

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-48421
(P2021-48421A)

(43) 公開日 令和3年3月25日(2021.3.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
HO 1 L 51/50 (2006.01)	HO 5 B 33/14	3 K 1 O 7
HO 5 B 33/12 (2006.01)	HO 5 B 33/12	E

審査請求 有 請求項の数 13 O L (全 182 頁)

(21) 出願番号	特願2020-214637 (P2020-214637)	(71) 出願人	000153878 株式会社半導体エネルギー研究所 神奈川県厚木市長谷398番地
(22) 出願日	令和2年12月24日(2020.12.24)	(72) 発明者	瀬尾 哲史 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
(62) 分割の表示	特願2020-7642 (P2020-7642) の分割	(72) 発明者	高橋 辰義 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
原出願日	平成28年7月21日(2016.7.21)	(72) 発明者	渡部 剛吉 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2015-145443 (P2015-145443)	(72) 発明者	渡部 智美 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
(32) 優先日	平成27年7月23日(2015.7.23)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2015-233299 (P2015-233299)		
(32) 優先日	平成27年11月30日(2015.11.30)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

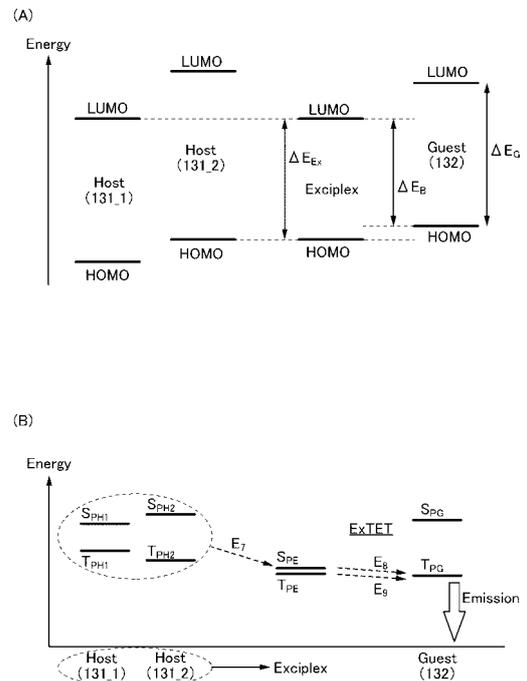
(54) 【発明の名称】 発光素子、表示装置、電子機器、及び照明装置

(57) 【要約】

【課題】 発光効率の高い発光素子を提供する。

【解決手段】 第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、ゲスト材料と、を有する発光素子である。第1の有機化合物のLUMO準位は、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より低い。ゲスト材料のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より高い。ゲスト材料のLUMO準位とゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差は、第1の有機化合物のLUMO準位と第2の有機化合物のHOMO準位とのエネルギー差より大きい。ゲスト材料は、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有する。第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、が励起錯体を形成する組み合わせである。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発光層を有する発光素子であって、
前記発光層は、第 1 の有機化合物と、第 2 の有機化合物と、ゲスト材料と、を有し、
前記第 1 の有機化合物の L U M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の L U M O 準位より低
く、
前記第 1 の有機化合物の H O M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位より低
く、
前記ゲスト材料の H O M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位より高く、
前記ゲスト材料の L U M O 準位と前記ゲスト材料の H O M O 準位とのエネルギー差は、 10
前記第 1 の有機化合物の L U M O 準位と前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位とのエネル
ギー差より大きく、
前記ゲスト材料は、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有し、
前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物とが、励起錯体を形成する組み合わせで
あり、
前記第 2 の有機化合物は、カルバゾール化合物である、発光素子。

【請求項 2】

発光層を有する発光素子であって、
前記発光層は、第 1 の有機化合物と、第 2 の有機化合物と、ゲスト材料と、を有し、
前記第 1 の有機化合物の L U M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の L U M O 準位より低 20
く、
前記第 1 の有機化合物の H O M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位より低
く、
前記ゲスト材料の H O M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位より高く、
前記ゲスト材料の L U M O 準位と前記ゲスト材料の H O M O 準位とのエネルギー差は、
前記第 1 の有機化合物の L U M O 準位と前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位とのエネル
ギー差より大きく、
前記ゲスト材料は、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有し、
前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物とが、励起錯体を形成する組み合わせで 30
あり、
前記第 2 の有機化合物は、カルバゾール化合物であり、
前記第 1 の有機化合物の L U M O 準位と前記ゲスト材料の H O M O 準位とのエネルギー
差が、前記ゲスト材料の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー以
上である、発光素子。

【請求項 3】

発光層を有する発光素子であって、
前記発光層は、第 1 の有機化合物と、第 2 の有機化合物と、ゲスト材料と、を有し、
前記第 1 の有機化合物の L U M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の L U M O 準位より低
く、
前記第 1 の有機化合物の H O M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位より低 40
く、
前記ゲスト材料の H O M O 準位は、前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位より高く、
前記ゲスト材料の L U M O 準位と前記ゲスト材料の H O M O 準位とのエネルギー差は、
前記第 1 の有機化合物の L U M O 準位と前記第 2 の有機化合物の H O M O 準位とのエネル
ギー差より大きく、
前記ゲスト材料は、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有し、
前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物とが、励起錯体を形成する組み合わせで
あり、
前記第 2 の有機化合物は、カルバゾール化合物であり、
前記第 1 の有機化合物の L U M O 準位と前記ゲスト材料の H O M O 準位とのエネルギー 50

差が、前記ゲスト材料が呈する発光のエネルギー以上である、発光素子。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項において、
前記第 2 の有機化合物は、カルバゾール環の 3 位が置換されているカルバゾール化合物である、発光素子。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項において、
前記第 2 の有機化合物は、2 つのカルバゾール環が互いに 3 位で結合しているカルバゾール化合物である、発光素子。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項において、
前記第 1 の有機化合物は、複素環化合物である、発光素子。

10

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一項において、
前記ゲスト材料の LUMO 準位と前記ゲスト材料の HOMO 準位とのエネルギー差は、前記ゲスト材料の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギーより、 0.3 eV 以上大きい、発光素子。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一項において、
前記ゲスト材料の LUMO 準位と前記ゲスト材料の HOMO 準位とのエネルギー差は、前記ゲスト材料が呈する発光のエネルギーより、 0.3 eV 以上大きい、発光素子。

20

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項において、
前記励起錯体が呈する発光スペクトルは、前記ゲスト材料の吸収スペクトルの最も長波長側の吸収帯と重なる領域を有する、発光素子。

【請求項 10】

請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか一項において、
前記第 1 の有機化合物の T_1 準位及び前記第 2 の有機化合物の T_1 準位は、それぞれ、前記ゲスト材料の T_1 準位より高い、発光素子。

【請求項 11】

請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか一項に記載の発光素子と、
カラーフィルタまたはトランジスタの少なくとも一方と、
を有する表示装置。

30

【請求項 12】

請求項 11 に記載の表示装置と、
筐体またはタッチセンサの少なくとも一方と、
を有する電子機器。

【請求項 13】

請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか一項に記載の発光素子と、
筐体またはタッチセンサの少なくとも一方と、
を有する照明装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の一態様は、発光素子、または該発光素子を有する表示装置、電子機器、及び照明装置に関する。

【0002】

なお、本発明の一態様は、上記の技術分野に限定されない。本明細書等で開示する発明の一態様の技術分野は、物、方法、または、製造方法に関する。または、本発明の一態様は、プロセス、マシン、マニュファクチャ、または、組成物（コンポジション・オブ・マ

50

ター)に関する。そのため、より具体的に本明細書で開示する本発明の一態様の技術分野としては、半導体装置、表示装置、液晶表示装置、発光装置、照明装置、蓄電装置、記憶装置、それらの駆動方法、または、それらの製造方法、を一例として挙げる事ができる。

【背景技術】

【0003】

近年、エレクトロルミネッセンス (Electroluminescence: EL) 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性の材料を含む層 (EL層) を挟んだ構成である。この素子の電極間に電圧を印加することにより、発光性の材料からの発光が得られる。

10

【0004】

上述の発光素子は自発光型であるため、これを用いた表示装置は、視認性に優れ、バックライトが不要であり、消費電力が少ない等の利点を有する。さらに、薄型軽量に作製でき、応答速度が高いなどの利点も有する。

【0005】

発光性の材料に有機材料を用い、一对の電極間に当該発光性の材料を含むEL層を設けた発光素子 (例えば、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材料が励起状態となり、励起された発光性の有機材料から発光を得ることができる。

20

【0006】

有機材料が形成する励起状態の種類としては、一重項励起状態 (S^*) と三重項励起状態 (T^*) があり、一重項励起状態からの発光が蛍光、三重項励起状態からの発光が燐光と呼ばれている。また、発光素子におけるそれらの統計的な生成比率は、 $S^* : T^* = 1 : 3$ である。そのため、蛍光を発する材料 (蛍光材料) を用いた発光素子より、燐光を発する材料 (燐光材料) を用いた発光素子の方が、高い発光効率を得ることが可能となる。したがって、三重項励起状態のエネルギーを発光に変換することが可能な燐光材料を用いた発光素子の開発が近年盛んに行われている (例えば、特許文献1参照)。

【0007】

有機材料を励起するために必要なエネルギーは、有機材料のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に依存し、そのエネルギー差は概ね一重項励起状態のエネルギーに相当する。燐光を発する有機材料を用いた発光素子においては、三重項励起エネルギーが、発光のエネルギーに変換される。そのため、有機材料が形成する一重項励起状態と三重項励起状態とでエネルギー差が大きい場合、有機材料を励起するために必要なエネルギーは、該エネルギー差に相当するエネルギーの分だけ、発光のエネルギーより高くなってしまふ。有機材料を励起するために必要なエネルギーと、発光のエネルギーとの差は、発光素子において駆動電圧の上昇として素子特性に影響を与えるが、該駆動電圧の上昇を抑制する手法について、開発が進められている (特許文献2参照)。

30

【0008】

また、燐光材料を用いた発光素子のうち、特に青色の発光を呈する発光素子においては、高い三重項励起エネルギー準位を有する安定な化合物の開発が困難であるため、未だ実用化に至っていない。そのため、高い発光効率を有し、安定な燐光材料の開発が求められている。また、高い発光効率を示す、信頼性の優れた燐光性の発光素子の開発が求められている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2010-182699号公報

【特許文献2】特開2012-212879号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

高い発光効率を示す燐光材料として、イリジウム錯体が知られている。また、高い発光エネルギーを有するイリジウム錯体として、ピリジン骨格または含窒素五員複素環骨格を配位子に有するイリジウム錯体が知られている。ピリジン骨格または該含窒素五員複素環骨格は、高い三重項励起エネルギーを有するが、電子受容性が低いため、該骨格を配位子に有するイリジウム錯体は、HOMO準位およびLUMO準位が高く、正孔キャリアが注入されやすく、電子キャリアが注入されにくい。そのため、高い発光エネルギーを有するイリジウム錯体においては、キャリアの直接再結合による励起が困難な場合や、発光素子を効率よく発光させることが困難な場合がある。

10

【0011】

したがって、本発明の一態様では、燐光材料を有し、発光効率が高い発光素子を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様では、消費電力が低減された発光素子を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様では、信頼性の優れた発光素子を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様では、新規な発光素子を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様では、新規な発光装置を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様では、新規な表示装置を提供することを課題の一とする。

【0012】

なお、上記の課題の記載は、他の課題の存在を妨げない。なお、本発明の一態様は、必ずしも、これらの課題の全てを解決する必要はない。上記以外の課題は、明細書等の記載から自ずと明らかであり、明細書等の記載から上記以外の課題を抽出することが可能である。

20

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の一態様は、燐光材料を効率よく励起することができる励起錯体を有する発光素子である。

【0014】

したがって、本発明の一態様は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、ゲスト材料と、を有する発光素子であって、第1の有機化合物のLUMO準位は、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より低く、ゲスト材料のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より高く、ゲスト材料のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位と、のエネルギー差は、第1の有機化合物のLUMO準位と、第2の有機化合物のHOMO準位と、のエネルギー差より大きく、ゲスト材料は、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有し、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、が励起錯体を形成する組み合わせの発光素子である。

30

【0015】

上記構成において、第1の有機化合物のLUMO準位と、第2の有機化合物のHOMO準位と、のエネルギー差が、ゲスト材料の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー以上であると好ましい。また、第1の有機化合物のLUMO準位と、第2の有機化合物のHOMO準位と、のエネルギー差が、ゲスト材料が呈する発光のエネルギー以上であると好ましい。

40

【0016】

また、本発明の他の一態様は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、ゲスト材料と、を有する発光素子であって、第1の有機化合物のLUMO準位は、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より低く、ゲスト材料のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より高く、ゲスト材料のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位と、のエネルギー差は、第1の有機化合物のLUMO準位と、第2の有機化合物のHOMO準位と、のエネルギー

50

差より大きく、ゲスト材料は、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有し、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、が励起錯体を形成する組み合わせであり、第1の有機化合物のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位と、のエネルギー差が、ゲスト材料の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー以上の発光素子である。

【0017】

また、本発明の他の一態様は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、ゲスト材料と、を有する発光素子であって、第1の有機化合物のLUMO準位は、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より低く、ゲスト材料のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より高く、ゲスト材料のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位と、のエネルギー差は、第1の有機化合物のLUMO準位と、第2の有機化合物のHOMO準位と、のエネルギー差より大きく、ゲスト材料は、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有し、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、が励起錯体を形成する組み合わせであり、第1の有機化合物のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位と、のエネルギー差が、ゲスト材料が呈する発光のエネルギー以上の発光素子である。

10

【0018】

また、上記各構成において、ゲスト材料のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位と、のエネルギー差は、ゲスト材料の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギーより、0.3 eV以上大きいと好ましい。

20

【0019】

また、上記各構成において、ゲスト材料のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位と、のエネルギー差は、ゲスト材料が呈する発光のエネルギーより、0.3 eV以上大きいと好ましい。

【0020】

また、上記各構成において、励起錯体は、ゲスト材料へ励起エネルギーを供与する機能を有すると好ましい。また、励起錯体が呈する発光スペクトルは、ゲスト材料の吸収スペクトルの最も長波長側の吸収帯と重なる領域を有すると好ましい。

【0021】

また、上記各構成において、ゲスト材料は、イリジウムを有すると好ましい。

30

【0022】

また、上記各構成において、ゲスト材料は、イリジウムに配位する配位子を有し、配位子は、シアノ基と、含窒素五員複素環骨格と、を有すると好ましい。また、配位子は、シアノ基と、トリアゾール骨格と、を有すると好ましい。

【0023】

また、上記各構成において、第1の有機化合物は、電子を輸送することができる機能を有し、第2の有機化合物は、正孔を輸送することができる機能を有すると好ましい。また、第1の有機化合物は、電子不足型複素芳香環骨格を有し、第2の有機化合物は、電子過剰型複素芳香環骨格または芳香族アミン骨格の少なくとも一方を有すると好ましい。

【0024】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成の発光素子と、カラーフィルタまたはトランジスタの少なくとも一方と、を有する表示装置である。また、本発明の他の一態様は、当該表示装置と、筐体またはタッチセンサの少なくとも一方と、を有する電子機器である。また、本発明の他の一態様は、上記各構成の発光素子と、筐体またはタッチセンサの少なくとも一方と、を有する照明装置である。また、本発明の一態様は、発光素子を有する発光装置だけでなく、発光装置を有する電子機器も範疇に含める。従って、本明細書中における発光装置とは、画像表示デバイス、もしくは光源（照明装置含む）を指す。また、発光装置にコネクタ、例えばFPC（Flexible Printed Circuit）、TCP（Tape Carrier Package）が取り付けられた表示モジュール、TCPの先にプリント配線板が設けられた表示モジュール、または発光素子にC

40

50

OG (Chip On Glass) 方式により IC (集積回路) が直接実装された表示モジュールも本発明の一態様である。

【発明の効果】

【0025】

本発明の一態様により、燐光材料を有し、発光効率が高い発光素子を提供することができる。または、本発明の一態様により、消費電力が低減された発光素子を提供することができる。または、本発明の一態様により、信頼性の優れた発光素子を提供することができる。または、本発明の一態様により、新規な発光素子を提供することができる。または、本発明の一態様により、新規な発光装置を提供することができる。または、本発明の一態様により、新規な表示装置を提供することができる。

10

【0026】

なお、これらの効果の記載は、他の効果の存在を妨げない。なお、本発明の一態様は、必ずしも、これらの効果の全てを有する必要はない。なお、これら以外の効果は、明細書、図面、請求項などの記載から、自ずと明らかであり、明細書、図面、請求項などの記載から、これら以外の効果を抽出することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明の一態様の発光素子の断面模式図。

【図2】本発明の一態様の発光素子の発光層における、エネルギーバンドの相関、及びエネルギー準位の相関を説明する図。

20

【図3】本発明の一態様の発光素子の断面模式図、及びエネルギー準位の相関を説明する図。

【図4】本発明の一態様の発光素子の断面模式図、及びエネルギー準位の相関を説明する図。

【図5】本発明の一態様の発光素子の断面模式図。

【図6】本発明の一態様の発光素子の断面模式図。

【図7】本発明の一態様の発光素子の作製方法を説明する断面模式図。

【図8】本発明の一態様の発光素子の作製方法を説明する断面模式図。

【図9】本発明の一態様の表示装置を説明する上面図及び断面模式図。

【図10】本発明の一態様の表示装置を説明する断面模式図。

30

【図11】本発明の一態様の表示装置を説明する断面模式図。

【図12】本発明の一態様の表示装置を説明する断面模式図。

【図13】本発明の一態様の表示装置を説明する断面模式図。

【図14】本発明の一態様の表示装置を説明する断面模式図。

【図15】本発明の一態様の表示装置を説明する断面模式図。

【図16】本発明の一態様の表示装置を説明する断面模式図。

【図17】本発明の一態様の表示装置を説明する断面模式図。

【図18】本発明の一態様の表示装置を説明するブロック図及び回路図。

【図19】本発明の一態様の表示装置の画素回路を説明する回路図。

【図20】本発明の一態様の表示装置の画素回路を説明する回路図。

40

【図21】本発明の一態様のタッチパネルの一例を示す斜視図。

【図22】本発明の一態様の表示装置、及びタッチセンサの一例を示す断面図。

【図23】本発明の一態様のタッチパネルの一例を示す断面図。

【図24】本発明の一態様に係るタッチセンサのブロック図及びタイミングチャート図。

【図25】本発明の一態様に係るタッチセンサの回路図。

【図26】本発明の一態様の表示モジュールを説明する斜視図。

【図27】本発明の一態様の電子機器について説明する図。

【図28】本発明の一態様の電子機器について説明する図。

【図29】本発明の一態様の表示装置を説明する斜視図。

【図30】本発明の一態様の発光装置を説明する斜視図及び断面図。

50

- 【図 3 1】本発明の一態様の発光装置を説明する断面図。
- 【図 3 2】本発明の一態様の電子機器及び照明装置を説明する図。
- 【図 3 3】本発明の一態様の照明装置について説明する図。
- 【図 3 4】実施例に係る、発光素子を説明する断面模式図。
- 【図 3 5】実施例に係る、ホスト材料の発光スペクトルを説明する図。
- 【図 3 6】実施例に係る、ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトルを説明する図。
- 。 【図 3 7】実施例に係る、ホスト材料の燐光発光スペクトルを説明する図。
- 【図 3 8】実施例に係る、発光素子の電流効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 3 9】実施例に係る、発光素子の輝度 - 電圧特性を説明する図。 10
- 【図 4 0】実施例に係る、発光素子の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 4 1】実施例に係る、発光素子の電力効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 4 2】実施例に係る、発光素子の電界発光スペクトルを説明する図。
- 【図 4 3】実施例に係る、発光素子の信頼性試験結果を説明する図。
- 【図 4 4】実施例に係る、ホスト材料の発光スペクトルを説明する図。
- 【図 4 5】実施例に係る、ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトルを説明する図。
- 。 【図 4 6】実施例に係る、発光素子の電流効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 4 7】実施例に係る、発光素子の輝度 - 電圧特性を説明する図。
- 【図 4 8】実施例に係る、発光素子の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。 20
- 【図 4 9】実施例に係る、発光素子の電力効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 5 0】実施例に係る、発光素子の電界発光スペクトルを説明する図。
- 【図 5 1】実施例に係る、エネルギーバンドの相関を説明する図。
- 【図 5 2】実施例に係る、発光素子の信頼性試験結果を説明する図。
- 【図 5 3】実施例に係る、ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトルを説明する図。
- 。 【図 5 4】実施例に係る、ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトルを説明する図。
- 。 【図 5 5】実施例に係る、ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトルを説明する図。 30
- 。 【図 5 6】実施例に係る、発光素子の電流効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 5 7】実施例に係る、発光素子の輝度 - 電圧特性を説明する図。
- 【図 5 8】実施例に係る、発光素子の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 5 9】実施例に係る、発光素子の電力効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 6 0】実施例に係る、発光素子の電界発光スペクトルを説明する図。
- 【図 6 1】実施例に係る、ホスト材料の発光スペクトルを説明する図。
- 【図 6 2】実施例に係る、ゲスト材料の吸収スペクトルを説明する図。
- 【図 6 3】実施例に係る、ホスト材料の燐光発光スペクトルを説明する図。
- 【図 6 4】実施例に係る、発光素子の電流効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 6 5】実施例に係る、発光素子の輝度 - 電圧特性を説明する図。 40
- 【図 6 6】実施例に係る、発光素子の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 6 7】実施例に係る、発光素子の電力効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 6 8】実施例に係る、発光素子の電界発光スペクトルを説明する図。
- 【図 6 9】実施例に係る、ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトルを説明する図。
- 。 【図 7 0】実施例に係る、発光素子の電流効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 7 1】実施例に係る、発光素子の輝度 - 電圧特性を説明する図。
- 【図 7 2】実施例に係る、発光素子の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 7 3】実施例に係る、発光素子の電力効率 - 輝度特性を説明する図。
- 【図 7 4】実施例に係る、発光素子の電界発光スペクトルを説明する図。 50

- 【図 7 5】実施例に係る、発光素子の電流効率 - 輝度特性を説明する図。
 【図 7 6】実施例に係る、発光素子の輝度 - 電圧特性を説明する図。
 【図 7 7】実施例に係る、発光素子の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。
 【図 7 8】実施例に係る、発光素子の電力効率 - 輝度特性を説明する図。
 【図 7 9】実施例に係る、発光素子の電界発光スペクトルを説明する図。
 【図 8 0】実施例に係る、ホスト材料の発光スペクトルを説明する図。
 【図 8 1】実施例に係る、発光素子の電流効率 - 輝度特性を説明する図。
 【図 8 2】実施例に係る、発光素子の輝度 - 電圧特性を説明する図。
 【図 8 3】実施例に係る、発光素子の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。
 【図 8 4】実施例に係る、発光素子の電界発光スペクトルを説明する図。
 【図 8 5】実施例に係る、ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトルを説明する図

10

- 。 【図 8 6】実施例に係る、ホスト材料の燐光発光スペクトルを説明する図。
 【図 8 7】実施例に係る、発光素子の信頼性試験結果を説明する図。
 【図 8 8】実施例に係る、発光素子の電流効率 - 輝度特性を説明する図。
 【図 8 9】実施例に係る、発光素子の輝度 - 電圧特性を説明する図。
 【図 9 0】実施例に係る、発光素子の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。
 【図 9 1】実施例に係る、発光素子の電力効率 - 輝度特性を説明する図。
 【図 9 2】実施例に係る、発光素子の電界発光スペクトルを説明する図。
 【図 9 3】実施例に係る、ホスト材料の燐光発光スペクトルを説明する図。

20

【発明を実施するための形態】

【0028】

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

【0029】

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

30

【0030】

また、本明細書等において、第 1、第 2 等として付される序数詞は便宜上用いており、工程順又は積層順を示さない場合がある。そのため、例えば、「第 1 の」を「第 2 の」又は「第 3 の」などと適宜置き換えて説明することができる。また、本明細書等に記載されている序数詞と、本発明の一態様を特定するために用いられる序数詞は一致しない場合がある。

【0031】

また、本明細書等において、図面を用いて発明の構成を説明するにあたり、同じものを指す符号は異なる図面間でも共通して用いる場合がある。

【0032】

また、本明細書等において、「膜」という用語と、「層」という用語とは、互いに入れ替えることが可能である。例えば、「導電層」という用語を、「導電膜」という用語に変更することが可能な場合がある。または、例えば、「絶縁膜」という用語を、「絶縁層」という用語に変更することが可能な場合がある。

40

【0033】

なお、本明細書等において、一重項励起状態 (S^*) は、励起エネルギーを有する一重項状態のことである。また、 S_1 準位は、一重項励起エネルギー準位の最も低い準位であり、最も低い一重項励起状態の励起エネルギー準位のことである。また、三重項励起状態 (T^*) は、励起エネルギーを有する三重項状態のことである。また、 T_1 準位は、三重項励起エネルギー準位の最も低い準位であり、最も低い三重項励起状態の励起エネルギー

50

準位のことである。なお、本明細書等において、単に一重項励起状態または一重項励起エネルギー準位と表記した場合であっても、最も低い一重項励起状態またはS1準位を表す場合がある。また、三重項励起状態または三重項励起エネルギー準位と表記した場合であっても、最も低い三重項励起状態またはT1準位を表す場合がある。

【0034】

また、本明細書等において、蛍光材料とは、一重項励起状態から基底状態へ緩和する際に可視光領域に発光を与える材料である。一方、燐光材料とは、三重項励起状態から基底状態へ緩和する際に、室温において可視光領域に発光を与える材料である。換言すると燐光材料とは、三重項励起エネルギーを可視光へ変換可能な材料の一つである。

【0035】

また、燐光発光エネルギーまたは三重項励起エネルギーは、燐光発光の最も短波長側の発光ピーク（ショルダーを含む）の波長から導出することができる。なお、該燐光発光は、低温（例えば、10K）環境下において、時間分解フォトルミネッセンス法を行うことで観測することができる。また、熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、熱活性化遅延蛍光の最も短波長側の発光ピーク（ショルダーを含む）の波長から導出することができる。

【0036】

なお、本明細書等において、室温とは、0 以上40 以下のいずれかの温度をいう。

【0037】

また、本明細書等において、青色の波長領域とは、400nm以上505nm未満の波長領域であり、青色の発光とは該波長領域に少なくとも一つの発光スペクトルピークを有する発光である。また、緑色の波長領域とは、505nm以上580nm未満の波長領域であり、緑色の発光とは該波長領域に少なくとも一つの発光スペクトルピークを有する発光である。また、赤色の波長領域とは、580nm以上680nm以下の波長領域であり、赤色の発光とは該波長領域に少なくとも一つの発光スペクトルピークを有する発光である。

【0038】

（実施の形態1）

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子について、図1及び図2を用いて以下説明する。

【0039】

<発光素子の構成例>

まず、本発明の一態様の発光素子の構成について、図1（A）及び（B）を用いて、以下説明する。

【0040】

図1（A）は、本発明の一態様の発光素子150の断面模式図である。

【0041】

発光素子150は、一对の電極（電極101及び電極102）を有し、該一对の電極間に設けられたEL層100を有する。EL層100は、少なくとも発光層130を有する。

【0042】

また、図1（A）に示すEL層100は、発光層130の他に、正孔注入層111、正孔輸送層112、電子輸送層118、及び電子注入層119等の機能層を有する。

【0043】

なお、本実施の形態においては、一对の電極のうち、電極101を陽極として、電極102を陰極として説明するが、発光素子150の構成としては、その限りではない。つまり、電極101を陰極とし、電極102を陽極とし、当該電極間の各層の積層を、逆の順番にしてもよい。すなわち、陽極側から、正孔注入層111と、正孔輸送層112と、発光層130と、電子輸送層118と、電子注入層119と、が積層する順番とすればよい。

【0044】

10

20

30

40

50

なお、EL層100の構成は、図1(A)に示す構成に限定されず、正孔注入層111、正孔輸送層112、電子輸送層118、及び電子注入層119の中から選ばれた少なくとも一つを有する構成とすればよい。あるいは、EL層100は、正孔または電子の注入障壁を低減する、正孔または電子の輸送性を向上する、正孔または電子の輸送性を阻害する、または電極による消光現象を抑制する、ことができる等の機能を有する機能層を有する構成としてもよい。なお、機能層はそれぞれ単層であっても、複数の層が積層された構成であってもよい。

【0045】

図1(B)は、図1(A)に示す発光層130の一例を示す断面模式図である。図1(B)に示す発光層130は、ホスト材料131と、ゲスト材料132と、を有する。また、ホスト材料131は、有機化合物131__1と、有機化合物131__2と、を有する。

10

【0046】

また、ゲスト材料132としては、発光性の有機材料を用いればよく、該発光性の有機材料としては、燐光を発することができる材料(以下、燐光材料ともいう)であると好適である。以下の説明においては、ゲスト材料132として、燐光材料を用いる構成について説明する。なお、ゲスト材料132を燐光材料として読み替えてもよい。

【0047】

<発光素子の発光機構>

次に、発光層130の発光機構について、以下説明を行う。

【0048】

発光層130におけるホスト材料131が有する有機化合物131__1および有機化合物131__2は、励起錯体(エキサイプレックス、エキシプレックスまたはExciplexともいう)を形成する。

20

【0049】

有機化合物131__1と有機化合物131__2との組み合わせは、励起錯体を形成することが可能な組み合わせであればよいが、一方が正孔を輸送する機能(正孔輸送性)を有する化合物であり、他方が電子を輸送する機能(電子輸送性)を有する化合物であることが、より好ましい。この場合、ドナー-アクセプター型の励起錯体を形成しやすくなり、効率よく励起錯体を形成することができる。

【0050】

また、有機化合物131__1と有機化合物131__2との組み合わせとしては、一方が他方の最高被占軌道(Highest Occupied Molecular Orbital、HOMOともいう)準位より低いHOMO準位を有し、且つ、他方の最低空軌道(Lowest Unoccupied Molecular Orbital、LUMOともいう)準位より低いLUMO準位を有することが好ましい。

30

【0051】

例えば、図2(A)に示すエネルギーバンド図のように、有機化合物131__1が電子輸送性を有し、有機化合物131__2が正孔輸送性を有する場合、有機化合物131__1のHOMO準位は、有機化合物131__2のHOMO準位より低く、且つ、有機化合物131__1のLUMO準位は、有機化合物131__2のLUMO準位より低いことが好ましい。

40

【0052】

この場合、有機化合物131__1と有機化合物131__2とで形成する励起錯体は、有機化合物131__1のLUMO準位と、有機化合物131__2のHOMO準位とのエネルギー差(E_{Ex})に概ね相当する励起エネルギーを有する励起錯体となる。

【0053】

また、有機化合物131__1のHOMO準位と有機化合物131__2のHOMO準位との差、及び有機化合物131__1のLUMO準位と有機化合物131__2のLUMO準位との差はそれぞれ、好ましくは0.1eV以上であり、より好ましくは0.2eV以上である。該エネルギー差を有することで、一对の電極(電極101および電極102)から

50

注入された電子キャリアおよび正孔キャリアが、有機化合物 131__1 および有機化合物 131__2 に、それぞれ注入されやすくなるため好適である。

【0054】

なお、図 2 (A) において、Host (131__1) は有機化合物 131__1 を表し、Host (131__2) は有機化合物 131__2 を表し、Guest (132) はゲスト材料 132 を表し、 E_{Ex} は有機化合物 131__1 の LUMO 準位と有機化合物 131__2 の HOMO 準位とのエネルギー差を表し、 E_B は有機化合物 131__1 の LUMO 準位とゲスト材料 132 の HOMO 準位とのエネルギー差を表し、 E_G はゲスト材料 132 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差を表す、表記及び符号である。

【0055】

ゲスト材料 132 が呈する発光の発光波長が短波長で、発光エネルギーが大きい発光となるためには、ゲスト材料 132 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (E_G) は大きい方が好ましい。一方、発光素子 150 において、駆動電圧を低減するためには、できるだけ小さい励起エネルギーで励起することが好ましく、そのためには、有機化合物 131__1 と有機化合物 131__2 とで形成する励起錯体の励起エネルギーは、小さい方が好ましい。したがって、有機化合物 131__1 の LUMO 準位と、有機化合物 131__2 の HOMO 準位とのエネルギー差 (E_{Ex}) は、小さい方が好ましい。

【0056】

なお、ゲスト材料 132 は燐光性の発光材料であるため、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有する。また、三重項励起状態は、一重項励起状態よりエネルギーが安定である。そのため、ゲスト材料 132 は、LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (E_G) よりエネルギーが小さい発光を呈することができる。ここで、ゲスト材料 132 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (E_G) が、有機化合物 131__1 の LUMO 準位と有機化合物 131__2 の HOMO 準位とのエネルギー差 (E_{Ex}) より大きい場合においても、ゲスト材料 132 が呈する発光のエネルギー (略称: E_{Em}) あるいは吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー (略称: E_{abs}) が、 E_{Ex} と同等か、より小さい場合であれば、有機化合物 131__1 と有機化合物 131__2 とで形成する励起錯体から、ゲスト材料 132 への励起エネルギーの移動が可能となり、ゲスト材料 132 から発光を得ることができることを本発明者らは見出した。ゲスト材料 132 の E_G が、ゲスト材料 132 が呈する発光のエネルギー (E_{Em}) あるいは吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー (E_{abs}) よりも大きい場合、ゲスト材料 132 を直接電気励起するには、 E_G に相当する大きな電気エネルギーが必要となるため、発光素子の駆動電圧が上昇する。しかし、本発明の一態様においては、 E_{Ex} (E_G よりも小さい) に相当する電気エネルギーにより励起錯体を電気励起し、励起錯体からのエネルギー移動によってゲスト材料 132 の励起状態を生成するため、低い駆動電圧、且つ高効率で、ゲスト材料 132 からの発光を得ることができる。つまり、 E_G が、ゲスト材料 132 が呈する発光のエネルギー (E_{Em}) あるいは吸収スペクトルから算出される遷移エネルギー (E_{abs}) よりもかなり大きい場合 (例えばゲスト材料が青色発光材料の場合) において、本発明の一態様は特に有益である。

【0057】

ゲスト材料 132 が重金属を有する場合、スピン軌道相互作用 (電子のスピン角運動量と軌道角運動量との相互作用) により、一重項状態と三重項状態との項間交差が促進されるため、ゲスト材料 132 において一重項基底状態と三重項励起状態との間の遷移が禁制とならない場合がある。すなわち、ゲスト材料 132 の一重項基底状態と三重項励起状態との間の遷移に係わる発光の効率および吸収の確率を高めることができる。そのため、ゲスト材料 132 は、スピン軌道相互作用の大きい金属元素を有すると好ましく、特に白金族元素 (ルテニウム (Ru)、ロジウム (Rh)、パラジウム (Pd)、オスミウム (Os)、イリジウム (Ir)、または白金 (Pt)) を有することが好ましく、中でもイリジウムを有することで、一重項基底状態と三重項励起状態との間の直接遷移に係わる吸収

10

20

30

40

50

確率を高めることができ、好ましい。

【0058】

なお、ゲスト材料132が高い発光エネルギーを有する（短波長である）発光を呈するためには、ゲスト材料132の最低三重項励起エネルギー準位は高いことが好ましい。そのため、ゲスト材料132が有する重金属原子に配位する配位子としても、最低三重項励起エネルギー準位が高いことが好ましく、電子受容性が低くLUMO準位が高いことが好ましい。

【0059】

上記のような構造を有するゲスト材料は、HOMO準位が高く正孔を受け取り易い分子構造となり易い。ゲスト材料132が正孔を受け取り易い分子構造を有する場合、ゲスト材料132のHOMO準位が、有機化合物131__2のHOMO準位より高くなる場合がある。さらに、 E_G が E_{Ex} より大きい場合、ゲスト材料132のLUMO準位は、有機化合物131__1のLUMO準位より高くなる。また、ゲスト材料132のLUMO準位と、有機化合物131__1のLUMO準位とのエネルギー差は、ゲスト材料132のHOMO準位と、有機化合物131__2のHOMO準位とのエネルギー差、より大きくなる。

10

【0060】

ここで、ゲスト材料132のHOMO準位が、有機化合物131__2のHOMO準位より高く、ゲスト材料132のLUMO準位が、有機化合物131__1のLUMO準位より高い場合、一对の電極（電極101および電極102）から注入されたキャリア（正孔および電子）のうち、陽極から注入された正孔は、発光層130においてゲスト材料132に注入されやすく、陰極から注入された電子は、有機化合物131__1に注入されやすくなる。そのため、発光層130が有する材料のうち、最も高いHOMO準位を有する材料がゲスト材料132であり、最も低いLUMO準位を有する材料が有機化合物131__1である場合、有機化合物131__1とゲスト材料132とで、励起錯体を形成してしまうことがある。特に、有機化合物131__1のLUMO準位とゲスト材料132のHOMO準位とのエネルギー差（略称： E_B ）が、ゲスト材料の発光のエネルギー（ E_{Em} ）よりも小さくなるにつれて、有機化合物131__1とゲスト材料132とで形成される励起錯体の生成が支配的となる。この場合、ゲスト材料132単体で励起状態が生成されにくくなるため、発光素子の発光効率が低下してしまう。

20

30

【0061】

上記の反応は、以下の式（G11）または（G12）で表すことができる。

【0062】



【0063】

式（G11）は、有機化合物131__1が電子を受け取り（ A^- ）、ゲスト材料132が正孔を受け取る（ G^+ ）ことで、有機化合物131__1およびゲスト材料132が励起錯体（ $(A \cdot G)^*$ ）を生成する反応である。また、式（G12）は、励起状態であるゲスト材料132（ G^* ）と、基底状態の有機化合物131__1（ A ）とが相互作用することで、有機化合物131__1およびゲスト材料132が励起錯体（ $(A \cdot G)^*$ ）を生成する反応である。有機化合物131__1およびゲスト材料132が励起錯体（ $(A \cdot G)^*$ ）を形成することで、ゲスト材料132単体の励起状態（ G^* ）が生成されにくくなる。してしまう。

40

【0064】

有機化合物131__1とゲスト材料132とで形成する励起錯体は、有機化合物131__1のLUMO準位と、ゲスト材料132のHOMO準位とのエネルギー差（ E_B ）に概ね相当する励起エネルギーを有する励起錯体となる。しかしながら、有機化合物131__1のLUMO準位と、ゲスト材料132のHOMO準位とのエネルギー差（ E_B ）が、ゲスト材料132が呈する発光のエネルギー（ E_{Em} ）あるいは吸収スペクトルにお

50

ける吸収端から算出される遷移エネルギー (E_{abs}) 以上である場合、有機化合物 131_1 とゲスト材料 132 とで励起錯体を形成する反応を抑制することができ、ゲスト材料 132 から効率よく発光を得ることができることを、本発明者らは見出した。この場合、 E_B より E_{abs} が小さいため、ゲスト材料 132 は励起エネルギーを受け取り易く、有機化合物 131_1 とゲスト材料 132 とで励起錯体を形成するより、ゲスト材料 132 が励起エネルギーを受け取って励起状態となる方がエネルギーが低く、安定な励起状態となる。

【0065】

上述した通り、ゲスト材料 132 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (E_G) が、有機化合物 131_1 の LUMO 準位と有機化合物 131_2 の HOMO 準位とのエネルギー差 (E_{Ex}) より大きい場合であっても、ゲスト材料 132 の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー (E_{abs}) が、 E_{Ex} と同等か、より小さければ、有機化合物 131_1 と有機化合物 131_2 とで形成される励起錯体から、ゲスト材料 132 へ、効率よく励起エネルギーを移動させることができる。その結果、低電圧かつ高効率な発光素子が得られることが、本発明の一態様の特徴の一つである。この場合、 $E_{abs} < E_{Ex} < E_G$ (E_{abs} は E_{Ex} 以下であり、 E_{Ex} は E_G より小さい) となっている。したがって、 E_{abs} が E_G より小さい場合に、本発明の一態様のメカニズムは好適である。換言すると、 E_G が E_{abs} より大きい場合に、本発明の一態様のメカニズムは好適である。より具体的には、ゲスト材料 132 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (E_G) は、ゲスト材料 132 の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー (E_{abs}) より、 0.3 eV 以上大きいと好ましく、 0.4 eV 以上大きいとより好ましい。また、ゲスト材料 132 が呈する発光のエネルギー (E_{Em}) は、 E_{abs} と同等か、それよりも小さいため、ゲスト材料 132 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (E_G) が、ゲスト材料 132 が呈する発光のエネルギー (E_{Em}) より、 0.3 eV 以上大きいと好ましく、 0.4 eV 以上大きいとより好ましい。なお、発光のエネルギー (E_{Em}) は、発光スペクトルの最も短波長側の発光ピーク (極大値、またはショルダーを含む) の波長から導出することができる。

【0066】

さらに、ゲスト材料 132 の HOMO 準位が、有機化合物 131_2 の HOMO 準位より高い場合、上述した通り、 $E_{abs} < E_B$ (E_{abs} は E_B 以下)、あるいは $E_{Em} < E_B$ (E_{Em} は E_B 以下) であると好ましい。したがって、 $E_{abs} < E_B < E_{Ex} < E_G$ (E_{abs} は E_B 以下であり、 E_B は E_{Ex} より小さく、 E_{Ex} は E_G より小さい)、あるいは $E_{Em} < E_B < E_{Ex} < E_G$ (E_{Em} は E_B 以下であり、 E_B は E_{Ex} より小さく、 E_{Ex} は E_G より小さい) であると好ましい。これらの条件も、本発明の一態様における重要な発見である。

【0067】

なお、ゲスト材料 132 の発光波長が短波長になり、発光のエネルギー (E_{Em}) が大きくなるほど、ゲスト材料 132 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (E_G) は大きくなるため、それに伴い、ゲスト材料 132 を電気励起するためには大きなエネルギーが必要となる。しかしながら、本発明の一態様においては、ゲスト材料 132 の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー (E_{abs}) が、 E_{Ex} と同等か、より小さければ、 E_G よりもエネルギーが小さい E_{Ex} 程度のエネルギーでゲスト材料 132 を励起することができるため、発光素子の消費電力を低減することができる。したがって、ゲスト材料 132 の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー (E_{abs}) と、ゲスト材料 132 の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (E_G) と、のエネルギー差がより大きい方が (すなわち、特に青色の発光を呈するゲスト材料の場合)、本発明の一態様のメカニズムの効果が顕著となる。

【0068】

10

20

30

40

50

ただし、ゲスト材料132の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー (E_{abs}) が小さくなると、ゲスト材料132が呈する発光のエネルギーも小さくなってしまいうため、青色の発光のような高いエネルギーを有する発光を得ることが難しくなってしまう。すなわち、 E_{abs} と E_G の差が大きくなりすぎると、青色の発光のような高いエネルギーを有する発光が得られ難くなる。

【0069】

これらのことから、ゲスト材料132のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差 (E_G) は、ゲスト材料132の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー (E_{abs}) より、0.3 eV以上0.8 eV以下の範囲で大きいと好ましく、0.4 eV以上0.8 eV以下の範囲で大きいとより好ましく、0.5 eV以上0.8 eV以下の範囲で大きいと、さらに好ましい。また、ゲスト材料132が呈する発光のエネルギー (E_{em}) は、 E_{abs} と同等か、それよりも小さいため、ゲスト材料132のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差 (E_G) は、ゲスト材料132が呈する発光のエネルギー (E_{em}) より、0.3 eV以上0.8 eV以下の範囲で大きいと好ましく、0.4 eV以上0.8 eV以下の範囲で大きいとより好ましく、0.5 eV以上0.8 eV以下の範囲で大きいと、さらに好ましい。

10

【0070】

また、ゲスト材料132のHOMO準位と、有機化合物131__2のHOMO準位との差は、好ましくは0.05 eV以上0.4 eV以下である。適度な正孔トラップは、発光素子の長寿命化の効果をもたらすが、ゲスト材料のHOMO準位が高すぎると、上述した E_B が小さくなってしまいうためである。また、ゲスト材料132のLUMO準位と、有機化合物131__1のLUMO準位との差は、好ましくは0.05 eV以上であり、より好ましくは0.1 eV以上であり、さらに好ましくは0.2 eV以上である。このようなエネルギー準位の相関とすることで、電子キャリアが有機化合物131__1に注入されやすくなるため好適である。

20

【0071】

また、有機化合物131__1のLUMO準位と有機化合物131__2のHOMO準位とのエネルギー差 (E_{ex}) は、有機化合物131__1のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差、及び有機化合物131__2のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差より、それぞれ小さいため、有機化合物131__1および有機化合物131__2が単体で励起状態を形成するより、励起錯体を形成した方がエネルギー的に安定となる。また、ゲスト材料132のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差 (E_G) が、有機化合物131__1のLUMO準位と有機化合物131__2のHOMO準位とのエネルギー差 (E_{ex}) より大きい場合、発光層130に注入されたキャリア (正孔および電子) が再結合して形成する励起状態としては、有機化合物131__1と有機化合物131__2とで形成する励起錯体の方がエネルギー的に安定である。そのため、発光層130で生成される励起状態のほとんどが、有機化合物131__1と有機化合物131__2とで形成される励起錯体として存在することになる。したがって、本発明の一態様の構成によって、該励起錯体からゲスト材料132への励起エネルギーの移動を生じやすくすることで、発光素子の駆動電圧を低減することができ、発光効率を高めることができる。

30

40

【0072】

なお、ゲスト材料132のLUMO準位は、有機化合物131__2のLUMO準位より高くても良く、低くても良い。

【0073】

また、ゲスト材料132のHOMO準位が、有機化合物131__1のHOMO準位より高いため、ゲスト材料132は、発光層130において正孔トラップとしての機能を有する。ゲスト材料132が正孔トラップとして機能する場合、発光層中のキャリアバランスを容易に制御することが可能となり、長寿命化の効果が得られるため、好ましい。

【0074】

また、有機化合物131__1と有機化合物131__2との組み合わせが、正孔輸送性を

50

有する化合物と電子輸送性を有する化合物との組み合わせである場合、その混合比によってキャリアバランスを容易に制御することが可能となる。具体的には、正孔輸送性を有する化合物：電子輸送性を有する化合物 = 1 : 9 から 9 : 1 (重量比) の範囲が好ましい。また、該構成を有することで、容易にキャリアバランスを制御することができることから、キャリア再結合領域の制御も簡便に行うことができる。

【0075】

有機化合物 131__1 と有機化合物 131__2 とが形成する励起錯体は、一方の有機化合物に HOMO の分子軌道を有し、他方の有機化合物に LUMO の分子軌道を有するため、HOMO の分子軌道と LUMO の分子軌道との重なりが極めて小さい。すなわち、該励起錯体は、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が小さくなる。したがって、有機化合物 131__1 と有機化合物 131__2 とが形成する励起錯体は、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が、好ましくは 0 eV より大きく 0.2 eV 以下であり、より好ましくは 0 eV より大きく 0.1 eV 以下である。

10

【0076】

ここで、発光層 130 における有機化合物 131__1 と、有機化合物 131__2 と、ゲスト材料 132 とのエネルギー準位の相関を図 2 (B) に示す。なお、図 2 (B) における表記及び符号は、以下の通りである。

- ・ Host (131__1) : ホスト材料 (有機化合物 131__1)
- ・ Host (131__2) : ホスト材料 (有機化合物 131__2)
- ・ Guest (132) : ゲスト材料 132 (燐光材料)
- ・ Exciplex : 励起錯体 (有機化合物 131__1 及び有機化合物 131__2)
- ・ S_{PH1} : ホスト材料 (有機化合物 131__1) の S1 準位
- ・ T_{PH1} : ホスト材料 (有機化合物 131__1) の T1 準位
- ・ S_{PH2} : ホスト材料 (有機化合物 131__2) の S1 準位
- ・ T_{PH2} : ホスト材料 (有機化合物 131__2) の T1 準位
- ・ S_{PG} : ゲスト材料 132 (燐光材料) の S1 準位
- ・ T_{PG} : ゲスト材料 132 (燐光材料) の T1 準位
- ・ S_{PE} : 励起錯体の S1 準位
- ・ T_{PE} : 励起錯体の T1 準位

20

【0077】

本発明の一態様の発光素子においては、発光層 130 が有する有機化合物 131__1 と有機化合物 131__2 とが励起錯体を形成する。励起錯体の S1 準位 (S_{PE}) と励起錯体の T1 準位 (T_{PE}) とは互いに隣接することになる (図 2 (B) ルート E₇ 参照)。

