

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6159037号
(P6159037)

(45) 発行日 平成29年7月5日(2017.7.5)

(24) 登録日 平成29年6月16日(2017.6.16)

(51) Int. Cl.	F I		
HO 1 L 51/50 (2006.01)	HO 5 B 33/14	B	
HO 1 L 27/32 (2006.01)	HO 1 L 27/32		
GO 9 F 9/30 (2006.01)	GO 9 F 9/30	3 6 5	

請求項の数 6 (全 68 頁)

(21) 出願番号	特願2017-1815 (P2017-1815)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成29年1月10日 (2017.1.10)		株式会社半導体エネルギー研究所
(62) 分割の表示	特願2013-52791 (P2013-52791) 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15日 (2013.3.15)	(72) 発明者	瀬尾 哲史
(65) 公開番号	特開2017-63233 (P2017-63233A)		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29年3月30日 (2017.3.30)	(72) 発明者	山崎 舜平
審査請求日	平成29年1月27日 (2017.1.27)		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2012-96808 (P2012-96808)	(72) 発明者	石曾根 崇浩
(32) 優先日	平成24年4月20日 (2012.4.20)		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	日本国 (JP)		
早期審査対象出願		審査官	大竹 秀紀
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子、照明装置、発光装置、表示装置、電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の電極と、第2の電極と、を有し、
前記第1の電極と前記第2の電極との間に、第1のりん光性化合物と、第2のりん光性化合物と、を有し、

前記第1のりん光性化合物と前記第2のりん光性化合物との距離は、1 nm以上20 nm以下であり、

前記第2のりん光性化合物の発光は、前記第1のりん光性化合物の発光よりも長波長であり、

前記第2のりん光性化合物の ()⁴ で表される関数の最も長波長側の極大値を有する山は、前記第1のりん光性化合物のりん光発光スペクトル F () の最大値を有する山と重なりを有する発光素子。

(ただし、 () はモル吸光係数を表し、波長 の関数である。)

【請求項2】

第1の電極と、第2の電極と、を有し、
前記第1の電極と前記第2の電極との間に、第1のりん光性化合物と、第2のりん光性化合物と、を有し、

前記第1のりん光性化合物と前記第2のりん光性化合物との距離は、1 nm以上20 nm以下であり、

前記第2のりん光性化合物の発光は、前記第1のりん光性化合物の発光よりも長波長で

あり、

前記第2のりん光性化合物の ()⁴ で表される関数の最も長波長側の極大値を有する山は、前記第1のりん光性化合物のりん光発光スペクトル F () の最大値を有する山と重なりを有し、

前記第1のりん光性化合物から前記第2のりん光性化合物へフェルスター機構を利用してエネルギーが移動する発光素子。

(ただし、 () はモル吸光係数を表し、波長 の関数である。)

【請求項3】

請求項1または請求項2に記載の発光素子を有する照明装置。

【請求項4】

請求項1または請求項2に記載の発光素子と、前記発光素子を制御する手段と、を有する発光装置。

【請求項5】

請求項1または請求項2に記載の発光素子を表示部に有し、前記発光素子を制御する手段を有する表示装置。

【請求項6】

請求項1または請求項2に記載の発光素子を有する電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、有機化合物を発光物質として用いた発光素子、表示装置、発光装置、電子機器及び照明装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、エレクトロルミネッセンス (EL: Electroluminescence) を利用した発光素子の研究開発が盛んに行われている。これら発光素子の基本的な構成は、一对の電極間に発光物質を含む層 (EL層) を挟んだものである。この素子に電圧を印加することにより、発光物質からの発光を得ることができる。

【0003】

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

【0004】

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

【0005】

発光物質に有機化合物を用い、一对の電極間に当該EL層を設けた有機EL素子の場合、一对の電極間に電圧を印加することにより、陰極から電子が、陽極から正孔 (ホール) がそれぞれ発光性のEL層に注入され、電流が流れる。そして、注入された電子及び正孔が再結合することによって発光性の有機化合物が励起状態となり、励起された発光性の有機化合物から発光を得ることができる。

【0006】

有機化合物が形成する励起状態の種類としては、一重項励起状態と三重項励起状態があり、一重項励起状態 (S^*) からの発光が蛍光、三重項励起状態 (T^*) からの発光がりん光と呼ばれている。また、当該発光素子におけるその統計的な生成比率は、 $S^* : T^* = 1 : 3$ であると考えられている。

10

20

30

40

50

【0007】

一重項励起状態から発光する化合物（以下、蛍光性化合物と称す）では室温において、通常、三重項励起状態からの発光（りん光）は観測されず、一重項励起状態からの発光（蛍光）のみが観測される。したがって、蛍光性化合物を用いた発光素子における内部量子効率（注入したキャリアに対して発生するフォトンの割合）の理論的境界は、 $S^* : T^* = 1 : 3$ であることを根拠に25%とされている。

【0008】

一方、三重項励起状態から発光する化合物（以下、りん光性化合物と称す）を用いれば、三重項励起状態からの発光（りん光）が観測される。また、りん光性化合物は項間交差（一重項励起状態から三重項励起状態へ移ること）が起こりやすいため、内部量子効率は100%まで理論上は可能となる。つまり、蛍光性化合物より高い発光効率を実現可能となる。このような理由から、高効率な発光素子を実現するために、りん光性化合物を用いた発光素子の開発が近年盛んに行われている。

10

【0009】

特許文献1では、複数の発光ドーパントを含む発光領域を有し、当該発光ドーパントがりん光を発する白色発光素子が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特表2004-522276号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

理論的に内部量子効率100%が可能なりん光性化合物ではあるが、素子構造や、他の材料との組み合わせの最適化無しでは、高い効率を実現することは難しい。特に、異なるバンド（発光色）のりん光性化合物を発光ドーパントとし複数種類用いる発光素子においては、エネルギー移動を考慮するのはもちろんのこと、当該エネルギー移動自体の効率を最適化せずには高い効率の発光を得ることは困難である。実際、上記特許文献1では、発光ドーパントがすべてりん光の素子であってもその外部量子効率は3~4%程度である。これは、光取り出し効率を考慮したとしても、内部量子効率は20%以下であると考えられ、りん光発光素子としては低い値であると言わざるを得ない。

30

【0012】

また、発光効率を高めるだけでなく、異なる発光色のドーパントを用いた多色発光素子においては、各発光色のドーパントがバランス良く発光することが必要である。高い発光効率を達成しつつ、各ドーパントの発光バランスをも保つのは、容易なことではない。

【0013】

そこで、本発明の一態様では、複数の発光ドーパントを用いた発光素子において、発光効率が高い発光素子を提供することを目的とする。また、本発明の一態様は、上述の発光素子を用いることにより、消費電力の低減された発光装置、表示装置、電子機器、及び照明装置を各々提供することを目的とする。

40

【0014】

本発明は上述の課題のうちいずれか一を解決すればよいものとする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明では、分子間のエネルギー移動機構の一つであるフェルスター機構に注目し、エネルギーを与える側の分子の発光スペクトルの山と、エネルギーを受け取る側の分子の吸収スペクトルに波長の4乗を掛け合わせた特性曲線における最も長波長側の極大を有する山とが重なりあうような分子の組み合わせを適用することによって上記フェルスター機構におけるエネルギー移動を効率よく可能とする。ここで、上記エネルギー移動は、一般的なホストからドーパントへのエネルギー移動ではなく、ドーパント間でのエネルギー移動で

50

あることが特徴の一つである。このように、ドーパント間でのエネルギー移動効率が高くなるような組み合わせのドーパントを適用し、さらには各ドーパント分子間を適切に隔離する素子構造を設計することで、本発明の一態様の発光素子を得ることができる。

【0016】

すなわち、本発明の一態様は、一对の電極間に、第1のりん光性化合物が、第1の宿主材料に分散された第1の発光層と、第1のりん光性化合物よりも長波長の発光を呈する第2のりん光性化合物が、第2の宿主材料に分散された第2の発光層と、を含み、第2のりん光性化合物の $(\lambda)^{-4}$ で表される関数の最も長波長側に位置する極大値の波長が第1のりん光性化合物のりん光発光スペクトル $F(\lambda)$ と重なる発光素子である。(ただし、 $(\lambda)^{-4}$ は各りん光性化合物のモル吸光係数を表し、 λ は波長の関数。)

10

【0017】

また、本発明の他の一態様は、一对の電極間に、第1のりん光性化合物が、第1の宿主材料に分散された第1の発光層と、第1のりん光性化合物よりも長波長の発光を呈する第2のりん光性化合物が、第2の宿主材料に分散された第2の発光層と、を含み、第1のりん光性化合物におけるりん光発光スペクトルの最大値が含まれる山と、第2のりん光性化合物の $(\lambda)^{-4}$ で表される関数の最も長波長側に位置する極大値が含まれる山とが重なり合う発光素子である。(ただし、 $(\lambda)^{-4}$ は各りん光性化合物のモル吸光係数を表し、 λ は波長の関数。)

【0018】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、第1の発光層はさらに、第1の有機化合物を含み、第1の宿主材料と第1の有機化合物は励起錯体を形成し、第1のりん光性化合物の発光が励起錯体の発光より長波長である発光素子である。

20

【0019】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、励起錯体の発光スペクトルと、第1のりん光性化合物の $(\lambda)^{-4}$ で表される関数の最も長波長側に位置する極大値の波長が重なる発光素子である。(ただし、 $(\lambda)^{-4}$ は各りん光性化合物のモル吸光係数を表し、 λ は波長の関数。)

【0020】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、励起錯体の発光スペクトルの最大値が含まれる山と、第1のりん光性化合物の $(\lambda)^{-4}$ で表される関数の最も長波長側に位置する極大値が含まれる山とが重なり合う発光素子である。(ただし、 $(\lambda)^{-4}$ は各りん光性化合物のモル吸光係数を表し、 λ は波長の関数。)

30

【0021】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、第1のりん光性化合物は、500 nm乃至600 nmの範囲にりん光の発光ピークを有し、第2のりん光性化合物は、600 nm乃至700 nmの範囲にりん光の発光ピークを有する発光素子である。

【0022】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、電子と正孔の再結合領域が第1の発光層である発光素子である。

【0023】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、第1の発光層が第2の発光層より陽極側に位置しており、少なくとも第2の発光層は正孔輸送性よりも電子輸送性が高い発光素子である。

40

【0024】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、第1の発光層が第2の発光層より陽極側に位置しており、第1の宿主材料及び第2の宿主材料が共に電子輸送性を有する発光素子である。なお、電子輸送性を有する材料としては正孔輸送性よりも電子輸送性が高い材料が好ましい

【0025】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、第1の発光層が第2の発光層より陰極

50

側に位置しており、少なくとも第2の発光層は電子輸送性よりも正孔輸送性が高い発光素子である。

【0026】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、第1の発光層が第2の発光層より陰極側に位置しており、第1のホスト材料及び第2のホスト材料が共に正孔輸送性を有する発光素子である。なお、正孔輸送性を有する材料としては電子輸送性よりも正孔輸送性が高い材料が好ましい。

【0027】

また、本発明の他の一態様は、上記構成において、第1の発光層及び第2の発光層は互いに接して積層されている発光素子である。

10

【0028】

また、本発明の他の一態様は、上記構成を有する発光素子を備えた発光装置、発光表示装置、電子機器及び照明装置である。

【0029】

なお、本明細書中における発光装置とは、発光素子を用いた画像表示デバイスを含む。また、発光素子にコネクタ、例えば異方導電性フィルム、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、又は発光素子に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。さらに、照明器具等に用いられる発光装置も含むものとする。

20

【発明の効果】

【0030】

本発明の一態様は、発光効率が高い発光素子を提供できる。本発明の一態様は、該発光素子を用いることにより、消費電力の低減された発光装置、発光表示装置、電子機器、及び照明装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】発光素子の概念図。

【図2】発光層のエネルギー移動を表す図

【図3】フェルスター移動を説明する図。

30

【図4】アクティブマトリクス型発光装置の概念図。

【図5】パッシブマトリクス型発光装置の概念図。

【図6】アクティブマトリクス型発光装置の概念図。

【図7】アクティブマトリクス型発光装置の概念図。

【図8】照明装置の概念図。

【図9】電子機器を表す図。

【図10】電子機器を表す図。

【図11】照明装置を表す図。

【図12】照明装置および表示装置を表す図。

【図13】車載表示装置及び照明装置を表す図。

40

【図14】電子機器を表す図。

【図15】発光素子1の輝度-電流効率特性。

【図16】発光素子1の電圧-輝度特性。

【図17】発光素子1の輝度-外部量子効率特性。

【図18】発光素子1の輝度-パワー効率特性。

【図19】発光素子1の発光スペクトル。

【図20】発光素子1のフェルスター移動を説明する図。

【図21】発光素子1のフェルスター移動を説明する図。

【図22】発光素子1のフェルスター移動を説明する図。

【図23】2mDBTPDBq-II、PCBA1BP及びそれらの混合膜のPLスペク

50

トル。

【図24】発光素子2の輝度 - 電流効率特性。

【図25】発光素子2の電圧 - 輝度特性。

【図26】発光素子2の輝度 - 外部量子効率特性。

【図27】発光素子2の輝度 - パワー効率特性。

【図28】発光素子2の発光スペクトル。

【図29】発光素子2の信頼性試験結果を表す図。

【図30】発光素子3の輝度 - 電流効率特性。

【図31】発光素子3の電圧 - 輝度特性。

【図32】発光素子3の輝度 - 外部量子効率特性。

10

【図33】発光素子3の輝度 - パワー効率特性。

【図34】発光素子3の発光スペクトル。

【図35】発光素子4の輝度 - 電流効率特性。

【図36】発光素子4の電圧 - 輝度特性。

【図37】発光素子4の輝度 - 外部量子効率特性。

【図38】発光素子4の輝度 - パワー効率特性。

【図39】発光素子4の発光スペクトル。

【図40】発光素子5の輝度 - 電流効率特性。

【図41】発光素子5の電圧 - 輝度特性。

【図42】発光素子5の輝度 - 外部量子効率特性。

20

【図43】発光素子5の輝度 - パワー効率特性。

【図44】発光素子5の発光スペクトル。

【図45】発光素子4のフェルスター移動を説明する図。

【図46】発光素子4のフェルスター移動を説明する図。

【図47】発光素子5のフェルスター移動を説明する図。

【図48】発光素子5のフェルスター移動を説明する図。

【図49】発光素子5のフェルスター移動を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0032】

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は当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

30

【0033】

(実施の形態1)

まず、本発明の一態様の発光素子の動作原理について説明する。本発明の主旨は、第1のりん光性化合物と、該第1のりん光性化合物よりも長波長の発光を示す第2のりん光性化合物を用い、第1のりん光性化合物及び第2のりん光性化合物の両方を効率良く発光させることにより、高効率な多色発光素子を得るというものである。

【0034】

40

りん光性化合物を用いた多色発光素子を得る一般的な手法としては、何らかの宿主材料中に、異なる発光色の複数のりん光性化合物を適当な比率で分散する手法が考えられる。しかしながらこのような手法の場合、最も長波長の発光を示すりん光性化合物が発光しやすくなってしまいうため、多色発光を得るための素子構造(特に宿主材料中の各りん光性化合物の濃度)の設計・制御は非常に困難である。

【0035】

多色発光素子を得る他の手法として、異なる発光色の発光素子を直列に積層する、いわゆるタンデム構造が挙げられる。例えば、青色発光素子と、緑色発光素子と、赤色発光素子の3つを直列に積層して同時に発光させれば、容易に多色光(この場合白色光)が得られる。素子構造も、青、緑、赤色の各素子をそれぞれに最適化すればよいので、その設計・

50

制御は比較的容易である。しかしながら、3つの素子を積層するため、層数は増大し、作製は煩雑となる。また、各素子の接続部（いわゆる中間層）での電氣的接触に問題が生じると、駆動電圧の増大、すなわち電力ロスを招いてしまう場合がある。

【0036】

一方、本発明の一態様の発光素子は、一对の電極間に、第1のりん光性化合物が第1のホスト材料に分散された第1の発光層と、第1のりん光性化合物よりも長波長の発光を呈する第2のりん光性化合物が第2のホスト材料に分散された第2の発光層とが積層された発光素子である。この時、第1の発光層及び第2の発光層は、タンデム構造とは異なり、互いに接して設けられていても良い。

【0037】

図1に、上述した本発明の一態様の発光素子の素子構造を模式的に示す。図1(C)には第1の電極101、第2の電極102、EL層103が記載されている。EL層103には少なくとも発光層113が設けられており、その他の層については適宜設ければよい。図1(C)においては、正孔注入層111、正孔輸送層112、電子輸送層114及び電子注入層115が設けられている構成を仮に示してある。なお、第1の電極101は陽極として機能し、第2の電極102は陰極として機能するものとする。

【0038】

また、図1(a)、(b)は、当該発光素子における発光層113を拡大して示した図である。図1(a)、(b)には第1の発光層113a、第2の発光層113b、当該2層を合わせた発光層113、第1のりん光性化合物113Da、第2のりん光性化合物113Db、第1のホスト材料113Ha、第2のホスト材料113Hbが示されている。なお、図1(b)は、第1の発光層113aにさらに第1の有機化合物113Aが含まれている場合の模式図である。いずれの場合においても、各りん光性化合物（第1及び第2のりん光性化合物）はホスト材料中に分散されているため、各りん光性化合物は各ホスト材料によって互いに隔離されている。なお、第1及び第2の各ホスト材料は、同一であっても異なっても良い。また、第1の発光層113a及び第2の発光層113bはそのどちらが陽極側であっても、陰極側であってもよい。

【0039】

この場合、各りん光性化合物間において、電子交換相互作用（いわゆるデクスター機構）によるエネルギー移動は抑制される。すなわち、第1のりん光性化合物113Daが励起された後、その励起エネルギーがデクスター機構により第2のりん光性化合物113Dbへ移動する現象を防ぐことができる。したがって、最も長波長の発光を示す第2のりん光性化合物113Dbが主として発光してしまう現象を抑制することができる。なお、第2の発光層113bにて直接励起子が生成すると、第2のりん光性化合物113Dbが主として発光してしまうため、キャリアの再結合領域は、第1の発光層113a内とする（すなわち、第1のりん光性化合物113Daを主として励起する）ことが好ましい。

【0040】

ただし、第1のりん光性化合物113Daからのエネルギー移動が完全に抑制されてしまうと、今度は第2のりん光性化合物113Dbの発光が得られないことになる。そこで本発明の一態様では、第1のりん光性化合物113Daの励起エネルギーが、部分的に第2のりん光性化合物113Dbへ移動するような素子設計を行う。このような隔離された分子間でのエネルギー移動は、双極子-双極子相互作用（フェルスター機構）を利用することによって可能となる。

【0041】

ここで、フェルスター機構について説明する。以下では、励起エネルギーを与える側の分子をエネルギードナー、励起エネルギーを受け取る側の分子をエネルギーアクセプターと記す。すなわち、本発明の一態様においては、エネルギードナー、エネルギーアクセプターのいずれもりん光性化合物であり、ホスト材料によって互いに隔離されている。

【0042】

フェルスター機構は、エネルギー移動に、分子間の直接的接触を必要としない。エネルギ

10

20

30

40

50

ドナー及びエネルギーアクセプター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。双極子振動の共鳴現象によってエネルギードナーがエネルギーアクセプターにエネルギーを受け渡し、励起状態のエネルギードナーが基底状態になり、基底状態のエネルギーアクセプターが励起状態になる。フェルスター機構によるエネルギー移動の速度定数 k_F を数式 (1) に示す。

【0043】

【数1】

$$k_F = \frac{9000c^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{F(\nu)\epsilon(\nu)}{\nu^4} d\nu \dots (1)$$

10

【0044】

数式 (1) において、 ν は、振動数を表し、 $F(\nu)$ は、エネルギードナー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りん光スペクトル) を表し、 $\epsilon(\nu)$ は、エネルギーアクセプター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、エネルギードナーとエネルギーアクセプターの分子間距離を表し、 τ は、実測される励起状態の寿命 (蛍光寿命やりん光寿命) を表し、 c は、光速を表し、 ϕ 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エネルギー移動を論じる場合はりん光量子収率) を表し、 K^2 は、エネルギードナーとエネルギーアクセプター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。

20

【0045】

式 (1) からわかるように、フェルスター機構によるエネルギー移動 (フェルスター移動) の条件は、1. エネルギードナーとエネルギーアクセプターが離れすぎないこと (距離 R に関連)、2. エネルギードナーが発光すること (発光量子収率 ϕ に関連)、3. エネルギードナーの発光スペクトルとエネルギーアクセプターの吸収スペクトルが重なりを有すること (積分項に関連)、が挙げられる。

【0046】

ここで、図1にて説明したように、各りん光性化合物 (第1及び第2のりん光性化合物) は各ホスト材料中に分散されており、各りん光性化合物は各ホスト材料によって互いに隔離されているため、距離 R は少なくとも一分子以上 (1 nm 以上) の距離を有している。したがって、第1のりん光性化合物で生じた励起エネルギーの全てが、フェルスター機構によって第2のりん光性化合物にエネルギー移動してしまうことはない。一方で、 R が 10 nm ~ 20 nm 程度までであれば、フェルスター移動は可能である。第1及び第2のりん光性化合物間に、少なくとも1分子以上の距離 R を確保するためには、ホスト材料中に分散させる各りん光性化合物の体積を一定以下にすることが好ましい。これに対応する各りん光性化合物の発光層内における濃度は、10 wt % 以下である。りん光性化合物の濃度があまり薄すぎても良好な特性は得にくいいため、本実施の形態におけるりん光性化合物の濃度は 0.1 wt % 以上 10 wt % 以下であることが好ましい。特に、第1のりん光性化合物は、0.1 wt % 以上 5 wt % 以下の濃度で第1の発光層 113a に含まれることがより好ましい。

30

40

【0047】

第1のりん光性化合物 113Da と、第1のりん光性化合物よりも長波長の発光を呈する第2のりん光性化合物 113Db を用いた本発明の一態様の発光素子における、各りん光性化合物間でのフェルスター移動の模式図を図2に示す。図2においては、電極 10、電極 11 の間に第1の発光層 113a 及び第2の発光層 113b が積層された構成を示した。なお、電極 10 及び電極 11 はどちらか一方が陽極として機能し、他方が陰極として機能する電極である。図2(A)に示すように、まず第1のりん光性化合物 113Da で生じた一重項励起状態 (S_a) は、項間交差により三重項励起状態 (T_a) に変換される。

50

すなわち、第1の発光層113aにおける励起子は、基本的に T_a に集約される。

【0048】

次に、この T_a 状態の励起子のエネルギーは、一部はそのまま発光に変換されるが、フェルスター機構を利用することにより、一部は第2のりん光性化合物113Dbの三重項励起状態(T_b)に移動することができる。これは、第1のりん光性化合物113Daが発光性である(りん光量子収率が高い)ことと、第2のりん光性化合物113Dbが一重項基底状態から三重項励起状態への電子遷移に相当する直接吸収を有している(三重項励起状態の吸収スペクトルが存在する)ことに起因している。これらの条件を満たせば、 T_a から T_b への三重項-三重項フェルスター移動が可能となる。

【0049】

なお、第2のりん光性化合物113Dbの一重項励起状態(S_b)は、第1のりん光性化合物113Daの三重項励起状態(T_a)よりもエネルギーが高い場合が多いため、上述したエネルギー移動にあまり寄与しない場合が多い。したがってここでは割愛している。もちろん、第2のりん光性化合物113Dbの一重項励起状態(S_b)が第1のりん光性化合物113Daの三重項励起状態(T_a)よりエネルギーが低い場合は、同様にエネルギー移動が起こりうる。この場合、第2のりん光性化合物113Dbの一重項励起状態(S_b)に移動したエネルギーは項間交差を経て第2のりん光性化合物113Dbの三重項励起状態(T_b)にエネルギー移動し、発光に関与する。

【0050】

なお、上述のフェルスター移動を効率よく、ドープメントであるりん光性化合物間で発生させ、宿主材料にはエネルギー移動しないように設計するためには、第1及び第2の宿主材料は、第1のりん光性化合物113Daの発光領域に吸収スペクトルを有さないことが好ましい。このように、宿主材料(具体的には第2の宿主材料)を介することなく、ドープメント間で直接エネルギー移動を行わせることにより、余分なエネルギー移動の経路の発生を抑制し、高い発光効率に結びつけることができるため、好ましい構成である。

【0051】

また、第1の宿主材料は、第1のりん光性化合物を消光させないよう、該第1のりん光性化合物よりも高い三重項励起エネルギーを有していることが好ましい。

【0052】

以上で述べたように、本発明の一態様の基本コンセプトは、まず第1及び第2の各りん光性化合物を宿主材料および積層構造を用いて隔離しつつ、短波長の発光を示す第1のりん光性化合物を主として励起する素子構造とすることである。このような素子構造においては、ある程度の距離以内($\sim 20\text{nm}$)であればフェルスター型のエネルギー移動が一部で生じるため、第1のりん光性化合物の励起エネルギーが、部分的に第2のりん光性化合物へ移動し、第1及び第2の各りん光性化合物から発光を得ることができる。

【0053】

しかし、ここで本発明の一態様においてさらに重要な点は、そのエネルギー移動を考慮した材料の選択および素子構造である。

【0054】

まず、フェルスター移動を発生させるためには、エネルギードナー側の発光量子収率が高い必要があるが、本発明の一態様においてはりん光性化合物(具体的には、りん光量子収率が0.1以上の発光性化合物)を用いるため、問題は生じない。重要な点は、式(1)の積分項を大きくする、すなわち、エネルギードナーの発光スペクトル $F(\lambda)$ とエネルギーアクセプターのモル吸光係数 $\epsilon(\lambda)$ をうまくオーバーラップさせることである。

【0055】

一般には、エネルギーアクセプターのモル吸光係数 $\epsilon(\lambda)$ が大きい波長領域で、エネルギードナーの発光スペクトル $F(\lambda)$ を重ねればよい(つまり、 $F(\lambda)\epsilon(\lambda)$ の積を大きくすればよい)と考えられている。しかし、これはフェルスター機構においては必ずしも真ではない。なぜならば、式(1)の積分項は、振動数の4乗に反比例しており、波長依存性が存在するためである。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

より分かりやすくするために、まず式 (1) を変形する。光の波長を λ とすると、 $c = \lambda \nu$ であるから、式 (1) は下記式 (2) の通り書き換えることができる。

【 0 0 5 7 】

【 数 2 】

$$k_F = \frac{9000K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int F(\lambda) \varepsilon(\lambda) \lambda^4 d\lambda \dots (2)$$

【 0 0 5 8 】

つまり、積分項は波長 λ が大きいほど大きくなることわかる。端的には、長波長側ほどエネルギー移動は起こりやすくなることを意味している。つまり、モル吸光係数 $\varepsilon(\lambda)$ が大きい波長領域で $F(\lambda)$ が重なればよいという単純なものではなく、 λ^4 が大きい領域において $F(\lambda)$ が重なるようにしなければならない。

【 0 0 5 9 】

したがって、本発明の一態様の発光素子における第 2 のりん光性化合物 1 1 3 D b としては、第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a からのエネルギー移動効率を高めるために、第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a の発光スペクトルの最大値が存在するスペクトルの山と、第 2 のりん光性化合物 1 1 3 D b の λ^4 で表される関数の最も長波長側に位置する極大値が存在する山が重なるようなりん光性化合物を用いる。

【 0 0 6 0 】

なお、第 2 のりん光性化合物の λ^4 で表される関数の最も長波長側に位置する極大値の波長が第 1 のりん光性化合物のりん光発光スペクトル $F(\lambda)$ と重なっていることが好ましい。また、第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a の発光スペクトルの上記最大値が存在する山における、上記最大値の半分の強度を有する波長範囲と、第 2 のりん光性化合物の λ^4 で表される関数の上記極大値が存在する山における、上記極大値の半分の強度を有する波長範囲に重なりがあると、スペクトル同士の重なりが大きくなるためより好ましい。

