (G) 404 G における発光領域の位置を厳密に決定することは困難であるため、反射電極 401 の任意の位置を反射領域、第 2 の発光層 (G) 404 G の任意の位置を発光領域と仮定することで十分に上述の効果を得ることが出来るものとする。

20

【0154】

次に、第 3 の発光素子 (B) 410 B において、反射電極 401 から第 1 の発光層 (B) 404 B への光学距離を所望の膜厚 $((2m''' + 1) \lambda_B / 4$ (ただし、 m''' は自然数)) に調節することにより、第 1 の発光層 (B) 404 B からの発光を増幅させることが出来る。第 1 の発光層 (B) 404 B からの発光のうち、反射電極 401 によって反射されて戻ってきた光 (第 3 の反射光) は、第 1 の発光層 (B) 404 B から半透過・半反射電極 402 に直接入射する光 (第 3 の入射光) と干渉を起こすため、反射電極 401 から第 1 の発光層 (B) 404 B への光学距離を所望の値 $((2m''' + 1) \lambda_B / 4$ (ただし、 m''' は自然数)) に調節して設けることにより、第 3 の反射光と第 3 の入射光との位相を合わせ、第 1 の発光層 (B) 404 B からの発光を増幅させることが出来る。

30

【0155】

なお、第 3 の発光素子において、反射電極 401 と第 1 の発光層 (B) 404 B との光学距離とは、厳密には反射電極 401 における反射領域と第 1 の発光層 (B) 404 B における発光領域との光学距離ということが出来る。しかし、反射電極 401 における反射領域や第 1 の発光層 (B) 404 B における発光領域の位置を厳密に決定することは困難であるため、反射電極 401 の任意の位置を反射領域、第 1 の発光層 (B) 404 B の任意の位置を発光領域と仮定することで十分に上述の効果を得ることが出来るものとする。

40

【0156】

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

【0157】

本実施の形態で示した発光装置は、マイクロキャピティ構造を有しており、同じ EL 層を有していても発光素子ごとに異なる波長の光を取り出すことが出来るため RGB の塗り分けが不要となる。従って、高精細化を実現することが容易であるなどの理由からフルカラー化を実現する上で有利である。また、特定波長の正面方向の発光強度を強めること

50

が可能となるため、低消費電力化を図ることができる。この構成は、3色以上の画素を用いたカラーディスプレイ（画像表示装置）に適用する場合に、特に有用であるが、照明などの用途に用いても良い。

【0158】

（実施の形態5）

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

【0159】

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

10

【0160】

本実施の形態では、アクティブマトリクス型の発光装置について図8を用いて説明する。

【0161】

なお、図8（A）は発光装置を示す上面図であり、図8（B）は図8（A）を鎖線A-A'で切断した断面図である。本実施の形態に係るアクティブマトリクス型の発光装置は、素子基板501上に設けられた画素部502と、駆動回路部（ソース線駆動回路）503と、駆動回路部（ゲート線駆動回路）504（504a及び504b）と、を有する。画素部502、駆動回路部503、及び駆動回路部504は、シール材505によって、素子基板501と封止基板506との間に封止されている。

20

【0162】

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

【0163】

次に、断面構造について図8（B）を用いて説明する。素子基板501上には駆動回路部及び画素部が形成されているが、ここでは、ソース線駆動回路である駆動回路部503と、画素部502が示されている。

30

【0164】

駆動回路部503はnチャンネル型TFT509とpチャンネル型TFT510とを組み合わせたCMOS回路が形成される例を示している。なお、駆動回路部を形成する回路は、種々のCMOS回路、PMOS回路もしくはNMOS回路で形成しても良い。また、本実施の形態では、基板上に駆動回路を形成したドライバー一体型を示すが、必ずしもその必要はなく、基板上ではなく外部に駆動回路を形成することもできる。

【0165】

また、画素部502はスイッチング用TFT511と、電流制御用TFT512と電流制御用TFT512の配線（ソース電極又はドレイン電極）に電氣的に接続された第1の電極（陽極）513とを含む複数の画素により形成される。なお、第1の電極（陽極）513の端部を覆って絶縁物514が形成されている。ここでは、ポジ型の感光性アクリル樹脂を用いることにより形成する。

40

【0166】

また、上層に積層形成される膜の被覆性を良好なものとするため、絶縁物514の上端部または下端部に曲率を有する曲面が形成されるようにするのが好ましい。例えば、絶縁物514の材料としてポジ型の感光性アクリル樹脂を用いた場合、絶縁物514の上端部に曲率半径（0.2µm～3µm）を有する曲面を持たせることが好ましい。また、絶縁

50

物 5 1 4 として、ネガ型の感光性樹脂、或いはポジ型の感光性樹脂のいずれも使用することができ、有機化合物に限らず無機化合物、例えば、酸化シリコン、酸化窒素シリコン等、の両者を使用することができる。

【 0 1 6 7 】

第 1 の電極（陽極） 5 1 3 上には、E L 層 5 1 5 及び第 2 の電極（陰極） 5 1 6 が積層形成されている。E L 層 5 1 5 は、少なくとも発光層が設けられており、発光層は、実施の形態 1 で示したような積層構造を有している。また、E L 層 5 1 5 には、発光層の他に正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、電子注入層、電荷発生層等を適宜設けることができる。

【 0 1 6 8 】

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

【 0 1 6 9 】

また、図 8 (B) に示す断面図では発光素子 5 1 7 を 1 つのみ図示しているが、画素部 5 0 2 において、複数の発光素子がマトリクス状に配置されているものとする。画素部 5 0 2 には、3 種類 (R、G、B) の発光が得られる発光素子をそれぞれ選択的に形成し、フルカラー表示可能な発光装置を形成することができる。また、カラーフィルタと組み合わせることによってフルカラー表示可能な発光装置としてもよい。

【 0 1 7 0 】

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

【 0 1 7 1 】

なお、シール材 5 0 5 にはエポキシ系樹脂や低融点ガラスを用いるのが好ましい。また、これらの材料はできるだけ水分や酸素を透過しない材料であることが望ましい。また、封止基板 5 0 6 に用いる材料としてガラス基板や石英基板の他、FRP (F i b e r g l a s s - R e i n f o r c e d P l a s t i c s)、P V F (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。

【 0 1 7 2 】

以上のようにして、アクティブマトリクス型の発光装置を得ることができる。

【 0 1 7 3 】

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

【 0 1 7 4 】

(実施の形態 6)

本実施の形態では、本発明の一態様である発光素子を適用して作製された発光装置を用いて完成させた様々な電子機器の一例について、図 9、図 1 0 を用いて説明する。

【 0 1 7 5 】

発光装置を適用した電子機器として、例えば、テレビジョン装置（テレビ、又はテレビジョン受信機ともいう）、コンピュータ用などのモニタ、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機（携帯電話、携帯電話装置ともいう）、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、パチンコ機などの大型ゲーム機などが挙げられる。これらの電子機器の具体例を図 9 に示す。

【 0 1 7 6 】

図 9 (A) は、テレビジョン装置の一例を示している。テレビジョン装置 7 1 0 0 は、

筐体 7101 に表示部 7103 が組み込まれている。表示部 7103 により、映像を表示することが可能であり、発光装置を表示部 7103 に用いることができる。また、ここでは、スタンド 7105 により筐体 7101 を支持した構成を示している。

【0177】

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

【0178】

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

【0179】

図 9（B）はコンピュータであり、本体 7201、筐体 7202、表示部 7203、キーボード 7204、外部接続ポート 7205、ポインティングデバイス 7206 等を含む。なお、コンピュータは、発光装置をその表示部 7203 に用いることにより作製される。

【0180】

図 9（C）は携帯型遊技機であり、筐体 7301 と筐体 7302 の 2 つの筐体で構成されており、連結部 7303 により、開閉可能に連結されている。筐体 7301 には表示部 7304 が組み込まれ、筐体 7302 には表示部 7305 が組み込まれている。また、図 9（C）に示す携帯型遊技機は、その他、スピーカ部 7306、記録媒体挿入部 7307、LED ランプ 7308、入力手段（操作キー 7309、接続端子 7310、センサ 7311（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、におい又は赤外線を測定する機能を含むもの）、マイクロフォン 7312）等を備えている。もちろん、携帯型遊技機の構成は上述のものに限定されず、少なくとも表示部 7304 および表示部 7305 の両方、又は一方に発光装置を用いていればよく、その他付属設備が適宜設けられた構成とすることができる。図 9（C）に示す携帯型遊技機は、記録媒体に記録されているプログラム又はデータを読み出して表示部に表示する機能や、他の携帯型遊技機と無線通信を行って情報を共有する機能を有する。なお、図 9（C）に示す携帯型遊技機が有する機能はこれに限定されず、様々な機能を有することができる。

【0181】

図 9（D）は、携帯電話機の一例を示している。携帯電話機 7400 は、筐体 7401 に組み込まれた表示部 7402 の他、操作ボタン 7403、外部接続ポート 7404、スピーカ 7405、マイク 7406 などを備えている。なお、携帯電話機 7400 は、発光装置を表示部 7402 に用いることにより作製される。

【0182】

図 9（D）に示す携帯電話機 7400 は、表示部 7402 を指などで触れることで、情報を入力することができる。また、電話を掛ける、或いはメールを作成するなどの操作は、表示部 7402 を指などで触れることにより行うことができる。

【0183】

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

【0184】

例えば、電話を掛ける、或いはメールを作成する場合は、表示部 7402 を文字の入力を主とする文字入力モードとし、画面に表示させた文字の入力操作を行えばよい。この場

10

20

30

40

50

合、表示部 7402 の画面のほとんどにキーボード又は番号ボタンを表示させることが好ましい。

【0185】

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

【0186】

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

【0187】

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

【0188】

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

【0189】

図 10 (A) 及び図 10 (B) は 2 つ折り可能なタブレット型端末である。図 10 (A) は、開いた状態であり、タブレット型端末は、筐体 9630、表示部 9631 a、表示部 9631 b、表示モード切り替えスイッチ 9034、電源スイッチ 9035、省電力モード切り替えスイッチ 9036、留め具 9033、操作スイッチ 9038、を有する。なお、当該タブレット端末は、発光装置を表示部 9631 a、表示部 9631 b の一方又は両方に用いることにより作製される。

【0190】

表示部 9631 a は、一部をタッチパネルの領域 9632 a とすることができ、表示された操作キー 9637 にふれることでデータ入力を行うことができる。なお、表示部 9631 a においては、一例として半分の領域が表示のみの機能を有する構成、もう半分の領域がタッチパネルの機能を有する構成を示しているが該構成に限定されない。表示部 9631 a の全ての領域がタッチパネルの機能を有する構成としても良い。例えば、表示部 9631 a の全面をキーボードボタン表示させてタッチパネルとし、表示部 9631 b を表示画面として用いることができる。

【0191】

また、表示部 9631 b においても表示部 9631 a と同様に、表示部 9631 b の一部をタッチパネルの領域 9632 b とすることができる。また、タッチパネルのキーボード表示切り替えボタン 9639 が表示されている位置に指やスタイラスなどでふれることで表示部 9631 b にキーボードボタン表示することができる。

【0192】

また、タッチパネルの領域 9632 a とタッチパネルの領域 9632 b に対して同時にタッチ入力することもできる。

【0193】

また、表示モード切り替えスイッチ 9034 は、縦表示または横表示などの表示の向きを切り替え、白黒表示やカラー表示の切り替えなどを選択できる。省電力モード切り替えスイッチ 9036 は、タブレット型端末に内蔵している光センサで検出される使用時の外光の光量に応じて表示の輝度を最適なものとすることができる。タブレット型端末は光センサだけでなく、ジャイロ、加速度センサ等の傾きを検出するセンサなどの他の検出装置を内蔵させてもよい。

10

20

30

40

50

【0194】

また、図10(A)では表示部9631bと表示部9631aの表示面積が同じ例を示しているが特に限定されず、一方のサイズともう一方のサイズが異なってもよく、表示の品質も異なってもよい。例えば一方が他方よりも高精細な表示を行える表示パネルとしてもよい。

【0195】

図10(B)は、閉じた状態であり、タブレット型端末は、筐体9630、太陽電池9633、充放電制御回路9634、バッテリー9635、DCDCコンバータ9636を有する。なお、図10(B)では充放電制御回路9634の一例としてバッテリー9635、DCDCコンバータ9636を有する構成について示している。

10

【0196】

なお、タブレット型端末は2つ折り可能なため、未使用時に筐体9630を閉じた状態にすることができる。従って、表示部9631a、表示部9631bを保護できるため、耐久性に優れ、長期使用の観点からも信頼性の優れたタブレット型端末を提供できる。

【0197】

また、この他にも図10(A)及び図10(B)に示したタブレット型端末は、様々な情報(静止画、動画、テキスト画像など)を表示する機能、カレンダー、日付又は時刻などを表示部に表示する機能、表示部に表示した情報をタッチ入力操作又は編集するタッチ入力機能、様々なソフトウェア(プログラム)によって処理を制御する機能、等を有することができる。

20

【0198】

タブレット型端末の表面に装着された太陽電池9633によって、電力をタッチパネル、表示部、または映像信号処理部等に供給することができる。なお、太陽電池9633は、筐体9630の片面又は両面に設けることができ、バッテリー9635の充電を効率的に行う構成とすることができる。なおバッテリー9635としては、リチウムイオン電池を用いると、小型化を図れる等の利点がある。

【0199】

また、図10(B)に示す充放電制御回路9634の構成、及び動作について図10(C)にブロック図を示し説明する。図10(C)には、太陽電池9633、バッテリー9635、DCDCコンバータ9636、コンバータ9638、スイッチSW1乃至SW3、表示部9631について示しており、バッテリー9635、DCDCコンバータ9636、コンバータ9638、スイッチSW1乃至SW3が、図10(B)に示す充放電制御回路9634に対応する箇所となる。

30

【0200】

まず外光により太陽電池9633により発電がされる場合の動作の例について説明する。太陽電池9633で発電した電力は、バッテリー9635を充電するための電圧となるようDCDCコンバータ9636で昇圧または降圧がなされる。そして、表示部9631の動作に太陽電池9633からの電力が用いられる際にはスイッチSW1をオンにし、コンバータ9638で表示部9631に必要な電圧に昇圧または降圧をすることとなる。また、表示部9631での表示を行わない際には、スイッチSW1をオフにし、スイッチSW2をオンにしてバッテリー9635の充電を行う構成とすればよい。