30

【0078】

励起錯体は、2種類の物質からなる励起状態であり、光励起の場合、励起状態となった一方の物質が他方の基底状態の物質と相互作用することによって形成される。そして、光を発することによって基底状態になると、励起錯体を形成していた2種類の物質は、また元の別々の物質として振る舞う。電気励起の場合は、一方が励起状態になると、速やかに他方と相互作用することで励起錯体を形成する。あるいは、一方が正孔を、他方が電子を受け取ることで速やかに励起錯体を形成することができる。この場合、いずれの物質においても単体で励起状態を形成することなく励起錯体を形成することができるため、発光層 130 における励起状態のほとんどが励起錯体として存在することが可能となる。励起錯体の励起エネルギー準位 (S_E 及び T_E) は、励起錯体を形成するホスト材料 (有機化合物 131__1 および有機化合物 131__2) の S1 準位 (S_{PH1} および S_{PH2}) より低くなるため、より低い励起エネルギーでホスト材料 131 の励起状態を形成することが可能となる。これによって、発光素子 150 の駆動電圧を低減することができる。

40

【0079】

そして、励起錯体の (S_{PE}) と (T_{PE}) の双方のエネルギーを、ゲスト材料 132 (燐光材料) の T1 準位 (T_{PG}) へ移動させて発光が得られる (図 2 (B) ルート E₈)

50

、E₉参照)。

【0080】

なお、励起錯体のT₁準位(T_{PE})は、ゲスト材料132のT₁準位(T_{PG})より高いことが好ましい。このようなT₁準位の関係にすることで、生成した励起錯体の三重項励起エネルギーおよび三重項励起エネルギーを、励起錯体のS₁準位(S_{PE})およびT₁準位(T_{PE})からゲスト材料132のT₁準位(T_{PG})へエネルギー移動することができる。

【0081】

発光層130を上述の構成とすることで、発光層130のゲスト材料132(燐光材料)からの発光を、効率よく得ることが可能となる。

10

【0082】

なお、上記に示すルートE₇、ルートE₈、及びルートE₉の過程を、本明細書等においてEX TET(Exciplex-Triplet Energy Transfer)と呼称する場合がある。別言すると、発光層130は、励起錯体からゲスト材料132への励起エネルギーの供与がある。またこの場合、必ずしもT_{PE}からS_{PE}への逆項間交差効率が高い必要はなく、S_{PE}からの発光量子収率が高い必要もないため、材料を幅広く選択することが可能となる。

【0083】

なお、以上の反応は、以下の式(G13)乃至(G15)で表すことができる。

【0084】



20

【0085】

式(G13)は、有機化合物131__1および有機化合物131__2の一方が正孔を受け取り(D⁺)、他方が電子を受け取る(A⁻)ことで、有機化合物131__1および有機化合物131__2が励起錯体((D·A)^{*})を生成する反応である。また、式(G14)は、励起錯体((D·A)^{*})からゲスト材料132(G)へエネルギー移動が生じ、ゲスト材料132の励起状態(G^{*})が生成する反応である。その後、式(G15)のように、励起状態のゲスト材料132から発光(h)する。

30

【0086】

なお、励起錯体からゲスト材料132へ効率よく励起エネルギーを移動させるためには、励起錯体のT₁準位(T_{PE})が、励起錯体を形成するホスト材料を構成している各有機化合物(有機化合物131__1および有機化合物131__2)のT₁準位よりも低いことが好ましい。これにより、各有機化合物による励起錯体の三重項励起エネルギーのクエンチが生じにくくなり、効率よくゲスト材料132へエネルギー移動が発生する。

【0087】

また、有機化合物131__2がドナー性の強い骨格を有する場合、発光層130に注入された正孔が、有機化合物131__2に注入されやすく、輸送されやすくなる。また、有機化合物131__1がアクセプター性の強い骨格を有する場合、発光層130に注入された電子が、有機化合物131__1に注入され輸送されやすくなる。有機化合物131__1に電子が、有機化合物131__2に正孔が、それぞれ注入されることで、有機化合物131__1と有機化合物131__2とで励起錯体を形成しやすくなる。

40

【0088】

発光層130を上述の構成とすることで、発光層130のゲスト材料132からの発光を効率よく得ることができる。

【0089】

<エネルギー移動機構>

次に、ホスト材料131と、ゲスト材料132との分子間のエネルギー移動過程の支配因子について説明する。分子間のエネルギー移動の機構としては、フェルスター機構(双

50

極子 - 双極子相互作用)と、デクスター機構(電子交換相互作用)の2つの機構が提唱されている。ここでは、ホスト材料131とゲスト材料132との分子間のエネルギー移動過程について説明するが、ホスト材料131が励起錯体の場合も同様である。

【0090】

フェルスター機構

フェルスター機構では、エネルギー移動に、分子間の直接的接触を必要とせず、ホスト材料131及びゲスト材料132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ホスト材料131がゲスト材料132にエネルギーを受け渡し、励起状態のホスト材料131が基底状態になり、基底状態のゲスト材料132が励起状態になる。なお、フェルスター機構の速度定数 $k_{h^* \rightarrow g}$ を数式(1)に示す。

10

【0091】

【数1】

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

【0092】

数式(1)において、 ϕ は、振動数を表し、 $f'_h(\nu)$ は、ホスト材料131の規格化された発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光スペクトル)を表し、 $\varepsilon_g(\nu)$ は、ゲスト材料132のモル吸光係数を表し、 N は、アボガドロ数を表し、 n は、媒体の屈折率を表し、 R は、ホスト材料131とゲスト材料132の分子間距離を表し、 τ は、実測される励起状態の寿命(蛍光寿命や燐光寿命)を表し、 c は、光速を表し、 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燐光量子収率)を表し、 K^2 は、ホスト材料131とゲスト材料132の遷移双極子モーメントの配向を表す係数(0から4)である。なお、ランダム配向の場合は $K^2 = 2/3$ である。

20

【0093】

デクスター機構

デクスター機構では、ホスト材料131とゲスト材料132が軌道の重なりを生じる接触有効距離に近づき、励起状態のホスト材料131の電子と、基底状態のゲスト材料132との電子の交換を通じてエネルギー移動が起こる。なお、デクスター機構の速度定数 $k_{h^* \rightarrow g}$ を数式(2)に示す。

30

【0094】

【数2】

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

40

【0095】

数式(2)において、 h は、プランク定数であり、 K は、エネルギーの次元を持つ定数であり、 ϕ は、振動数を表し、 $f'_h(\nu)$ は、ホスト材料131の規格化された発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光スペクトル)を表し、 $\varepsilon'_g(\nu)$ は、ゲスト材料132の規格化された吸収スペクトルを表し、 L は、実効分子半径を表し、 R は、ホスト材料131とゲスト材料132の分子間距離を表す。

【0096】

ここで、ホスト材料131からゲスト材料132へのエネルギー移動効率 η_T は、数

50

式(3)で表される。 k_r は、ホスト材料131の発光過程(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光)の速度定数を表し、 k_n は、ホスト材料131の非発光過程(熱失活や項間交差)の速度定数を表し、 τ は、実測されるホスト材料131の励起状態の寿命を表す。

【0097】

【数3】

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

10

【0098】

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

【0099】

エネルギー移動を高めるための概念

フェルスター機構によるエネルギー移動においては、エネルギー移動効率 ϕ_{ET} は、量子収率(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じている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燐光量子収率)が高い方が良い。また、ホスト材料131の発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル)とゲスト材料132の吸収スペクトル(一重項基底状態から三重項励起状態への遷移に相当する吸収)との重なりが大きいことが好ましい。さらに、ゲスト材料132のモル吸光係数も高い方が好ましい。このことは、ホスト材料131の発光スペクトルと、ゲスト材料132の吸収スペクトルの最も長波長側に現れる吸収帯とが重なることを意味する。

20

【0100】

また、デクスター機構によるエネルギー移動において、速度定数 $k_{h^* \rightarrow g}$ を大きくするにはホスト材料131の発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光スペクトル)とゲスト材料132の吸収スペクトル(一重項基底状態から三重項励起状態への遷移に相当する吸収)との重なりが大きい方が良い。したがって、エネルギー移動効率の最適化は、ホスト材料131の発光スペクトルと、ゲスト材料132の吸収スペクトルの最も長波長側に現れる吸収帯とが重なることによって実現される。

30

【0101】

なお、ホスト材料131からゲスト材料132へのエネルギー移動と同様に、励起錯体からゲスト材料132へのエネルギー移動過程についても、フェルスター機構、及びデクスター機構の双方の機構によるエネルギー移動が生じる。

【0102】

そこで、本発明の一態様は、ゲスト材料132に効率的にエネルギー移動が可能なエネルギードナーとしての機能を有する励起錯体、を形成する組み合わせの有機化合物131__1および有機化合物131__2をホスト材料131として有する発光素子を提供する。有機化合物131__1および有機化合物131__2が形成する励起錯体は、有機化合物131__1および有機化合物131__2単体の励起状態より低い励起エネルギーで形成が可能となる。したがって、発光素子150において駆動電圧を低減することができる。さらに、励起錯体の一重項励起エネルギー準位からエネルギーアクセプターとなるゲスト材料132の三重項励起エネルギー準位へのエネルギー移動が生じやすくするためには、励起錯体の発光スペクトルと、ゲスト材料132の吸収スペクトルの最も長波長側(低エネルギー側)に現れる吸収帯と、が重なりと好ましい。このような発光スペクトル及び吸収ス

40

50

ペクトルの関係にすることで、ゲスト材料 132 の三重項励起状態の生成効率を高めることができる。なお、発光層 130 において生成する励起錯体は、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位とが近接しているという特徴を有するため、励起錯体の発光スペクトルとゲスト材料 132 の吸収スペクトルの最も長波長側（低エネルギー側）に現れる吸収帯を重ねることで、励起錯体の三重項励起エネルギー準位からゲスト材料 132 の三重項励起エネルギー準位へのエネルギー移動も生じやすくすることが可能となる。

【0103】

<材料>

次に、本発明の一態様に係わる発光素子の構成要素の詳細について、以下説明を行う。

【0104】

発光層

発光層 130 中では、ホスト材料 131 が重量比で最も多く存在し、ゲスト材料 132（燐光材料）は、ホスト材料 131 中に分散される。発光層 130 のホスト材料 131（有機化合物 131__1 及び有機化合物 131__2）の T1 準位は、発光層 130 のゲスト材料（ゲスト材料 132）の T1 準位よりも高いことが好ましい。

【0105】

ホスト材料

有機化合物 131__1 としては、正孔よりも電子の輸送性の高い材料を用いることができ、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する材料であることが好ましい。電子を受け取りやすい材料（電子輸送性を有する材料）としては、含窒素複素芳香族化合物のような電子不足型複素芳香環骨格を有する化合物、及び亜鉛やアルミニウム系金属錯体などを用いることができる。具体的には、キノリン配位子、ベンゾキノリン配位子、オキサゾール配位子、あるいはチアゾール配位子を有する金属錯体が挙げられる。また、オキサジアゾール誘導体、トリアゾール誘導体、ベンゾイミダゾール誘導体、キノキサリン誘導体、ジベンゾキノキサリン誘導体、フェナントロリン誘導体、ピリジン誘導体、ピピリジン誘導体、ピリミジン誘導体、トリアジン誘導体などの化合物が挙げられる。

【0106】

具体的には、例えば、トリス（8-キノリノラト）アルミニウム（III）（略称：Alq）、トリス（4-メチル-8-キノリノラト）アルミニウム（III）（略称：Almq₃）、ビス（10-ヒドロキシベンゾ[h]キノリノラト）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：BALq）、ビス（8-キノリノラト）亜鉛（II）（略称：Znq）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が挙げられる。また、この他ビス[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）などのオキサゾール系、または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）、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）、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）、9-[4-（4,5-ジフェニル-4H-1,2,4-トリアゾール-3-イル）フェニル]-9H-カルバゾール（略称：CzTAZ1）、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：mDBTBI m-II）、バソフェナントロリン（略称：BPhen）、バソキュプロイン（略称：BCP）などの複素環化合物や、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'-（

10

20

30

40

50

ジベンゾチオフェン - 4 - イル) ビフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称 : 2 m D B T B P D B q - I I)、2 - [3 ' - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) ビフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称 : 2 m C z B P D B q)、2 - [4 - (3 , 6 - ジフェニル - 9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称 : 2 C z P D B q - I I I)、7 - [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 : 7 m D B T P D B q - I I)、及び、6 - [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 : 6 m D B T P D B q - I I)、2 - [3 - (3 , 9 ' - ビ - 9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称 : 2 m C z C z 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)、4 , 6 - ビス [3 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] ピリミジン (略称 : 4 , 6 m C z P 2 P m) などのジアジン骨格を有する複素環化合物や、2 - { 4 - [3 - (N - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル) - 9 H - カルバゾール - 9 - イル] フェニル } - 4 , 6 - ジフェニル - 1 , 3 , 5 - トリアジン (略称 : P C C z P T z n) などのトリ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、4 , 4 ' - ビス (5 - メチルベンゾオキサゾール - 2 - イル) スチルベン (略称 : B z O s) などの複素芳香族化合物も用いることができる。上述した複素環化合物の中でも、トリアジン骨格、ジアジン (ピリミジン、ピラジン、ピリダジン) 骨格、またはピリジン骨格を有する複素環化合物は、安定で信頼性が良好であり好ましい。また、当該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。また、ポリ (2 , 5 - ピリジンジイル) (略称 : P P y)、ポリ [(9 , 9 - ジヘキシルフルオレン - 2 , 7 - ジイル) - c o - (ピリジン - 3 , 5 - ジイル)] (略称 : P F - P y)、ポリ [(9 , 9 - ジオクチルフルオレン - 2 , 7 - ジイル) - c o - (2 , 2 ' - ビピリジン - 6 , 6 ' - ジイル)] (略称 : P F - B P y) のような高分子化合物を用いることもできる。ここに述べた物質は、主に $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する物質である。なお、正孔よりも電子の輸送性の高い物質であれば、上記以外の物質を用いても構わない。

【 0 1 0 7 】

有機化合物 1 3 1 __ 2 としては、有機化合物 1 3 1 __ 1 と励起錯体を形成できる組み合わせが好ましい。具体的には、電子過剰型複素芳香環骨格や芳香族アミン骨格のようなドナー性の高い骨格を有することが好ましい。電子過剰型複素芳香環骨格を有する化合物としては、ジベンゾチオフェン誘導体、ジベンゾフラン誘導体、カルバゾール誘導体などの複素芳香族化合物が挙げられる。この場合、有機化合物 1 3 1 __ 1 と有機化合物 1 3 1 __ 2 とで形成される励起錯体の発光ピークが、ゲスト材料 1 3 2 (燐光材料) の三重項 M L C T (M e t a l t o L i g a n d C h a r g e T r a n s f e r) 遷移の吸収帯、より具体的には、最も長波長側の吸収帯と重なるように、有機化合物 1 3 1 __ 1、有機化合物 1 3 1 __ 2、およびゲスト材料 1 3 2 (燐光材料) を選択することが好ましい。これにより、発光効率が飛躍的に向上した発光素子とすることができる。ただし、燐光材料に替えて熱活性化遅延蛍光材料を用いる場合においては、最も長波長側の吸収帯は一重項の吸収帯であることが好ましい。

【 0 1 0 8 】

また、有機化合物 1 3 1 __ 2 としては、以下の正孔輸送性材料を用いることができる。

【 0 1 0 9 】

正孔輸送性材料としては、電子よりも正孔の輸送性の高い材料を用いることができ、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する材料であることが好ましい。具体的には、芳香族アミン、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、スチルベン誘導体などを用い

ることができる。また、該正孔輸送性材料は高分子化合物であっても良い。

【0110】

これら正孔輸送性の高い材料として、具体的には、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: DPA3B)等を挙げることができる。

10

【0111】

また、カルバゾール誘導体としては、具体的には、3-[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzDPA1)、3, 6-ビス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzDPA2)、3, 6-ビス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-(1-ナフチル)アミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzTPN2)、3-[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。

20

【0112】

また、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-アントラセニル)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。

【0113】

また、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-フェニルフェニル)-9, 9'-ピアントリル、10, 10'-ビス[(2, 3, 4, 5, 6-ペンタフェニル)フェニル]-9, 9'-ピアントリル、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以上炭素数42以下である芳香族炭化水素を用いることがより好ましい。

30

40

【0114】

なお、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

50

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。

【0115】

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。

10

【0116】

さらに、正孔輸送性の高い材料としては、例えば、4,4'-ビス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称:NPBまたは-NPD)やN,N'-ビス(3-メチルフェニル)-N,N'-ジフェニル-[1,1'-ビフェニル]-4,4'-ジアミン(略称:TPD)、4,4',4''-トリス(カルバゾール-9-イル)トリフェニルアミン(略称:TCTA)、4,4',4''-トリス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]トリフェニルアミン(略称:1'-TNATA)、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:BPALP)、4-フェニル-3'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン(略称:mBPALP)、N-(9,9-ジメチル-9H-フルオレン-2-イル)-N-{9,9-ジメチル-2-[N'-フェニル-N'-(9,9-ジメチル-9H-フルオレン-2-イル)アミノ]-9H-フルオレン-7-イル}フェニルアミン(略称:DFLADFL)、N-(9,9-ジメチル-2-ジフェニルアミノ-9H-フルオレン-7-イル)ジフェニルアミン(略称:DPNF)、2-[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]スピロ-9,9'-ビフルオレン(略称:DPASF)、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)、4-フェニルジフェニル-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)アミン(略称:PCA1BP)、N,N'-ビス(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N,N'-ジフェニルベンゼン-1,3-ジアミン(略称:PCA2B)、N,N',N''-トリフェニル-N,N',N''-トリス(9-フェニルカルバゾール-3-イル)ベンゼン-1,3,5-トリアミン(略称:PCA3B)、N-(4-ビフェニル)-N-(9,9-ジメチル-9H-フルオレン-2-イル)-9-フェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:PCBiF)、N-(1,1'-ビフェニル-4-イル)-N-[4-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)フェニル]-9,9-ジメチル-9H-フルオレン-2-アミン(略称:PCBBiF)、9,9-ジメチル-N-フェニル-N-[4-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)フェニル]フルオレン-2-アミン(略称:PCBAF)、N-フェニル-N-[4-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)フェニル]スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-アミン(略称:PCBA SF)、2-[N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N-フェニルアミノ]スピロ-9,9'-ビフルオレン(略称:PCASF)、2,7-ビス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]スピロ-9,9'-

20

30

40

50

ビフルオレン（略称：DPA2SF）、N-[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N-(4-フェニル)フェニルアニリン（略称：YGA1BP）、N,N'-ビス[4-(カルバゾール-9-イル)フェニル]-N,N'-ジフェニル-9,9-ジメチルフルオレン-2,7-ジアミン（略称：YGA2F）などの芳香族アミン化合物等を用いることができる。また、3-[4-(1-ナフチル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール（略称：PCPN）、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）、3,3'-ビス(9-フェニル-9H-カルバゾール)（略称：PCCP）、1,3-ビス(N-カルバゾリル)ベンゼン（略称：mCP）、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）、3,6-ジ(9H-カルバゾール-9-イル)-9-フェニル-9H-カルバゾール（略称：PhCzGI）、2,8-ジ(9H-カルバゾール-9-イル)-ジベンゾチオフェン（略称：Cz2DBT）、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）、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）、1,3,5-トリ(ジベンゾチオフェン-4-イル)ベンゼン（略称：DBT3P-II）、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）、4-[3-(トリフェニレン-2-イル)フェニル]ジベンゾチオフェン（略称：mDBTPTp-II）等のアミン化合物、カルバゾール化合物、チオフェン化合物、フラン化合物、フルオレン化合物、トリフェニレン化合物、フェナントレン化合物等を用いることができる。上述した化合物の中でも、ピロール骨格、フラン骨格、チオフェン骨格、芳香族アミン骨格を有する化合物は、安定で信頼性が良好であり好ましい。また、当該骨格を有する化合物は、正孔輸送性が高く、駆動電圧低減にも寄与する。

【0117】

ゲスト材料

ゲスト材料132（燐光材料）としては、イリジウム、ロジウム、または白金系の有機金属錯体、あるいは金属錯体が挙げられ、中でも有機イリジウム錯体、例えばイリジウム系オルトメタル錯体が好ましい。オルトメタル化する配位子としては4H-トリアゾール配位子、1H-トリアゾール配位子、イミダゾール配位子、ピリジン配位子、ピリミジン配位子、ピラジン配位子、あるいはイソキノリン配位子などが挙げられる。金属錯体としては、ポルフィリン配位子を有する白金錯体などが挙げられる。

【0118】

また、ゲスト材料132（燐光材料）としては、有機化合物131__1のLUMO準位より高いLUMO準位を有し、有機化合物131__2のHOMO準位より高いHOMO準位を有するよう、有機化合物131__1、有機化合物131__2、およびゲスト材料132（燐光材料）を選択することが好ましい。これにより、発光効率が高く、低い電圧で駆動する発光素子とすることができる。

【0119】

青色または緑色に発光ピークを有する物質としては、例えば、トリス{2-[5-(2-メチルフェニル)-4-(2,6-ジメチルフェニル)-4H-1,2,4-トリアゾール-3-イル-N2]フェニル-C}イリジウム(III)（略称：Ir(mpp tz-dmp)₃）、トリス(5-メチル-3,4-ジフェニル-4H-1,2,4-トリアゾラト)イリジウム(III)（略称：Ir(Mptz)₃）、トリス[4-(3-ピフェニル)-5-イソプロピル-3-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾラト]イリジウム(III)（略称：Ir(iPrptz-3b)₃）、トリス[3-(5-ピフェニル)-5-イソプロピル-4-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾラト]イリジウム(III)（略称：Ir(iPr5btz)₃）、のような4H-トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス[3-メチル-1-(2-メチルフェニル)

- 5 - フェニル - 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、ピス [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) ポラート (略称 : F I r 6)、ピス [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)、ピス { 2 - [3', 5' - ピス (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))、ピス [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。上述した中でも、4 H - トリアゾール骨格、1 H - トリアゾール骨格およびイミダゾール骨格のような含窒素五員複素環骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、高い三重項励起エネルギーを有し、信頼性や発光効率に優れるため、特に好ましい。

10

20

【 0 1 2 0 】

また、緑色または黄色に発光ピークを有する物質としては、例えば、トリス (4 - メチル - 6 - フェニルピリミジナト) イリジウム (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) ピス (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) ピス (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) ピス [4 - (2 - ノルボルニル) - 6 - フェニルピリミジナト] イリジウム (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) ピス [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) ピス { 4, 6 - ジメチル - 2 - [6 - (2, 6 - ジメチルフェニル) - 4 - ピリミジニル - N₃] フェニル - C } イリジウム (I I I) (略称 : I r (d m p p m - d m p)₂ (a c a c))、(アセチルアセトナト) ピス (4, 6 - ジフェニルピリミジナト) イリジウム (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) ピス (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) ピス (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) (略称 : I r (p p y)₃)、ピス (2 - 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 : I r (p p y)₂ (a c a c))、ピス (ベンゾ [h] キノリナト) イリジウム (I I I) アセチルアセトナート (略称 : I r (b z q)₂ (a c a c))、トリス (ベンゾ [h] キノリナト) イリジウム (I I I) (略称 : I r (b z q)₃)、トリス (2 - フェニルキノリナト - N, C^{2'}) イリジウム (I I I) (略称 : I r (p q)₃)、ピス (2 - フェニルキノリナト - N, C^{2'}) イリジウム (I I I) アセチルアセトナート (略称 : I r (p q)₂ (a c a c)) のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、ピス (2, 4 - ジフェニル - 1, 3 - オキサゾラト - N, C^{2'}) イリジウム (I I I) アセチルアセトナート

30

40

50

ト（略称：Ir(dpo)₂(acac)）、ビス{2-[4'-(パーフルオロフェニル)フェニル]ピリジナト-N, C^{2'}}イリジウム(III)アセチルアセトナート（略称：Ir(p-PF-ph)₂(acac)）、ビス(2-フェニルベンゾチアゾラト-N, C^{2'})イリジウム(III)アセチルアセトナート（略称：Ir(bt)₂(acac)）など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：Tb(acac)₃(Phen)）のような希土類金属錯体が挙げられる。上述した中でも、ピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率に際だって優れるため、特に好ましい。

【0121】

また、黄色または赤色に発光ピークを有する物質としては、例えば、(ジイソブチリルメタナト)ビス[4,6-ビス(3-メチルフェニル)ピリミジナト]イリジウム(III)（略称：Ir(5mdppm)₂(dibm)）、ビス[4,6-ビス(3-メチルフェニル)ピリミジナト](ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)（略称：Ir(5mdppm)₂(dpm)）、ビス[4,6-ジ(ナフタレン-1-イル)ピリミジナト](ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)（略称：Ir(d1nppm)₂(dpm)）のようなピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、(アセチルアセトナト)ビス(2,3,5-トリフェニルピラジナト)イリジウム(III)（略称：Ir(tppr)₂(acac)）、ビス(2,3,5-トリフェニルピラジナト)(ジピバロイルメタナト)イリジウム(III)（略称：Ir(tppr)₂(dpm)）、(アセチルアセトナト)ビス[2,3-ビス(4-フルオロフェニル)キノキサリナト]イリジウム(III)（略称：Ir(Fdpq)₂(acac)）のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス(1-フェニルイソキノリナト-N, C^{2'})イリジウム(III)（略称：Ir(pi q)₃）、ビス(1-フェニルイソキノリナト-N, C^{2'})イリジウム(III)アセチルアセトナート（略称：Ir(pi q)₂(acac)）のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体の他、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：Eu(DBM)₃(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：Eu(TTA)₃(Phen)）のような希土類金属錯体が挙げられる。上述した中でも、ピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率に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。

【0122】

また、上述したイリジウム錯体のうち、4H-トリアゾール骨格、1H-トリアゾール骨格およびイミダゾール骨格のような含窒素五員複素環骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、ピリジン骨格を有するイリジウム錯体は、配位子の電子受容性が低く、HOMO準位が高くなりやすいため、本発明の一態様に好適である。

【0123】

また、含窒素五員複素環骨格を有する有機金属イリジウム錯体のうち、少なくともシアノ基を含む置換基を有するイリジウム錯体は、シアノ基の強い電子吸引力により、LUMO準位およびHOMO準位が適度に低下するため、本発明の一態様の発光素子に好適に用いることができる。また、当該イリジウム錯体は高い三重項励起エネルギー準位を有することから、当該イリジウム錯体を発光素子に用いることで、発光効率の良好な青色を呈する発光素子を作製することができる。また、当該イリジウム錯体は酸化および還元の上で良好な耐性を有することから、当該イリジウム錯体を発光素子に用いることで、駆動寿命の良好な発光素子を作製することができる。

【0124】

なお、素子特性の安定性及び信頼性の観点から、含窒素五員複素環骨格に、シアノ基を

含むアリール基が結合した配位子を有するイリジウム錯体であることが好ましく、該アリール基の炭素数は6乃至13であることが好ましい。この場合、当該イリジウム錯体は、比較的低温で真空蒸着できるため、蒸着時の熱分解等の劣化が起こりにくい。

【0125】

また、含窒素五員複素環骨格が有する窒素原子と、アリーレン基を介してシアノ基が結合した配位子を有するイリジウム錯体は、三重項励起エネルギー準位を高く保つことができるため、特に青色などエネルギーの高い発光を呈する発光素子に好適に用いることができる。また、シアノ基を有さない場合に比べ、青色のようなエネルギーの高い発光を示しつつ、効率の高い発光素子が得られる。さらに、このような特定の位置にシアノ基を導入することで、青色のようなエネルギーの高い発光を示しつつ、信頼性の良い発光素子が得られるという特徴もある。なお、上記含窒素五員複素環骨格とシアノ基の間には、フェニレン基などのアリーレン基を介して結合することが好ましい。

10

【0126】

なお、当該アリーレン基の炭素数が6乃至13である場合、当該イリジウム錯体は比較的分子量の化合物となるため、真空蒸着に適した（比較的低温で真空蒸着できる）化合物となる。また、一般には分子量が低いと成膜後の耐熱性が乏しくなることが多いが、当該イリジウム錯体は、複数の配位子を有するため、配位子の分子量が低くても十分な耐熱性を確保できる利点がある。

【0127】

すなわち、当該イリジウム錯体は、上述した蒸着の容易性、電気化学的安定性に加え、三重項励起エネルギー準位が高いという特性をも有する。したがって、本発明の一態様の発光素子において、発光層のゲスト材料として当該イリジウム錯体を用いることが好適である。その中でも特に、青色発光素子のゲスト材料として用いることがより好適である。

20

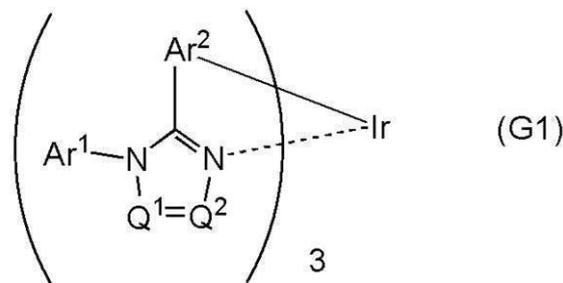
【0128】

イリジウム錯体の例

上記のイリジウム錯体は、下記一般式（G1）で表されるイリジウム錯体である。

【0129】

【化1】



30

【0130】

上記一般式（G1）において、Ar¹及びAr²は、それぞれ独立に、炭素数6乃至13の置換または無置換のアリール基を表す。炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることもできる。当該アリール基が置換基を有する場合、当該置換基としては、炭素数1乃至6のアルキル基、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、または炭素数6乃至13の置換もしくは無置換のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることもできる。また、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることもできる。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることもできる。

40

【0131】

50

また、 Q^1 及び Q^2 は、それぞれ独立に、N または C - R を表し、R は、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基を表す。なお、 Q^1 及び Q^2 の少なくとも一方は、C - R を有する。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert - ブチル基、n - ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第 17 族元素（フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン）によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、塩化メチル基、フッ化エチル基、塩化エチル基などを挙げることができるが、含まれるハロゲン元素の数または種類は、それぞれ一であっても複数であってもよい。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。さらに、当該アリール基は置換基を有していてもよく、前記置換基は互いに結合して環を形成してもよい。当該置換基としては、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert - ブチル基、n - ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。

10

20

30

40

50

【0132】

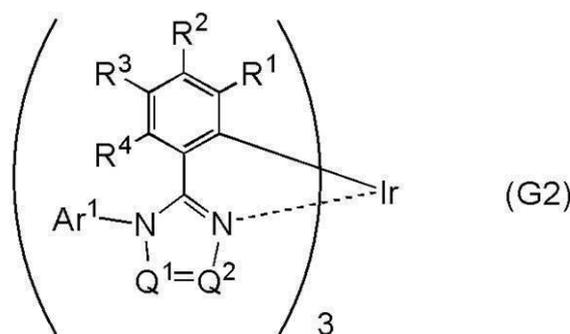
また、 Ar^1 及び Ar^2 が表すアリール基、及び R が表すアリール基、の少なくとも一方は、シアノ基を有する。

【0133】

また、本発明の一態様の発光素子に好適に用いることができるイリジウム錯体としては、オルトメタル錯体であると好ましい。上記のイリジウム錯体は、下記一般式 (G2) で表されるイリジウム錯体である。

【0134】

【化2】



【0135】

上記一般式 (G2) において、 Ar^1 は、炭素数 6 乃至 13 の置換または無置換のアリール基を表す。炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。当該アリール基が置換基を有する場合、当該置換基としては、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert - ブチル基、n - ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、

シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリアル基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。

【0136】

また、 R^1 乃至 R^4 は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリアル基、またはシアノ基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリアル基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。なお、 R^1 乃至 R^4 はすべて水素であることが、合成の容易さや原料の価格の面で有利である。

10

【0137】

また、 Q^1 及び Q^2 は、それぞれ独立に、N または C-R を表し、R は、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリアル基を表す。なお、 Q^1 及び Q^2 の少なくとも一方は、C-R を有する。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第 17 族元素（フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン）によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、塩化メチル基、フッ化エチル基、塩化エチル基などを挙げることができるが、含まれるハロゲン元素の数または種類は、それぞれ一であっても複数であってもよい。また、炭素数 6 乃至 13 のアリアル基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。さらに、当該アリアル基は置換基を有していてもよく、前記置換基は互いに結合して環を形成してもよい。当該置換基としては、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 のアリアル基も置換基として選択することができる。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリアル基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。

20

30

【0138】

また、 Ar^1 及び R^1 乃至 R^4 が表すアリアル基、R が表すアリアル基、及び R^1 乃至 R^4 の少なくとも一は、シアノ基を有する。

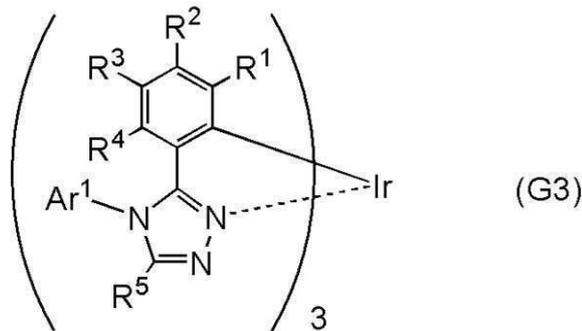
40

【0139】

また、本発明の一態様の発光素子に好適に用いることができるイリジウム錯体においては、4H-トリアゾール骨格を配位子として有することで、高い三重項励起エネルギー準位を有することができ、特に青色などのエネルギーの高い発光を呈する発光素子に好適に用いることができるため、好ましい。上記イリジウム錯体は、下記一般式(G3)で表されるイリジウム錯体である。

【0140】

【化3】



10

【0141】

上記一般式(G3)において、Ar¹は、炭素数6乃至13の置換または無置換のアリール基を表す。炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。当該アリール基が置換基を有する場合、当該置換基としては、炭素数1乃至6のアルキル基、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、または炭素数6乃至13の置換もしくは無置換のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。

20

【0142】

また、R¹乃至R⁴は、それぞれ独立に、水素、炭素数1乃至6のアルキル基、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、炭素数6乃至13の置換もしくは無置換のアリール基、またはシアノ基のいずれかを表す。炭素数1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。なお、R¹乃至R⁴はすべて水素であることが、合成の容易さや原料の価格の面で有利である。

30

【0143】

また、R⁵は、水素、炭素数1乃至6のアルキル基、炭素数1乃至6のハロアルキル基、または炭素数6乃至13の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数1乃至6のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第17族元素(フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン)によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、塩化メチル基、フッ化エチル基、塩化エチル基などを挙げることができるが、含まれるハロゲン元素の数または種類は、それぞれ一であっても複数であってもよい。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。さらに、当該アリール基は置換基を有していてもよく、前記置換基は互いに結合して環を形成してもよい。当該置換基としては、炭素数1乃至6のアルキル基、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、または炭素数6乃至13のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、

40

50

プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数3乃至6のシクロアルキル基としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。

【0144】

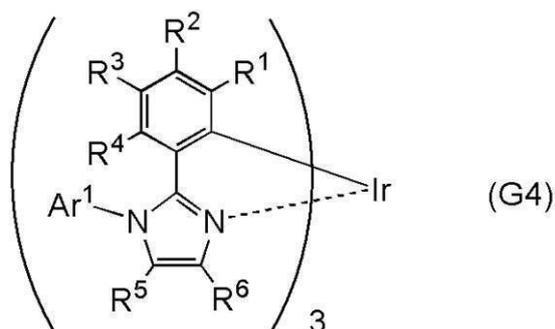
また、Ar¹及びR¹乃至R⁵が表すアリール基、及びR¹乃至R⁴の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【0145】

また、本発明の一態様の発光素子に好適に用いることができるイリジウム錯体においては、イミダゾール骨格を配位子として有することで、高い三重項励起エネルギー準位を有することができ、特に青色などのエネルギーの高い発光を呈する発光素子に好適に用いることができるため、好ましい。上記イリジウム錯体は、下記一般式(G4)で表されるイリジウム錯体である。

【0146】

【化4】



【0147】

上記一般式(G4)において、Ar¹は、炭素数6乃至13の置換または無置換のアリール基を表す。炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。当該アリール基が置換基を有する場合、当該置換基としては、炭素数1乃至6のアルキル基、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、または炭素数6乃至13の置換もしくは無置換のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。

【0148】

また、R¹乃至R⁴は、それぞれ独立に、水素、炭素数1乃至6のアルキル基、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、または炭素数6乃至13の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。なお、R¹乃至R⁴はすべて水素であることが、合成の容易さや原料の価格の面で有利である。

【0149】

10

20

30

40

50

また、 R^5 及び R^6 は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げる事ができる。また、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第 17 族元素（フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン）によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、塩化メチル基、フッ化エチル基、塩化エチル基などを挙げる事ができるが、含まれるハロゲン元素の数または種類は、それぞれ一であっても複数であってもよい。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げる事ができる。さらに、当該アリール基は置換基を有していてもよく、前記置換基は互いに結合して環を形成してもよい。当該置換基としては、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げる事ができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げる事ができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げる事ができる。

10

20

30

40

50

【0150】

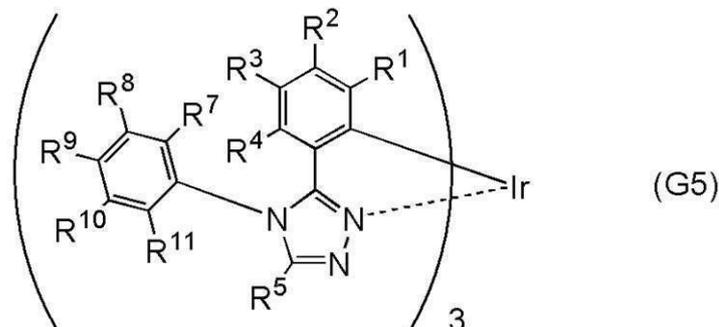
また、 Ar^1 及び R^1 乃至 R^6 が表すアリール基、及び R^1 乃至 R^4 の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【0151】

また、本発明の一態様の発光素子に好適に用いることができるイリジウム錯体においては、含窒素五員複素環骨格の窒素に結合するアリール基は、置換または無置換のフェニル基であると、比較的低温で真空蒸着でき、且つ、三重項励起エネルギー準位が高くなるため、特に青色などエネルギーの高い発光を呈する発光素子に好適に用いることができ、好ましい。上記イリジウム錯体は、下記一般式 (G5) 及び (G6) で表されるイリジウム錯体である。

【0152】

【化5】



【0153】

上記一般式 (G5) において、 R^7 及び R^{11} は、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基を表し、 R^7 及び R^{11} は互いに同じ構造を有する。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げる事ができる。

【0154】

また、 R^8 乃至 R^{10} は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、置換もしくは無置換のフェニル基、またはシアノ基のい

ずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。なお、 R^8 乃至 R^{10} の少なくとも一は、シアノ基を有することが好ましい。

【0155】

また、 R^1 乃至 R^4 は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げるができる。なお、 R^1 乃至 R^4 はすべて水素であることが、合成の容易さや原料の価格の面で有利である。

10

【0156】

また、 R^5 は、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第 17 族元素（フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン）によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、塩化メチル基、フッ化エチル基、塩化エチル基などを挙げるができるが、含まれるハロゲン元素の数または種類は、それぞれ一であっても複数であってもよい。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げるができる。さらに、当該アリール基は置換基を有していてもよく、前記置換基は互いに結合して環を形成してもよい。当該置換基としては、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げるができる。

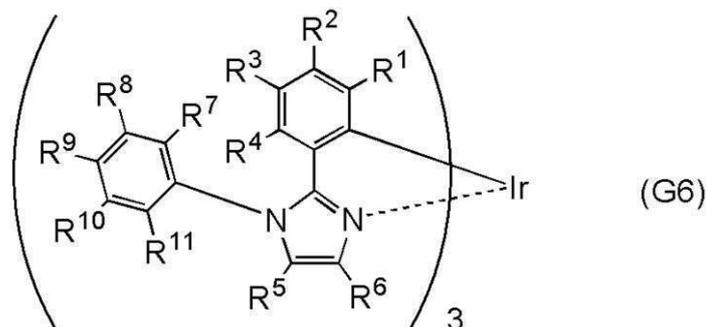
20

30

【0157】

【化6】

40



【0158】

50

上記一般式 (G 6) において、 R^7 及び R^{11} は、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基を表し、 R^7 及び R^{11} は互いに同じ構造を有する。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。

【 0 1 5 9 】

R^8 乃至 R^{10} は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、置換もしくは無置換のフェニル基、またはシアノ基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。なお、 R^8 乃至 R^{10} の少なくとも一は、シアノ基を有することが好ましい。

10

【 0 1 6 0 】

また、 R^1 乃至 R^4 は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げるができる。なお、 R^1 乃至 R^4 はすべて水素であることが、合成の容易さや原料の価格の面で有利である。

20

【 0 1 6 1 】

また、 R^5 及び R^6 は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第 17 族元素 (フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン) によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、塩化メチル基、フッ化エチル基、塩化エチル基などを挙げるができるが、含まれるハロゲン元素の数または種類は、それぞれ一であっても複数であってもよい。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げるができる。さらに、当該アリール基は置換基を有していてもよく、前記置換基は互いに結合して環を形成してもよい。当該置換基としては、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げるができる。

30

40

【 0 1 6 2 】

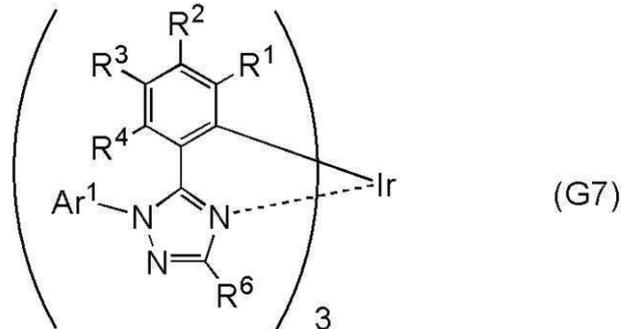
また、本発明の一態様の発光素子に好適に用いることができるイリジウム錯体においては、1H-トリアゾール骨格を配位子として有することで、高い三重項励起エネルギー準位を有することができるため、特に青色などのエネルギーの高い発光を呈する発光素子に

50

好適に用いることができるため、好ましい。上記イリジウム錯体は、下記一般式 (G 7) 及び (G 8) で表されるイリジウム錯体である。

【 0 1 6 3 】

【 化 7 】



10

【 0 1 6 4 】

上記一般式 (G 7) において、 Ar^1 は、炭素数 6 乃至 13 の置換または無置換のアリール基を表す。炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。当該アリール基が置換基を有する場合、当該置換基としては、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。

20

【 0 1 6 5 】

また、 R^1 乃至 R^4 は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。なお、 R^1 乃至 R^4 はすべて水素であることが、合成の容易さや原料の価格の面で有利である。

30

【 0 1 6 6 】

また、 R^6 は、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、*tert*-ブチル基、*n*-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数 1 乃至 6 のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第 17 族元素 (フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン) によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、塩化メチル基、フッ化エチル基、塩化エチル基などを挙げることができるが、含まれるハロゲン元素の数または種類は、それぞれ一であっても複数であってもよい。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。さらに、当該アリール基は置換基を有していてもよく、前記置換基は互いに結合し

40

50

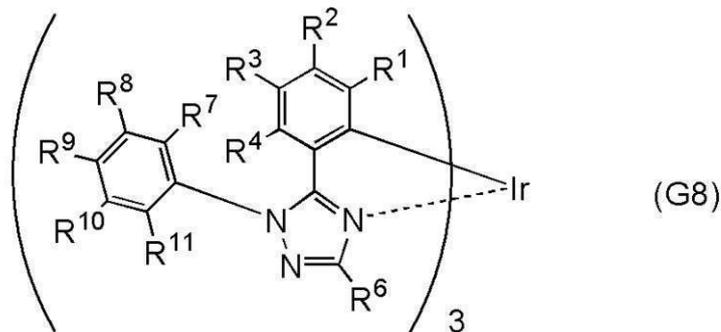
て環を形成してもよい。当該置換基としては、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げるができる。

【0167】

また、Ar¹、R¹乃至R⁴、及びR⁶が表すアリール基、及びR¹乃至R⁴の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【0168】

【化8】



10

20

【0169】

上記一般式(G8)において、R⁷及びR¹¹は、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基を表し、R⁷及びR¹¹は互いに同じ構造を有する。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。

【0170】

また、R⁸乃至R¹⁰は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、置換もしくは無置換のフェニル基、またはシアノ基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。なお、R⁸乃至R¹⁰の少なくとも一は、シアノ基を有することが好ましい。

30

【0171】

また、R¹乃至R⁴は、それぞれ独立に、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数 1 乃至 6 のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 3 乃至 6 のシクロアルキル基、としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げるができる。また、炭素数 6 乃至 13 のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げるができる。なお、R¹乃至R⁴はすべて水素であることが、合成の容易さや原料の価格の面で有利である。

40

【0172】

また、R⁶は、水素、炭素数 1 乃至 6 のアルキル基、炭素数 1 乃至 6 の八口アルキル基、または炭素数 6 乃至 13 の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数

50

1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数1乃至6のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第17族元素(フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン)によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、塩化メチル基、フッ化エチル基、塩化エチル基などを挙げることができるが、含まれるハロゲン元素の数または種類は、それぞれであっても複数であってもよい。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。さらに、当該アリール基は置換基を有していてもよく、前記置換基は互いに結合して環を形成してもよい。当該置換基としては、炭素数1乃至6のアルキル基、炭素数3乃至6のシクロアルキル基、または炭素数6乃至13のアリール基も置換基として選択することができる。炭素数1乃至6のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、tert-ブチル基、n-ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数3乃至6のシクロアルキル基としては具体的には、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数6乃至13のアリール基としては、フェニル基、ナフチル基、ピフェニル基、フルオレニル基などを具体例として挙げることができる。

10

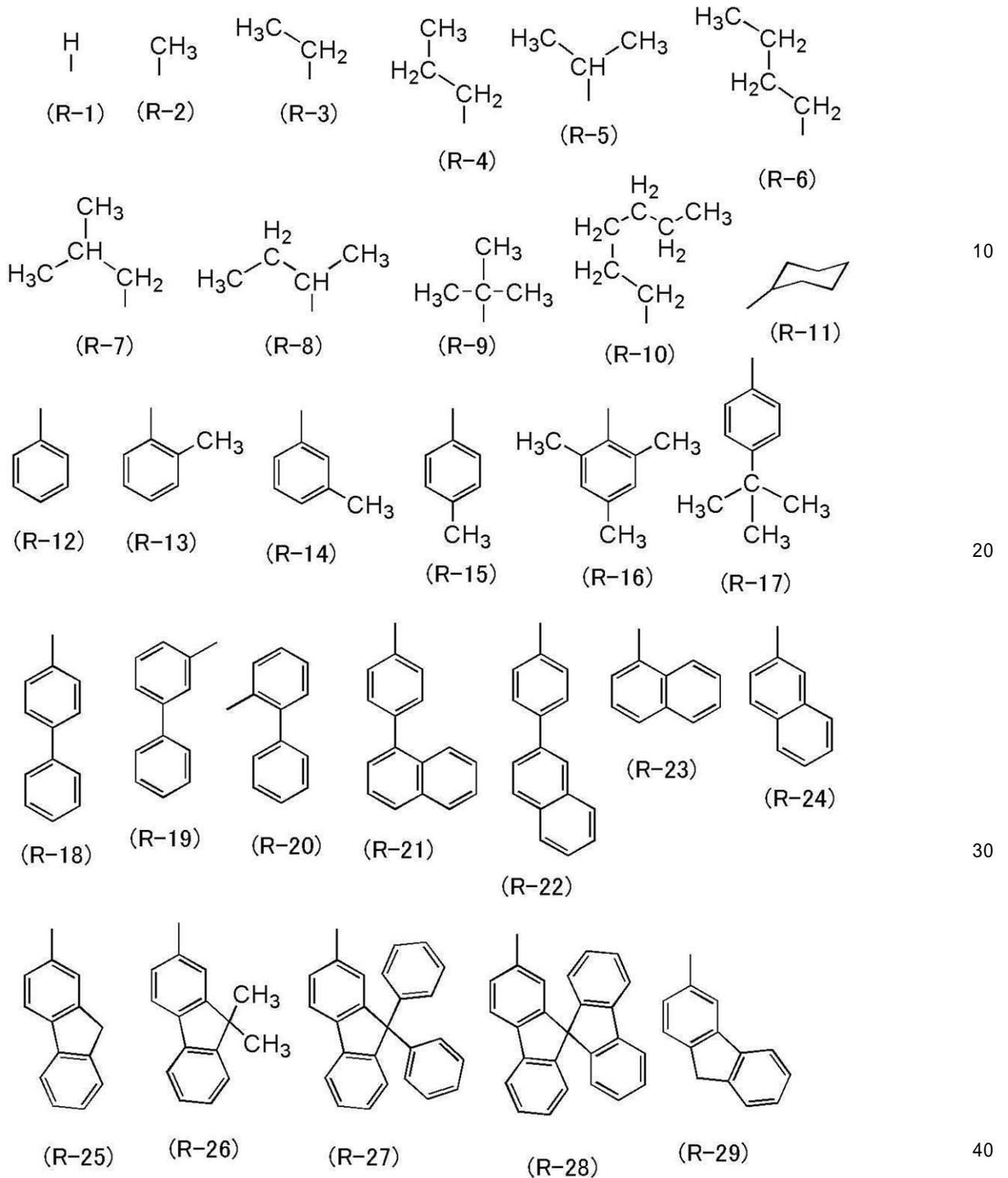
【0173】

上記一般式(G2)乃至(G8)のR¹乃至R⁴で表されるアルキル基およびアリール基は、例えば、下記構造式(R-1)乃至(R-29)で表される基を適用することができる。なお、アルキル基およびアリール基として用いることのできる基はこれらに限られない。