【 0 0 6 1 】

以上のような構成を有する発光素子は、発光効率が高く、且つ、バランスよく各々のりん光性化合物から発光を得ることが可能な発光素子とすることができる。

【 0 0 6 2 】

このようなりん光性化合物の構成に関し、理解を深めるため、以下では具体例を用いて説明する。ここでは、第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a として、下記化合物 (1) (ビス [2 - (6 - tert - ブチル - 4 - プリミジニル - N 3) フェニル - C] (2 , 4 - ペンタンジオナト - $^2 O$, O') イリジウム (I I I) (略称 : Ir (t B u p p m) ₂ (a c a c)) を、第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a よりも長波長の発光を示す第 2 のりん光性化合物 1 1 3 D b として、下記化合物 (2) (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 (I I I) (略称 : Ir (t p p r) ₂ (d p m)) を、それぞれ用いた場合を例に説明する。

【 0 0 6 3 】

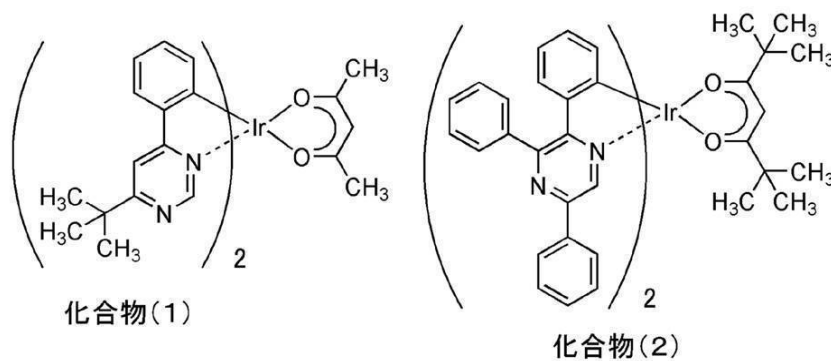
10

20

30

40

【化1】



10

【0064】

図3(a)は、第2のりん光性化合物である化合物(2)のモル吸光係数()と、()⁴とを示したものである。モル吸光係数()は、長波長側になるにつれて低下していくが、()⁴は550nm付近(化合物(2)の三重項MLCT吸収帯に相当する)で極大値を有している。この例からわかるように、⁴の項の影響で、第2のりん光性化合物の()⁴は、最も長波長側に位置する吸収帯(三重項MLCT吸収帯)に極大値を有する。

【0065】

一方、図3(b)は、化合物(1)のフォトルミネッセンス(PL)スペクトルF()と、化合物(2)の()⁴とを示したものである。化合物(1)は第1のりん光性化合物であり、545nm付近に発光ピークを有する緑色発光を呈する。この第1のりん光性化合物のPLスペクトルF()は、第2のりん光性化合物の()⁴の極大値付近において、()⁴と大きな重なりを有しており、第1のりん光性化合物から第2のりん光性化合物へフェルスター機構によるエネルギー移動が発生する。なおこの場合、極大値は三重項MLCT吸収帯に対応しているため、三重項-三重項のフェルスター型エネルギー移動である(図2におけるT_a-T_bエネルギー移動)。この際、第1のりん光性化合物のPLスペクトルF()の発光ピーク波長と、第2のりん光性化合物の()⁴の極大値の波長の差が0.2eV以下であると、エネルギー移動が効率的に行われ

20

30

【0066】

ため好ましい構成である。化合物(1)のPLスペクトルF()の発光ピーク波長は546nm、化合物(2)の()⁴の極大値の波長は543nmでありその差は3nmで0.01eVに相当する。そのため、化合物(1)と化合物(2)との間のエネルギー移動は非常に効率よく行われることがわかる。

【0066】
なお、以上のことから、第2のりん光性化合物は、吸収スペクトルの最も長波長側に、一重項基底状態から三重項励起状態への電子遷移に相当する直接吸収(例えば、三重項MLCT吸収)を有していることが好ましい。このような構成とすることで、図2に示したような三重項-三重項のエネルギー移動が効率よく生じることになる。

【0067】

また、上述した再結合領域を得るために、第1の発光層113aが陽極側に位置する場合、少なくとも第2の発光層113bは電子輸送性であることが好ましく、第1の発光層113a及び第2の発光層113bの双方が電子輸送性であってもよい。また第1の発光層113aが陰極側に位置する場合、少なくとも第2の発光層113bは正孔輸送性であることが好ましく、第1の発光層113a及び第2の発光層113bの双方が正孔輸送性であってもよい。

40

【0068】

ここで、第1の発光層113aにおいては、さらに、第1のホスト材料113Haのフォトルミネッセンス(PL)スペクトルF()の極大値が存在する山と、第1のりん光性化合物の()⁴で表される関数の最も長波長側に位置する極大値が存在する山の重

50

なりが大きくなることが好ましい。

【0069】

しかしながら、通常、ホスト材料のフォトルミネッセンス(PL)スペクトル $F(\lambda)$ の極大値が存在する山と、ゲスト材料(第1のりん光性化合物113Da)の $I(\lambda)$ ⁴で表される関数の最も長波長側に位置する極大値が存在する山とを重ねることは困難である。なぜならば、通常、ホスト材料のフォトルミネッセンス(PL)は蛍光発光であり、蛍光発光は、りん光発光より高いエネルギー準位からの発光であるため、蛍光スペクトルがゲスト材料の最も長波長側の吸収スペクトル(ゲスト材料の三重項励起状態)に近接するような波長にあるホスト材料の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位を下回ってしまう蓋然性が高いからである。ホスト材料の三重項励起エネルギー準位がゲスト材料の三重項励起エネルギー準位を下回ってしまうと、ゲスト材料の三重項励起エネルギーがホスト材料に移動してしまい、発光効率の低下を招いてしまう。

10

【0070】

そこで本実施の形態においては、第1の発光層113aはさらに第1の有機化合物113Aを含み、第1のホスト材料113Ha及び第1の有機化合物113Aは、励起錯体113Ec(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が好ましい(図1(b)、図2(B))。図2(B)中、10及び11は電極であり、電極10及び電極11はどちらか一方が陽極、他方が陰極として機能する。なお、図中、励起錯体113Ecの一重項励起状態はSe、三重項励起状態はTeで表され、第1のりん光性化合物113Daの一重項励起状態はSa、三重項励起状態はTaで表され、第2のりん光性化合物113Dbの一重項励起状態はSb、三重項励起状態はTbで表されている。

20

【0071】

この場合、第1の発光層113aにおけるキャリア(電子及びホール)の再結合の際に第1の有機化合物113Aと第1のホスト材料113Haは、電子及び正孔の再結合によってエネルギーを得ると、励起錯体113Ecを形成する。励起錯体113Ecからの蛍光発光は、第1の有機化合物113A単体、及び第1のホスト材料113Ha単体の蛍光スペクトルより長波長側にスペクトルを有する発光となるが、励起錯体113Ecの一重項励起状態Seと三重項励起状態Teはエネルギーが非常に近いという特徴を有する。したがって、励起錯体113Ecの一重項励起状態からの発光であるPLスペクトル $F(\lambda)$ の極大値が存在する山と、ゲスト材料(第1のりん光性化合物113Da)の $I(\lambda)$ ⁴で表される関数の最も長波長側に位置する極大値が存在する山(ゲスト材料の三重項励起状態Taの吸収スペクトルに相当)とを重ねることにより、SeからTaへのエネルギー移動と、TeからTaへのエネルギー移動の双方を最大限に高めることができる。この際、励起錯体113Ecの発光ピーク波長と、ゲスト材料(第1のりん光性化合物113Da)の $I(\lambda)$ ⁴の極大値の波長の差は0.2eV以下であると、エネルギー移動が効率的に行われるため好ましい構成である。また、第1の有機化合物113A及び第1のホスト材料113Haの三重項励起エネルギー準位を第1のりん光性化合物113Daの三重項励起エネルギー準位より高く保つことが好ましい。

30

【0072】

以上のようにして第1のりん光性化合物113Daへ移動したエネルギーは、上述のように、一部が第2のりん光性化合物113Dbへ移動し、第1のりん光性化合物113Da及び第2のりん光性化合物113Dbが共に効率よく発光する。

40

【0073】

なお、励起錯体113Ecの三重項励起状態(Te)から第1のりん光性化合物113Daへのエネルギー移動は、デクスター機構により効率よく起こる。一重項励起状態(Se)からのエネルギー移動は、上記構成のフェルスター機構により効率よく起こるため、トータルで効率よいエネルギー移動が実現する。

【0074】

第1の有機化合物113A及び第1のホスト材料113Haとしては、励起錯体を生じる

50

組み合わせであればよいが、電子を受け取りやすい化合物（電子トラップ性化合物）と、ホールを受け取りやすい化合物（正孔トラップ性化合物）とを組み合わせることが好ましい。

【0075】

電子を受け取りやすい化合物としては、ビス（10 - ヒドロキシベンゾ [h] キノリナト）ベリリウム（II）（略称：BeBq₂）、ビス（2 - メチル - 8 - キノリノラト）（4 - フェニルフェノラト）アルミニウム（III）（略称：BA1q）、ビス（8 - キノリノラト）亜鉛（II）（略称：Znq）、ビス [2 - （2 - ベンゾオキサゾリル）フェノラト] 亜鉛（II）（略称：ZnPBO）、ビス [2 - （2 - ベンゾチアゾリル）フェノラト] 亜鉛（II）（略称：ZnBTZ）などの金属錯体や、2 - （4 - ビフェニリル） - 5 - （4 - tert - ブチルフェニル） - 1, 3, 4 - オキサジアゾール（略称：PBD）、3 - （4 - ビフェニリル） - 4 - フェニル - 5 - （4 - tert - ブチルフェニル） - 1, 2, 4 - トリアゾール（略称：TAZ）、1, 3 - ビス [5 - （p - tert - ブチルフェニル） - 1, 3, 4 - オキサジアゾール - 2 - イル] ベンゼン（略称：OXD - 7）、9 - [4 - （5 - フェニル - 1, 3, 4 - オキサジアゾール - 2 - イル）フェニル] - 9H - カルバゾール（略称：CO11）、2, 2', 2'' - （1, 3, 5 - ベンゼントリイル）トリス（1 - フェニル - 1H - ベンゾイミダゾール）（略称：TPBI）、2 - [3 - （ジベンゾチオフェン - 4 - イル）フェニル] - 1 - フェニル - 1H - ベンゾイミダゾール（略称：mDBTBIm - II）などのポリアゾール骨格を有する複素環化合物や、2 - [3 - （ジベンゾチオフェン - 4 - イル）フェニル] ジベンゾ [f, h] キノキサリン（略称：2mDBTPDBq - II）、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：2mDBTPDBq - III）、2 - [3' - （9H - カルバゾール - 9 - イル）ビフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [f, h] キノキサリン（略称：2mCzBPDBq）、4, 6 - ビス [3 - （フェナントレン - 9 - イル）フェニル] ピリミジン（略称：4, 6mPnP2Pm）、4, 6 - ビス [3 - （4 - ジベンゾチエニル）フェニル] ピリミジン（略称：4, 6mDBTP2Pm - II）などのジアジン骨格を有する複素環化合物や、3, 5 - ビス [3 - （9H - カルバゾール - 9 - イル）フェニル] ピリジン（略称：35DCzPPy）、1, 3, 5 - トリ [3 - （3 - ピリジル） - フェニル] ベンゼン（略称：TmPyPB）などのピリジン骨格を有する複素環化合物が挙げられる。上述した中でも、ジアジン骨格を有する複素環化合物やピリジン骨格を有する複素環化合物は、信頼性が良好であり好ましい。特に、ジアジン（ピリミジンやピラジン）骨格を有する複素環化合物は、電子輸送性が高く、駆動電圧低減にも寄与する。

【0076】

ホールを受け取りやすい化合物としては、4, 4' - ビス [N - （1 - ナフチル） - N - フェニルアミノ] ビフェニル（略称：NPB）、N, N' - ビス（3 - メチルフェニル） - N, N' - ジフェニル - [1, 1' - ビフェニル] - 4, 4' - ジアミン（略称：TPD）、4, 4' - ビス [N - （スピロ - 9, 9' - ビフルオレン - 2 - イル） - N - フェニルアミノ] ビフェニル（略称：BSPB）、4 - フェニル - 4' - （9 - フェニルフルオレン - 9 - イル）トリフェニルアミン（略称：BPAPLP）、4 - フェニル - 3' - （9 - フェニルフルオレン - 9 - イル）トリフェニルアミン（略称：mBPAPLP）、4 - フェニル - 4' - （9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル）トリフェニルアミン（略称：PCBA1BP）、4, 4' - ジフェニル - 4'' - （9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル）トリフェニルアミン（略称：PCBBi1BP）、4 - （1 - ナフチル） - 4' - （9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル）トリフェニルアミン（略称：PCBANB）、4, 4' - ジ（1 - ナフチル） - 4'' - （9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル）トリフェニルアミン（略称：PCBNBB）、9, 9 - ジメチル - N - フェニル - N - [4 - （9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル）フェニル] フルオレン - 2 - アミン（略称：PCBAF）、N - フェニル - N - [4 - （9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル）フェニル] スピロ - 9, 9' - ビフル

10

20

30

40

50

オレン - 2 - アミン (略称: PCBASF) などの芳香族アミン骨格を有する化合物や、1, 3 - ビス (N - カルバゾリル) ベンゼン (略称: mCP)、4, 4' - ジ (N - カルバゾリル) ビフェニル (略称: CBP)、3, 6 - ビス (3, 5 - ジフェニルフェニル) - 9 - フェニルカルバゾール (略称: CzTP)、3, 3' - ビス (9 - フェニル - 9H - カルバゾール) (略称: PCCP) などのカルバゾール骨格を有する化合物や、4, 4', 4'' - (ベンゼン - 1, 3, 5 - トリイル) トリ (ジベンゾチオフェン) (略称: DBT3P - II)、2, 8 - ジフェニル - 4 - [4 - (9 - フェニル - 9H - フルオレン - 9 - イル) フェニル] ジベンゾチオフェン (略称: DBTFLP - III)、4 - [4 - (9 - フェニル - 9H - フルオレン - 9 - イル) フェニル] - 6 - フェニルジベンゾチオフェン (略称: DBTFLP - IV) などのチオフェン骨格を有する化合物や、4, 4', 4'' - (ベンゼン - 1, 3, 5 - トリイル) トリ (ジベンゾフラン) (略称: DBF3P - II)、4 - {3 - [3 - (9 - フェニル - 9H - フルオレン - 9 - イル) フェニル] フェニル} ジベンゾフラン (略称: mmDBFFLBi - II) などのフラン骨格を有する化合物が挙げられる。上述した中でも、芳香族アミン骨格を有する化合物やカルバゾール骨格を有する化合物は、信頼性が良好であり、また、正孔輸送性が高く、駆動電圧低減にも寄与するため好ましい。

10

【0077】

第1の有機化合物113A及び第1のホスト材料113Ha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、励起錯体のフォトルミネッセンス (PL) スペクトル $F(\lambda)$ の極大値が存在する山と、第1のりん光性化合物の $I(\lambda)^4$ で表される関数の最も長波長側に位置する極大値が存在する山とが重なり、励起錯体の発光スペクトルのピークが、第1のりん光性化合物113Daの発光スペクトルのピークよりも長波長であればよい。

20

【0078】

なお、電子を受け取りやすい化合物とホールを受け取りやすい化合物で第1の有機化合物113A及び第1のホスト材料113Haを構成する場合、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113A及び第1のホスト材料113Ha = 1 : 9 ~ 9 : 1の範囲が好ましい。

【0079】

ここで、本構成では、励起錯体のフォトルミネッセンス (PL) スペクトル $F(\lambda)$ の極大値が存在する山と、第1のりん光性化合物の $I(\lambda)^4$ で表される関数の最も長波長側に位置する極大値が存在する山が重なるような励起錯体を構成する第1のホスト材料113Haと第1の有機化合物113Aとを選択する。この山の重なりは大きいほど好ましい。

30

【0080】

なお、第1のりん光性化合物の $I(\lambda)^4$ で表される関数の最も長波長側に位置する極大値の波長が、励起錯体のフォトルミネッセンス (PL) スペクトル $F(\lambda)$ と重なっていることが好ましい。また、励起錯体のフォトルミネッセンス (PL) スペクトル $F(\lambda)$ の最大値が存在する山における、上記最大値の半分の強度を有する波長範囲と、第1のりん光性化合物の $I(\lambda)^4$ で表される関数の極大値が存在する山における、上記極大値の半分の強度を有する波長範囲に重なりがあると、スペクトル同士の重なりが大きくなるためより好ましい。

40

【0081】

本構成において、第1のホスト材料113Ha及び第1の有機化合物113Aからなる励起錯体から第1のりん光性化合物113Daへ効率よくエネルギーを移動させることが可能になることから、よりエネルギー移動効率を高めることができるため、さらに外部量子効率の高い発光素子を実現することができる。

【0082】

(実施の形態2)

本実施の形態では実施の形態1で説明した発光素子の詳細な構造の例について図1を用

50

いて以下に説明する。

【0083】

本実施の形態における発光素子は、一对の電極間に複数の層からなるEL層を有する。本実施の形態において、発光素子は、第1の電極101と、第2の電極102と、第1の電極101と第2の電極102との間に設けられたEL層103とから構成されている。なお、本形態では第1の電極101は陽極として機能し、第2の電極102は陰極として機能するものとして、以下説明をする。つまり、第1の電極101の方が第2の電極102よりも電位が高くなるように、第1の電極101と第2の電極102に電圧を印加したときに、発光が得られる構成となっている。

【0084】

第1の電極101は陽極として機能するため、仕事関数の大きい(具体的には4.0 eV以上)金属、合金、導電性化合物、およびこれらの混合物などを用いて形成することが好ましい。具体的には、例えば、酸化インジウム-酸化スズ(ITO: Indium Tin Oxide)、ケイ素若しくは酸化ケイ素を含有した酸化インジウム-酸化スズ、酸化インジウム-酸化亜鉛、酸化タングステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウム(IWZO)等が挙げられる。これらの導電性金属酸化物膜は、通常スパッタリング法により成膜されるが、ゾル-ゲル法などを応用して作製しても構わない。作製方法の例としては、酸化インジウム-酸化亜鉛は、酸化インジウムに対し1~20wt%の酸化亜鉛を加えたターゲットを用いてスパッタリング法により形成する方法などがある。また、酸化タングステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウム(IWZO)は、酸化インジウムに対し酸化タングステンを0.5~5wt%、酸化亜鉛を0.1~1wt%含有したターゲットを用いてスパッタリング法により形成することもできる。この他、金(Au)、白金(Pt)、ニッケル(Ni)、タングステン(W)、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)、鉄(Fe)、コバルト(Co)、銅(Cu)、パラジウム(Pd)、または金属材料の窒化物(例えば、窒化チタン)等が挙げられる。グラフェンも用いることができる。なお、後述する複合材料をEL層103における第1の電極101と接する層に用いることで、仕事関数に関わらず、電極材料を選択することができるようになる。

【0085】

EL層103の積層構造については、発光層113が実施の形態1に示したような構成となれば他は特に限定されない。例えば、正孔注入層、正孔輸送層、発光層、電子輸送層、電子注入層、キャリアブロック層、中間層等を適宜組み合わせる構成することができる。本実施の形態では、EL層103は、第1の電極101の上に順に積層した正孔注入層111、正孔輸送層112、発光層113、電子輸送層114、電子注入層115を有する構成について説明する。各層を構成する材料について以下に具体的に示す。

【0086】

正孔注入層111は、正孔注入性の高い物質を含む層である。モリブデン酸化物やバナジウム酸化物、ルテニウム酸化物、タングステン酸化物、マンガン酸化物等を用いることができる。この他、フタロシアニン(略称: H₂PC)や銅フタロシアニン(CuPC)等のフタロシアニン系の化合物、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]ピフェニル(略称: DPAB)、N,N'-ビス{4-[ビス(3-メチルフェニル)アミノ]フェニル}-N,N'-ジフェニル-(1,1'-ピフェニル)-4,4'-ジアミン(略称: DNTPD)等の芳香族アミン化合物、或いはポリ(エチレンジオキシチオフェン)/ポリ(スチレンスルホン酸)(PEDOT/PSS)等の高分子等によっても正孔注入層111を形成することができる。

【0087】

また、正孔注入層111として、正孔輸送性の物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を用いることができる。なお、正孔輸送性の物質にアクセプター性物質を含有させたものを用いることにより、電極の仕事関数に依らず電極を形成する材料を選ぶことができる。つまり、第1の電極101として仕事関数の大きい材料だけでなく、仕事関数の小さい材料も用いることができるようになる。アクセプター性物質としては、7,7,8

10

20

30

40

50

、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。

【0088】

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

10

【0089】

例えば、芳香族アミン化合物としては、N,N'-ジ(p-トリル)-N,N'-ジフェニル-p-フェニレンジアミン(略称:DTDPPA)、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,N'-ビス{4-[ビス(3-メチルフェニル)アミノ]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:DNTPD)、1,3,5-トリス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]ベンゼン(略称:DPAB3B)等を挙げることができる。

20

【0090】

複合材料に用いることのできるカルバゾール誘導体としては、具体的には、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)等を挙げることができる。

【0091】

また、複合材料に用いることのできるカルバゾール誘導体としては、他に、4,4'-ジ(N-カルバゾリル)ビフェニル(略称:CBP)、1,3,5-トリス[4-(N-カルバゾリル)フェニル]ベンゼン(略称:TCPB)、9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール(略称:CzPA)、1,4-ビス[4-(N-カルバゾリル)フェニル]-2,3,5,6-テトラフェニルベンゼン等を用いることができる。

30

【0092】

また、複合材料に用いることのできる芳香族炭化水素としては、例えば、2-tert-ブチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン(略称:t-BuDNA)、2-tert-ブチル-9,10-ジ(1-ナフチル)アントラセン、9,10-ビス(3,5-ジフェニルフェニル)アントラセン(略称:DPPA)、2-tert-ブチル-9,10-ビス(4-フェニルフェニル)アントラセン(略称:t-BuDBA)、9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン(略称:DNA)、9,10-ジフェニルアントラセン(略称:DPAnth)、2-tert-ブチルアントラセン(略称:t-BuAnth)、9,10-ビス(4-メチル-1-ナフチル)アントラセン(略称:DMNA)、2-tert-ブチル-9,10-ビス[2-(1-ナフチル)フェニル]アントラセン、9,10-ビス[2-(1-ナフチル)フェニル]アントラセン、2,3,6,7-テトラメチル-9,10-ジ(1-ナフチル)アントラセン、2,3,6,7-テトラメチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン、9,9'-ピアントリル、10,10'-ジフェニル-9,9'-ピアントリル、10,10'-ビス(2-フェニルフェニ

40

50

ル) - 9, 9' - ビアントリル、10, 10' - ビス〔(2, 3, 4, 5, 6 - ペンタフェニル)フェニル〕 - 9, 9' - ビアントリル、アントラセン、テトラセン、ルブレン、ペリレン、2, 5, 8, 11 - テトラ(tert - ブチル)ペリレン等が挙げられる。また、この他、ペンタセン、コロネン等も用いることができる。このように、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有し、炭素数14 ~ 42である芳香族炭化水素を用いることがより好ましい。

【0093】

なお、複合材料に用いることのできる芳香族炭化水素は、ビニル骨格を有していてもよい。ビニル基を有している芳香族炭化水素としては、例えば、4, 4' - ビス(2, 2 - ジフェニルビニル)ビフェニル(略称: DPVBi)、9, 10 - ビス〔4 - (2, 2 - ジフェニルビニル)フェニル〕アントラセン(略称: DPVPA)等が挙げられる。

10

【0094】

また、ポリ(N - ビニルカルバゾール)(略称: PVK)やポリ(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)等の高分子化合物を用いることもできる。

【0095】

正孔注入層を形成することによって、正孔の注入性が良好となり、駆動電圧の小さい発光素子を得ることが可能となる。

20

【0096】

正孔輸送層112は、正孔輸送性の物質を含む層である。正孔輸送性の物質としては、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)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(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)、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)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、正孔輸送性が高く、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。また、上述の複合材料における正孔輸送性の物質として挙げた有機化合物も正孔輸送層112に用いることができる。また、ポリ(N - ビニルカルバゾール)(略称: PVK)やポリ(4 - ビニルトリフェニルアミン)(略称: PVTPA)等の高分子化合物を用いることもできる。なお、正孔輸送性の物質を含む層は、単層のものだけでなく、上記物質からなる層が二層以上積層したものとしてもよい。

30

【0097】

発光層113は、第1のりん光性化合物及び第2のりん光性化合物を含む層である。発光層113は、実施の形態1で説明したような構成を有していることから、本実施の形態における発光素子は非常に発光効率の良好な発光素子とすることができる。発光層113の主な構成については実施の形態1の記載を参照されたい。

40

【0098】

発光層113において、第1のりん光性化合物及び第2のりん光性化合物として用いることが可能な材料としては、実施の形態1で説明したような関係を有する組み合わせであれば、特に限定は無い。第1のりん光性化合物及び第2のりん光性化合物としては例えば、以下のようなものが挙げられる。

【0099】

トリス〔2 - [5 - (2 - メチルフェニル) - 4 - (2, 6 - ジメチルフェニル) - 4H

50

- 1, 2, 4 - トリアゾール - 3 - イル - N²] フェニル - C } イリジウム (I I I) (略称 : I r (m p p t z - d m p)₃)、トリス (5 - メチル - 3, 4 - ジフェニル - 4 H - 1, 2, 4 - トリアゾラト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (M p t z)₃)、トリス [4 - (3 - ビフェニル) - 5 - イソプロピル - 3 - フェニル - 4 H - 1, 2, 4 - トリアゾラト] イリジウム (I I I) (略称 : I r (i P r p t z - 3 b)₃) のような 4 H - トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス [3 - メチル - 1 - (2 - メチルフェニル) - 5 - フェニル - 1 H - 1, 2, 4 - トリアゾラト] イリジウム (I I I) (略称 : I r (M p t z 1 - m p)₃)、トリス (1 - メチル - 5 - フェニル - 3 - プロピル - 1 H - 1, 2, 4 - トリアゾラト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (P r p t z 1 - M e)₃) のような 1 H - トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、f a c - トリス [1 - (2, 6 - ジイソプロピルフェニル) - 2 - フェニル - 1 H - イミダゾール] イリジウム (I I I) (略称 : I r (i P r p m i)₃)、トリス [3 - (2, 6 - ジメチルフェニル) - 7 - メチルイミダゾ [1, 2 - f] フェナントリジナト] イリジウム (I I I) (略称 : I r (d m p i m p t - M e)₃) のようなイミダゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、ビス [2 - (4', 6' - ジフルオロフェニル) ピリジナト - N, C^{2'}] イリジウム (I I I) テトラキス (1 - ピラゾリル) ボラート (略称 : F I r 6)、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 (I I I) ピコリナート (略称 : F I r p i c)、ビス { 2 - [3', 5' - ビス (トリフルオロメチル) フェニル] ピリジナト - N, C^{2'} } イリジウム (I I I) ピコリナート (略称 : I r (C F₃ p p y)₂ (p i c))、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 (I I I) アセチルアセトナート (略称 : F I r a c a c) のような電子吸引基を有するフェニルピリジン誘導体を配位子とする有機金属イリジウム錯体が挙げられる。これらは青色のりん光発光を示す化合物であり、440 nm から 520 nm に発光のピークを有する化合物である。上述した中でも、4 H - トリアゾール、1 H - トリアゾール、イミダゾールのようなポリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、正孔トラップ性が高い。したがって、これらの化合物を本発明の一態様の発光素子における第 1 のりん光性化合物として用い、且つ第 1 の発光層が第 2 の発光層よりも陰極側に設けられ、且つ第 2 の発光層が正孔輸送性である場合 (具体的には、第 2 のホスト材料が正孔輸送材料である場合)、キャリアの再結合領域を第 1 の発光層内に制御することが容易となるため好ましい。なお、4 H - トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率にも優れるため、特に好ましい。