40

【0201】

なお太陽電池9633については、発電手段の一例として示したが、特に限定されず、圧電素子(ピエゾ素子)や熱電変換素子(ペルティエ素子)などの他の発電手段によるバッテリー9635の充電を行う構成であってもよい。例えば、無線(非接触)で電力を送受信して充電する無接点電力伝送モジュールや、また他の充電手段を組み合わせる構成としてもよい。

【0202】

また、上記実施の形態で説明した表示部を具備していれば、図10に示した電子機器に特に限定されないことは言うまでもない。

50

【0203】

以上のようにして、本発明の一態様である発光装置を適用して電子機器を得ることができる。発光装置の適用範囲は極めて広く、あらゆる分野の電子機器に適用することが可能である。

【0204】

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

【0205】

(実施の形態7)

本実施の形態では、本発明の一態様である発光素子を含む発光装置を適用した照明装置の一例について、図11を用いて説明する。

10

【0206】

図11は、発光装置を室内の照明装置8001として用いた例である。なお、発光装置は大面積化も可能であるため、大面積の照明装置を形成することもできる。その他、曲面を有する筐体を用いることで、発光領域が曲面を有する照明装置8002を形成することもできる。本実施の形態で示す発光装置に含まれる発光素子は薄膜状であり、筐体のデザインの自由度が高い。したがって、様々な意匠を凝らした照明装置を形成することができる。さらに、室内の壁面に大型の照明装置8003を備えても良い。

【0207】

また、発光装置をテーブルの表面に用いることによりテーブルとしての機能を備えた照明装置8004とすることができる。なお、その他の家具の一部に発光装置を用いることにより、家具としての機能を備えた照明装置とすることができる。

20

【0208】

以上のように、発光装置を適用した様々な照明装置が得られる。なお、これらの照明装置は本発明の一態様に含まれるものとする。

【0209】

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

【実施例1】

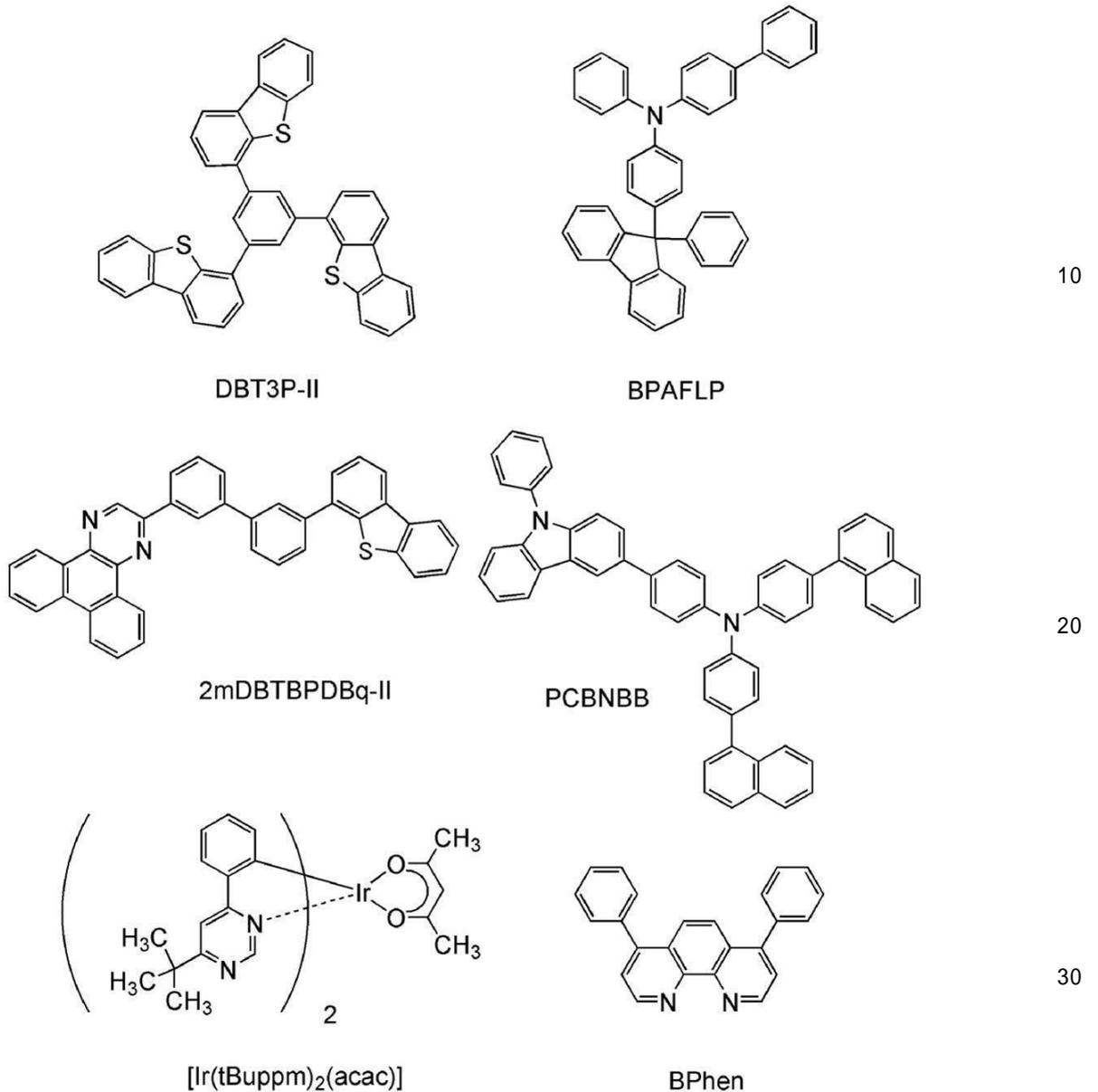
【0210】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子1について図12を用いて説明する。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

30

【0211】

【化 1】



【 0 2 1 2 】

発光素子 1 の作製

まず、ガラス製の基板 1 1 0 0 上に酸化珪素を含むインジウム錫酸化物 (ITO) をスパッタリング法により成膜し、陽極として機能する第 1 の電極 1 1 0 1 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。

【 0 2 1 3 】

次に、基板 1 1 0 0 上に発光素子 1 を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200 °C で 1 時間焼成した後、UV オゾン処理を 3 7 0 秒行った。

【 0 2 1 4 】

その後、 1.0×10^{-4} Pa 程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、真空蒸着装置内の加熱室において、170 °C で 3 0 分間の真空焼成を行った後、基板 1 1 0 0 を 3 0 分程度放冷した。

【 0 2 1 5 】

次に、第 1 の電極 1 1 0 1 が形成された面が下方となるように、基板 1 1 0 0 を真空蒸着装置内に設けられたホルダーに固定した。本実施例では、真空蒸着法により、EL 層 1 0 0 2 を構成する正孔注入層 1 1 1 1、正孔輸送層 1 1 1 2、発光層 1 1 1 3、電子輸送

10

20

30

40

50

層 1 1 1 4、電子注入層 1 1 1 5 が順次形成される場合について説明する。

【 0 2 1 6 】

真空装置内を 10^{-4} Pa に減圧した後、1, 3, 5 - トリ (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) - ベンゼン (略称: DBT3P - II) と酸化モリブデン (VI) とを、DBT3P - II (略称): 酸化モリブデン = 4 : 2 (質量比) となるように共蒸着することにより、第 1 の電極 1 1 0 1 上に正孔注入層 1 1 1 1 を形成した。膜厚は 40 nm とした。なお、共蒸着とは、異なる複数の物質をそれぞれ異なる蒸発源から同時に蒸発させる蒸着法である。

【 0 2 1 7 】

次に、4 - フェニル - 4' - (9 - フェニルフルオレン - 9 - イル) トリフェニルアミン (略称: BPAFLP) を 20 nm 蒸着することにより、正孔輸送層 1 1 1 2 を形成した。

【 0 2 1 8 】

次に、正孔輸送層 1 1 1 2 上に発光層 1 1 1 3 を形成した。2 - [3' - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) ビフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [f, h] キノキサリン (略称: 2mDBTBPD Bq - II)、4, 4' - ジ (1 - ナフチル) - 4'' - (9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル) トリフェニルアミン (略称: PCBNBB)、(アセチルアセトナト) ビス (6 - tert - ブチル - 4 - フェニルピリミジナト) イリジウム (III) (略称: [Ir(tBuppm)₂(acac)]) を、2mDBTBPD Bq - II (略称): PCBNBB (略称): [Ir(tBuppm)₂(acac)] (略称) = 0.7 : 0.3 : 0.05 (質量比) となるよう共蒸着し、第 1 の発光層 1 1 1 3 a を 15 nm の膜厚で形成した後、2mDBTBPD Bq - II (略称): PCBNBB (略称): [Ir(tBuppm)₂(acac)] (略称) = 0.8 : 0.2 : 0.05 (質量比) となるように共蒸着し、第 2 の発光層 1 1 1 3 b を 25 nm の膜厚で形成することで積層構造を有する発光層 1 1 1 3 を形成した。

【 0 2 1 9 】

次に、発光層 1 1 1 3 上に 2mDBTBPD Bq - II (略称) を 10 nm 蒸着した後、バソフェナントロリン (略称: Bphen) を 20 nm 蒸着することにより、電子輸送層 1 1 1 4 を形成した。さらに電子輸送層 1 1 1 4 上に、フッ化リチウムを 1 nm 蒸着することにより、電子注入層 1 1 1 5 を形成した。

【 0 2 2 0 】

最後に、電子注入層 1 1 1 5 上にアルミニウムを 200 nm の膜厚となるように蒸着し、陰極となる第 2 の電極 1 1 0 3 を形成し、発光素子 1 を得た。なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【 0 2 2 1 】

以上により得られた発光素子 1 の素子構造を表 1 に示す。

【 0 2 2 2 】

【表 1】

	第1の電極	正孔注入層	正孔輸送層	発光層		電子輸送層		電子注入層	第2の電極
発光素子 1	ITSO (110nm)	DBT3P-II:MoO _x (4:2 40nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	2mDBTBPD Bq-II (10nm)	Bphen (20nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

* 2mDBTBPD Bq-II:PCBNBB:[Ir(tBuppm)₂(acac)] (0.7:0.3:0.05 15nm)

** 2mDBTBPD Bq-II:PCBNBB:[Ir(tBuppm)₂(acac)] (0.8:0.2:0.05 25nm)

【 0 2 2 3 】

また、作製した発光素子 1 は、大気に曝されないように窒素雰囲気グローブボックス内において封止した (シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に 80 °C にて 1 時間熱処理)。

【 0 2 2 4 】

発光素子 1 の動作特性

作製した発光素子 1 の動作特性について測定した。なお、測定は室温（25 に保たれた雰囲気）で行った。

【0225】

まず、発光素子 1 の電流密度 - 輝度特性を図 13 に示す。なお、図 13 において、縦軸は、輝度 (cd/m^2)、横軸は電流密度 (mA/cm^2) を示す。また、発光素子 1 の電圧 - 輝度特性を図 14 に示す。なお、図 14 において、縦軸は、輝度 (cd/m^2)、横軸は、電圧 (V) を示す。また、発光素子 1 の輝度 - 電流効率特性を図 15 に示す。なお、図 15 において、縦軸は、電流効率 (cd/A)、横軸は、輝度 (cd/m^2) を示す。また、発光素子 1 の電圧 - 電流特性を図 16 に示す。なお、図 16 において、縦軸は、電流 (mA)、横軸は、電圧 (V) を示す。

10

【0226】

図 14 より、本発明の一態様である発光素子 1 は、高効率な素子であることがわかった。また、 $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 付近における発光素子 1 の主な初期特性値を以下の表 2 に示す。

【0227】

【表 2】

	電圧 (V)	電流 (mA)	電流密度 (mA/cm^2)	色度(x,y)	輝度 (cd/m^2)	電流効率 (cd/A)	パワー効率 (lm/W)	外部量子効率 (%)
発光素子 1	2.9	0.045	1.1	(0.44,0.55)	1000	90	97	25

20

【0228】

上記結果から、本実施例で作製した発光素子 1 は、高い外部量子効率を示しているの、高い発光効率を示すことが分かる。さらに、色純度に関しては、純度の良い黄緑色発光を示すことが分かる。

【0229】

また、発光素子 1 に $25 \text{ mA}/\text{cm}^2$ の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを、図 17 に示す。図 17 に示す通り、発光素子 1 の発光スペクトルは 550 nm 付近にピークを有しており、燐光性有機金属イリジウム錯体 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ の発光に由来していることが示唆される。

30

【0230】

また、発光素子 1 についての信頼性試験の結果を図 18 に示す。図 18 において、縦軸は初期輝度を 100% とした時の規格化輝度 (%) を示し、横軸は素子の駆動時間 (h) を示す。また、比較のために発光層を $2 \text{ mDBTBPD B q - I I}$ (略称) : PCBNB B (略称) : $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ (略称) = $0.8 : 0.2 : 0.05$ (質量比) となるよう共蒸着し、 40 nm の膜厚で形成し、その他の構造は発光素子 1 と同様にして比較発光素子を作製し、同様に信頼性試験を行った。なお、信頼性試験は、初期輝度を $5000 \text{ cd}/\text{m}^2$ に設定し、電流密度一定の条件で発光素子 1 および比較発光素子を駆動させた。その結果、比較発光素子の 500 時間後の輝度は、初期輝度のおよそ 85% を保っていたのに対して、発光素子 1 の 500 時間後の輝度は、初期輝度のおよそ 90% を保っていた。

40

【0231】

したがって、発光素子 1 は、高い信頼性を有する長寿命な発光素子であることがわかった。

【0232】

なお、 $2 \text{ mDBTBPD B q - I I}$ (略称) と、 PCBNB B (略称) と、 $2 \text{ mDBTBPD B q - I I}$ (略称) および PCBNB B (略称) の混合膜を作製し、それぞれのフォトルミネッセンス (PL) を測定した。その結果、 $2 \text{ mDBTBPD B q - I I}$ (略称) の蒸着膜のフォトルミネッセンス (PL) ピーク波長は 428 nm であり、 PCBNB B (略称) の蒸着膜の PL ピーク波長は 428 nm であるのに対し、これらを共蒸着した