20

【0174】

【化 9】



【0175】

また、一般式 (G1) 乃至 (G4)、及び (G7) において、 Ar^1 として表されるアリール基、及び一般式 (G1) において、 Ar^2 で表されるアリール基としては、例えば、上記構造式 (R-12) 乃至 (R-29) で表される基を適用することができる。なお、 Ar^1 及び Ar^2 として用いることのできる基はこれらに限られない。

【0176】

また、一般式 (G5)、(G6)、及び (G8) の R^7 及び R^{11} で表されるアルキル基は、例えば、上記構造式 (R-1) 乃至 (R-10) で表される基を適用することができる。なお、アルキル基として用いることのできる基はこれらに限られない。

10

20

30

40

50

【 0 1 7 7 】

また、一般式 (G 5)、(G 6)、及び (G 8) の R^8 乃至 R^{10} で表されるアルキル基または置換または無置換のフェニル基は、例えば、上記構造式 (R - 1) 乃至 (R - 2) で表される基を適用することができる。なお、アルキル基またはフェニル基として用いることのできる基はこれらに限られない。

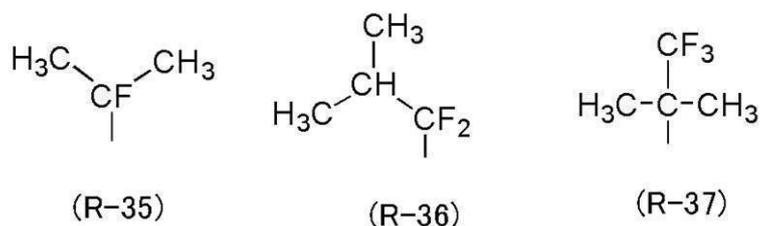
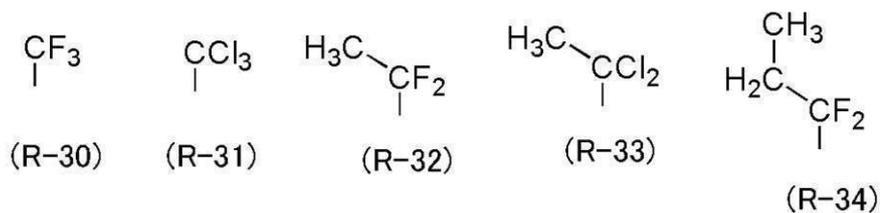
【 0 1 7 8 】

また、上記一般式 (G 3) 乃至 (G 6) の R^5 、及び一般式 (G 4)、(G 6) 乃至 (G 8) の R^6 で表されるアルキル基、アリアル基、またはハロアルキル基は、例えば、上記構造式 (R - 1) 乃至 (R - 2 9)、及び下記構造式 (R - 3 0) 乃至 (R - 3 7) で表される基を適用することができる。なお、アルキル基、アリアル基、またはハロアルキル基として用いることのできる基はこれらに限られない。

10

【 0 1 7 9 】

【 化 1 0 】



20

【 0 1 8 0 】

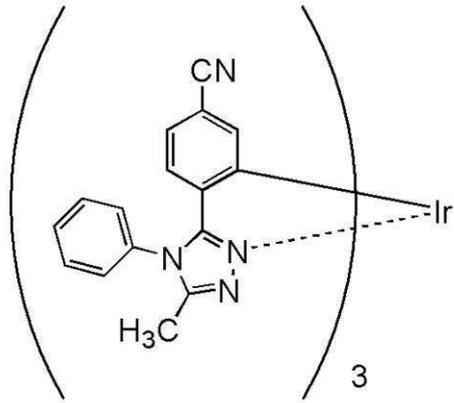
イリジウム錯体の具体例

上記一般式 (G 1) 乃至 (G 8) として表されるイリジウム錯体の具体的な構造としては、下記構造式 (1 0 0) 乃至 (1 3 4) で表される化合物などが挙げられる。なお、一般式 (G 1) 乃至 (G 8) として表されるイリジウム錯体は下記例示に限られない。

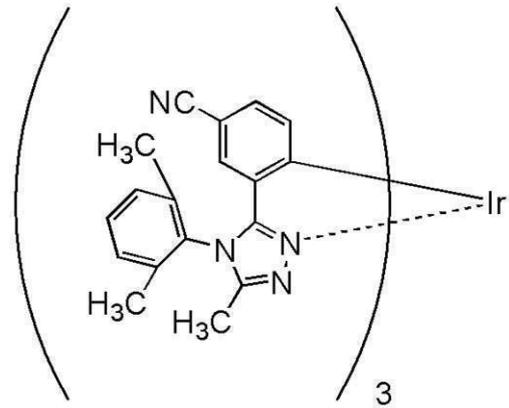
30

【 0 1 8 1 】

【化 1 1】

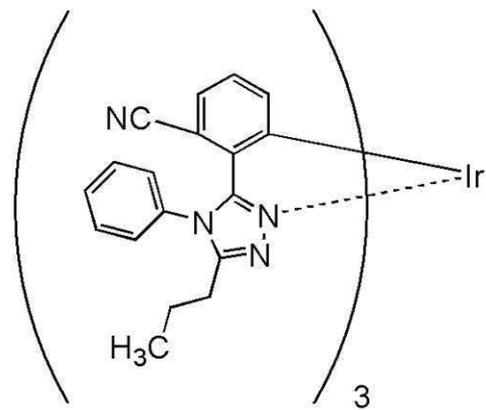


(100)

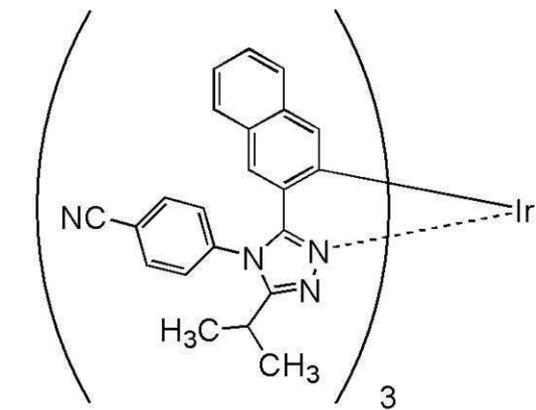


(101)

10

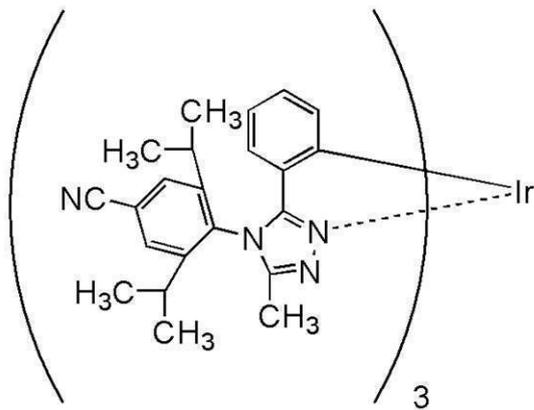


(102)

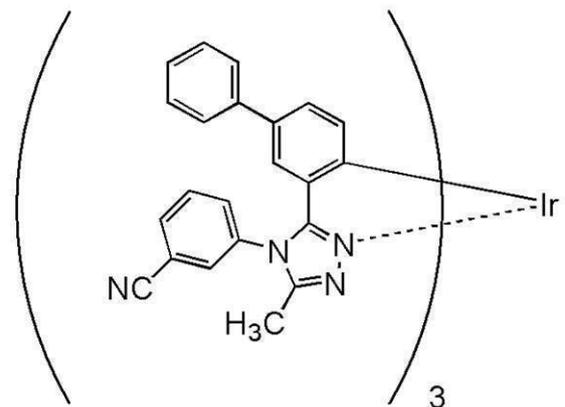


(103)

20



(104)



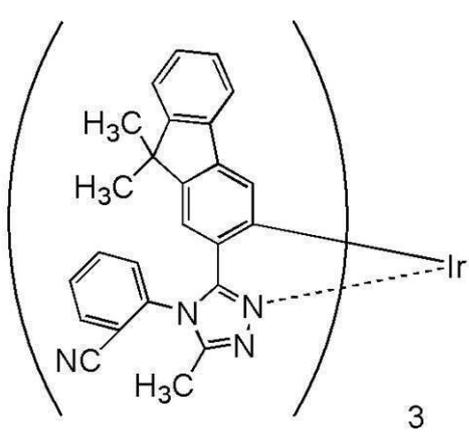
(105)

30

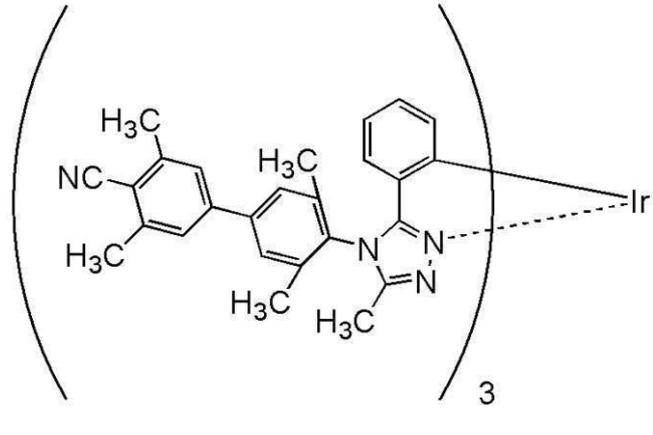
40

【 0 1 8 2】

【化 1 2】

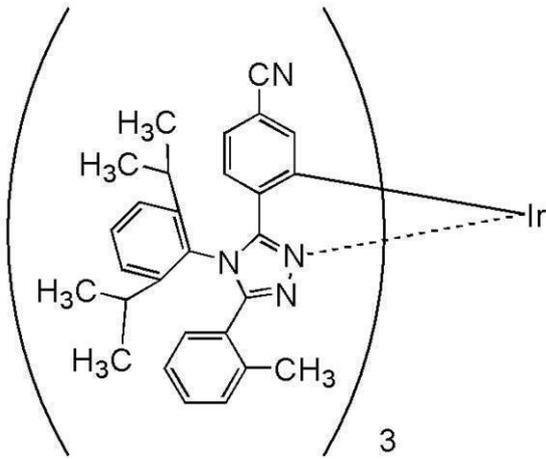


(106)

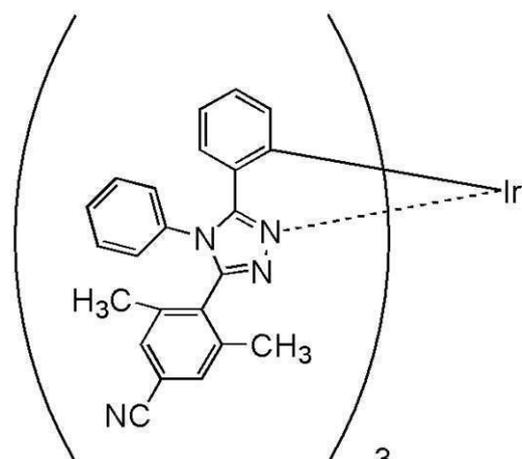


(107)

10



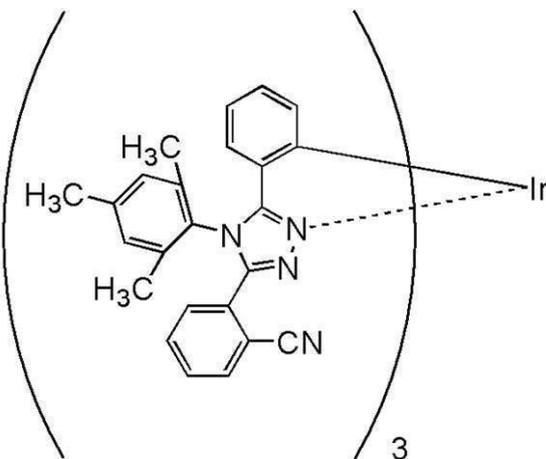
(108)



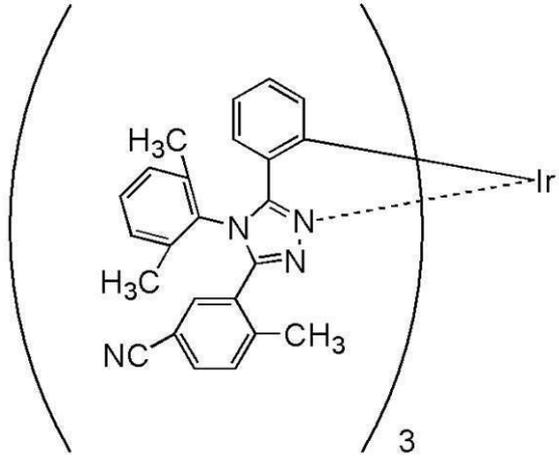
(109)

20

30



(110)

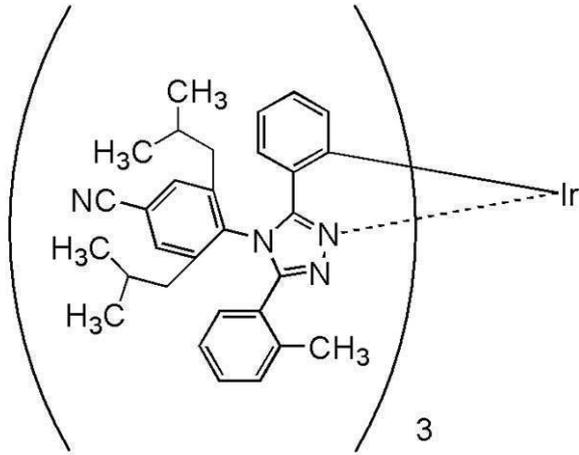


(111)

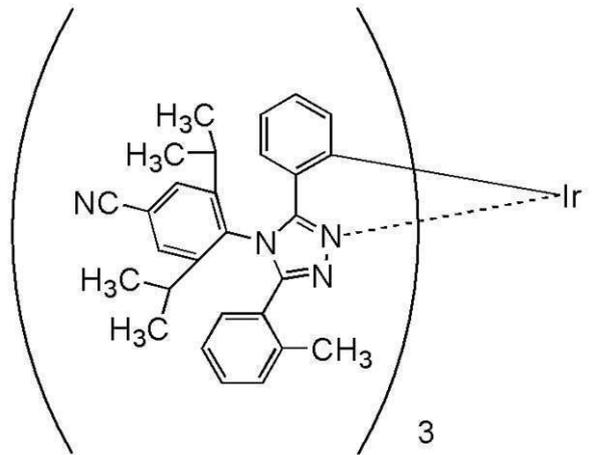
40

【 0 1 8 3】

【化 1 3】

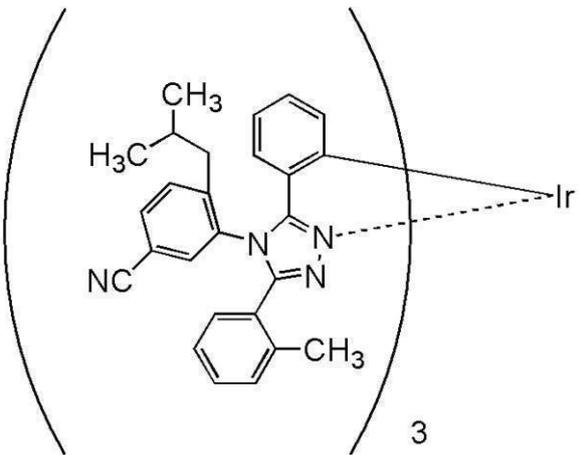


(112)

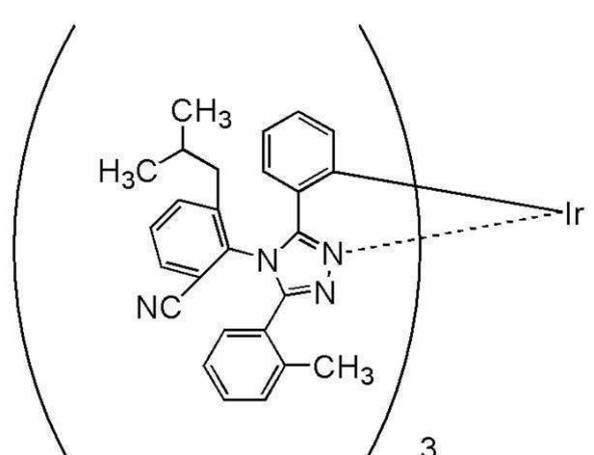


(113)

10

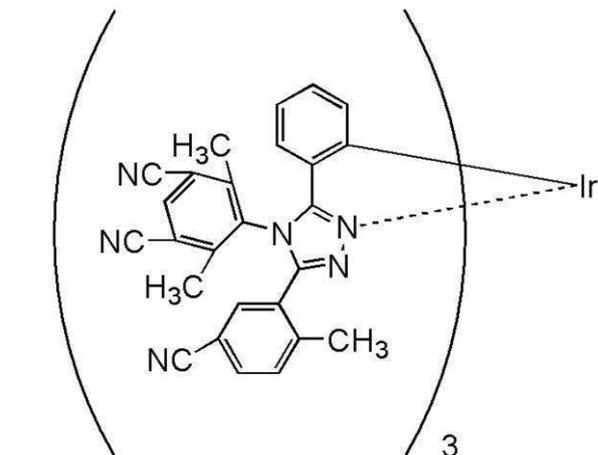


(114)

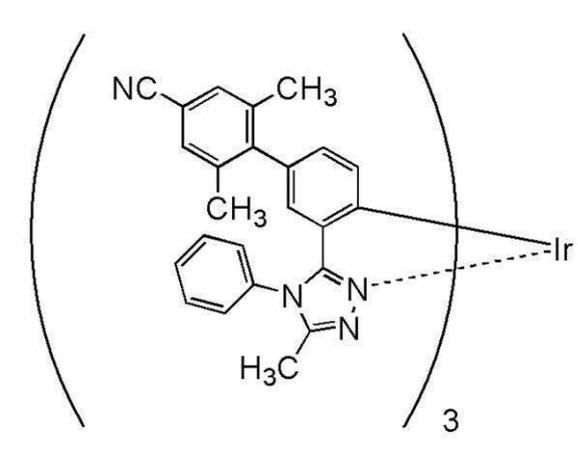


(115)

20



(116)

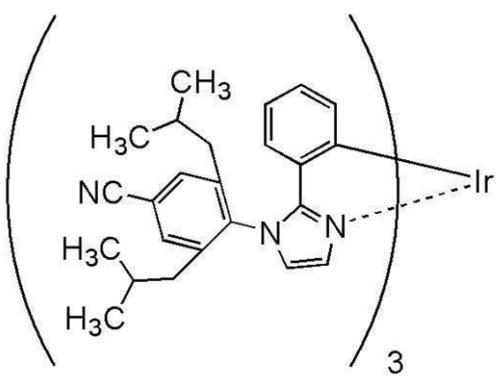


(117)

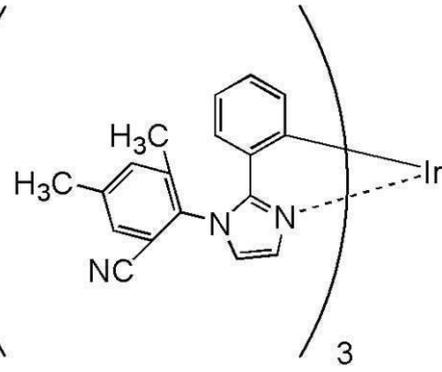
40

【 0 1 8 4】

【化 1 4】

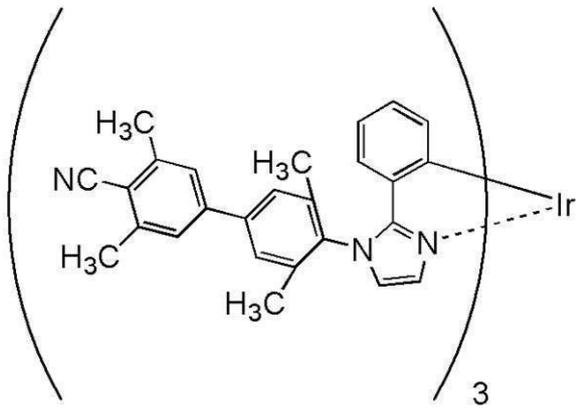


(118)

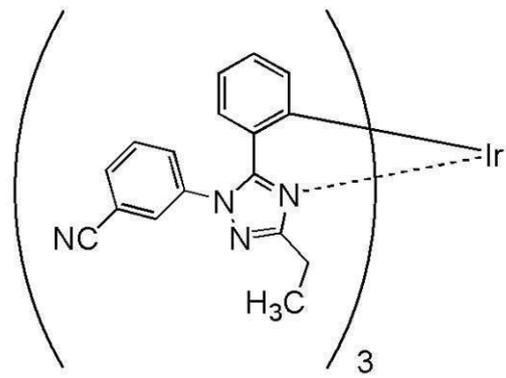


(119)

10

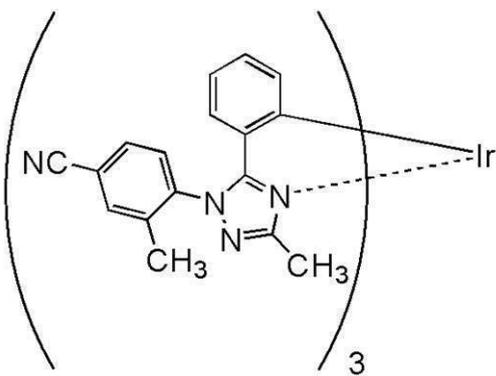


(120)

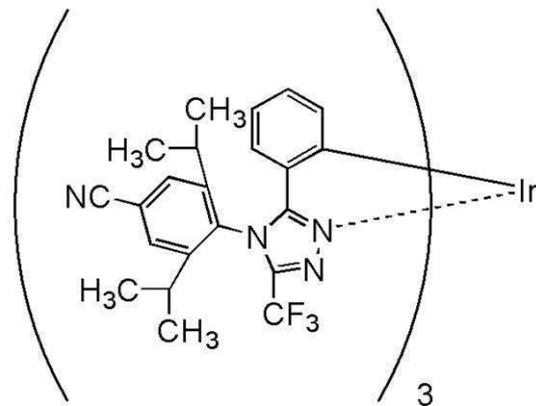


(121)

20



(122)



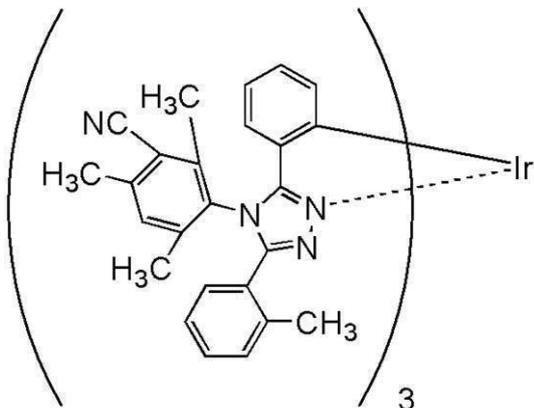
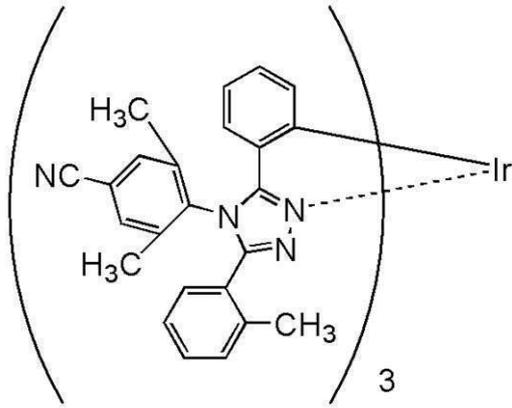
(123)

30

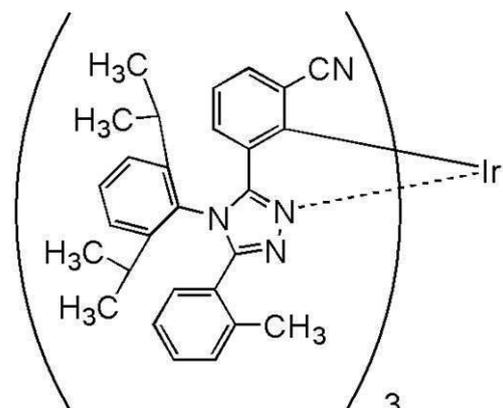
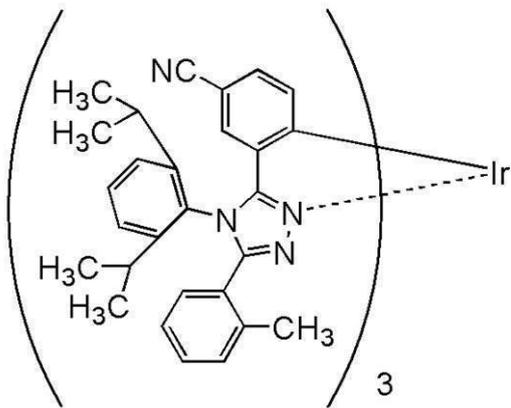
40

【 0 1 8 5 】

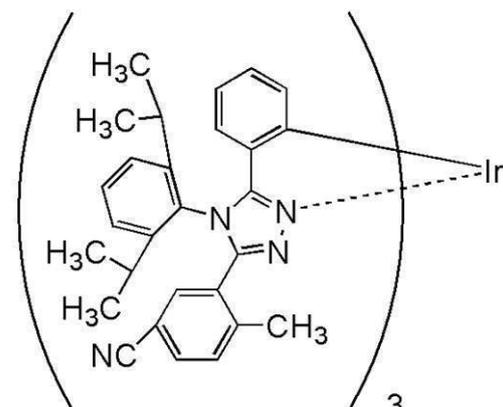
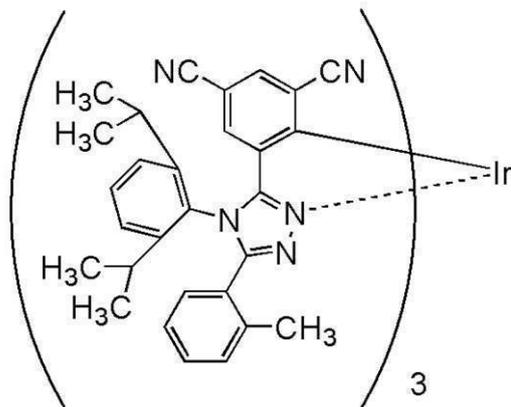
【化 1 5】



10



20

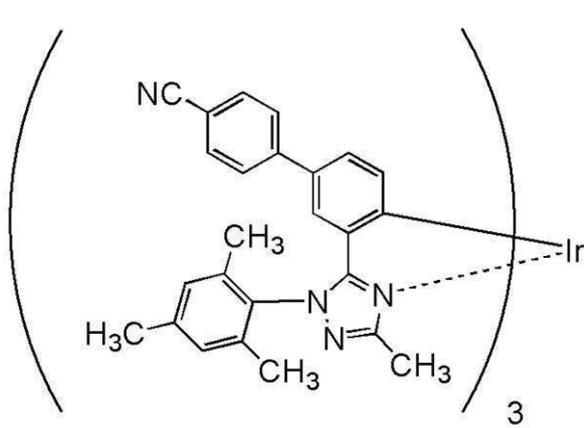


30

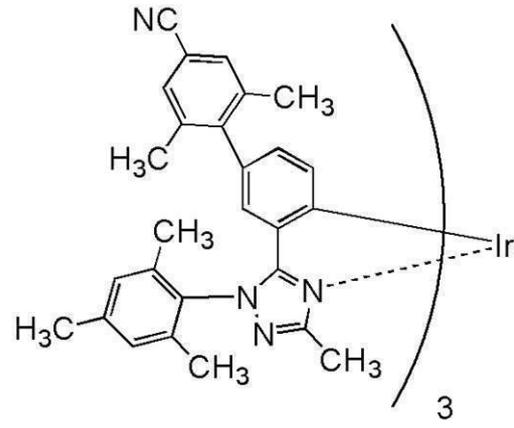
40

【 0 1 8 6】

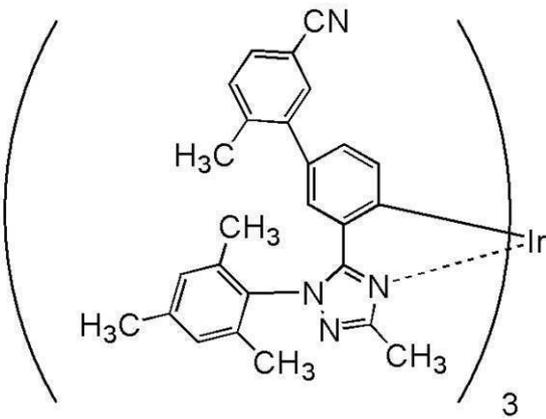
【化 1 6】



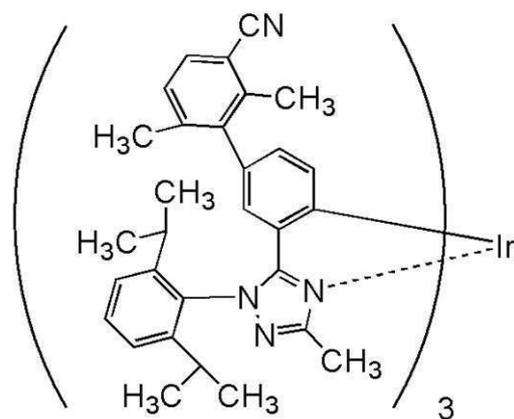
(130)



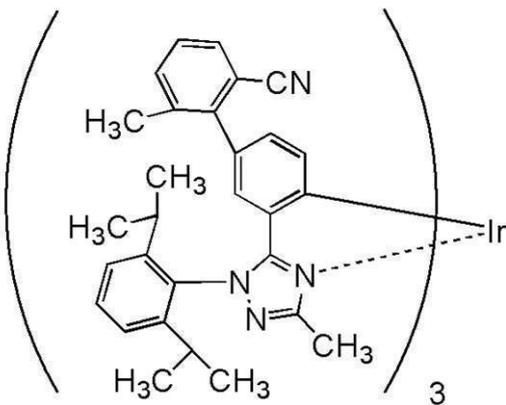
(131)



(132)



(133)



(134)

【0187】

以上のように、上記に例示したイリジウム錯体は、比較的低いHOMO準位およびLUMO準位を有することから、本発明の一態様の発光素子のゲスト材料として好適である。これにより、発光効率の良好な発光素子を作製することができる。また、上記に例示したイリジウム錯体は、高い三重項励起エネルギー準位を有することから、特に青色の発光素子のゲスト材料として好適である。これにより、発光効率の良好な青色発光素子を作製することができる。また、上記に例示したイリジウム錯体は、酸化および還元の繰返しに良好な耐性を有することから、該イリジウム錯体を発光素子に用いることで、駆動寿命の良

10

20

30

40

50

好な発光素子を作製することができる。

【0188】

また、発光層130に含まれる発光材料としては、三重項励起エネルギーを発光に変換できる材料であればよい。該三重項励起エネルギーを発光に変換できる材料としては、燐光材料の他に、熱活性化遅延蛍光(Thermally activated delayed fluorescence: TADF)材料が挙げられる。したがって、燐光材料と記載した部分に関しては、熱活性化遅延蛍光材料と読み替えても構わない。なお、熱活性化遅延蛍光材料とは、三重項励起エネルギー準位と一重項励起エネルギー準位との差が小さく、逆項間交差によって三重項励起状態から一重項励起状態へエネルギーを変換する機能を有する材料である。そのため、三重項励起状態をわずかな熱エネルギーによって一重項励起状態にアップコンバート(逆項間交差)が可能で、一重項励起状態からの発光(蛍光)を効率よく呈することができる。また、熱活性化遅延蛍光が効率良く得られる条件としては、三重項励起エネルギー準位と一重項励起エネルギー準位のエネルギー差が好ましくは0 eVより大きく0.2 eV以下、さらに好ましくは0 eVより大きく0.1 eV以下であることが挙げられる。

10

【0189】

熱活性化遅延蛍光材料が、一種類の材料から構成される場合、例えば以下の材料を用いることができる。

【0190】

まず、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($\text{SnF}_2(\text{Proto IX})$)、メソポルフィリン-フッ化スズ錯体($\text{SnF}_2(\text{Meso IX})$)、ヘマトポルフィリン-フッ化スズ錯体($\text{SnF}_2(\text{Hemato IX})$)、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($\text{SnF}_2(\text{Copro III-4Me})$)、オクタエチルポルフィリン-フッ化スズ錯体($\text{SnF}_2(\text{OEP})$)、エチオポルフィリン-フッ化スズ錯体($\text{SnF}_2(\text{Etio I})$)、オクタエチルポルフィリン-塩化白金錯体(PtCl_2OEP)等が挙げられる。

20

30

【0191】

また、一種の材料から構成される熱活性化遅延蛍光材料としては、電子過剰型複素芳香環及び電子不足型複素芳香環を有する複素環化合物も用いることができる。具体的には、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)、2-{4-[3-(N-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)-9H-カルバゾール-9-イル]フェニル}-4,6-ジフェニル-1,3,5-トリアジン(略称:PC CzPTzn)、2-[4-(10H-フェノキサジン-10-イル)フェニル]-4,6-ジフェニル-1,3,5-トリアジン(略称:PXZ-TRZ)、3-[4-(5-フェニル-5,10-ジヒドロフェナジン-10-イル)フェニル]-4,5-ジフェニル-1,2,4-トリアゾール(略称:PPZ-3TPT)、3-(9,9-ジメチル-9H-アクリジン-10-イル)-9H-キサンテン-9-オン(略称:ACRXTN)、ビス[4-(9,9-ジメチル-9,10-ジヒドロアクリジン)フェニル]スルホン(略称:DMAC-DPS)、10-フェニル-10H,10'H-スピロ[アクリジン-9,9'-アントラセン]-10'-オン(略称:ACRSA)等が挙げられる。該複素環化合物は、電子過剰型複素芳香環及び電子不足型複素芳香環を有するため、電子輸送性及び正孔輸送性が高く、好ましい。中でも、電子不足型複素芳香環を有する骨格のうち、ジアジン骨格(ピリミジン骨格、ピラジン骨格、ピリダジン骨格)、またはトリアジン骨格は、安定で信頼性が良好なため、好ましい。また、電子過剰型複素芳香環を有する骨格の中でも、アクリジン骨格、フェノキサジン骨格、チオフェン骨格、フラン骨

40

50

格、及びピロール骨格は、安定で信頼性が良好なため、当該骨格の中から選ばれるいずれか一つまたは複数を有することが、好ましい。なお、ピロール骨格としては、インドール骨格、カルバゾール骨格、及び3-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)-9H-カルバゾール骨格、が特に好ましい。なお、電子過剰型複素芳香環と電子不足型複素芳香環とが直接結合した物質は、電子過剰型複素芳香環のドナー性と電子不足型複素芳香環のアクセプター性が共に強く、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位の差が小さくなるため、特に好ましい。

【0192】

なお、発光層130は2層以上の複数層でもって構成することもできる。例えば、第1の発光層と第2の発光層を正孔輸送層側から順に積層して発光層130とする場合、第1の発光層のホスト材料として正孔輸送性を有する物質を用い、第2の発光層のホスト材料として電子輸送性を有する物質を用いる構成などがある。また、第1の発光層と第2の発光層とが有する発光材料は、同じ材料であっても異なる材料であってもよく、同じ色の発光を呈する機能を有する材料であっても、異なる色の発光を呈する機能を有する材料であってもよい。2層の発光層に、互いに異なる色の発光を呈する機能を有する発光材料をそれぞれ用いることで、複数の発光を同時に得ることができる。特に、2層の発光層が呈する発光により、白色になるよう、各発光層に用いる発光材料を選択すると好ましい。

10

【0193】

また、発光層130において、ホスト材料131およびゲスト材料132以外の材料を有していても良い。

20

【0194】

なお、発光層130は、蒸着法(真空蒸着法を含む)、インクジェット法、塗布法、グラビア印刷等の方法で形成することができる。また、上述した材料の他、量子ドットなどの無機化合物または高分子化合物(オリゴマー、 dendリマー、ポリマー等)を有してもよい。

【0195】

正孔注入層

正孔注入層111は、一对の電極の一方(電極101または電極102)からのホール注入障壁を低減することでホール注入を促進する機能を有し、例えば遷移金属酸化物、フタロシアニン誘導体、あるいは芳香族アミンなどによって形成される。遷移金属酸化物としては、モリブデン酸化物やバナジウム酸化物、ルテニウム酸化物、タングステン酸化物、マンガン酸化物などが挙げられる。フタロシアニン誘導体としては、フタロシアニンや金属フタロシアニンなどが挙げられる。芳香族アミンとしてはベンジジン誘導体やフェニレンジアミン誘導体などが挙げられる。ポリチオフェンやポリアニリンなどの高分子化合物を用いることもでき、例えば自己ドーブされたポリチオフェンであるポリ(エチレンジオキシチオフェン)/ポリ(スチレンスルホン酸)などがその代表例である。

30

【0196】

正孔注入層111として、正孔輸送性材料と、これに対して電子受容性を示す材料の複合材料を有する層を用いることもできる。あるいは、電子受容性を示す材料を含む層と正孔輸送性材料を含む層の積層を用いても良い。これらの材料間では定常状態、あるいは電界存在下において電荷の授受が可能である。電子受容性を示す材料としては、キノジメタン誘導体やクロラニル誘導体、ヘキサザトリフェニレン誘導体などの有機アクセプターを挙げることができる。具体的には、7,7,8,8-テトラシアノ-2,3,5,6-テトラフルオロキノジメタン(略称:F₄-TCNQ)、クロラニル、2,3,6,7,10,11-ヘキサシアノ-1,4,5,8,9,12-ヘキサザトリフェニレン(略称:HAT-CN)等の電子吸引基(ハロゲン基やシアノ基)を有する化合物である。また、遷移金属酸化物、例えば第4族から第8族金属の酸化物を用いることができる。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、酸化ルテニウムなどである。中でも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。

40

50

【0197】

正孔輸送性材料としては、電子よりも正孔の輸送性の高い材料を用いることができ、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する材料であることが好ましい。具体的には、発光層130に用いることができる正孔輸送性材料として挙げた芳香族アミン、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、スチルベン誘導体などを用いることができる。また、該正孔輸送性材料は高分子化合物であっても良い。

【0198】

正孔輸送層

正孔輸送層112は正孔輸送性材料を含む層であり、正孔注入層111の材料として例示した正孔輸送性材料を使用することができる。正孔輸送層112は正孔注入層111に注入された正孔を発光層130へ輸送する機能を有するため、正孔注入層111のHOMO準位と同じ、あるいは近いHOMO準位を有することが好ましい。

10

【0199】

また、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質であることが好ましい。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、これら以外の物質を用いてもよい。なお、正孔輸送性の高い物質を含む層は、単層だけでなく、上記物質からなる層が二層以上積層してもよい。

【0200】

電子輸送層

電子輸送層118は、電子注入層119を経て対の電極の他方（電極101または電極102）から注入された電子を発光層130へ輸送する機能を有する。電子輸送性材料としては、正孔よりも電子の輸送性の高い材料を用いることができ、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する材料であることが好ましい。電子を受け取りやすい化合物（電子輸送性を有する材料）としては、含窒素複素芳香族化合物のような電子不足型複素芳香族や金属錯体などを用いることができる。具体的には、発光層130に用いることができる電子輸送性材料として挙げたキノリン配位子、ベンゾキノリン配位子、オキサゾール配位子、あるいはチアゾール配位子を有する金属錯体、オキサジアゾール誘導体、トリアゾール誘導体、ベンゾイミダゾール誘導体、キノキサリン誘導体、ジベンゾキノキサリン誘導体、フェナントロリン誘導体、ピリジン誘導体、ビピリジン誘導体、ピリミジン誘導体、トリアジン誘導体などが挙げられる。また、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する物質であることが好ましい。なお、正孔よりも電子の輸送性の高い物質であれば、上記以外の物質を電子輸送層として用いても構わない。また、電子輸送層118は、単層だけでなく、上記物質からなる層が二層以上積層してもよい。

20

30

【0201】

また、電子輸送層118と発光層130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。電子キャリアの移動を制御する層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。

40

【0202】

電子注入層

電子注入層119は電極102からの電子注入障壁を低減することで電子注入を促進する機能を有し、例えば第1族金属、第2族金属、あるいはこれらの酸化物、ハロゲン化物、炭酸塩などを用いることができる。また、先に示す電子輸送性材料と、これに対して電子供与性を示す材料の複合材料を用いることもできる。電子供与性を示す材料としては、第1族金属、第2族金属、あるいはこれらの酸化物などを挙げることができる。具体的には、フッ化リチウム（LiF）、フッ化ナトリウム（NaF）、フッ化セシウム（CsF）、フッ化カルシウム（CaF₂）、リチウム酸化物（LiO_x）等のようなアルカリ金属、アルカリ土類金属、またはそれらの化合物を用いることができる。また、フッ化エル

50

ビウム (ErF₃) のような希土類金属化合物を用いることができる。また、電子注入層 119 にエレクトライドを用いてもよい。該エレクトライドとしては、例えば、カルシウムとアルミニウムの混合酸化物に電子を高濃度添加した物質等が挙げられる。また、電子注入層 119 に、電子輸送層 118 で用いることができる物質を用いてもよい。

【0203】

また、電子注入層 119 に、有機化合物と電子供与体 (ドナー) とを混合してなる複合材料を用いてもよい。このような複合材料は、電子供与体によって有機化合物に電子が発生するため、電子注入性および電子輸送性に優れている。この場合、有機化合物としては、発生した電子の輸送に優れた材料であることが好ましく、具体的には、例えば上述した電子輸送層 118 を構成する物質 (金属錯体や複素芳香族化合物等) を用いることができる。電子供与体としては、有機化合物に対し電子供与性を示す物質であればよい。具体的には、アルカリ金属やアルカリ土類金属や希土類金属が好ましく、リチウム、ナトリウム、セシウム、マグネシウム、カルシウム、エルビウム、イッテルビウム等が挙げられる。また、アルカリ金属酸化物やアルカリ土類金属酸化物が好ましく、リチウム酸化物、カルシウム酸化物、バリウム酸化物等が挙げられる。また、酸化マグネシウムのようなルイス塩基を用いることもできる。また、テトラシアフルパレン (略称: TTF) 等の有機化合物を用いることもできる。

10

【0204】

なお、上述した、発光層、正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、及び電子注入層は、それぞれ、蒸着法 (真空蒸着法を含む)、インクジェット法、塗布法、グラビア印刷等の方法で形成することができる。また、上述した、発光層、正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、及び電子注入層には、上述した材料の他、量子ドットなどの無機化合物や、高分子化合物 (オリゴマー、 dendrimer、ポリマー等) を用いてもよい。

20

【0205】

なお、量子ドットとしては、コロイド状量子ドット、合金型量子ドット、コア・シェル型量子ドット、コア型量子ドット、などを用いてもよい。また、2 族と 16 族、13 族と 15 族、13 族と 17 族、11 族と 17 族、または 14 族と 15 族の元素グループを含む量子ドットを用いてもよい。または、カドミウム (Cd)、セレン (Se)、亜鉛 (Zn)、硫黄 (S)、リン (P)、インジウム (In)、テルル (Te)、鉛 (Pb)、ガリウム (Ga)、ヒ素 (As)、アルミニウム (Al)、等の元素を有する量子ドットを用いてもよい。

30

【0206】

一対の電極

電極 101 及び電極 102 は、発光素子の陽極または陰極としての機能を有する。電極 101 及び電極 102 は、金属、合金、導電性化合物、およびこれらの混合物や積層体などを用いて形成することができる。

【0207】

電極 101 または電極 102 の一方は、光を反射する機能を有する導電性材料により形成されると好ましい。該導電性材料としては、アルミニウム (Al) または Al を含む合金等が挙げられる。Al を含む合金としては、Al と L (L は、チタン (Ti)、ネオジウム (Nd)、ニッケル (Ni)、及びランタン (La) の一つまたは複数を表す) とを含む合金等が挙げられ、例えば Al と Ti、または Al と Ni と La を含む合金等である。アルミニウムは、抵抗値が低く、光の反射率が高い。また、アルミニウムは、地殻における存在量が多く、安価であるため、アルミニウムを用いることによる発光素子の作製コストを低減することができる。また、銀 (Ag)、または Ag と N (N は、イットリウム (Y)、Nd、マグネシウム (Mg)、イッテルビウム (Yb)、Al、Ti、ガリウム (Ga)、亜鉛 (Zn)、インジウム (In)、タングステン (W)、マンガン (Mn)、スズ (Sn)、鉄 (Fe)、Ni、銅 (Cu)、パラジウム (Pd)、イリジウム (Ir)、または金 (Au) の一つまたは複数を表す) とを含む合金等を用いてもよい。銀を含む合金としては、例えば、銀とパラジウムと銅を含む合金、銀と銅を含む合金、銀とマグ

40

50

ネシウムを含む合金、銀とニッケルを含む合金、銀と金を含む合金、銀とイッテルビウムを含む合金等が挙げられる。その他、タングステン、クロム（Cr）、モリブデン（Mo）、銅、チタンなどの遷移金属を用いることができる。

【0208】

また、発光層から得られる発光は、電極101及び電極102の一方または双方を通して取り出される。したがって、電極101及び電極102の少なくとも一方は、光を透過する機能を有する導電性材料により形成されると好ましい。該導電性材料としては、可視光の透過率が40%以上100%以下、好ましくは60%以上100%以下であり、かつその抵抗率が $1 \times 10^{-2} \cdot \text{cm}$ 以下の導電性材料が挙げられる。

【0209】

また、電極101及び電極102は、光を透過する機能と、光を反射する機能と、を有する導電性材料により形成されても良い。該導電性材料としては、可視光の反射率が20%以上80%以下、好ましくは40%以上70%以下であり、かつその抵抗率が $1 \times 10^{-2} \cdot \text{cm}$ 以下の導電性材料が挙げられる。例えば、導電性を有する金属、合金、導電性化合物などを1種又は複数種用いて形成することができる。具体的には、例えば、インジウム錫酸化物（Indium Tin Oxide、以下ITO）、珪素または酸化珪素を含むインジウム錫酸化物（略称：ITSO）、酸化インジウム - 酸化亜鉛（Indium Zinc Oxide）、チタンを含有した酸化インジウム - 錫酸化物、インジウム - チタン酸化物、酸化タングステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウムなどの金属酸化物を用いることができる。また、光を透過する程度（好ましくは、1nm以上30nm以下の厚さ）の金属薄膜を用いることができる。金属としては、例えば、Ag、またはAgとAl、AgとMg、AgとAu、AgとYbなどの合金等を用いることができる。

【0210】

なお、本明細書等において、光を透過する機能を有する材料は、可視光を透過する機能を有し、且つ導電性を有する材料であればよく、例えば上記のようなITOに代表される酸化物導電体に加えて、酸化物半導体、または有機物を含む有機導電体を含む。有機物を含む有機導電体としては、例えば、有機化合物と電子供与体（ドナー）とを混合してなる複合材料、有機化合物と電子受容体（アクセプター）とを混合してなる複合材料等が挙げられる。また、グラフェンなどの無機炭素系材料を用いても良い。また、当該材料の抵抗率としては、好ましくは $1 \times 10^5 \cdot \text{cm}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^4 \cdot \text{cm}$ 以下である。

【0211】

また、上記の材料の複数を積層することによって電極101及び電極102の一方または双方を形成してもよい。

【0212】

また、光取り出し効率を向上させるため、光を透過する機能を有する電極と接して、該電極より屈折率の高い材料を形成してもよい。このような材料としては、可視光を透過する機能を有する材料であればよく、導電性を有する材料であっても有さない材料であってもよい。例えば、上記のような酸化物導電体に加えて、酸化物半導体、有機物が挙げられる。有機物としては、例えば、発光層、正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、または電子注入層に例示した材料が挙げられる。また、無機炭素系材料や光が透過する程度の薄膜の金属も用いることができる。これら屈折率の高い材料を用いて、数nm乃至数十nmの層を複数積層させてもよい。

【0213】

電極101または電極102が陰極としての機能を有する場合には、仕事関数が小さい（3.8eV以下）材料を有することが好ましい。例えば、元素周期表の第1族又は第2族に属する元素（リチウム、ナトリウム、セシウム等のアルカリ金属、カルシウム、ストロンチウム等のアルカリ土類金属、マグネシウム等）、これら元素を含む合金（例えば、AgとMg、AlとLi）、ユーロピウム（Eu）、Yb等の希土類金属、これら希土類金属を含む合金、アルミニウム、銀を含む合金等を用いることができる。