【 0 1 0 0 】

また、トリス (4 - メチル - 6 - フェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (m p p m)₃)、トリス (4 - t - ブチル - 6 - フェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (t B u p p m)₃)、(アセチルアセトナト) ビス (6 - メチル - 4 - フェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (m p p m)₂ (a c a c))、(アセチルアセトナト) ビス (6 - t e r t - ブチル - 4 - フェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (t B u p p m)₂ (a c a c))、(アセチルアセトナト) ビス [6 - (2 - ノルボルニル) - 4 - フェニルピリミジナト] イリジウム (I I I) (略称 : I r (n b p p m)₂ (a c a c))、(アセチルアセトナト) ビス [5 - メチル - 6 - (2 - メチルフェニル) - 4 - フェニルピリミジナト] イリジウム (I I I) (略称 : I r (m p m p p m)₂ (a c a c))、(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 (I I I) (略称 : I r (d p p m)₂ (a c a c)) のようなピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、(アセチルアセトナト) ビス (3, 5 - ジメチル - 2 - フェニルピラジナト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (m p p r - M e)₂ (a c a c))、(アセチルアセトナト) ビス (5 - イソプロピル - 3 - メチル - 2 - フェニルピラジナト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (m p p r - i P r)₂ (a c a c)) のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス (2 - フェニルピリジナト - N, C^{2'}) イリジウム (I I I

10

20

30

40

50

)(略称: $\text{Ir}(\text{ppy})_3$)、ビス(2-フェニルピリジナト-N, $\text{C}^{2'}$)イリジウム(III)アセチルアセトナート(略称: $\text{Ir}(\text{ppy})_2(\text{acac})$)、ビス(ベンゾ[h]キノリナト)イリジウム(III)アセチルアセトナート(略称: $\text{Ir}(\text{bzq})_2(\text{acac})$)、トリス(ベンゾ[h]キノリナト)イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{bzq})_3$)、トリス(2-フェニルキノリナト-N, $\text{C}^{2'}$)イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{pq})_3$)、ビス(2-フェニルキノリナト-N, $\text{C}^{2'}$)イリジウム(III)アセチルアセトナート(略称: $\text{Ir}(\text{pq})_2(\text{acac})$)のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体の他、トリス(アセチルアセトナート)(モノフェナントロリン)テルビウム(III)(略称: $\text{Tb}(\text{acac})_3(\text{Phen})$)のような希土類金属錯体が挙げられる。これらは主に緑色のりん光発光を示す化合物であり、500nm~600nmに発光のピークを有する。上述した中でも、ピリミジン、ピラジンのようなジアジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、正孔トラップ性が弱く、電子トラップ性が高い。したがって、これらの化合物を本発明の一態様の発光素子における第1のりん光性化合物として用い、且つ第1の発光層が第2の発光層よりも陽極側に設けられ、且つ第2の発光層が電子輸送性である場合(具体的には、第2のホスト材料が電子輸送材料である場合)、キャリアの再結合領域を第1の発光層内に制御することが容易となるため好ましい。なお、ピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率にも際だって優れるため、特に好ましい。

10

【0101】

また、ビス[4,6-ビス(3-メチルフェニル)ピリミジナト](ジイソブチリルメタノ)イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{5mdppm})_2(\text{dibm})$)、ビス[4,6-ビス(3-メチルフェニル)ピリミジナト](ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{5mdppm})_2(\text{dpm})$)、ビス[4,6-ジ(ナフタレン-1-イル)ピリミジナト](ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{d1nppm})_2(\text{dpm})$)のようなピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、(アセチルアセトナート)ビス(2,3,5-トリフェニルピラジナト)イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{acac})$)、ビス(2,3,5-トリフェニルピラジナト)(ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$)、(アセチルアセトナート)ビス[2,3-ビス(4-フルオロフェニル)キノキサリナト]イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{Fdpq})_2(\text{acac})$)のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス(1-フェニルイソキノリナト-N, $\text{C}^{2'}$)イリジウム(III)(略称: $\text{Ir}(\text{piq})_3$)、ビス(1-フェニルイソキノリナト-N, $\text{C}^{2'}$)イリジウム(III)アセチルアセトナート(略称: $\text{Ir}(\text{piq})_2(\text{acac})$)のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体の他、2,3,7,8,12,13,17,18-オクタエチル-21H,23H-ポルフィリン白金(II)(略称: PtOEP)のような白金錯体や、トリス(1,3-ジフェニル-1,3-プロパンジオナト)(モノフェナントロリン)ユーロピウム(III)(略称: $\text{Eu}(\text{DBM})_3(\text{Phen})$)、トリス[1-(2-テノイル)-3,3,3-トリフルオロアセトナト](モノフェナントロリン)ユーロピウム(III)(略称: $\text{Eu}(\text{TtA})_3(\text{Phen})$)のような希土類金属錯体が挙げられる。これらは、赤色のりん光発光を示す化合物であり、600nmから700nmに発光のピークを有する。上述した中でも、ピリミジン、ピラジンのようなジアジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、正孔トラップ性が弱く、電子トラップ性が高い。したがって、ジアジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体を第2のりん光性化合物として用い、且つ第1の発光層が第2の発光層よりも陰極側に設けられ、且つ第2の発光層が正孔輸送性である場合(具体的には、第2のホスト材料が正孔輸送材料である場合)、キャリアの再結合領域を第1の発光層内に制御することが容易となるため好ましい。なお、ピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率にも際だって優れるため、特に好ましい。また、ピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、色度の良い赤色発光が得られるため、白色発光素子に適用すると演色性を高めることができる。

20

30

40

50

【0102】

また、以上で述べたりん光性化合物の他、公知のりん光性発光材料の中から、実施の形態1に示したような関係を有する第1のりん光材料及び第2のりん光材料を選択し、用いてもよい。

【0103】

なお、りん光性化合物(第1のりん光性化合物113aおよび第2のりん光性化合物113b)に換えて、熱活性化遅延蛍光を示す材料、すなわち熱活性化遅延蛍光(TADF)材料を用いても良い。ここで、遅延蛍光とは、通常の蛍光と同様のスペクトルを持ちながら、寿命が著しく長い発光をいう。その寿命は、 10^{-6} 秒以上、好ましくは 10^{-3} 秒以上である。熱活性化遅延蛍光材料として、具体的には、フラーレンやその誘導体、プロフラビン等のアクリジン誘導体、エオシン等が挙げられる。また、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)、スズ(Sn)、白金(Pt)、インジウム(In)、もしくはパラジウム(Pd)等を含む金属含有ポルフィリンが挙げられる。該金属含有ポルフィリンとしては、例えば、プロトポルフィリン-フッ化スズ錯体(略称: SnF₂(Proto IX))、メソポルフィリン-フッ化スズ錯体(略称: SnF₂(Meso IX))、ヘマトポルフィリン-フッ化スズ錯体(略称: SnF₂(Hemato IX))、コプロポルフィリンテトラメチルエステル-フッ化スズ錯体(略称: SnF₂(Copro III-4Me))、オクタエチルポルフィリン-フッ化スズ錯体(略称: SnF₂(OEP))、エチオポルフィリン-フッ化スズ錯体(略称: SnF₂(Etio I))、オクタエチルポルフィリン-塩化白金錯体(略称: PtCl₂(OEP))等が挙げられる。さらに、2-(ピフェニル-4-イル)-4,6-ビス(12-フェニルインドロ[2,3-a]カルバゾール-11-イル)-1,3,5-トリアジン(略称: PIC-TRZ)等の過剰系複素芳香環及び欠如系複素芳香環を有する複素環化合物を用いることもできる。なお、過剰系複素芳香環と欠如系複素芳香環とが直接結合した物質は、過剰系複素芳香環のドナー性と欠如系複素芳香環のアクセプター性が共に強くなり、S₁とT₁のエネルギー差が小さくなるため、特に好ましい。

【0104】

上記第1及び第2のホスト材料として用いることが可能な材料としては、特に限定はなく、種々のキャリア輸送材料を選択し、図1に示した素子構造が得られるように適宜組み合わせればよい。

【0105】

例えば、電子輸送性を有するホスト材料としては、ビス(10-ヒドロキシベンゾ[h]キノリナト)ベリリウム(II)(略称: BeBq₂)、ビス(2-メチル-8-キノリノラト)(4-フェニルフェノラト)アルミニウム(III)(略称: BA1q)、ビス(8-キノリノラト)亜鉛(II)(略称: Znq)、ビス[2-(2-ベンゾオキサゾリル)フェノラト]亜鉛(II)(略称: ZnPBO)、ビス[2-(2-ベンゾチアゾリル)フェノラト]亜鉛(II)(略称: ZnBTZ)などの金属錯体や、2-(4-ピフェニル)-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(略称: PBD)、3-(4-ピフェニル)-4-フェニル-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,2,4-トリアゾール(略称: TAZ)、1,3-ビス[5-(p-tert-ブチルフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール-2-イル]ベンゼン(略称: OXD-7)、9-[4-(5-フェニル-1,3,4-オキサジアゾール-2-イル)フェニル]-9H-カルバゾール(略称: CO11)、2,2',2''-(1,3,5-ベンゼントリイル)トリス(1-フェニル-1H-ベンゾイミダゾール)(略称: TPBI)、2-[3-(ジベンゾチオフエン-4-イル)フェニル]-1-フェニル-1H-ベンゾイミダゾール(略称: mDBTBIm-II)などのポリアゾール骨格を有する複素環化合物や、2-[3-(ジベンゾチオフエン-4-イル)フェニル]ジベンゾ[f,h]キノキサリン(略称: 2mDBTPDBq-II)、2-[3'-(ジベンゾチオフエン-4-イル)ピフェニル-3-イル]ジベンゾ[f,h]キノキサリン(略称: 2mDBTPDBq-II)、2-[3'-(9H-カルバゾール-9-イル)ピ

10

20

30

40

50

フェニル - 3 - イル]ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称 : 2 m C z B P D B q)、
 4 , 6 - ビス [3 - (フェナントレン - 9 - イル) フェニル] ピリミジン (略称 : 4 , 6
 m P n P 2 P m)、4 , 6 - ビス [3 - (4 - ジベンゾチエニル) フェニル] ピリミジン
 (略称 : 4 , 6 m D B T P 2 P m - I I) などのジアジン骨格を有する複素環化合物や、
 3 , 5 - ビス [3 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] ピリジン (略称 : 3 5
 D C z P P y)、1 , 3 , 5 - トリ [3 - (3 - ピリジル) - フェニル] ベンゼン (略称
 : T m P y P B) などのピリジン骨格を有する複素環化合物が挙げられる。上述した中
 でも、ジアジン骨格を有する複素環化合物やピリジン骨格を有する複素環化合物は、信頼性
 が良好であり好ましい。特に、ジアジン (ピリミジンやピラジン) 骨格を有する複素環化
 合物は、電子輸送性が高く、駆動電圧低減にも寄与する。

10

【 0 1 0 6 】

また、正孔輸送性を有するホスト材料としては、4 , 4 ' - ビス [N - (1 - ナフチル)
 - N - フェニルアミノ] ビフェニル (略称 : N P B)、N , N ' - ビス (3 - メチルフェ
 ニル) - N , N ' - ジフェニル - [1 , 1 ' - ビフェニル] - 4 , 4 ' - ジアミン (略称
 : T P D)、4 , 4 ' - ビス [N - (スピロ - 9 , 9 ' - ビフルオレン - 2 - イル) - N
 フェニルアミノ] ビフェニル (略称 : B S P B)、4 - フェニル - 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 : B P A F L P)、4 - フェニル -
 3 ' - (9 - フェニルフルオレン - 9 - イル) トリフェニルアミン (略称 : m B P A F L
 P)、4 - フェニル - 4 ' - (9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル) トリフェ
 ニルアミン (略称 : P C B A 1 B P)、4 , 4 ' - ジフェニル - 4 ' ' - (9 - フェニル
 - 9 H - カルバゾール - 3 - イル) トリフェニルアミン (略称 : P C B B i 1 B P)、4
 - (1 - ナフチル) - 4 ' - (9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル) トリフェ
 ニルアミン (略称 : P C B A N B)、4 , 4 ' - ジ (1 - ナフチル) - 4 ' ' - (9 - フェ
 ニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル) トリフェニルアミン (略称 : P C B N B B)、
 9 , 9 - ジメチル - N - フェニル - N - [4 - (9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3
 - イル) フェニル] フルオレン - 2 - アミン (略称 : P C B A F)、N - フェニル - N -
 [4 - (9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル) フェニル] スピロ - 9 , 9 ' -
 ビフルオレン - 2 - アミン (略称 : P C B A S F) などの芳香族アミン骨格を有する化合
 物や、1 , 3 - ビス (N - カルバゾリル) ベンゼン (略称 : m C P)、4 , 4 ' - ジ (N
 - カルバゾリル) ビフェニル (略称 : C B P)、3 , 6 - ビス (3 , 5 - ジフェニルフェ
 ニル) - 9 - フェニルカルバゾール (略称 : C z T P)、3 , 3 ' - ビス (9 - フェニル
 - 9 H - カルバゾール) (略称 : P C C P) などのカルバゾール骨格を有する化合物や、
 4 , 4 ' , 4 ' ' - (ベンゼン - 1 , 3 , 5 - トリイル) トリ (ジベンゾチオフェン) (略
 称 : D B T 3 P - I I)、2 , 8 - ジフェニル - 4 - [4 - (9 - フェニル - 9 H - フ
 ルオレン - 9 - イル) フェニル] ジベンゾチオフェン (略称 : D B T F L P - I I I)、
 4 - [4 - (9 - フェニル - 9 H - フルオレン - 9 - イル) フェニル] - 6 - フェニルジ
 ベンゾチオフェン (略称 : D B T F L P - I V) などのチオフェン骨格を有する化合物や
 、4 , 4 ' , 4 ' ' - (ベンゼン - 1 , 3 , 5 - トリイル) トリ (ジベンゾフラン) (略
 称 : D B F 3 P - I I)、4 - { 3 - [3 - (9 - フェニル - 9 H - フルオレン - 9 - イ
 ル) フェニル] フェニル } ジベンゾフラン (略称 : m m D B F F L B i - I I) などのフ
 ラン骨格を有する化合物が挙げられる。上述した中でも、芳香族アミン骨格を有する化合
 物やカルバゾール骨格を有する化合物は、信頼性が良好であり、また、正孔輸送性が高く
 、駆動電圧低減にも寄与するため好ましい。

20

30

40

【 0 1 0 7 】

また、以上で述べたホスト材料の他、公知の物質の中からホスト材料を用いても良い。な
 お、ホスト材料としては、りん光性化合物の三重項準位 (基底状態と三重項励起状態との
 エネルギー差) よりも大きい三重項準位を有する物質を選択することが好ましい。また、
 これらホスト材料は青色の領域に吸収スペクトルを有さないことが好ましい。具体的には
 、吸収スペクトルの吸収端が 4 4 0 n m 以下であることが好ましい。

【 0 1 0 8 】

50

以上のような構成を有する発光層 113 は、真空蒸着法での共蒸着や、混合溶液としてインクジェット法やスピンコート法やディップコート法などを用いて作製することができる。

【0109】

電子輸送層 114 は、電子輸送性の物質を含む層である。例えば、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(略称: Alq)、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)、ビス(2-メチル-8-キノリノラト)(4-フェニルフェノラト)アルミニウム(略称: 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からなる層である。また、この他ビス[2-(2-ヒドロキシフェニル)ベンゾオキサゾラト]亜鉛(略称: 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、2-(4-ピフェニル)-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(略称: PBD)や、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-ピフェニル)-4-フェニル-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,2,4-トリアゾール(略称: TAZ)、バソフェナントロリン(略称: BPhen)、バソキュープロイン(略称: BCP)なども用いることができる。ここに述べた物質は、電子輸送性が高く、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、上述した電子輸送性のホスト材料を電子輸送層 114 に用いても良い。

10

20

【0110】

また、電子輸送層 114 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。

【0111】

また、電子輸送層と発光層との間に電子キャリアの移動を制御する層を設けても良い。これは上述したような電子輸送性の高い材料に、電子トラップ性の高い物質を少量添加した層であって、電子キャリアの移動を抑制することによって、キャリアバランスを調節することが可能となる。このような構成は、発光層を電子が突き抜けてしまうことにより発生する問題(例えば素子寿命の低下)の抑制に大きな効果を発揮する。

30

【0112】

また、電子輸送層 114 と第2の電極 102 との間に、第2の電極 102 に接して電子注入層 115 を設けてもよい。電子注入層 115 としては、フッ化リチウム(LiF)、フッ化セシウム(CsF)、フッ化カルシウム(CaF₂)等のようなアルカリ金属又はアルカリ土類金属又はそれらの化合物を用いることができる。例えば、電子輸送性を有する物質からなる層中にアルカリ金属又はアルカリ土類金属又はそれらの化合物を含有させたものを用いることができる。なお、電子注入層 115 として、電子輸送性を有する物質からなる層中にアルカリ金属又はアルカリ土類金属を含有させたものを用いることにより、第2の電極 102 からの電子注入が効率良く行われるためより好ましい。

【0113】

第2の電極 102 を形成する物質としては、仕事関数の小さい(具体的には 3.8 eV 以下)金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることができる。このような陰極材料の具体例としては、リチウム(Li)やセシウム(Cs)等のアルカリ金属、およびマグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、ストロンチウム(Sr)等の元素周期表の第1族または第2族に属する元素、およびこれらを含む合金(MgAg、AlLi)、ユウロピウム(Eu)、イッテルビウム(Yb)等の希土類金属およびこれらを含む合金等が挙げられる。しかしながら、第2の電極 102 と電子輸送層との間に、電子注入層を設けることにより、仕事関数の大小に関わらず、Al、Ag、ITO、ケイ素若しくは酸化ケイ素を含有した酸化インジウム-酸化スズ等様々な導電性材料を第2の電極 102 として用いることができる。これら導電性材料は、スパッタリング法やイン

40

50

クジェット法、スピンコート法等を用いて成膜することが可能である。

【0114】

また、EL層103の形成方法としては、乾式法、湿式法を問わず、種々の方法を用いることができる。例えば、真空蒸着法、インクジェット法またはスピンコート法など用いても構わない。また各電極または各層ごとに異なる成膜方法を用いて形成しても構わない。

【0115】

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

10

【0116】

以上のような構成を有する発光素子は、第1の電極101と第2の電極102との間に生じた電位差により電流が流れ、発光性の高い物質を含む層である発光層113において正孔と電子とが再結合し、発光するものである。つまり発光層113に発光領域が形成されるような構成となっている。

【0117】

発光は、第1の電極101または第2の電極102のいずれか一方または両方を通して外部に取り出される。従って、第1の電極101または第2の電極102のいずれか一方または両方は、透光性を有する電極で成る。第1の電極101のみが透光性を有する電極である場合、発光は第1の電極101を通して取り出される。また、第2の電極102のみが透光性を有する電極である場合、発光は第2の電極102を通して取り出される。第1の電極101および第2の電極102がいずれも透光性を有する電極である場合、発光は第1の電極101および第2の電極102を通して、両方から取り出される。

20

【0118】

なお、第1の電極101と第2の電極102との間に設けられる層の構成は、上記のものには限定されない。しかし、発光領域と電極やキャリア注入層に用いられる金属とが近接することによって生じる消光が抑制されるように、第1の電極101および第2の電極102から離れた部位に正孔と電子とが再結合する発光領域を設けた構成が好ましい。

【0119】

また、発光層113に接する正孔輸送層や電子輸送層、特に発光層113における発光領域に近い方に接するキャリア輸送層は、発光層で生成した励起子からのエネルギー移動を抑制するため、そのバンドギャップが発光層を構成する発光物質もしくは、発光層に含まれる発光中心物質が有するバンドギャップより大きいバンドギャップを有する物質で構成することが好ましい。

30

【0120】

本実施の形態における発光素子は、ガラス、プラスチックなどからなる基板上に作製すればよい。基板上に作製する順番としては、第1の電極101側から順に積層しても、第2の電極102側から順に積層しても良い。発光装置は一基板上に一つの発光素子を形成したもので良いが、複数の発光素子を形成しても良い。一基板上にこのような発光素子を複数作製することで、素子分割された照明装置やパッシブマトリクス型の発光装置を作製することができる。また、ガラス、プラスチックなどからなる基板上に、例えば薄膜トランジスタ(TFT)を形成し、TFTと電気的に接続された電極上に発光素子を作製してもよい。これにより、TFTによって発光素子の駆動を制御するアクティブマトリクス型の発光装置を作製できる。なお、TFTの構造は、特に限定されない。スタガ型のTFTでもよいし逆スタガ型のTFTでもよい。また、TFTに用いる半導体の結晶性についても特に限定されず、非晶質半導体を用いてもよいし、結晶性半導体を用いてもよい。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からなるものでよいし、若しくはN型のTFTまたはP型のTFTのいずれか一方からのみなるものであってもよい。

40

【0121】

50

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることが可能である。

【0122】

(実施の形態3)

本実施の形態では、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子を用いた発光装置について説明する。

【0123】

本実施の形態では、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子を用いて作製された発光装置について図4を用いて説明する。なお、図4(A)は、発光装置を示す上面図、図4(B)は図4(A)をA-BおよびC-Dで切断した断面図である。この発光装置は、発光素子の発光を制御するものとして、点線で示された駆動回路部(ソース線駆動回路)601、画素部602、駆動回路部(ゲート線駆動回路)603を含んでいる。また、604は封止基板、625は乾燥剤、605はシール材であり、シール材605で囲まれた内側は、空間607になっている。

10

【0124】

なお、引き回し配線608はソース線駆動回路601及びゲート線駆動回路603に入力される信号を伝送するための配線であり、外部入力端子となるFPC(フレキシブルプリントサーキット)609からビデオ信号、クロック信号、スタート信号、リセット信号等を受け取る。なお、ここではFPCしか図示されていないが、このFPCにはプリント配線基板(PWB)が取り付けられていても良い。本明細書における発光装置には、発光装置本体だけでなく、それにFPCもしくはPWBが取り付けられた状態をも含むものとする。

20

【0125】

次に、断面構造について図4(B)を用いて説明する。素子基板610上には駆動回路部及び画素部が形成されているが、ここでは、駆動回路部であるソース線駆動回路601と、画素部602中の一つの画素が示されている。

【0126】

なお、ソース線駆動回路601はnチャネル型TFT623とpチャネル型TFT624とを組み合わせたCMOS回路が形成される。また、駆動回路は、種々のCMOS回路、PMOS回路もしくはNMOS回路で形成しても良い。また、本実施の形態では、基板上に駆動回路を形成したドライバー体型を示すが、必ずしもその必要はなく、駆動回路を基板上ではなく外部に形成することもできる。

30

【0127】

また、画素部602はスイッチング用TFT611と、電流制御用TFT612とそのドレインに電気的に接続された第1の電極613とを含む複数の画素により形成される。なお、第1の電極613の端部を覆って絶縁物614が形成されている。ここでは、ポジ型の感光性アクリル樹脂膜を用いることにより形成する。

【0128】

また、被覆性を良好なものとするため、絶縁物614の上端部または下端部に曲率を有する曲面が形成されるようにする。例えば、絶縁物614の材料としてポジ型の感光性アクリルを用いた場合、絶縁物614の上端部のみに曲率半径(0.2 μ m~3 μ m)を有する曲面を持たせることが好ましい。また、絶縁物614として、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る。

40

【0129】

第1の電極613上には、EL層616、および第2の電極617がそれぞれ形成されている。ここで、陽極として機能する第1の電極613に用いる材料としては、仕事関数の大きい材料を用いることが望ましい。例えば、ITO膜、またはケイ素を含有したインジウム錫酸化物膜、2~20wt%の酸化亜鉛を含む酸化インジウム膜、窒化チタン膜、クロム膜、タングステン膜、Zn膜、Pt膜などの単層膜の他、窒化チタンとアルミニウムを主成分とする膜との積層、窒化チタン膜とアルミニウムを主成分とする膜と窒化チタン膜との3層構造等を用いることができる。なお、積層構造とすると、配線としての抵抗

50

も低く、良好なオーミックコンタクトがとれ、さらに陽極として機能させることができる。

【0130】

また、EL層616は、蒸着マスクを用いた蒸着法、インクジェット法、スピンコート法等の種々の方法によって形成される。EL層616は、実施の形態1及び実施の形態2で説明したような構成を含んでいる。また、EL層616を構成する他の材料としては、低分子化合物、または高分子化合物（オリゴマー、 dendrimerを含む）であっても良い。

【0131】

さらに、EL層616上に形成され、陰極として機能する第2の電極617に用いる材料としては、仕事関数の小さい材料（Al、Mg、Li、Ca、またはこれらの合金や化合物、MgAg、MgIn、AlLi等）を用いることが好ましい。なお、EL層616で生じた光が第2の電極617を透過させる場合には、第2の電極617として、膜厚を薄くした金属薄膜と、透明導電膜（ITO、2～20wt%の酸化亜鉛を含む酸化インジウム、ケイ素を含有したインジウム錫酸化物、酸化亜鉛（ZnO）等）との積層を用いるのが良い。

10

【0132】

なお、第1の電極613、EL層616、第2の電極617でもって、発光素子が形成されている。当該発光素子は実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子である。なお、画素部は複数の発光素子が形成されてはいるが、本実施の形態における発光装置では、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子と、それ以外の構成を有する発光素子の両方が含まれていても良い。

20

【0133】

さらにシール材605で封止基板604を素子基板610と貼り合わせるにより、素子基板610、封止基板604、およびシール材605で囲まれた空間607に発光素子618が備えられた構造になっている。なお、空間607には、充填材が充填されており、不活性気体（窒素やアルゴン等）が充填される場合の他、シール材605で充填される場合もある。封止基板には凹部を形成し、そこに乾燥材625を設けると水分の影響による劣化を抑制することができ、好ましい構成である。

【0134】

なお、シール材605にはエポキシ系樹脂やガラスフリットを用いるのが好ましい。また、これらの材料はできるだけ水分や酸素を透過しない材料であることが望ましい。また、封止基板604に用いる材料としてガラス基板や石英基板の他、FRP（Fiber glass-Reinforced Plastics）、PVF（ポリビニルフロライド）、ポリエステルまたはアクリル等からなるプラスチック基板を用いることができる。

30

【0135】

以上のようにして、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子を用いて作製された発光装置を得ることができる。

【0136】

本実施の形態における発光装置は、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子を用いているため、良好な特性を備えた発光装置を得ることができる。具体的には、実施の形態1及び実施の形態2で示した発光効率の良好な発光素子であり、消費電力の低減された発光装置とすることができる。また、駆動電圧の小さい発光素子であり、駆動電圧の小さい発光装置を得ることができる。

40

【0137】

以上のように、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説明したが、この他、パッシブマトリクス型の発光装置であってもよい。図5には本発明を適用して作製したパッシブマトリクス型の発光装置を示す。なお、図5(A)は、発光装置を示す斜視図、図5(B)は図5(A)をX-Yで切断した断面図である。図5において、基板951上には、電極952と電極956との間にはEL層955が設けられている。

50

電極 952 の端部は絶縁層 953 で覆われている。そして、絶縁層 953 上には隔壁層 954 が設けられている。隔壁層 954 の側壁は、基板面に近くなるに伴って、一方の側壁と他方の側壁との間隔が狭くなっていくような傾斜を有する。つまり、隔壁層 954 の短辺方向の断面は、台形状であり、底辺（絶縁層 953 の面方向と同様の方向を向き、絶縁層 953 と接する辺）の方が上辺（絶縁層 953 の面方向と同様の方向を向き、絶縁層 953 と接しない辺）よりも短い。このように、隔壁層 954 を設けることで、静電気等に起因した発光素子の不良を防ぐことができる。また、パッシブマトリクス型の発光装置においても、低駆動電圧で動作する実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を有することによって、低消費電力で駆動させることができる。また、実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を有することによって信頼性の高い発光装置とすることが可能となる。