50

混合膜のPLピーク波長は501nmであり、大きく長波長シフトしていた。したがって、2mDBTPDBq-II(略称)とPCBNBB(略称)は励起錯体を形成する組み合わせであることがわかった。

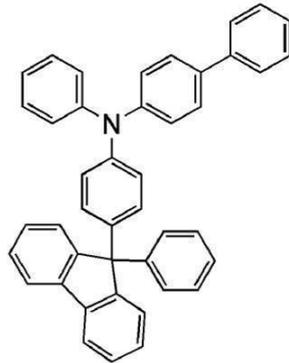
【実施例2】

【0233】

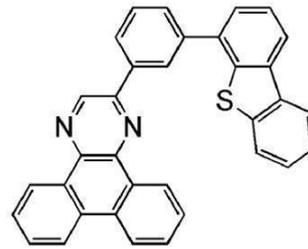
本実施例では、本発明の一態様である発光素子2について説明する。なお、本実施例における発光素子2の説明には、実施例1で発光素子1の説明に用いた図12を用いることとする。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

【0234】

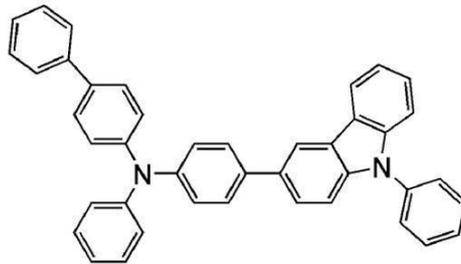
【化2】



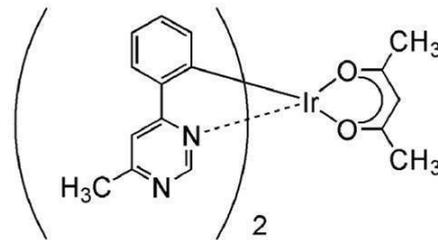
BPAFLP



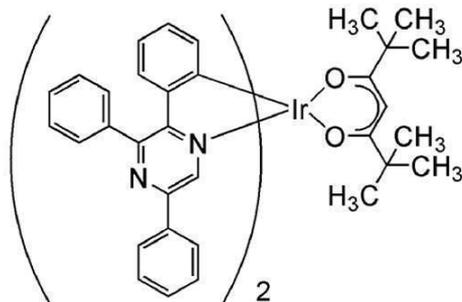
2mDBTPDBq-II



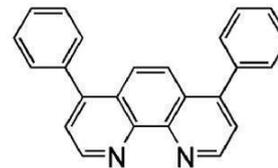
PCBA1BP



[Ir(mppm)₂(acac)]



[Ir(tppr)₂(dpm)]



BPhen

【0235】

発光素子2の作製

まず、ガラス製の基板1100上に酸化珪素を含むインジウム錫酸化物(ITSO)をスパッタリング法により成膜し、陽極として機能する第1の電極1101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。

【0236】

10

20

30

40

50

次に、基板 1100 上に発光素子 2 を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200 で 1 時間焼成した後、UV オゾン処理を 370 秒行った。

【0237】

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

【0238】

次に、第 1 の電極 1101 が形成された面が下方となるように、基板 1100 を真空蒸着装置内に設けられたホルダーに固定した。本実施例では、真空蒸着法により、EL 層 1002 を構成する正孔注入層 1111、正孔輸送層 1112、発光層 1113、電子輸送層 1114、電子注入層 1115 が順次形成される場合について説明する。

10

【0239】

真空装置内を 10^{-4} Pa に減圧した後、4 - フェニル - 4' - (9 - フェニルフルオレン - 9 - イル) トリフェニルアミン (略称: BPAFLP) と酸化モリブデン (VI) とを、BPAFLP (略称): 酸化モリブデン = 1 : 0.5 (質量比) となるように共蒸着することにより、第 1 の電極 1101 上に正孔注入層 1111 を形成した。膜厚は 50 nm とした。なお、共蒸着とは、異なる複数の物質をそれぞれ異なる蒸発源から同時に蒸発させる蒸着法である。

【0240】

次に、BPAFLP (略称) を 20 nm 蒸着することにより、正孔輸送層 1112 を形成した。

20

【0241】

次に、正孔輸送層 1112 上に発光層 1113 を形成した。2 - [3 - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) フェニル] ジベンゾ [f, h] キノキサリン (略称: 2mDBTPDBq - II)、4 - フェニル - 4' - (9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル) トリフェニルアミン (略称: PCBA1BP)、(アセチルアセトナト) ビス (6 - メチル - 4 - フェニルピリミジナト) イリジウム (III) (略称: [Ir(mppm)₂(acac)]₂) を、2mDBTPDBq - II (略称): PCBA1BP (略称): [Ir(mppm)₂(acac)] (略称) = 0.7 : 0.3 : 0.06 (質量比) となるよう共蒸着し、第 1 の発光層 1113a を 20 nm の膜厚で形成した後、2mDBTPDBq - II (略称)、PCBA1BP (略称)、ビス (2, 3, 5 - トリフェニルピラジナト) (ジピバロイルメタナト) イリジウム (III) (略称: [Ir(tppr)₂(dpm)]₂) を、2mDBTPDBq - II (略称): PCBA1BP (略称): [Ir(tppr)₂(dpm)] (略称) = 0.8 : 0.2 : 0.03 (質量比) となるように共蒸着し、第 2 の発光層 1113b を 20 nm の膜厚で形成することで積層構造を有する発光層 1113 を形成した。

30

【0242】

次に、発光層 1113 上に 2mDBTPDBq - II (略称) を 15 nm 蒸着した後、バソフェナントロリン (略称: Bphen) を 15 nm 蒸着することにより、電子輸送層 1114 を形成した。さらに電子輸送層 1114 上に、フッ化リチウムを 1 nm 蒸着することにより、電子注入層 1115 を形成した。

40

【0243】

最後に、電子注入層 1115 上にアルミニウムを 200 nm の膜厚となるように蒸着し、陰極となる第 2 の電極 1103 形成し、発光素子 2 を得た。なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【0244】

以上により得られた発光素子 2 の素子構造を表 3 に示す。

【0245】

【表 3】

	第1の電極	正孔注入層	正孔輸送層	発光層		電子輸送層		電子注入層	第2の電極
発光素子 2	ITSO (110nm)	BPAFLP:MoO _x (1:0.5 50nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	2mDBTPDBq-II (15nm)	Bphen (15nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

* 2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(mppm)₂(acac)] (0.7:0.3:0.06 20nm)

** 2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(tppr)₂(dpm)] (0.8:0.2:0.03 20nm)

【0246】

また、作製した発光素子2は、大気に曝されないように窒素雰囲気グローブボックス内において封止した(シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に80℃にて1時間熱処理)。

10

【0247】

発光素子2の動作特性

作製した発光素子2の動作特性について測定した。なお、測定は室温(25℃に保たれた雰囲気)で行った。

【0248】

まず、発光素子2の電流密度-輝度特性を図19に示す。なお、図19において、縦軸は、輝度(cd/m^2)、横軸は電流密度(mA/cm^2)を示す。また、発光素子2の電圧-輝度特性を図20に示す。なお、図20において、縦軸は、輝度(cd/m^2)、横軸は、電圧(V)を示す。また、発光素子2の輝度-電流効率特性を図21に示す。なお、図21において、縦軸は、電流効率(cd/A)、横軸は、輝度(cd/m^2)を示す。また、発光素子2の電圧-電流特性を図22に示す。なお、図22において、縦軸は、電流(mA)、横軸は、電圧(V)を示す。

20

【0249】

図21より、本発明の一態様である発光素子2は、高効率な素子であることがわかった。また、1000 cd/m^2 付近における発光素子2の主な初期特性値を以下の表4に示す。

【0250】

【表 4】

	電圧 (V)	電流 (mA)	電流密度 (mA/cm^2)	色度(x,y)	輝度 (cd/m^2)	電流効率 (cd/A)	パワー効率 (lm/W)	外部量子効率 (%)
発光素子 2	3.6	0.100	2.6	(0.55,0.45)	1100	44	38	21

30

【0251】

上記結果から、本実施例で作製した発光素子2は、高い外部量子効率を示しているため、高い発光効率を示すことが分かる。

【0252】

また、発光素子2に25 mA/cm^2 の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図23に示す。図23に示す通り、発光素子2の発光スペクトルは550 nm、620 nm付近にそれぞれピークを有しており、燐光性有機金属イリジウム錯体[Ir(mppm)₂(acac)](略称)、[Ir(tppr)₂(dpm)](略称)の発光に由来していることが示唆される。

40

【0253】

なお、2mDBTPDBq-II(略称)と、PCBA1BP(略称)と、2mDBTPDBq-II(略称)およびPCBA1BP(略称)の混合膜を作製し、それぞれのフォトルミネッセンス(PL)を測定した。その結果、2mDBTPDBq-II(略称)の蒸着膜のフォトルミネッセンス(PL)ピーク波長は426 nmであり、PCBA1BP(略称)の蒸着膜のPLピーク波長は416 nmであるのに対し、これらを共蒸着した混合膜のPLピーク波長は519 nmであり、大きく長波長シフトしていた。したがって

50

、2mDBTPDBq-II(略称)とPCBA1BP(略称)は励起錯体を形成する組み合わせであることがわかった。

【実施例3】

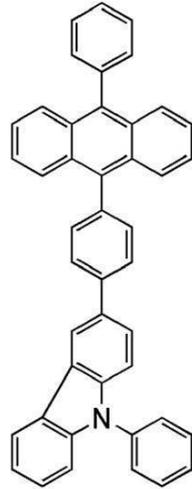
【0254】

本実施例では、図24に示す発光素子3を作製し、その動作特性や信頼性について測定した。なお、本実施例で作製した発光素子3は、実施の形態3で説明した、電荷発生層を挟んでEL層を複数有する構造の発光素子(以下、タンデム型発光素子という)である。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

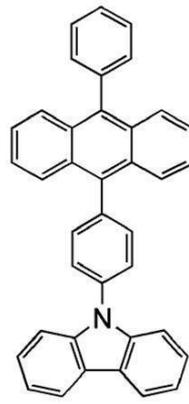
【0255】

【化3】

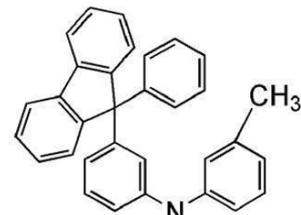
10



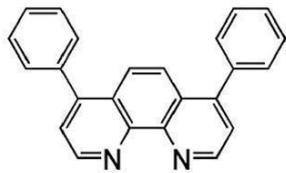
PCzPA



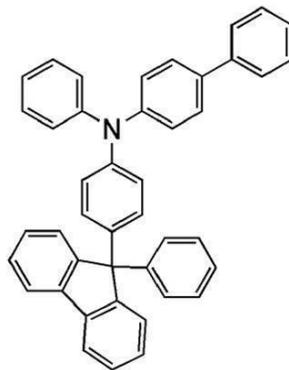
CzPA



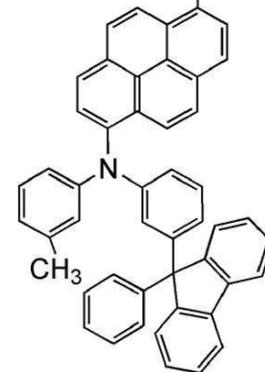
1,6mMemFLPAPrn



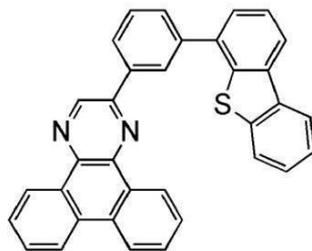
BPhen



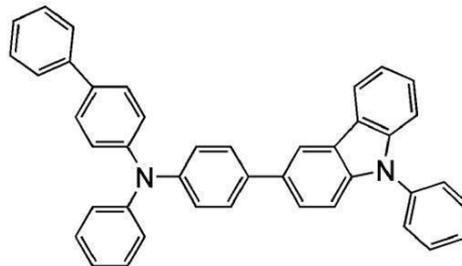
BPAFLP



1,6mMemFLPAPrn



2mDBTPDBq-II

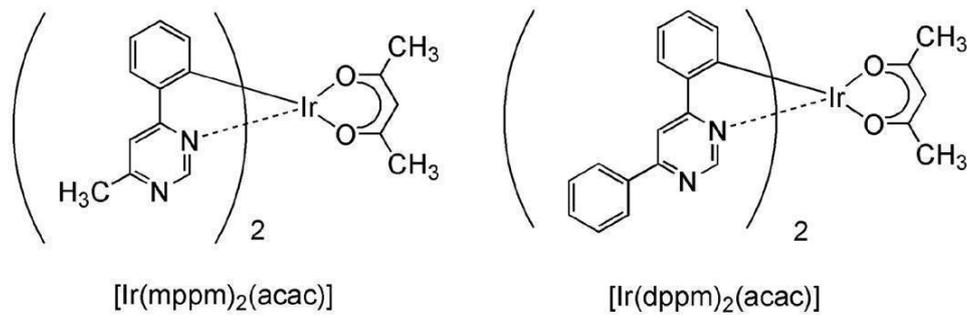


PCBA1BP

【0256】

40

【化4】



10

【0257】

発光素子3の作製

まず、ガラス製の基板3000上に酸化珪素を含むインジウム錫酸化物（ITO）をスパッタリング法により成膜し、陽極として機能する第1の電極3001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。

【0258】

次に、基板3000上に発光素子3を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

20

【0259】

その後、 10^{-4} Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、真空蒸着装置内の加熱室において、170℃で30分間の真空焼成を行った後、基板3000を30分程度放冷した。

【0260】

次に、第1の電極3001が形成された面が下方となるように、基板3000を真空蒸着装置内に設けられたホルダーに固定した。本実施例では、真空蒸着法により、第1のEL層3002aを構成する第1の正孔注入層3011a、第1の正孔輸送層3012a、発光層(A)3013a、第1の電子輸送層3014a、第1の電子注入層3015aが順次形成した後、電荷発生層3004を形成し、次に第2のEL層3002bを構成する第2の正孔注入層3011b、第2の正孔輸送層3012b、発光層(B)3013b、第2の電子輸送層3014b、第2の電子注入層3015bを形成する場合について説明する。