10

20

30

40

50

【0214】

また、電極101または電極102を陽極として用いる場合、仕事関数の大きい(4.0 eV以上)材料を用いることが好ましい。

【0215】

また、電極101及び電極102は、光を反射する機能を有する導電性材料と、光を透過する機能を有する導電性材料との積層としてもよい。その場合、電極101及び電極102は、各発光層からの所望の光を共振させ、その波長の光を強めることができるように、光学距離を調整する機能を有することができるため好ましい。

【0216】

電極101及び電極102の成膜方法は、スパッタリング法、蒸着法、印刷法、塗布法、MBE(Molecular Beam Epitaxy)法、CVD法、パルスレーザ堆積法、ALD(Atomic Layer Deposition)法等を適宜用いることができる。

10

【0217】

基板

また、本発明の一態様に係る発光素子は、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、電極101側から順に積層しても、電極102側から順に積層しても良い。

【0218】

なお、本発明の一態様に係る発光素子を形成できる基板としては、例えばガラス、石英、又はプラスチックなどを用いることができる。また可撓性基板を用いてもよい。可撓性基板とは、曲げることができる(フレキシブル)基板のことであり、例えば、ポリカーボネート、ポリアリレート、からなるプラスチック基板等が挙げられる。また、フィルム、無機蒸着フィルムなどを用いることもできる。なお、発光素子、及び光学素子の作製工程において支持体として機能するものであれば、これら以外のものでもよい。あるいは、発光素子、及び光学素子を保護する機能を有するものであればよい。

20

【0219】

例えば、本発明等においては、様々な基板を用いて発光素子を形成することが出来る。基板の種類は、特に限定されない。その基板の一例としては、半導体基板(例えば単結晶基板又はシリコン基板)、SOI基板、ガラス基板、石英基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス・スチル基板、ステンレス・スチル・ホイルを有する基板、タングステン基板、タングステン・ホイルを有する基板、可撓性基板、貼り合わせフィルム、繊維状の材料を含むセルロースナノファイバ(CNF)や紙、又は基材フィルムなどがある。ガラス基板の一例としては、バリウムホウケイ酸ガラス、アルミノホウケイ酸ガラス、又はソーダライムガラスなどがある。可撓性基板、貼り合わせフィルム、基材フィルムなどの一例としては、以下が挙げられる。例えば、ポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリエチレンナフタレート(PEN)、ポリエーテルスルホン(PES)、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)に代表されるプラスチックがある。または、一例としては、アクリル等の樹脂などがある。または、一例としては、ポリプロピレン、ポリエステル、ポリフッ化ビニル、又はポリ塩化ビニルなどがある。または、一例としては、ポリアミド、ポリアミド、アラミド、エポキシ、無機蒸着フィルム、又は紙類などがある。

30

40

【0220】

また、基板として、可撓性基板を用い、可撓性基板上に直接、発光素子を形成してもよい。または、基板と発光素子との間に剥離層を設けてもよい。剥離層は、その上に発光素子を一部あるいは全部完成させた後、基板より分離し、他の基板に転載するために用いることができる。その際、耐熱性の劣る基板や可撓性の基板にも発光素子を転載できる。なお、上述の剥離層には、例えば、タングステン膜と酸化シリコン膜との無機膜の積層構造の構成や、基板上にポリアミド等の樹脂膜が形成された構成等を用いることができる。

【0221】

つまり、ある基板を用いて発光素子を形成し、その後、別の基板に発光素子を転置し、

50

別の基板の上に発光素子を配置してもよい。発光素子が転置される基板の一例としては、上述した基板に加え、セロファン基板、石材基板、木材基板、布基板（天然繊維（絹、綿、麻）、合成繊維（ナイロン、ポリウレタン、ポリエステル）若しくは再生繊維（アセテート、キュプラ、レーヨン、再生ポリエステル）などを含む）、皮革基板、又はゴム基板などがある。これらの基板を用いることにより、壊れにくい発光素子、耐熱性の高い発光素子、軽量化された発光素子、または薄型化された発光素子とすることができる。

【0222】

また、上述した基板の上に、例えば電界効果トランジスタ（FET）を形成し、FETと電氣的に接続された電極上に発光素子150を作製してもよい。これにより、FETによって発光素子150の駆動を制御するアクティブマトリクス型の表示装置を作製できる。

10

【0223】

なお、本実施の形態においては、本発明の一態様について述べ、他の実施の形態においては、本発明の他の一態様について述べる。ただし、本発明の一態様は、これらに限定されない。つまり、本実施の形態および他の実施の形態では、様々な発明の態様が記載されているため、本発明の一態様は、特定の態様に限定されない。例えば、本発明の一態様として、発光素子に適用した場合の例を示したが、本発明の一態様は、これに限定されない。例えば、場合によっては、または、状況に応じて、本発明の一態様は、発光素子に適用しなくてもよい。または、例えば、本発明の一態様では、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、三重項励起エネルギーを発光に変換することができる機能を有するゲスト材料と、を有し、第1の有機化合物のLUMO準位は、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より低い場合の例を示したが、本発明の一態様は、これに限定されない。場合によっては、または、状況に応じて、本発明の一態様では、例えば、第1の有機化合物のLUMO準位は、第2の有機化合物のLUMO準位より低くなくてもよい。あるいは、第1の有機化合物のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より低くなくてもよい。または、例えば、本発明の一態様では、第1の有機化合物と第2の有機化合物とが、励起錯体を形成する場合の例を示したが、本発明の一態様は、これに限定されない。場合によっては、または、状況に応じて、本発明の一態様では、例えば、第1の有機化合物と第2の有機化合物とが、励起錯体を形成しなくてもよい。または、例えば、本発明の一態様では、ゲスト材料のLUMO準位は、第1の有機化合物のLUMO準位より高く、ゲスト材料のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より高い場合の例を示したが、本発明の一態様は、これに限定されない。場合によっては、または、状況に応じて、本発明の一態様では、例えば、ゲスト材料のLUMO準位は、第1の有機化合物のLUMO準位より高くなくてもよい。あるいは、ゲスト材料のHOMO準位は、第2の有機化合物のHOMO準位より高くなくてもよい。

20

30

【0224】

以上、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態と適宜組み合わせる用いることができる。

【0225】

（実施の形態2）

本実施の形態においては、実施の形態1に示す発光素子の構成と異なる構成の発光素子について、図3及び図4を用いて、以下説明を行う。なお、図3及び図4において、図1（A）に示す符号と同様の機能を有する箇所には、同様のハッチパターンとし、符号を省略する場合がある。また、同様の機能を有する箇所には、同様の符号を付し、その詳細な説明は省略する場合がある。

40

【0226】

<発光素子の構成例1>

図3（A）は、発光素子250の断面模式図である。

【0227】

図3（A）に示す発光素子250は、一对の電極（電極101及び電極102）の間に

50

、複数の発光ユニット（図3（A）においては、発光ユニット106及び発光ユニット108）を有する。複数の発光ユニットのうちいずれか一つの発光ユニットは、図1で示すEL層100と同様な構成を有すると好ましい。つまり、図1で示した発光素子150は、一つの発光ユニットを有し、発光素子250は、複数の発光ユニットを有すると好ましい。なお、発光素子250において、電極101が陽極として機能し、電極102が陰極として機能するとして、以下説明するが、発光素子250の構成としては、逆であっても構わない。

【0228】

また、図3（A）に示す発光素子250において、発光ユニット106と発光ユニット108とが積層されており、発光ユニット106と発光ユニット108との間には電荷発生層115が設けられる。なお、発光ユニット106と発光ユニット108は、同じ構成でも異なる構成でもよい。例えば、発光ユニット108に、図1で示すEL層100を用いると好ましい。

10

【0229】

また、発光素子250は、発光層120と、発光層170と、を有する。また、発光ユニット106は、発光層120の他に、正孔注入層111、正孔輸送層112、電子輸送層113、及び電子注入層114を有する。また、発光ユニット108は、発光層170の他に、正孔注入層116、正孔輸送層117、電子輸送層118、及び電子注入層119を有する。

【0230】

電荷発生層115は、正孔輸送性材料に電子受容体であるアクセプター性物質が添加された構成であっても、電子輸送性材料に電子供与体であるドナー性物質が添加された構成であってもよい。また、これらの両方の構成が積層されていても良い。

20

【0231】

電荷発生層115に、有機化合物とアクセプター性物質の複合材料が含まれる場合、該複合材料には実施の形態1に示す正孔注入層111に用いることができる複合材料を用いればよい。有機化合物としては、芳香族アミン化合物、カルバゾール化合物、芳香族炭化水素、高分子化合物（オリゴマー、 dendリマー、ポリマー等）など、種々の化合物を用いることができる。なお、有機化合物としては、正孔移動度が $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上である物質を適用することが好ましい。ただし、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、これら以外の物質を用いてもよい。有機化合物とアクセプター性物質の複合材料は、キャリア注入性、キャリア輸送性に優れているため、低電圧駆動、低電流駆動を実現することができる。なお、発光ユニット108のように、発光ユニットの陽極側の面が電荷発生層115に接している場合は、電荷発生層115が該発光ユニットの正孔注入層または正孔輸送層の役割も担うことができるため、該発光ユニットには正孔注入層または正孔輸送層を設けない構成であっても良い。

30

【0232】

なお、電荷発生層115は、有機化合物とアクセプター性物質の複合材料を含む層と他の材料により構成される層を組み合わせた積層構造として形成してもよい。例えば、有機化合物とアクセプター性物質の複合材料を含む層と、電子供与性物質の中から選ばれた一の化合物と電子輸送性の高い化合物とを含む層とを組み合わせ形成してもよい。また、有機化合物とアクセプター性物質の複合材料を含む層と、透明導電材料を含む層とを組み合わせ形成してもよい。

40

【0233】

なお、発光ユニット106と発光ユニット108とに挟まれる電荷発生層115は、電極101と電極102とに電圧を印加した場合に、一方の発光ユニットに電子を注入し、他方の発光ユニットに正孔を注入するものであれば良い。例えば、図3（A）において、電極101の電位の方が電極102の電位よりも高くなるように電圧を印加した場合、電荷発生層115は、発光ユニット106に電子を注入し、発光ユニット108に正孔を注入する。

50

【0234】

なお、電荷発生層115は、光取出し効率の点から、可視光に対して透光性（具体的には、電荷発生層115に対する可視光の透過率が40%以上）を有することが好ましい。また、電荷発生層115は、一对の電極（電極101及び電極102）よりも低い導電率であっても機能する。

【0235】

上述した材料を用いて電荷発生層115を形成することにより、発光層が積層された場合における駆動電圧の上昇を抑制することができる。

【0236】

また、図3（A）においては、2つの発光ユニットを有する発光素子について説明したが、3つ以上の発光ユニットを積層した発光素子についても、同様に適用することが可能である。発光素子250に示すように、一对の電極間に複数の発光ユニットを電荷発生層で仕切って配置することで、電流密度を低く保ったまま、高輝度発光を可能とし、さらに長寿命な発光素子を実現できる。また、消費電力が低い発光素子を実現することができる。

10

【0237】

なお、複数のユニットのうち、少なくとも一つのユニットに、実施の形態1で示した構成を適用することによって、発光効率の高い、発光素子を提供することができる。

【0238】

また、発光ユニット108が有する発光層170は、実施の形態1で示した発光層130と同様の構成を有すると好ましい。そうすることで、発光素子250は発光効率の高い発光素子となり好適である。

20

【0239】

また、発光ユニット106が有する発光層120は、図3（B）に示すように、ホスト材料121と、ゲスト材料122とを有する。なお、ゲスト材料122は蛍光材料として、以下説明する。

【0240】

発光層120の発光機構

発光層120の発光機構について、以下説明を行う。

【0241】

一对の電極（電極101及び電極102）あるいは電荷発生層から注入された電子および正孔が発光層120において再結合することにより、励起子が生成する。ゲスト材料122と比較してホスト材料121は大量に存在するので、励起子の生成により、ホスト材料121の励起状態が形成される。

30

【0242】

なお、励起子はキャリア（電子および正孔）対のことである。励起子はエネルギーを有するため、励起子が生成した材料は励起状態となる。

【0243】

形成されたホスト材料121の励起状態が一重項励起状態である場合、ホスト材料121のS1準位からゲスト材料122のS1準位へ一重項励起エネルギーがエネルギー移動し、ゲスト材料122の一重項励起状態が形成される。

40

【0244】

ゲスト材料122は蛍光材料であるため、ゲスト材料122において一重項励起状態が形成されると、ゲスト材料122は速やかに発光する。この場合、高い発光効率を得るためには、ゲスト材料122の蛍光量子収率は高いことが好ましい。なお、ゲスト材料122において、キャリアが再結合し、生成した励起状態が一重項励起状態である場合も同様である。

【0245】

次に、キャリアの再結合によってホスト材料121の三重項励起状態が形成される場合について説明する。この場合のホスト材料121およびゲスト材料122のエネルギー準

50

位の相関を図3(C)に示す。また、図3(C)における表記および符号は、以下の通りである。なお、ホスト材料121のT1準位がゲスト材料122のT1準位より低いことが好ましいため、図3(C)では、この場合を図示するが、ホスト材料121のT1準位がゲスト材料122のT1準位よりも高くてもよい。

【0246】

- ・Host(121)：ホスト材料121
- ・Guest(122)：ゲスト材料122(蛍光材料)
- ・ S_{FH} ：ホスト材料121のS1準位
- ・ T_{FH} ：ホスト材料121のT1準位
- ・ S_{FG} ：ゲスト材料122(蛍光材料)のS1準位
- ・ T_{FG} ：ゲスト材料122(蛍光材料)のT1準位

10

【0247】

図3(C)に示すように、三重項-三重項消滅(TTA: triplet-triplet annihilation)によって、キャリアの再結合によって生成した三重項励起子同士が相互作用し、互いに励起エネルギーの受け渡し及びスピン角運動量の交換を行うことで、結果としてホスト材料121のS1準位(S_{FH})のエネルギーを有する一重項励起子に変換される反応が生じる(図3(C) TTA参照)。ホスト材料121の一重項励起エネルギーは、 S_{FH} から、それよりもエネルギーの低いゲスト材料122のS1準位(S_{FG})へエネルギー移動が生じ(図3(C) ルートE₁参照)、ゲスト材料122の一重項励起状態が形成され、ゲスト材料122が発光する。

20

【0248】

なお、発光層120における三重項励起子の密度が十分に高い場合(例えば、 $1 \times 10^{-12} \text{ cm}^{-3}$ 以上)では、三重項励起子単体の失活を無視し、2つの近接した三重項励起子による反応のみを考えることができる。

【0249】

また、ゲスト材料122においてキャリアが再結合し三重項励起状態が形成される場合、ゲスト材料122の三重項励起状態のエネルギーは熱失活するため、発光に利用することが困難となる。しかしながら、ホスト材料121のT1準位(T_{FH})がゲスト材料122のT1準位(T_{FG})より低い場合、ゲスト材料122の三重項励起エネルギーは、ゲスト材料122のT1準位(T_{FG})からホスト材料121のT1準位(T_{FH})へエネルギー移動する(図3(C) ルートE₂参照)ことが可能であり、その後TTAに利用される。

30

【0250】

すなわち、ホスト材料121は、三重項励起エネルギーをTTAによって一重項励起エネルギーに変換する機能を有すると好ましい。そうすることで、発光層120で生成した三重項励起エネルギーの一部を、ホスト材料121におけるTTAによって一重項励起エネルギーに変換し、該一重項励起エネルギーをゲスト材料122に移動することで、蛍光発光として取り出すことが可能となる。そのためには、ホスト材料121のS1準位(S_{FH})は、ゲスト材料122のS1準位(S_{FG})より高いことが好ましい。また、ホスト材料121のT1準位(T_{FH})は、ゲスト材料122のT1準位(T_{FG})より低いことが好ましい。

40

【0251】

なお、特にゲスト材料122のT1準位(T_{FG})がホスト材料121のT1準位(T_{FH})よりも低い場合においては、ホスト材料121とゲスト材料122との重量比は、ゲスト材料122の重量比が低い方が好ましい。具体的には、ゲスト材料122の含有量が、ホスト材料121に対する重量比で、0より大きく0.05以下が好ましい。このような重量比の関係とすることで、ゲスト材料122でキャリアが再結合する確率を低減させることができる。また、ホスト材料121のT1準位(T_{FH})からゲスト材料122のT1準位(T_{FG})へのエネルギー移動が生じる確率を低減させることができる。

【0252】

50

なお、ホスト材料 1 2 1 は単一の化合物で構成されていても良く、複数の化合物から構成されていても良い。

【0253】

なお、上記各構成において、発光ユニット 1 0 6 および発光ユニット 1 0 8 に用いるゲスト材料が呈する発光色としては、同じであっても異なってもよい。発光ユニット 1 0 6 と発光ユニット 1 0 8 とで同じ色の発光を呈する機能を有するゲスト材料を有する場合、発光素子 2 5 0 は少ない電流値で高い発光輝度を呈する発光素子となり好ましい。また、発光ユニット 1 0 6 と発光ユニット 1 0 8 とで互いに異なる色の発光を呈する機能を有するゲスト材料を有する場合、発光素子 2 5 0 は多色発光を呈する発光素子となり好ましい。この場合、発光層 1 2 0 及び発光層 1 7 0 のいずれか一方または双方に発光波長の異なる複数の発光材料を用いることによって、発光素子 2 5 0 が呈する発光スペクトルは異なる発光ピークを有する発光が合成された光となるため、少なくとも二つのピークを有する発光スペクトルとなる。

10

【0254】

上記の構成は白色発光を得るためにも好適である。発光層 1 2 0 と発光層 1 7 0 との光を互いに補色の関係とすることによって、白色発光を得ることができる。特に、演色性の高い白色発光、あるいは少なくとも赤色と緑色と青色とを有する発光、になるようゲスト材料を選択することが好適である。

【0255】

また、発光層 1 2 0 及び発光層 1 7 0 のいずれか一方または双方を層状にさらに分割し、当該分割した層ごとに異なる発光材料を含有させるようにしても良い。すなわち、発光層 1 2 0 及び発光層 1 7 0 のいずれか一方または双方は、2 層以上の複数層をもって構成することもできる。例えば、第 1 の発光層と第 2 の発光層を正孔輸送層側から順に積層して発光層とする場合、第 1 の発光層のホスト材料として正孔輸送性を有する物質を用い、第 2 の発光層のホスト材料として電子輸送性を有する物質を用いる構成などがある。この場合、第 1 の発光層と第 2 の発光層とが有する発光材料は、同じ材料であっても異なる材料であってもよく、同じ色の発光を呈する機能を有する材料であっても、異なる色の発光を呈する機能を有する材料であってもよい。互いに異なる色の発光を呈する機能を有する複数の発光材料を有する構成により、三原色や、4 色以上の発光色からなる演色性の高い白色発光を得ることもできる。

20

30

【0256】

また、発光ユニット 1 0 6 と発光ユニット 1 0 8 とで発光色が異なるゲスト材料を有する場合、発光層 1 2 0 からの発光が、発光層 1 7 0 からの発光よりも短波長側に発光のピークを有する構成とすることが好ましい。高い三重項励起エネルギー準位を有する材料を用いた発光素子は輝度劣化が早い傾向がある。そこで、短波長な発光を呈する発光層に T T A を用いることによって、輝度劣化の小さい発光素子を提供することができる。

【0257】

< 発光素子の構成例 2 >

次に、図 3 に示す発光素子と異なる構成例について、図 4 (A) (B) (C) を用いて、以下説明を行う。

40

【0258】

図 4 (A) は、発光素子 2 5 2 の断面模式図である。

【0259】

図 4 (A) に示す発光素子 2 5 2 は、一对の電極 (電極 1 0 1 及び電極 1 0 2) の間に E L 層 1 1 0 が挟まれた構造である。なお、発光素子 2 5 2 において、電極 1 0 1 が陽極として機能し、電極 1 0 2 が陰極として機能するとして、以下説明するが、発光素子 2 5 2 の構成としては、逆であっても構わない。

【0260】

また、E L 層 1 1 0 は、発光層 1 8 0 を有し、発光層 1 8 0 は、発光層 1 2 0 と、発光層 1 7 0 と、を有する。また、発光素子 2 5 2 おいて、E L 層 1 1 0 として、発光層の他

50

に、正孔注入層 1 1 1、正孔輸送層 1 1 2、電子輸送層 1 1 8、及び電子注入層 1 1 9 が図示されているが、これらの積層構造は一例であり、発光素子 2 5 2 における E L 層 1 1 0 の構成はこれらに限定されない。例えば、E L 層 1 1 0 において、上記各層の積層順を変えてもよい。または、E L 層 1 1 0 において、上記各層以外の機能層を設けてもよい。該機能層としては、例えば、正孔または電子の注入障壁を低減する機能、正孔または電子の輸送性を向上する機能、正孔または電子の輸送性を阻害する機能、正孔または電子を発生する機能、を有する構成であってもよい。

【0261】

また、図 4 (B) に示すように、発光層 1 2 0 は、ホスト材料 1 2 1 と、ゲスト材料 1 2 2 とを有する。また、発光層 1 7 0 は、ホスト材料 1 7 1 と、ゲスト材料 1 7 2 とを有する。ホスト材料 1 7 1 は、有機化合物 1 7 1 __ 1 と、有機化合物 1 7 1 __ 2 とを有する。なお、ゲスト材料 1 2 2 が蛍光材料、ゲスト材料 1 7 2 が燐光材料として、以下説明する。

10

【0262】

発光層 1 8 0 の発光機構

発光層 1 2 0 の発光機構としては、図 3 に示す発光層 1 2 0 と同様の発光機構である。また、発光層 1 7 0 の発光機構としては、実施の形態 1 に示す発光層 1 3 0 と同様の発光機構である。すなわち、ホスト材料 1 7 1、有機化合物 1 7 1 __ 1、有機化合物 1 7 1 __ 2、及びゲスト材料 1 7 2 は、ホスト材料 1 3 1、有機化合物 1 3 1 __ 1、及び有機化合物 1 3 1 __ 2、ゲスト材料 1 3 2、とそれぞれ同様の構成である。

20

【0263】

発光素子 2 5 2 に示すように、発光層 1 2 0 と、発光層 1 7 0 とが互いに接する構成を有する場合、発光層 1 2 0 と発光層 1 7 0 の界面において、励起錯体から発光層 1 2 0 のホスト材料 1 2 1 へのエネルギー移動（とくに三重項励起準位のエネルギー移動）が起こったとしても、発光層 1 2 0 にて上記三重項励起エネルギーを発光に変換することができる。

【0264】

なお、発光層 1 2 0 のホスト材料 1 2 1 の T 1 準位が、発光層 1 7 0 が有する有機化合物 1 7 1 __ 1 及び有機化合物 1 7 1 __ 2 の T 1 準位よりも低いと好ましい。また、発光層 1 2 0 において、ホスト材料 1 2 1 の S 1 準位がゲスト材料 1 2 2（蛍光材料）の S 1 準位よりも高く、且つ、ホスト材料 1 2 1 の T 1 準位がゲスト材料 1 2 2（蛍光材料）の T 1 準位よりも低いと好ましい。

30

【0265】

具体的には、発光層 1 2 0 に T T A を用い、発光層 1 7 0 に E x T E T を用いる場合のエネルギー準位の相関を図 4 (C) に示す。なお、図 4 (C) における表記及び符号は、以下の通りである。

- ・ F l u o r e s c e n c e E M L (1 2 0) : 発光層 1 2 0 (蛍光発光層)
- ・ P h o s p h o r e s c e n c e E M L (1 7 0) : 発光層 1 7 0 (燐光発光層)
- ・ H o s t (1 2 1) : ホスト材料 1 2 1
- ・ G u e s t (1 2 2) : ゲスト材料 1 2 2 (蛍光材料)
- ・ H o s t (1 7 1 __ 1) : ホスト材料 (有機化合物 1 7 1 __ 1)
- ・ G u e s t (1 7 2) : ゲスト材料 1 7 2 (燐光材料)
- ・ E x c i p l e x : 励起錯体 (有機化合物 1 7 1 __ 1 及び有機化合物 1 7 1 __ 2)
- ・ S _{FH} : ホスト材料 1 2 1 の S 1 準位
- ・ T _{FH} : ホスト材料 1 2 1 の T 1 準位
- ・ S _{FG} : ゲスト材料 1 2 2 (蛍光材料) の S 1 準位
- ・ T _{FG} : ゲスト材料 1 2 2 (蛍光材料) の T 1 準位
- ・ S _{PH} : ホスト材料 (有機化合物 1 7 1 __ 1) の S 1 準位
- ・ T _{PH} : ホスト材料 (有機化合物 1 7 1 __ 1) の T 1 準位
- ・ T _{PG} : ゲスト材料 1 7 2 (燐光材料) の T 1 準位

40

50

- ・ S_E : 励起錯体の S_1 準位
- ・ T_E : 励起錯体の T_1 準位

【0266】

図4(C)に示すように、励起錯体は励起状態でしか存在しないため、励起錯体と励起錯体との間の励起子拡散は生じにくい。また、励起錯体の励起エネルギー準位 (S_E 、 T_E) は、発光層170の有機化合物171__1(すなわち、燐光材料のホスト材料)の励起エネルギー準位 (S_{PH} 、 T_{PH}) よりも低いので、励起錯体から有機化合物171__1へのエネルギーの拡散も生じない。すなわち、燐光発光層(発光層170)内において、励起錯体の励起子拡散距離は短いため、燐光発光層(発光層170)の効率を保つことが可能となる。また、蛍光発光層(発光層120)と燐光発光層(発光層170)の界面において、燐光発光層(発光層170)の励起錯体の三重項励起エネルギーの一部が、蛍光発光層(発光層120)に拡散したとしても、その拡散によって生じた蛍光発光層(発光層120)の三重項励起エネルギーは、TTAを通じて発光に変換されるため、エネルギー損失を低減することが可能となる。

10

【0267】

以上のように、発光素子252は、発光層170にE×TETを利用し、且つ発光層120にTTAを利用することで、エネルギー損失が低減されるため、高い発光効率の発光素子とすることができる。また、発光素子252に示すように、発光層120と、発光層170とが互いに接する構成とする場合、上記エネルギー損失が低減されるとともに、EL層110の層数を低減させることができる。したがって、製造コストの少ない発光素子とすることができる。

20

【0268】

なお、発光層120と発光層170とは互いに接していない構成であっても良い。この場合、発光層170中で生成する、有機化合物171__1、有機化合物171__2、またはゲスト材料172(燐光材料)の励起状態から発光層120中のホスト材料121、またはゲスト材料122(蛍光材料)へのデクスター機構によるエネルギー移動(特に三重項エネルギー移動)を防ぐことができる。したがって、発光層120と発光層170との間に設ける層は数nm程度の厚さがあればよい。具体的には、1nm以上5nm以下であると、駆動電圧の上昇を抑制することができ好適である。

30

【0269】

発光層120と発光層170との間に設ける層は単一の材料で構成されていても良いが、正孔輸送性材料と電子輸送性材料の両方が含まれていても良い。単一の材料で構成する場合、バイポーラー性材料を用いても良い。ここでバイポーラー性材料とは、電子と正孔の移動度の比が100以下である材料を指す。また、正孔輸送性材料または電子輸送性材料などを使用しても良い。もしくは、そのうちの少なくとも一つは、発光層170のホスト材料(有機化合物171__1または有機化合物171__2)と同一の材料で形成しても良い。これにより、発光素子の作製が容易になり、また、駆動電圧が低減される。さらに、正孔輸送性材料と電子輸送性材料とで励起錯体を形成しても良く、これによって励起子の拡散を効果的に防ぐことができる。具体的には、発光層170のホスト材料(有機化合物171__1または有機化合物171__2)あるいはゲスト材料172(燐光材料)の励起状態から、発光層120のホスト材料121あるいはゲスト材料122(蛍光材料)へのエネルギー移動を防ぐことができる。

40

【0270】

また、発光素子252においては、発光層170が正孔輸送層112側、発光層120が電子輸送層118側として説明したが、本発明の一態様の発光素子としては、これに限定されず、発光層170が電子輸送層118側、発光層120が正孔輸送層112側であっても構わない。

【0271】

なお、発光素子252では、キャリアの再結合領域はある程度の分布を持って形成されることが好ましい。このため、発光層120または発光層170において、適度なキャリ

50

アトラップ性があることが好ましく、特に、発光層 170 が有するゲスト材料 172 (発光材料) が正孔トラップ性を有していることが好ましい。したがって、発光層 170 として、実施の形態 1 で示した発光層 130 の構成が好適である。

【0272】

なお、発光層 120 からの発光が、発光層 170 からの発光よりも短波長側に発光のピークを有する構成とすることが好ましい。短波長の発光を呈する燐光材料を用いた発光素子は輝度劣化が早い傾向がある。そこで、短波長の発光を蛍光発光とすることによって、輝度劣化の小さい発光素子を提供することができる。

【0273】

また、発光層 120 と発光層 170 とで異なる発光波長の光を得ることによって、多色発光の素子とすることができ、この場合、発光スペクトルは異なる発光ピークを有する発光が合成された光となるため、少なくとも二つの極大値を有する発光スペクトルとなる。

10

【0274】

また、上記の構成は白色発光を得るためにも好適である。発光層 120 と発光層 170 との光を互いに補色の関係とすることによって、白色発光を得ることができる。

【0275】

また、発光層 120 及び発光層 170 のいずれか一方または双方に、発光波長の異なる複数の発光材料を用いることによって、三原色や、4色以上の発光色からなる演色性の高い白色発光を得ることもできる。この場合、発光層を層状にさらに分割し、当該分割した層ごとに異なる発光材料を含有させるようにしても良い。

20

【0276】

< 発光層に用いることができる材料の例 >

次に、発光層 120、及び発光層 170 に用いることのできる材料について、以下説明する。

【0277】

発光層 120 に用いることのできる材料

発光層 120 中では、ホスト材料 121 が重量比で最も多く存在し、ゲスト材料 122 (蛍光材料) は、ホスト材料 121 中に分散される。ホスト材料 121 の S1 準位は、ゲスト材料 122 (蛍光材料) の S1 準位よりも高く、ホスト材料 121 の T1 準位は、ゲスト材料 122 (蛍光材料) の T1 準位よりも低いことが好ましい。

30

【0278】

発光層 120 において、ゲスト材料 122 としては、特に限定はないが、アントラセン誘導体、テトラセン誘導体、クリセン誘導体、フェナントレン誘導体、ピレン誘導体、ペリレン誘導体、スチルベン誘導体、アクリドン誘導体、クマリン誘導体、フェノキサジン誘導体、フェノチアジン誘導体などが好ましく、例えば以下の材料を用いることができる。

【0279】

具体的には、5,6-ビス[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-2,2'-ビピリジン(略称:PAP2BPy)、5,6-ビス[4'-(10-フェニル-9-アントリル)ピフェニル-4-イル]-2,2'-ビピリジン(略称:PAPP2BPy)、N,N'-ジフェニル-N,N'-ビス[4-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]ピレン-1,6-ジアミン(略称:1,6FLPAPrn)、N,N'-ビス(3-メチルフェニル)-N,N'-ビス[3-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]ピレン-1,6-ジアミン(略称:1,6mMemFLPAPrn)、N,N'-ビス[4-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]-N,N'-ビス(4-tert-ブチルフェニル)ピレン-1,6-ジアミン(略称:1,6tBu-FLPAPrn)、N,N'-ジフェニル-N,N'-ビス[4-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]-3,8-ジシクロヘキシルピレン-1,6-ジアミン(略称:ch-1,6FLPAPrn)、N,N'-ピ

40

50

ス [4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] - N , N ' - ジフェニルスチルベン - 4 , 4 ' - ジアミン (略称 : Y G A 2 S) 、 4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) - 4 ' - (10 - フェニル - 9 - アントリル) トリフェニルアミン (略称 : Y G A P A) 、 4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) - 4 ' - (9 , 10 - ジフェニル - 2 - アントリル) トリフェニルアミン (略称 : 2 Y G A P P A) 、 N , 9 - ジフェニル - N - [4 - (10 - フェニル - 9 - アントリル) フェニル] - 9 H - カルバゾール - 3 - アミン (略称 : P C A P A) 、 ペリレン、 2 , 5 , 8 , 11 - テトラ (t e r t - ブチル) ペリレン (略称 : T B P) 、 4 - (10 - フェニル - 9 - アントリル) - 4 ' - (9 - フェニル - 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 P A) 、 N , N ' ' - (2 - t e r t - ブチルアントラセン - 9 , 10 - ジイルジ - 4 , 1 - フェニレン) 10
 ビス [N , N ' , N ' - トリフェニル - 1 , 4 - フェニレンジアミン] (略称 : D P A B P A) 、 N , 9 - ジフェニル - N - [4 - (9 , 10 - ジフェニル - 2 - アントリル) フェニル] - 9 H - カルバゾール - 3 - アミン (略称 : 2 P C A P P A) 、 N - [4 - (9 , 10 - ジフェニル - 2 - アントリル) フェニル] - N , N ' , N ' - トリフェニル - 1 , 4 - フェニレンジアミン (略称 : 2 D P A P P A) 、 N , N , N ' , N ' , N ' ' , N ' ' , N ' ' ' , N ' ' ' - オクタフェニルジベンゾ [g , p] クリセン - 2 , 7 , 10 , 15 - テトラアミン (略称 : D B C 1) 、 クマリン 30 、 N - (9 , 10 - ジフェニル - 2 - アントリル) - N , 9 - ジフェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - アミン (略称 : 2 P C A P A) 、 N - [9 , 10 - ビス (1 , 1 ' - ビフェニル - 2 - イル) - 2 - アントリル] - N , 9 - ジフェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - アミン (略称 : 2 P C A B P h 20
 A) 、 N - (9 , 10 - ジフェニル - 2 - アントリル) - N , N ' , N ' - トリフェニル - 1 , 4 - フェニレンジアミン (略称 : 2 D P A P A) 、 N - [9 , 10 - ビス (1 , 1 ' - ビフェニル - 2 - イル) - 2 - アントリル] - N , N ' , N ' - トリフェニル - 1 , 4 - フェニレンジアミン (略称 : 2 D P A B P h A) 、 9 , 10 - ビス (1 , 1 ' - ビフェニル - 2 - イル) - N - [4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] - N - フェニルアントラセン - 2 - アミン (略称 : 2 Y G A B P h A) 、 N , N , 9 - トリフェニルアントラセン - 9 - アミン (略称 : D P h A P h A) 、 クマリン 6 、 クマリン 5 4 5 T 、 N , N ' - ジフェニルキナクリドン (略称 : D P Q d) 、 ルブレン、 2 , 8 - ジ - t e r t - ブチル - 5 , 11 - ビス (4 - t e r t - ブチルフェニル) - 6 , 12 - ジフェニルテトラセン (略称 : T B R b) 、 ナイルレッド、 5 , 12 - ビス (1 , 1 ' - ビフェニル - 4 - イル) - 6 , 11 - ジフェニルテトラセン (略称 : B P T) 、 2 - (2 - { 2 - [4 - (ジメチルアミノ) フェニル] エテニル } - 6 - メチル - 4 H - ピラン - 4 - イリデン) プロパンジニトリル (略称 : D C M 1) 、 2 - { 2 - メチル - 6 - [2 - (2 , 3 , 6 , 7 - テトラヒドロ - 1 H , 5 H - ベンゾ [i j] キノリジン - 9 - イル) エテニル] - 4 H - ピラン - 4 - イリデン } プロパンジニトリル (略称 : D C M 2) 、 N , N , N ' , N ' - テトラキス (4 - メチルフェニル) テトラセン - 5 , 11 - ジアミン (略称 : p - m P h T D) 、 7 , 14 - ジフェニル - N , N , N ' , N ' - テトラキス (4 - メチルフェニル) アセナフト [1 , 2 - a] フルオランテン - 3 , 10 - ジアミン (略称 : p - m P h A F D) 、 2 - { 2 - イソプロピル - 6 - [2 - (1 , 1 , 7 , 7 - テトラメチル - 2 , 3 , 6 , 7 - テトラヒドロ - 1 H , 5 H - ベンゾ [i j] キノリジン - 9 - イル) エテニル] - 4 H - ピラン - 4 - イリデン } プロパンジニトリル (略称 : D C J T I) 30
 、 2 - { 2 - t e r t - ブチル - 6 - [2 - (1 , 1 , 7 , 7 - テトラメチル - 2 , 3 , 6 , 7 - テトラヒドロ - 1 H , 5 H - ベンゾ [i j] キノリジン - 9 - イル) エテニル] - 4 H - ピラン - 4 - イリデン } プロパンジニトリル (略称 : D C J T B) 、 2 - (2 , 6 - ビス { 2 - [4 - (ジメチルアミノ) フェニル] エテニル } - 4 H - ピラン - 4 - イリデン) プロパンジニトリル (略称 : B i s D C M) 、 2 - { 2 , 6 - ビス [2 - (8 - メトキシ - 1 , 1 , 7 , 7 - テトラメチル - 2 , 3 , 6 , 7 - テトラヒドロ - 1 H , 5 H - ベンゾ [i j] キノリジン - 9 - イル) エテニル] - 4 H - ピラン - 4 - イリデン } プロパンジニトリル (略称 : B i s D C J T M) 、 5 , 10 , 15 , 20 - テトラフェニル 40
 ビスベンゾ [5 , 6] インデノ [1 , 2 , 3 - c d : 1 ' , 2 ' , 3 ' - l m] ペリレン 50

、などが挙げられる。

【0280】

また、発光層120において、ホスト材料121に用いることが可能な材料としては、特に限定はないが、例えば、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称: Alq)、トリス(4-メチル-8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称: Almq₃)、ビス(10-ヒドロキシベンゾ[h]キノリナト)ベリリウム(II)(略称: BeBq₂)、ビス(2-メチル-8-キノリノラト)(4-フェニルフェノラト)アルミニウム(III)(略称: BA1q)、ビス(8-キノリノラト)亜鉛(II)(略称: Znq)、ビス[2-(2-ベンゾオキサゾリル)フェノラト]亜鉛(II)(略称: ZnPBO)、ビス[2-(2-ベンゾチアゾリル)フェノラト]亜鉛(II)(略称: ZnBTZ)などの金属錯体、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)、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)、2,2',2''-(1,3,5-ベンゼントリイル)トリス(1-フェニル-1H-ベンゾイミダゾール)(略称: TPBI)、バソフェナントロリン(略称: BPhen)、バソキュプロイン(略称: BCP)、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)などの複素環化合物、4,4'-ビス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]ピフェニル(略称: NPBまたは-NPD)、N,N'-ビス(3-メチルフェニル)-N,N'-ジフェニル-[1,1'-ピフェニル]-4,4'-ジアミン(略称: TPD)、4,4'-ビス[N-(スピロ-9,9'-ピフルオレン-2-イル)-N-フェニルアミノ]ピフェニル(略称: BSPB)などの芳香族アミン化合物が挙げられる。また、アントラセン誘導体、フェナントレン誘導体、ピレン誘導体、クリセン誘導体、ジベンゾ[g,p]クリセン誘導体等の縮合多環芳香族化合物が挙げられ、具体的には、9,10-ジフェニルアントラセン(略称: DPAnth)、N,N-ジフェニル-9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール-3-アミン(略称: CzA1PA)、4-(10-フェニル-9-アントリル)トリフェニルアミン(略称: DPhPA)、4-(9H-カルバゾール-9-イル)-4'-(10-フェニル-9-アントリル)トリフェニルアミン(略称: YGAPA)、N,9-ジフェニル-N-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール-3-アミン(略称: PCAPA)、N,9-ジフェニル-N-{4-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]フェニル}-9H-カルバゾール-3-アミン(略称: PCAPBA)、N,9-ジフェニル-N-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-9H-カルバゾール-3-アミン(略称: 2PCAPA)、6,12-ジメトキシ-5,11-ジフェニルクリセン、N,N,N',N'',N''',N''',N''',N'''-オクタフェニルジベンゾ[g,p]クリセン-2,7,10,15-テトラアミン(略称: DBC1)、9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール(略称: CzPA)、3,6-ジフェニル-9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール(略称: DPCzPA)、9,10-ビス(3,5-ジフェニルフェニル)アントラセン(略称: DPPA)、9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン(略称: DNA)、2-tert-ブチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン(略称: t-BuDNA)、9,9'-ピアントリル(略称: BANT)、9,9'-(スチルベン-3,3'-ジイル)ジフェナントレン(略称: DPNS)、9,9'-(スチルベン-4,4'-ジイル)ジフェナントレン(略称: DPNS2)、1,3,5-トリ(1-ピレニル)ベンゼン(略称: TPB3)などを挙げることができる。また、これら及び公知の物質の中から、上記ゲスト材料122のエネルギーギャップより大きなエネルギーギャップを有する物質を、一種もしくは複数種選択して用いればよい。

【0281】

10

20

30

40

50

なお、発光層 120 は 2 層以上の複数層でもって構成することもできる。例えば、第 1 の発光層と第 2 の発光層を正孔輸送層側から順に積層して発光層 120 とする場合、第 1 の発光層のホスト材料として正孔輸送性を有する物質を用い、第 2 の発光層のホスト材料として電子輸送性を有する物質を用いる構成などがある。

【0282】

また、発光層 120 において、ホスト材料 121 は、一種の化合物から構成されていても良く、複数の化合物から構成されていても良い。あるいは、発光層 120 において、ホスト材料 121 およびゲスト材料 122 以外の材料を有していても良い。

【0283】

発光層 170 に用いることのできる材料

発光層 170 に用いることのできる材料としては、先の実施の形態 1 に示す発光層 130 に用いることのできる材料を援用すればよい。そうすることで、発光効率の高い発光素子を作製することができる。

【0284】

また、発光層 120、及び発光層 170 に含まれる発光材料の発光色に限定は無く、それぞれ同じでも異なっても良い。各々から得られる発光が混合されて素子外へ取り出されるので、例えば両者の発光色が互いに補色の関係にある場合、発光素子は白色の光を与えることができる。発光素子の信頼性を考慮すると、発光層 120 に含まれる発光材料の発光ピーク波長は発光層 170 に含まれる発光材料のそれよりも短いことが好ましい。

【0285】

なお、発光ユニット 106、発光ユニット 108、及び電荷発生層 115 は、蒸着法（真空蒸着法を含む）、インクジェット法、塗布法、グラビア印刷等の方法で形成することができる。

【0286】

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

【0287】

（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 に示す構成と異なる構成の発光素子の例について、図 5 乃至図 8 を用いて以下に説明する。

【0288】

< 発光素子の構成例 1 >

図 5 (A) (B) は、本発明の一態様の発光素子を示す断面図である。なお、図 5 (A) (B) において、図 1 (A) に示す符号と同様の機能を有する箇所には、同様のハッチパターンとし、符号を省略する場合がある。また、同様の機能を有する箇所には、同様の符号を付し、その詳細な説明は省略する場合がある。

【0289】

図 5 (A) (B) に示す発光素子 260 a 及び発光素子 260 b は、基板 200 側に光を取り出す下面射出（ボトムエミッション）型の発光素子であってもよく、基板 200 と反対方向に光を取り出す上面射出（トップエミッション）型の発光素子であってもよい。なお、本発明の一態様はこれに限定されず、発光素子が呈する光を基板 200 の上方および下方の双方に取り出す両面射出（デュアルエミッション）型の発光素子であっても良い。

【0290】

発光素子 260 a 及び発光素子 260 b が、ボトムエミッション型である場合、電極 101 は、光を透過する機能を有することが好ましい。また、電極 102 は、光を反射する機能を有することが好ましい。あるいは、発光素子 260 a 及び発光素子 260 b が、トップエミッション型である場合、電極 101 は、光を反射する機能を有することが好ましい。また、電極 102 は、光を透過する機能を有することが好ましい。

【0291】

10

20

30

40

50

発光素子 260a 及び発光素子 260b は、基板 200 上に電極 101 と、電極 102 とを有する。また、電極 101 と電極 102 との間に、発光層 123B と、発光層 123G と、発光層 123R と、を有する。また、正孔注入層 111 と、正孔輸送層 112 と、電子輸送層 118 と、電子注入層 119 と、を有する。

【0292】

また、発光素子 260b は、電極 101 の構成の一部として、導電層 101a と、導電層 101a 上の導電層 101b と、導電層 101a 下の導電層 101c とを有する。すなわち、発光素子 260b は、導電層 101a が、導電層 101b と、導電層 101c とで挟持された電極 101 の構成を有する。

【0293】

発光素子 260b において、導電層 101b と、導電層 101c とは、異なる材料で形成されてもよく、同じ材料で形成されても良い。電極 101 が、同じ導電性材料で挟持される構成を有する場合、電極 101 の形成過程におけるエッチング工程によるパターン形成が容易になるため好ましい。

【0294】

なお、発光素子 260b において、導電層 101b または導電層 101c において、いずれか一方のみを有する構成としてもよい。

【0295】

なお、電極 101 が有する導電層 101a、101b、及び 101c は、それぞれ実施の形態 1 で示した電極 101 または電極 102 と同様の構成および材料を用いることができる。

【0296】

図 5 (A) (B) においては、電極 101 と電極 102 とで挟持された領域 221B、領域 221G、及び領域 221R、の間に隔壁 145 を有する。隔壁 145 は、絶縁性を有する。隔壁 145 は、電極 101 の端部を覆い、該電極と重畳する開口部を有する。隔壁 145 を設けることによって、各領域の基板 200 上の電極 101 を、それぞれ島状に分離することが可能となる。

【0297】

なお、発光層 123B と、発光層 123G とは、隔壁 145 と重畳する領域において、互いに重なる領域を有していてもよい。あるいは、発光層 123G と、発光層 123R とは、隔壁 145 と重畳する領域において、互いに重なる領域を有していてもよい。あるいは、発光層 123R と、発光層 123B とは、隔壁 145 と重畳する領域において、互いに重なる領域を有していてもよい。

【0298】

隔壁 145 としては、絶縁性であればよく、無機材料または有機材料を用いて形成される。該無機材料としては、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム等が挙げられる。該有機材料としては、例えば、アクリル樹脂、またはポリイミド樹脂等の感光性の樹脂材料が挙げられる。

【0299】

なお、酸化窒化シリコン膜とは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多い膜を指し、好ましくは酸素が 55 原子% 以上 65 原子% 以下、窒素が 1 原子% 以上 20 原子% 以下、シリコンが 25 原子% 以上 35 原子% 以下、水素が 0.1 原子% 以上 10 原子% 以下の範囲で含まれる膜をいう。窒化酸化シリコン膜とは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多い膜を指し、好ましくは窒素が 55 原子% 以上 65 原子% 以下、酸素が 1 原子% 以上 20 原子% 以下、シリコンが 25 原子% 以上 35 原子% 以下、水素が 0.1 原子% 以上 10 原子% 以下の濃度範囲で含まれる膜をいう。

【0300】

また、発光層 123R、発光層 123G、及び発光層 123B は、それぞれ異なる色を呈する機能を有する発光材料を有することが好ましい。例えば、発光層 123R が赤色を呈する機能を有する発光材料を有することで、領域 221R は赤色の発光を呈し、発光層

10

20

30

40

50

1 2 3 G が緑色を呈する機能を有する発光材料を有することで、領域 2 2 1 G は緑色の発光を呈し、発光層 1 2 3 B が青色を呈する機能を有する発光材料を有することで、領域 2 2 1 B は青色の発光を呈する。このような構成を有する発光素子 2 6 0 a または発光素子 2 6 0 b を、表示装置の画素に用いることで、フルカラー表示が可能な表示装置を作製することができる。また、それぞれの発光層の膜厚は、同じであっても良いし、異なっても良い。

【0301】

また、発光層 1 2 3 B、発光層 1 2 3 G、及び発光層 1 2 3 R、のいずれか一つまたは複数の発光層は、実施の形態 1 で示した発光層 1 3 0 と同様の構成を有することが好ましい。そうすることで、発光効率の良好な発光素子を作製することができる。

10

【0302】

なお、発光層 1 2 3 B、発光層 1 2 3 G、発光層 1 2 3 R、のいずれか一つまたは複数の発光層は、2 層以上が積層された構成としても良い。

【0303】

以上のように、少なくとも一つの発光層が実施の形態 1 及び実施の形態 2 で示した発光層の構成を有し、該発光層を有する発光素子 2 6 0 a または発光素子 2 6 0 b を、表示装置の画素に用いることで、発光効率の高い表示装置を作製することができる。すなわち、発光素子 2 6 0 a または発光素子 2 6 0 b を有する表示装置は、消費電力を低減することができる。