10

【0138】

また、フルカラー表示とするためには、発光素子からの光が発光装置の外部に出る為の光路上に着色層もしくは色変換層を設ければ良い。着色層等を設けることによってフルカラー化した発光装置の例を図 6 (A) 及び (B) に示す。図 6 (A) には基板 1001、下地絶縁膜 1002、ゲート絶縁膜 1003、ゲート電極 1006、1007、1008、第 1 の層間絶縁膜 1020、第 2 の層間絶縁膜 1021、周辺部 1042、画素部 1040、駆動回路部 1041、発光素子の第 1 の電極 1024W、1024R、1024G、1024B、隔壁 1025、EL 層 1028、発光素子の第 2 の電極 1029、封止基板 1031、シール材 1032 などが図示されている。また、着色層（赤色の着色層 1034R、緑色の着色層 1034G、青色の着色層 1034B）は透明な基材 1033 に設ける。また、黒色層（ブラックマトリクス）1035 をさらに設けても良い。着色層及び黒色層が設けられた透明な基材 1033 は、位置合わせし、基板 1001 に固定する。なお、着色層、及び黒色層は、オーバーコート層 1036 で覆われている。また、本実施の形態においては、光が着色層を透過せず外部へ出る発光層と、各色の着色層を透過して外部に光が出る発光層とがあり、着色層を透過しない光は白、着色層を透過する光は赤、青、緑となることから、4 色の画素で映像を表現することができる。

20

【0139】

また、以上に説明した発光装置では、TFT が形成されている基板 1001 側に光を取り出す構造（ボトムエミッション型）の発光装置としたが、封止基板 1031 側に発光を取り出す構造（トップエミッション型）の発光装置としても良い。トップエミッション型の発光装置の断面図を図 7 に示す。この場合、基板 1001 は光を通さない基板を用いることができる。TFT と発光素子の陽極とを接続する接続電極を作製するまでは、ボトムエミッション型の発光装置と同様に形成する。その後、第 3 の層間絶縁膜 1037 を電極 1022 を覆って形成する。この第 3 の層間絶縁膜 1037 は平坦化の役割を担っていても良い。第 3 の層間絶縁膜 1037 は第 2 の層間絶縁膜と同様の材料の他、他の公知の材料を用いて形成することができる。

30

【0140】

発光素子の第 1 の電極 1024W、1024R、1024G、1024B はここでは陽極とするが、陰極であっても構わない。また、図 7 のようなトップエミッション型の発光装置である場合、第 1 の電極を反射電極とすることが好ましい。EL 層 1028 の構成は、実施の形態 1 及び実施の形態 2 で説明したような構成とし、白色の発光が得られるような素子構造とする。白色の発光が得られる構成としては、EL 層を 2 層用いた場合には一方の EL 層における発光層から青色の光が、もう一方の EL 層における発光層から橙色の光が得られるような構成や、一方の EL 層における発光層から青色の光が、もう一方の EL 層における発光層からは赤色と緑色の光が得られるような構成などが考えられる。また、EL 層を 3 層用いた場合には、それぞれの発光層から、赤色、緑色、青色の発光が得られるようにすることで白色発光を呈する発光素子を得ることができる。なお、実施の形態 1 及び実施の形態 2 で示した構成を適用しているのであれば、白色発光を得る構成はこれに限らないことはもちろんである。

40

50

【 0 1 4 1 】

着色層は、発光素子からの光が外部へとでる光路上に設ける。図 6 (A) のようなボトムエミッション型の発光装置の場合、透明な基材 1 0 3 3 に着色層 1 0 3 4 R、1 0 3 4 G、1 0 3 4 B を設けて基板 1 0 0 1 に固定することによって設けることができる。また、図 6 (B) のように着色層をゲート絶縁膜 1 0 0 3 と第 1 の層間絶縁膜 1 0 2 0 との間に設ける構成としても良い。図 7 のようなトップエミッションの構造であれば着色層 (赤色の着色層 1 0 3 4 R、緑色の着色層 1 0 3 4 G、青色の着色層 1 0 3 4 B) を設けた封止基板 1 0 3 1 で封止を行うこともできる。封止基板 1 0 3 1 には画素と画素との間に位置するように黒色層 (ブラックマトリックス) 1 0 3 5 を設けても良い。着色層 (赤色の着色層 1 0 3 4 R、緑色の着色層 1 0 3 4 G、青色の着色層 1 0 3 4 B) や黒色層 (ブラックマトリックス) 1 0 3 5 はオーバーコート層 1 0 3 6 によって覆われていても良い。なお封止基板 1 0 3 1 は透光性を有する基板をもちいることとする。

10

【 0 1 4 2 】

こうして得られた有機発光素子の一对の電極間に電圧を印加すると白色の発光領域 1 0 4 4 W が得られる。また、着色層と組み合わせることで、赤色の発光領域 1 0 4 4 R と、青色の発光領域 1 0 4 4 B と、緑色の発光領域 1 0 4 4 G とが得られる。本実施の形態の発光装置は実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を用いていることから、消費電力の小さい発光装置の実現が可能である。

【 0 1 4 3 】

また、ここでは赤、緑、青、白の 4 色でフルカラー表示を行う例を示したが特に限定されず、赤、緑、青の 3 色でフルカラー表示を行ってもよい。また、マイクロキャビティー構造を設けることによって色純度を向上させても良い。この際、マイクロキャビティー構造は全画素に設けても良いが、青色の画素のみに設けても良い。

20

【 0 1 4 4 】

また、本実施の形態は他の実施の形態と自由に組み合わせることができる。

【 0 1 4 5 】

(実施の形態 4)

本実施の形態では、実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を照明装置として用いる例を図 8 を参照しながら説明する。図 8 (B) は照明装置の上面図、図 8 (A) は図 8 (B) における e - f 断面図である。

30

【 0 1 4 6 】

本実施の形態における照明装置は、支持体である透光性を有する基板 4 0 0 上に、第 1 の電極 4 0 1 が形成されている。第 1 の電極 4 0 1 は実施の形態 3 における第 1 の電極 1 0 1 に相当する。

【 0 1 4 7 】

第 1 の電極 4 0 1 上には補助電極 4 0 2 が設けられている。本実施の形態では、第 1 の電極 4 0 1 側から発光を取り出す例を示したため、第 1 の電極 4 0 1 は透光性を有する材料により形成する。補助電極 4 0 2 は透光性を有する材料の導電率の低さを補うために設けられており、第 1 の電極 4 0 1 の抵抗が高いことによる電圧降下を起因とする発光面内の輝度むらを抑制する機能を有する。補助電極 4 0 2 は少なくとも第 1 の電極 4 0 1 の材料よりも導電率の大きい材料を用いて形成し、好ましくはアルミニウムなどの導電率の大きい材料を用いて形成すると良い。なお、補助電極 4 0 2 における第 1 の電極 4 0 1 と接する部分以外の表面は絶縁層で覆われていることが好ましい。これは、取り出すことができない補助電極 4 0 2 上部からの発光を抑制するためであり、無効電流を低減し、電力効率の低下を抑制するためである。なお、補助電極 4 0 2 の形成と同時に第 2 の電極 4 0 4 に電圧を供給するためのパッド 4 1 2 を形成しても良い。

40

【 0 1 4 8 】

第 1 の電極 4 0 1 と補助電極 4 0 2 上には E L 層 4 0 3 が形成されている。E L 層 4 0 3 は実施の形態 1 及び実施の形態 2 に説明した構成を有する。なお、これら構成については当該記載を参照されたい。なお、E L 層 4 0 3 は第 1 の電極 4 0 1 よりも平面的に見て

50

少し大きく形成することが、第1の電極401と第2の電極404とのショートを抑制する絶縁層の役割も担えるため好ましい構成である。

【0149】

EL層403を覆って第2の電極404を形成する。第2の電極404は実施の形態3における第2の電極102に相当し、同様の構成を有する。本実施の形態においては、発光は第1の電極401側から取り出されるため、第2の電極404は反射率の高い材料によって形成されることが好ましい。本実施の形態において、第2の電極404はパッド412と接続することによって、電圧が供給されるものとする。

【0150】

以上、第1の電極401、EL層403、及び第2の電極404（及び補助電極402）を有する発光素子を本実施の形態で示す照明装置は有している。当該発光素子は発光効率の高い発光素子であるため、本実施の形態における照明装置は消費電力の小さい照明装置とすることができる。また、当該発光素子は信頼性の高い発光素子であることから、本実施の形態における照明装置は信頼性の高い照明装置とすることができる。

【0151】

以上の構成を有する発光素子を、シール材405、406を用いて封止基板407を固着し、封止することによって照明装置が完成する。シール材405、406はどちらか一方でもかまわない。また、内側のシール材406には乾燥剤を混ぜることもでき、これにより、水分を吸着することができ、信頼性の向上につながる。

【0152】

また、パッド412、第1の電極401及び補助電極402の一部をシール材405、406の外に伸張して設けることによって、外部入力端子とすることができる。また、その上にコンバータなどを搭載したICチップ420などを設けても良い。

【0153】

以上、本実施の形態に記載の照明装置は、EL素子に実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子を有することから、消費電力の小さい照明装置とすることができる。また、駆動電圧の低い照明装置とすることができる。また、信頼性の高い照明装置とすることができる。

【0154】

（実施の形態5）

本実施の形態では、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子をその一部に含む電子機器の例について説明する。実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子は発光効率が良好であり、消費電力が低減された発光素子である。その結果、本実施の形態に記載の電子機器は、消費電力が低減された発光部を有する電子機器とすることが可能である。また、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子は、駆動電圧の小さい発光素子であるため、駆動電圧の小さい電子機器とすることが可能である。

【0155】

上記発光素子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、またはテレビジョン受信機ともいう）、コンピュータ用などのモニタ、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機（携帯電話、携帯電話装置ともいう）、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、パチンコ機などの大型ゲーム機などが挙げられる。これらの電子機器の具体例を以下に示す。

【0156】

図9（A）は、テレビジョン装置の一例を示している。テレビジョン装置は、筐体7101に表示部7103が組み込まれている。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。表示部7103により、映像を表示することが可能であり、表示部7103は、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、発光効率の良好な発光素子とすることが可能である。また、駆動電圧の小さい発光素子とすることが可能である。また、寿命の長い発光素子とすることが可能である。そのため、当該発光素子で構成される表示部7

10

20

30

40

50

103を有するテレビジョン装置は消費電力の低減されたテレビジョン装置とすることができる。また、駆動電圧の小さいテレビジョン装置とすることが可能である。また、信頼性の高いテレビジョン装置とすることができる。

【0157】

テレビジョン装置の操作は、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。

【0158】

なお、テレビジョン装置は、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また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）または双方向（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。

【0159】

図9（B1）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、このコンピュータは、実施の形態2又は実施の形態3で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して表示部7203に用いることにより作製される。図9（B1）のコンピュータは、図9（B2）のような形態であっても良い。図9（B2）のコンピュータは、キーボード7204、ポインティングデバイス7206の代わりに第2の表示部7210が設けられている。第2の表示部7210はタッチパネル式となっており、第2の表示部7210に表示された入力用の表示を指や専用のペンで操作することによって入力を行うことができる。また、第2の表示部7210は入力用表示だけでなく、その他の画像を表示することも可能である。また表示部7203もタッチパネルであっても良い。二つの画面がヒンジで接続されていることによって、収納や運搬をする際に画面を傷つける、破損するなどのトラブルの発生も防止することができる。当該発光素子は発光効率の良好な発光素子とすることが可能である。そのため、当該発光素子で構成される表示部7203を有するコンピュータは消費電力の低減されたコンピュータとすることができる。

【0160】

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、実施の形態1及び実施の形態2で説明した発光素子をマトリクス状に配列して作製された表示部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、または一方に実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子をマトリクス状に配列して作製された表示部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。上述のような表示部7304を有する携帯型遊技機は、表示部7304に用いられている発光素子が、良好な発光効率を有することから、消費電力の低減された携帯型遊技機とすることができる。また、表示部7304に用いられている発光素子が低い駆動電圧で駆動させる

10

20

30

40

50

ことができることから、駆動電圧の小さい携帯型遊技機とすることができる。また、表示部 7304 に用いられている発光素子が寿命の長い発光素子であることから、信頼性の高い携帯型遊技機とすることができる。

【0161】

図9(D)は、携帯電話機の一例を示している。携帯電話機は、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、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子をマトリクス状に配列して作製された表示部 7402を有している。当該発光素子は発光効率の良好な発光素子とすることが可能である。また、駆動電圧の小さい発光素子とすることが可能である。また、寿命の長い発光素子とすることが可能である。そのため、当該発光素子で構成される表示部 7402を有する携帯電話機は消費電力の低減された携帯電話機とすることができる。また、駆動電圧の小さい携帯電話機とすることが可能である。また、信頼性の高い携帯電話機とすることが可能である。

10

【0162】

図9(D)に示す携帯電話機は、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構成とすることもできる。この場合、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。

【0163】

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。

20

【0164】

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

【0165】

また、携帯電話機内部に、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。

30

【0166】

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。

【0167】

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。

40

【0168】

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または近赤外光を発光するセンシング用光源を用いれば、指静脈、掌静脈などを撮像することもできる。

【0169】

なお、本実施の形態に示す構成は、実施の形態1乃至実施の形態4に示した構成を適宜組み合わせ用いることができる。

【0170】

以上の様に実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子を備えた発光装置の適用範

50

囲は極めて広く、この発光装置をあらゆる分野の電子機器に適用することが可能である。実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を用いることにより、消費電力の低減された電子機器を得ることができる。

【 0 1 7 1 】

図 1 0 は、実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子をバックライトに適用した液晶表示装置の一例である。図 1 0 に示した液晶表示装置は、筐体 9 0 1、液晶層 9 0 2、バックライトユニット 9 0 3、筐体 9 0 4 を有し、液晶層 9 0 2 は、ドライバ I C 9 0 5 と接続されている。また、バックライトユニット 9 0 3 には、実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子が用いられおり、端子 9 0 6 により、電流が供給されている。

【 0 1 7 2 】

実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を液晶表示装置のバックライトに適用したことにより、消費電力の低減されたバックライトが得られる。また、実施の形態 2 に記載の発光素子を用いることで、面発光の照明装置が作製でき、また大面積化も可能である。これにより、バックライトの大面積化が可能であり、液晶表示装置の大面積化も可能になる。さらに、実施の形態 2 に記載の発光素子を適用した発光装置は従来と比較し厚みを小さくできるため、表示装置の薄型化も可能となる。

【 0 1 7 3 】

図 1 1 は、実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を、照明装置である電気スタンドに用いた例である。図 1 1 に示す電気スタンドは、筐体 2 0 0 1 と、光源 2 0 0 2 を有し、光源 2 0 0 2 として、実施の形態 4 に記載の発光装置が用いられている。

【 0 1 7 4 】

図 1 2 は、実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を、室内の照明装置 3 0 0 1 および表示装置 3 0 0 2 として用いた例である。実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子は消費電力の低減された発光素子であるため、消費電力の低減された照明装置とすることができる。また、実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子は大面積化が可能であるため、大面積の照明装置として用いることができる。また、実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子は、薄型であるため、薄型化した照明装置として用いることが可能となる。

【 0 1 7 5 】

実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子は、自動車のフロントガラスやダッシュボードにも搭載することができる。図 1 3 に実施の形態 2 に記載の発光素子を自動車のフロントガラスやダッシュボードに用いる一態様を示す。表示 5 0 0 0 乃至表示 5 0 0 5 は実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を用いて設けられた表示である。

【 0 1 7 6 】

表示 5 0 0 0 と表示 5 0 0 1 は自動車のフロントガラスに設けられた実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を搭載した表示装置である。実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子は、第 1 の電極と第 2 の電極を透光性を有する電極で作製することによって、反対側が透けて見える、いわゆるシースルー状態の表示装置とすることができる。シースルー状態の表示であれば、自動車のフロントガラスに設置したとしても、視界の妨げになることなく設置することができる。なお、駆動のためのトランジスタなどを設ける場合には、有機半導体材料による有機トランジスタや、酸化物半導体を用いたトランジスタなど、透光性を有するトランジスタを用いると良い。

【 0 1 7 7 】

表示 5 0 0 2 はピラー部分に設けられた実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の発光素子を搭載した表示装置である。表示 5 0 0 2 には、車体に設けられた撮像手段からの映像を映し出すことによって、ピラーで遮られた視界を補完することができる。また、同様に、ダッシュボード部分に設けられた表示 5 0 0 3 は車体によって遮られた視界を、自動車の外側に設けられた撮像手段からの映像を映し出すことによって、死角を補い、安全性を高めることができる。見えない部分を補完するように映像を映すことによって、より自然に違和感なく安全確認を行うことができる。

10

20

30

40

50

【0178】

表示5004や表示5005はナビゲーション情報、スピードメーターやタコメーター、走行距離、給油量、ギア状態、エアコンの設定など、その他様々な情報を提供することができる。表示は使用者の好みに合わせて適宜その表示項目やレイアウトを変更することができる。なお、これら情報は表示5000乃至表示5003にも設けることができる。また、表示5000乃至表示5005は照明装置として用いることも可能である。

【0179】

実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子は発光効率の高い発光素子とすることができる。また、消費電力の小さい発光素子とすることができる。このことから、表示5000乃至表示5005のような大きな画面を数多く設けても、バッテリーに負荷をかけることが少なく、快適に使用することができることから実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子を用いた発光装置または照明装置は、車載用の発光装置又は照明装置として好適に用いることができる。

【0180】

図14(A)及び図14(B)は2つ折り可能なタブレット型端末の一例である。図14(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9631a、表示部9631b、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、実施の形態1及び実施の形態2に記載の発光素子を備えた発光装置を表示部9631a、表示部9631bの一方又は両方に用いることにより作製される。

【0181】

表示部9631aは、一部をタッチパネル領域9632a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9631a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9631a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9631a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9631bを表示画面として用いることができる。

【0182】

また、表示部9631bにおいても表示部9631aと同様に、表示部9631bの一部をタッチパネル領域9632b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9631bにキーボードボタンを表示することができる。

【0183】

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

【0184】

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。

【0185】

また、図14(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。

【0186】

図14(B)は、閉じた状態であり、本実施の形態におけるタブレット型端末では、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を備える例を示す。なお、図14(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。

【0187】

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。

【0188】

また、この他にも図14(A)及び図14(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。

【0189】

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。

【0190】

また、図14(B)に示す充放電制御回路9634の構成、及び動作について図14(C)にブロック図を示し説明する。図14(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14(B)に示す充放電制御回路9634に対応する箇所となる。

【0191】

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で充電された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、SW1をオフにし、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。

【0192】

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、発電手段は特に限定されず、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ってバッテリー9635の充電を行う構成であってもよい。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く、発電手段を有さなくとも良い。

【0193】

また、上記表示部9631を具備していれば、図14に示した形状のタブレット型端末に限定されない。

【実施例1】

【0194】

本実施例では実施の形態1及び実施の形態2に記載の本発明の一態様に相当する発光素子の作製方法及び特性について説明する。以下に、本実施例で使用した有機化合物の構造式を示す。

【0195】

10

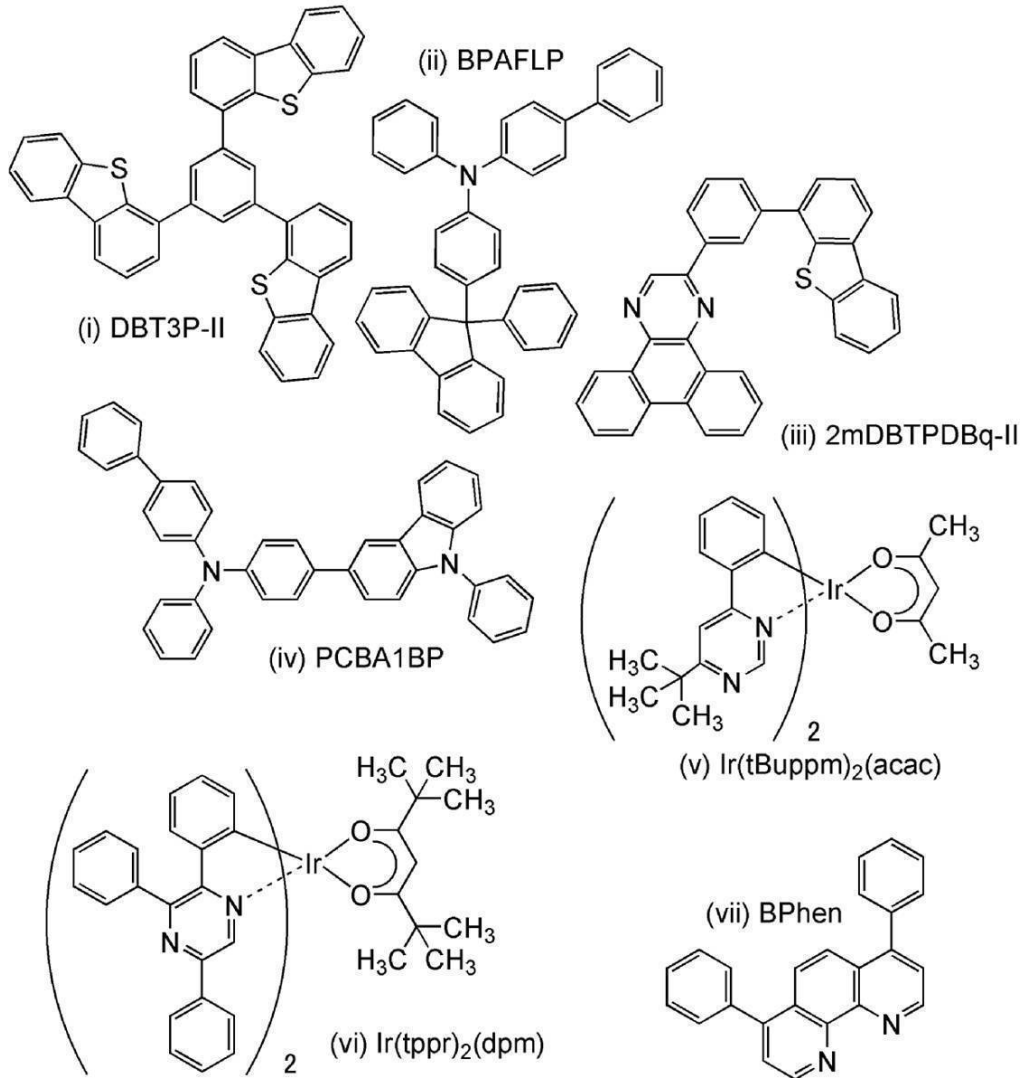
20

30

40

50

【化 2】



10

20

30

【0196】

次に、本実施例の発光素子の作製方法を示す。

【0197】

まず、ガラス基板上に、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て成膜し、第1の電極101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。ここで、第1の電極101は、発光素子の陽極として機能する電極である。

【0198】

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

40

【0199】

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

【0200】

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極101上に、抵抗加熱を用いた蒸着法により上記構造式(i)で表される4,4',4''-(ベンゼン-1,3,5-トリイル)トリ(ジベンゾチオフェン)(略称:DBT3P-II)、と酸化モリブデン(VI)を共蒸着することで、正孔

50

注入層 1 1 1 を形成した。その膜厚は、33 nm とし、DBT3P-II と酸化モリブデンの比率は、重量比で 4 : 2 (= DBT3P-II : 酸化モリブデン) となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で、複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0201】

次に、正孔注入層 1 1 1 上に、上記構造式 (ii) で表される、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 の膜厚となるように成膜し、正孔輸送層 1 1 2 を形成した。

【0202】

さらに、正孔輸送層 1 1 2 上に、上記構造式 (iii) で表される 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) と上記構造式 (iv) で表される 4 - フェニル - 4' - (9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル) トリフェニルアミン (略称 : PCBA1BP) と上記構造式 (v) で表されるビス [2 - (6 - tert - ブチル - 4 - ピリミジニル - N3) フェニル - C] (2, 4 - ペンタンジオナト - ²O, O') イリジウム (III) (略称 : Ir(tBuppm)₂(acac)) とを、重量比 0.8 : 0.2 : 0.05 (= 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : Ir(tBuppm)₂(acac)) となるように 20 nm 共蒸着して第 1 の発光層 1 1 3 a とし、2mDBTPDBq-II と上記構造式 (vi) で表されるビス (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)) とを、重量比 1 : 0.06 (= 2mDBTPDBq-II : Ir(tppr)₂(dpm)) となるように 20 nm 共蒸着して第 2 の発光層 1 1 3 b を形成した。なお、ホスト材料である 2mDBTPDBq-II と PCBA1BP とは励起錯体を形成する。

【0203】

その後、発光層 1 1 3 上に 2mDBTPDBq-II を膜厚 15 nm となるように成膜し、さらに、上記構造式 (vii) で表されるバソフェナントロリン (略称 : BPhen) を 15 nm となるように成膜して、電子輸送層 1 1 4 を形成した。

【0204】

電子輸送層 1 1 4 を形成したら、その後、フッ化リチウム (LiF) を 1 nm の膜厚となるように蒸着し、電子注入層 1 1 5 を形成した。

【0205】

最後に、陰極として機能する第 2 の電極 1 0 2 として、アルミニウムを 200 nm の膜厚となるように蒸着することで、本実施例の発光素子 1 を作製した。

【0206】

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。

【0207】

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。

【0208】

【表 1】

正孔注入層	正孔輸送層	発光層		電子輸送層		電子注入層
		第1の発光層	第2の発光層			
DBT3P-II :MoOx 4:2 33nm	BPAFLP 20nm	2mDBTPDBq-II :PCBA1BP :Ir(tBuppm) ₂ (acac) 0.8:0.2:0.05 20nm	2mDBTPDBq-II :Ir(tppr) ₂ (dpm) 1:0.06 20nm	2mDBTPDBq-II 15nm	Bphen 15nm	LiF 1nm

【0209】

発光素子 1 を、窒素雰囲気中のグローブボックス内において、大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業 (シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に 80 °C にて 1 時間熱処理) を行った。

10

20

30

40

50

【0210】

発光素子1では第1のりん光性化合物113Daとして $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ を、第2のりん光性化合物113Dbとして $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ を用いている。ここで、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ のPLスペクトルと、 $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の()⁴の関係について述べる。なお、()は波長、()はモル吸光係数である。

【0211】

まず、図20(a)に $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ のモル吸光係数()と、()⁴とを表すグラフを示した。モル吸光係数()には長波長側の領域に目立ったピークが存在しないのに対し、()⁴のグラフにおいては、543nmに極大値を有するピーク(山)が存在する。このピークは $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の三重項MLCT吸収であり、このピークに第1のりん光性化合物113Daの発光のピークを重ね合わせることで、エネルギー移動の効率を大きく高めることが可能となる。

10

【0212】

図20(b)に、第1のりん光性化合物113Daである $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ のPLスペクトルF()と第2のりん光性化合物113Dbである $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の()⁴を表すグラフを示した。このグラフより、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ のPLスペクトルF()のピークが存在する山と $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の()⁴の最も長波長側の極大値を有する山とは大きく重なっており、エネルギー移動が非常に効率よく行われる組み合わせであることがわかる。また、第1のりん光性化合物113Daである $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の発光のピークは546nmに存在し、第2のりん光性化合物113Dbである $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の()⁴を表すスペクトルにおける長波長側の極大は543nmに存在するため、その差は3nmである。546nmは2.27eV、543nmは2.28eVに相当するため、その差は0.01eVとなり、0.2eVよりその差が小さいことから、ピーク位置からも効率的なエネルギー移動が行われることが示唆される。

20

【0213】

続いて、図21(a)に第1のりん光性化合物113Daである $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ のモル吸光係数()と、()⁴とを表すグラフを示した。モル吸光係数()を表すグラフにおける長波長側の領域のピークは、短波長側のピークと比較してその強度が小さいのに対して、()⁴のグラフにおいては、494nmに大きな強度を有する極大値が存在する。この極大値が存在するピーク(山)は $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の三重項MLCT吸収であり、このピークにエネルギードナーの発光ピークを重ね合わせることで、エネルギー移動の効率を大きく高めることが可能となる。

30

【0214】

ここで、本実施例の発光素子1では、第1のホスト材料である2mDBTPDBq-IIと第1の有機化合物であるPCBA1BPとが励起錯体113Ecを形成し、当該励起錯体113Ecから第1のりん光性化合物113Daにエネルギーが供給される構成となっている。図23は、2mDBTPDBq-II、PCBA1BP、およびそれらの混合膜(質量比にして0.8:0.2)のPLスペクトルを示す図であり、2mDBTPDBq-IIと第1の有機化合物であるPCBA1BPとが励起錯体113Ecを形成していることがわかる。また、図21(b)にはその励起錯体のPLスペクトルF()と第1のりん光性化合物113Daである $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の()⁴を表すグラフを示した。このグラフより、励起錯体のPLスペクトルF()のピークが存在する山と $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の()⁴の最も長波長側の極大値を有する山とが重なっており、エネルギー移動が効率よく行われる組み合わせであることがわかる。また、励起錯体のPLスペクトルのピークは519nmに存在し、第1のりん光性化合物113Daである $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の()⁴を表すスペクトルにおける、長波長側の極大は494nmに存在するため、その差は25nmで