30

【0261】

真空装置内を 10^{-4} Paに減圧した後、9-[4-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)]フェニル-10-フェニルアントラセン（略称：PCzPA）と酸化モリブデン（VI）とを、PCzPA（略称）：酸化モリブデン=1：0.5（質量比）となるように共蒸着することにより、第1の電極3001上に第1の正孔注入層3011aを形成した。膜厚は90nmとした。なお、共蒸着とは、異なる複数の物質をそれぞれ異なる蒸発源から同時に蒸発させる蒸着法である。

40

【0262】

次に、PCzPA（略称）を30nm蒸着することにより、第1の正孔輸送層3012aを形成した。

【0263】

次に、第1の正孔輸送層3012a上に発光層(A)3013aを形成した。9-[4-(10-フェニル-9-アントラセニル)フェニル]-9H-カルバゾール（略称：CzPA）、N,N'-ビス(3-メチルフェニル)-N,N'-ビス[3-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]-ピレン-1,6-ジアミン（略称：1,6mMemFLPAPrn）を、CzPA（略称）：1,6mMemFLPAPrn（略称）=1：0.05（質量比）となるように共蒸着し、発光層(A)3013aを形成し

50

た。膜厚は、30 nmとした。

【0264】

次に、発光層(A)3013a上にCzPA(略称)を5 nm蒸着した後、さらに、バソフェナントロリン(略称: Bphen)を15 nm蒸着することにより、第1の電子輸送層3014aを形成した。さらに第1の電子輸送層3014a上に、酸化リチウム(Li₂O)を0.1 nm蒸着することにより、第1の電子注入層3015aを形成した。

【0265】

次に、第1の電子注入層3015a上に、銅フタロシアニン(略称: CuPc)を膜厚2 nmで蒸着することにより、電荷発生層3004を形成した。

【0266】

次に、電荷発生層3004上に、4-フェニル-4'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン(略称: BPAFLP)と酸化モリブデン(VI)とを、BPAFLP(略称):酸化モリブデン=1:0.5(質量比)となるように共蒸着することにより、第2の正孔注入層3011bを形成した。膜厚は60 nmとした。

【0267】

次に、BPAFLP(略称)を20 nm蒸着することにより、第2の正孔輸送層3012bを形成した。

【0268】

次に、第2の正孔輸送層3012b上に発光層(B)3013bを形成した。2-[3-(ジベンゾチオフェン-4-イル)フェニル]ジベンゾ[f, h]キノキサリン(略称: 2mDBTPDBq-II)、4-フェニル-4'-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン(略称: PCBA1BP)、(アセチルアセトナト)ビス(6-メチル-4-フェニルピリミジナト)イリジウム(III)(略称: [Ir(mppm)₂(acac)])を、2mDBTPDBq-II(略称):PCBA1BP(略称):[Ir(mppm)₂(acac)](略称)=0.6:0.4:0.06(質量比)となるよう共蒸着し、1層目の発光層(第1の発光層)3013(b1)を10 nmの膜厚で形成した後、2mDBTPDBq-II(略称)、PCBA1BP(略称)、(アセチルアセトナト)ビス(4,6-ジフェニルピリミジナト)イリジウム(III)(略称: [Ir(dppm)₂(acac)])を、2mDBTPDBq-II(略称):PCBA1BP(略称):[Ir(dppm)₂(acac)](略称)=0.8:0.2:0.06(質量比)となるように共蒸着し、2層目の発光層(第2の発光層)3013(b2)を30 nmの膜厚で形成することで積層構造を有する発光層(B)3013bを形成した。

【0269】

次に、発光層(B)3013b上に2mDBTPDBq-II(略称)を15 nm蒸着した後、Bphen(略称)を15 nm蒸着することにより、第2の電子輸送層3014bを形成した。さらに第2の電子輸送層3014b上に、フッ化リチウム(LiF)を1 nm蒸着することにより、第2の電子注入層3015bを形成した。

【0270】

最後に、第2の電子注入層3015b上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように蒸着し、陰極となる第2の電極3003形成し、発光素子3を得た。なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【0271】

以上により得られた発光素子3の素子構造を表5に示す。

【0272】

10

20

30

40

【表 5】

	第1の電極	第1の正孔注入層	第1の正孔輸送層	発光層(A)	第1の電子輸送層	第1の電子注入層	電荷発生層
発光素子 3	ITSO (110nm)	PCzPA:MoOx (1:0.5 90nm)	PCzPA (30nm)	CzPA :1.6mMemFLPAPrn (1:0.05 30nm)	CzPA (5nm) Bphen (15nm)	Li ₂ O (0.1nm)	CuPc (2nm)
	第2の正孔注入層	第2の正孔輸送層	発光層(B)	第2の電子輸送層	第2の電子注入層	第2の電極	
	BPAFLP:MoOx (1:0.5 60nm)	BPAFLP (20nm)	*	2mDBTPDBq-II (15nm) Bphen (15nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)	

* 2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(mppm)₂(acac)] (0.6:0.4:0.06 10nm)\2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(dppm)₂(acac)] (0.8:0.2:0.06 30nm)

10

【 0 2 7 3 】

また、作製した発光素子 3 は、大気に曝されないように窒素雰囲気グローブボックス内において封止した（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に 80 にて 1 時間熱処理）。

【 0 2 7 4 】

発光素子 3 の動作特性

作製した発光素子 3 の動作特性について測定した。なお、測定は室温（ 2 5 に保たれた雰囲気）で行った。

【 0 2 7 5 】

まず、発光素子 3 の電流密度 - 輝度特性を図 2 5 に示す。なお、図 2 5 において、縦軸は、輝度（ c d / m ² ）、横軸は電流密度（ m A / c m ² ）を示す。また、発光素子 3 の電圧 - 輝度特性を図 2 6 に示す。なお、図 2 6 において、縦軸は、輝度（ c d / m ² ）、横軸は、電圧（ V ）を示す。また、発光素子 3 の輝度 - 電流効率特性を図 2 7 に示す。なお、図 2 7 において、縦軸は、電流効率（ c d / A ）、横軸は、輝度（ c d / m ² ）を示す。また、発光素子 3 の電圧 - 電流特性を図 2 8 に示す。なお、図 2 8 において、縦軸は、電流（ m A ）、横軸は、電圧（ V ）を示す。

20

【 0 2 7 6 】

図 2 7 より、本発明の一態様である発光素子 3 は、高効率な素子であることがわかった。また、 1 0 0 0 c d / m ² 付近における発光素子 3 の主な初期特性値を以下の表 6 に示す。

30

【 0 2 7 7 】

【表 6】

	電圧 (V)	電流 (mA)	電流密度 (mA/cm ²)	色度(x,y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	パワー効率 (lm/W)	外部量子効率 (%)
発光素子 3	6	0.044	1.1	(0.44,0.38)	850	77	41	31

【 0 2 7 8 】

上記結果から、本実施例で作製した発光素子 3 は、高い外部量子効率を示しているため、高い発光効率を示すことが分かる。

40

【 0 2 7 9 】

また、発光素子 3 に 2 5 m A / c m ² の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを、図 2 9 に示す。図 2 9 に示す通り、発光素子 3 の発光スペクトルは 4 6 7 n m 、 5 8 7 n m にそれぞれピークを有しており、各発光層に含まれる燐光性有機金属イリジウム錯体の発光に由来していることが示唆される。

【 0 2 8 0 】

なお、実施例 2 で示したのと同様に、 2 m D B T P D B q - I I （略称）と P C B A 1 B P （略称）は励起錯体を形成する組み合わせである。

50

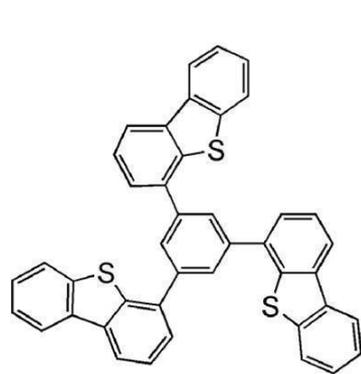
【実施例 4】

【0281】

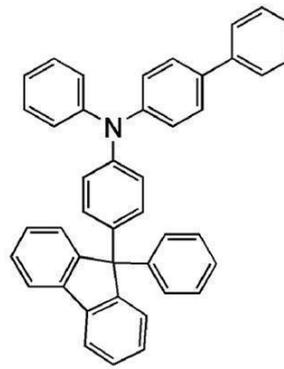
本実施例では、本発明の一態様である発光素子 4 について図 12 を用いて説明する。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

【0282】

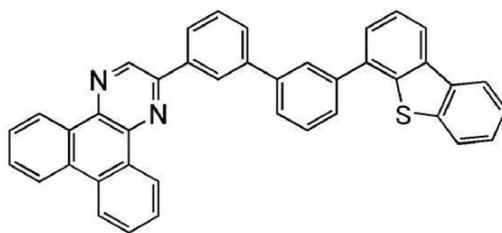
【化 5】



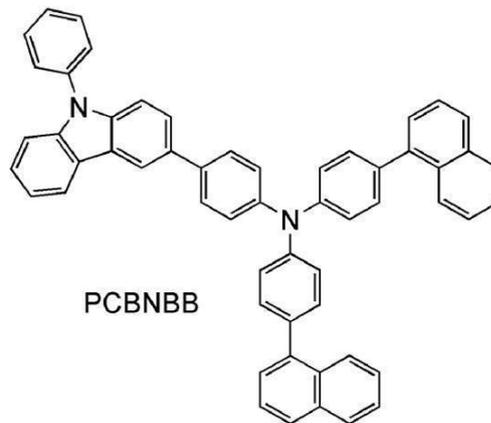
DBT3P-II



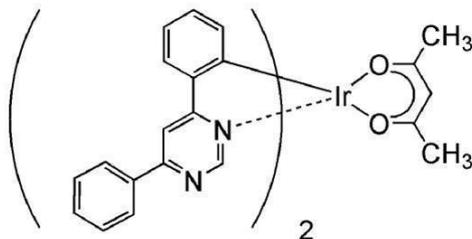
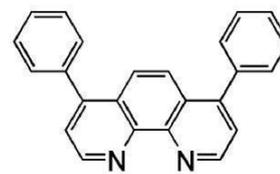
BPAFLP



2mDBTBPDBq-II



PCBNBB

[Ir(dppm)₂(acac)]

BPhen

【0283】

発光素子 4 の作製

まず、ガラス製の基板 1100 上に酸化珪素を含むインジウム錫酸化物 (ITO) をスパッタリング法により成膜し、陽極として機能する第 1 の電極 1101 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。

【0284】

次に、基板 1100 上に発光素子 4 を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200 °C で 1 時間焼成した後、UV オゾン処理を 370 秒行った。

【0285】

その後、 1.0×10^{-4} Pa 程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、真空蒸着装置内の加熱室において、170 °C で 30 分間の真空焼成を行った後、基板 1100 を

10

20

30

40

50

30分程度放冷した。

【0286】

次に、第1の電極1101が形成された面が下方となるように、基板1100を真空蒸着装置内に設けられたホルダーに固定した。本実施例では、真空蒸着法により、EL層1102を構成する正孔注入層1111、正孔輸送層1112、発光層1113、電子輸送層1114、電子注入層1115が順次形成される場合について説明する。

【0287】

真空装置内を 10^{-4} Paに減圧した後、1, 3, 5 - トリ(ジベンゾチオフェン - 4 - イル) - ベンゼン(略称: DBT3P - II)と酸化モリブデン(VI)とを、DBT3P - II(略称): 酸化モリブデン = 4 : 2(質量比)となるように共蒸着することにより、第1の電極1101上に正孔注入層1111を形成した。膜厚は20 nmとした。なお、共蒸着とは、異なる複数の物質をそれぞれ異なる蒸発源から同時に蒸発させる蒸着法である。

【0288】

次に、4 - フェニル - 4' - (9 - フェニルフルオレン - 9 - イル)トリフェニルアミン(略称: BPAFLP)を20 nm蒸着することにより、正孔輸送層1112を形成した。

【0289】

次に、正孔輸送層1112上に発光層1113を形成した。2 - [3' - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル)ピフェニル - 3 - イル]ジベンゾ[f, h]キノキサリン(略称: 2mDBTBPD Bq - II)、4, 4' - ジ(1 - ナフチル) - 4'' - (9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル)トリフェニルアミン(略称: PCBNBB)、(アセチルアセトナト)ピス(4, 6 - ジフェニルピリミジナト)イリジウム(III)(略称: [Ir(dppm)₂(acac)]₂)を、2mDBTBPD Bq - II(略称): PCBNBB(略称): [Ir(dppm)₂(acac)](略称) = 0.7 : 0.3 : 0.05(質量比)となるよう共蒸着し、第1の発光層1113aを20 nmの膜厚で形成した後、2mDBTBPD Bq - II(略称): PCBNBB(略称): [Ir(dppm)₂(acac)](略称) = 0.8 : 0.2 : 0.05(質量比)となるように共蒸着し、第2の発光層1113bを20 nmの膜厚で形成することで積層構造を有する発光層1113を形成した。

【0290】

次に、発光層1113上に2mDBTBPD Bq - II(略称)を20 nm蒸着した後、バソフェナントロリン(略称: Bphen)を20 nm蒸着することにより、電子輸送層1114を形成した。さらに電子輸送層1114上に、フッ化リチウムを1 nm蒸着することにより、電子注入層1115を形成した。

【0291】

最後に、電子注入層1115上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように蒸着し、陰極となる第2の電極1103形成し、発光素子4を得た。なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【0292】

以上により得られた発光素子4の素子構造を表7に示す。

【0293】

【表7】

	第1の電極	正孔注入層	正孔輸送層	発光層		電子輸送層		電子注入層	第2の電極
発光素子4	ITSO (110nm)	DBT3P-II:MoO _x (4:2 20nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	2mDBTBPD Bq-II (20nm)	Bphen (20nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

* 2mDBTBPD Bq-II:PCBNBB:[Ir(dppm)₂(acac)] (0.7:0.3:0.05 20nm)

** 2mDBTBPD Bq-II:PCBNBB:[Ir(dppm)₂(acac)] (0.8:0.2:0.05 20nm)

10

20

30

40

50

【0294】

また、作製した発光素子4は、大気に曝されないように窒素雰囲気グローブボックス内において封止した（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に80℃にて1時間熱処理）。