【0304】

なお、光を取り出す電極の光を取り出す方向に、光学素子（例えば、カラーフィルタ、偏光板、反射防止膜等）を設けることで、発光素子 2 6 0 a 及び発光素子 2 6 0 b の色純度を向上させることができる。そのため、発光素子 2 6 0 a または発光素子 2 6 0 b を有する表示装置の色純度を高めることができる。あるいは、発光素子 2 6 0 a 及び発光素子 2 6 0 b の外光反射を低減することができる。そのため、発光素子 2 6 0 a または発光素子 2 6 0 b を有する表示装置のコントラスト比を高めることができる。

20

【0305】

なお、発光素子 2 6 0 a 及び発光素子 2 6 0 b における他の構成については、実施の形態 1、及び実施の形態 2 における発光素子の構成を参酌すればよい。

【0306】

< 発光素子の構成例 2 >

次に、図 5 (A) (B) に示す発光素子と異なる構成例について、図 6 (A) (B) を用いて、以下説明を行う。

30

【0307】

図 6 (A) (B) は、本発明の一態様の発光素子を示す断面図である。なお、図 6 (A) (B) において、図 5 (A) (B) に示す符号と同様の機能を有する箇所には、同様のハッチパターンとし、符号を省略する場合がある。また、同様の機能を有する箇所には、同様の符号を付し、その詳細な説明は省略する場合がある。

【0308】

図 6 (A) (B) は、一对の電極間に、発光層を有する発光素子の構成例である。図 6 (A) に示す発光素子 2 6 2 a は、基板 2 0 0 と反対の方向に光を取り出す上面射出（トップエミッション）型の発光素子、図 6 (B) に示す発光素子 2 6 2 b は、基板 2 0 0 側に光を取り出す下面射出（ボトムエミッション）型の発光素子である。ただし、本発明の一態様はこれに限定されず、発光素子が呈する光を発光素子が形成される基板 2 0 0 の上方および下方の双方に取り出す両面射出（デュアルエミッション）型であっても良い。

40

【0309】

発光素子 2 6 2 a 及び発光素子 2 6 2 b は、基板 2 0 0 上に電極 1 0 1 と、電極 1 0 2 と、電極 1 0 3 と、電極 1 0 4 とを有する。また、電極 1 0 1 と電極 1 0 2 との間、及び電極 1 0 2 と電極 1 0 3 との間、及び電極 1 0 2 と電極 1 0 4 との間に、少なくとも発光層 1 7 0 と、発光層 1 9 0 と、電荷発生層 1 1 5 とを有する。また、正孔注入層 1 1 1 と

50

、正孔輸送層 1 1 2 と、電子輸送層 1 1 3 と、電子注入層 1 1 4 と、正孔注入層 1 1 6 と、正孔輸送層 1 1 7 と、電子輸送層 1 1 8 と、電子注入層 1 1 9 と、を有する。

【0310】

また、電極 1 0 1 は、導電層 1 0 1 a と、導電層 1 0 1 a 上に接する導電層 1 0 1 b と、を有する。また、電極 1 0 3 は、導電層 1 0 3 a と、導電層 1 0 3 a 上に接する導電層 1 0 3 b と、を有する。電極 1 0 4 は、導電層 1 0 4 a と、導電層 1 0 4 a 上に接する導電層 1 0 4 b と、を有する。

【0311】

図 6 (A) に示す発光素子 2 6 2 a、及び図 6 (B) に示す発光素子 2 6 2 b は、電極 1 0 1 と電極 1 0 2 とで挟持された領域 2 2 2 B、電極 1 0 2 と電極 1 0 3 とで挟持された領域 2 2 2 G、及び電極 1 0 2 と電極 1 0 4 とで挟持された領域 2 2 2 R、の間に、隔壁 1 4 5 を有する。隔壁 1 4 5 は、絶縁性を有する。隔壁 1 4 5 は、電極 1 0 1、電極 1 0 3、及び電極 1 0 4 の端部を覆い、該電極と重畳する開口部を有する。隔壁 1 4 5 を設けることによって、各領域の基板 2 0 0 上の該電極を、それぞれ島状に分離することが可能となる。

10

【0312】

また、電荷発生層 1 1 5 としては、正孔輸送性材料に電子受容体 (アクセプター) が添加された材料、または電子輸送性材料に電子供与体 (ドナー) が添加された材料により、形成することができる。なお、電荷発生層 1 1 5 の導電率が一对の電極と同程度に高い場合、電荷発生層 1 1 5 によって発生したキャリアが、隣接する画素に流れて、隣接する画素が発光してしまう場合がある。したがって、隣接する画素が不正に発光することを抑制するためには、電荷発生層 1 1 5 は、一对の電極よりも導電率が低い材料で形成されると好ましい。

20

【0313】

また、発光素子 2 6 2 a 及び発光素子 2 6 2 b は、領域 2 2 2 B、領域 2 2 2 G、及び領域 2 2 2 R から呈される光が取り出される方向に、それぞれ光学素子 2 2 4 B、光学素子 2 2 4 G、及び光学素子 2 2 4 R を有する基板 2 2 0 を有する。各領域から呈される光は、各光学素子を介して発光素子外部に射出される。すなわち、領域 2 2 2 B から呈される光は、光学素子 2 2 4 B を介して射出され、領域 2 2 2 G から呈される光は、光学素子 2 2 4 G を介して射出され、領域 2 2 2 R から呈される光は、光学素子 2 2 4 R を介して

30

【0314】

また、光学素子 2 2 4 B、光学素子 2 2 4 G、及び光学素子 2 2 4 R は、入射される光から特定の色を呈する光を選択的に透過する機能を有する。例えば、光学素子 2 2 4 B を介して射出される領域 2 2 2 B から呈される光は、青色を呈する光となり、光学素子 2 2 4 G を介して射出される領域 2 2 2 G から呈される光は、緑色を呈する光となり、光学素子 2 2 4 R を介して射出される領域 2 2 2 R から呈される光は、赤色を呈する光となる。

【0315】

光学素子 2 2 4 R、光学素子 2 2 4 G、及び光学素子 2 2 4 B には、例えば、着色層 (カラーフィルタともいう)、バンドパスフィルタ、多層膜フィルタなどを適用できる。また、光学素子に色変換素子を適用することができる。色変換素子は、入射される光を、当該光の波長より長い波長の光に変換する光学素子である。色変換素子として、量子ドットを用いる素子であると好適である。量子ドットを用いることにより、表示装置の色再現性を高めることができる。

40

【0316】

なお、光学素子 2 2 4 R、光学素子 2 2 4 G、及び光学素子 2 2 4 B 上に他の光学素子を一または複数、重ねて設けてもよい。他の光学素子としては、例えば円偏光板や反射防止膜などを設けることができる。円偏光板を、表示装置の発光素子が発する光が取り出される側に設けると、表示装置の外部から入射した光が、表示装置の内部で反射されて、外部に射出される現象を防ぐことができる。また、反射防止膜を設けると、表示装置の表面

50

で反射される外光を弱めることができる。これにより、表示装置が発する発光を、鮮明に観察できる。

【0317】

なお、図6(A)(B)において、各光学素子を介して各領域から射出される光を、青色(B)を呈する光、緑色(G)を呈する光、赤色(R)を呈する光、として、それぞれ破線の矢印で模式的に図示している。

【0318】

また、各光学素子の間には、遮光層223を有する。遮光層223は、隣接する領域から発せられる光を遮光する機能を有する。なお、遮光層223を設けない構成としても良い。

10

【0319】

遮光層223としては、外光の反射を抑制する機能を有する。または、遮光層223としては、隣接する発光素子から発せられる光の混色を防ぐ機能を有する。遮光層223としては、金属、黒色顔料を含んだ樹脂、カーボンブラック、金属酸化物、複数の金属酸化物の固溶体を含む複合酸化物等を用いることができる。

【0320】

なお、光学素子224Bと、光学素子224Gとは、遮光層223と重畳する領域において、互いに重なる領域を有していても良い。あるいは、光学素子224Gと、光学素子224Rとは、遮光層223と重畳する領域において、互いに重なる領域を有していても良い。あるいは、光学素子224Rと、光学素子224Bとは、遮光層223と重畳する領域において、互いに重なる領域を有していても良い。

20

【0321】

また、基板200、及び光学素子を有する基板220の構成としては、実施の形態1を参照すればよい。

【0322】

さらに、発光素子262a及び発光素子262bは、マイクロキャビティ構造を有する。

【0323】

マイクロキャビティ構造

発光層170、及び発光層190から射出される光は、一对の電極(例えば、電極101と電極102)の間で共振される。また、発光層170及び発光層190は、射出される光のうち所望の波長の光が強まる位置に形成される。例えば、電極101の反射領域から発光層170の発光領域までの光学距離と、電極102の反射領域から発光層170の発光領域までの光学距離と、を調整することにより、発光層170から射出される光のうち所望の波長の光を強めることができる。また、電極101の反射領域から発光層190の発光領域までの光学距離と、電極102の反射領域から発光層190の発光領域までの光学距離と、を調整することにより、発光層190から射出される光のうち所望の波長の光を強めることができる。すなわち、複数の発光層(ここでは、発光層170及び発光層190)を積層する発光素子の場合、発光層170及び発光層190のそれぞれの光学距離を最適化することが好ましい。

30

40

【0324】

また、発光素子262a及び発光素子262bにおいては、各領域で導電層(導電層101b、導電層103b、及び導電層104b)の厚さを調整することで、発光層170及び発光層190から呈される光のうち所望の波長の光を強めることができる。なお、各領域で正孔注入層111及び正孔輸送層112のうち、少なくとも一つの厚さを異ならせることで、発光層170及び発光層190から呈される光を強めても良い。

【0325】

例えば、電極101乃至電極104において、光を反射する機能を有する導電性材料の屈折率が、発光層170または発光層190の屈折率よりも小さい場合においては、電極101が有する導電層101bの膜厚を、電極101と電極102との間の光学距離がm

50

m_B は自然数、 λ_B は領域 2 2 2 B で強める光の波長を、それぞれ表す) となるよう調整する。同様に、電極 1 0 3 が有する導電層 1 0 3 b の膜厚を、電極 1 0 3 と電極 1 0 2 との間の光学距離が $m_G \lambda_G / 2$ (m_G は自然数、 λ_G は領域 2 2 2 G で強める光の波長を、それぞれ表す) となるよう調整する。さらに、電極 1 0 4 が有する導電層 1 0 4 b の膜厚を、電極 1 0 4 と電極 1 0 2 との間の光学距離が $m_R \lambda_R / 2$ (m_R は自然数、 λ_R は領域 2 2 2 R で強める光の波長を、それぞれ表す) となるよう調整する。

【0326】

なお、電極 1 0 1 乃至電極 1 0 4 の反射領域を厳密に決定することが困難な場合、電極 1 0 1 乃至電極 1 0 4 の任意の領域を反射領域と仮定することで、発光層 1 7 0 または発光層 1 9 0 から射出される光を強める光学距離を導出してよい。また、発光層 1 7 0 および発光層 1 9 0 の発光領域を厳密に決定することは困難な場合、発光層 1 7 0 および発光層 1 9 0 の任意の領域を発光領域と仮定することで、発光層 1 7 0 および発光層 1 9 0 から射出される光を強める光学距離を導出してよい。

10

【0327】

上記のように、マイクロキャピティ構造を設け、各領域の一对の電極間の光学距離を調整することで、各電極近傍における光の散乱および光の吸収を抑制し、高い光取り出し効率を実現することができる。

【0328】

なお、上記構成においては、導電層 1 0 1 b、導電層 1 0 3 b、導電層 1 0 4 b は、光を透過する機能を有することが好ましい。また、導電層 1 0 1 b、導電層 1 0 3 b、導電層 1 0 4 b、を構成する材料は、互いに同じであっても良いし、異なっても良い。導電層 1 0 1 b、導電層 1 0 3 b、及び導電層 1 0 4 b に同じ材料を用いる場合、電極 1 0 1、電極 1 0 3、電極 1 0 4 の形成過程におけるエッチング工程によるパターン形成が容易になるため好ましい。また、導電層 1 0 1 b、導電層 1 0 3 b、導電層 1 0 4 b は、それぞれ 2 層以上の層が積層された構成であっても良い。

20

【0329】

なお、図 6 (A) に示す発光素子 2 6 2 a は、上面射出型の発光素子であるため、導電層 1 0 1 a、導電層 1 0 3 a、及び導電層 1 0 4 a は、光を反射する機能を有することが好ましい。また、電極 1 0 2 は、光を透過する機能と、光を反射する機能とを有することが好ましい。

30

【0330】

また、図 6 (B) に示す発光素子 2 6 2 b は、下面射出型の発光素子であるため、導電層 1 0 1 a、導電層 1 0 3 a、導電層 1 0 4 a は、光を透過する機能と、光を反射する機能と、を有することが好ましい。また、電極 1 0 2 は、光を反射する機能を有することが好ましい。

【0331】

また、発光素子 2 6 2 a 及び発光素子 2 6 2 b において、導電層 1 0 1 a、導電層 1 0 3 a、または導電層 1 0 4 a、に同じ材料を用いても良いし、異なる材料を用いても良い。導電層 1 0 1 a、導電層 1 0 3 a、導電層 1 0 4 a、に同じ材料を用いる場合、発光素子 2 6 2 a 及び発光素子 2 6 2 b の製造コストを低減できる。なお、導電層 1 0 1 a、導電層 1 0 3 a、導電層 1 0 4 a は、それぞれ 2 層以上の層が積層された構成であっても良い。

40

【0332】

また、発光素子 2 6 2 a 及び発光素子 2 6 2 b における発光層 1 7 0 及び発光層 1 9 0 の少なくとも一方には、実施の形態 1 及び実施の形態 2 で示した構成のうち少なくとも一を有することが好ましい。そうすることで、高い発光効率を示す発光素子を作製することができる。

【0333】

また、発光層 1 7 0 及び発光層 1 9 0 は、例えば発光層 1 9 0 a 及び発光層 1 9 0 b のように、一方または双方で 2 層が積層された構成としてもよい。2 層の発光層に、第 1 の

50

化合物及び第2の化合物という、異なる色を呈する機能を有する2種類の発光材料をそれぞれ用いることで、複数の色を含む発光を得ることができる。特に発光層170と、発光層190と、が呈する発光により、白色となるよう、各発光層に用いる発光材料を選択すると好ましい。

【0334】

また、発光層170または発光層190は、一方または双方で3層以上が積層された構成としても良く、発光材料を有さない層が含まれていても良い。

【0335】

以上のように、実施の形態1及び実施の形態2で示した発光層の構成を少なくとも一つ有する発光素子262aまたは発光素子262bを、表示装置の画素に用いることで、発光効率の高い表示装置を作製することができる。すなわち、発光素子262aまたは発光素子262bを有する表示装置は、消費電力を低減することができる。

10

【0336】

なお、発光素子262a及び発光素子262bにおける他の構成については、発光素子260aまたは発光素子260b、あるいは実施の形態1、及び実施の形態2で示した発光素子の構成を参酌すればよい。

【0337】

<発光素子の作製方法>

次に、本発明の一態様の発光素子の作製方法について、図7及び図8を用いて以下説明を行う。なお、ここでは、図6(A)に示す発光素子262aの作製方法について説明する。

20

【0338】

図7及び図8は、本発明の一態様の発光素子の作製方法を説明するための断面図である。

【0339】

以下で説明する発光素子262aの作製方法は、第1乃至第7の7つのステップを有する。

【0340】

第1のステップ

第1のステップは、発光素子の電極(具体的には、電極101を構成する導電層101a、電極103を構成する導電層103a、及び電極104を構成する導電層104a)を、基板200上に形成する工程である(図7(A)参照)。

30

【0341】

本実施の形態においては、基板200上に、光を反射する機能を有する導電層を形成し、該導電層を所望の形状に加工することで、導電層101a、導電層103a、及び導電層104aを形成する。上記光を反射する機能を有する導電層としては、銀とパラジウムと銅の合金膜(Ag-Pd-Cu膜、またはAPCともいう)を用いる。このように、導電層101a、導電層103a、及び導電層104aを、同一の導電層を加工する工程を経て形成することで、製造コストを安くすることができるため好適である。

【0342】

なお、第1のステップの前に、基板200上に複数のトランジスタを形成してもよい。また、該複数のトランジスタと、導電層101a、導電層103a、及び導電層104aとを、それぞれ電氣的に接続させてもよい。

40

【0343】

第2のステップ

第2のステップは、電極101を構成する導電層101a上に光を透過する機能を有する導電層101bを、電極103を構成する導電層103a上に光を透過する機能を有する導電層103bを、電極104を構成する導電層104a上に光を透過する機能を有する導電層104bを、形成する工程である(図7(B)参照)。

【0344】

50

本実施の形態においては、光を反射する機能を有する導電層101a、103a、及び104a、の上にそれぞれ、光を透過する機能を有する導電層101b、103b、及び104bを形成することで、電極101、電極103、及び電極104を形成する。上記の導電層101b、103b、及び104bとしては、ITSO膜を用いる。

【0345】

なお、光を透過する機能を有する導電層101b、103b、及び104bは、複数回に分けて形成してもよい。複数回に分けて形成することで、各領域で適したマイクロキャビティ構造となる膜厚で、導電層101b、103b、及び104bを形成することができる。

【0346】

第3のステップ

第3のステップは、発光素子の各電極の端部を覆う隔壁145を形成する工程である（図7（C）参照）。

【0347】

隔壁145は、電極と重なるように開口部を有する。該開口部によって露出する導電膜が発光素子の陽極として機能する。本実施の形態では、隔壁145として、ポリイミド樹脂を用いる。

【0348】

なお、第1乃至第3のステップにおいては、EL層（有機化合物を含む層）を損傷するおそれがないため、さまざまな成膜方法及び微細加工技術を適用できる。本実施の形態では、スパッタリング法を用いて反射性の導電層を成膜し、リソグラフィ法を用いて、該導電層にパターンを形成し、その後ドライエッチング法またはウエットエッチング法を用いて、該導電層を島状に加工することで、電極101を構成する導電層101a、電極103を構成する導電層103a、及び電極104を構成する導電層104a、を形成する。その後、スパッタリング法を用いて透明性を有する導電膜を成膜し、リソグラフィ法を用いて、該透明性を有する導電膜にパターンを形成し、その後ウエットエッチング法を用いて、該透明性を有する導電膜を島状に加工して、電極101、電極103、及び電極104を形成する。

【0349】

第4のステップ

第4のステップは、正孔注入層111、正孔輸送層112、発光層190、電子輸送層113、電子注入層114、及び電荷発生層115を形成する工程である（図8（A）参照）。

【0350】

正孔注入層111としては、正孔輸送性材料とアクセプター性物質を含む材料とを共蒸着することで形成することができる。なお、共蒸着とは、異なる複数の物質をそれぞれ異なる蒸発源から同時に蒸発させる蒸着法である。また、正孔輸送層112としては、正孔輸送性材料を蒸着することで形成することができる。

【0351】

発光層190としては、紫色、青色、青緑色、緑色、黄緑色、黄色、橙色、または赤色の中から選ばれる少なくとも一つの発光を呈するゲスト材料を蒸着することで形成することができる。ゲスト材料としては、蛍光または燐光を呈する発光性の有機材料を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で示した発光層の構成を用いることが好ましい。また、発光層190として、2層の構成としてもよい。その場合、2層の発光層は、それぞれ互いに異なる発光色を呈する発光材料を有することが好ましい。

【0352】

電子輸送層113としては、電子輸送性の高い物質を蒸着することで形成することができる。また、電子注入層114としては、電子注入性の高い物質を蒸着することで形成することができる。

【0353】

10

20

30

40

50

電荷発生層 115 としては、正孔輸送性材料に電子受容体（アクセプター）が添加された材料、または電子輸送性材料に電子供与体（ドナー）が添加された材料を蒸着することで形成することができる。

【0354】

第5のステップ

第5のステップは、正孔注入層 116、正孔輸送層 117、発光層 170、電子輸送層 118、電子注入層 119、及び電極 102 を形成する工程である（図 8（B）参照）。

【0355】

正孔注入層 116 としては、先に示す正孔注入層 111 と同様の材料及び同様の方法により形成することができる。また、正孔輸送層 117 としては、先に示す正孔輸送層 112 と同様の材料及び同様の方法により形成することができる。

10

【0356】

発光層 170 としては、紫色、青色、青緑色、緑色、黄緑色、黄色、橙色、または赤色の中から選ばれる少なくとも一つの発光を呈するゲスト材料を蒸着することで形成することができる。ゲスト材料としては、蛍光または燐光を呈する発光性の有機化合物を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 で示した発光層の構成を用いることが好ましい。なお、発光層 170 及び発光層 190 の少なくとも一方が、実施の形態 1 で示した発光層の構成を有することが好ましい。また、発光層 170 及び発光層 190 は、互いに異なる発光を呈する機能を有する発光性の有機化合物を有すると好ましい。

【0357】

20

電子輸送層 118 としては、先に示す電子輸送層 113 と同様の材料及び同様の方法により形成することができる。また、電子注入層 119 としては、先に示す電子注入層 114 と同様の材料及び同様の方法により形成することができる。

【0358】

電極 102 としては、反射性を有する導電膜と、透光性を有する導電膜を積層することで形成することができる。また、電極 102 としては、単層構造、または積層構造としてもよい。

【0359】

上記工程を経て、電極 101、電極 103、及び電極 104 上に、それぞれ領域 222 B、領域 222 G、及び領域 222 R を有する発光素子が基板 200 上に形成される。

30

【0360】

第6のステップ

第6のステップは、基板 220 上に遮光層 223、光学素子 224 B、光学素子 224 G、及び光学素子 224 R を形成する工程である（図 8（C）参照）。

【0361】

遮光層 223 としては、黒色顔料の含んだ樹脂膜を所望の領域に形成する。その後、基板 220 及び遮光層 223 上に、光学素子 224 B、光学素子 224 G、及び光学素子 224 R を形成する。光学素子 224 B としては、青色顔料の含んだ樹脂膜を所望の領域に形成する。また、光学素子 224 G としては、緑色顔料の含んだ樹脂膜を所望の領域に形成する。また、光学素子 224 R としては、赤色顔料の含んだ樹脂膜を所望の領域に形成する。

40

【0362】

第7のステップ

第7のステップは、基板 200 上に形成された発光素子と、基板 220 上に形成された遮光層 223、光学素子 224 B、光学素子 224 G、及び光学素子 224 R と、を貼り合わせ、シール材を用いて封止する工程である（図示しない）。

【0363】

以上の工程により、図 6（A）に示す発光素子 262 a を形成することができる。

【0364】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用

50

いることができる。

【0365】

(実施の形態4)

本実施の形態では、本発明の一態様の表示装置について、図9乃至図17を用いて説明する。

【0366】

<表示装置の構成例1>

図9(A)は表示装置600を示す上面図、図9(B)は図9(A)の一点鎖線A-B、及び一点鎖線C-Dで切断した断面図である。表示装置600は、駆動回路部(信号線駆動回路部601、及び走査線駆動回路部603)、並びに画素部602を有する。なお、信号線駆動回路部601、走査線駆動回路部603、及び画素部602は、発光素子の発光を制御する機能を有する。

10

【0367】

また、表示装置600は、素子基板610と、封止基板604と、シール材605と、シール材605で囲まれた領域607と、引き回し配線608と、FPC609と、を有する。

【0368】

なお、引き回し配線608は、信号線駆動回路部601及び走査線駆動回路部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FPC609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FPC609しか図示されていないが、FPC609にはプリント配線基板(PWB: Printed Wiring Board)が取り付けられていても良い。

20

【0369】

また、信号線駆動回路部601は、Nチャンネル型のトランジスタ623とPチャンネル型のトランジスタ624とを組み合わせたCMOS回路が形成される。なお、信号線駆動回路部601または走査線駆動回路部603は、種々のCMOS回路、PMOS回路、またはNMOS回路を用いることができる。また、本実施の形態では、基板上に駆動回路部を形成したドライバと画素とを同一の表面上に設けた表示装置を示すが、必ずしもその必要はなく、駆動回路部を基板上ではなく外部に形成することもできる。

【0370】

また、画素部602は、スイッチング用のトランジスタ611と、電流制御用のトランジスタ612と、電流制御用のトランジスタ612のドレインに電氣的に接続された下部電極613と、を有する。なお、下部電極613の端部を覆って隔壁614が形成されている。隔壁614としては、ポジ型の感光性アクリル樹脂膜を用いることができる。

30

【0371】

また、被覆性を良好にするため、隔壁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、隔壁614の材料としてポジ型の感光性アクリルを用いた場合、隔壁614の上端部のみに曲率半径(0.2 μ m以上3 μ m以下)を有する曲面を持たせることが好ましい。また、隔壁614として、ネガ型の感光性樹脂、また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

【0372】

なお、トランジスタ(トランジスタ611、612、623、624)の構造は、特に限定されない。例えば、スタガ型のトランジスタを用いてもよい。また、トランジスタの極性についても特に限定はなく、Nチャンネル型およびPチャンネル型のトランジスタを有する構造、及びNチャンネル型のトランジスタまたはPチャンネル型のトランジスタのいずれか一方のみからなる構造を用いてもよい。また、トランジスタに用いられる半導体膜の結晶性についても特に限定はない。例えば、非晶質半導体膜、結晶性半導体膜を用いることができる。また、半導体材料としては、14族(ケイ素等)半導体、化合物半導体(酸化物半導体を含む)、有機半導体等を用いることができる。トランジスタとしては、例えば、エネルギーギャップが2eV以上、好ましくは2.5eV以上、さらに好ましくは3eV

50

以上の酸化物半導体を用いることで、トランジスタのオフ電流を低減することができるため好ましい。該酸化物半導体としては、In-Ga酸化物、In-M-Zn酸化物（Mは、アルミニウム（Al）、ガリウム（Ga）、イットリウム（Y）、ジルコニウム（Zr）、ランタン（La）、セリウム（Ce）、錫（Sn）、ハフニウム（Hf）、またはネオジム（Nd）を表す）等が挙げられる。

【0373】

下部電極613上には、EL層616、および上部電極617がそれぞれ形成されている。なお、下部電極613は、陽極として機能し、上部電極617は、陰極として機能する。

【0374】

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。また、EL層616を構成する材料としては、低分子化合物、または高分子化合物（オリゴマー、 dendリマーを含む）であっても良い。

【0375】

なお、下部電極613、EL層616、及び上部電極617により、発光素子618が形成される。発光素子618は、実施の形態1乃至実施の形態3の構成を有する発光素子であると好ましい。なお、画素部に複数の発光素子が形成される場合、実施の形態1乃至実施の形態3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。

【0376】

また、シール材605で封止基板604を素子基板610と貼り合わせることにより、素子基板610、封止基板604、およびシール材605で囲まれた領域607に発光素子618が備えられた構造になっている。なお、領域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に用いることができる紫外線硬化樹脂または熱硬化樹脂で充填される場合もあり、例えば、PVC（ポリビニルクロライド）系樹脂、アクリル系樹脂、ポリイミド系樹脂、エポキシ系樹脂、シリコン系樹脂、PVB（ポリビニルブチラル）系樹脂、またはEVA（エチレンビニルアセテート）系樹脂を用いることができる。封止基板には凹部を形成し、そこに乾燥剤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。

【0377】

また、発光素子618と互いに重なるように、光学素子621が封止基板604の下方に設けられる。また、封止基板604の下方には、遮光層622が設けられる。光学素子621及び遮光層622としては、それぞれ、実施の形態3に示す光学素子、及び遮光層と同様の構成とすればよい。

【0378】

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にく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 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。

【0379】

以上のようにして、実施の形態1乃至実施の形態3に記載の発光素子及び光学素子を有する表示装置を得ることができる。

【0380】

<表示装置の構成例2>

次に、表示装置の別の一例について、図10（A）（B）及び図11を用いて説明を行う。なお、図10（A）（B）及び図11は、本発明の一態様の表示装置の断面図である。

【0381】

図10（A）には基板1001、下地絶縁膜1002、ゲート絶縁膜1003、ゲート

10

20

30

40

50

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、発光素子の下部電極 1024R、1024G、1024B、隔壁 1025、EL層 1028、発光素子の上部電極 1026、封止層 1029、封止基板 1031、シール材 1032などが図示されている。

【0382】

また、図10(A)では、光学素子の一例として、着色層(赤色の着色層 1034R、緑色の着色層 1034G、及び青色の着色層 1034B)を透明な基材 1033に設けている。また、遮光層 1035をさらに設けても良い。着色層及び遮光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、及び遮光層は、オーバーコート層 1036で覆われている。また、図10(A)においては、着色層を透過する光は赤、緑、青となることから、3色の画素で映像を表現することができる。

10

【0383】

図10(B)では、光学素子の一例として、着色層(赤色の着色層 1034R、緑色の着色層 1034G、青色の着色層 1034B)をゲート絶縁膜 1003と第1の層間絶縁膜 1020との間に形成する例を示している。このように、着色層は基板 1001と封止基板 1031の間に設けられていても良い。

【0384】

図11では、光学素子の一例として、着色層(赤色の着色層 1034R、緑色の着色層 1034G、青色の着色層 1034B)を第1の層間絶縁膜 1020と第2の層間絶縁膜 1021との間に形成する例を示している。このように、着色層は基板 1001と封止基板 1031の間に設けられていても良い。

20

【0385】

また、以上に説明した表示装置では、トランジスタ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)の表示装置としたが、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)の表示装置としても良い。

【0386】

<表示装置の構成例3>

トップエミッション型の表示装置の断面図の一例を図12(A)(B)に示す。図12(A)(B)は、本発明の一態様の表示装置を説明する断面図であり、図10(A)(B)及び図11に示す駆動回路部 1041、周辺部 1042等を省略して例示している。

30

【0387】

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。トランジスタ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表示装置と同様に形成する。その後、電極 1022を覆うように、第3の層間絶縁膜 1037を形成する。この絶縁膜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、他の様々な材料を用いて形成することができる。

【0388】

発光素子の下部電極 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12(A)(B)のようなトップエミッション型の表示装置である場合、下部電極 1024R、1024G、1024Bは光を反射する機能を有することが好ましい。また、EL層 1028上に上部電極 1026が設けられる。上部電極 1026は光を反射する機能と、光を透過する機能を有し、下部電極 1024R、1024G、1024Bと、上部電極 1026との間で、マイクロキャビティ構造を採用し、特定波長における光強度を増加させると好ましい。

40

【0389】

図12(A)のようなトップエミッションの構造では、着色層(赤色の着色層 1034R、緑色の着色層 1034G、及び青色の着色層 1034B)を設けた封止基板 1031で封止を行うことができる。封止基板 1031には画素と画素との間に位置するように遮光層 1035を設けても良い。なお、封止基板 1031は透光性を有する基板を用いると

50

好適である。

【0390】

また、図12(A)においては、複数の発光素子と、該複数の発光素子にそれぞれ着色層を設ける構成を例示したが、これに限定されない。例えば、図12(B)に示すように、緑色の着色層を設けずに、赤色の着色層1034R、及び青色の着色層1034Bを設けて、赤、緑、青の3色でフルカラー表示を行う構成としてもよい。図12(A)に示すように、発光素子と、該発光素子にそれぞれ着色層を設ける構成とした場合、外光反射を抑制できるといった効果を奏する。一方で、図12(B)に示すように、発光素子と、緑色の着色層を設けずに、赤色の着色層、及び青色の着色層を設ける構成とした場合、緑色の発光素子から射出された光のエネルギー損失が少ないため、消費電力を低くできるといった効果を奏する。

10

【0391】

<表示装置の構成例4>

以上に示す表示装置は、3色(赤色、緑色、青色)の副画素を有する構成を示したが、4色(赤色、緑色、青色、黄色、あるいは赤色、緑色、青色、白色)の副画素を有する構成としてもよい。図13乃至図15は、下部電極1024R、1024G、1024B、及び1024Yを有する表示装置の構成である。図13(A)(B)及び図14は、トランジスタ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)の表示装置であり、図15(A)(B)は、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)の表示装置である。

20

【0392】

図13(A)は、光学素子(着色層1034R、着色層1034G、着色層1034B、着色層1034Y)を透明な基材1033に設ける表示装置の例である。また、図13(B)は、光学素子(着色層1034R、着色層1034G、着色層1034B、着色層1034Y)をゲート絶縁膜1003と第1の層間絶縁膜1020との間に形成する表示装置の例である。また、図14は、光学素子(着色層1034R、着色層1034G、着色層1034B、着色層1034Y)を第1の層間絶縁膜1020と第2の層間絶縁膜1021との間に形成する表示装置の例である。

【0393】

着色層1034Rは赤色の光を透過し、着色層1034Gは緑色の光を透過し、着色層1034Bは青色の光を透過する機能を有する。また、着色層1034Yは黄色の光を透過する機能、あるいは青色、緑色、黄色、赤色の中から選ばれる複数の光を透過する機能を有する。着色層1034Yが青色、緑色、黄色、赤色の中から選ばれる複数の光を透過する機能を有する場合、着色層1034Yを透過した光は白色であってもよい。黄色あるいは白色の発光を呈する発光素子は発光効率が高いため、着色層1034Yを有する表示装置は、消費電力を低減することができる。

30

【0394】

また、図15に示すトップエミッション型の表示装置においては、下部電極1024Yを有する発光素子においても、図12(A)の表示装置と同様に、下部電極1024R、1024G、1024B、1024Yと、上部電極1026との間で、マイクロキャピティ構造を有する構成が好ましい。また、図15(A)の表示装置では、着色層(赤色の着色層1034R、緑色の着色層1034G、青色の着色層1034B、及び黄色の着色層1034Y)を設けた封止基板1031で封止を行うことができる。

40

【0395】

マイクロキャピティ、及び黄色の着色層1034Yを介して呈される発光は、黄色の領域に発光スペクトルを有する発光となる。黄色は視感度が高い色であるため、黄色の発光を呈する発光素子は発光効率が高い。すなわち、図15(A)の構成を有する表示装置は、消費電力を低減することができる。

【0396】

また、図15(A)においては、複数の発光素子と、該複数の発光素子にそれぞれ着色

50

層を設ける構成を例示したが、これに限定されない。例えば、図15(B)に示すように、黄色の着色層を設けずに、赤色の着色層1034R、緑色の着色層1034G、及び青色の着色層1034Bを設けて、赤、緑、青、黄の4色、または赤、緑、青、白の4色でフルカラー表示を行う構成としてもよい。図15(A)に示すように、発光素子と、該発光素子にそれぞれ着色層を設ける構成とした場合、外光反射を抑制できるといった効果を奏する。一方で、図15(B)に示すように、発光素子と、黄色の着色層を設けずに、赤色の着色層、緑色の着色層、及び青色の着色層を設ける構成とした場合、黄色または白色の発光素子から射出された光のエネルギー損失が少ないため、消費電力を低くできるといった効果を奏する。

【0397】

<表示装置の構成例5>

次に、本発明の他の一態様の表示装置について、図16に示す。図16は、図9(A)の一点鎖線A-B、及び一点鎖線C-Dで切断した断面図である。なお、図16において、図9(B)に示す符号と同様の機能を有する箇所には同様の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0398】

図16に示す表示装置600は、素子基板610、封止基板604、及びシール材605で囲まれた領域607に、封止層607a、封止層607b、封止層607cを有する。封止層607a、封止層607b、封止層607cのいずれか一つまたは複数には、例えば、PVC(ポリビニルクロライド)系樹脂、アクリル系樹脂、ポリイミド系樹脂、エポキシ系樹脂、シリコン系樹脂、PVB(ポリビニルブチラル)系樹脂、またはEVA(エチレンビニルアセテート)系樹脂等の樹脂を用いることができる。また、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム等の無機材料を用いてもよい。封止層607a、封止層607b、封止層607cを形成することで、水などの不純物による発光素子618の劣化を抑制することができ好ましい。なお、封止層607a、封止層607b、封止層607cを形成する場合、シール材605を設けなくてもよい。

【0399】

また、封止層607a、封止層607b、封止層607cは、いずれか一つまたは二つであってもよく、4つ以上の封止層が形成されてもよい。封止層を多層にすることで、水などの不純物が、表示装置600の外部から表示装置内部の発光素子618まで侵入するのを効果的に防ぐことができるため好ましい。なお、封止層が多層の場合、樹脂と無機材料とを積層させると好ましい構成である。

【0400】

<表示装置の構成例6>

また、本実施の形態における構成例1乃至構成例4に示す表示装置は、光学素子を有する構成を例示したが、本発明の一態様としては、光学素子を設けなくてもよい。

【0401】

図17(A)(B)に示す表示装置は、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)の表示装置である。図17(A)は、発光層1028R、発光層1028G、発光層1028B、を有する表示装置の例である。また、図17(B)は、発光層1028R、発光層1028G、発光層1028B、発光層1028Y、を有する表示装置の例である。

【0402】

発光層1028Rは、赤色の発光を呈し、発光層1028Gは、緑色の発光を呈し、発光層1028Bは、青色の発光を呈する機能を有する。また、発光層1028Yは、黄色の発光を呈する機能、または青色、緑色、赤色の中から選ばれる複数の発光を呈する機能を有する。発光層1028Yが呈する発光は、白色であってもよい。黄色あるいは白色の発光を呈する発光素子は発光効率が高いため、発光層1028Yを有する表示装置は、消費電力を低減することができる。

10

20

30

40

50

【0403】

図17(A)及び図17(B)に示す表示装置は、異なる色の発光を呈するEL層を副画素に有するため、光学素子となる着色層を設けなくてもよい。

【0404】

また、封止層1029は、例えば、PVC(ポリビニルクロライド)系樹脂、アクリル系樹脂、ポリイミド系樹脂、エポキシ系樹脂、シリコン系樹脂、PVB(ポリビニルブチラル)系樹脂、またはEVA(エチレンビニルアセテート)系樹脂等の樹脂を用いることができる。また、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム等の無機材料を用いてもよい。封止層1029を形成することで、水などの不純物による発光素子の劣化を抑制することができ好ましい。

10

【0405】

また、封止層1029は、いずれか一つまたは二つであってもよく、4つ以上の封止層が形成されてもよい。封止層を多層にすることで、水などの不純物が、表示装置の外部から表示装置内部まで侵入するのを効果的に防ぐことができるため好ましい。なお、封止層が多層の場合、樹脂と無機材料とを積層させると好ましい構成である。

【0406】

なお、封止基板1031は、発光素子を保護する機能を有するものであればよい。そのため、封止基板1031には、可撓性を有する基板やフィルムを用いることができる。

【0407】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態や本実施の形態中の他の構成と適宜組み合わせることが可能である。

20

【0408】

(実施の形態5)

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子を有する表示装置について、図18乃至図20を用いて説明を行う。

【0409】

なお、図18(A)は、本発明の一態様の表示装置を説明するブロック図であり、図18(B)は、本発明の一態様の表示装置が有する画素回路を説明する回路図である。

【0410】

<表示装置に関する説明>

30

図18(A)に示す表示装置は、表示素子の画素を有する領域(以下、画素部802という)と、画素部802の外側に配置され、画素を駆動するための回路を有する回路部(以下、駆動回路部804という)と、素子の保護機能を有する回路(以下、保護回路806という)と、端子部807と、を有する。なお、保護回路806は、設けない構成としてもよい。

【0411】

駆動回路部804の一部、または全部は、画素部802と同一基板上に形成されていることが望ましい。これにより、部品数や端子数を減らすことができる。駆動回路部804の一部、または全部が、画素部802と同一基板上に形成されていない場合には、駆動回路部804の一部、または全部は、COGやTAB(Tape Automated Bonding)によって、実装することができる。

40

【0412】

画素部802は、X行(Xは2以上の自然数)Y列(Yは2以上の自然数)に配置された複数の表示素子を駆動するための回路(以下、画素回路801という)を有し、駆動回路部804は、画素を選択する信号(走査信号)を出力する回路(以下、走査線駆動回路804aという)、画素の表示素子を駆動するための信号(データ信号)を供給するための回路(以下、信号線駆動回路804b)などの駆動回路を有する。

【0413】

走査線駆動回路804aは、シフトレジスタ等を有する。走査線駆動回路804aは、端子部807を介して、シフトレジスタを駆動するための信号が入力され、信号を出力す

50

る。例えば、走査線駆動回路 804 a は、スタートパルス信号、クロック信号等が入力され、パルス信号を出力する。走査線駆動回路 804 a は、走査信号が与えられる配線（以下、走査線 GL__1 乃至 GL__X という）の電位を制御する機能を有する。なお、走査線駆動回路 804 a を複数設け、複数の走査線駆動回路 804 a により、走査線 GL__1 乃至 GL__X を分割して制御してもよい。または、走査線駆動回路 804 a は、初期化信号を供給することができる機能を有する。ただし、これに限定されず、走査線駆動回路 804 a は、別の信号を供給することも可能である。

【0414】

信号線駆動回路 804 b は、シフトレジスタ等を有する。信号線駆動回路 804 b は、端子部 807 を介して、シフトレジスタを駆動するための信号の他、データ信号の元となる信号（画像信号）が入力される。信号線駆動回路 804 b は、画像信号を元に画素回路 801 に書き込むデータ信号を生成する機能を有する。また、信号線駆動回路 804 b は、スタートパルス、クロック信号等が入力されて得られるパルス信号に従って、データ信号の出力を制御する機能を有する。また、信号線駆動回路 804 b は、データ信号が与えられる配線（以下、データ線 DL__1 乃至 DL__Y という）の電位を制御する機能を有する。または、信号線駆動回路 804 b は、初期化信号を供給することができる機能を有する。ただし、これに限定されず、信号線駆動回路 804 b は、別の信号を供給することも可能である。

【0415】

信号線駆動回路 804 b は、例えば複数のアナログスイッチなどを用いて構成される。信号線駆動回路 804 b は、複数のアナログスイッチを順次オン状態にすることにより、画像信号を時分割した信号をデータ信号として出力できる。また、シフトレジスタなどを用いて信号線駆動回路 804 b を構成してもよい。

【0416】

複数の画素回路 801 のそれぞれは、走査信号が与えられる複数の走査線 GL の一つを介してパルス信号が入力され、データ信号が与えられる複数のデータ線 DL の一つを介してデータ信号が入力される。また、複数の画素回路 801 のそれぞれは、走査線駆動回路 804 a によりデータ信号のデータの書き込み及び保持が制御される。例えば、m 行 n 列目の画素回路 801 は、走査線 GL__m（m は X 以下の自然数）を介して走査線駆動回路 804 a からパルス信号が入力され、走査線 GL__m の電位に応じてデータ線 DL__n（n は Y 以下の自然数）を介して信号線駆動回路 804 b からデータ信号が入力される。

【0417】

図 18 (A) に示す保護回路 806 は、例えば、走査線駆動回路 804 a と画素回路 801 の間の配線である走査線 GL に接続される。または、保護回路 806 は、信号線駆動回路 804 b と画素回路 801 の間の配線であるデータ線 DL に接続される。または、保護回路 806 は、走査線駆動回路 804 a と端子部 807 との間の配線に接続することができる。または、保護回路 806 は、信号線駆動回路 804 b と端子部 807 との間の配線に接続することができる。なお、端子部 807 は、外部の回路から表示装置に電源及び制御信号、及び画像信号を入力するための端子が設けられた部分をいう。

【0418】

保護回路 806 は、自身が接続する配線に一定の範囲外の電位が与えられた場合に、該配線と別の配線とを導通状態にする回路である。

【0419】

図 18 (A) に示すように、画素部 802 と駆動回路部 804 にそれぞれ保護回路 806 を設けることにより、ESD (Electro Static Discharge: 静電気放電) などにより発生する過電流に対する表示装置の耐性を高めることができる。ただし、保護回路 806 の構成はこれに限定されず、例えば、走査線駆動回路 804 a に保護回路 806 を接続した構成、または信号線駆動回路 804 b に保護回路 806 を接続した構成とすることもできる。あるいは、端子部 807 に保護回路 806 を接続した構成とすることもできる。

10

20

30

40

50

【0420】

また、図18(A)においては、走査線駆動回路804aと信号線駆動回路804bによって駆動回路部804を形成している例を示しているが、この構成に限定されない。例えば、走査線駆動回路804aのみを形成し、別途用意された信号線駆動回路が形成された基板(例えば、単結晶半導体膜、多結晶半導体膜で形成された駆動回路基板)を実装する構成としても良い。

【0421】

<画素回路の構成例>

図18(A)に示す複数の画素回路801は、例えば、図18(B)に示す構成とすることができる。

【0422】

図18(B)に示す画素回路801は、トランジスタ852、854と、容量素子862と、発光素子872と、を有する。

【0423】

トランジスタ852のソース電極及びドレイン電極の一方は、データ信号が与えられる配線(データ線DL_n)に電氣的に接続される。さらに、トランジスタ852のゲート電極は、ゲート信号が与えられる配線(走査線GL_m)に電氣的に接続される。

【0424】

トランジスタ852は、データ信号のデータの書き込みを制御する機能を有する。

【0425】

容量素子862の一对の電極の一方は、電位が与えられる配線(以下、電位供給線VL_aという)に電氣的に接続され、他方は、トランジスタ852のソース電極及びドレイン電極の他方に電氣的に接続される。

【0426】

容量素子862は、書き込まれたデータを保持する保持容量としての機能を有する。

【0427】

トランジスタ854のソース電極及びドレイン電極の一方は、電位供給線VL_aに電氣的に接続される。さらに、トランジスタ854のゲート電極は、トランジスタ852のソース電極及びドレイン電極の他方に電氣的に接続される。

【0428】

発光素子872のアノード及びカソードの一方は、電位供給線VL_bに電氣的に接続され、他方は、トランジスタ854のソース電極及びドレイン電極の他方に電氣的に接続される。

【0429】

発光素子872としては、実施の形態1乃至実施の形態3に示す発光素子を用いることができる。

【0430】

なお、電位供給線VL_a及び電位供給線VL_bの一方には、高電源電位VDDが与えられ、他方には、低電源電位VSSが与えられる。

【0431】

図18(B)の画素回路801を有する表示装置では、例えば、図18(A)に示す走査線駆動回路804aにより各行の画素回路801を順次選択し、トランジスタ852をオン状態にしてデータ信号のデータを書き込む。

【0432】

データが書き込まれた画素回路801は、トランジスタ852がオフ状態になることで保持状態になる。さらに、書き込まれたデータ信号の電位に応じてトランジスタ854のソース電極とドレイン電極の間に流れる電流量が制御され、発光素子872は、流れる電流量に応じた輝度で発光する。これを行毎に順次行うことにより、画像を表示できる。

【0433】

また、画素回路に、トランジスタのしきい値電圧等の変動の影響を補正する機能を持た

10

20

30

40

50

せてもよい。図19(A)(B)及び図20(A)(B)に画素回路の一例を示す。

【0434】

図19(A)に示す画素回路は、6つのトランジスタ(トランジスタ303__1乃至303__6)と、容量素子304と、発光素子305と、を有する。また、図19(A)に示す画素回路には、配線301__1乃至301__5、並びに配線302__1及び配線302__2が電氣的に接続されている。なお、トランジスタ303__1乃至303__6については、例えばPチャネル型のトランジスタを用いることができる。

【0435】

図19(B)に示す画素回路は、図19(A)に示す画素回路に、トランジスタ303__7を追加した構成である。また、図19(B)に示す画素回路には、配線301__6及び配線301__7が電氣的に接続されている。ここで、配線301__5と配線301__6とは、それぞれ電氣的に接続されていてもよい。なお、トランジスタ303__7については、例えばPチャネル型のトランジスタを用いることができる。

10

【0436】

図20(A)に示す画素回路は、6つのトランジスタ(トランジスタ308__1乃至308__6)と、容量素子304と、発光素子305と、を有する。また、図20(A)に示す画素回路には、配線306__1乃至306__3、並びに配線307__1乃至307__3が電氣的に接続されている。ここで配線306__1と配線306__3とは、それぞれ電氣的に接続されていてもよい。なお、トランジスタ308__1乃至308__6については、例えばPチャネル型のトランジスタを用いることができる。

20

【0437】

図20(B)に示す画素回路は、2つのトランジスタ(トランジスタ309__1及びトランジスタ309__2)と、2つの容量素子(容量素子304__1及び容量素子304__2)と、発光素子305と、を有する。また、図20(B)に示す画素回路には、配線311__1乃至配線311__3、配線312__1、及び配線312__2が電氣的に接続されている。また、図20(B)に示す画素回路の構成とすることで、例えば、電圧入力-電流駆動方式(CVCC方式ともいう)とすることができる。なお、トランジスタ309__1及び309__2については、例えばPチャネル型のトランジスタを用いることができる。

【0438】

また、本発明の一態様の発光素子は、表示装置の画素に能動素子を有するアクティブマトリクス方式、または、表示装置の画素に能動素子を有しないパッシブマトリクス方式のそれぞれの方式に適用することができる。

30

【0439】

アクティブマトリクス方式では、能動素子(アクティブ素子、非線形素子)として、トランジスタだけでなく、さまざまな能動素子(アクティブ素子、非線形素子)を用いることができる。例えば、MIM(Metal Insulator Metal)、又はTFD(Thin Film Diode)などを用いることも可能である。これらの素子は、製造工程が少ないため、製造コストの低減、又は歩留まりの向上を図ることができる。または、これらの素子は、素子のサイズが小さいため、開口率を向上させることができ、低消費電力化や高輝度化をはかることができる。