40

50

ある。519 nmはエネルギーに換算すると2.39 eV、494 nmはエネルギーに換算すると2.51 eVに相当するため、その差は0.12 eVとなり、0.2 eVよりその差が小さいことから、ピーク位置からも効率的なエネルギー移動が行われることが示唆される。

【0215】

なお、図23からわかるように、第1のホスト材料113Haである2mDBTPDBq-*II*のPLスペクトルのピークは426 nmであり、エネルギーに換算すると2.91 eVに相当する。また、第1の有機化合物113AであるPCBA1BPのPLスペクトルのピークは405 nmであり、エネルギーに換算すると3.06 eVに相当する。 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の()⁴を表すスペクトルにおける、長波長側の極大値は494 nmに存在するため、エネルギーに換算すると2.51 eVに相当し、それぞれの差は0.4 eV(第1のホスト材料113Ha:2mDBTPDBq-*II*)、0.55 eV(第1の有機化合物113A:PCBA1BP)となり、どちらも0.2 eV以上のエネルギー差を有することから2mDBTPDBq-*II*、PCBA1BPから $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ へはエネルギー移動がしにくいことがわかる。

10

【0216】

また、図22に励起錯体のPLスペクトル $F(\text{ })$ 、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ のPLスペクトル $F(\text{ })$ 、 $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ のPLスペクトル $F(\text{ })$ 、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の()⁴、 $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の()⁴を一つにまとめたグラフを示す。励起錯体のPLスペクトルと $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の()⁴との重なり(極大値A付近)を使って励起錯体から $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ へ、そして、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ のPLスペクトルと $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の()⁴との重なり(極大値B付近)を使って $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ から $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ へ、段階的にエネルギー移動が可能であることがわかる。なお、励起錯体から、第2のりん光性化合物である $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ に直接エネルギー移動することもできる。これは、図22からわかるように、 $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の三重項MLCT吸収帯(極大値B付近)の短波長側で、励起錯体のPLスペクトル $F(\text{ })$ とも $\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$ の()⁴が重なっているためである。

20

【0217】

この発光素子の素子特性について測定を行った。なお、測定は室温(25 に保たれた雰囲気)で行った。

30

【0218】

発光素子1の輝度-電流効率特性を図15に示す。図15において、横軸は輝度(cd/m^2)、縦軸は電流効率(cd/A)を表す。また、電圧-輝度特性を図16に示す。図16において、横軸は電圧(V)、縦軸は輝度(cd/m^2)を表す。また、輝度-外部量子効率特性を図17に示す。図17において、横軸は輝度(cd/m^2)、縦軸は外部量子効率(%)を示す。また、輝度-パワー効率特性を図18に示す。図18において、横軸は輝度(cd/m^2)、縦軸はパワー効率(%)を示す。

【0219】

以上のように、発光素子1は良好な素子特性を示すことがわかった。特に、図15、図17、図18からわかるように、非常に良好な発光効率を有し、外部量子効率は実用輝度($1000 \text{ cd}/\text{m}^2$)付近において、20%以上の高い値を示した。また同様に電流効率も60 cd/A 前後、パワー効率も60 lm/W 前後の非常に良好な値を示している。

40

【0220】

また、発光素子1に0.1 mAの電流を流した際の発光スペクトルを、図19に示す。図19において、横軸は波長(nm)、縦軸は発光強度(任意単位)を表す。図19より、発光素子1はビス[2-(6-tert-ブチル-4-ピリジニル-N3)フェニル-C](2,4-ペンタンジオナト-²O, O')イリジウム(*III*) (略称: $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$)由来の緑色の波長の光とビス(2,3,5-トリフ

50

エニルピラジナト) (ジピバロイルメタナト) イリジウム (III) (略称: Ir(tppr)₂(dpm)) 由来の赤色の波長の光がバランスよく含まれる発光スペクトルを示すことがわかった。

【0221】

このように本発明の一態様に相当する発光素子 1 は良好な発光効率を有し、且つ、2 種類の発光中心物質からの光がバランスよく得られる発光素子であることがわかった。

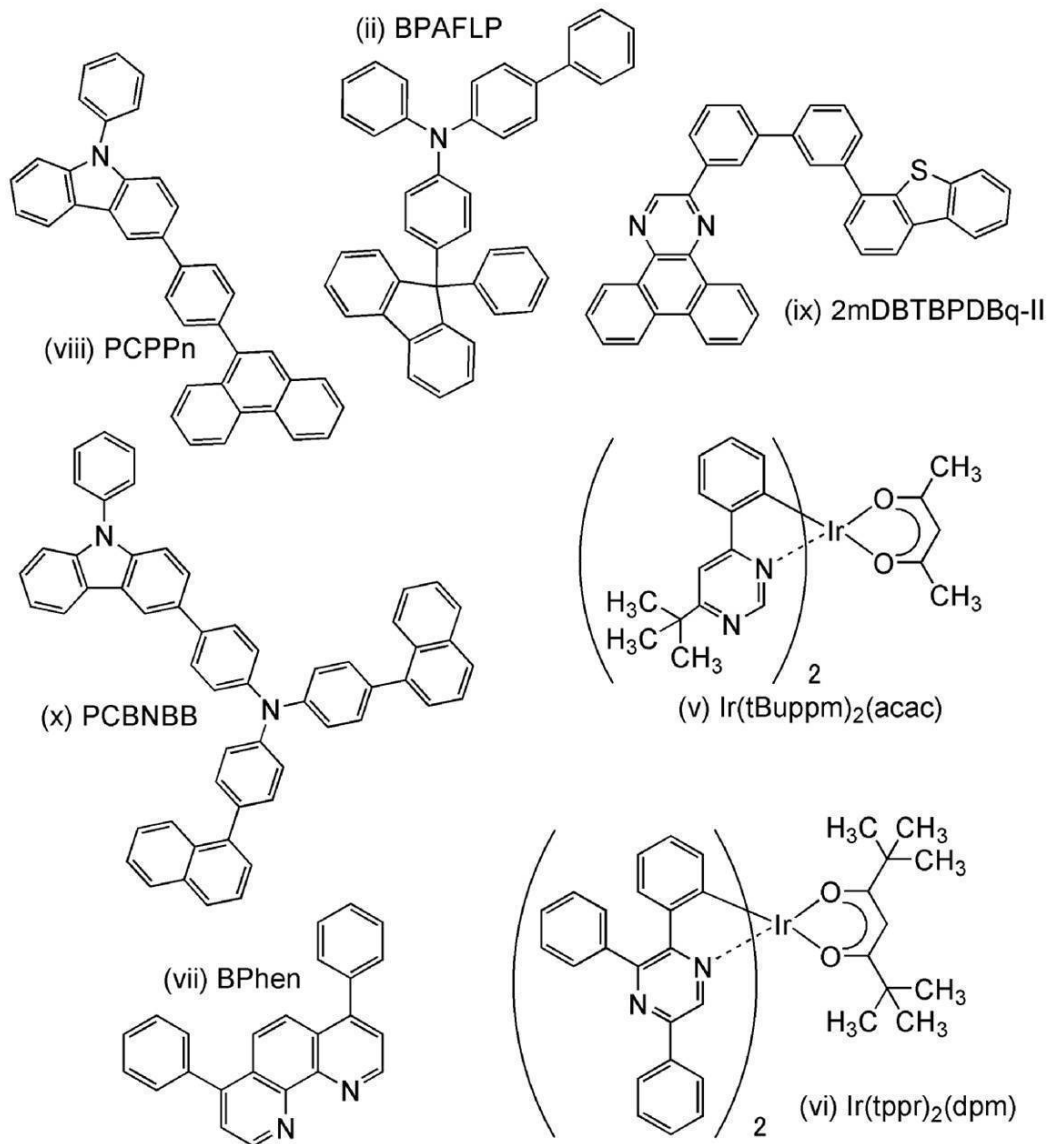
【実施例 2】

【0222】

本実施例では実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の本発明の一態様に相当する発光素子の作製方法及び特性について説明する。以下に、本実施例で使用した有機化合物の構造式を示す。

【0223】

【化 3】



【0224】

次に、本実施例の発光素子の作製方法を示す。

【0225】

まず、ガラス基板上に、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て成膜し、第 1 の電極 101 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。ここで、第 1 の電極 101 は、発光素子の陽極として機能

10

20

30

40

50

する電極である。

【0226】

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

【0227】

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、基板を30分程度放冷した。

【0228】

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極101上に、抵抗加熱を用いた蒸着法により上記構造式(viii)で表される3-[4-(9-フェナントリル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール(略称:PCPPn)、と酸化モリブデン(VI)を共蒸着することで、正孔注入層111を形成した。その膜厚は、33.3nmとし、PCPPnと酸化モリブデンの比率は、重量比で1:0.5(=PCPPn:酸化モリブデン)となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で、複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

10

【0229】

次に、正孔注入層111上に、上記構造式(ii)で表される、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:BPALP)を20nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層112を形成した。

20

【0230】

さらに、正孔輸送層112上に、上記構造式(ix)で表される2-[3'-(ジベンゾチオフェン-4-イル)ピフェニル-3-イル]ジベンゾ[f,h]キノキサリン(略称:2mDBTBPD Bq-II)と上記構造式(x)で表される4,4'-ジ(1-ナフチル)-4''-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン(略称:PCBNBB)と上記構造式(v)で表されるビス[2-(6-tert-ブチル-4-ピリミジニル-N3)フェニル-C](2,4-ペンタンジオナト-²O, O')イリジウム(III)(略称:Ir(tBuppm)₂(acac))とを、重量比0.8:0.2:0.06(=2mDBTBPD Bq-II:PCBNBB:Ir(tBuppm)₂(acac))となるように20nm共蒸着して第1の発光層113aとし、2mDBTBPD Bq-IIと上記構造式(vi)で表されるビス(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))とを、重量比1:0.06(=2mDBTBPD Bq-II:Ir(tppr)₂(dpm))となるように20nm共蒸着して第2の発光層113bを形成した。なお、ホスト材料である2mDBTBPD Bq-IIとPCBNBBとは励起錯体を形成する。

30

【0231】

その後、発光層113上に2mDBTBPD Bq-IIを膜厚15nmとなるように成膜し、さらに、上記構造式(vii)で表されるバソフェナントロリン(略称:BPhe n)を15nmとなるように成膜して、電子輸送層114を形成した。

40

【0232】

電子輸送層114を形成したら、その後、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚となるように蒸着し、電子注入層115を形成した。

【0233】

最後に、陰極として機能する第2の電極102として、アルミニウムを200nmの膜厚となるように蒸着することで、本実施例の発光素子2を作製した。

【0234】

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。

50

【 0 2 3 5 】

以上により得られた発光素子 2 の素子構造を表 2 に示す。

【 0 2 3 6 】

【表 2】

正孔 注入層	正孔 輸送層	発光層		電子 輸送層		電子 注入層
		第1の発光層	第2の発光層			
PCPPn :MoOx 4:2 33nm	BPAFLP 20nm	2mDBTBPDBq-II :PCBNBB :Ir(tBuppm) ₂ (acac) 0.8:0.2:0.06 20nm	2mDBTBPDBq-II :Ir(tppr) ₂ (dpm) 1:0.06 20nm	2mDBTBPDBq-II 15nm	Bphen 15nm	LiF 1nm

10

【 0 2 3 7 】

発光素子 2 を、窒素雰囲気グローブボックス内において、大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に 80 にて 1 時間熱処理）を行った。

【 0 2 3 8 】

発光素子 2 では発光素子 1 と同様に第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a として Ir (t B u p p m)₂ (a c a c) を、第 2 のりん光性化合物 1 1 3 D b として Ir (t p p r)₂ (d p m) を用いている。そのため、Ir (t B u p p m)₂ (a c a c) の P L スペクトルと、Ir (t p p r)₂ (d p m) の ()⁴ の関係については、発光素子 1 と同じであるため、繰り返しとなる説明を割愛する。実施例 1 の図 2 0 (a) (b) に関する記載を参照されたい。このように、発光素子 2 における第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a と第 2 のりん光性化合物 1 1 3 D b との間のエネルギー移動は効率よく行われることが示唆される。

20

【 0 2 3 9 】

この発光素子の素子特性について測定を行った。なお、測定は室温 (2 5 に保たれた雰囲気) で行った。

【 0 2 4 0 】

発光素子 2 の輝度 - 電流効率特性を図 2 4 に示す。また、電圧 - 輝度特性を図 2 5 に示す。また、輝度 - 外部量子効率特性を図 2 6 に示す。また、輝度 - パワー効率特性を図 2 7

30

【 0 2 4 1 】

以上のように、発光素子 2 は良好な素子特性を示すことがわかった。特に、図 2 4、図 2 6、図 2 7 からわかるように、非常に良好な発光効率を有し、外部量子効率は実用輝度 (1 0 0 0 c d / m²) 付近において、20% 以上の高い値を示した。また同様に電流効率も 6 0 c d / A 付近、パワー効率も 6 0 l m / W 付近の非常に良好な値を示している。

【 0 2 4 2 】

また、発光素子 2 に 0 . 1 m A の電流を流した際の発光スペクトルを、図 2 8 に示す。図 2 8 より、発光素子 2 はビス [2 - (6 - t e r t - ブチル - 4 - ピリミジニル - N 3) フェニル - C] (2 , 4 - ペンタンジオナト - ² O , O ') イリジウム (I I I) (略称 : Ir (t B u p p m)₂ (a c a c)) 由来の緑色の波長の光とビス (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 (I I I) (略称 : Ir (t p p r)₂ (d p m)) 由来の赤色の波長の光がバランスよく含まれる発光スペクトルを示すことがわかった。

40

【 0 2 4 3 】

また、初期輝度を 5 0 0 0 c d / m² として、電流密度一定の条件で、初期輝度を 1 0 0 とした場合の信頼性試験を行った結果を図 2 9 に示す。図 2 9 から、発光素子 2 は初期輝度 5 0 0 0 c d / m² の信頼性試験にも関わらず、70 時間経過時点で初期輝度の 9 6 % を保っており、信頼性の良好な発光素子であることがわかった。

【 0 2 4 4 】

50

このように本発明の一態様に相当する発光素子 2 は良好な発光効率を有し、且つ、2 種類の発光中心物質からの光がバランスよく得られる発光素子であることがわかった。さらに、信頼性の良い、寿命の長い発光素子であることもわかった。

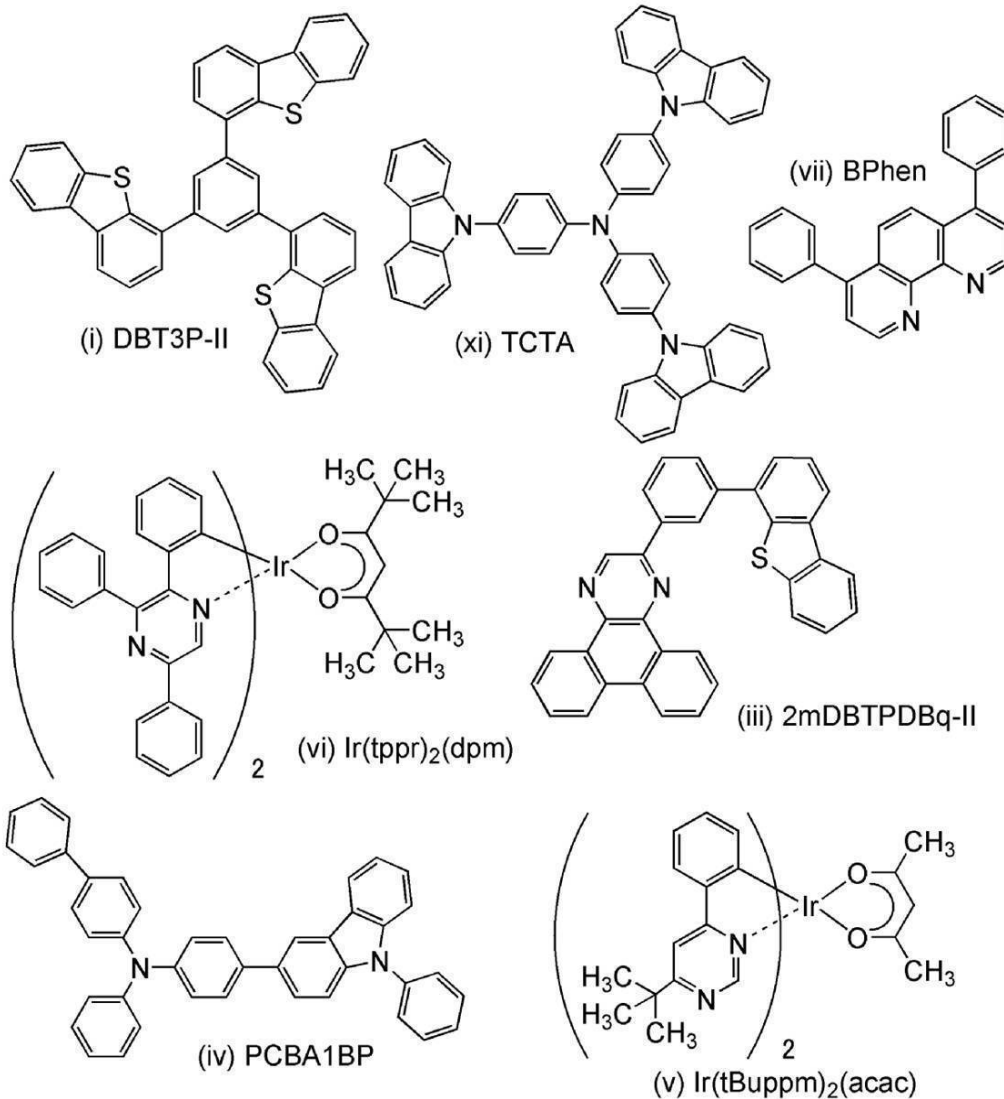
【実施例 3】

【0245】

本実施例では実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の本発明の一態様に相当する発光素子の作製方法及び特性について説明する。以下に、本実施例で使用した有機化合物の構造式を示す。

【0246】

【化 4】



【0247】

次に、本実施例の発光素子の作製方法を示す。

【0248】

まず、ガラス基板の上に、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て成膜し、第 1 の電極 101 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。ここで、第 1 の電極 101 は、発光素子の陽極として機能する電極である。

【0249】

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

【0250】

10

20

30

40

50

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

【0251】

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極101上に、抵抗加熱を用いた蒸着法により上記構造式(i)で表される4, 4', 4''-(ベンゼン-1, 3, 5-トリイル)トリ(ジベンゾチオフェン)(略称: DBT3P-II)、と酸化モリブデン(VI)を共蒸着することで、正孔注入層111を形成した。その膜厚は、40nmとし、DBT3P-IIと酸化モリブデンの比率は、重量比で4:2(=DBT3P-II:酸化モリブデン)となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で、複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

10

【0252】

次に、正孔注入層111上に、上記構造式(xi)で表される、4, 4', 4''-トリ(N-カルバゾリル)トリフェニルアミン(略称: TCTA)を10nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層112を形成した。

【0253】

さらに、正孔輸送層112上に、TCTAと上記構造式(vi)で表されるビス(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))とを、重量比1:0.1(=TCTA:Ir(tppr)₂(dpm))となるように10nm共蒸着して第2の発光層113bとし、上記構造式(iii)で表される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)と上記構造式(iv)で表される4-フェニル-4''-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン(略称: PCBA1BP)と上記構造式(v)で表されるビス[2-(6-tert-ブチル-4-ピリミジニル-N3)フェニル-C](2, 4-ペンタンジオナト-O, O')イリジウム(III)(略称: Ir(tBuppm)₂(acc))とを、重量比0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:Ir(tBuppm)₂(acc))となるように5nm共蒸着して第1の発光層113aを形成した。なお、ホスト材料である2mDBTPDBq-IIとPCBA1BPとは励起錯体を形成する。

20

30

【0254】

その後、発光層113上に2mDBTPDBq-IIとIr(tBuppm)₂(acc)とを1:0.05(=2mDBTPDBq-II:Ir(tBuppm)₂(acc))となるように20nm共蒸着し、2mDBTPDBq-IIを10nm成膜し、さらに、上記構造式(vii)で表されるバソフェナントロリン(略称: BPhen)を20nmとなるように成膜して、電子輸送層114を形成した。

【0255】

電子輸送層114を形成したら、その後、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚となるように蒸着し、電子注入層115を形成した。

40

【0256】

最後に、陰極として機能する第2の電極102として、アルミニウムを200nmの膜厚となるように蒸着することで、本実施例の発光素子3を作製した。

【0257】

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。

【0258】

以上により得られた発光素子3の素子構造を表3に示す。発光素子3は、正孔輸送層の材料と、第2のホスト材料を、発光素子1及び発光素子2と大きく異なる材料を用いて作製した発光素子である。また、第1の発光層と第2の発光層の電極に対する位置や、電子輸

50

送層の構造も大きく異なっている。

【 0 2 5 9 】

【 表 3 】

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 発光層	第1の 発光層				
DBT3P-II :MoOx 4:2 40nm	TCTA 10nm	TCTA :Ir(tppr) ₂ (dpm) 1:0.1 10nm	2mDBTPDBq-II PCBA1BP :Ir(tBuppm) ₂ (acac) 0.8:0.2:0.05 5nm	2mDBTPDBq-II :Ir(tBuppm) ₂ (acac) 0.8:0.05 20nm	2mDBTPDBq-II 10nm	Bphen 20nm	LiF 1nm

10

【 0 2 6 0 】

発光素子 3 を、窒素雰囲気中のグローブボックス内において、大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に 8 0 にて 1 時間熱処理）を行った。

【 0 2 6 1 】

発光素子 3 では発光素子 1 と同様に第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a として Ir (t B u p p m)₂ (a c a c) を、第 2 のりん光性化合物 1 1 3 D b として Ir (t p p r)₂ (d p m) を用いている。そのため、Ir (t B u p p m)₂ (a c a c) の P L スペクトルと、Ir (t p p r)₂ (d p m) の ()⁴ の関係については、発光素子 1 と同じであるため、繰り返しとなる説明を割愛する。実施例 1 の図 2 0 (a) (b) に関する記載を参照されたい。このように、発光素子 3 における第 1 のりん光性化合物 1 1 3 D a と第 2 のりん光性化合物 1 1 3 D b との間のエネルギー移動は効率よく行われることが示唆される。

20

【 0 2 6 2 】

この発光素子の素子特性について測定を行った。なお、測定は室温 (2 5 に保たれた雰囲気) で行った。

【 0 2 6 3 】

発光素子 3 の輝度 - 電流効率特性を図 3 0 に示す。また、電圧 - 輝度特性を図 3 1 に示す。また、輝度 - 外部量子効率特性を図 3 2 に示す。また、輝度 - パワー効率特性を図 3 3 に示す。

30

【 0 2 6 4 】

以上のように、発光素子 3 は良好な素子特性を示すことがわかった。特に、図 3 0、図 3 2、図 3 3 からわかるように、非常に良好な発光効率を有し、外部量子効率は実用輝度 (1 0 0 0 c d / m²) 付近において、2 0 % 以上の高い値を示した。また同様に電流効率も 6 0 c d / A 付近、パワー効率も 7 0 l m / W 付近の非常に良好な値を示している。

【 0 2 6 5 】

また、発光素子 3 に 0 . 1 m A の電流を流した際の発光スペクトルを、図 3 4 に示す。図 3 4 より、発光素子 3 はビス [2 - (6 - t e r t - ブチル - 4 - ピリミジニル - N 3) フェニル - C] (2 , 4 - ペンタンジオナト - ² O , O ') イリジウム (I I I) (略称 : I r (t B u p p m)₂ (a c a c)) 由来の緑色の波長の光とビス (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 (I I I) (略称 : I r (t p p r)₂ (d p m)) 由来の赤色の波長の光がバランスよく含まれる発光スペクトルを示すことがわかった。

40

【 0 2 6 6 】

このように本発明の一態様に相当する発光素子 3 は発光素子 1 及び発光素子 2 とは異なるホスト材料を用いているが、良好な発光効率を有し、且つ、2 種類の発光中心物質からの光がバランスよく得られる発光素子であることがわかった。

【 実施例 4 】

【 0 2 6 7 】

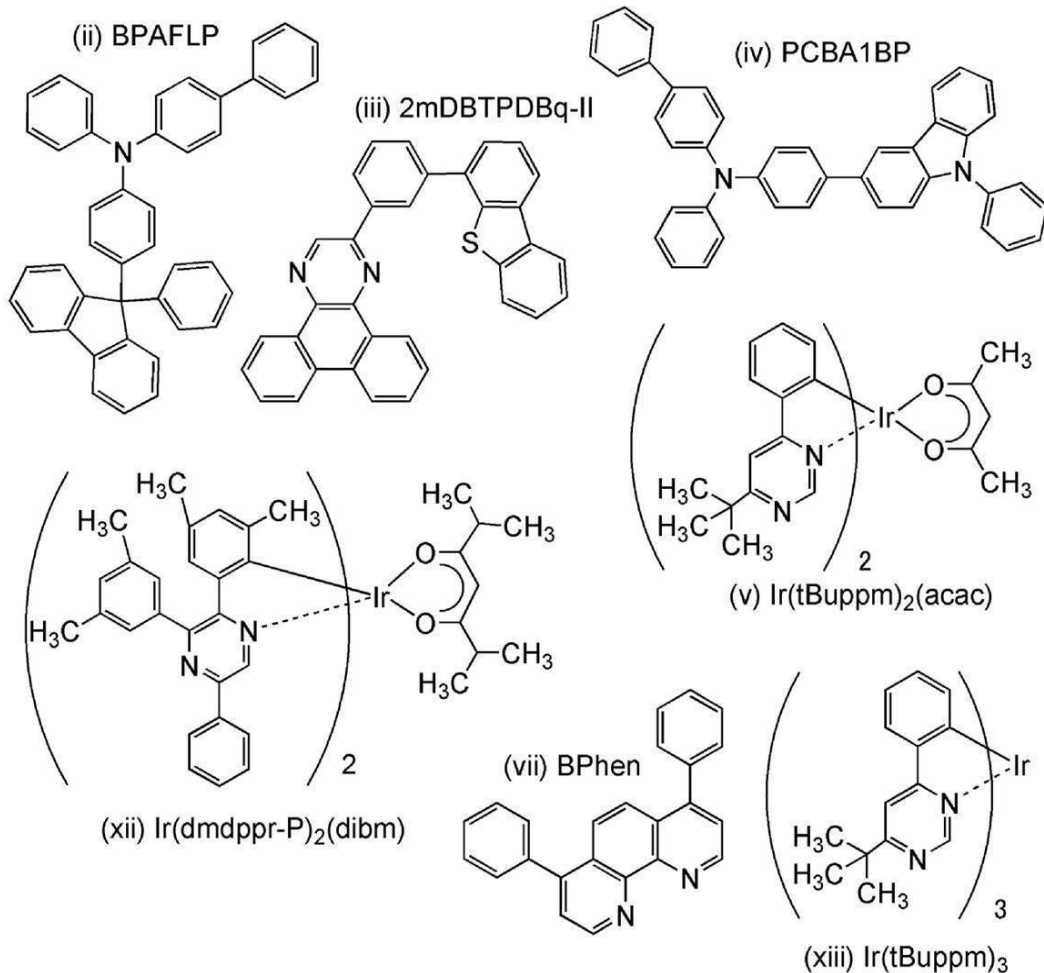
本実施例では実施の形態 1 及び実施の形態 2 に記載の本発明の一態様に相当する発光素