【0295】

発光素子4の動作特性

作製した発光素子4の動作特性について測定した。なお、測定は室温（25℃に保たれた雰囲気）で行った。

【0296】

まず、発光素子4の電流密度 - 輝度特性を図30に示す。なお、図30において、縦軸は、輝度（ cd/m^2 ）、横軸は電流密度（ mA/cm^2 ）を示す。また、発光素子4の電圧 - 輝度特性を図31に示す。なお、図31において、縦軸は、輝度（ cd/m^2 ）、横軸は、電圧（V）を示す。また、発光素子4の輝度 - 電流効率特性を図32に示す。なお、図32において、縦軸は、電流効率（ cd/A ）、横軸は、輝度（ cd/m^2 ）を示す。また、発光素子4の電圧 - 電流特性を図33に示す。なお、図33において、縦軸は、電流（mA）、横軸は、電圧（V）を示す。

【0297】

図32より、本発明の一態様である発光素子4は、高効率な素子であることがわかった。また、 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 付近における発光素子4の主な初期特性値を以下の表8に示す。

【0298】

【表8】

	電圧 (V)	電流 (mA)	電流密度 (mA/cm^2)	色度(x,y)	輝度 (cd/m^2)	電流効率 (cd/A)	パワー効率 (lm/W)	外部量子効率 (%)
発光素子 4	3	0.051	1.3	(0.57,0.43)	1000	79	81	31

【0299】

上記結果から、本実施例で作製した発光素子4は、高い外部量子効率を示しているの、高い発光効率を示すことが分かる。さらに、色純度に関しては、純度の良い橙色発光を示すことが分かる。

【0300】

また、発光素子4に $25\text{mA}/\text{cm}^2$ の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを、図34に示す。図34に示す通り、発光素子4の発光スペクトルは 586nm 付近にピークを有しており、燐光性有機金属イリジウム錯体 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ の発光に由来していることが示唆される。

【0301】

また、発光素子4についての信頼性試験の結果を図35に示す。図35において、縦軸は初期輝度を100%とした時の規格化輝度（%）を示し、横軸は素子の駆動時間（h）を示す。なお、信頼性試験は、初期輝度を $5000\text{cd}/\text{m}^2$ に設定し、電流密度一定の条件で発光素子4を駆動させた。その結果、発光素子4の1610時間後の輝度は、初期輝度のおよそ94%を保っていた。

【0302】

したがって、発光素子4は、高い信頼性を有する長寿命な発光素子であることがわかった。

【0303】

なお、実施例1で示したのと同様に、 $2\text{mDBTBPD B q - I I}$ （略称）と PCBN BB （略称）は励起錯体を形成する組み合わせである。

【実施例5】

10

20

30

40

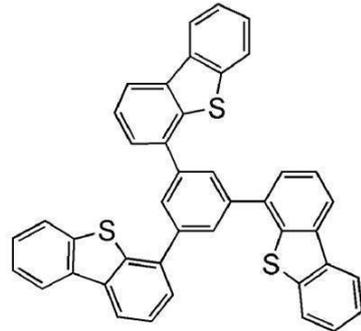
50

【0304】

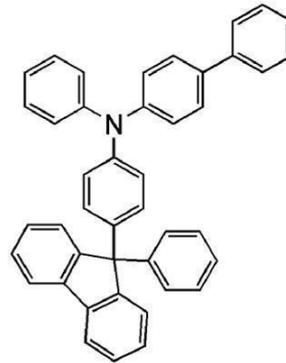
本実施例では、本発明の一態様である発光素子5について図12を用いて説明する。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

【0305】

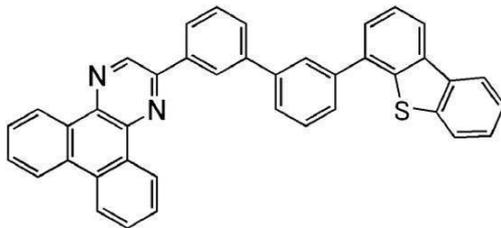
【化6】



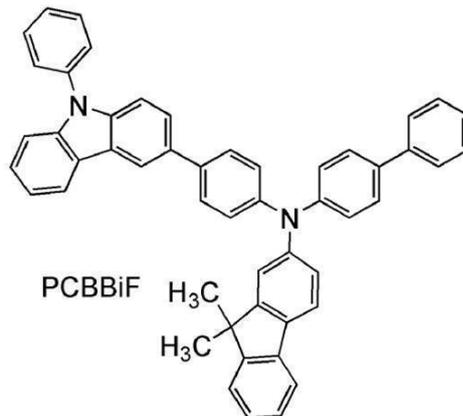
DBT3P-II



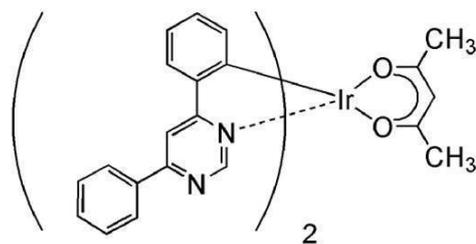
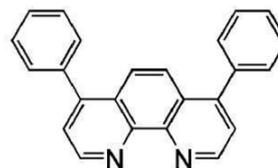
BPAFLP



2mDBTBPDBq-II



PCBBiF

[Ir(dppm)₂(acac)]

BPhen

【0306】

発光素子5の作製

まず、ガラス製の基板1100上に酸化珪素を含むインジウム錫酸化物(ITO)をスパッタリング法により成膜し、陽極として機能する第1の電極1101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。

【0307】

次に、基板1100上に発光素子5を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

【0308】

その後、 1.0×10^{-4} Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、真空蒸着装置内の加熱室において、170℃で30分間の真空焼成を行った後、基板1100を

10

20

30

40

50

30分程度放冷した。

【0309】

次に、第1の電極1101が形成された面が下方となるように、基板1100を真空蒸着装置内に設けられたホルダーに固定した。本実施例では、真空蒸着法により、EL層1102を構成する正孔注入層1111、正孔輸送層1112、発光層1113、電子輸送層1114、電子注入層1115が順次形成される場合について説明する。

【0310】

真空装置内を 1.0×10^{-4} Paに減圧した後、1,3,5-トリ(ジベンゾチオフェン-4-イル)-ベンゼン(略称:DBT3P-II)と酸化モリブデン(VI)とを、DBT3P-II(略称):酸化モリブデン=4:2(質量比)となるように共蒸着することにより、第1の電極1101上に正孔注入層1111を形成した。膜厚は20nmとした。なお、共蒸着とは、異なる複数の物質をそれぞれ異なる蒸発源から同時に蒸発させる蒸着法である。

【0311】

次に、4-フェニル-4'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン(略称:BPAFLP)を20nm蒸着することにより、正孔輸送層1112を形成した。

【0312】

次に、正孔輸送層1112上に発光層1113を形成した。2-[3'-(ジベンゾチオフェン-4-イル)ピフェニル-3-イル]ジベンゾ[f,h]キノキサリン(略称:2mDBTBPD Bq-II)、N-(1,1'-ピフェニル-4-イル)-N-[4-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)フェニル]-9,9-ジメチル-9H-フルオレン-2-アミン(略称:PCBBiF)、(アセチルアセトナト)ピス(4,6-ジフェニルピリミジナト)イリジウム(III)(略称:[Ir(dppm)₂(acac)])を、2mDBTBPD Bq-II(略称):PCBBiF(略称):[Ir(dppm)₂(acac)](略称)=0.7:0.3:0.05(質量比)となるよう共蒸着し、第1の発光層1113aを20nmの膜厚で形成した後、2mDBTBPD Bq-II(略称):PCBBiF(略称):[Ir(dppm)₂(acac)](略称)=0.8:0.2:0.05(質量比)となるように共蒸着し、第2の発光層1113bを20nmの膜厚で形成することで積層構造を有する発光層1113を形成した。

【0313】

次に、発光層1113上に2mDBTBPD Bq-II(略称)を20nm蒸着した後、バソフェナントロリン(略称:Bphen)を20nm蒸着することにより、電子輸送層1114を形成した。さらに電子輸送層1114上に、フッ化リチウムを1nm蒸着することにより、電子注入層1115を形成した。

【0314】

最後に、電子注入層1115上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように蒸着し、陰極となる第2の電極1103形成し、発光素子5を得た。なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【0315】

以上により得られた発光素子5の素子構造を表9に示す。

【0316】

【表9】

	第1の電極	正孔注入層	正孔輸送層	発光層		電子輸送層		電子注入層	第2の電極
発光素子5	ITSO (110nm)	DBT3P-II:MoOx (4:2 20nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	2mDBTBPD Bq-II (20nm)	Bphen (20nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

* 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF:[Ir(dppm)₂(acac)] (0.7:0.3:0.05 20nm)

** 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF:[Ir(dppm)₂(acac)] (0.8:0.2:0.05 20nm)

10

20

30

40

50

【0317】

また、作製した発光素子5は、大気に曝されないように窒素雰囲気グローブボックス内において封止した(シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に80℃にて1時間熱処理)。

【0318】

発光素子5の動作特性

作製した発光素子5の動作特性について測定した。なお、測定は室温(25℃に保たれた雰囲気)で行った。

【0319】

まず、発光素子5の電流密度-輝度特性を図36に示す。なお、図36において、縦軸は、輝度(cd/m²)、横軸は電流密度(mA/cm²)を示す。また、発光素子5の電圧-輝度特性を図37に示す。なお、図37において、縦軸は、輝度(cd/m²)、横軸は、電圧(V)を示す。また、発光素子5の輝度-電流効率特性を図38に示す。なお、図38において、縦軸は、電流効率(cd/A)、横軸は、輝度(cd/m²)を示す。また、発光素子5の電圧-電流特性を図39に示す。なお、図39において、縦軸は、電流(mA)、横軸は、電圧(V)を示す。

10

【0320】

図38より、本発明の一態様である発光素子5は、高効率な素子であることがわかった。また、1000cd/m²付近における発光素子5の主な初期特性値を以下の表10に示す。

20

【0321】

【表10】

	電圧 (V)	電流 (mA)	電流密度 (mA/cm ²)	色度(x,y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	パワー効率 (lm/W)	外部量子効率 (%)
発光素子5	2.8	0.047	1.2	(0.56,0.44)	1000	85	95	31

【0322】

上記結果から、本実施例で作製した発光素子5は、高い外部量子効率を示しているため、高い発光効率を示すことが分かる。さらに、色純度に関しては、純度の良い橙色発光を示すことが分かる。

30

【0323】

また、発光素子5に25mA/cm²の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを、図40に示す。図40に示す通り、発光素子5の発光スペクトルは583nm付近にピークを有しており、燐光性有機金属イリジウム錯体[Ir(dppm)₂(acac)]の発光に由来していることが示唆される。

【0324】

また、発光素子5についての信頼性試験の結果を図41に示す。図41において、縦軸は初期輝度を100%とした時の規格化輝度(%)を示し、横軸は素子の駆動時間(h)を示す。なお、信頼性試験は、初期輝度を5000cd/m²に設定し、電流密度一定の条件で発光素子5を駆動させた。その結果、発光素子5の1980時間後の輝度は、初期輝度のおよそ92%を保っていた。

40

【0325】

したがって、発光素子5は、高い信頼性を有する長寿命な発光素子であることがわかった。

【0326】

なお、2mDBTBPD Bq-II(略称)と、PCBBiF(略称)と、2mDBTBPD Bq-II(略称)およびPCBBiF(略称)の混合膜を作製し、それぞれのフォトルミネッセンス(PL)を測定した。その結果、2mDBTBPD Bq-II(略称

50

)の蒸着膜のフォトルミネッセンス(PL)ピーク波長は428nmであり、PCBBiF(略称)の蒸着膜のPLピーク波長は415nmおよび436nmであるのに対し、これらを共蒸着した混合膜のPLピーク波長は512nmであり、大きく長波長シフトした。したがって、2mDBTBPDq-III(略称)とPCBBiF(略称)は励起錯体を形成する組み合わせであることがわかった。

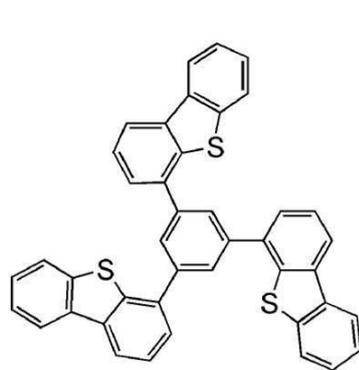
【実施例6】

【0327】

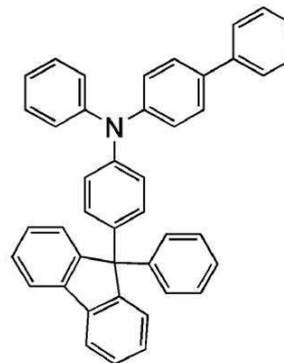
本実施例では、本発明の一態様である発光素子6について図12を用いて説明する。なお、本実施例で用いる材料の化学式を以下に示す。

【0328】

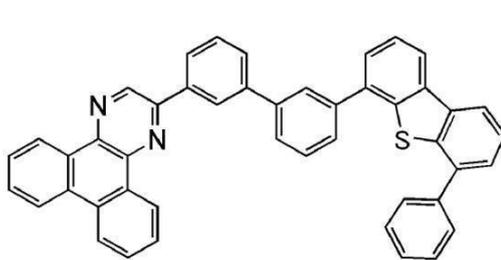
【化7】



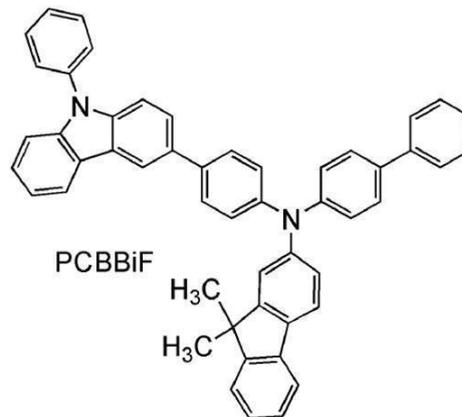
DBT3P-II



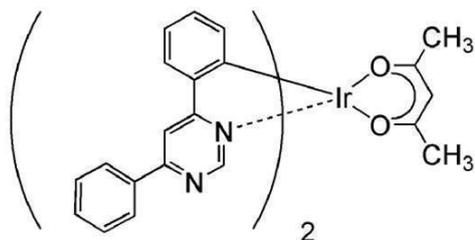
BPAFLP



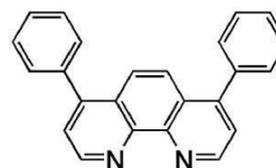
2mDBTBPDq-IV



PCBBiF



[Ir(dppm)₂(acac)]