40

【0440】

アクティブマトリクス方式以外として、能動素子(アクティブ素子、非線形素子)を用いないパッシブマトリクス型を用いることも可能である。能動素子(アクティブ素子、非線形素子)を用いないため、製造工程が少ないため、製造コストの低減、又は歩留まりの向上を図ることができる。または、能動素子(アクティブ素子、非線形素子)を用いないため、開口率を向上させることができ、低消費電力化、又は高輝度化などを行うことができる。

【0441】

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせることも

50

ができる。

【0442】

(実施の形態6)

本実施の形態においては、本発明の一態様の発光素子を有する表示装置、及び該表示装置に入力装置を取り付けた電子機器について、図21乃至図25を用いて説明を行う。

【0443】

<タッチパネルに関する説明1>

なお、本実施の形態において、電子機器の一例として、表示装置と、入力装置とを合わせたタッチパネル2000について説明する。また、入力装置の一例として、タッチセンサを有する場合について説明する。

【0444】

図21(A)(B)は、タッチパネル2000の斜視図である。なお、図21(A)(B)において、明瞭化のため、タッチパネル2000の代表的な構成要素を示す。

【0445】

タッチパネル2000は、表示装置2501とタッチセンサ2595とを有する(図21(B)参照)。また、タッチパネル2000は、基板2510、基板2570、及び基板2590を有する。なお、基板2510、基板2570、及び基板2590はいずれも可撓性を有する。ただし、基板2510、基板2570、及び基板2590のいずれか一つまたは全てが可撓性を有さない構成としてもよい。

【0446】

表示装置2501は、基板2510上に複数の画素及び該画素に信号を供給することができる複数の配線2511を有する。複数の配線2511は、基板2510の外周部にまで引き回され、その一部が端子2519を構成している。端子2519はFPC2509(1)と電気的に接続する。また、複数の配線2511は、信号線駆動回路2503s(1)からの信号を複数の画素に供給することができる。

【0447】

基板2590は、タッチセンサ2595と、タッチセンサ2595と電気的に接続する複数の配線2598とを有する。複数の配線2598は、基板2590の外周部に引き回され、その一部は端子を構成する。そして、該端子はFPC2509(2)と電気的に接続される。なお、図21(B)では明瞭化のため、基板2590の裏面側(基板2510と対向する面側)に設けられるタッチセンサ2595の電極や配線等を実線で示している。

【0448】

タッチセンサ2595として、例えば静電容量方式のタッチセンサを適用できる。静電容量方式としては、表面型静電容量方式、投影型静電容量方式等がある。

【0449】

投影型静電容量方式としては、主に駆動方式の違いから自己容量方式、相互容量方式などがある。相互容量方式を用いると同時多点検出が可能となるため好ましい。

【0450】

なお、図21(B)に示すタッチセンサ2595は、投影型静電容量方式のタッチセンサを適用した構成である。

【0451】

なお、タッチセンサ2595には、指等の検知対象の近接または接触を検知することができる、様々なセンサを適用することができる。

【0452】

投影型静電容量方式のタッチセンサ2595は、電極2591と電極2592とを有する。電極2591は、複数の配線2598のいずれかと電気的に接続し、電極2592は複数の配線2598の他のいずれかと電気的に接続する。

【0453】

電極2592は、図21(A)(B)に示すように、一方向に繰り返し配置された複数

10

20

30

40

50

の四辺形が角部で接続される形状を有する。

【0454】

電極2591は四辺形であり、電極2592が延在する方向と交差する方向に繰り返し配置されている。

【0455】

配線2594は、電極2592を挟む二つの電極2591と電氣的に接続する。この場合、電極2592と配線2594の交差部の面積ができるだけ小さくなる形状が好ましい。これにより、電極が設けられていない領域の面積を低減でき、透過率のバラツキを低減できる。その結果、タッチセンサ2595を透過する光の輝度のバラツキを低減することができる。

10

【0456】

なお、電極2591及び電極2592の形状はこれに限定されず、様々な形状を取りうる。例えば、複数の電極2591をできるだけ隙間が生じないように配置し、絶縁層を介して電極2592を、電極2591と重ならない領域ができるように離間して複数設ける構成としてもよい。この場合、隣接する二つの電極2592の間に、これらとは電氣的に絶縁されたダミー電極を設けると、透過率の異なる領域の面積を低減できるため好ましい。

【0457】

<表示装置に関する説明>

次に、図22(A)を用いて、表示装置2501の詳細について説明する。図22(A)は、図21(B)に示す一点鎖線X1-X2間の断面図に相当する。

20

【0458】

表示装置2501は、マトリクス状に配置された複数の画素を有する。該画素は表示素子と、該表示素子を駆動する画素回路とを有する。

【0459】

以下の説明においては、白色の光を射出する発光素子を表示素子に適用する場合について説明するが、表示素子はこれに限定されない。例えば、隣接する画素毎に射出する光の色が異なるように、発光色が異なる発光素子を適用してもよい。

【0460】

基板2510及び基板2570としては、例えば、水蒸気の透過率が $1 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 以下である可撓性を有する材料を好適に用いることができる。または、基板2510の熱膨張率と、基板2570の熱膨張率とが、およそ等しい材料を用いると好適である。例えば、線膨張率が $1 \times 10^{-3} / \text{K}$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{-5} / \text{K}$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{-5} / \text{K}$ 以下である材料を好適に用いることができる。

30

【0461】

なお、基板2510は、発光素子への不純物の拡散を防ぐ絶縁層2510aと、可撓性基板2510bと、絶縁層2510a及び可撓性基板2510bを貼り合わせる接着層2510cと、を有する積層体である。また、基板2570は、発光素子への不純物の拡散を防ぐ絶縁層2570aと、可撓性基板2570bと、絶縁層2570a及び可撓性基板2570bを貼り合わせる接着層2570cと、を有する積層体である。

40

【0462】

接着層2510c及び接着層2570cとしては、例えば、ポリエステル、ポリオレフィン、ポリアミド(ナイロン、アラミド等)、ポリイミド、ポリカーボネートまたはアクリル樹脂、ポリウレタン、エポキシ樹脂を用いることができる。もしくは、シリコンなどのシロキサン結合を有する樹脂を含む材料を用いることができる。

【0463】

また、基板2510と基板2570との間に封止層2560を有する。封止層2560は、空気より大きい屈折率を有すると好ましい。また、図22(A)に示すように、封止層2560側に光を取り出す場合は、封止層2560は光学的な接合層を兼ねることがで

50

きる。

【0464】

また、封止層2560の外周部にシール材を形成してもよい。当該シール材を用いることにより、基板2510、基板2570、封止層2560、及びシール材で囲まれた領域に発光素子2550Rを有する構成とすることができる。なお、封止層2560として、不活性気体（窒素やアルゴン等）を充填してもよい。また、当該不活性気体内に、乾燥剤を設けて、水分等を吸着させる構成としてもよい。あるいは、アクリルやエポキシ等の樹脂によって充填してもよい。また、上述のシール材としては、例えば、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、シール材に用いる材料としては、水分や酸素を透過しない材料を用いると好適である。

10

【0465】

また、表示装置2501は、画素2502Rを有する。また、画素2502Rは発光モジュール2580Rを有する。

【0466】

画素2502Rは、発光素子2550Rと、発光素子2550Rに電力を供給することができるトランジスタ2502tとを有する。なお、トランジスタ2502tは、画素回路の一部として機能する。また、発光モジュール2580Rは、発光素子2550Rと、着色層2567Rとを有する。

【0467】

発光素子2550Rは、下部電極と、上部電極と、下部電極と上部電極の間にEL層とを有する。発光素子2550Rとして、例えば、実施の形態1乃至実施の形態3に示す発光素子を適用することができる。

20

【0468】

また、下部電極と上部電極との間で、マイクロキャピティ構造を採用し、特定波長における光強度を増加させてもよい。

【0469】

また、封止層2560が光を取り出す側に設けられている場合、封止層2560は、発光素子2550Rと着色層2567Rに接する。

【0470】

着色層2567Rは、発光素子2550Rと重なる位置にある。これにより、発光素子2550Rが発する光の一部は着色層2567Rを透過して、図中に示す矢印の方向の発光モジュール2580Rの外部に射出される。

30

【0471】

また、表示装置2501には、光を射出する方向に遮光層2567BMが設けられる。遮光層2567BMは、着色層2567Rを囲むように設けられている。

【0472】

着色層2567Rとしては、特定の波長領域の光を透過する機能を有していればよく、例えば、赤色の波長領域の光を透過するカラーフィルタ、緑色の波長領域の光を透過するカラーフィルタ、青色の波長領域の光を透過するカラーフィルタ、黄色の波長領域の光を透過するカラーフィルタなどを用いることができる。各カラーフィルタは、様々な材料を用いて、印刷法、インクジェット法、フォトリソグラフィ技術を用いたエッチング方法などで形成することができる。

40

【0473】

また、表示装置2501には、絶縁層2521が設けられる。絶縁層2521はトランジスタ2502tを覆う。なお、絶縁層2521は、画素回路に起因する凹凸を平坦化するための機能を有する。また、絶縁層2521に不純物の拡散を抑制できる機能を付与してもよい。これにより、不純物の拡散によるトランジスタ2502t等の信頼性の低下を抑制できる。

【0474】

また、発光素子2550Rは、絶縁層2521の上方に形成される。また、発光素子2

50

550Rが有する下部電極には、該下部電極の端部に重なる隔壁2528が設けられる。なお、基板2510と、基板2570との間隔を制御するスペーサを、隔壁2528上に形成してもよい。

【0475】

走査線駆動回路2503g(1)は、トランジスタ2503tと、容量素子2503cとを有する。なお、駆動回路を画素回路と同一の工程で同一基板上に形成することができる。

【0476】

また、基板2510上には、信号を供給することができる配線2511が設けられる。また、配線2511上には、端子2519が設けられる。また、端子2519には、FPC2509(1)が電氣的に接続される。また、FPC2509(1)は、ビデオ信号、クロック信号、スタート信号、リセット信号等を供給する機能を有する。なお、FPC2509(1)にはプリント配線基板(PWB)が取り付けられていてもよい。

10

【0477】

また、表示装置2501には、様々な構造のトランジスタを適用することができる。図22(A)においては、ボトムゲート型のトランジスタを適用する場合について、例示しているが、これに限定されず、例えば、図22(B)に示す、トップゲート型のトランジスタを表示装置2501に適用する構成としてもよい。

【0478】

また、トランジスタ2502t及びトランジスタ2503tの極性については、特に限定はなく、Nチャネル型およびPチャネル型のトランジスタを有する構造、Nチャネル型のトランジスタまたはPチャネル型のトランジスタのいずれか一方のみからなる構造を用いてもよい。また、トランジスタ2502t及び2503tに用いられる半導体膜の結晶性についても特に限定はない。例えば、非晶質半導体膜、結晶性半導体膜を用いることができる。また、半導体材料としては、14族の半導体(例えば、ケイ素を有する半導体)、化合物半導体(酸化物半導体を含む)、有機半導体等を用いることができる。トランジスタ2502t及びトランジスタ2503tのいずれか一方または双方に、エネルギーギャップが2eV以上、好ましくは2.5eV以上、さらに好ましくは3eV以上の酸化物半導体を用いることで、トランジスタのオフ電流を低減することができるため好ましい。当該酸化物半導体としては、In-Ga酸化物、In-M-Zn酸化物(Mは、Al、Ga、Y、Zr、La、Ce、Sn、Hf、またはNdを表す)等が挙げられる。

20

30

【0479】

<タッチセンサに関する説明>

次に、図22(C)を用いて、タッチセンサ2595の詳細について説明する。図22(C)は、図21(B)に示す一点鎖線X3-X4間の断面図に相当する。

【0480】

タッチセンサ2595は、基板2590上に千鳥状に配置された電極2591及び電極2592と、電極2591及び電極2592を覆う絶縁層2593と、隣り合う電極2591を電氣的に接続する配線2594とを有する。

【0481】

電極2591及び電極2592は、透光性を有する導電材料を用いて形成する。透光性を有する導電性材料としては、酸化インジウム、インジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、酸化亜鉛、ガリウムを添加した酸化亜鉛などの導電性酸化物を用いることができる。なお、グラフェンを含む膜を用いることもできる。グラフェンを含む膜は、例えば膜状に形成された酸化グラフェンを含む膜を還元して形成することができる。還元する方法としては、熱を加える方法等を挙げることができる。

40

【0482】

例えば、透光性を有する導電性材料を基板2590上にスパッタリング法により成膜した後、フォトリソグラフィ法等の様々なパターン形成技術により、不要な部分を除去して、電極2591及び電極2592を形成することができる。

50

【0483】

また、絶縁層2593に用いる材料としては、例えば、アクリル、エポキシなどの樹脂、シロキサン結合を有する樹脂の他、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウムなどの無機絶縁材料を用いることもできる。

【0484】

また、電極2591に達する開口が絶縁層2593に設けられ、配線2594が隣接する電極2591と電氣的に接続する。透光性の導電性材料は、タッチパネルの開口率を高めることができるため、配線2594に好適に用いることができる。また、電極2591及び電極2592より導電性の高い材料は、電気抵抗を低減できるため配線2594に好適に用いることができる。

10

【0485】

電極2592は、一方向に延在し、複数の電極2592がストライプ状に設けられている。また、配線2594は電極2592と交差して設けられている。

【0486】

一对の電極2591が1つの電極2592を挟んで設けられる。また、配線2594は一对の電極2591を電氣的に接続している。

【0487】

なお、複数の電極2591は、1つの電極2592と必ずしも直交する方向に配置される必要はなく、0度より大きく90度未満の角度をなすように配置されてもよい。

【0488】

また、配線2598は、電極2591または電極2592と電氣的に接続される。また、配線2598の一部は、端子として機能する。配線2598としては、例えば、アルミニウム、金、白金、銀、ニッケル、チタン、タンゲステン、クロム、モリブデン、鉄、コバルト、銅、またはパラジウム等の金属材料や、該金属材料を含む合金材料を用いることができる。

20

【0489】

なお、絶縁層2593及び配線2594を覆う絶縁層を設けて、タッチセンサ2595を保護してもよい。

【0490】

また、接続層2599は、配線2598とFPC2509(2)を電氣的に接続させる。

30

【0491】

接続層2599としては、異方性導電フィルム(ACF: Anisotropic Conductive Film)や、異方性導電ペースト(ACP: Anisotropic Conductive Paste)などを用いることができる。

【0492】

<タッチパネルに関する説明2>

次に、図23(A)を用いて、タッチパネル2000の詳細について説明する。図23(A)は、図21(A)に示す一点鎖線X5-X6間の断面図に相当する。

【0493】

図23(A)に示すタッチパネル2000は、図22(A)で説明した表示装置2501と、図22(C)で説明したタッチセンサ2595と、を貼り合わせた構成である。

40

【0494】

また、図23(A)に示すタッチパネル2000は、図22(A)及び図22(C)で説明した構成の他、接着層2597と、反射防止層2567pと、を有する。

【0495】

接着層2597は、配線2594と接して設けられる。なお、接着層2597は、タッチセンサ2595が表示装置2501に重なるように、基板2590を基板2570に貼り合わせている。また、接着層2597は、透光性を有すると好ましい。また、接着層2597としては、熱硬化性樹脂、または紫外線硬化樹脂を用いることができる。例えば、

50

アクリル系樹脂、ウレタン系樹脂、エポキシ系樹脂、またはシロキサン系樹脂を用いることができる。

【0496】

反射防止層2567pは、画素に重なる位置に設けられる。反射防止層2567pとして、例えば円偏光板を用いることができる。

【0497】

次に、図23(A)に示す構成と異なる構成のタッチパネルについて、図23(B)を用いて説明する。

【0498】

図23(B)は、タッチパネル2001の断面図である。図23(B)に示すタッチパネル2001は、図23(A)に示すタッチパネル2000と、表示装置2501に対するタッチセンサ2595の位置が異なる。ここでは異なる構成について詳細に説明し、同様の構成を用いることができる部分は、タッチパネル2000の説明を援用する。

10

【0499】

着色層2567Rは、発光素子2550Rと重なる位置にある。また、図23(B)に示す発光素子2550Rは、トランジスタ2502tが設けられている側に光を射出する。これにより、発光素子2550Rが発する光の一部は、着色層2567Rを透過して、図中に示す矢印の方向の発光モジュール2580Rの外部に射出される。

【0500】

また、タッチセンサ2595は、表示装置2501の基板2510側に設けられている。

20

【0501】

接着層2597は、基板2510と基板2590の間にあり、表示装置2501とタッチセンサ2595を貼り合わせる。

【0502】

図23(A)(B)に示すように、発光素子から射出される光は、基板2510側及び基板2570側のいずれか一方または双方を通して射出されればよい。

【0503】

<タッチパネルの駆動方法に関する説明>

次に、タッチパネルの駆動方法の一例について、図24(A)(B)を用いて説明を行う。

30

【0504】

図24(A)は、相互容量方式のタッチセンサの構成を示すブロック図である。図24(A)では、パルス電圧出力回路2601、電流検出回路2602を示している。なお、図24(A)では、パルス電圧が与えられる電極2621をX1-X6として、電流の変化を検知する電極2622をY1-Y6として、それぞれ6本の配線で例示している。また、図24(A)は、電極2621と、電極2622とが重畳することで形成される容量2603を示している。なお、電極2621と電極2622とはその機能を互いに置き換えてもよい。

【0505】

40

パルス電圧出力回路2601は、X1-X6の配線に順にパルスを印加するための回路である。X1-X6の配線にパルス電圧が印加されることで、容量2603を形成する電極2621と電極2622との間に電界が生じる。この電極間に生じる電界が遮蔽等により容量2603の相互容量に変化を生じさせることを利用して、被検知体の近接、または接触を検出することができる。

【0506】

電流検出回路2602は、容量2603での相互容量の変化による、Y1-Y6の配線での電流の変化を検出するための回路である。Y1-Y6の配線では、被検知体の近接、または接触がないと検出される電流値に変化はないが、検出する被検知体の近接、または接触により相互容量が減少する場合には電流値が減少する変化を検出する。なお電流の検

50

出は、積分回路等を用いて行えばよい。

【0507】

次に、図24(B)には、図24(A)で示す相互容量方式のタッチセンサにおける入出力波形のタイミングチャートを示す。図24(B)では、1フレーム期間で各行列での被検知体の検出を行うとする。また図24(B)では、被検知体を検出しない場合(非タッチ)と被検知体を検出する場合(タッチ)との2つの場合について示している。なお、図24(B)では、Y1 - Y6の配線で検出される電流値に対応する電圧値の波形を示している。

【0508】

X1 - X6の配線には、順にパルス電圧が与えられ、該パルス電圧にしたがってY1 - Y6の配線での波形が変化する。被検知体の近接または接触がない場合には、X1 - X6の配線の電圧の変化に応じてY1 - Y6の波形が一様に変化する。一方、被検知体が近接または接触する箇所では、電流値が減少するため、これに対応する電圧値の波形も変化する。

10

【0509】

このように、相互容量の変化を検出することにより、被検知体の近接または接触を検知することができる。

【0510】

<センサ回路に関する説明>

また、図24(A)ではタッチセンサとして配線の交差部に容量2603のみを設けるパッシブマトリクス型のタッチセンサの構成を示したが、トランジスタと容量とを有するアクティブマトリクス型のタッチセンサとしてもよい。アクティブマトリクス型のタッチセンサに含まれるセンサ回路の一例を図25に示す。

20

【0511】

図25に示すセンサ回路は、容量2603と、トランジスタ2611と、トランジスタ2612と、トランジスタ2613とを有する。

【0512】

トランジスタ2613はゲートに信号G2が与えられ、ソースまたはドレインの一方に電圧VRESが与えられ、他方が容量2603の一方の電極およびトランジスタ2611のゲートと電氣的に接続する。トランジスタ2611は、ソースまたはドレインの一方がトランジスタ2612のソースまたはドレインの一方と電氣的に接続し、他方に電圧VSSが与えられる。トランジスタ2612は、ゲートに信号G1が与えられ、ソースまたはドレインの他方が配線MLと電氣的に接続する。容量2603の他方の電極には電圧VSSが与えられる。

30

【0513】

次に、図25に示すセンサ回路の動作について説明する。まず、信号G2としてトランジスタ2613をオン状態とする電位が与えられることで、トランジスタ2611のゲートが接続されるノードnに電圧VRESに対応した電位が与えられる。次に、信号G2としてトランジスタ2613をオフ状態とする電位が与えられることで、ノードnの電位が保持される。

40

【0514】

続いて、指等の被検知体の近接または接触により、容量2603の相互容量が変化することに伴い、ノードnの電位がVRESから変化する。

【0515】

読み出し動作は、信号G1にトランジスタ2612をオン状態とする電位を与える。ノードnの電位に応じてトランジスタ2611に流れる電流、すなわち配線MLに流れる電流が変化する。この電流を検出することにより、被検知体の近接または接触を検出することができる。

【0516】

トランジスタ2611、トランジスタ2612、及びトランジスタ2613としては、

50

酸化物半導体層をチャネル領域が形成される半導体層に用いることが好ましい。とくにトランジスタ 2613 にこのようなトランジスタを適用することにより、ノード n の電位を長期間に亘って保持することが可能となり、ノード n に VRES を供給しなおす動作（リフレッシュ動作）の頻度を減らすことができる。

【0517】

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

【0518】

（実施の形態 7）

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子を有する表示モジュール及び電子機器について、図 26 乃至図 29 を用いて説明を行う。

10

【0519】

< 表示モジュールに関する説明 >

図 26 に示す表示モジュール 8000 は、上部カバー 8001 と下部カバー 8002 との間に、FPC 8003 に接続されたタッチセンサ 8004、FPC 8005 に接続された表示装置 8006、フレーム 8009、プリント基板 8010、バッテリー 8011 を有する。

【0520】

本発明の一態様の発光素子は、例えば、表示装置 8006 に用いることができる。

【0521】

上部カバー 8001 及び下部カバー 8002 は、タッチセンサ 8004 及び表示装置 8006 のサイズに合わせて、形状や寸法を適宜変更することができる。

20

【0522】

タッチセンサ 8004 は、抵抗膜方式または静電容量方式のタッチセンサを表示装置 8006 に重畳して用いることができる。また、表示装置 8006 の対向基板（封止基板）に、タッチセンサ機能を持たせるようにすることも可能である。また、表示装置 8006 の各画素内に光センサを設け、光学式のタッチセンサとすることも可能である。

【0523】

フレーム 8009 は、表示装置 8006 の保護機能の他、プリント基板 8010 の動作により発生する電磁波を遮断するための電磁シールドとしての機能を有する。またフレーム 8009 は、放熱板としての機能を有していてもよい。

30

【0524】

プリント基板 8010 は、電源回路、ビデオ信号及びクロック信号を出力するための信号処理回路を有する。電源回路に電力を供給する電源としては、外部の商用電源であっても良いし、別途設けたバッテリー 8011 による電源であってもよい。バッテリー 8011 は、商用電源を用いる場合には、省略可能である。

【0525】

また、表示モジュール 8000 は、偏光板、位相差板、プリズムシートなどの部材を追加して設けてもよい。

【0526】

40

< 電子機器に関する説明 >

図 27 (A) 乃至図 27 (G) は、電子機器を示す図である。これらの電子機器は、筐体 9000、表示部 9001、スピーカ 9003、操作キー 9005（電源スイッチ、又は操作スイッチを含む）、接続端子 9006、センサ 9007（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、に問い又は赤外線を測定する機能を含む）、マイクロフォン 9008、等を有することができる。また、センサ 9007 は、脈拍センサや指紋センサ等のように生体情報を測定する機能を有してもよい。

【0527】

図 27 (A) 乃至図 27 (G) に示す電子機器は、様々な機能を有することができる。

50

例えば、様々な情報（静止画、動画、テキスト画像など）を表示部に表示する機能、タッチセンサ機能、カレンダー、日付または時刻などを表示する機能、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、無線通信機能、無線通信機能を用いて様々なコンピュータネットワークに接続する機能、無線通信機能を用いて様々なデータの送信または受信を行う機能、記録媒体に記録されているプログラムまたはデータを読み出して表示部に表示する機能、等を有することができる。なお、図27（A）乃至図27（G）に示す電子機器が有することのできる機能はこれらに限定されず、様々な機能を有することができる。また、図27（A）乃至図27（G）には図示していないが、電子機器には、複数の表示部を有する構成としてもよい。また、該電子機器にカメラ等を設け、静止画を撮影する機能、動画を撮影する機能、撮影した画像を記録媒体（外部またはカメラに内蔵）に保存する機能、撮影した画像を表示部に表示する機能、等を有していてもよい。

10

【0528】

図27（A）乃至図27（G）に示す電子機器の詳細について、以下説明を行う。

【0529】

図27（A）は、携帯情報端末9100を示す斜視図である。携帯情報端末9100が有する表示部9001は、可撓性を有する。そのため、湾曲した筐体9000の湾曲面に沿って表示部9001を組み込むことが可能である。また、表示部9001はタッチセンサを備え、指やスタイラスなどで画面に触れることで操作することができる。例えば、表示部9001に表示されたアイコンに触れることで、アプリケーションを起動することができる。

20

【0530】

図27（B）は、携帯情報端末9101を示す斜視図である。携帯情報端末9101は、例えば電話機、手帳又は情報閲覧装置等から選ばれた一つ又は複数の機能を有する。具体的には、スマートフォンとして用いることができる。なお、携帯情報端末9101は、スピーカ9003、接続端子9006、センサ9007等を省略して図示しているが、図27（A）に示す携帯情報端末9100と同様の位置に設けることができる。また、携帯情報端末9101は、文字や画像情報をその複数の面に表示することができる。例えば、3つの操作ボタン9050（操作アイコンまたは単にアイコンともいう）を表示部9001の一の面に表示することができる。また、破線の矩形で示す情報9051を表示部9001の他の面に表示することができる。なお、情報9051の一例としては、電子メールやSNS（ソーシャル・ネットワーキング・サービス）や電話などの着信を知らせる表示、電子メールやSNSなどの題名、電子メールやSNSなどの送信者名、日時、時刻、バッテリーの残量、アンテナ受信の強度などがある。または、情報9051が表示されている位置に、情報9051の代わりに、操作ボタン9050などを表示してもよい。

30

【0531】

図27（C）は、携帯情報端末9102を示す斜視図である。携帯情報端末9102は、表示部9001の3面以上に情報を表示する機能を有する。ここでは、情報9052、情報9053、情報9054がそれぞれ異なる面に表示されている例を示す。例えば、携帯情報端末9102の使用者は、洋服の胸ポケットに携帯情報端末9102を収納した状態で、その表示（ここでは情報9053）を確認することができる。具体的には、着信した電話の発信者の電話番号又は氏名等を、携帯情報端末9102の上方から観察できる位置に表示する。使用者は、携帯情報端末9102をポケットから取り出すことなく、表示を確認し、電話を受けるか否かを判断できる。

40

【0532】

図27（D）は、腕時計型の携帯情報端末9200を示す斜視図である。携帯情報端末9200は、移動電話、電子メール、文章閲覧及び作成、音楽再生、インターネット通信、コンピュータゲームなどの種々のアプリケーションを実行することができる。また、表示部9001はその表示面が湾曲して設けられ、湾曲した表示面に沿って表示を行うことができる。また、携帯情報端末9200は、通信規格された近距離無線通信を実行することが可能である。例えば無線通信可能なヘッドセットと相互通信することによって、ハン

50

ズフリーで通話することもできる。また、携帯情報端末 9200 は、接続端子 9006 を有し、他の情報端末とコネクタを介して直接データのやりとりを行うことができる。また接続端子 9006 を介して充電を行うこともできる。なお、充電動作は接続端子 9006 を介さずに無線給電により行ってもよい。

【0533】

図 27 (E) (F) (G) は、折り畳み可能な携帯情報端末 9201 を示す斜視図である。また、図 27 (E) が携帯情報端末 9201 を展開した状態の斜視図であり、図 27 (F) が携帯情報端末 9201 を展開した状態または折り畳んだ状態の一方から他方に変化する途中の状態の斜視図であり、図 27 (G) が携帯情報端末 9201 を折り畳んだ状態の斜視図である。携帯情報端末 9201 は、折り畳んだ状態では可搬性に優れ、展開した状態では、継ぎ目のない広い表示領域により表示の一覧性に優れる。携帯情報端末 9201 が有する表示部 9001 は、ヒンジ 9055 によって連結された 3 つの筐体 9000 に支持されている。ヒンジ 9055 を介して 2 つの筐体 9000 間を屈曲させることにより、携帯情報端末 9201 を展開した状態から折りたたんだ状態に可逆的に変形させることができる。例えば、携帯情報端末 9201 は、曲率半径 1 mm 以上 150 mm 以下で曲げることができる。

10

【0534】

また、電子機器としては、例えば、テレビジョン装置（テレビ、又はテレビジョン受信機ともいう）、コンピュータ用などのモニタ、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機（携帯電話、携帯電話装置ともいう）、ゴーグル型ディスプレイ（ヘッドマウントディスプレイ）、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。

20

【0535】

図 28 (A) にテレビジョン装置の一例を示す。テレビジョン装置 9300 は、筐体 9000 に表示部 9001 が組み込まれている。ここでは、スタンド 9301 により筐体 9000 を支持した構成を示している。

【0536】

図 28 (A) に示すテレビジョン装置 9300 の操作は、筐体 9000 が備える操作スイッチや、別体のリモコン操作機 9311 により行うことができる。または、表示部 9001 にタッチセンサを備えていてもよく、指等で表示部 9001 に触れることで操作してもよい。リモコン操作機 9311 は、当該リモコン操作機 9311 から出力する情報を表示する表示部を有していてもよい。リモコン操作機 9311 が備える操作キー又はタッチパネルにより、チャンネルや音量の操作を行うことができ、表示部 9001 に表示される映像を操作することができる。

30

【0537】

なお、テレビジョン装置 9300 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る。また、モデムを介して有線又は無線による通信ネットワークに接続することにより、一方向（送信者から受信者）又は双方向（送信者と受信者間、あるいは受信者間同士など）の情報通信を行うことも可能である。

【0538】

また、本発明の一態様の電子機器又は照明装置は可撓性を有するため、家屋やビルの内壁もしくは外壁、又は、自動車の内装もしくは外装の曲面に沿って組み込むことも可能である。

40

【0539】

図 28 (B) に自動車 9700 の外観を示す。図 28 (C) に自動車 9700 の運転席を示す。自動車 9700 は、車体 9701、車輪 9702、ダッシュボード 9703、ライト 9704 等を有する。本発明の一態様の表示装置又は発光装置等は、自動車 9700 の表示部などに用いることができる。例えば、図 28 (C) に示す表示部 9710 乃至表示部 9715 に本発明の一態様の表示装置又は発光装置等を設けることができる。

【0540】

50

表示部 9710 と表示部 9711 は、自動車のフロントガラスに設けられた表示装置である。本発明の一態様の表示装置又は発光装置等は、電極や配線を、透光性を有する導電性材料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とすることができる。表示部 9710 や表示部 9711 がシースルー状態であれば、自動車 9700 の運転時にも視界の妨げになることがない。よって、本発明の一態様の表示装置又は発光装置等を自動車 9700 のフロントガラスに設置することができる。なお、表示装置又は発光装置等を駆動するためのトランジスタなどを設ける場合には、有機半導体材料を用いた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よい。

【0541】

10

表示部 9712 はピラー部分に設けられた表示装置である。例えば、車体に設けられた撮像手段からの映像を表示部 9712 に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。表示部 9713 はダッシュボード部分に設けられた表示装置である。例えば、車体に設けられた撮像手段からの映像を表示部 9713 に映し出すことによって、ダッシュボードで遮られた視界を補完することができる。すなわち、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。また、見えない部分を補完する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。

【0542】

20

また、図 28 (D) は、運転席と助手席にベンチシートを採用した自動車の室内を示している。表示部 9721 は、ドア部に設けられた表示装置である。例えば、車体に設けられた撮像手段からの映像を表示部 9721 に映し出すことによって、ドアで遮られた視界を補完することができる。また、表示部 9722 は、ハンドルに設けられた表示装置である。表示部 9723 は、ベンチシートの座面の中央部に設けられた表示装置である。なお、表示装置を座面や背もたれ部分などに設置して、当該表示装置を、当該表示装置の発熱を熱源としたシートヒーターとして利用することもできる。

【0543】

30

表示部 9714、表示部 9715、または表示部 9722 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。また、表示部に表示される表示項目やレイアウトなどは、使用者の好みに合わせて適宜変更することができる。なお、上記情報は、表示部 9710 乃至表示部 9713、表示部 9721、表示部 9723 にも表示することができる。また、表示部 9710 乃至表示部 9715、表示部 9721 乃至表示部 9723 は照明装置として用いることも可能である。また、表示部 9710 乃至表示部 9715、表示部 9721 乃至表示部 9723 は加熱装置として用いることも可能である。

【0544】

また、本発明の一態様の電子機器は、二次電池を有していてもよく、非接触電力伝送を用いて、二次電池を充電することができる。と好ましい。

【0545】

40

二次電池としては、例えば、ゲル状電解質を用いるリチウムポリマー電池（リチウムイオンポリマー電池）等のリチウムイオン二次電池、リチウムイオン電池、ニッケル水素電池、ニカド電池、有機ラジカル電池、鉛蓄電池、空気二次電池、ニッケル亜鉛電池、銀亜鉛電池などが挙げられる。

【0546】

本発明の一態様の電子機器は、アンテナを有していてもよい。アンテナで信号を受信することで、表示部で映像や情報等の表示を行うことができる。また、電子機器が二次電池を有する場合、アンテナを、非接触電力伝送に用いてもよい。

【0547】

図 29 (A) (B) に示す表示装置 9500 は、複数の表示パネル 9501 と、軸部 9511 と、軸受部 9512 と、を有する。また、複数の表示パネル 9501 は、表示領域

50

9502と、透光性を有する領域9503と、を有する。

【0548】

また、複数の表示パネル9501は、可撓性を有する。また、隣接する2つの表示パネル9501は、それらの一部が互いに重なるように設けられる。例えば、隣接する2つの表示パネル9501の透光性を有する領域9503を重ね合わせることができる。複数の表示パネル9501を用いることで、大画面の表示装置とすることができる。また、使用状況に応じて、表示パネル9501を巻き取ることが可能であるため、汎用性に優れた表示装置とすることができる。

【0549】

また、図29(A)(B)においては、表示領域9502が隣接する表示パネル9501で離間する状態を図示しているが、これに限定されず、例えば、隣接する表示パネル9501の表示領域9502を隙間なく重ねあわせることで、連続した表示領域9502としてもよい。

【0550】

本実施の形態において述べた電子機器は、何らかの情報を表示するための表示部を有する。ただし、本発明の一態様の発光素子は、表示部を有さない電子機器にも適用することができる。また、本実施の形態において述べた電子機器の表示部においては、可撓性を有し、湾曲した表示面に沿って表示を行うことができる構成、または折り畳み可能な表示部の構成について例示したが、これに限定されず、可撓性を有さず、平面部に表示を行う構成としてもよい。

【0551】

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

【0552】

(実施の形態8)

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子を有する発光装置について、図30及び図31を用いて説明する。

【0553】

本実施の形態で示す、発光装置3000の斜視図を図30(A)に、図30(A)に示す一点鎖線E-F間に相当する断面図を図30(B)に、それぞれ示す。なお、図30(A)において、図面の煩雑さを避けるために、構成要素の一部を破線で表示している。

【0554】

図30(A)(B)に示す発光装置3000は、基板3001と、基板3001上の発光素子3005と、発光素子3005の外周に設けられた第1の封止領域3007と、第1の封止領域3007の外周に設けられた第2の封止領域3009と、を有する。

【0555】

また、発光素子3005からの発光は、基板3001及び基板3003のいずれか一方または双方から射出される。図30(A)(B)においては、発光素子3005からの発光が下方側(基板3001側)に射出される構成について説明する。

【0556】

また、図30(A)(B)に示すように、発光装置3000は、発光素子3005が第1の封止領域3007と、第2の封止領域3009とに、囲まれて配置される二重封止構造である。二重封止構造とすることで、発光素子3005側に入り込む外部の不純物(例えば、水、酸素など)を、好適に抑制することができる。ただし、第1の封止領域3007及び第2の封止領域3009を、必ずしも設ける必要はない。例えば、第1封止領域3007のみの構成としてもよい。

【0557】

なお、図30(B)において、第1の封止領域3007及び第2の封止領域3009は、基板3001及び基板3003と接して設けられる。ただし、これに限定されず、例えば、第1の封止領域3007及び第2の封止領域3009の一方または双方は、基板30

10

20

30

40

50

01の上方に形成される絶縁膜、あるいは導電膜と接して設けられる構成としてもよい。または、第1の封止領域3007及び第2の封止領域3009の一方または双方は、基板3003の下方に形成される絶縁膜、あるいは導電膜と接して設けられる構成としてもよい。

【0558】

基板3001及び基板3003としては、それぞれ先の実施の形態に記載の基板200と、基板220と同様の構成とすればよい。発光素子3005としては、先の実施の形態に記載の発光素子と同様の構成とすればよい。

【0559】

第1の封止領域3007としては、ガラスを含む材料（例えば、ガラスフリット、ガラスリボン等）を用いればよい。また、第2の封止領域3009としては、樹脂を含む材料を用いればよい。第1の封止領域3007として、ガラスを含む材料を用いることで、生産性や封止性を高めることができる。また、第2の封止領域3009として、樹脂を含む材料を用いることで、耐衝撃性や耐熱性を高めることができる。ただし、第1の封止領域3007と、第2の封止領域3009とは、これに限定されず、第1の封止領域3007が樹脂を含む材料で形成され、第2の封止領域3009がガラスを含む材料で形成されてもよい。

10

【0560】

また、上述のガラスフリットとしては、例えば、酸化マグネシウム、酸化カルシウム、酸化ストロンチウム、酸化バリウム、酸化セシウム、酸化ナトリウム、酸化カリウム、酸化ホウ素、酸化バナジウム、酸化亜鉛、酸化テルル、酸化アルミニウム、二酸化珪素、酸化鉛、酸化スズ、酸化リン、酸化ルテニウム、酸化ロジウム、酸化鉄、酸化銅、二酸化マンガ、酸化モリブデン、酸化ニオブ、酸化チタン、酸化タンゲステン、酸化ビスマス、酸化ジルコニウム、酸化リチウム、酸化アンチモン、ホウ酸鉛ガラス、リン酸スズガラス、バナジン酸塩ガラス又はホウケイ酸ガラス等を含む。赤外光を吸収させるため、少なくとも一種以上の変移金属を含むことが好ましい。

20

【0561】

また、上述のガラスフリットとしては、例えば、基板上にフリットペーストを塗布し、これに加熱処理、またはレーザ照射などを行う。フリットペーストには、上記ガラスフリットと、有機溶媒で希釈した樹脂（バインダとも呼ぶ）とが含まれる。また、ガラスフリットにレーザ光の波長の光を吸収する吸収剤を添加しても良い。また、レーザとして、例えば、Nd:YAGレーザや半導体レーザなどを用いることが好ましい。また、レーザ照射の際のレーザの照射形状は、円形でも四角形でもよい。

30

【0562】

また、上述の樹脂を含む材料としては、例えば、ポリエステル、ポリオレフィン、ポリアミド（ナイロン、アラミド等）、ポリイミド、ポリカーボネートまたはアクリル樹脂、ポリウレタン、エポキシ樹脂を用いることができる。もしくは、シリコンなどのシロキサン結合を有する樹脂を含む材料を用いることができる。

【0563】

なお、第1の封止領域3007及び第2の封止領域3009のいずれか一方または双方にガラスを含む材料を用いる場合、当該ガラスを含む材料と、基板3001との熱膨張率が近いことが好ましい。上記構成とすることで、熱応力によりガラスを含む材料または基板3001にクラックが入るのを抑制することができる。

40

【0564】

例えば、第1の封止領域3007にガラスを含む材料を用い、第2の封止領域3009に樹脂を含む材料を用いる場合、以下の優れた効果を有する。

【0565】

第2の封止領域3009は、第1の封止領域3007よりも、発光装置3000の外周部に近い側に設けられる。発光装置3000は、外周部に向かうにつれ、外力等による歪みが大きくなる。よって、歪みが大きくなる発光装置3000の外周部側、すなわち第2

50

の封止領域 3009 に、樹脂を含む材料によって封止し、第 2 の封止領域 3009 よりも内側に設けられる第 1 の封止領域 3007 にガラスを含む材料を用いて封止することで、外力等の歪みが生じてても発光装置 3000 が壊れにくくなる。

【0566】

また、図 30 (B) に示すように、基板 3001、基板 3003、第 1 の封止領域 3007、及び第 2 の封止領域 3009 に囲まれた領域には、第 1 の領域 3011 が形成される。また、基板 3001、基板 3003、発光素子 3005、及び第 1 の封止領域 3007 に囲まれた領域には、第 2 の領域 3013 が形成される。

【0567】

第 1 の領域 3011 及び第 2 の領域 3013 としては、例えば、希ガスまたは窒素ガス等の不活性ガスが充填されていると好ましい。あるいは、アクリルやエポキシ等の樹脂が充填されていると好ましい。なお、第 1 の領域 3011 及び第 2 の領域 3013 としては、大気圧状態よりも減圧状態であると好ましい。

【0568】

また、図 30 (B) に示す構成の変形例を図 30 (C) に示す。図 30 (C) は、発光装置 3000 の変形例を示す断面図である。

【0569】

図 30 (C) は、基板 3003 の一部に凹部を設け、該凹部に乾燥剤 3018 を設ける構成である。それ以外の構成については、図 30 (B) に示す構成と同じである。

【0570】

乾燥剤 3018 としては、化学吸着によって水分等を吸着する物質、または物理吸着によって水分等を吸着する物質を用いることができる。例えば、乾燥剤 3018 として用いることができる物質としては、アルカリ金属の酸化物、アルカリ土類金属の酸化物（酸化カルシウムや酸化バリウム等）、硫酸塩、金属ハロゲン化物、過塩素酸塩、ゼオライト、シリカゲル等が挙げられる。

【0571】

次に、図 30 (B) に示す発光装置 3000 の変形例について、図 31 (A) (B) (C) (D) を用いて説明する。なお、図 31 (A) (B) (C) (D) は、図 30 (B) に示す発光装置 3000 の変形例を説明する断面図である。

【0572】

図 31 (A) (B) (C) (D) に示す発光装置は、第 2 の封止領域 3009 を設けずに、第 1 の封止領域 3007 とした構成である。また、図 31 (A) (B) (C) (D) に示す発光装置は、図 30 (B) に示す第 2 の領域 3013 の代わりに領域 3014 を有する。

【0573】

領域 3014 としては、例えば、ポリエステル、ポリオレフィン、ポリアミド（ナイロン、アラミド等）、ポリイミド、ポリカーボネートまたはアクリル樹脂、ポリウレタン、エポキシ樹脂を用いることができる。もしくは、シリコンなどのシロキサン結合を有する樹脂含む材料を用いることができる。

【0574】

領域 3014 として、上述の材料を用いることで、いわゆる固体封止の発光装置とすることができる。

【0575】

また、図 31 (B) に示す発光装置は、図 31 (A) に示す発光装置の基板 3001 側に、基板 3015 を設ける構成である。

【0576】

基板 3015 は、図 31 (B) に示すように凹凸を有する。凹凸を有する基板 3015 を、発光素子 3005 の光を取り出す側に設ける構成とすることで、発光素子 3005 からの光の取出し効率を向上させることができる。なお、図 31 (B) に示すような凹凸を有する構造の代わりに、拡散板として機能する基板を設けてもよい。

10

20

30

40

50

【0577】

また、図31(C)に示す発光装置は、図31(A)に示す発光装置が基板3001側から光を取り出す構造であったのに対し、基板3003側から光を取り出す構造である。

【0578】

図31(C)に示す発光装置は、基板3003側に基板3015を有する。それ以外の構成は、図31(B)に示す発光装置と同様である。

【0579】

また、図31(D)に示す発光装置は、図31(C)に示す発光装置の基板3003、3015を設けずに、基板3016を設ける構成である。

【0580】

基板3016は、発光素子3005の近い側に位置する第1の凹凸と、発光素子3005の遠い側に位置する第2の凹凸と、を有する。図31(D)に示す構成とすることで、発光素子3005からの光の取出し効率をさらに、向上させることができる。

【0581】

したがって、本実施の形態に示す構成を実施することにより、水分や酸素などの不純物による発光素子の劣化が抑制された発光装置を実現することができる。または、本実施の形態に示す構成を実施することにより、光取出し効率の高い発光装置を実現することができる。

【0582】

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

【0583】

(実施の形態9)

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子を様々な照明装置及び電子機器に適用する一例について、図32及び図33を用いて説明する。

【0584】

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

【0585】

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

【0586】

図32(A)は、多機能端末3500の一方の面の斜視図を示し、図32(B)は、多機能端末3500の他方の面の斜視図を示している。多機能端末3500は、筐体3502に表示部3504、カメラ3506、照明3508等が組み込まれている。本発明の一態様の発光装置を照明3508に用いることができる。

【0587】

照明3508は、本発明の一態様の発光装置を用いることで、面光源として機能する。したがって、LEDに代表される点光源と異なり、指向性が少ない発光が得られる。例えば、照明3508とカメラ3506とを組み合わせる場合、照明3508を点灯または点滅させて、カメラ3506により撮像することができる。照明3508としては、面光源としての機能を有するため、自然光の下で撮影したような写真を撮影することができる。

【0588】

なお、図32(A)、(B)に示す多機能端末3500は、図27(A)乃至図27(G)に示す電子機器と同様に、様々な機能を有することができる。

【0589】

また、筐体3502の内部に、スピーカ、センサ(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

10

20

30

40

50

)、マイクロフォン等を有することができる。また、多機能端末3500の内部に、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、多機能端末3500の向き(縦か横か)を判断して、表示部3504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。

【0590】

表示部3504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3504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3504に近赤外光を発光するバックライト又は近赤外光を発光するセンシング用光源を用いれば、指静脈、掌静脈などを撮像することもできる。なお、表示部3504に本発明の一態様の発光装置を適用してもよい。

10

【0591】

図32(C)は、防犯用のライト3600の斜視図を示している。ライト3600は、筐体3602の外側に照明3608を有し、筐体3602には、スピーカ3610等が組み込まれている。本発明の一態様の発光装置を照明3608に用いることができる。

【0592】

ライト3600としては、例えば、照明3608を握持する、掴持する、または保持することで発光することができる。また、筐体3602の内部には、ライト3600からの発光方法を制御できる電子回路を備えてもよい。該電子回路としては、例えば、1回または間欠的に複数回、発光が可能なような回路としてもよいし、発光の電流値を制御することで発光の光量が調整可能なような回路としてもよい。また、照明3608の発光と同時に、スピーカ3610から大音量の警報音が出力されるような回路を組み込んでもよい。

20

【0593】

ライト3600としては、あらゆる方向に発光することが可能なため、例えば、暴漢等に向けて光、または光と音で威嚇することができる。また、ライト3600にデジタルスチルカメラ等のカメラ、撮影機能を有する機能を備えてもよい。

【0594】

図33は、発光素子を室内の照明装置8501として用いた例である。なお、発光素子は大面積化も可能であるため、大面積の照明装置を形成することもできる。その他、曲面を有する筐体を用いることで、発光領域が曲面を有する照明装置8502を形成することもできる。本実施の形態で示す発光素子は薄膜状であり、筐体のデザインの自由度が高い。したがって、様々な意匠を凝らした照明装置を形成することができる。さらに、室内の壁面に大型の照明装置8503を備えても良い。また、照明装置8501、8502、8503に、タッチセンサを設けて、電源のオンまたはオフを行ってもよい。

30

【0595】

また、発光素子をテーブルの表面側に用いることによりテーブルとしての機能を備えた照明装置8504とすることができる。なお、その他の家具の一部に発光素子を用いることにより、家具としての機能を備えた照明装置とすることができる。

【0596】

以上のようにして、本発明の一態様の発光装置を適用して照明装置及び電子機器を得ることができる。なお、適用できる照明装置及び電子機器は、本実施の形態に示したものに限らず、あらゆる分野の照明装置および電子機器に適用することが可能である。