50

子の作製方法及び特性について説明する。以下に、本実施例で使用した有機化合物の構造式を示す。

【0268】

【化5】



10

20

30

【0269】

次に、本実施例の発光素子（発光素子4、発光素子5）の作製方法を示す。

【0270】

まず、ガラス基板上に、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て成膜し、第1の電極101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。ここで、第1の電極101は、発光素子の陽極として機能する電極である。

【0271】

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

40

【0272】

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、基板を30分程度放冷した。

【0273】

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極101上に、抵抗加熱を用いた蒸着法により上記構造式(ii)で表される、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）を共蒸着することで、正孔注入

50

層 1 1 1 を形成した。その膜厚は、33.3 nm とし、BPAFLP と酸化モリブデンの比率は、重量比で 1 : 0.5 (= BPAFLP : 酸化モリブデン) となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で、複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0274】

次に、正孔注入層 1 1 1 上に、BPAFLP を膜厚 20 nm となるように成膜し、正孔輸送層 1 1 2 を形成した。

【0275】

さらに、正孔輸送層 1 1 2 上に、上記構造式 (i i i) で表される 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 - I I) と上記構造式 (i v) で表される 4 - フェニル - 4' - (9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル)トリフェニルアミン (略称: PCBA1BP) と上記構造式 (v) で表されるビス [2 - (6 - tert - ブチル - 4 - ピリミジニル - N3)フェニル - C] (2, 4 - ペンタンジオナト - ²O, O')イリジウム (I I I) (略称: Ir (tBuppm)₂ (acac)) とを、重量比 0.8 : 0.2 : 0.06 (= 2mDBTPDBq - I I : PCBA1BP : Ir (tBuppm)₂ (acac)) となるように 20 nm 共蒸着して第 1 の発光層 1 1 3 a とし、2mDBTPDBq - I I と上記構造式 (x i i) で表されるビス {4, 6 - ジメチル - 2 - [3 - (3, 5 - ジメチルフェニル) - 5 - フェニル - 2 - ピラジニル - N]フェニル - C} (2, 6 - ジメチル - 3, 5 - ヘプタンジオナト - ²O, O')イリジウム (I I I) (略称: [Ir (dmdppr - P)₂ (dibm)]) とを、重量比 1 : 0.06 (= 2mDBTPDBq - I I : [Ir (dmdppr - P)₂ (dibm)]) となるように 20 nm 共蒸着して第 2 の発光層 1 1 3 b を形成した。なお、ホスト材料である 2mDBTPDBq - I I と PCBA1BP とは励起錯体を形成する。

10

20

【0276】

その後、発光層 1 1 3 上に 2mDBTPDBq - I I を膜厚 15 nm となるように成膜し、さらに、上記構造式 (v i i) で表されるバソフェナントロリン (略称: BPhen) を 15 nm となるように成膜して、電子輸送層 1 1 4 を形成した。

【0277】

電子輸送層 1 1 4 を形成したら、その後、フッ化リチウム (LiF) を 1 nm の膜厚となるように蒸着し、電子注入層 1 1 5 を形成した。

30

【0278】

最後に、陰極として機能する第 2 の電極 1 0 2 として、アルミニウムを 200 nm の膜厚となるように蒸着することで、本実施例の発光素子 4 を作製した。

【0279】

発光素子 5 は、第 1 の発光層 1 1 3 a の、[Ir (tBuppm)₂ (acac)] を上記構造式 (x i i i) で表されるトリス [2 - (6 - tert - ブチル - 4 - ピリミジニル - N3)フェニル - C]イリジウム (I I I) (略称: [Ir (tBuppm)₃]) に代えて作製した他は発光素子 4 と同様に作製した。

【0280】

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。

40

【0281】

以上により得られた発光素子 4 の素子構造を表 4、発光素子 5 の素子構造を表 5 に示す。

【0282】

【表4】

発光素子4

正孔 注入層	正孔 輸送層	発光層		電子 輸送層		電子 注入層
		第1の発光層	第2の発光層			
BPAFLP :MoOx 4:2 33nm	BPAFLP 20nm	2mDBTPDBq-II :PCBA1BP :Ir(tBuppm) ₂ (acac) 0.8:0.2:0.06 20nm	2mDBTPDBq-II :Ir(dmdppr-P) ₂ (dibm) 1:0.06 20nm	2mDBTPDBq-II 15nm	Bphen 15nm	LiF 1nm

【0283】

10

【表5】

発光素子5

正孔 注入層	正孔 輸送層	発光層		電子 輸送層		電子 注入層
		第1の発光層	第2の発光層			
BPAFLP :MoOx 4:2 33nm	BPAFLP 20nm	2mDBTPDBq-II :PCBA1BP :Ir(tBuppm) ₃ 0.8:0.2:0.06 20nm	2mDBTPDBq-II :Ir(dmdppr-P) ₂ (dibm) 1:0.06 20nm	2mDBTPDBq-II 15nm	Bphen 15nm	LiF 1nm

【0284】

20

発光素子4及び発光素子5を、窒素雰囲気グローブボックス内において、大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時に80℃にて1時間熱処理）を行った。

【0285】

発光素子4では第1のりん光性化合物113DaとしてIr(tBuppm)₂(acac)を、第2のりん光性化合物113Dbとして[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]を用いている。ここで、Ir(tBuppm)₂(acac)のPLスペクトルと、[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]の()⁴の関係について述べる。なお、()は波長、()はモル吸光係数である。

【0286】

30

まず、図45(a)に発光素子4第2のりん光性化合物113Dbである[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]のモル吸光係数()と、()⁴とを表すグラフを示した。モル吸光係数()には長波長側の領域に目立ったピークが存在しないのに対し、()⁴のグラフにおいては、509nmの極大値及び550nm、605nm付近の肩を有するピーク(山)が存在する。このピークは[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]の三重項MLCT吸収であり、このピークに第1のりん光性化合物113Daの発光のピークを重ね合わせることで、エネルギー移動の効率を大きく高めることが可能となる。

【0287】

図45(b)に、発光素子4の第1のりん光性化合物113DaであるIr(tBuppm)₂(acac)のPLスペクトルF()と第2のりん光性化合物113Dbである[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]の()⁴を表すグラフを示した。このグラフより、Ir(tBuppm)₂(acac)のPLスペクトルF()のピークが存在する山と[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]の()⁴の最も長波長側の極大値を有する山とは大きく重なっており、エネルギー移動が非常に効率よく行われる組み合わせであることがわかる。また、第1のりん光性化合物113DaであるIr(tBuppm)₂(acac)の発光のピークは546nmに存在し、第2のりん光性化合物113Dbである[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]の()⁴を表すスペクトルにおける長波長側の極大は509nmに存在するため、その差は37nmである。546nmは2.27eV、509nmは2.44eVに相当するため、その差

50

は 0.17 eV となり、 0.2 eV よりその差が小さいことから、ピーク位置からも効率的なエネルギー移動が行われることが示唆される。なお、 $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の $(\quad)^4$ を表すスペクトルにおける長波長側の極大(極大値C)と $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の発光のスペクトル $F(\quad)$ は殆ど重なっていないが、 $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の $(\quad)^4$ を表すスペクトルにおける極大値Cを有する山は長波長側にブロードな形状をしており、この長波長側のスペクトルと $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の発光のスペクトル $F(\quad)$ は大きな重なりを有している。そのため、非常に良好なエネルギー移動が実現する

【0288】

発光素子4では第1のホスト材料である $2\text{mDBTPDBq}-\text{II}$ と第1の有機化合物である PCBA1BP が励起錯体を形成し、第1のりん光性化合物 113Da である $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ に効率良くエネルギー移動が行われている。これらの関係については発光素子1と同様であり、実施例1で詳しく説明しているため、繰り返しとなる記載を省略する。実施例1の該当する記載を参照されたい。

【0289】

また、図46に励起錯体のPLスペクトル $F(\quad)$ 、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ のPLスペクトル $F(\quad)$ 、 $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ のPLスペクトル $F(\quad)$ 、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の $(\quad)^4$ 、 $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の $(\quad)^4$ を一つにまとめたグラフを示す。励起錯体のPLスペクトルと $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ の $(\quad)^4$ との重なり(極大値A付近)を使って励起錯体から $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ へ、そして、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ のPLスペクトルと $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の $(\quad)^4$ との重なり(極大値Cから 650 nm 付近)を使って $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$ から $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ へ、段階的にエネルギー移動が可能であることがわかる。なお、励起錯体から、第2のりん光性化合物である $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ に直接エネルギー移動することもできる。これは、図46からわかるように、 $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の三重項MLCT吸収帯(極大値C付近)で、励起錯体のPLスペクトル $F(\quad)$ と $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の $(\quad)^4$ が重なっているためである。

【0290】

発光素子5では第1のりん光性化合物 113Da として $\text{Ir}(\text{tBuppm})_3$ を、第2のりん光性化合物 113Db として $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ を用いている。ここで、 $\text{Ir}(\text{tBuppm})_3$ のPLスペクトルと、 $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の $(\quad)^4$ の関係について述べる。なお、 λ は波長、 ϵ はモル吸光係数である。

【0291】

まず、図47(a)に発光素子4第2のりん光性化合物 113Db である $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ のモル吸光係数 $\epsilon(\lambda)$ と、 $(\quad)^4$ とを表すグラフを示した。モル吸光係数 $\epsilon(\lambda)$ には長波長側の領域に目立ったピークが存在しないのに対し、 $(\quad)^4$ のグラフにおいては、 509 nm の極大値及び 550 nm 、 605 nm 付近の肩を有するピーク(山)が存在する。このピークは $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の三重項MLCT吸収であり、このピークに第1のりん光性化合物 113Da の発光のピークを重ね合わせることで、エネルギー移動の効率を大きく高めることが可能となる。

【0292】

図47(b)に、発光素子5の第1のりん光性化合物 113Da である $\text{Ir}(\text{tBuppm})_3$ のPLスペクトル $F(\lambda)$ と第2のりん光性化合物 113Db である $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の $(\quad)^4$ を表すグラフを示した。このグラフより $\text{Ir}(\text{tBuppm})_3$ のPLスペクトル $F(\lambda)$ のピークが存在する山と $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ の $(\quad)^4$ のピークが存在する山と

10

20

30

40

50

$dppr - P)_2(dibm)]$ の()⁴の最も長波長側の極大値を有する山とは大きく重なっており、エネルギー移動が非常に効率よく行われる組み合わせであることがわかる。また、第1のりん光性化合物113Daである $Ir(tBuppm)_3$ の発光のピークは540nmに存在し、第2のりん光性化合物113Dbである $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ の()⁴を表すスペクトルにおける長波長側の極大は509nmに存在するため、その差は31nmである。540nmは2.30eV、509nmは2.44eVに相当するため、その差は0.14eVとなり、0.2eVよりその差が小さいことから、ピーク位置からも効率的なエネルギー移動が行われることが示唆される。なお、 $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ の()⁴を表すスペクトルにおける長波長側の極大(極大値C)と $Ir(tBuppm)_3$ の発光のスペクトルF()は殆ど重なっていないが、 $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ の()⁴を表すスペクトルにおける極大値Cを有する山は長波長側にブロードな形状をしており、この長波長側のスペクトルと $Ir(tBuppm)_3$ の発光のスペクトルF()は大きな重なりを有している。そのため、非常に良好なエネルギー移動が実現する

10

【0293】

続いて、図48(a)に発光素子5の第1のりん光性化合物113Daである $Ir(tBuppm)_3$ のモル吸光係数()と、()⁴とを表すグラフを示した。()⁴のグラフにおいては、409及び465nmに大きな強度を有する極大値と、494nmに肩があるピーク(山)存在する。このピーク(山)は $Ir(tBuppm)_3$ の三重項MLCT吸収であり、このピークにエネルギードナーの発光ピークを重ね合わせることで、エネルギー移動の効率を大きく高めることが可能となる。

20

【0294】

ここで、本実施例の発光素子5では、第1の宿主材料である2mDBTPDBq-IIと第1の有機化合物であるPCBA1BPとが励起錯体113Ecを形成し、当該励起錯体113Ecから第1のりん光性化合物113Daにエネルギーが供給される構成となっている。図23は、2mDBTPDBq-II、PCBA1BP、およびそれらの混合膜(質量比にして0.8:0.2)のPLスペクトルを示す図であり、2mDBTPDBq-IIと第1の有機化合物であるPCBA1BPとが励起錯体113Ecを形成していることがわかる。また、図48(b)にはその励起錯体のPLスペクトルF()と第1のりん光性化合物113Daである $Ir(tBuppm)_3$ の()⁴を表すグラフを示した。このグラフより、励起錯体のPLスペクトルF()のピークが存在する山の半分の強度を有する波長範囲の一部と $Ir(tBuppm)_3$ の()⁴の最も長波長側の極大値を有する山における半分の強度を有する波長範囲の一部とが重なっており、エネルギー移動が効率よく行われる組み合わせであることがわかる。

30

【0295】

また、図49に励起錯体のPLスペクトルF()、 $Ir(tBuppm)_3$ のPLスペクトルF()、 $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ のPLスペクトルF()、 $Ir(tBuppm)_3$ の()⁴、 $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ の()⁴を一つにまとめたグラフを示す。励起錯体のPLスペクトルと $Ir(tBuppm)_3$ の()⁴との重なり(極大値A付近)を使って励起錯体から $Ir(tBuppm)_3$ へ、そして、 $Ir(tBuppm)_3$ のPLスペクトルと $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ の()⁴との重なり(極大値Cから650nm付近)を使って $Ir(tBuppm)_3$ から $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ へ、段階的にエネルギー移動が可能であることがわかる。なお、励起錯体から、第2のりん光性化合物である $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ に直接エネルギー移動することもできる。これは、図49からわかるように、 $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ の三重項MLCT吸収帯(極大値C付近)で、励起錯体のPLスペクトルF()とも $[Ir(dmdppr - P)_2(dibm)]$ の()⁴が重なっているためである。

40

【0296】

50

これらの発光素子の素子特性について測定を行った。なお、測定は室温（25 に保たれた雰囲気）で行った。

【0297】

発光素子4の輝度 - 電流効率特性を図35に示す。また、電圧 - 輝度特性を図36に示す。また、輝度 - 外部量子効率特性を図37に示す。また、輝度 - パワー効率特性を図38に示す。

【0298】

以上のように、発光素子4は良好な素子特性を示すことがわかった。特に、図35、図37、図38からわかるように、非常に良好な発光効率を有し、外部量子効率は実用輝度（ 1000 cd/m^2 ）付近において、20%以上の高い値を示した。また同様に電流効率も 50 cd/A 前後、パワー効率も 50 lm/W 前後の非常に良好な値を示している。

10

【0299】

また、発光素子4に0.1mAの電流を流した際の発光スペクトルを、図39に示す。図39において、横軸は波長（nm）、縦軸は発光強度（任意単位）を表す。図39より、発光素子4は $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 由来の緑色の波長の光と $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ 由来の赤色の波長の光がバランスよく含まれる発光スペクトルを示すことがわかった。

【0300】

発光素子5の輝度 - 電流効率特性を図40に示す。また、電圧 - 輝度特性を図41に示す。また、輝度 - 外部量子効率特性を図42に示す。また、輝度 - パワー効率特性を図43に示す。

20

【0301】

以上のように、発光素子5は良好な素子特性を示すことがわかった。特に、図40、図42、図43からわかるように、非常に良好な発光効率を有し、外部量子効率は実用輝度（ 1000 cd/m^2 ）付近において、25%付近の高い値を示した。また同様に電流効率も 65 cd/A 前後、パワー効率も 70 lm/W 前後の非常に良好な値を示している。

【0302】

また、発光素子5に0.1mAの電流を流した際の発光スペクトルを、図44に示す。図44において、横軸は波長（nm）、縦軸は発光強度（任意単位）を表す。図44より、発光素子5は $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 由来の緑色の波長の光と $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ 由来の赤色の波長の光がバランスよく含まれる発光スペクトルを示すことがわかった。

30

【0303】

このように本発明の一態様に相当する発光素子4及び発光素子5は良好な発光効率を有し、且つ、2種類の発光中心物質からの光がバランスよく得られる発光素子であることがわかった。

【0304】

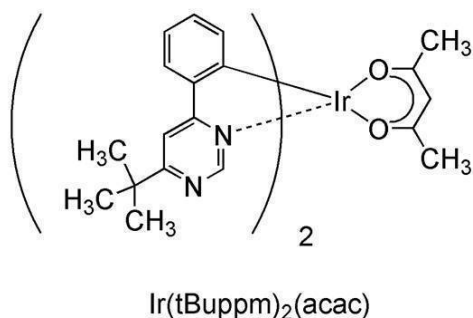
（参考例1）

上記実施の形態で用いた有機金属錯体、ビス[2-(6-tert-ブチル-4-ピリミジニル-N3)フェニル-C](2,4-ペンタンジオナト-²O,O')イリジウム(III)（略称： $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ ）の合成例を示す。なお、 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ の構造を以下に示す。

40

【0305】

【化6】



10

【0306】

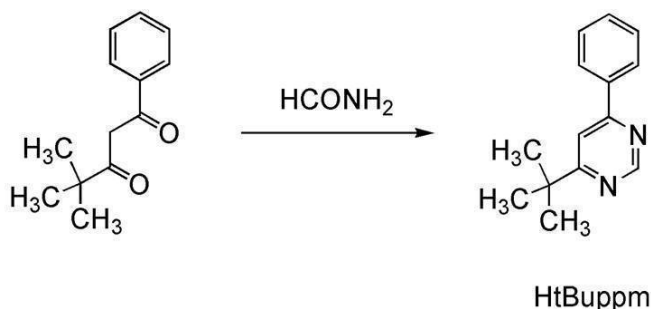
<ステップ1；4-tert-ブチル-6-フェニルピリミジン（略称：HtBuppm）の合成>

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

20

【0307】

【化7】



30

【0308】

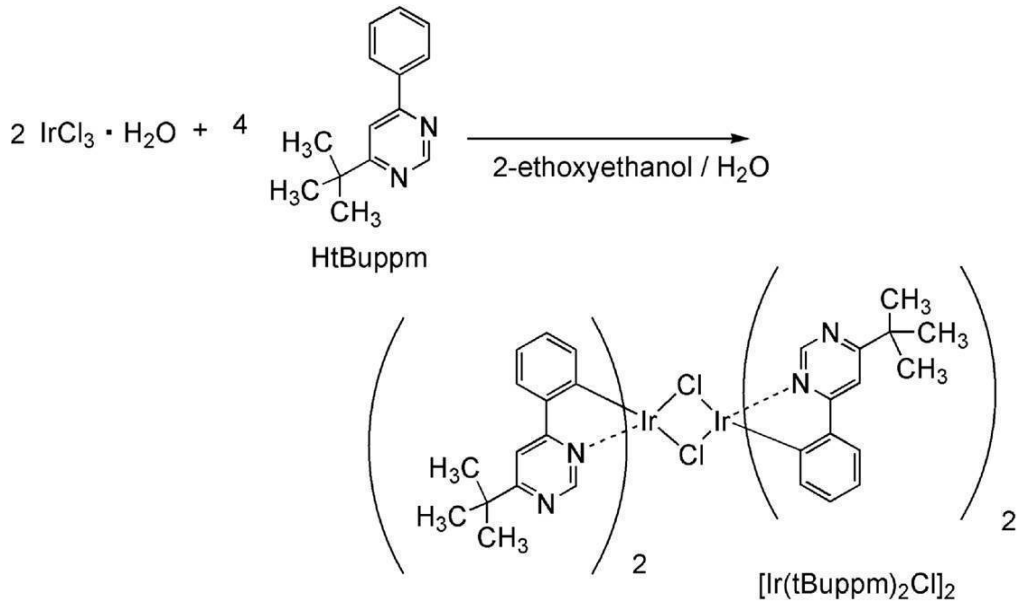
<ステップ2；ジ-μ-クロロ-ビス[ビス(6-tert-ブチル-4-フェニルピリミジナト)イリジウム(III)]（略称：[Ir(tBuppm)₂Cl]₂）の合成>

次に、2-エトキシエタノール 15 mL と水 5 mL、上記ステップ1で得た HtBuppm 1.49 g、塩化イリジウム水和物 (IrCl₃ · H₂O) 1.04 g を、還流管を付けたナスフラスコに入れ、フラスコ内をアルゴン置換した。その後、マイクロ波 (2.45 GHz 100 W) を1時間照射し、反応させた。溶媒を留去した後、得られた残渣をエタノールで吸引濾過、洗浄し、複核錯体 [Ir(tBuppm)₂Cl]₂ を得た（黄緑色粉末、収率 73%）。ステップ2の合成スキームを以下に示す。

40

【0309】

【化8】



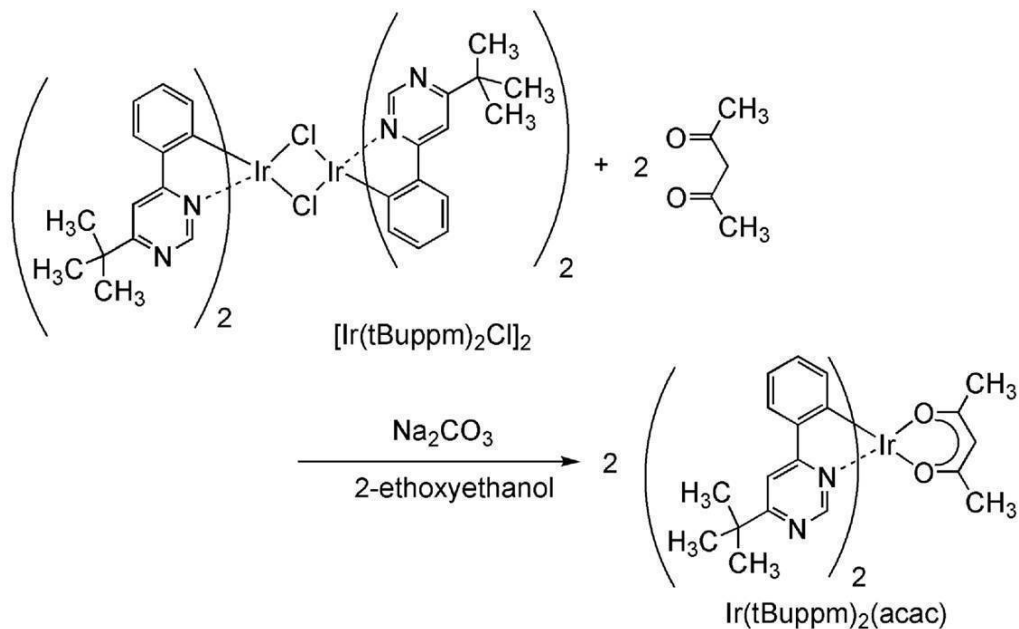
【0310】

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

さらに、2-エトキシエタノール40mL、上記ステップ2で得た複核錯体 [Ir(tBuppm)2Cl]2 1.61g、アセチルアセトン0.36g、炭酸ナトリウム1.27gを、還流管を付けたナスフラスコに入れ、フラスコ内をアルゴン置換した。その後、マイクロ波(2.45GHz 120W)を60分間照射し、反応させた。溶媒を留去し、得られた残渣をエタノールで吸引濾過し、水、エタノールで洗浄した。この固体をジクロロメタンに溶解させ、セライト(和光純薬工業株式会社、カタログ番号:531-16855)、アルミナ、セライトの順で積層した濾過補助剤を通して濾過した。溶媒を留去して得られた固体をジクロロメタンとヘキサンの混合溶媒にて再結晶することにより、目的物を黄色粉末として得た(収率68%)。ステップ3の合成スキームを以下に示す。

【0311】

【化9】



【0312】

上記ステップ3で得られた黄色粉末の核磁気共鳴分光法 (^1H NMR) による分析結果を下記に示す。この結果から、有機金属錯体 $\text{Ir}(\text{tBupp m})_2(\text{acac})$ が得られたことがわかった。

【0313】

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

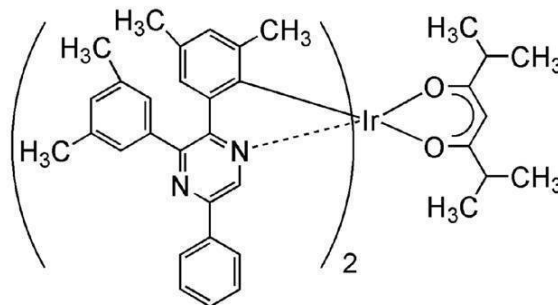
【0314】

(参考例2)

本参考例では、実施例で用いた有機金属イリジウム錯体、ビス{4,6-ジメチル-2-[3-(3,5-ジメチルフェニル)-5-フェニル-2-ピラジニル-N]フェニル-C}(2,6-ジメチル-3,5-ヘプタンジオナト- $^2\text{O}, \text{O}'$)イリジウム(III)(略称: $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$)の合成方法について説明する。なお、 $[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$ (略称)の構造を以下に示す。

【0315】

【化10】



$[\text{Ir}(\text{dmdppr}-\text{P})_2(\text{dibm})]$

【0316】

<ステップ1: 2,3-ビス(3,5-ジメチルフェニル)ピラジン(略称: Hdmdppr)の合成>

まず、2,3-ジクロロピラジン 5.00 g と 3,5-ジメチルフェニルボロン酸 10.23 g、炭酸ナトリウム 7.19 g、ビス(トリフェニルホスフィン)パラジウム(II)ジクロリド(略称: $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$) 0.29 g、水 20 mL、アセトニトリル 20 mL を、還流管を付けたナスフラスコに入れ、内部をアルゴン置換した。この反応容器にマイクロ波(2.45 GHz 100 W)を60分間照射することで加熱した。ここで更に3,5-ジメチルフェニルボロン酸 2.55 g、炭酸ナトリウム 1.80 g、 $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ 0.070 g、水 5 mL、アセトニトリル 5 mL をフラスコに入れ、再度マイクロ波(2.45 GHz 100 W)を60分間照射することで加熱した。

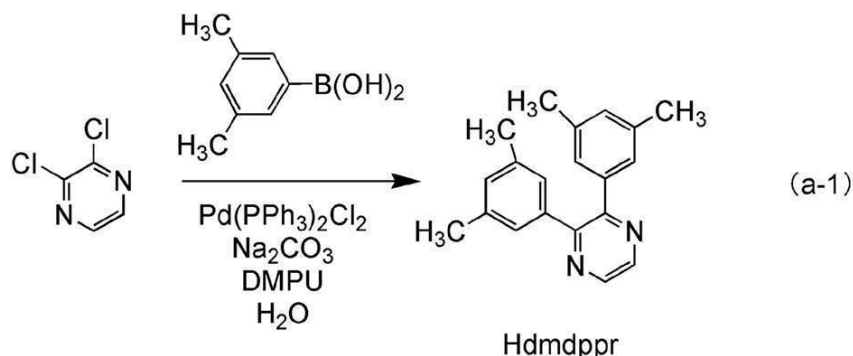
【0317】

その後、この溶液に水を加え、ジクロロメタンにて有機層を抽出した。得られた有機層を飽和炭酸水素ナトリウム水溶液、水、飽和食塩水で洗浄し、硫酸マグネシウムにて乾燥した。乾燥した後の溶液をろ過した。この溶液の溶媒を留去した後、得られた残渣を、ヘキサン:酢酸エチル = 5:1(体積比)を展開溶媒とするフラッシュカラムクロマトグラフィーで精製した。溶媒を留去し、得られた固体をジクロロメタン:酢酸エチル = 10:1(体積比)を展開溶媒とするフラッシュカラムクロマトグラフィーにより精製し、目的のピラジン誘導体 Hdmdppr(略称)を得た(白色粉末、収率44%)。なお、マイ