BPhen

【0329】

発光素子6の作製

まず、ガラス製の基板1100上に酸化珪素を含むインジウム錫酸化物(ITSO)をスパッタリング法により成膜し、陽極として機能する第1の電極1101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。

10

20

30

40

50

【0330】

次に、基板1100上に発光素子6を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200 で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

【0331】

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

【0332】

次に、第1の電極1101が形成された面が下方となるように、基板1100を真空蒸着装置内に設けられたホルダーに固定した。本実施例では、真空蒸着法により、EL層1102を構成する正孔注入層1111、正孔輸送層1112、発光層1113、電子輸送層1114、電子注入層1115が順次形成される場合について説明する。

10

【0333】

真空装置内を 10^{-4} Paに減圧した後、1,3,5-トリ(ジベンゾチオフェン-4-イル)-ベンゼン(略称:DBT3P-II)と酸化モリブデン(VI)とを、DBT3P-II(略称):酸化モリブデン=4:2(質量比)となるように共蒸着することにより、第1の電極1101上に正孔注入層1111を形成した。膜厚は20nmとした。なお、共蒸着とは、異なる複数の物質をそれぞれ異なる蒸発源から同時に蒸発させる蒸着法である。

【0334】

次に、4-フェニル-4'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン(略称:BPAPLP)を20nm蒸着することにより、正孔輸送層1112を形成した。

20

【0335】

次に、正孔輸送層1112上に発光層1113を形成した。2-{3-[3-(6-フェニルジベンゾチオフェン-4-イル)フェニル]フェニル}ジベンゾ[f,h]キノキサリン(略称:2mDBTBPD Bq-IV)、N-(1,1'-ビフェニル-4-イル)-N-[4-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)フェニル]-9,9-ジメチル-9H-フルオレン-2-アミン(略称:PCBBiF)、(アセチルアセトナト)ビス(4,6-ジフェニルピリミジナト)イリジウム(III)(略称:[Ir(dppm)₂(acac)]₂)を、2mDBTBPD Bq-IV(略称):PCBBiF(略称):[Ir(dppm)₂(acac)](略称)=0.7:0.3:0.05(質量比)となるよう共蒸着し、第1の発光層1113aを20nmの膜厚で形成した後、2mDBTBPD Bq-IV(略称):PCBBiF(略称):[Ir(dppm)₂(acac)](略称)=0.8:0.2:0.05(質量比)となるように共蒸着し、第2の発光層1113bを20nmの膜厚で形成することで積層構造を有する発光層1113を形成した。

30

【0336】

次に、発光層1113上に2mDBTBPD Bq-IV(略称)を20nm蒸着した後、バソフェナントロリン(略称:Bphen)を20nm蒸着することにより、電子輸送層1114を形成した。さらに電子輸送層1114上に、フッ化リチウムを1nm蒸着することにより、電子注入層1115を形成した。

40

【0337】

最後に、電子注入層1115上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように蒸着し、陰極となる第2の電極1103形成し、発光素子6を得た。なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【0338】

以上により得られた発光素子6の素子構造を表11に示す。

【0339】

【表 1 1】

	第1の電極	正孔注入層	正孔輸送層	発光層		電子輸送層		電子注入層	第2の電極
発光素子 6	ITSO (110nm)	DBT3P-II:MoO _x (4:2 20nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	2mDBTBPDBq-IV (20nm)	Bphen (20nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

* 2mDBTBPDBq-IV:PCBBiF:[Ir(dppm)₂(acac)] (0.7:0.3:0.05 20nm)

** 2mDBTBPDBq-IV:PCBBiF:[Ir(dppm)₂(acac)] (0.8:0.2:0.05 20nm)

【0340】

また、作製した発光素子6は、大気に曝されないように窒素雰囲気グローブボックス内において封止した(シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に80℃にて1時間熱処理)。

【0341】

発光素子6の動作特性

作製した発光素子1の動作特性について測定した。なお、測定は室温(25℃)に保たれた雰囲気で行った。

【0342】

まず、発光素子6の電流密度-輝度特性を図42に示す。なお、図42において、縦軸は、輝度(cd/m^2)、横軸は電流密度(mA/cm^2)を示す。また、発光素子6の電圧-輝度特性を図43に示す。なお、図43において、縦軸は、輝度(cd/m^2)、横軸は、電圧(V)を示す。また、発光素子6の輝度-電流効率特性を図44に示す。なお、図44において、縦軸は、電流効率(cd/A)、横軸は、輝度(cd/m^2)を示す。また、発光素子6の電圧-電流特性を図45に示す。なお、図45において、縦軸は、電流(mA)、横軸は、電圧(V)を示す。

【0343】

図44より、本発明の一態様である発光素子6は、高効率な素子であることがわかった。また、 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 付近における発光素子6の主な初期特性値を以下の表12に示す。

【0344】

【表 1 2】

	電圧 (V)	電流 (mA)	電流密度 (mA/cm^2)	色度(x,y)	輝度 (cd/m^2)	電流効率 (cd/A)	パワー効率 (lm/W)	外部量子効 率 (%)
発光素子 6	3	0.04	0.99	(0.57,0.43)	1000	76	80	31

【0345】

上記結果から、本実施例で作製した発光素子6は、高い外部量子効率を示しているため、高い発光効率を示すことが分かる。さらに、色純度に関しては、純度の良い橙色発光を示すことが分かる。

【0346】

また、発光素子6に $25\text{mA}/\text{cm}^2$ の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを、図46に示す。図46に示す通り、発光素子6の発光スペクトルは587nm付近にピークを有しており、燐光性有機金属イリジウム錯体[Ir(dppm)₂(acac)]の発光に由来していることが示唆される。

【0347】

また、発光素子6についての信頼性試験の結果を図47に示す。図47において、縦軸は初期輝度を100%とした時の規格化輝度(%)を示し、横軸は素子の駆動時間(h)を示す。なお、信頼性試験は、初期輝度を $5000\text{cd}/\text{m}^2$ に設定し、電流密度一定の

10

20

30

40

50

条件で発光素子 6 を駆動させた。その結果、発光素子 6 の 8 3 3 時間後の輝度は、初期輝度のおよそ 9 1 % を保っていた。

【 0 3 4 8 】

したがって、発光素子 6 は、高い信頼性を有する長寿命な発光素子であることがわかった。

【符号の説明】

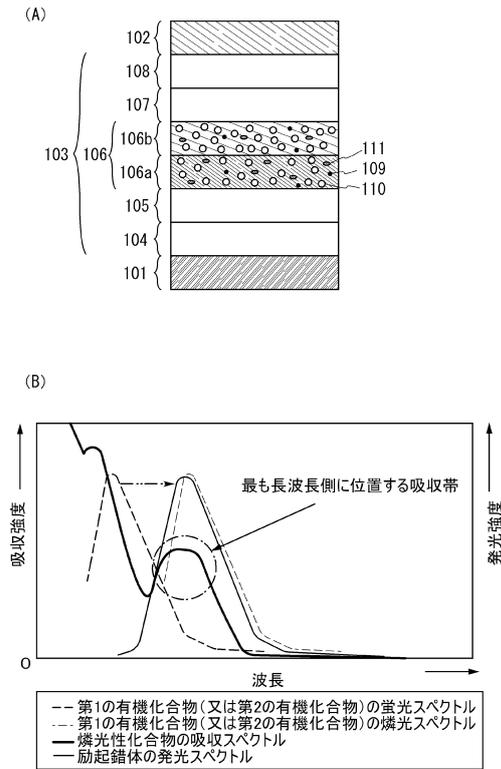
【 0 3 4 9 】

1 0 1	陽極	
1 0 2	陰極	
1 0 3	E L 層	10
1 0 4	正孔注入層	
1 0 5	正孔輸送層	
1 0 6	発光層	
1 0 6 a	第 1 の発光層	
1 0 6 b	第 2 の発光層	
1 0 7	電子輸送層	
1 0 8	電子注入層	
1 0 9	燐光性化合物	
1 1 0	第 1 の有機化合物	
1 1 1	第 2 の有機化合物	20
2 0 1	第 1 の電極 (陽極)	
2 0 2	第 2 の電極 (陰極)	
2 0 3	E L 層	
2 0 4	正孔注入層	
2 0 5	正孔輸送層	
2 0 6	発光層	
2 0 6 a	第 1 の発光層	
2 0 6 b	第 2 の発光層	
2 0 7	電子輸送層	
2 0 8	電子注入層	30
3 0 1	第 1 の電極	
3 0 2 (1)	第 1 の E L 層	
3 0 2 (2)	第 2 の E L 層	
3 0 4	第 2 の電極	
3 0 5	電荷発生層 (I)	
3 0 5 (1)	第 1 の電荷発生層 (I)	
3 0 5 (2)	第 2 の電荷発生層 (I)	
4 0 1	反射電極	
4 0 2	半透過・半反射電極	
4 0 3 a	第 1 の透明導電層	40
4 0 3 b	第 2 の透明導電層	
4 0 4 B	第 1 の発光層 (B)	
4 0 4 G	第 2 の発光層 (G)	
4 0 4 R	第 3 の発光層 (R)	
4 0 5	E L 層	
4 1 0 R	第 1 の発光素子 (R)	
4 1 0 G	第 2 の発光素子 (G)	
4 1 0 B	第 3 の発光素子 (B)	
5 0 1	素子基板	
5 0 2	画素部	50

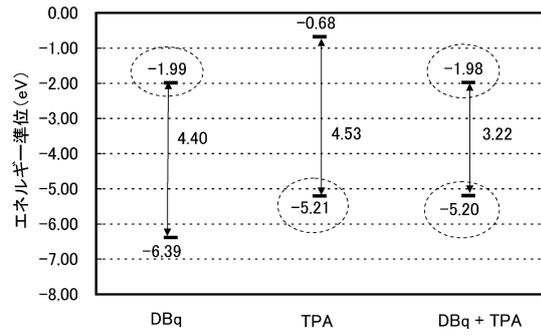
5 0 3	駆動回路部 (ソース線駆動回路)	
5 0 4 a、5 0 4 b	駆動回路部 (ゲート線駆動回路)	
5 0 5	シール材	
5 0 6	封止基板	
5 0 7	引き回し配線	
5 0 8	F P C (フレキシブルプリントサーキット)	
5 0 9	nチャンネル型 T F T	
5 1 0	pチャンネル型 T F T	
5 1 1	スイッチング用 T F T	
5 1 2	電流制御用 T F T	10
5 1 3	第 1 の電極 (陽極)	
5 1 4	絶縁物	
5 1 5	E L 層	
5 1 6	第 2 の電極 (陰極)	
5 1 7	発光素子	
5 1 8	空間	
1 1 0 0	基板	
1 1 0 1	第 1 の電極	
1 1 0 2	E L 層	
1 1 0 3	第 2 の電極	20
1 1 1 1	正孔注入層	
1 1 1 2	正孔輸送層	
1 1 1 3	発光層	
1 1 1 4	電子輸送層	
1 1 1 5	電子注入層	
3 0 0 0	基板	
3 0 0 1	第 1 の電極	
3 0 0 2 a	第 1 の E L 層、	
3 0 0 2 b	第 2 の E L 層、	
3 0 1 1 a	第 1 の正孔注入層、	
3 0 1 1 b	第 2 の正孔注入層	
3 0 1 2 a	第 1 の正孔輸送層、	
3 0 1 2 b	第 2 の正孔輸送層	30
3 0 1 3 a	発光層 (A)、	
3 0 1 3 b	発光層 (B)	
3 0 1 4 a	第 1 の電子輸送層、	
3 0 1 4 b	第 2 の電子輸送層	
3 0 1 5 a	第 1 の電子注入層、	
3 0 1 5 b	第 2 の電子注入層	
3 0 0 3	第 2 の電極	
3 0 0 4	電荷発生層	
7 1 0 0	テレビジョン装置	
7 1 0 1	筐体	
7 1 0 3	表示部	
7 1 0 5	スタンド	
7 1 0 7	表示部	40
7 1 0 9	操作キー	
7 1 1 0	リモコン操作機	
7 2 0 1	本体	
7 2 0 2	筐体	
7 2 0 3	表示部	
7 2 0 4	キーボード	
7 2 0 5	外部接続ポート	
7 2 0 6	ポインティングデバイス	
7 3 0 1	筐体	
7 3 0 2	筐体	50

7 3 0 3	連結部	
7 3 0 4	表示部	
7 3 0 5	表示部	
7 3 0 6	スピーカ部	
7 3 0 7	記録媒体挿入部	
7 3 0 8	L E Dランプ	
7 3 0 9	操作キー	
7 3 1 0	接続端子	
7 3 1 1	センサ	
7 3 1 2	マイクロフォン	10
7 4 0 0	携帯電話機	
7 4 0 1	筐体	
7 4 0 2	表示部	
7 4 0 3	操作ボタン	
7 4 0 4	外部接続ポート	
7 4 0 5	スピーカ	
7 4 0 6	マイク	
8 0 0 1	照明装置	
8 0 0 2	照明装置	
8 0 0 3	照明装置	20
8 0 0 4	照明装置	
9 0 3 3	留め具	
9 0 3 4	表示モード切り替えスイッチ	
9 0 3 5	電源スイッチ	
9 0 3 6	省電力モード切り替えスイッチ	
9 0 3 8	操作スイッチ	
9 6 3 0	筐体	
9 6 3 1	表示部	
9 6 3 1 a	表示部	
9 6 3 1 b	表示部	30
9 6 3 2 a	タッチパネルの領域	
9 6 3 2 b	タッチパネルの領域	
9 6 3 3	太陽電池	
9 6 3 4	充放電制御回路	
9 6 3 5	バッテリー	
9 6 3 6	D C D Cコンバータ	
9 6 3 7	操作キー	
9 6 3 8	コンバータ	
9 6 3 9	ボタン	