40

【0597】

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

【実施例1】

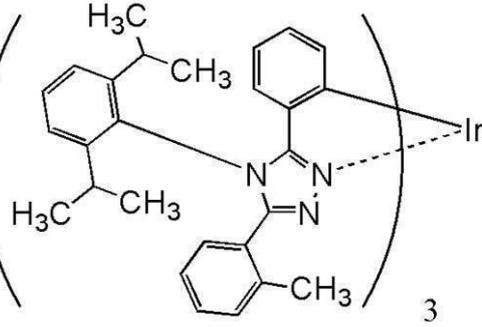
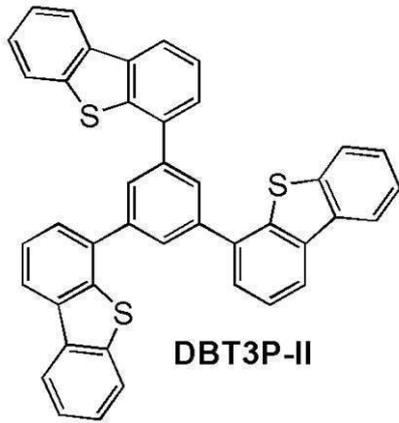
【0598】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子(発光素子1)と比較発光素子(比較発光素子1)の作製例を示す。本実施例で作製した発光素子の断面模式図を図34に、素子構造の詳細を表1に、それぞれ示す。また、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。

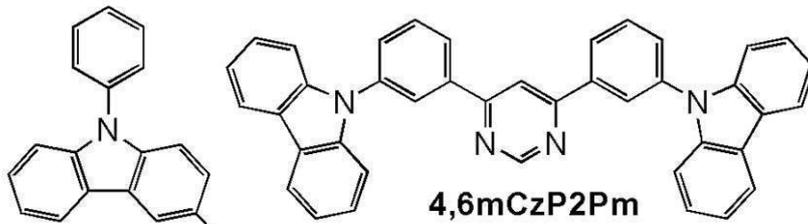
50

【 0 5 9 9 】

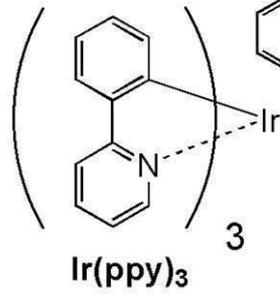
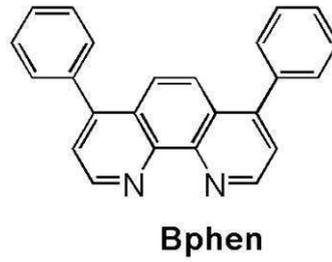
【 化 1 7 】



10



20



30

【 0 6 0 0 】

【表 1】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子 1	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	20	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(ppy) ₃	0.8:0.2:0.05
		160(1)	20	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(ppy) ₃	0.5:0.5:0.05
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	110	ITSO	-	
比較 発光素子 1	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	20	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-diPrp) ₃	0.8:0.2:0.05
		160(1)	20	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-diPrp) ₃	0.5:0.5:0.05
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	110	ITSO	-	

10

20

【0601】

< 発光素子の作製 >

発光素子 1 の作製

基板 200 上に電極 101 として、ITSO 膜を厚さが 110 nm になるように形成した。なお、電極 101 の電極面積は、4 mm² (2 mm × 2 mm) とした。

【0602】

次に、電極 101 上に正孔注入層 111 として、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(MoO₃)と、を重量比(DBT3P-II:MoO₃)が1:0.5になるように、且つ厚さが20 nmになるように共蒸着した。

30

【0603】

次に、正孔注入層 111 上に正孔輸送層 112 として、3,3'-ビス(9-フェニル-9H-カルバゾール)(略称: PCCP)を厚さが20 nmになるように蒸着した。

【0604】

次に、正孔輸送層 112 上に発光層 160 として、4,6-ビス[3-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]ピリミジン(略称: 4,6mCzP2Pm)と、PCCP と、トリス(2-フェニルピリジナト-N,C^{2'})イリジウム(III)(略称: Ir(ppy)₃)とを、重量比(4,6mCzP2Pm:PCCP:Ir(ppy)₃)が0.5:0.5:0.05になるように、且つ厚さが20 nmになるように共蒸着し、続いて、重量比(4,6mCzP2Pm:PCCP:Ir(ppy)₃)が0.8:0.2:0.05になるように、且つ厚さが20 nmになるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、4,6mCzP2Pm が第 1 の有機化合物であり、PCCP が第 2 の有機化合物であり、Ir(ppy)₃ がゲスト材料(燐光材料)である。

40

【0605】

次に、発光層 160 上に、電子輸送層 118 として、4,6mCzP2Pm を厚さが 20 nm になるよう、及びバソフェナントロリン(略称: BPhen)を厚さが10 nmになるよう、順次蒸着した。次に、電子輸送層 118 上に、電子注入層 119 として、フッ化リチウム(LiF)を厚さが1 nmになるように蒸着した。

50

【0606】

次に、電子注入層119上に、電極102として、アルミニウム(Al)を厚さが200nmになるように形成した。

【0607】

次に、窒素雰囲気グローブボックス内において、有機EL用シール材を用いて封止するための基板220を、有機材料を形成した基板200に固定することで、発光素子1を封止した。具体的には、基板200に形成した有機材料の周囲にシール材を塗布し、該基板200と基板220とを貼り合わせ、波長が365nmの紫外光を6J/cm²照射し、80℃にて1時間熱処理した。以上の工程により発光素子1を得た。

【0608】

比較発光素子1の作製

比較発光素子1は、先に示す発光素子1の作製と、ゲスト材料のみ異なり、それ以外の工程は発光素子1と同様の作製方法とした。

【0609】

すなわち、比較発光素子1の発光層160として、4,6mCzP2Pmと、PCCPと、トリス{2-[5-(2-メチルフェニル)-4-(2,6-ジイソプロピルフェニル)-4H-1,2,4-トリアゾール-3-イル-N2]フェニル-C}イリジウム(III)(略称:Ir(mppztz-diPrp)₃)と、を重量比(4,6mCzP2Pm:PCCP:Ir(mppztz-diPrp)₃)が0.5:0.5:0.05になるように、且つ厚さが20nmになるように共蒸着し、続いて、重量比(4,6mCzP2Pm:PCCP:Ir(mppztz-diPrp)₃)が0.8:0.2:0.05になるように、且つ厚さが20nmになるように共蒸着した。なお、発光層160において、4,6mCzP2Pmが第1の有機化合物であり、PCCPが第2の有機化合物であり、Ir(mppztz-diPrp)₃がゲスト材料(燐光材料)である。

【0610】

<ホスト材料の発光スペクトル>

ここで、上記作製した発光素子(発光素子1及び比較発光素子1)のホスト材料(第1の有機化合物および第2の有機化合物)として用いた、4,6mCzP2Pm単体、及びPCCP単体の薄膜の発光スペクトルを測定した結果と、4,6mCzP2PmとPCCPとの混合薄膜の発光スペクトルを測定した結果を図35に示す。

【0611】

上記の発光スペクトルを測定するため、石英基板上に真空蒸着法により薄膜サンプルを作製した。また、発光スペクトルの測定にはPL-EL測定装置(浜松ホトニクス社製)を用い、室温(23℃に保たれた雰囲気)で測定を行った。なお、薄膜の膜厚は50nmとした。また、混合薄膜における2種類の化合物の混合比(第1の有機化合物:第2の有機化合物)は1:1とした。

【0612】

図35に示すように、4,6mCzP2PmとPCCPとの混合薄膜の発光スペクトルはピーク波長が501nmであり、ピーク波長が440nmである4,6mCzP2Pm単体、及びピーク波長が412nmであるPCCP単体の発光スペクトルと互いに異なる発光スペクトルを示す結果が得られた。後に示すように、4,6mCzP2PmのLUMO準位は、PCCPのLUMO準位より低く、PCCPのHOMO準位は、4,6mCzP2PmのHOMO準位より高い。また、4,6mCzP2PmとPCCPとの混合薄膜の発光は、4,6mCzP2PmのLUMO準位と、PCCPのHOMO準位と、のエネルギー差に概ね相当するエネルギーを有し、該混合薄膜が呈する発光が、4,6mCzP2Pm単体及びPCCP単体の発光より長波長(低エネルギー)であることから、該混合薄膜の発光は、両化合物が形成する励起錯体からの発光であるといえる。すなわち、4,6mCzP2PmとPCCPとは、互いに励起錯体を形成する組み合わせの有機化合物であり、4,6mCzP2PmとPCCPとをホスト材料として有することで、EXTEETを利用する発光素子を作製することができる。

10

20

30

40

50

【0613】

< ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトル >

次に、上記発光素子に用いたゲスト材料である $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mppztz} - \text{diPrp})_3$ の吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図36(A)(B)に示す。

【0614】

吸収スペクトルを測定するため、ゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mppztz} - \text{diPrp})_3$) を溶解させたジクロロメタン溶液を作製し、石英セルを用いて吸収スペクトルを測定した。吸収スペクトルの測定には紫外可視分光光度計 (日本分光株式会社製、V550型) を用いた。また、測定した吸収スペクトルから石英セルおよびジクロロメタンの吸収スペクトルを差し引いた。発光スペクトルの測定には、PL-EL測定装置 (浜松ホトニクス社製) を用いた。上記測定は、室温 (23 に保たれた雰囲気) で行った。

10

【0615】

図36(A)(B)に示すように、 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mppztz} - \text{diPrp})_3$ の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側 (長波長側) の吸収帯は、それぞれ 500 nm 付近及び 450 nm 付近である。また、吸収スペクトルのデータより、吸収端を求め、直接遷移を仮定した遷移エネルギーを見積もった結果、 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ の吸収端は 507 nm であり、遷移エネルギーは 2.44 eV と算出され、 $\text{Ir}(\text{mppztz} - \text{diPrp})_3$ の吸収端は 471 nm であり、遷移エネルギーは 2.63 eV と算出された。

20

【0616】

したがって、 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mppztz} - \text{diPrp})_3$ の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側 (長波長側) の吸収帯は、4,6mCzP2Pm と PCCP とで形成する励起錯体が呈する発光スペクトルと重なる領域を有しており、4,6mCzP2Pm および PCCP をホスト材料として有する発光素子1及び比較発光素子1は、効果的にゲスト材料へ励起エネルギーを移動することができる。

【0617】

上記のように、発光素子1及び比較発光素子1は、第1の有機化合物である4,6mCzP2Pmと、第2の有機化合物であるPCCPとが励起錯体を形成する組み合わせのホスト材料を有する発光素子である。

30

【0618】

< ホスト材料の燐光発光スペクトル >

次に、ホスト材料として用いた第1の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) 及び第2の有機化合物 (PCCP) の三重項励起エネルギー準位 (T1準位) の測定結果を図37に示す。

【0619】

三重項励起エネルギー準位の測定は、各化合物の薄膜サンプルについて燐光発光測定を行うことにより測定した。測定には、顕微PL装置 LabRAM HR-PL ((株)堀場製作所) を用い、測定温度は 10 K、励起光として He-Cd レーザ (325 nm) を用い、検出器には CCD 検出器を用いた。測定から得られた燐光スペクトルにおける最も短波長側のピークより、三重項励起エネルギー準位 (T1準位) を求めた。

40

【0620】

図37において、第1の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) 及び第2の有機化合物 (PCCP) の燐光発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長は、それぞれ 459 nm、及び 467 nm であることから、三重項励起エネルギー準位 (T1準位) は、それぞれ 2.70 eV、及び 2.66 eV と導出することができた。

【0621】

また、4,6mCzP2Pm および PCCP の燐光発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長は、図35で示した4,6mCzP2PmとPCCPとで形成する励起錯体の発

50

光スペクトルの最も短波長側のピーク波長より、それぞれ短波長である。なお、励起錯体は、一重項励起エネルギー準位（S1準位）と三重項励起エネルギー準位（T1準位）とのエネルギー差が小さいという特徴を有するため、励起錯体の三重項励起エネルギー準位（T1準位）は、発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長から導出することができる。すなわち、第1の有機化合物（4,6mCzP2Pm）及び第2の有機化合物（PCCP）の三重項励起エネルギー準位（T1準位）は、励起錯体の三重項励起エネルギー準位（T1準位）より高いと言える。

【0622】

また、図36(A)(B)で示した吸収スペクトルの吸収端から導出されたゲスト材料の遷移エネルギー（Ir(pppy)₃については2.44eV、Ir(mppptz-diPrp)₃については2.63eV）より、4,6mCzP2Pm及びPCCPの三重項励起エネルギー準位（T1準位）は高い。

10

【0623】

したがって、本実施例でホスト材料として用いた第1の有機化合物（4,6mCzP2Pm）及び第2の有機化合物（PCCP）は、ホスト材料として十分な三重項励起エネルギー準位（T1準位）を有する。

【0624】

<発光素子の特性>

次に、上記作製した発光素子1、及び比較発光素子1の特性を測定した。輝度およびCIE色度の測定には色彩輝度計（トプコン社製、BM-5A）を用い、電界発光スペクトルの測定にはマルチチャンネル分光器（浜松ホトニクス社製、PMA-11）を用いた。

20

【0625】

発光素子1、及び比較発光素子1の電流効率-輝度特性を図38に示す。また、輝度-電圧特性を図39に示す。また、外部量子効率-輝度特性を図40に示す。また、電力効率-輝度特性を図41に示す。なお、各発光素子の測定は室温（23℃）に保たれた雰囲気で行った。

【0626】

また、1000cd/m²における、発光素子1、及び比較発光素子1の素子特性を表2に示す。

【0627】

30

【表2】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	電力効率 (lm/W)	外部量子 効率(%)
発光素子 1	3.3	1.3	(0.34, 0.61)	1000	78	75	22
比較発光 素子1	3.4	2.3	(0.30, 0.52)	1000	44	41	15

【0628】

また、発光素子1及び比較発光素子1に2.5mA/cm²の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図42に示す。

40

【0629】

図38乃至図41、及び表2で示すように、発光素子1は、比較発光素子1と比べて、高い電流効率を示した。また、発光素子1の外部量子効率の最大値は22%と優れた値を示した。また、発光素子1は、低い駆動電圧で駆動した。そのため、発光素子1は比較発光素子1より優れた電力効率を示した。

【0630】

また、発光素子1及び比較発光素子1の発光開始電圧（輝度が1cd/m²より大きくなる電圧）は、それぞれ2.4Vであった。この電圧値は、後に示すように、ゲスト材料であるIr(pppy)₃及びIr(mppptz-diPrp)₃のLUMO準位とHOM

50

0準位とのエネルギー差に相当する電圧より小さい。したがって、発光素子1及び比較発光素子1においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合して発光しているのではなく、より小さいエネルギーギャップを有する材料において、キャリアが再結合していることが示唆される。

【0631】

また、図42に示すように、発光素子1の電界発光スペクトルのピーク波長は514nmであり、半値全幅が82nmである緑色の発光を示した。一方、比較発光素子1の電界発光スペクトルのピーク波長は517nmであり、半値全幅が108nmと広い結果となった。比較発光素子1の電界発光スペクトルは、図36(B)に示すゲスト材料(Ir(mpptz-diPrp)₃)の発光スペクトルと大きく異なる結果となった。

10

【0632】

<CV測定結果>

ここで、上記発光素子のホスト材料(第1の有機化合物および第2の有機化合物)、及びゲスト材料に用いた化合物の電気化学的特性(酸化反応特性および還元反応特性)をサイクリックボルタンメトリ(CV)測定によって測定した。なお測定には、電気化学アナライザー(ピー・エー・エス(株)製、型番:ALSモデル600Aまたは600C)を用い、各化合物をN,N-ジメチルホルムアミド(略称:DMF)に溶解させた溶液を測定した。測定では、参照電極に対する作用電極の電位を適切な範囲で変化させて各々酸化ピーク電位、還元ピーク電位を得た。また、参照電極のレドックスポテンシャルが-4.94eVであることが見積もられているため、この数値と得られたピーク電位から、各化合物のHOMO準位およびLUMO準位を算出した。

20

【0633】

CV測定の結果より得られた各化合物の酸化電位および還元電位、及びCV測定より算出した各化合物のHOMO準位およびLUMO準位を、表3に示す。

【0634】

【表3】

略称	酸化電位(V)	還元電位(V)	酸化電位から算出したHOMO準位(eV)	還元電位から算出したLUMO準位(eV)
4,6mCzP2Pm	0.95	-2.06	-5.89	-2.88
PCCP	0.69	-2.98	-5.63	-1.96
Ir(ppy) ₃	0.38	-2.63	-5.32	-2.31
Ir(mpptz-diPrp) ₃	0.34	-2.98	-5.28	-1.96

30

【0635】

表3に示すように、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)の還元電位は、第2の有機化合物(PCCP)の還元電位より高く、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)の酸化電位は、第2の有機化合物(PCCP)の酸化電位より高く、ゲスト材料(Ir(ppy)₃及びIr(mpptz-diPrp)₃)の還元電位は、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)の還元電位より低く、ゲスト材料(Ir(ppy)₃及びIr(mpptz-diPrp)₃)の酸化電位は、第2の有機化合物(PCCP)の酸化電位より低い。また、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のLUMO準位より低く、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のHOMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位より低く、ゲスト材料(Ir(ppy)₃及びIr(mpptz-diPrp)₃)のLUMO準位は、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位より高く、ゲスト材料(Ir(ppy)₃及びIr(mpptz-diPrp)₃)のHOMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位より高い。

40

50

【0636】

C V測定の結果から、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)と第2の有機化合物(PCCP)とが励起錯体を形成することができる組み合わせであるといえる。

【0637】

なお、表3に示したC V測定の結果より算出されたLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差については、Ir(pppy)₃は3.01 eVであり、Ir(mpptz-diPrp)₃は3.32 eVであった。

【0638】

一方、上述のように、図36(A)(B)において測定した吸収スペクトルの吸収端より求めた遷移エネルギーは、Ir(pppy)₃においては2.44 eVであり、Ir(mpptz-diPrp)₃においては2.63 eVである。

10

【0639】

したがって、Ir(pppy)₃及びIr(mpptz-diPrp)₃においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより、それぞれ0.57 eV及び0.69 eV大きい結果であった。

【0640】

また、Ir(pppy)₃及びIr(mpptz-diPrp)₃の発光エネルギーは、図36(A)(B)に示した発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長がそれぞれ、514 nm、477 nmであったことから、それぞれ2.41 eV、2.60 eVと算出された。

20

【0641】

したがって、Ir(pppy)₃及びIr(mpptz-diPrp)₃においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより、それぞれ0.60 eV及び0.72 eV大きい結果であった。

【0642】

すなわち、上記発光素子に用いたゲスト材料においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより0.4 eV以上大きい。また、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより0.4 eV以上大きい。そのため、一对の電極から注入されたキャリアが、該ゲスト材料において直接再結合する場合においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当する大きなエネルギーが必要となり、高い電圧が必要となる。

30

【0643】

しかしながら、本発明の一態様の発光素子においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合することなく、励起錯体からのエネルギー移動によってゲスト材料を励起することが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0644】

なお、ホスト材料である第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位と、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位とのエネルギー差は、表3より2.75 eVと算出された。すなわち、ホスト材料である励起錯体のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当するエネルギーは、ゲスト材料のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差(Ir(pppy)₃の場合は3.01 eV、Ir(mpptz-diPrp)₃の場合は3.32 eV)より小さいが、ゲスト材料の吸収端から算出される遷移エネルギー(Ir(pppy)₃の場合は2.44 eV、Ir(mpptz-diPrp)₃の場合は2.63 eV)より大きい。したがって、発光素子1及び比較発光素子1においては、励起錯体を經由してゲスト材料を励起させることが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

40

【0645】

ところで、表3のC V測定の結果より、一对の電極から注入されたキャリア(電子およ

50

び正孔)のうち、電子はLUMO準位が低いホスト材料である第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)に注入されやすく、正孔はHOMO準位が高いゲスト材料(Ir(pppy)₃)及びIr(mppptz-diPrp)₃に注入されやすい構成となっている。すなわち、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)とゲスト材料(Ir(pppy)₃)またはIr(mppptz-diPrp)₃とで、励起錯体を形成してしまう可能性がある。

【0646】

実際、図42に示したように、比較発光素子1の電界発光スペクトルは、半値全幅が108nmと広く、図36(B)で示すIr(mppptz-diPrp)₃の発光スペクトル(半値全幅が77nm)と異なる結果となった。このことから、比較発光素子1においては、ゲスト材料(Ir(mppptz-diPrp)₃)と第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)とで励起錯体を形成しており、その結果、電界発光スペクトルがブロードになったといえる。また、比較発光素子1の電流効率および外部量子効率が十分ではない理由も同様である。一方、発光素子1の電界発光スペクトルは、半値全幅が82nmであり、図36(A)で示したIr(pppy)₃の発光スペクトル(半値全幅が80nm)と同程度の結果であった。

10

【0647】

表3に示したCV測定の結果より、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位と、ゲスト材料であるIr(pppy)₃及びIr(mppptz-diPrp)₃のHOMO準位とのエネルギー差を算出したところ、それぞれ2.44eV、2.40eVであった。

20

【0648】

Ir(mppptz-diPrp)₃を有する比較発光素子1においては、第1の有機化合物のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差(2.40eV)が、ゲスト材料の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー(2.63eV)より小さい。また、第1の有機化合物のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差(2.40eV)が、ゲスト材料が呈する発光のエネルギー(2.60eV)より小さい。そのため、第1の有機化合物とゲスト材料とで励起錯体を形成しやすく、ゲスト材料から効率よく発光を得ることが難しい。

30

【0649】

一方、Ir(pppy)₃を有する発光素子1においては、第1の有機化合物のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差(2.44eV)が、ゲスト材料の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー(2.44eV)以上である。また、第1の有機化合物のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差(2.44eV)が、ゲスト材料が呈する発光のエネルギー(2.41eV)以上である。そのため、第1の有機化合物とゲスト材料とで励起錯体を形成するより、最終的にはゲスト材料へ励起エネルギーが移動しやすく、ゲスト材料から効率よく発光を得ることができる。この関係が、効率よく発光を得るための本発明の一態様の特徴である。

【0650】

<信頼性試験結果>

40

次に、上記発光素子の信頼性試験の測定結果を図43に示す。なお、信頼性試験は、各発光素子(発光素子1、及び比較発光素子1)の初期輝度を5000cd/m²に設定し、電流密度を一定の条件で各発光素子を連続駆動させた。

【0651】

その結果、発光素子1、及び比較発光素子1において、初期輝度の90%に劣化した時間(LT90)はそれぞれ、390時間、及び2時間であり、発光素子1は優れた信頼性を示す結果が得られた。

【0652】

すなわち、発光素子1のように、第1の有機化合物のLUMO準位が、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位が、第2の有機化合物のH

50

OMO準位より低く、ゲスト材料のLUMO準位が、第1の有機化合物のLUMO準位より高く、ゲスト材料のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より高い場合、第1の有機化合物と第2の有機化合物とが励起錯体を形成する組み合わせであり、第1の有機化合物のLUMO準位とゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差が、ゲスト材料の吸収端から算出される遷移エネルギー以上である、あるいはゲスト材料の発光のエネルギー以上であることで、高い発光効率と低い駆動電圧を両立し、且つ優れた信頼性を有する発光素子を作製することができる。

【0653】

以上、本発明の一態様の構成を有することで、発光効率が高い発光素子を作製することができる。また、消費電力が低減された発光素子を作製することができる。また、信頼性の優れた発光素子を作製することができる。

10

【実施例2】

【0654】

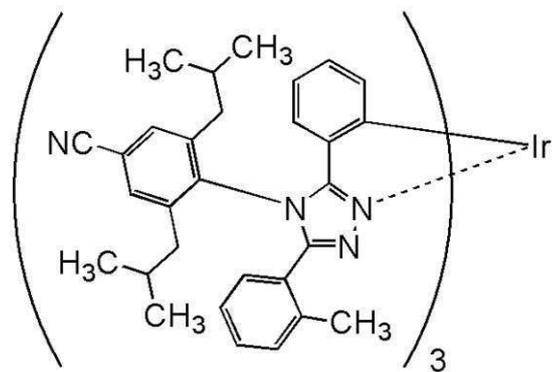
本実施例では、本発明の一態様である発光素子（発光素子2）と比較発光素子（比較発光素子2及び比較発光素子3）の作製例を示す。本実施例で作製した発光素子の断面模式図は図34と同様である。また、素子構造の詳細を表4に示し、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。なお、他の化合物については、実施例1を参照すればよい。

【0655】

【化18】



20



30

Ir(mpptz-diBiCNp)₃

【0656】

【表 4】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子 2	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	10	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-diBuCNp) ₃	0.6:0.4:0.06
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-diBuCNp) ₃	0.5:0.5:0.06
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	
比較 発光素子 2	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	35DCzPPy	-
	発光層	160(2)	10	35DCzPPy : Ir(mpptz-diBuCNp) ₃	1:0.06
		160(1)	30	35DCzPPy : PCCP : Ir(mpptz-diBuCNp) ₃	0.65:0.65:0.06
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	15	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	
比較 発光素子 3	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	35DCzPPy	-
	発光層	160(2)	10	35DCzPPy : Ir(mpptz-diPrp) ₃	1:0.06
		160(1)	30	35DCzPPy : PCCP : Ir(mpptz-diPrp) ₃	0.3:1:0.06
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	15	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	

10

20

30

【0657】

< 発光素子の作製 >

発光素子 2 の作製

基板 200 上に電極 101 として、ITSO 膜を厚さが 70 nm になるように形成した。なお、電極 101 の電極面積は、4 mm² (2 mm × 2 mm) とした。

【0658】

次に、電極 101 上に正孔注入層 111 として、DBT3P-II と、MoO₃ と、を重量比 (DBT3P-II : MoO₃) が 1 : 0.5 になるように、且つ厚さが 20 nm になるように共蒸着した。

【0659】

次に、正孔注入層 111 上に正孔輸送層 112 として、PCCP を厚さが 20 nm になるように蒸着した。

40

【0660】

次に、正孔輸送層 112 上に発光層 160 として、4,6mCzP2Pm と、PCCP と、トリス { 2 - [4 - (4 - シアノ - 2 , 6 - ジイソブチルフェニル) - 5 - (2 - メチルフェニル) - 4 H - 1 , 2 , 4 - トリアゾール - 3 - イル - N²] フェニル - C } イリジウム (III) (略称 : Ir(mpptz-diBuCNp)₃) と、を重量比 (4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-diBuCNp)₃) が 0.5 : 0.5 : 0.06 になるように、且つ厚さが 30 nm になるように共蒸着し、続いて、4,6mCzP2Pm と PCCP と Ir(mpptz-diBuCNp)₃ と、を重量比

50

(4,6mCzP2Pm:PCCP:Ir(mppztz-diBuCNp)₃)が0.6:0.4:0.06になるように、且つ厚さが10nmになるように共蒸着した。なお、発光層160において、4,6mCzP2Pmが第1の有機化合物であり、PCCPが第2の有機化合物であり、Ir(mppztz-diBuCNp)₃がゲスト材料(燐光材料)である。

【0661】

次に、発光層160上に、電子輸送層118として、4,6mCzP2Pmを厚さが10nmになるよう、及びBPhenを、厚さが15nmになるよう、順次蒸着した。次に、電子輸送層118上に、電子注入層119として、フッ化リチウム(LiF)を厚さが1nmになるように蒸着した。

10

【0662】

次に、電子注入層119上に、電極102として、アルミニウム(Al)を厚さが200nmになるように形成した。

【0663】

次に、窒素雰囲気グローブボックス内において、有機EL用シール材を用いて封止するための基板220を、有機材料を形成した基板200に固定することで、発光素子2を封止した。なお、具体的な方法は、先の実施例1と同様である。以上の工程により発光素子2を得た。

【0664】

比較発光素子2の作製

20

基板200上に電極101として、ITO膜を厚さが70nmになるように形成した。なお、電極101の電極面積は、4mm²(2mm×2mm)とした。

【0665】

次に、電極101上に正孔注入層111として、DBT3P-IIと、MoO₃と、を重量比(DBT3P-II:MoO₃)が1:0.5になるように、且つ厚さが15nmになるように共蒸着した。

【0666】

次に、正孔注入層111上に正孔輸送層112として、PCCPを厚さが20nmになるように蒸着した。

【0667】

30

次に、正孔輸送層112上に発光層160として、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)と、PCCPと、Ir(mppztz-diBuCNp)₃と、を重量比(35DCzPPy:PCCP:Ir(mppztz-diBuCNp)₃)が0.65:0.65:0.06になるように、且つ厚さが30nmになるように共蒸着し、続いて、35DCzPPyとIr(mppztz-diBuCNp)₃と、を重量比(35DCzPPy:Ir(mppztz-diBuCNp)₃)が1:0.06になるように、且つ厚さが10nmになるように共蒸着した。なお、発光層160において、35DCzPPyが第1の有機化合物であり、PCCPが第2の有機化合物であり、Ir(mppztz-diBuCNp)₃がゲスト材料(燐光材料)である。

40

【0668】

次に、発光層160上に、電子輸送層118として、35DCzPPyを厚さが10nmになるよう、及びBPhenを厚さが15nmになるよう、順次蒸着した。次に、電子輸送層118上に、電子注入層119として、フッ化リチウム(LiF)を厚さが1nmになるように蒸着した。

【0669】

次に、電子注入層119上に、電極102として、アルミニウム(Al)を厚さが200nmになるように形成した。

【0670】

次に、窒素雰囲気グローブボックス内において、有機EL用シール材を用いて封止す

50

るための基板 220 を、有機材料を形成した基板 200 に固定することで、比較発光素子 2 を封止した。なお、具体的な方法は、発光素子 2 と同様である。以上の工程により比較発光素子 2 を得た。

【0671】

比較発光素子 3 の作製

比較発光素子 3 は、先に示す比較発光素子 2 の作製と、発光層 160 の形成工程のみ異なり、それ以外の工程は比較発光素子 2 と同様の作製方法とした。

【0672】

比較発光素子 3 の発光層 160 として、35DCzPPy と、PCCP と、Ir(mppptz-diPrp)₃ と、を重量比(35DCzPPy : PCCP : Ir(mppptz-diPrp)₃) が 0.3 : 1 : 0.06 になるように、且つ厚さが 30 nm になるように共蒸着し、続いて、35DCzPPy と Ir(mppptz-diPrp)₃ と、を重量比(35DCzPPy : Ir(mppptz-diPrp)₃) が 1 : 0.06 になるように、且つ厚さが 10 nm になるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、35DCzPPy が第 1 の有機化合物であり、PCCP が第 2 の有機化合物であり、Ir(mppptz-diPrp)₃ がゲスト材料(燐光材料)である。

10

【0673】

<ホスト材料の発光スペクトル>

ここで、上記作製した発光素子(比較発光素子 2 及び比較発光素子 3)のホスト材料(第 1 の有機化合物および第 2 の有機化合物)として用いた、35DCzPPy、及び PCCP 単体の薄膜の発光スペクトルを測定した結果と、35DCzPPy と PCCP との混合薄膜の発光スペクトルを測定した結果を図 44 に示す。

20

【0674】

上記の発光スペクトルを測定するため、石英基板上に真空蒸着法により薄膜サンプルを作製した。また、発光スペクトルの測定には PL-EL 測定装置(浜松ホトニクス社製)を用い、室温(23℃に保たれた雰囲気)で測定を行った。なお、薄膜の膜厚は 50 nm とした。また、混合薄膜における 2 種類の化合物の混合比(第 1 の有機化合物 : 第 2 の有機化合物)は 1 : 1 とした。

【0675】

図 44 に示すように、35DCzPPy 単体及び PCCP 単体の発光スペクトルは、ピーク波長がそれぞれ 377 nm 及び 412 nm と非常に短波長のピーク波長を有する発光スペクトルを示した。また、35DCzPPy と PCCP との混合薄膜の発光スペクトルは、ピーク波長が 414 nm であり、PCCP 単体の発光スペクトルと同程度の発光スペクトルを示した。そのため、35DCzPPy と PCCP とは、励起錯体を形成しない組み合わせであるといえる。

30

【0676】

一方、図 35 に示したように、発光素子 2 のホスト材料(第 1 の有機化合物および第 2 の有機化合物)として用いた、4,6mCzP2Pm と PCCP との混合薄膜の発光スペクトルは、4,6mCzP2Pm 単体、及び PCCP 単体の発光スペクトルと互いに異なる発光スペクトルを示す結果が得られた。実施例 1 で示したように、4,6mCzP2Pm の LUMO 準位は、PCCP の LUMO 準位より低く、PCCP の HOMO 準位は、4,6mCzP2Pm の HOMO 準位より高い。また、4,6mCzP2Pm と PCCP との混合薄膜の発光は、4,6mCzP2Pm の LUMO 準位と、PCCP の HOMO 準位と、のエネルギー差に概ね相当するエネルギーを有し、該混合薄膜が呈する発光が、4,6mCzP2Pm 及び PCCP 単体の発光より長波長(低エネルギー)であることから、該混合薄膜の発光は、両化合物が形成する励起錯体からの発光であるといえる。すなわち、4,6mCzP2Pm と PCCP とは、互いに励起錯体を形成する組み合わせの有機化合物であり、4,6mCzP2Pm と PCCP とをホスト材料として有することで、EXTET を利用する発光素子を作製することができる。

40

【0677】

50

上記のように、比較発光素子 2 及び比較発光素子 3 は、ホスト材料が励起錯体を形成しない発光素子である。一方、発光素子 2 は、第 1 の有機化合物である 4, 6 m C z P 2 P m と、第 2 の有機化合物である P C C P とが励起錯体を形成する組み合わせのホスト材料を有する発光素子である。

【0678】

< ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトル >

次に、ゲスト材料である $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$ の溶液の吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図 45 (A) に、 $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$ の薄膜の吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図 45 (B) に、それぞれ示す。

10

【0679】

$\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ のジクロロメタン溶液および $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$ のジクロロメタン溶液を作製し、石英セルを用いて図 45 (A) に示す吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトルの測定には、紫外可視分光光度計 ((株) 日本分光製 V550 型) を用い、該ジクロロメタン溶液を石英セルに入れ、室温で測定を行った。また、発光スペクトルの測定には、絶対 PL 量子収率測定装置 ((株) 浜松ホトニクス製 C11347-01) を用い、グローブボックス ((株) ブライト製 LABstar M13 (1250/780)) にて、窒素雰囲気下でジクロロメタン脱酸素溶液を石英セルに入れ、密栓し、室温で測定を行った。なお、図 45 (A) に示す吸収スペクトルは、ジクロロメタン溶液を石英セルに入れて測定した吸収スペクトルから、ジクロロメタンのみを石英セルに入れて測定した吸収スペクトルを差し引いた結果を示している。

20

【0680】

また、ゲスト材料の薄膜の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定するため、ゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$) の含有量がポリメタクリル酸メチル (略称: PMMA) に対する重量比で 0.01 になるよう分散させた薄膜を作製し、測定した。吸収スペクトルの測定には紫外可視分光光度計 (日本分光株式会社製、V550 型) を用いた。また、発光スペクトルの測定には、絶対 PL 量子収率測定装置 ((株) 浜松ホトニクス製 C11347-01) を用い、室温で行った。

30

【0681】

図 45 (A) に示す通り、 $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ のジクロロメタン溶液からは、502 nm に発光ピークを有する青色の発光が観測され、 $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$ のジクロロメタン溶液からは、503 nm に発光ピークを有する青色の発光が観測された。また、 $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$ のジクロロメタン溶液の発光量子収率は、それぞれ 92% 及び 93% であった。

【0682】

また、図 45 (B) に示す通り、 $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ の薄膜からは、486 nm 及び 505 nm に発光ピークを有する青色発光が観測され、 $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$ 薄膜からは、474 nm 及び 502 nm に発光ピークを有する青色発光が観測された。

40

【0683】

また、ゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$) のジクロロメタン溶液及び薄膜の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側 (長波長側) の吸収帯は 450 nm 付近である。また、吸収スペクトルのデータより、吸収端を求め、直接遷移を仮定した遷移エネルギーを見積もった結果、 $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diBuCNp})_3$ の吸収端は 478 nm であり、遷移エネルギーは 2.59 eV と算出され、 $\text{Ir}(\text{mpptz} - \text{diPrp})_3$ の吸収端は 471 nm であり、遷移エネルギーは 2.63 eV と算出された。

50

【0684】

したがって、 $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diPrp})_3$ の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側（長波長側）の吸収帯は、 $4,6\text{mCzP2Pm}$ と PCCP とで形成する励起錯体が呈する発光と重なる領域を有している。したがって、 $4,6\text{mCzP2Pm}$ および PCCP をホスト材料として有する発光素子は、効果的にゲスト材料へ励起エネルギーを移動することができる。

【0685】

次に、 $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diPrp})_3$ のジクロロメタン溶液の時間分解発光測定を行った。

【0686】

測定にはピコ秒蛍光寿命測定システム（浜松ホトニクス社製）を用いた。本測定では、溶液が呈する発光の寿命を測定するため、溶液にパルスレーザを照射し、レーザ照射後から減衰していく発光をストリークカメラにより時間分解測定した。パルスレーザには波長が 337nm の窒素ガスレーザを用いた。また、測定は室温（ 23°C に保たれた雰囲気）で行った。

【0687】

測定の結果、 $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diPrp})_3$ の発光寿命は $1.4\mu\text{s}$ 及び $2.0\mu\text{s}$ であった。

【0688】

< 発光素子の特性 >

作製した発光素子2、比較発光素子2、及び比較発光素子3の電流効率 - 輝度特性を図46に示す。また、輝度 - 電圧特性を図47に示す。また、外部量子効率 - 輝度特性を図48に示す。また、電力効率 - 輝度特性を図49に示す。なお、測定方法は実施例1と同様であり、各発光素子の測定は室温（ 23°C に保たれた雰囲気）で行った。

【0689】

また、 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 付近における、発光素子2、比較発光素子2、及び比較発光素子3の素子特性を表5に示す。

【0690】

【表5】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm^2)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m^2)	電流効率 (cd/A)	電力効率 (lm/W)	外部量子 効率(%)
発光素子 2	3.2	1.3	(0.18, 0.45)	970	74	72	31
比較発光 素子2	4.0	1.6	(0.17, 0.41)	1100	68	53	29
比較発光 素子3	4.2	1.8	(0.17, 0.35)	960	54	40	25

【0691】

また、発光素子2、比較発光素子2、及び比較発光素子3に $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図50に示す。

【0692】

図46乃至図49、及び表5で示すように、発光素子2は、比較発光素子2及び比較発光素子3と比べて、高い電流効率及び外部量子効率を示した。また、発光素子2の外部量子効率の最大値は31%と極めて優れた値を示した。また、図50に示すように、発光素子2の電界発光スペクトルのピーク波長は 486nm であり、半値全幅が 62nm である、青色の発光を示した。すなわち、配位子にシアノ基を含むアリアル基を有するイリジウム錯体をゲスト材料として用いることで、高い発光効率を呈する青色の発光素子を作製できる。

【0693】

10

20

30

40

50

また、図46乃至図49、及び表5で示すように、発光素子2は、比較発光素子2及び比較発光素子3と比べて、低い駆動電圧で駆動した。そのため、発光素子2は優れた電力効率を示した。

【0694】

また、発光素子2の発光開始電圧（輝度が 1cd/m^2 より大きくなる電圧）は、 2.4V であった。この電圧値は、後に示すように、ゲスト材料である $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diBuCNp})_3$ のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当する電圧より小さい。したがって、発光素子2においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合して発光しているのではなく、より小さいエネルギーギャップを有する材料において、キャリアが再結合していることが示唆される。

【0695】

<CV測定結果>

ここで、上記発光素子のホスト材料（第1の有機化合物および第2の有機化合物）、及びゲスト材料に用いた化合物の電気化学的特性（酸化反応特性および還元反応特性）をサイクリックボルタンメトリ（CV）測定によって測定した。なお測定には、電気化学アナライザー（ピー・エー・エス（株）製、型番：ALSモデル600Aまたは600C）を用いた。測定では、参照電極に対する作用電極の電位を適切な範囲で変化させて各々酸化ピーク電位、還元ピーク電位を得た。また、参照電極のレドックスポテンシャルが -4.94eV であることが見積もられているため、この数値と得られたピーク電位から、各化合物のHOMO準位およびLUMO準位を算出した。

【0696】

ホスト材料である 35DCzPPy については、ホスト材料を N,N -ジメチルホルムアミド（略称：DMF）に溶解させた溶液を用いて酸化反応特性および還元反応特性を測定した。なお、一般に有機EL素子に用いられる有機化合物の屈折率は 1.7 から 1.8 程度であり、その比誘電率は 3 程度であるため、極性の高い溶媒であるDMF（比誘電率が 38 ）を用いて、シアノ基のような極性の高い（特に電子吸引性の高い）置換基を有する化合物の酸化反応特性を測定すると、正確さに欠ける場合がある。したがって、本実施例においては、極性の低いクロロホルム（比誘電率が 4.8 ）にゲスト材料（ $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diBuCNp})_3$ 及び $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diPrp})_3$ ）を溶解させた溶液を用いて酸化反応特性を測定した。また、ゲスト材料の還元反応特性は、ゲスト材料をDMFに溶解させた溶液を用いて測定した。

【0697】

CV測定の結果より得られた各化合物の酸化電位および還元電位、及びCV測定より算出した各化合物のHOMO準位およびLUMO準位を、表6に示す。なお、ホスト材料であるPCCP及び $4,6\text{mCzP2Pm}$ の測定結果については、先の実施例1で示した表3の通りである。

【0698】

【表6】

略称	酸化電位(V)	還元電位(V)	酸化電位から算出したHOMO準位 (eV)	還元電位から算出したLUMO準位 (eV)
35DCzPPy	0.96	-2.56	-5.90	-2.39
$\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diBuCNp})_3$	0.46	-2.46	-5.40	-2.49
$\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{diPrp})_3$	0.30	-2.98	-5.24	-1.96

【0699】

また、発光素子2、比較発光素子2、及び比較発光素子3に用いた化合物について、同様のCV測定から見積もったLUMO準位及びHOMO準位と、一對の電極（ITO及びAl）の仕事関数とを図51に示す。なお、図51（A）は、発光素子2のエネルギー

バンドの相関を表し、図51(B)は、比較発光素子2及び比較発光素子3のエネルギーバンドの相関を表す。また、一对の電極の仕事関数は、大気中にて光電子分光法(理研計器製、AC-2)にて測定した。また、図51(A)(B)において、HILは正孔注入層を、HTLは正孔輸送層を、ETLは電子輸送層を、Host1は第1の有機化合物を、Host2は第2の有機化合物を、それぞれ表す表記である。

【0700】

表3及び表6に示すように、発光素子2においては、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)の還元電位は、第2の有機化合物(PCCP)の還元電位より高く、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)の酸化電位は、第2の有機化合物(PCCP)の酸化電位より高く、ゲスト材料(Ir(mppptz-diBuCNp)₃)の還元電位は、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)の還元電位より低く、ゲスト材料(Ir(mppptz-diBuCNp)₃)の酸化電位は、第2の有機化合物(PCCP)の酸化電位より低い。また、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のLUMO準位より低く、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のHOMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位より低く、ゲスト材料(Ir(mppptz-diBuCNp)₃)のLUMO準位は、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位より高く、ゲスト材料(Ir(mppptz-diBuCNp)₃)のHOMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位より高い。

10

【0701】

なお、表6に示したCV測定の結果より算出されたLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差については、Ir(mppptz-diBuCNp)₃は2.91eVであり、Ir(mppptz-diPrp)₃は3.28eVであった。

20

【0702】

一方、上述のように、吸収スペクトルの吸収端より求めた遷移エネルギーは、Ir(mppptz-diBuCNp)₃においては2.59eVであり、Ir(mppptz-diPrp)₃においては2.63eVであった。

【0703】

したがって、Ir(mppptz-diBuCNp)₃及びIr(mppptz-diPrp)₃においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより、0.32eV及び0.65eV大きい結果であった。

30

【0704】

また、Ir(mppptz-diBuCNp)₃及びIr(mppptz-diPrp)₃の発光エネルギーは、図50に示した発光素子2及び比較発光素子2の電界発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長がそれぞれ、486nm、474nmであったことから、それぞれ2.55eV、2.61eVと算出された。

【0705】

したがって、Ir(mppptz-diBuCNp)₃及びIr(mppptz-diPrp)₃においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより、0.36eV及び0.67eV大きい結果であった。

40

【0706】

すなわち、上記発光素子に用いたゲスト材料においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより0.3eV以上大きい。また、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより0.3eV以上大きい。そのため、一对の電極から注入されたキャリアが、該ゲスト材料において直接再結合する場合には、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当する大きなエネルギーが必要となり、高い電圧が必要となる。

【0707】

しかしながら、本発明の一態様である発光素子2においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合することなく、励起錯体からのエネルギー移動によってゲスト材料を励

50

起することが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0708】

なお、ホスト材料である第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位と、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位とのエネルギー差は、表3より2.75 eVと算出された。すなわち、ホスト材料である励起錯体のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当するエネルギーは、ゲスト材料(Ir(mppptz-diBuCNp)₃)のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差(2.91 eV)より小さいが、ゲスト材料(Ir(mppptz-diBuCNp)₃)の吸収端から算出される遷移エネルギー(2.59 eV)より大きい。したがって、発光素子2においては、励起錯体を經由してゲスト材料を励起させることが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

10

【0709】

<信頼性試験結果>

次に、発光素子2、比較発光素子2、及び比較発光素子3の信頼性試験の測定結果を図52に示す。なお、信頼性試験は、各発光素子の初期輝度を1000 cd/m²に設定するため、発光素子2、比較発光素子2、及び比較発光素子3の電流密度をそれぞれ1.4 mA/cm²、1.5 mA/cm²、及び1.9 mA/cm²に設定し、電流密度を一定の条件で各発光素子を連続駆動させた。

20

【0710】

その結果、発光素子2、比較発光素子2、及び比較発光素子3において、初期輝度の90%に劣化した時間(LT90)はそれぞれ、200時間、60時間、及び57時間であり、発光素子2は特に優れた信頼性を示す結果が得られた。

【0711】

すなわち、発光素子2のように、第1の有機化合物のLUMO準位が、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より低く、ゲスト材料のLUMO準位が、第1の有機化合物のLUMO準位より高く、ゲスト材料のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より高い場合、第1の有機化合物と第2の有機化合物とが励起錯体を形成する組み合わせであることで、高い発光効率と低い駆動電圧を両立し、且つ優れた信頼性を有する青色発光を呈する発光素子を作製することができる。

30

【0712】

以上、本発明の一態様の構成を有することで、発光効率が高い発光素子を作製することができる。また、消費電力が低減された発光素子を作製することができる。また、信頼性の優れた発光素子を作製することができる。また、発光効率が高く、信頼性の優れた、青色の発光を呈する発光素子を作製することができる。

【0713】

本実施例に示す構成は、他の実施例及び実施の形態と適宜組み合わせて用いることができる。

【実施例3】

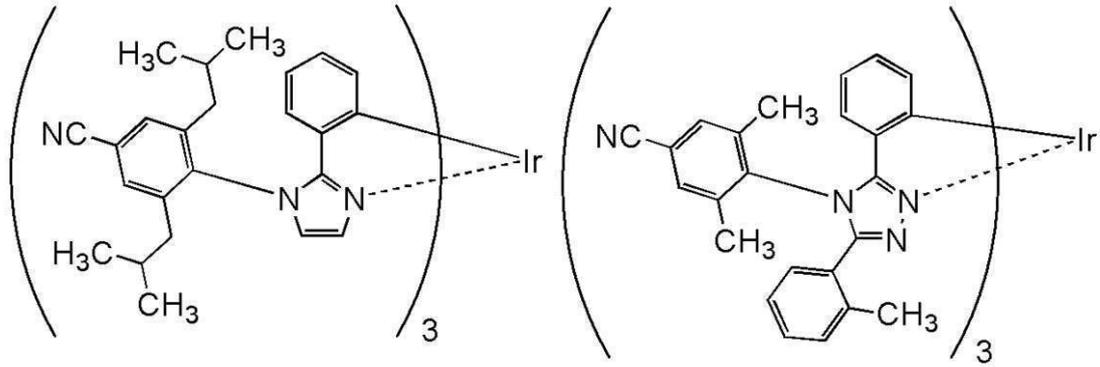
40

【0714】

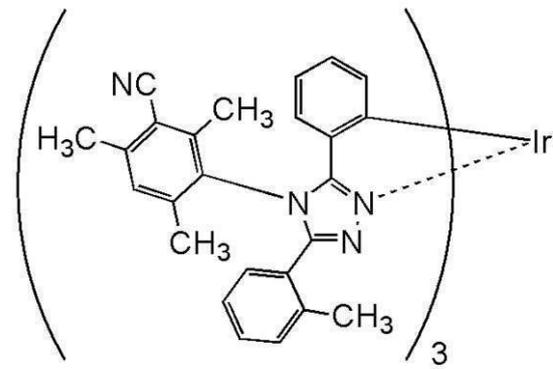
本実施例では、本発明の一態様である発光素子(発光素子3乃至発光素子6)の作製例を示す。本実施例で作製した発光素子の断面模式図は図34と同様である。また、素子構造の詳細を表7に示す。また、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。なお、他の化合物については、先の実施例を参酌すればよい。