マイクロ波の照射はマイクロ波合成装置（CEM社製 Discover）を用いた。ステップ1の合成スキームを下記（a-1）に示す。

【0318】

【化11】



10

【0319】

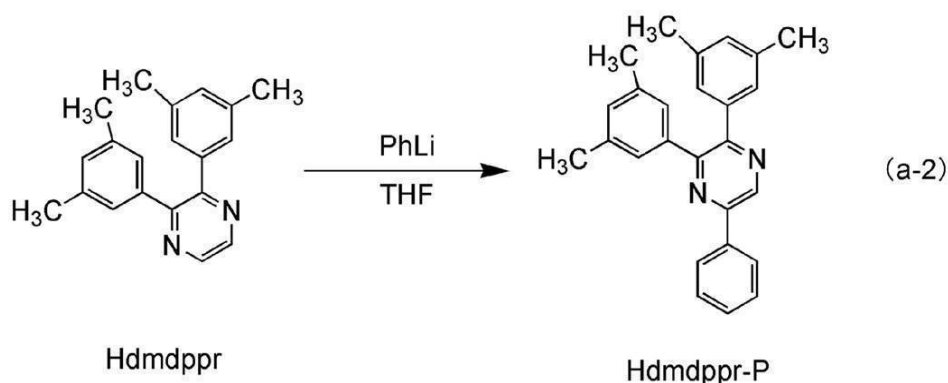
<ステップ2：2,3-ビス(3,5-ジメチルフェニル)-5-フェニルピラジン（略称：Hdmdppr-P）の合成>

まず、上記ステップ1で得たHdmdppr（略称）4.28gとdry THF 80 mLを三口フラスコに入れ、内部を窒素置換した。フラスコを氷冷後、フェニルリチウム（1.9 Mブチルエーテル溶液）9.5 mLを滴下し、室温で23時間半攪拌した。反応溶液を水に注ぎ、クロロホルムで抽出した。得られた有機層を水、飽和食塩水で洗浄し、硫酸マグネシウムで乾燥した。得られた混合物に酸化マンガンを加え、30分攪拌した。その後、溶液をろ過し、溶媒を留去した。得られた残渣を、ジクロロメタンを展開溶媒とするシリカゲルカラムクロマトグラフィーで精製し、目的のピラジン誘導体Hdmdppr-P（略称）を得た（橙色オイル、収率26%）。ステップ2の合成スキームを下記（a-2）に示す。

20

【0320】

【化12】



30

40

【0321】

<ステップ3：ジ-μ-クロロ-テトラキス{4,6-ジメチル-2-[3-(3,5-ジメチルフェニル)-5-フェニル-2-ピラジニル-N]フェニル-C}ジイリジウム（III）（略称：[Ir(dmdppr-P)2Cl]2）の合成>

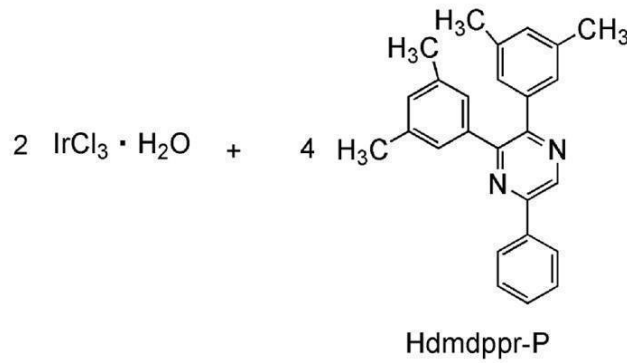
次に、2-エトキシエタノール15 mLと水5 mL、上記ステップ2で得たHdmdppr-P（略称）1.40 g、塩化イリジウム水和物（IrCl3・H2O）（Sigma-Aldrich社製）0.51 gを、還流管を付けたナスフラスコに入れ、フラスコ内をアルゴン置換した。その後、マイクロ波（2.45 GHz 100 W）を1時間照射し、反応させた。溶媒を留去した後、得られた残渣をエタノールで吸引ろ過、洗浄し、複

50

核錯体 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2\text{Cl}]_2$ (略称) を得た (赤褐色粉末、収率 58%)。ステップ 3 の合成スキームを下記 (a-3) に示す。

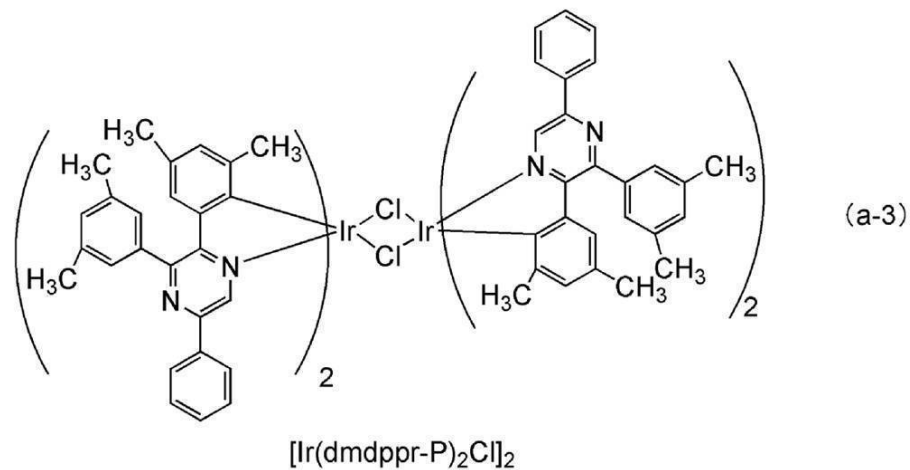
【0322】

【化13】



10

2-ethoxyethanol / H_2O



20

30

【0323】

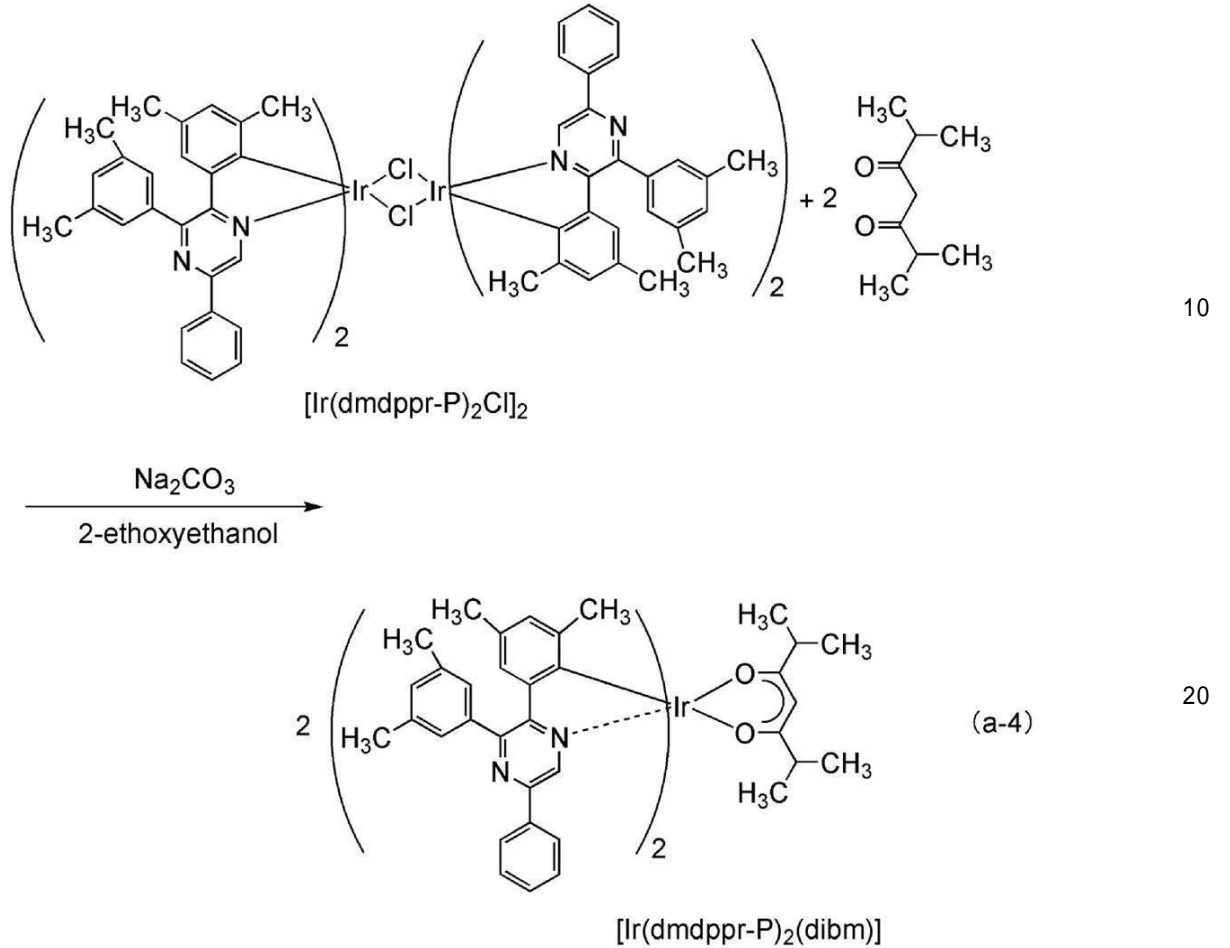
<ステップ 4 : ビス { 4 , 6 - ジメチル - 2 - [3 - (3 , 5 - ジメチルフェニル) - 5 - フェニル - 2 - ピラジニル - N] フェニル - C } (2 , 6 - ジメチル - 3 , 5 - ヘプタンジオナト - $^2\text{O}, \text{O}'$) イリジウム (III) (略称 : $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$) の合成 >

さらに、2-エトキシエタノール 30 mL、上記ステップ 3 で得た複核錯体 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2\text{Cl}]_2$ 0.94 g、ジイソブチリルメタン (略称 : Hdibm) 0.23 g、炭酸ナトリウム 0.52 g を、還流管を付けたナスフラスコに入れ、フラスコ内をアルゴン置換した。その後、マイクロ波 (2.45 GHz 120 W) を 60 分間照射することで加熱した。溶媒を留去し、得られた残渣をエタノールで吸引ろ過した。得られた固体を水、エタノールで洗浄し、ジクロロメタンとエタノールの混合溶媒にて再結晶することにより、本発明の有機金属錯体 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (略称) を暗赤色粉末として得た (収率 75%)。ステップ 4 の合成スキームを下記 (a-4) に示す。

40

【0324】

【化14】



【0325】

なお、上記合成方法で得られた暗赤色粉末の核磁気共鳴分光法 ($^1\text{H-NMR}$) による分析結果を下記に示す。この結果から、本合成例において有機金属錯体 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (略称) が得られたことがわかった。

30

【0326】

$^1\text{H-NMR}$. (CDCl_3) : 0.79 (d , 6 H) , 0.96 (d , 6 H) , 1.41 (s , 6 H) , 1.96 (s , 6 H) , 2.24 - 2.28 (m , 2 H) , 2.41 (s , 12 H) , 5.08 (s , 1 H) , 6.46 (s , 2 H) , 6.82 (s , 2 H) , 7.18 (s , 2 H) , 7.39 - 7.50 (m , 10 H) , 8.03 (d , 4 H) , 8.76 (s , 2 H) .

【符号の説明】

【0327】

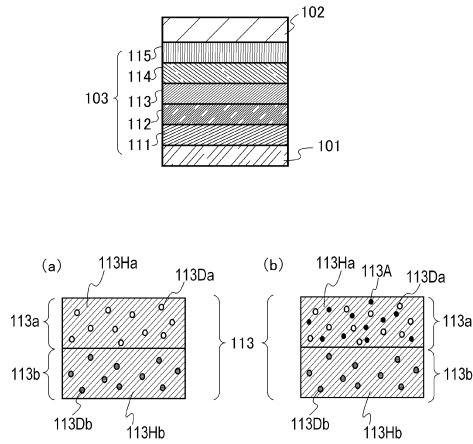
- 10 電極 40
- 11 電極
- 101 第1の電極
- 102 第2の電極
- 103 EL層
- 111 正孔注入層
- 112 正孔輸送層
- 113 発光層
- 113a 第1の発光層
- 113Da 第1のりん光性化合物
- 113Ha 第1のホスト材料 50

1 1 3 b	第 2 の発光層	
1 1 3 D b	第 2 のりん光性化合物	
1 1 3 H b	第 2 のホスト材料	
1 1 3 A	第 1 の有機化合物	
1 1 3 E c	励起錯体	
1 1 4	電子輸送層	
1 1 5	電子注入層	
4 0 0	基板	
4 0 1	第 1 の電極	
4 0 2	補助電極	10
4 0 3	E L 層	
4 0 4	第 2 の電極	
4 0 5	シール材	
4 0 6	シール材	
4 0 7	封止基板	
4 1 2	パッド	
4 2 0	I C チップ	
6 0 1	駆動回路部 (ソース線駆動回路)	
6 0 2	画素部	
6 0 3	駆動回路部 (ゲート線駆動回路)	20
6 0 4	封止基板	
6 0 5	シール材	
6 0 7	空間	
6 0 8	配線	
6 0 9	F P C (フレキシブルプリントサーキット)	
6 1 0	素子基板	
6 1 1	スイッチング用 T F T	
6 1 2	電流制御用 T F T	
6 1 3	第 1 の電極	
6 1 4	絶縁物	30
6 1 6	E L 層	
6 1 7	第 2 の電極	
6 1 8	発光素子	
6 2 3	n チャンネル型 T F T	
6 2 4	p チャンネル型 T F T	
6 2 5	乾燥材	
9 0 1	筐体	
9 0 2	液晶層	
9 0 3	バックライトユニット	
9 0 4	筐体	40
9 0 5	ドライバ I C	
9 0 6	端子	
9 5 1	基板	
9 5 2	電極	
9 5 3	絶縁層	
9 5 4	隔壁層	
9 5 5	E L 層	
9 5 6	電極	
1 0 0 1	基板	
1 0 0 2	下地絶縁膜	50

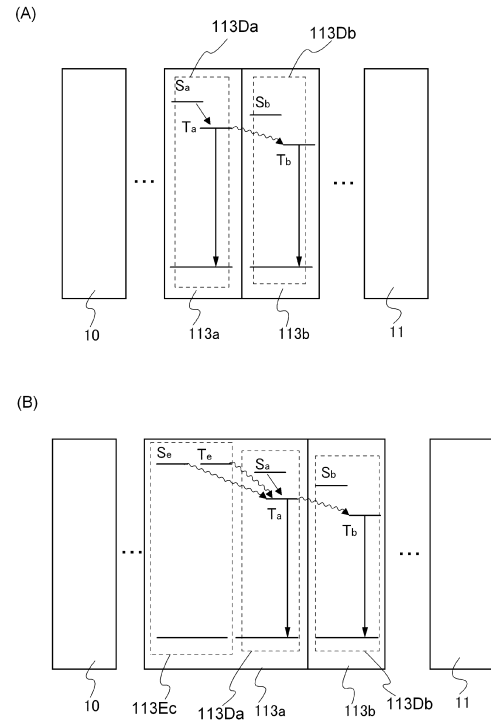
1 0 0 3	ゲート絶縁膜	
1 0 0 6	ゲート電極	
1 0 0 7	ゲート電極	
1 0 0 8	ゲート電極	
1 0 2 0	第 1 の層間絶縁膜	
1 0 2 1	第 2 の層間絶縁膜	
1 0 2 2	電極	
1 0 2 4 W	発光素子の第 1 の電極	
1 0 2 4 R	発光素子の第 1 の電極	
1 0 2 4 G	発光素子の第 1 の電極	10
1 0 2 4 B	発光素子の第 1 の電極	
1 0 2 5	隔壁	
1 0 2 8	E L 層	
1 0 2 9	発光素子の第 2 の電極	
1 0 3 1	封止基板	
1 0 3 2	シール材	
1 0 3 3	透明な基材	
1 0 3 4 R	赤色の着色層	
1 0 3 4 G	緑色の着色層	
1 0 3 4 B	青色の着色層	20
1 0 3 5	黒色層 (ブラックマトリックス)	
1 0 3 6	オーバーコート層	
1 0 3 7	第 3 の層間絶縁膜	
1 0 4 0	画素部	
1 0 4 1	駆動回路部	
1 0 4 2	周辺部	
1 0 4 4 W	白色の発光領域	
1 0 4 4 R	赤色の発光領域	
1 0 4 4 B	青色の発光領域	
1 0 4 4 G	緑色の発光領域	30
2 0 0 1	筐体	
2 0 0 2	光源	
3 0 0 1	照明装置	
3 0 0 2	表示装置	
5 0 0 0	表示	
5 0 0 1	表示	
5 0 0 2	表示	
5 0 0 3	表示	
5 0 0 4	表示	
5 0 0 5	表示	40
7 1 0 1	筐体	
7 1 0 3	表示部	
7 1 0 5	スタンド	
7 1 0 7	表示部	
7 1 0 9	操作キー	
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	50

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 2 1 0	第 2 の表示部	
7 3 0 1	筐体	
7 3 0 2	筐体	
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	10
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 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	20
7 4 0 6	マイク	
9 0 3 3	留め具	
9 0 3 4	スイッチ	
9 0 3 5	電源スイッチ	
9 0 3 6	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	タッチパネル領域	
9 6 3 2 b	タッチパネル領域	
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	

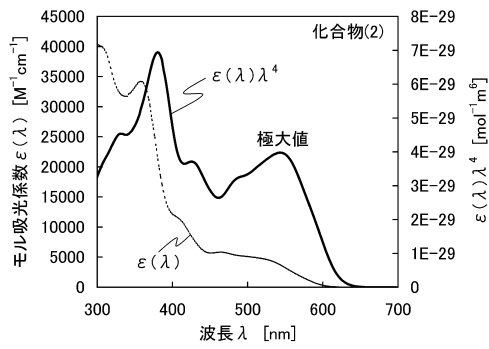
【 図 1 】



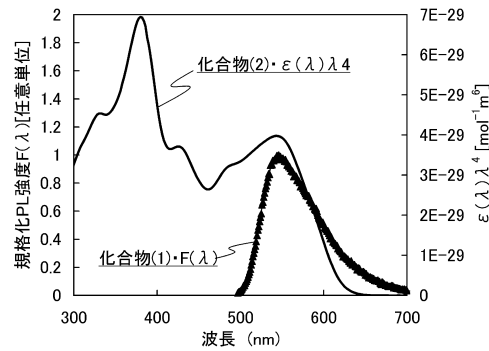
【 図 2 】



【 図 3 】

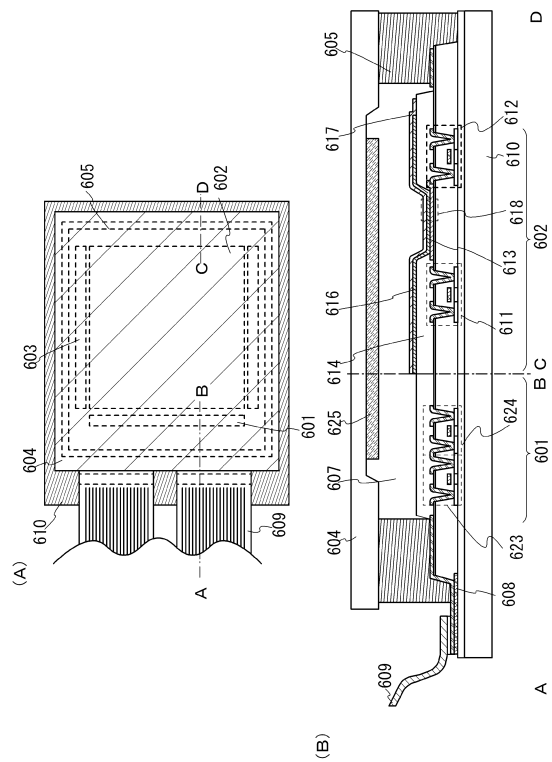


(a)

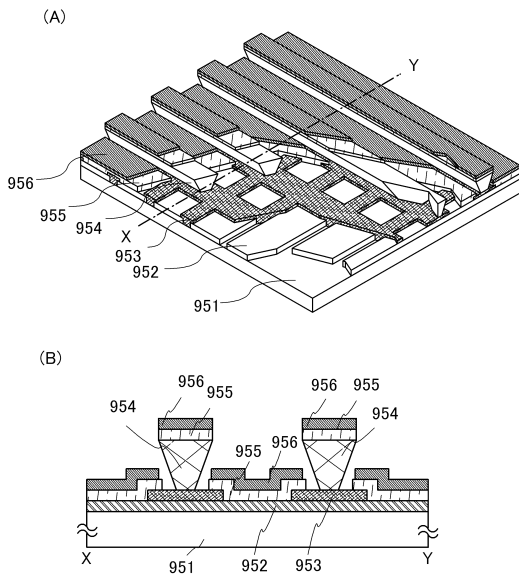


(b)