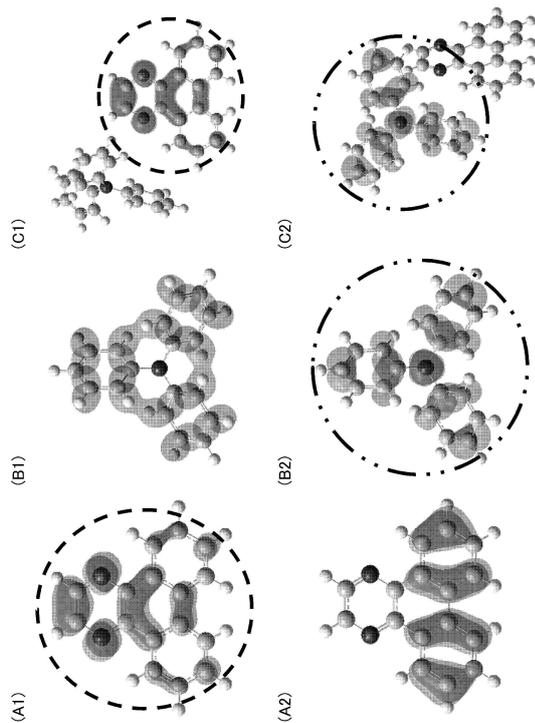
【 図 1 】



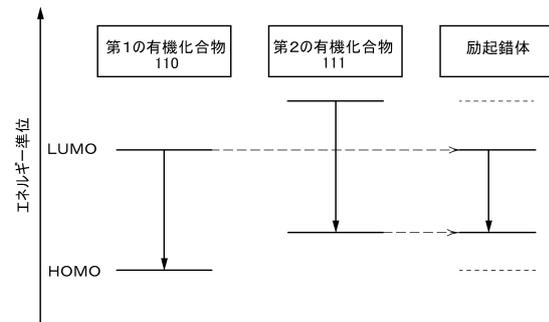
【 図 2 】



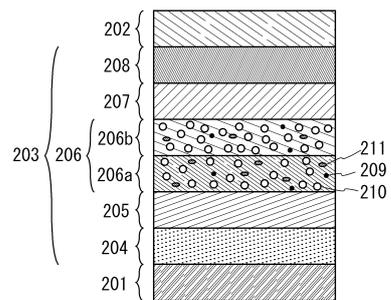
【 図 3 】



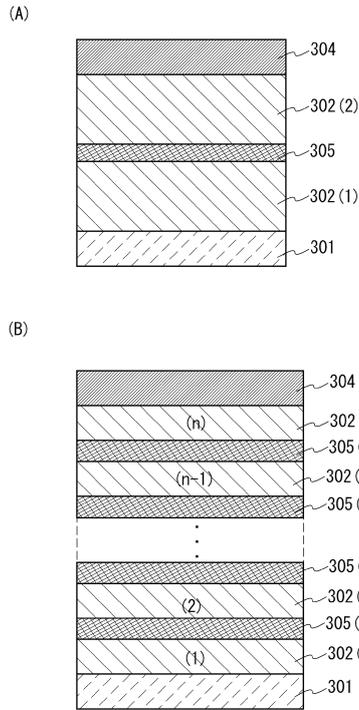
【 図 4 】



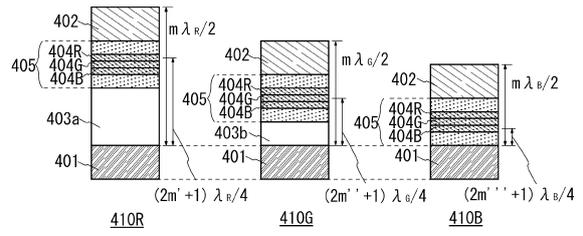
【 図 5 】



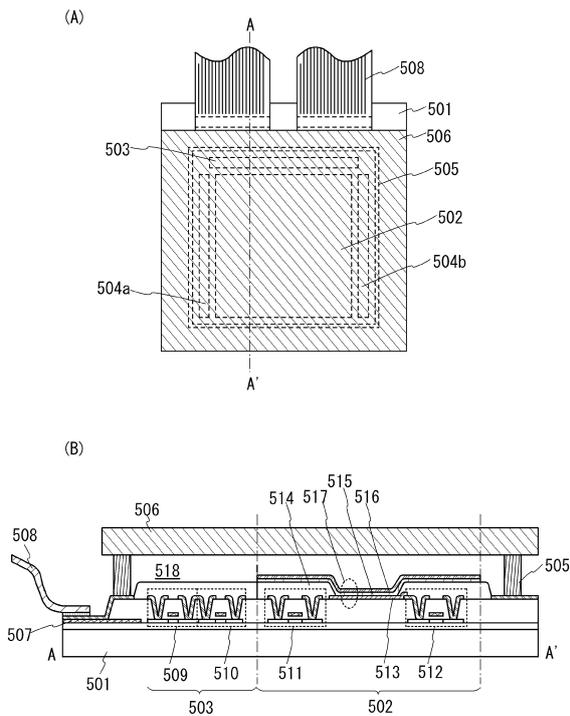
【 図 6 】



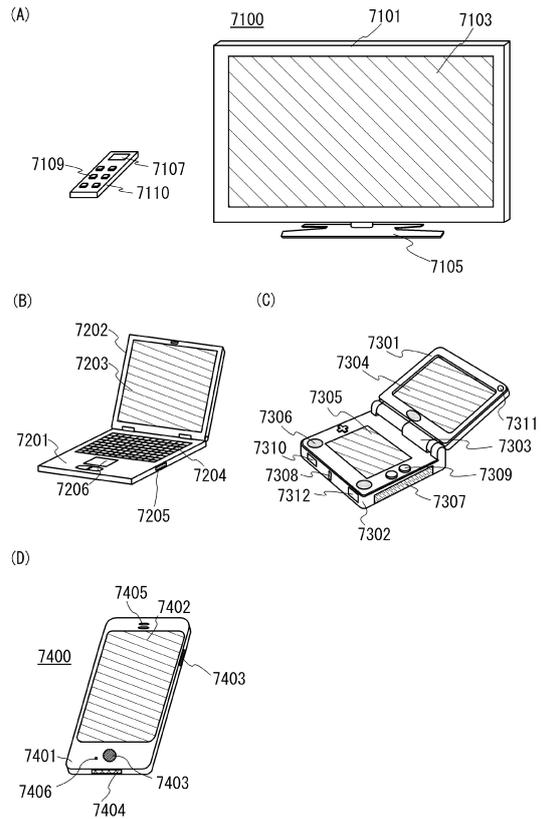
【 図 7 】



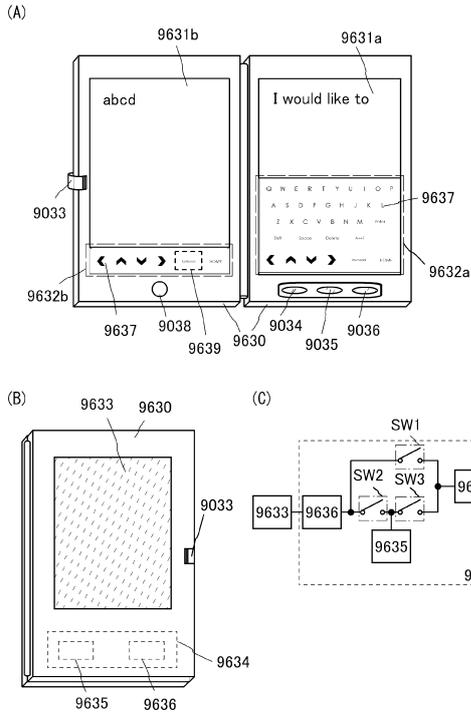
【 図 8 】



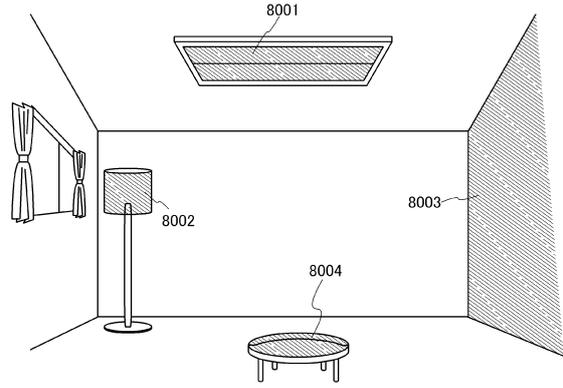
【 図 9 】



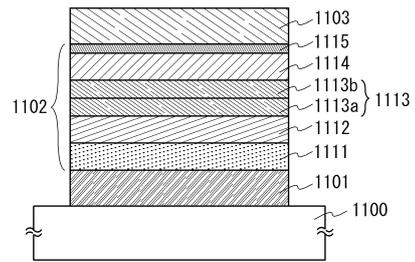
【図10】



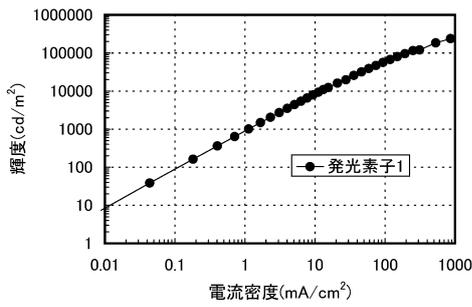
【図11】



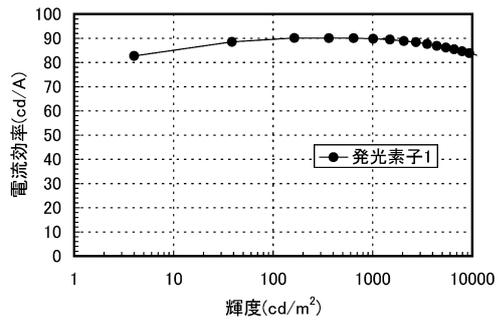
【図12】



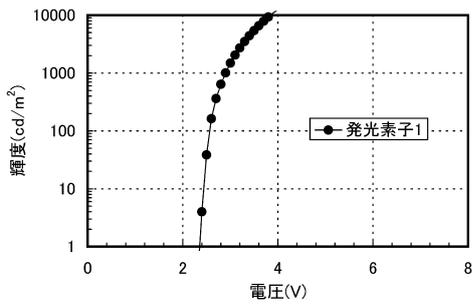
【図13】



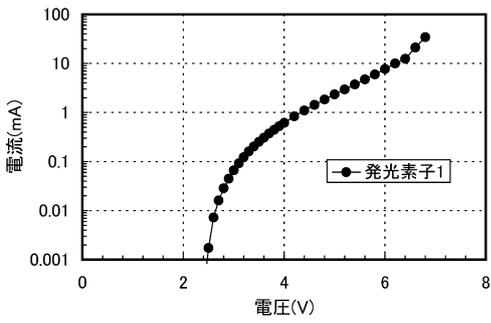
【図15】



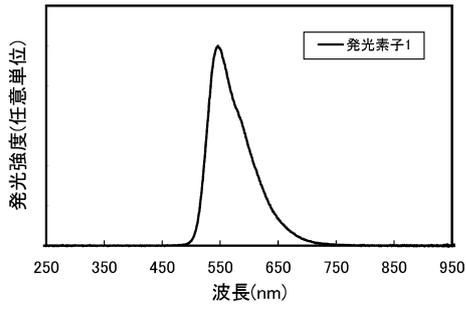
【図14】



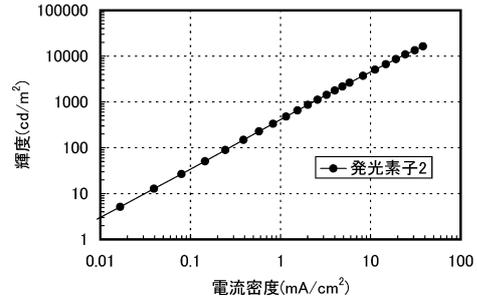
【図16】



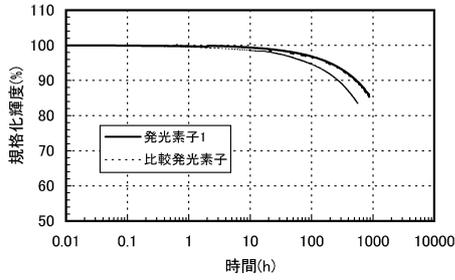
【 図 1 7 】



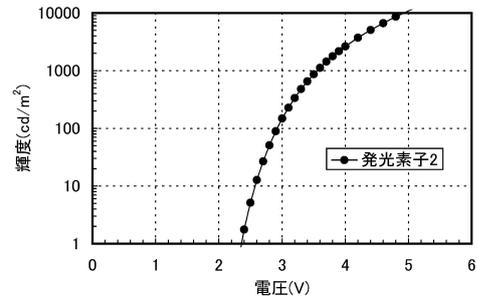
【 図 1 9 】



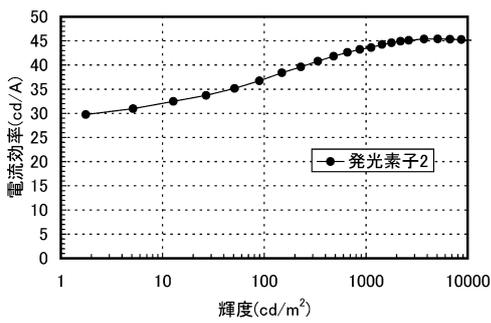
【 図 1 8 】



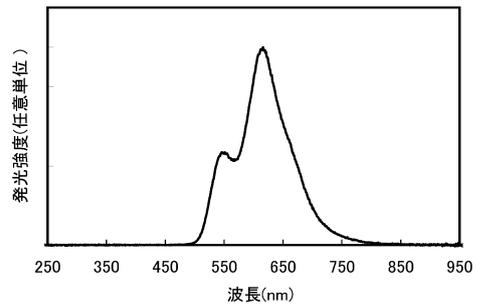
【 図 2 0 】



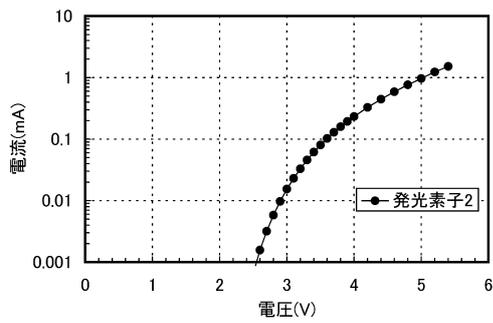
【 図 2 1 】



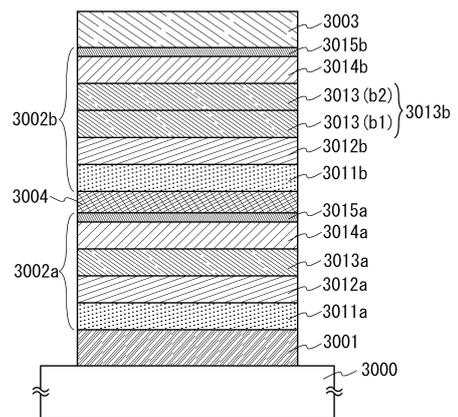
【 図 2 3 】



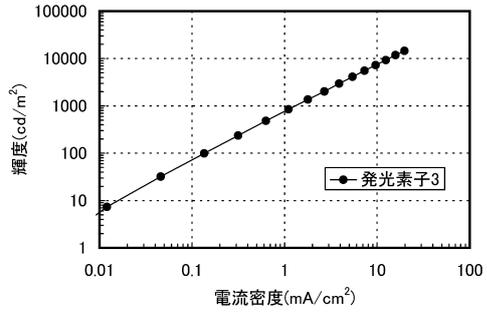
【 図 2 2 】



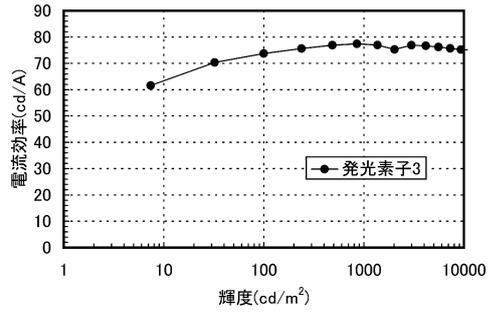
【 図 2 4 】



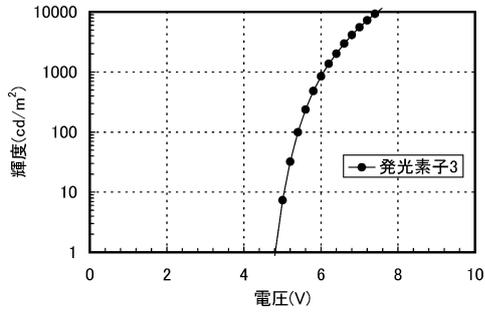
【 図 2 5 】



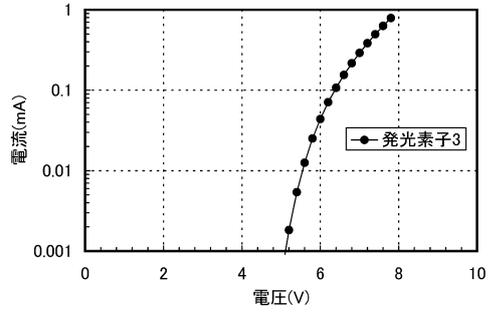
【 図 2 7 】



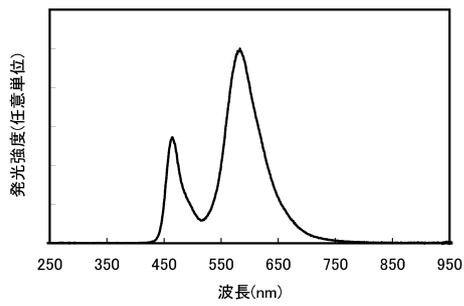
【 図 2 6 】



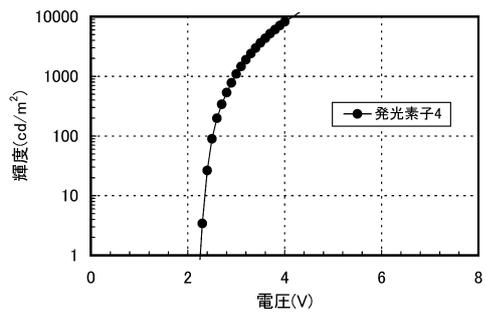
【 図 2 8 】



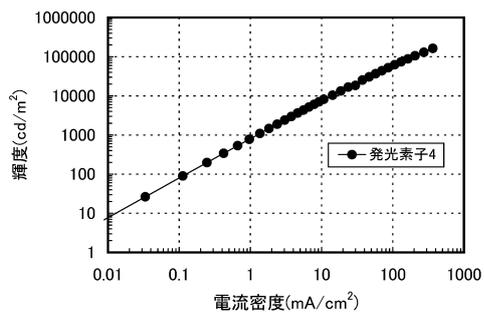