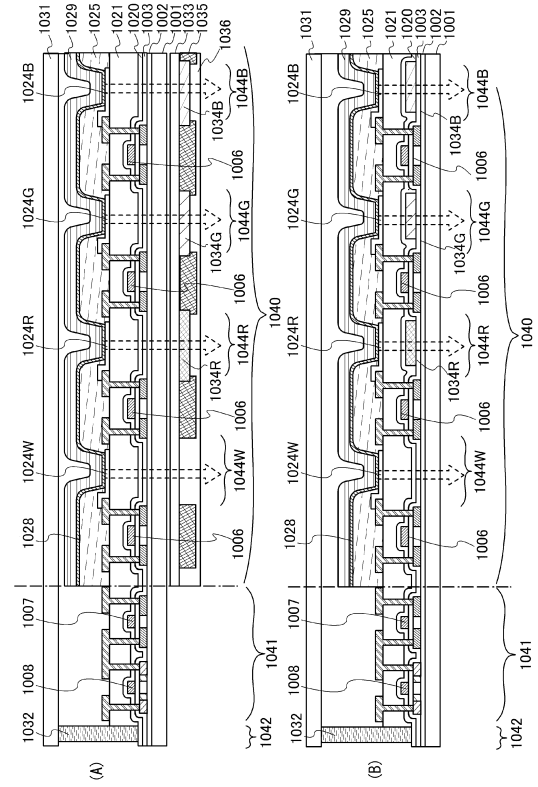
【 図 4 】



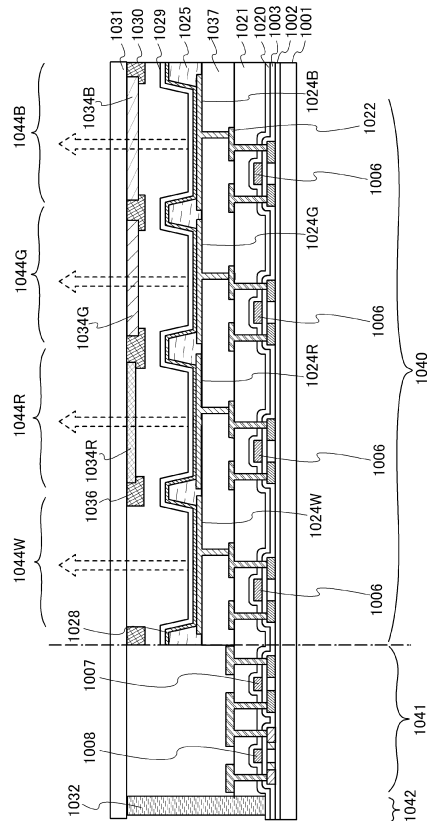
【 図 5 】



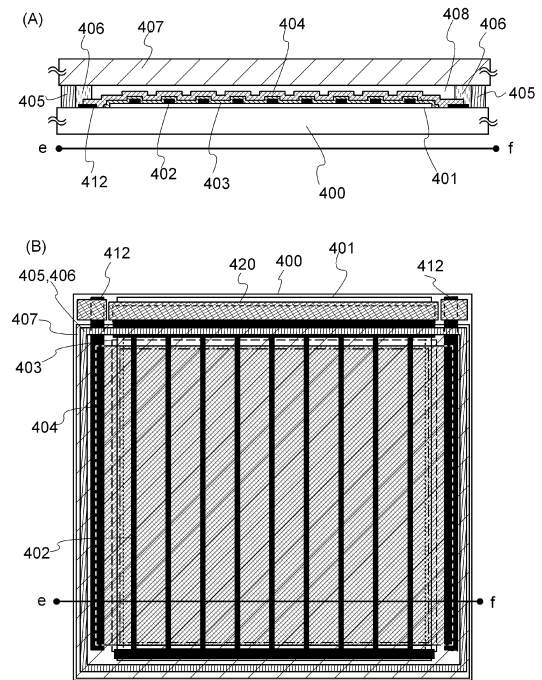
【 図 6 】



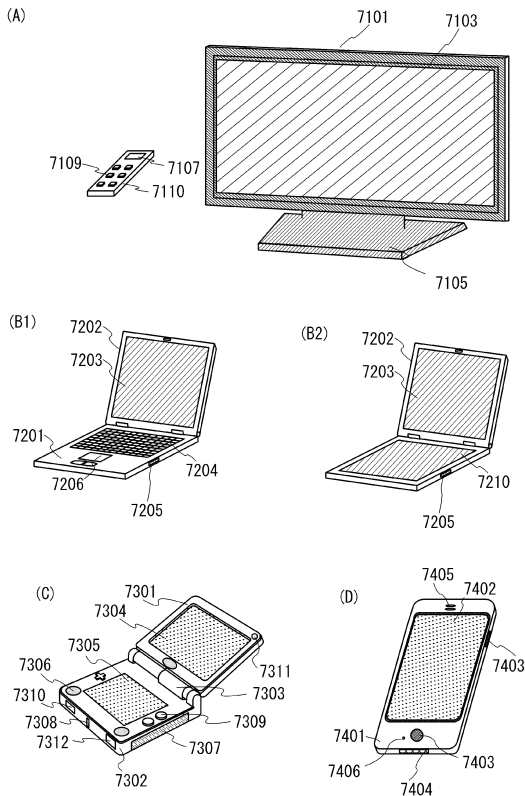
【 図 7 】



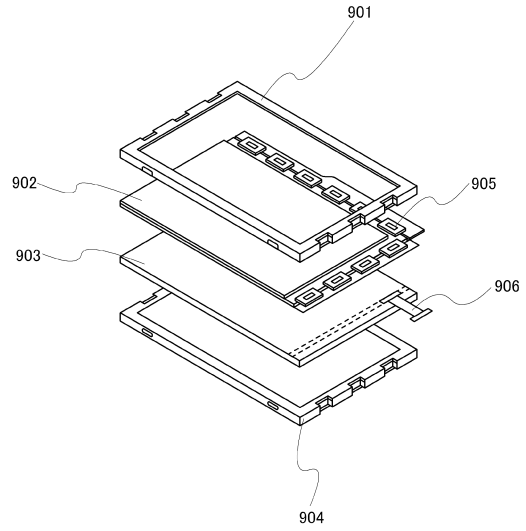
【 図 8 】



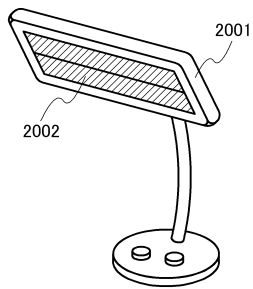
【図 9】



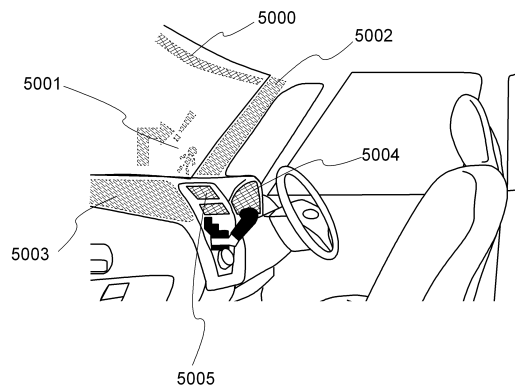
【図 10】



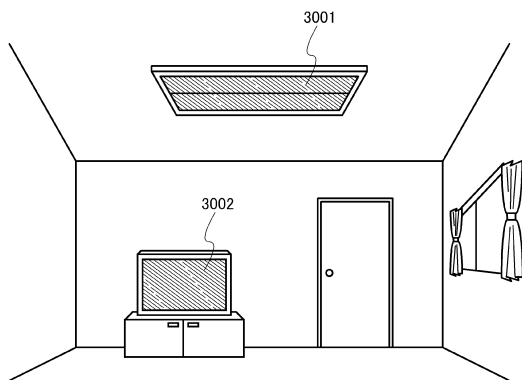
【図 11】



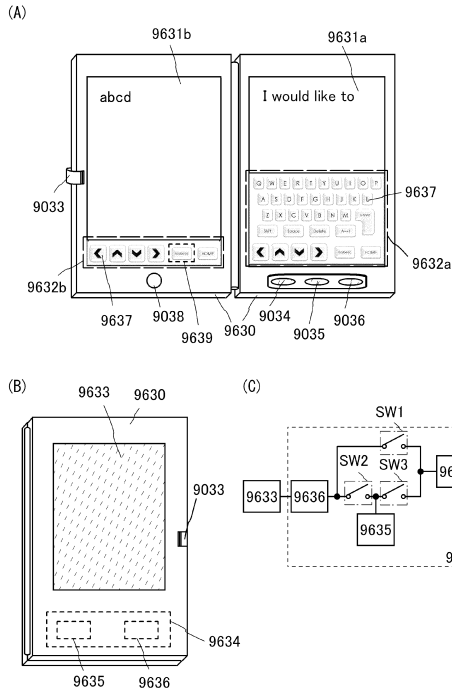
【図 13】



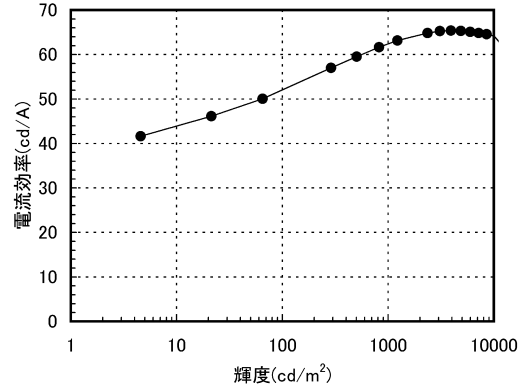
【図 12】



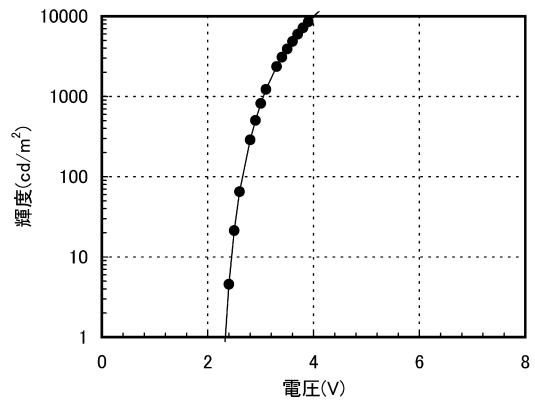
【 図 1 4 】



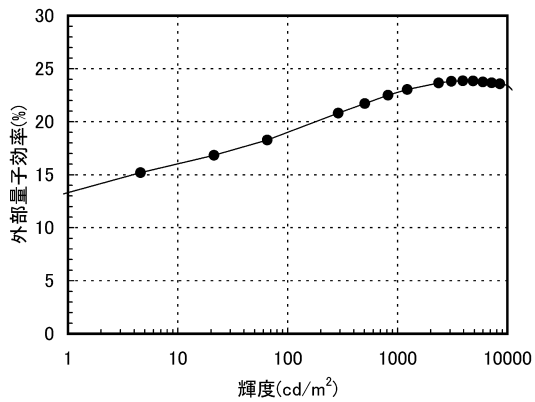
【 図 1 5 】



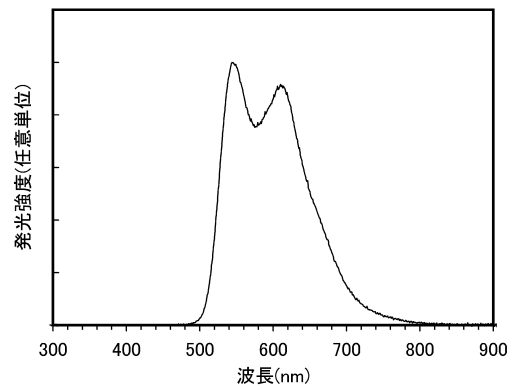
【 図 1 6 】



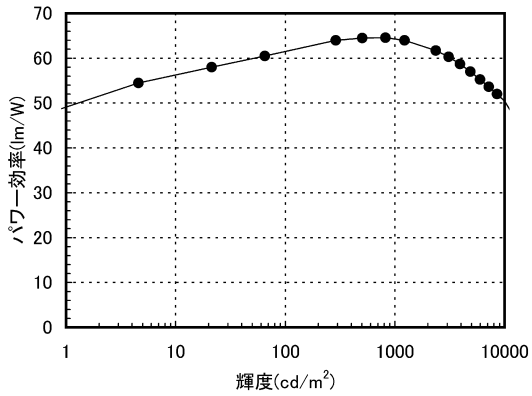
【 図 1 7 】



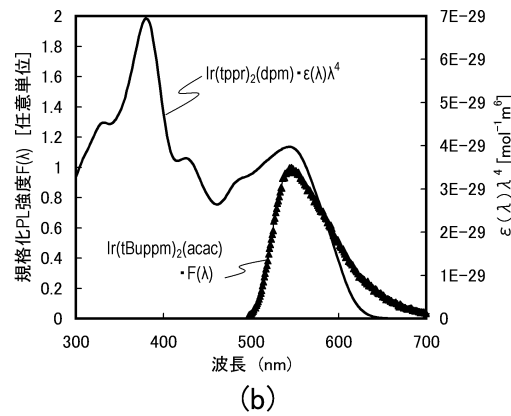
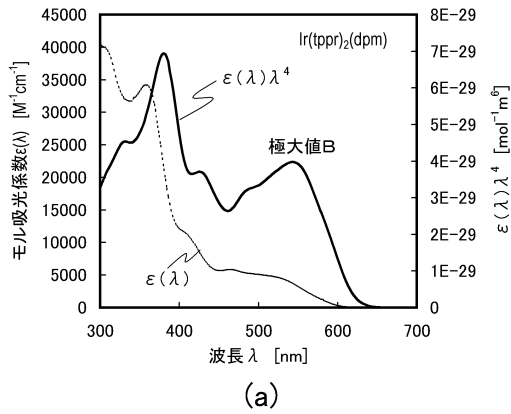
【 図 1 9 】



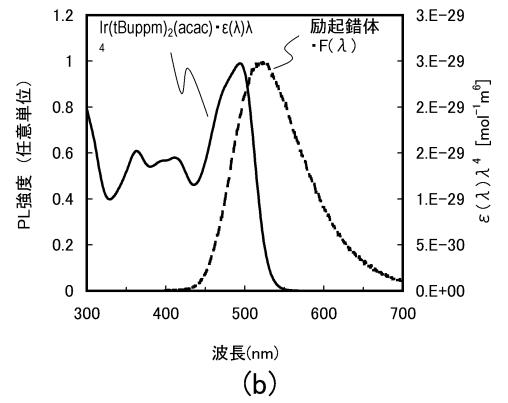
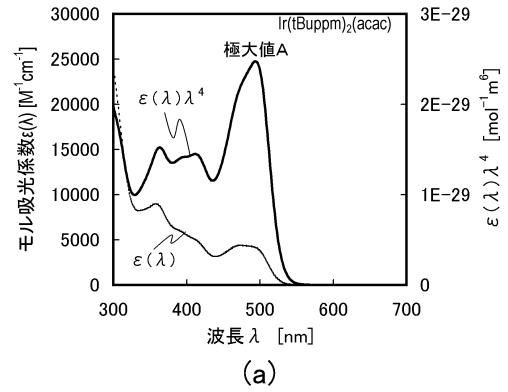
【 図 1 8 】



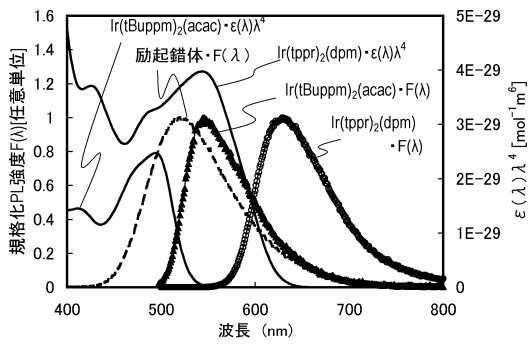
【 図 2 0 】



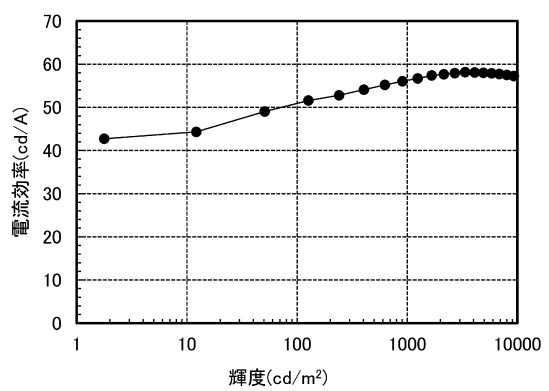
【 図 2 1 】



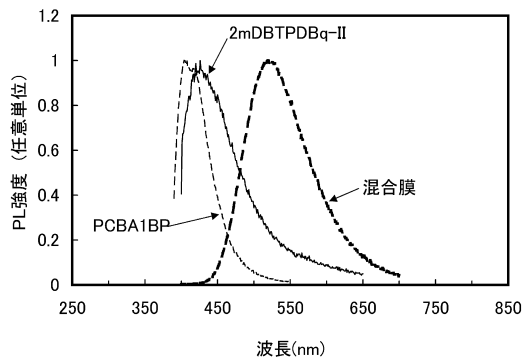
【 図 2 2 】



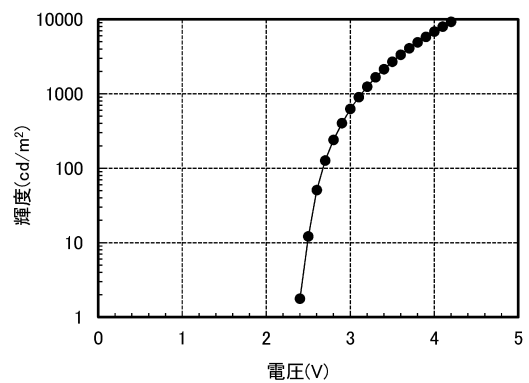
【 図 2 4 】



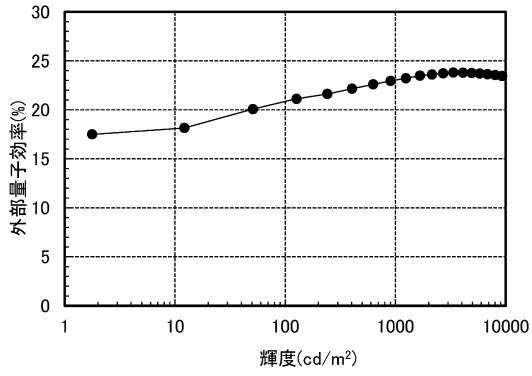
【 図 2 3 】



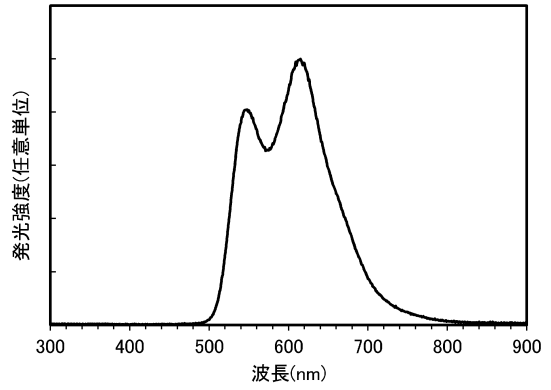
【 図 2 5 】



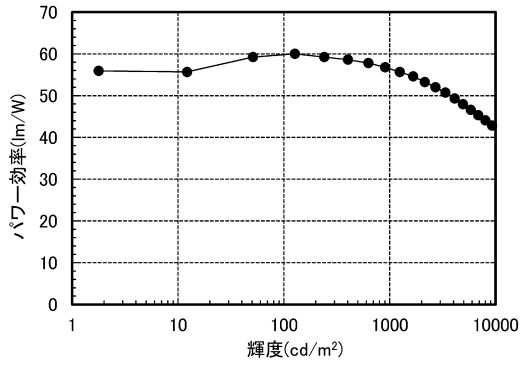
【 図 2 6 】



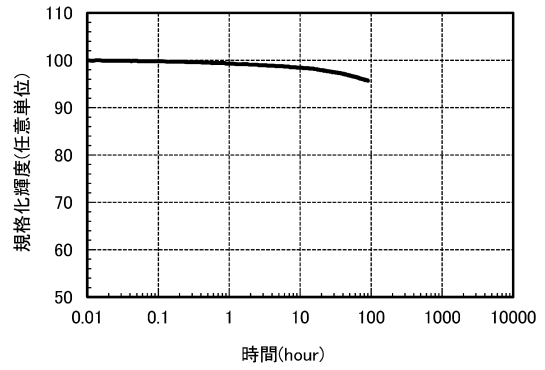
【 図 2 8 】



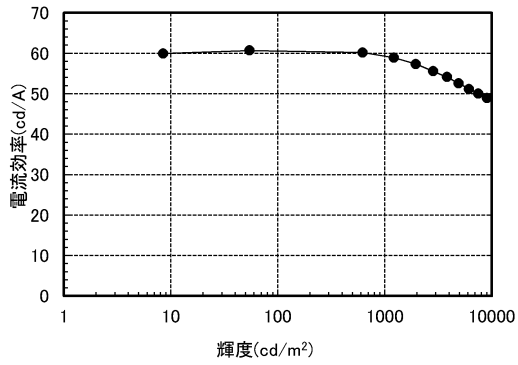
【 図 2 7 】



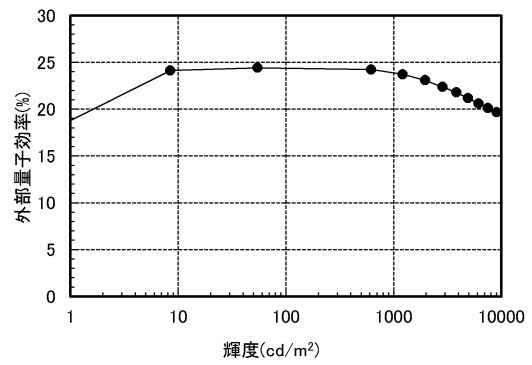
【 図 2 9 】



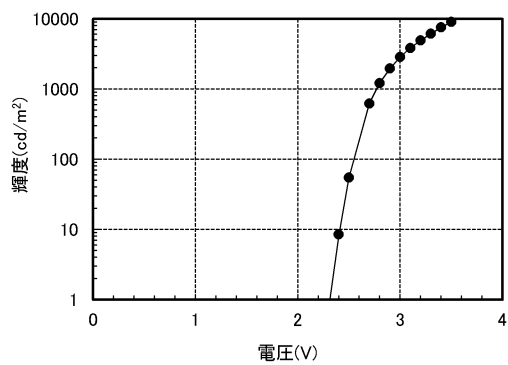
【 図 3 0 】



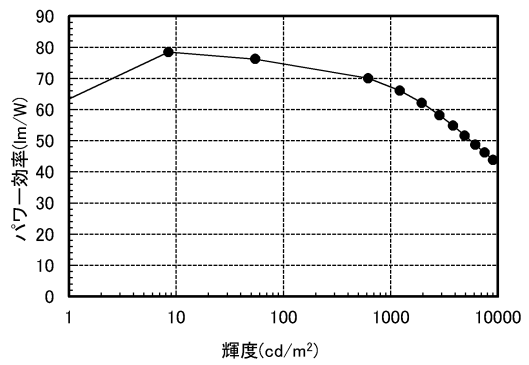
【 図 3 2 】



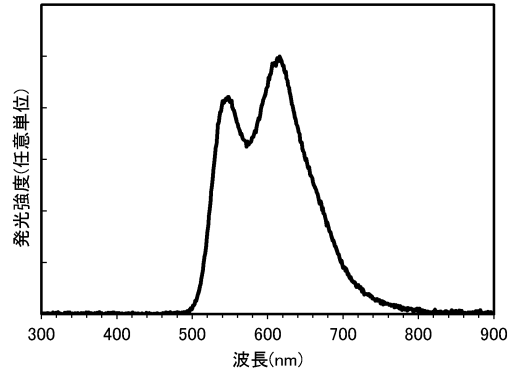
【 図 3 1 】



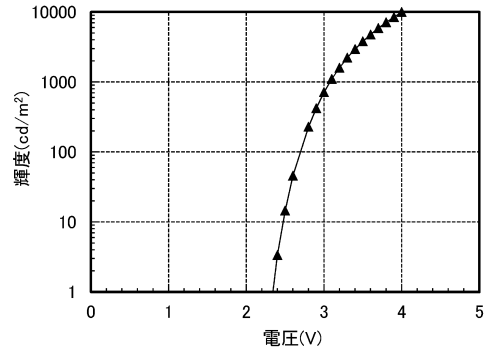
【 図 3 3 】



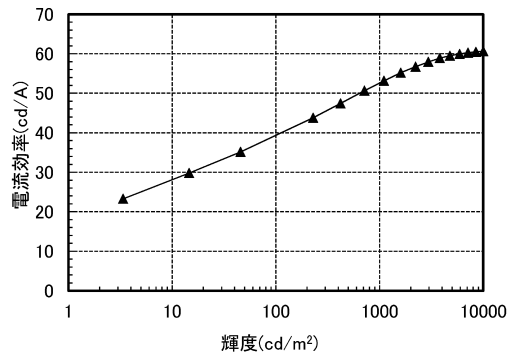
【 図 3 4 】



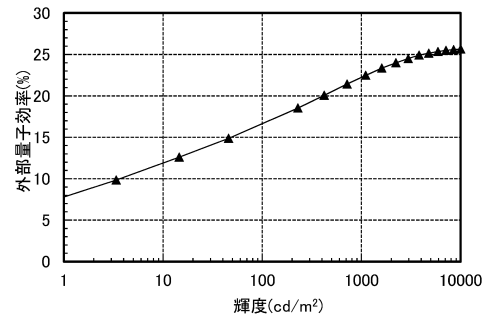
【 図 3 6 】



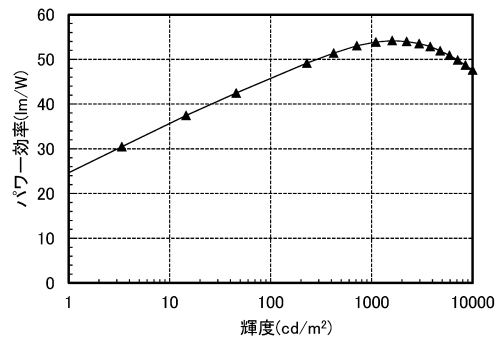
【 図 3 5 】



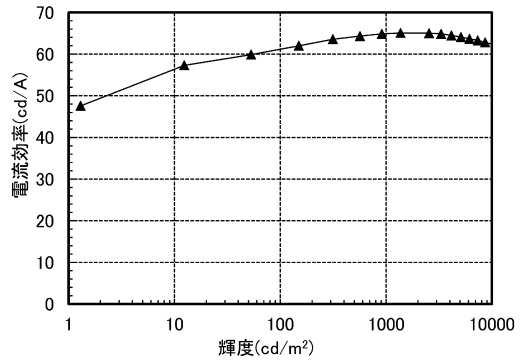
【 図 3 7 】



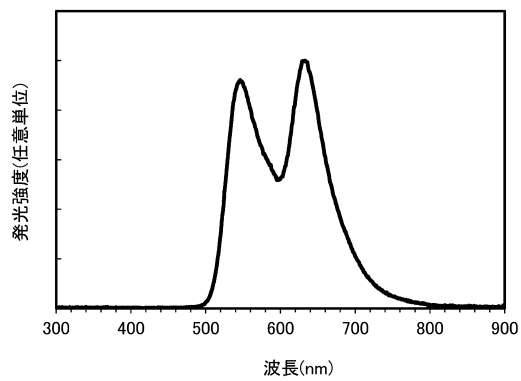
【 図 3 8 】



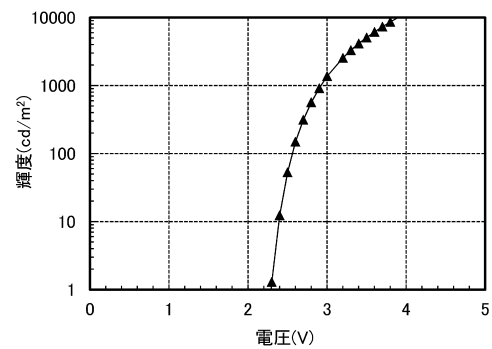
【 図 4 0 】



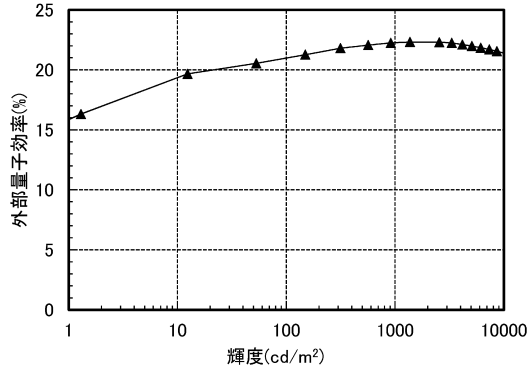
【 図 3 9 】



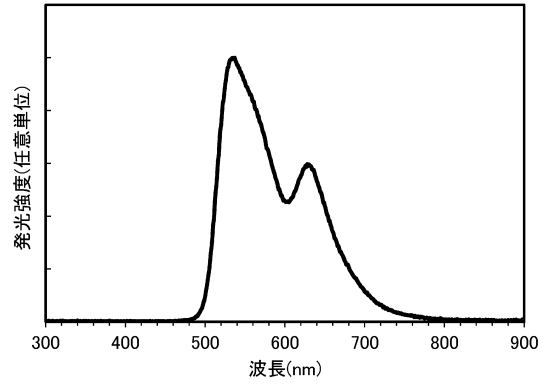
【 図 4 1 】



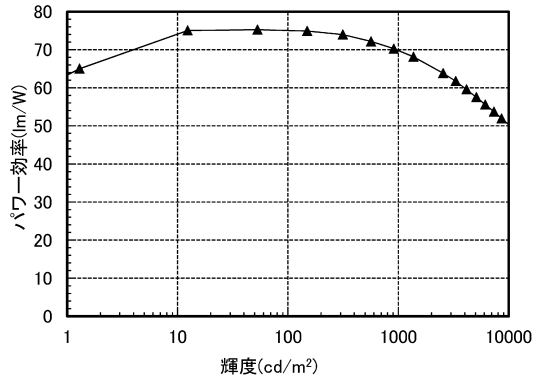
【 図 4 2 】



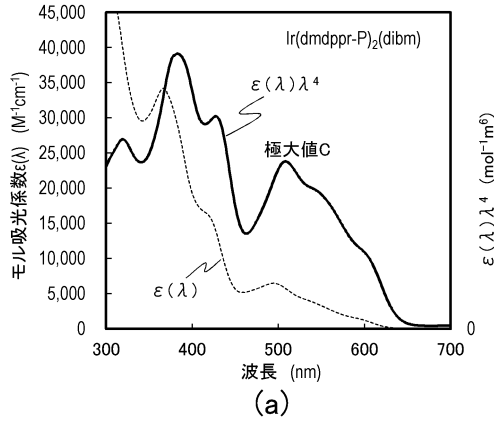
【 図 4 4 】



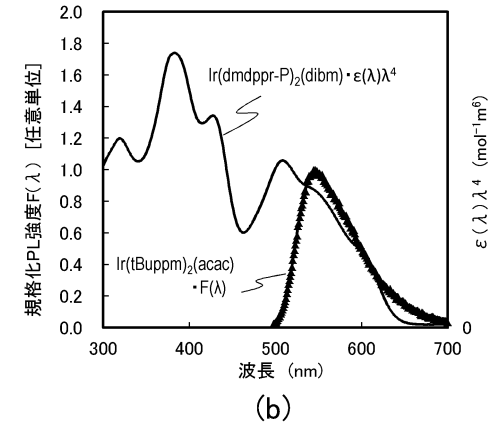
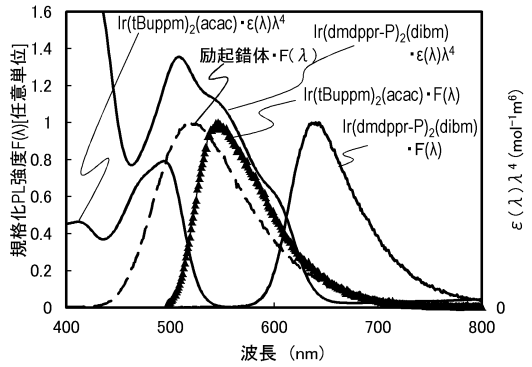
【 図 4 3 】



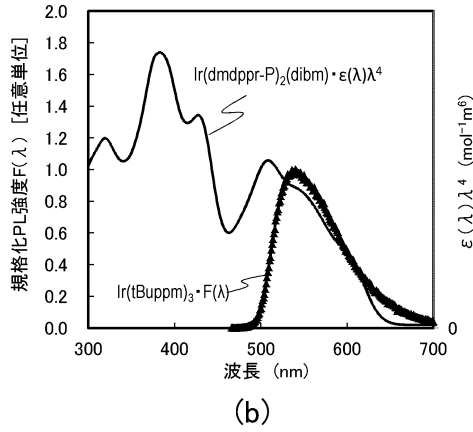
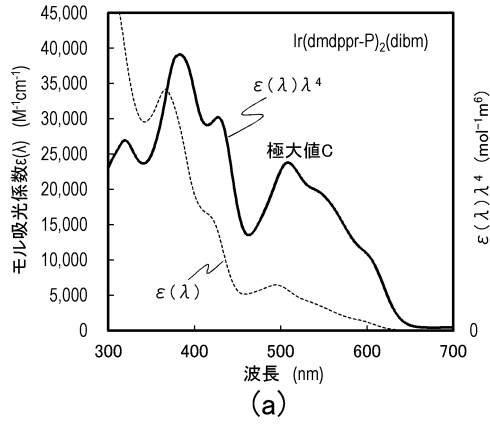
【 図 4 5 】



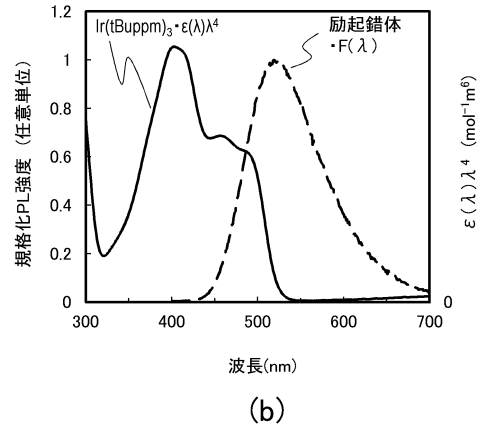
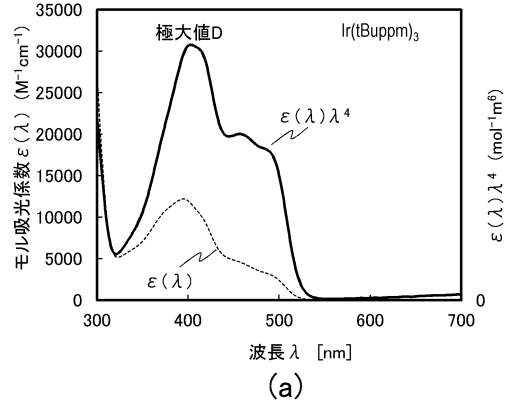
【 図 4 6 】



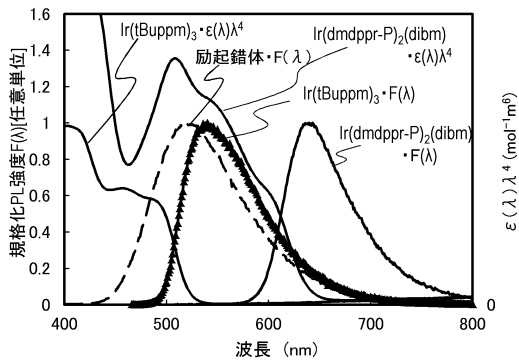
【 図 4 7 】



【 図 4 8 】



【 図 4 9 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-034484(JP,A)
特開2007-250296(JP,A)
特開2004-281386(JP,A)
特表2009-534846(JP,A)
国際公開第2011/155508(WO,A1)
国際公開第2010/140549(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 51/50