【 図 2 9 】



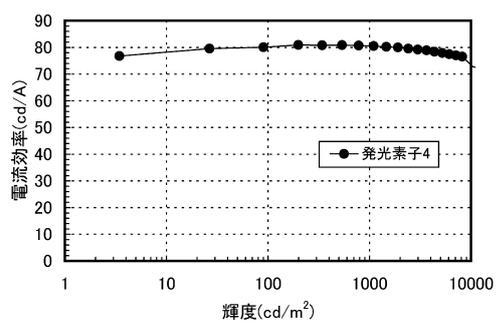
【 図 3 1 】



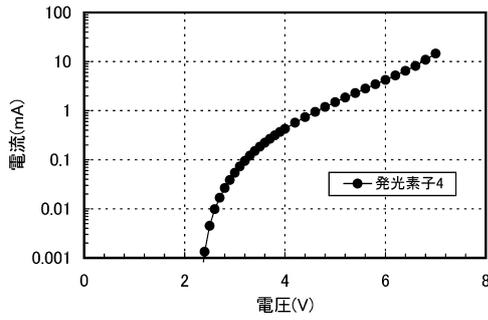
【 図 3 0 】



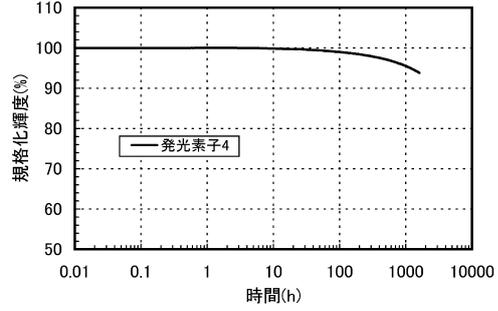
【 図 3 2 】



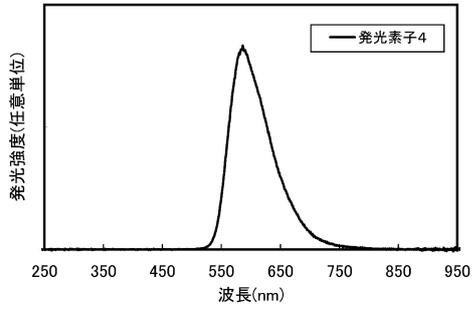
【 図 3 3 】



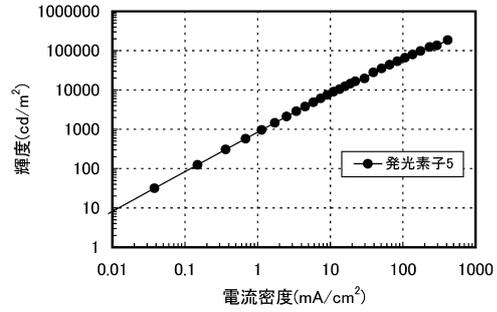
【 図 3 5 】



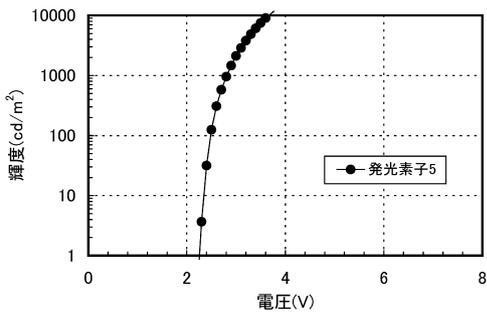
【 図 3 4 】



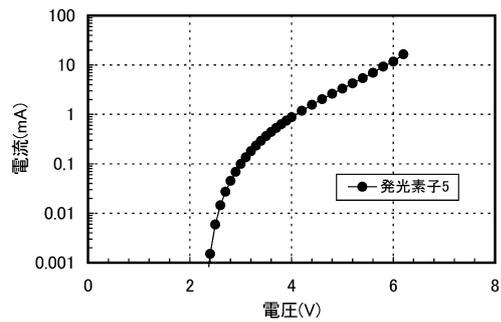
【 図 3 6 】



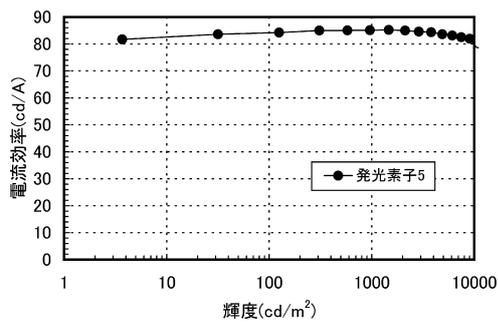
【 図 3 7 】



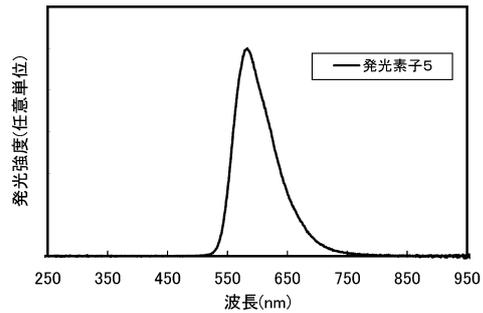
【 図 3 9 】



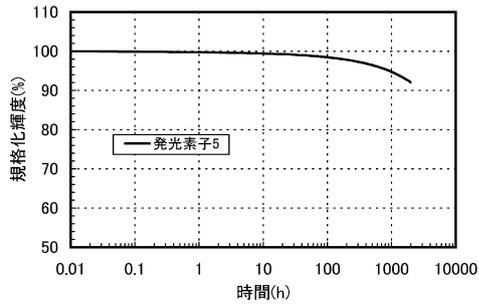
【 図 3 8 】



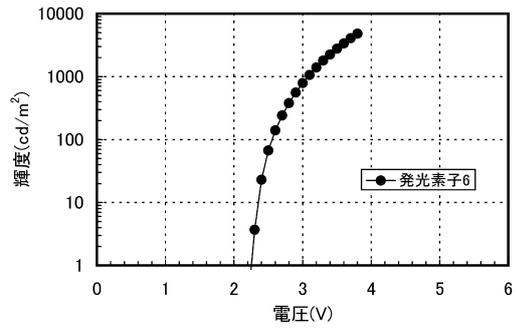
【 図 4 0 】



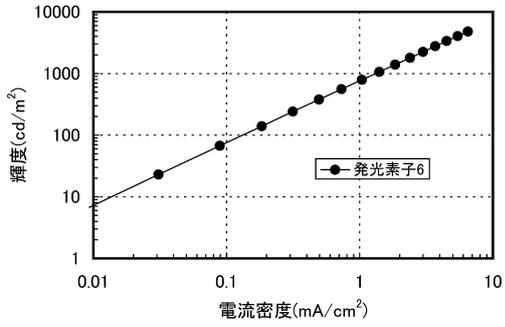
【 図 4 1 】



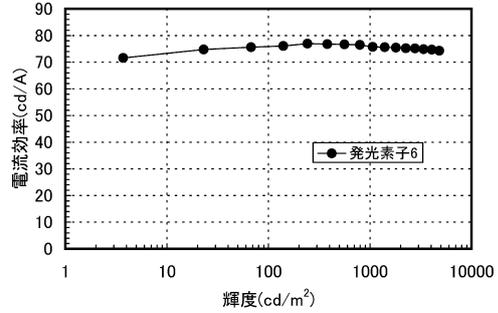
【 図 4 3 】



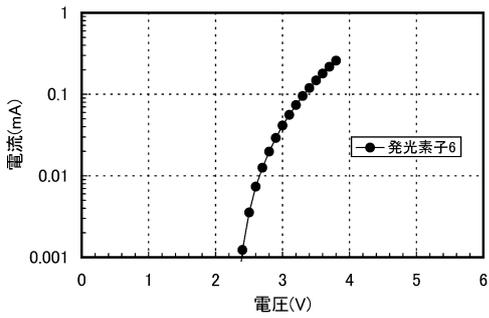
【 図 4 2 】



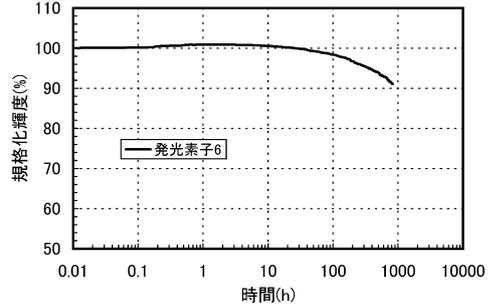
【 図 4 4 】



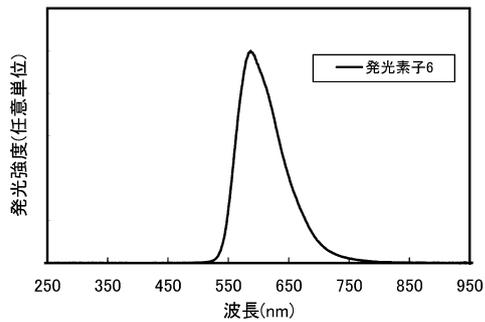
【 図 4 5 】



【 図 4 7 】



【 図 4 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 佐々木 俊毅
神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内
- (72)発明者 上坂 正吾
神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

審査官 中山 佳美

- (56)参考文献 特開2006-203172(JP,A)
特開2010-086952(JP,A)
特開2012-004526(JP,A)
特開2011-258373(JP,A)
Phosphorescence from iridium complexes doped into polymer blends, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 米国, 2004年 2月, Vol.95, No.3, 948-953

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|---------------|
| H01L | 51/50 - 51/56 |
| H01L | 27/32 |
| H05B | 33/00 - 33/28 |