【0715】

【化 1 9】



10



20

【 0 7 1 6 】

【表 7】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子 3	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	10	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(pim-diBuCNp) ₃	0.6:0.4:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(pim-diBuCNp) ₃	0.2:0.8:0.125
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	
発光素子 4	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	35DCzPPy	-
	発光層	160	40	35DCzPPy : PCCP : Ir(pim-diBuCNp) ₃	0.6:0.4:0.125
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
	電極	101	70	ITSO	-
発光素子 5	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	10	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-dmCNp) ₃	0.8:0.2:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-dmCNp) ₃	0.4:0.6:0.125
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	
発光素子 6	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	10	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-tm5CNp) ₃	0.8:0.2:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-tm5CNp) ₃	0.6:0.4:0.125
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	

10

20

30

40

50

【0717】

< 発光素子の作製 >

発光素子 3 の作製

基板 200 上に電極 101 として、ITSO 膜を厚さが 70 nm になるように形成した。なお、電極 101 の電極面積は、4 mm² (2 mm × 2 mm) とした。

【0718】

次に、電極 101 上に正孔注入層 111 として、DBT3P-II と、MoO₃ と、を重量比 (DBT3P-II : MoO₃) が 1 : 0.5 になるように、且つ厚さが 20 nm になるように共蒸着した。

【0719】

次に、正孔注入層 111 上に正孔輸送層 112 として、PCCP を厚さが 20 nm になるように蒸着した。

【0720】

次に、正孔輸送層112上に発光層160として、4,6mCzP2Pmと、PCCPと、 $\text{Ir}(\text{pim-dibuCnp})_3$ とを重量比(4,6mCzP2Pm:PCCP: $\text{Ir}(\text{pim-dibuCnp})_3$)が0.2:0.8:0.125になるように、且つ厚さが30nmになるように共蒸着し、続いて、重量比(4,6mCzP2Pm:PCCP: $\text{Ir}(\text{pim-dibuCnp})_3$)が0.6:0.4:0.125になるように、且つ厚さが10nmになるように共蒸着した。なお、発光層160において、4,6mCzP2Pmが第1の有機化合物であり、PCCPが第2の有機化合物であり、 $\text{Ir}(\text{pim-dibuCnp})_3$ がゲスト材料(燐光性材料)である。

【0721】

次に、発光層160上に、電子輸送層118として、4,6mCzP2Pmを厚さが10nmになるよう、及びBPhenを厚さが15nmになるよう、順次蒸着した。次に、電子輸送層118上に、電子注入層119として、フッ化リチウム(LiF)を厚さが1nmになるように蒸着した。

【0722】

次に、電子注入層119上に、電極102として、アルミニウム(Al)を厚さが200nmになるように形成した。

【0723】

次に、窒素雰囲気中のグローブボックス内において、有機EL用シール材を用いて封止するための基板220を、有機材料を形成した基板200に固定することで、発光素子3を封止した。なお、具体的な方法は、発光素子1と同様である。以上の工程により発光素子3を得た。

【0724】

発光素子4の作製

発光素子4は、先に示す発光素子3と、発光層160及び電子輸送層118の形成工程のみ異なり、それ以外の工程は発光素子3と同様の作製方法とした。

【0725】

発光素子4の発光層160として、35DCzPPyと、PCCPと、 $\text{Ir}(\text{pim-dibuCnp})_3$ と、を重量比(35DCzPPy:PCCP: $\text{Ir}(\text{pim-dibuCnp})_3$)が0.6:0.4:0.125になるように、且つ厚さが40nmになるように共蒸着した。なお、発光層160において、35DCzPPyが第1の有機化合物であり、PCCPが第2の有機化合物であり、 $\text{Ir}(\text{pim-dibuCnp})_3$ がゲスト材料(燐光材料)である。

【0726】

次に、発光層160上に、電子輸送層118として、35DCzPPyを厚さが10nmになるよう、及びBPhenを厚さが15nmになるよう、順次蒸着した。

【0727】

発光素子5の作製

発光素子5は、先に示す発光素子3の作製と、発光層160の形成工程のみ異なり、それ以外の工程は発光素子3と同様の作製方法とした。

【0728】

発光素子5の発光層160として、4,6mCzP2Pmと、PCCPと、 $\text{Ir}(\text{mpptz-dmCnp})_3$ とを重量比(4,6mCzP2Pm:PCCP: $\text{Ir}(\text{mpptz-dmCnp})_3$)が0.4:0.6:0.125になるように、且つ厚さが30nmになるように共蒸着し、続いて、重量比(4,6mCzP2Pm:PCCP: $\text{Ir}(\text{mpptz-dmCnp})_3$)が0.8:0.2:0.125になるように、且つ厚さが10nmになるように共蒸着した。なお、発光層160において、4,6mCzP2Pmが第1の有機化合物であり、PCCPが第2の有機化合物であり、 $\text{Ir}(\text{mpptz-dmCnp})_3$ がゲスト材料(燐光材料)である。

【0729】

10

20

30

40

50

発光素子 6 の作製

発光素子 6 は、先に示す発光素子 3 の作製と、発光層 160 の形成工程のみ異なり、それ以外の工程は発光素子 3 と同様の作製方法とした。

【0730】

発光素子 6 の発光層 160 として、4, 6mCzP2Pm と、PCCP と、Ir(mppztz - tm5CNp)₃ と、を重量比(4, 6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mppztz - tm5CNp)₃)が 0.6 : 0.4 : 0.125 になるように、且つ厚さが 30nm になるように共蒸着し、続いて、重量比(4, 6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mppztz - tm5CNp)₃)が 0.8 : 0.2 : 0.125 になるように、且つ厚さが 10nm になるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、4, 6mCzP2Pm が第 1 の有機化合物であり、PCCP が第 2 の有機化合物であり、Ir(mppztz - tm5CNp)₃ がゲスト材料(燐光材料)である。

10

【0731】

<ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトル>

次に、ゲスト材料である Ir(pim - diBuCNp)₃、Ir(mppztz - dmCNp)₃、及び Ir(mppztz - tm5CNp)₃ の溶液の吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図 53、図 54、及び図 55 に、それぞれ示す。

【0732】

ゲスト材料(Ir(pim - diBuCNp)₃、Ir(mppztz - dmCNp)₃、及び Ir(mppztz - tm5CNp)₃)のジクロロメタン溶液を作製し、石英セルを用いて吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトルの測定には、紫外可視分光光度計((株)日本分光製 V550 型)を用い、該ジクロロメタン溶液を石英セルに入れ、室温で測定を行った。また、発光スペクトルの測定には、絶対 PL 量子収率測定装置((株)浜松ホトニクス製 C11347 - 01)を用い、グローブボックス((株)ブライト製 LABstar M13(1250/780))にて、窒素雰囲気下でジクロロメタン脱酸素溶液を石英セルに入れ、密栓し、室温で測定を行った。なお、図 53 乃至図 55 に示す吸収スペクトルは、ジクロロメタン溶液を石英セルに入れて測定した吸収スペクトルから、ジクロロメタンのみを石英セルに入れて測定した吸収スペクトルを差し引いた結果を示している。

20

【0733】

図 53 乃至図 55 に示すように、Ir(pim - diBuCNp)₃ のジクロロメタン溶液からは、526nm に発光ピークを有する緑色の発光が観測され、Ir(mppztz - dmCNp)₃ のジクロロメタン溶液からは、494nm に発光ピークを有する青色の発光が観測され、Ir(mppztz - tm5CNp)₃ のジクロロメタン溶液からは、484nm 及び 502nm に発光ピークを有する青緑色の発光が観測された。

30

【0734】

また、ゲスト材料(Ir(pim - diBuCNp)₃、Ir(mppztz - dmCNp)₃、及び Ir(mppztz - tm5CNp)₃)のジクロロメタン溶液の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側(長波長側)の吸収帯は 460nm 付近である。また、吸収スペクトルのデータより、吸収端を求め、直接遷移を仮定した遷移エネルギーを見積もった結果、Ir(pim - diBuCNp)₃ の吸収端は 484nm であり、遷移エネルギーは 2.56eV と算出され、Ir(mppztz - dmCNp)₃ の吸収端は 475nm であり、遷移エネルギーは 2.61eV と算出され、Ir(mppztz - tm5CNp)₃ の吸収端は 474nm であり、遷移エネルギーは 2.62eV と算出された。

40

【0735】

したがって、Ir(pim - diBuCNp)₃、Ir(mppztz - dmCNp)₃、及び Ir(mppztz - tm5CNp)₃ の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側(長波長側)の吸収帯は、4, 6mCzP2Pm と PCCP とで形成する励起錯体が呈する発光と重なる領域を有している。したがって、4, 6mCzP2Pm および PCCP をホスト材料として有する発光素子は、効果的にゲスト材料へ励起エネルギーを移動する

50

ことができる。

【0736】

また、先の実施例で示したように、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)及び第2の有機化合物(PCCP)の三重項励起エネルギー準位(T1準位)は、それぞれ2.70eV及び2.66eVであり、ゲスト材料の吸収スペクトルの吸収端から導出された遷移エネルギーよりそれぞれ高い。したがって、ホスト材料として用いた第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)及び第2の有機化合物(PCCP)は、ホスト材料として十分な三重項励起エネルギー準位(T1準位)を有する。

【0737】

<発光素子の特性>

作製した発光素子3乃至発光素子6の電流効率-輝度特性を図56に示す。また、輝度-電圧特性を図57に示す。また、外部量子効率-輝度特性を図58に示す。また、電力効率-輝度特性を図59に示す。なお、測定方法は実施例1と同様であり、各発光素子の測定は室温(23に保たれた雰囲気)で行った。また、発光素子3乃至発光素子6にそれぞれ2.5mA/cm²の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図60に示す。

10

【0738】

また、1000cd/m²付近における、発光素子3乃至発光素子6の素子特性を表8に示す。

【0739】

20

【表8】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	電力効率 (lm/W)	外部量子 効率(%)
発光素子 3	4.0	1.2	(0.23, 0.55)	780	66	52	23
発光素子 4	5.0	1.1	(0.23, 0.57)	1000	93	58	32
発光素子 5	3.3	1.1	(0.21, 0.50)	860	79	75	31
発光素子 6	3.3	1.4	(0.21, 0.48)	1000	76	72	29

30

【0740】

図56乃至図59、及び表8で示すように、発光素子3乃至発光素子6は、高い発光効率(電流効率および外部量子効率)を示した。また、発光素子3、発光素子4、発光素子5、及び発光素子6の外部量子効率の最大値はそれぞれ25%、32%、31%、30%と優れた値を示した。

【0741】

また、図60に示すように、発光素子3、発光素子4、発光素子5、及び発光素子6の電界発光スペクトルのピーク波長はそれぞれ498nm、502nm、488nm、及び485nmであり、半値全幅はそれぞれ70nm、67nm、64nm、及び77nmある、青色の発光を示した。

40

【0742】

また、図56乃至図59、及び表8で示すように、発光素子3、発光素子5、及び発光素子6は、発光素子4と比べて、低い駆動電圧で駆動した。

【0743】

<CV測定結果>

ここで、上記発光素子のゲスト材料に用いた化合物の電気化学的特性(酸化反応特性および還元反応特性)をサイクリックボルタンメトリ(CV)測定によって測定した。なお測定には、電気化学アナライザー(ビー・イー・エス(株)製、型番:ALSモデル60

50

0 A または 600 C) を用いた。測定では、参照電極に対する作用電極の電位を適切な範囲で変化させて各々酸化ピーク電位、還元ピーク電位を得た。また、参照電極のレドックスポテンシャルが -4.94 eV であることが見積もられているため、この数値と得られたピーク電位から、各化合物の HOMO 準位および LUMO 準位を算出した。

【0744】

本実施例においては、ゲスト材料をクロロホルムに溶解させた溶液を用いて酸化反応特性を測定し、ゲスト材料を DMF に溶解させた溶液を用いて還元反応特性を測定した。

【0745】

CV 測定の結果より得られた各化合物の酸化電位および還元電位、及び CV 測定より算出した各化合物の HOMO 準位および LUMO 準位を、表 9 に示す。なお、ホスト材料である PCCP 及び 4,6mCzP2Pm の測定結果については、先の実施例 1 で示した表 3 のとおりである。

10

【0746】

【表 9】

略称	酸化電位(V)	還元電位(V)	酸化電位から算出した HOMO 準位 (eV)	還元電位から算出した LUMO 準位 (eV)
Ir(pim-diBuCNp) ₃	0.28	-2.54	-5.22	-2.41
Ir(mpptz-dmCNp) ₃	0.48	-2.44	-5.42	-2.51
Ir(mpptz-tm5CNp) ₃	0.46	-2.58	-5.40	-2.37

20

【0747】

表 3 及び表 9 に示すように、発光素子 3、発光素子 5、及び発光素子 6 においては、第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) の LUMO 準位は、第 2 の有機化合物 (PCCP) の LUMO 準位より低く、第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) の HOMO 準位は、第 2 の有機化合物 (PCCP) の HOMO 準位より低く、ゲスト材料 (Ir(pim-diBuCNp)₃、Ir(mpptz-dmCNp)₃、及び Ir(mpptz-tm5CNp)₃) の LUMO 準位は、第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) の LUMO 準位より高く、ゲスト材料 (Ir(pim-diBuCNp)₃、Ir(mpptz-dmCNp)₃、及び Ir(mpptz-tm5CNp)₃) の HOMO 準位は、第 2 の有機化合物 (PCCP) の HOMO 準位より高い。

30

【0748】

また、CV 測定の結果より算出された LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差については、Ir(pim-diBuCNp)₃ は 2.81 eV であり、Ir(mpptz-dmCNp)₃ は 2.91 eV であり、Ir(mpptz-tm5CNp)₃ は 3.03 eV であった。

【0749】

したがって、Ir(pim-diBuCNp)₃、Ir(mpptz-dmCNp)₃、及び Ir(mpptz-tm5CNp)₃ においては、LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより、それぞれ 0.25 eV 、 0.30 eV 、及び 0.41 eV 大きい結果であった。

40

【0750】

また、Ir(pim-diBuCNp)₃、Ir(mpptz-dmCNp)₃、及び Ir(mpptz-tm5CNp)₃ の発光エネルギーは、図 60 に示した発光素子 3、発光素子 5、及び発光素子 6 の電界発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長がそれぞれ、 498 nm 、 488 nm 、及び 485 nm であったことから、それぞれ 2.49 eV 、 2.54 eV 、及び 2.56 eV と算出された。

【0751】

したがって、Ir(pim-diBuCNp)₃、Ir(mpptz-dmCNp)₃

50

、及び $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{tm5CNp})_3$ においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより、それぞれ 0.32 eV 、 0.37 eV 、及び 0.47 eV 大きい結果であった。

【0752】

すなわち、上記発光素子に用いたゲスト材料においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより大きい。また、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより 0.3 eV 以上大きい。そのため、一对の電極から注入されたキャリアが、該ゲスト材料において直接再結合する場合には、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当する大きなエネルギーが必要となり、高い電圧が必要となる。

10

【0753】

しかしながら、本発明の一態様の発光素子においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合することなく、励起錯体からのエネルギー移動によってゲスト材料を励起することが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0754】

なお、発光素子3、発光素子5、及び発光素子6におけるホスト材料である第1の有機化合物 ($4,6\text{mCzP2Pm}$) のLUMO準位と、第2の有機化合物 (PCCP) のHOMO準位とのエネルギー差は、表3より 2.75 eV と算出された。すなわち、発光素子3、発光素子5、及び発光素子6のホスト材料である励起錯体のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当するエネルギーは、ゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{pim}-\text{diBuCNp})_3$ 、 $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{dmCNp})_3$ 、及び $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{tm5CNp})_3$) のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差 (それぞれ 2.81 eV 、 2.91 eV 、 3.03 eV) より小さく、吸収端から算出される遷移エネルギー (それぞれ 2.56 eV 、 2.61 eV 、 2.62 eV) より大きい。したがって、発光素子3、発光素子5、及び発光素子6においては、励起錯体を經由してゲスト材料を励起させることが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

20

【0755】

以上、本発明の一態様の構成を用いることで、発光効率が高い発光素子を提供することができる。また、消費電力が低減された発光素子を提供することができる。また、発光効率が高く、青色の発光を呈する発光素子を提供することができる。

30

【0756】

本実施例に示す構成は、他の実施例及び実施の形態と適宜組み合わせ用いることができる。

【実施例4】

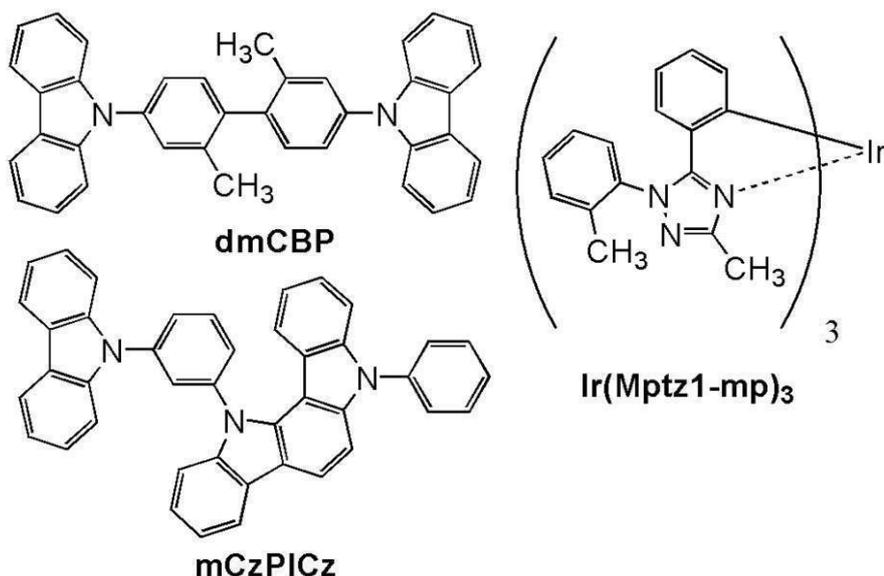
【0757】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子 (発光素子7) の作製例を示す。本実施例で作製した発光素子の断面模式図は図34と同様である。また、素子構造の詳細を表10に示す。また、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。なお、他の化合物については、実施例1を参酌すればよい。

40

【0758】

【化 2 0】



10

【 0 7 5 9】

【表 1 0】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子 7	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	10	4,6mCzP2Pm : mCzPICz : Ir(Mptz1-mp) ₃	0.6:0.4:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : mCzPICz : Ir(Mptz1-mp) ₃	0.4:0.6:0.125
	正孔輸送層	112	20	dmCBP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	

20

30

【 0 7 6 0】

< 発光素子 7 の作製 >

基板 200 上に電極 101 として、ITSO 膜を厚さが 70 nm になるように形成した。なお、電極 101 の電極面積は、4 mm² (2 mm × 2 mm) とした。

【 0 7 6 1】

次に、電極 101 上に正孔注入層 111 として、DBT3P-II と、MoO₃ と、を重量比 (DBT3P-II : MoO₃) が 1 : 0.5 になるように、且つ厚さが 20 nm になるように共蒸着した。

【 0 7 6 2】

次に、正孔注入層 111 上に正孔輸送層 112 として、4,4'-ビス(9-カルバゾール)-2,2'-ジメチルピフェニル (略称: dmCBP) を厚さが 20 nm になるように蒸着した。

【 0 7 6 3】

次に、正孔輸送層 112 上に発光層 160 として、4,6mCzP2Pm と、12-[3-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-5,12-ジヒドロ-5-フェニル-インドロ[3,2-a]カルバゾール (略称: mCzPICz) と、トリス[3-メチル-1-(2-メチルフェニル)-5-フェニル-1H-1,2,4-トリアゾラト]イリジウム (III) (略称: Ir(Mptz1-mp)₃) とを、重量比 (4,6mCzP2Pm : mCzPICz : Ir(Mptz1-mp)₃) が 0.4 : 0.6 : 0.125

40

50

5 になるように、且つ厚さが 30 nm になるように共蒸着し、続いて、重量比 (4, 6 mCzP2Pm : mCzPICz : Ir(Mptz1-mp)₃) が 0.6 : 0.4 : 0.125 になるように、且つ厚さが 10 nm になるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、4, 6 mCzP2Pm が第 1 の有機化合物であり、mCzPICz が第 2 の有機化合物であり、Ir(Mptz1-mp)₃ がゲスト材料 (燐光材料) である。

【0764】

次に、発光層 160 上に、電子輸送層 118 として、4, 6 mCzP2Pm を厚さが 20 nm になるよう、及び BPhen を厚さが 10 nm になるよう、順次蒸着した。次に、電子輸送層 118 上に、電子注入層 119 として、フッ化リチウム (LiF) を厚さが 1 nm になるように蒸着した。

10

【0765】

次に、電子注入層 119 上に、電極 102 として、アルミニウム (Al) を厚さが 200 nm になるように形成した。

【0766】

次に、窒素雰囲気中のグローブボックス内において、有機 EL 用シール材を用いて封止するための基板 220 を、有機材料を形成した基板 200 に固定することで、発光素子 7 を封止した。なお、具体的な方法は、先の実施例 1 と同様である。以上の工程により発光素子 7 を得た。

【0767】

< ホスト材料の発光スペクトル >

20

ここで、上記作製した発光素子 7 のホスト材料 (第 1 の有機化合物および第 2 の有機化合物) として用いた、4, 6 mCzP2Pm 単体、及び mCzPICz 単体の薄膜の発光スペクトルを測定した結果と、4, 6 mCzP2Pm と mCzPICz との混合薄膜の発光スペクトルを測定した結果を図 6 1 に示す。

【0768】

上記の発光スペクトルを測定するため、石英基板上に真空蒸着法により薄膜サンプルを作製した。また、発光スペクトルの測定には PL-EL 測定装置 (浜松ホトニクス社製) を用い、室温 (23 に保たれた雰囲気) で測定を行った。なお、薄膜の膜厚は 50 nm とした。また、混合薄膜における 2 種類の化合物の混合比 (4, 6 mCzP2Pm : mCzPICz) は 1 : 1 とした。

30

【0769】

図 6 1 に示すように、4, 6 mCzP2Pm と mCzPICz との混合薄膜の発光スペクトルピーク波長が 477 nm であり、ピーク波長が 440 nm である 4, 6 mCzP2Pm 単体、及びピーク波長が 372 nm である mCzPICz 単体の発光スペクトルと互いに異なる発光スペクトルを示す結果が得られた。後に示すように、4, 6 mCzP2Pm の LUMO 準位は、mCzPICz の LUMO 準位より低く、mCzPICz の HOMO 準位は、4, 6 mCzP2Pm の HOMO 準位より高い。また、4, 6 mCzP2Pm と mCzPICz との混合薄膜の発光は、4, 6 mCzP2Pm の LUMO 準位と、mCzPICz の HOMO 準位と、のエネルギー差に概ね相当するエネルギーを有し、該混合薄膜が呈する発光が、4, 6 mCzP2Pm 単体及び mCzPICz 単体の発光より長波

40

【0770】

< ゲスト材料の吸収スペクトル >

次に、上記発光素子に用いたゲスト材料である Ir(Mptz1-mp)₃ の吸収スペクトルを図 6 2 に示す。

【0771】

50

吸収スペクトルを測定するため、 $\text{Ir}(\text{Mptz1-mp})_3$ を溶解させたジクロロメタン溶液を作製し、石英セルを用いて吸収スペクトルを測定した。吸収スペクトルの測定には紫外可視分光光度計（日本分光株式会社製、V550型）を用いた。また、測定した吸収スペクトルから石英セルおよびジクロロメタンの吸収スペクトルを差し引いた。

【0772】

図62に示すように、 $\text{Ir}(\text{Mptz1-mp})_3$ の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側（長波長側）の吸収帯は、450nm付近である。また、吸収スペクトルのデータより、吸収端を求め、直接遷移を仮定した遷移エネルギーを見積もった結果、 $\text{Ir}(\text{Mptz1-mp})_3$ の吸収端は462nmであり、遷移エネルギーは2.68eVと算出された。

【0773】

したがって、 $\text{Ir}(\text{Mptz1-mp})_3$ の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側（長波長側）の吸収帯は、4,6mCzP2PmとmCzPICzとで形成する励起錯体が呈する発光と重なる領域を有しており、4,6mCzP2PmおよびmCzPICzを宿主材料として有する発光素子7は、効果的にゲスト材料へ励起エネルギーを移動することができる。

【0774】

上記のように、発光素子7は、第1の有機化合物である4,6mCzP2Pmと、第2の有機化合物であるmCzPICzとが励起錯体を形成する組み合わせの宿主材料を有する発光素子である。

【0775】

<宿主材料の燐光発光スペクトル>

次に、mCzPICzの三重項励起エネルギー準位（T1準位）の測定結果を図63に示す。三重項励起エネルギー準位（T1準位）の測定方法は、実施例1と同様である。

【0776】

図63において、mCzPICzの燐光発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長は441nmであることから、三重項励起エネルギー準位（T1準位）は2.81eVと導出することができた。なお、4,6mCzP2Pmの燐光発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長は図37で示したように459nmであり、三重項励起エネルギー準位（T1準位）は2.70eVである。

【0777】

したがって、4,6mCzP2PmおよびmCzPICzの燐光発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長は、図53で示した4,6mCzP2PmとmCzPICzとで形成する励起錯体の発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長より、それぞれ短波長である。なお、励起錯体は、一重項励起エネルギー準位（S1準位）と三重項励起エネルギー準位（T1準位）とのエネルギー差が小さいという特徴を有するため、励起錯体の三重項励起エネルギー準位（T1準位）は、発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長から導出することができる。すなわち、第1の有機化合物（4,6mCzP2Pm）及び第2の有機化合物（mCzPICz）の三重項励起エネルギー準位（T1準位）は、励起錯体の三重項励起エネルギー準位（T1準位）より高いと言える。

【0778】

また、図62で示した吸収スペクトルの吸収端から導出された $\text{Ir}(\text{Mptz1-mp})_3$ の遷移エネルギーである2.68eVより、4,6mCzP2Pm及びmCzPICzの三重項励起エネルギー準位（T1準位）は高い。

【0779】

したがって、本実施例で宿主材料として用いた第1の有機化合物（4,6mCzP2Pm）及び第2の有機化合物（mCzPICz）は、宿主材料として十分な三重項励起エネルギー準位（T1準位）を有する。

【0780】

<発光素子の特性>

10

20

30

40

50

作製した発光素子 7 の電流効率 - 輝度特性を図 6 4 に示す。また、輝度 - 電圧特性を図 6 5 に示す。また、外部量子効率 - 輝度特性を図 6 6 に示す。また、電力効率 - 輝度特性を図 6 7 に示す。なお、測定方法は実施例 1 と同様であり、発光素子の測定は室温 (2 3 に保たれた雰囲気) で行った。また、発光素子 7 に 2.5 mA/cm^2 の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図 6 8 に示す。

【 0 7 8 1 】

また、 1000 cd/m^2 付近における、発光素子 7 の素子特性を表 1 1 に示す。

【 0 7 8 2 】

【表 1 1】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	電力効率 (lm/W)	外部量子 効率(%)
発光素子 7	3.7	1.6	(0.17, 0.33)	910	57	48	29

10

【 0 7 8 3 】

図 6 4 乃至図 6 7、及び表 1 1 で示すように、発光素子 7 は高い電流効率及び外部量子効率を示した。また、発光素子 7 の外部量子効率の最大値は 2 9 % と優れた値を示した。また、図 6 8 に示すように、発光素子 7 の電界発光スペクトルのピーク波長は 4 7 3 nm であり、半値全幅が 6 7 nm である色純度の高い青色の発光を示した。

【 0 7 8 4 】

また、発光素子 7 は、低い駆動電圧で駆動した。そのため、発光素子 7 は優れた電力効率を示した。

20

【 0 7 8 5 】

また、発光素子 7 の発光開始電圧 (輝度が 1 cd/m^2 より大きくなる電圧) は、 2.8 V であった。この電圧値は、後に示すように、ゲスト材料である $\text{Ir}(\text{Mptz1-mp})_3$ の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差に相当する電圧より小さい。したがって、発光素子 7 においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合して発光しているのではなく、より小さいエネルギーギャップを有する材料において、キャリアが再結合していることが示唆される。

【 0 7 8 6 】

< CV 測定結果 >

ここで、上記発光素子のホスト材料 (第 1 の有機化合物および第 2 の有機化合物)、及びゲスト材料に用いた化合物の電気化学的特性 (酸化反応特性および還元反応特性) をサイクリックボルタンメトリ (CV) 測定によって測定した。なお測定には、電気化学アナライザー (ビー・イー・エス (株) 製、型番 : ALS モデル 6 0 0 A または 6 0 0 C) を用いた。測定では、参照電極に対する作用電極の電位を適切な範囲で変化させて各々酸化ピーク電位、還元ピーク電位を得た。また、参照電極のレドックスポテンシャルが -4.94 eV であることが見積もられているため、この数値と得られたピーク電位から、各化合物の HOMO 準位および LUMO 準位を算出した。

30

【 0 7 8 7 】

ホスト材料である $4,6\text{-mCzP2Pm}$ 及び mCzPICz については、各化合物を DMF に溶解させた溶液を用いて酸化反応特性および還元反応特性を測定した。また、ゲスト材料である $\text{Ir}(\text{Mptz1-mp})_3$ については、ジクロロメタンに溶解させた溶液を用いて酸化反応特性を測定し、DMF に溶解させた溶液を用いて還元反応特性を測定した。

40

【 0 7 8 8 】

CV 測定の結果より得られた各化合物の酸化電位および還元電位、及び CV 測定より算出した各化合物の HOMO 準位および LUMO 準位を、表 1 2 に示す。

【 0 7 8 9 】

50

【表 1 2】

略称	酸化電位(V)	還元電位(V)	酸化電位 から算出した HOMO準位 (eV)	還元電位 から算出した LUMO準位 (eV)
4,6mCzP2Pm	0.95	-2.06	-5.89	-2.88
mCzPICzz	0.68	-3.00	-5.62	-1.95
Ir(Mptz1-mp) ₃	0.60	-2.76	-5.54	-2.19

【0790】

10

表 1 2 に示すように、第 1 の有機化合物 (4 , 6 m C z P 2 P m) の L U M O 準位は、第 2 の有機化合物 (m C z P I C z) の L U M O 準位より低く、第 1 の有機化合物 (4 , 6 m C z P 2 P m) の H O M O 準位は、第 2 の有機化合物 (m C z P I C z) の H O M O 準位より低く、ゲスト材料 (I r (M p t z 1 - m p) ₃) の L U M O 準位は、第 1 の有機化合物 (4 , 6 m C z P 2 P m) の L U M O 準位より高く、ゲスト材料 (I r (M p t z 1 - m p) ₃) の H O M O 準位は、第 2 の有機化合物 (m C z P I C z) の H O M O 準位より高い。

【0791】

20

C V 測定の結果から、第 1 の有機化合物 (4 , 6 m C z P 2 P m) と第 2 の有機化合物 (m C z P I C z) とが励起錯体を形成することができる組み合わせであるといえる。

【0792】

なお、表 1 2 に示した C V 測定の結果より算出された I r (M p t z 1 - m p) ₃ の L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差は 3 . 3 6 e V であった。

【0793】

一方、上述のように、図 6 2 において測定した I r (M p t z 1 - m p) ₃ の吸収スペクトルの吸収端より求めた遷移エネルギーは 2 . 6 8 e V である。

【0794】

したがって、I r (M p t z 1 - m p) ₃ においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより 0 . 6 8 e V 大きい結果であった。

30

【0795】

また、I r (M p t z 1 - m p) ₃ の発光エネルギーは、図 6 8 に示した発光素子 7 の電界発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長が 4 7 3 n m であったことから 2 . 6 2 e V と算出された。

【0796】

したがって、I r (M p t z 1 - m p) ₃ においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより、それぞれ 0 . 7 4 e V 大きい結果であった。

【0797】

すなわち、上記発光素子 7 に用いたゲスト材料においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより 0 . 4 e V 以上大きい。また、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより 0 . 4 e V 以上大きい。そのため、一对の電極から注入されたキャリアが、該ゲスト材料において直接再結合する場合においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差に相当する大きなエネルギーが必要となり、高い電圧が必要となる。

40

【0798】

しかしながら、本発明の一態様の発光素子においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合することなく、励起錯体からのエネルギー移動によってゲスト材料を励起することが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0799】

50

なお、ホスト材料である第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位と、第2の有機化合物(mCzPICz)のHOMO準位とのエネルギー差は、表12より2.74eVと算出された。すなわち、ホスト材料である励起錯体のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当するエネルギーは、ゲスト材料であるIr(Mptz1-mp)₃のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差(3.36eV)より小さいが、ゲスト材料の吸収端から算出される遷移エネルギー(2.68eV)より大きい。したがって、発光素子7においては、励起錯体を經由してゲスト材料を励起させることが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0800】

ところで、表12のCV測定の結果より、一对の電極から注入されたキャリア(電子および正孔)のうち、電子はLUMO準位が低いホスト材料である第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)に注入されやすく、正孔はHOMO準位が高いゲスト材料(Ir(Mptz1-mp)₃)に注入されやすい構成となっている。すなわち、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)とゲスト材料(Ir(Mptz1-mp)₃)とで、励起錯体を形成してしまう可能性がある。

10

【0801】

表12に示したCV測定の結果より、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位と、ゲスト材料であるIr(Mptz-1mp)₃のHOMO準位とのエネルギー差を算出したところ2.66eVであった。

20

【0802】

Ir(Mptz1-mp)₃を有する発光素子7においては、第1の有機化合物のLUMO準位と、ゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差(2.66eV)が、ゲスト材料が呈する発光のエネルギー(2.62eV)以上である。そのため、第1の有機化合物とゲスト材料とで励起錯体を形成するより、最終的にはゲスト材料へ励起エネルギーが移動しやすく、ゲスト材料から効率よく発光を得ることができる。この関係が、効率よく発光を得るための本発明の一態様の特徴である。

【0803】

すなわち、発光素子7のように、第1の有機化合物のLUMO準位が、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より低く、ゲスト材料のLUMO準位が、第1の有機化合物のLUMO準位より高く、ゲスト材料のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より高い場合、第1の有機化合物と第2の有機化合物とが励起錯体を形成する組み合わせであり、第1の有機化合物のLUMO準位とゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差が、ゲスト材料の発光のエネルギー以上であることで、高い発光効率と低い駆動電圧を両立する発光素子を作製することができる。

30

【0804】

以上、本発明の一態様の構成を有することで、発光効率が高い発光素子を提供することができる。また、消費電力が低減された発光素子を提供することができる。

【実施例5】

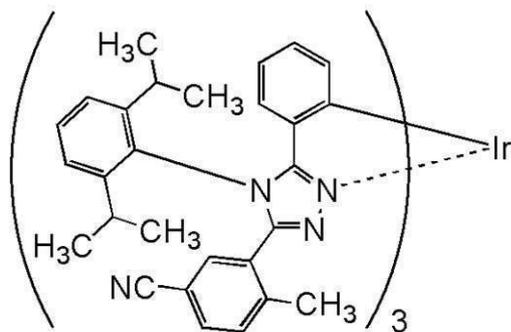
40

【0805】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子(発光素子8)の作製例を示す。本実施例で作製した発光素子の断面模式図は図34と同様である。また、素子構造の詳細を表13に示す。また、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。なお、他の化合物については、先の実施例を参酌すればよい。

【0806】

【化 2 1】

Ir(mCNpptz-diPrp)₃

【0807】

【表 1 3】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子 8	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	10	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mCNpptz-diPrp) ₃	0.8:0.2:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mCNpptz-diPrp) ₃	0.4:0.6:0.125
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	20	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	

【0808】

< 発光素子 8 の作製 >

基板 200 上に電極 101 として、ITSO 膜を厚さが 70 nm になるように形成した。なお、電極 101 の電極面積は、4 mm² (2 mm × 2 mm) とした。

【0809】

次に、電極 101 上に正孔注入層 111 として、DBT3P-II と、MoO₃ と、を重量比 (DBT3P-II : MoO₃) が 1 : 0.5 になるように、且つ厚さが 20 nm になるように共蒸着した。

【0810】

次に、正孔注入層 111 上に正孔輸送層 112 として、PCCP を厚さが 20 nm になるように蒸着した。

【0811】

次に、正孔輸送層 112 上に発光層 160 として、4,6mCzP2Pm と、PCCP と、Ir(mCNpptz-diPrp)₃ とを重量比 (4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mCNpptz-diPrp)₃) が 0.4 : 0.6 : 0.125 になるように、且つ厚さが 30 nm になるように共蒸着し、続いて、重量比 (4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mCNpptz-diPrp)₃) が 0.8 : 0.2 : 0.125 になるように、且つ厚さが 10 nm になるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、4,6mCzP2Pm が第 1 の有機化合物であり、PCCP が第 2 の有機化合物であり、Ir(mCNpptz-diPrp)₃ がゲスト材料 (燐光材料) である。

【0812】

次に、発光層 160 上に、電子輸送層 118 として、4,6mCzP2Pm を厚さが 10 nm になるよう、及び BPhen を厚さが 15 nm になるよう、順次蒸着した。次に、

電子輸送層 118 上に、電子注入層 119 として、フッ化リチウム (LiF) を厚さが 1 nm になるように蒸着した。

【0813】

次に、電子注入層 119 上に、電極 102 として、アルミニウム (Al) を厚さが 200 nm になるように形成した。

【0814】

次に、窒素雰囲気中のグローブボックス内において、有機 EL 用シール材を用いて封止するための基板 220 を、有機材料を形成した基板 200 に固定することで、発光素子 8 を封止した。なお、具体的な方法は、発光素子 1 と同様である。以上の工程により発光素子 8 を得た。

10

【0815】

< ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトル >

次に、ゲスト材料である $\text{Ir}(\text{mCNPptz} - \text{diPrp})_3$ の溶液の吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図 69 に示す。

【0816】

ゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{mCNPptz} - \text{diPrp})_3$) のジクロロメタン溶液を作製し、石英セルを用いて吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトルの測定には、紫外可視分光光度計 (株) 日本分光製 V550 型) を用い、該ジクロロメタン溶液を石英セルに入れ、室温で測定を行った。また、発光スペクトルの測定には、絶対 PL 量子収率測定装置 (株) 浜松ホトニクス製 C11347-01) を用い、グローブボックス (株) プライム製 LABstar M13 (1250/780) にて、窒素雰囲気下でジクロロメタン脱酸素溶液を石英セルに入れ、密栓し、室温で測定を行った。なお、図 69 に示す吸収スペクトルは、ジクロロメタン溶液を石英セルに入れて測定した吸収スペクトルから、ジクロロメタンのみを石英セルに入れて測定した吸収スペクトルを差し引いた結果を示している。

20

【0817】

図 69 に示すように、 $\text{Ir}(\text{mCNPptz} - \text{diPrp})_3$ のジクロロメタン溶液からは、499 nm に発光ピークを有する緑色の発光が観測された。

【0818】

また、ゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{mCNPptz} - \text{diPrp})_3$) のジクロロメタン溶液の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側 (長波長側) の吸収帯は 460 nm 付近である。また、吸収スペクトルのデータより、吸収端を求め、直接遷移を仮定した遷移エネルギーを見積もった結果、 $\text{Ir}(\text{mCNPptz} - \text{diPrp})_3$ の吸収端は 472 nm であり、遷移エネルギーは 2.63 eV と算出された。

30

【0819】

したがって、 $\text{Ir}(\text{mCNPptz} - \text{diPrp})_3$ の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側 (長波長側) の吸収帯は、4,6mCzP2Pm と PCCP とで形成する励起錯体が呈する発光と重なる領域を有している。したがって、4,6mCzP2Pm および PCCP をホスト材料として有する発光素子は、効果的にゲスト材料へ励起エネルギーを移動することができる。

40

【0820】

また、先の実施例で示したように、第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) 及び第 2 の有機化合物 (PCCP) の三重項励起エネルギー準位 (T1 準位) は、それぞれ 2.70 eV 及び 2.66 eV であり、ゲスト材料の吸収スペクトルの吸収端から導出された遷移エネルギーよりそれぞれ高い。したがって、ホスト材料として用いた第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) 及び第 2 の有機化合物 (PCCP) は、ホスト材料として十分な三重項励起エネルギー準位 (T1 準位) を有する。

【0821】

< 発光素子の特性 >

作製した発光素子 8 の電流効率 - 輝度特性を図 70 に示す。また、輝度 - 電圧特性を図

50

71に示す。また、外部量子効率 - 輝度特性を図72に示す。また、電力効率 - 輝度特性を図73に示す。また、発光素子8に 2.5 mA/cm^2 の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図74に示す。なお、測定方法は実施例1と同様であり、発光素子の測定は室温(23に保たれた雰囲気)で行った。

【0822】

また、 1000 cd/m^2 付近における、発光素子8の素子特性を表14に示す。

【0823】

【表14】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	電力効率 (lm/W)	外部量子 効率(%)
発光素子 8	3.4	1.4	(0.20, 0.46)	900	66	61	26

10

【0824】

図70乃至図73、及び表14で示すように、発光素子8は、高い発光効率(電流効率および外部量子効率)を示した。また、発光素子8の外部量子効率の最大値は27%と良好な値を示した。また、図74に示すように、発光素子8の電界発光スペクトルのピーク波長は490nmであり、半値全幅が70nmである、青色の発光を示した。

【0825】

また、図70乃至図73、及び表14で示すように、発光素子8は、低い駆動電圧で駆動した。

20

【0826】

<CV測定結果>

ここで、上記発光素子のゲスト材料に用いた $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ の電気化学的特性(酸化反応特性および還元反応特性)をサイクリックボルタンメトリ(CV)測定によって測定した。なお、測定方法は、先の実施例と同様であり、 $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ をジクロロメタンに溶解させた溶液を用いて酸化反応特性を測定し、DMFに溶解させた溶液を用いて還元反応特性を測定した。

【0827】

CV測定の結果より得られた $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ の酸化電位は0.48Vであり、還元電位は-2.51Vであった。また、CV測定より算出した $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ のHOMO準位は-5.42eV、LUMO準位は-2.43eVであった。

30

【0828】

したがって、発光素子8においては、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のLUMO準位より低く、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のHOMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位より低く、ゲスト材料($\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$)のLUMO準位は、第1の有機化合物(4,6mCzP2Pm)のLUMO準位より高く、ゲスト材料($\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$)のHOMO準位は、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位より高い。

40

【0829】

また、CV測定の結果より算出された $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差は2.99eVであった。

【0830】

したがって、 $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより、0.36eV大きい結果であった。

【0831】

また、 $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ の発光エネルギーは、図74に示した発

50

光素子 8 の電界発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長が 490 nm であったことから、2.53 eV と算出された。

【0832】

したがって、 $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ においては、LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより、0.46 eV 大きい結果であった。

【0833】

すなわち、上記発光素子に用いたゲスト材料においては、LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより 0.3 eV 以上大きい。また、LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより 0.4 eV 以上大きい。そのため、一对の電極から注入されたキャリアが、該ゲスト材料において直接再結合する場合には、LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差に相当する大きなエネルギーが必要となり、高い電圧が必要となる。

10

【0834】

しかしながら、本発明の一態様の発光素子においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合することなく、励起錯体からのエネルギー移動によってゲスト材料を励起することが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0835】

なお、発光素子 8 におけるホスト材料である第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) の LUMO 準位と、第 2 の有機化合物 (PCCP) の HOMO 準位とのエネルギー差は、表 3 より 2.75 eV と算出された。すなわち、発光素子 8 のホスト材料である励起錯体の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差に相当するエネルギーは、ゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$) の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (2.99 eV) より小さく、吸収端から算出される遷移エネルギー (2.63 eV) より大きい。したがって、発光素子 8 においては、励起錯体を経由してゲスト材料を励起させることが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

20

【0836】

ところで、CV 測定の結果より、一对の電極から注入されたキャリア (電子および正孔) のうち、電子は LUMO 準位が低いホスト材料である第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) に注入されやすく、正孔は HOMO 準位が高いゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$) に注入されやすい構成となっている。すなわち、第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) とゲスト材料 ($\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$) とで、励起錯体を形成してしまう可能性がある。

30

【0837】

CV 測定の結果より、第 1 の有機化合物 (4,6mCzP2Pm) の LUMO 準位と、ゲスト材料である $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ の HOMO 準位とのエネルギー差を算出したところ 2.54 eV であった。

【0838】

$\text{Ir}(\text{mCNpptz-diprp})_3$ を有する発光素子 8 においては、第 1 の有機化合物の LUMO 準位と、ゲスト材料の HOMO 準位とのエネルギー差 (2.54 eV) が、ゲスト材料が呈する発光のエネルギー (2.53 eV) 以上である。そのため、第 1 の有機化合物とゲスト材料とで励起錯体を形成するより、最終的にはゲスト材料へ励起エネルギーが移動しやすく、ゲスト材料から効率よく発光を得ることができる。この関係が、効率よく発光を得るための本発明の一態様の特徴である。

40

【0839】

すなわち、発光素子 8 のように、第 1 の有機化合物の LUMO 準位が、第 2 の有機化合物の LUMO 準位より低く、第 1 の有機化合物の HOMO 準位が、第 2 の有機化合物の HOMO 準位より低く、ゲスト材料の LUMO 準位が、第 1 の有機化合物の LUMO 準位より高く、ゲスト材料の HOMO 準位が、第 2 の有機化合物の HOMO 準位より高い場合、

50

第1の有機化合物と第2の有機化合物とが励起錯体を形成する組み合わせであり、第1の有機化合物のLUMO準位とゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差が、ゲスト材料の発光のエネルギー以上であることで、高い発光効率と低い駆動電圧を両立する発光素子を作製することができる。

【0840】

以上、本発明の一態様の構成を有することで、発光効率が高い発光素子を提供することができる。また、消費電力が低減された発光素子を提供することができる。また、発光効率が高く、青色の発光を呈する発光素子を提供することができる。

【0841】

本実施例に示す構成は、他の実施例及び実施の形態と適宜組み合わせる用いることができる。

10

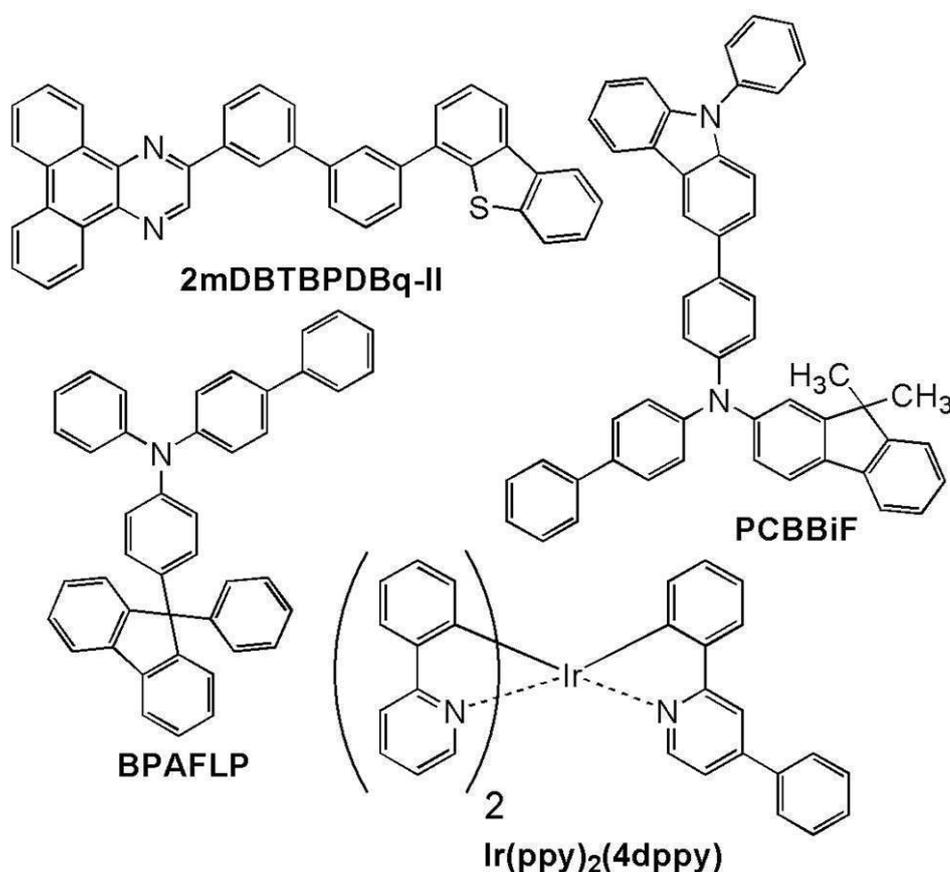
【実施例6】

【0842】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子（発光素子9及び10）と比較発光素子（比較発光素子4）の作製例を示す。本実施例で作製した発光素子の断面模式図は図34と同様である。素子構造の詳細を表15に示す。また、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。なお、他の化合物については、先の実施例を参照すればよい。

【0843】

【化22】



20

30

40

【0844】

【表 1 5】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子 9	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	2mDBTBPDBq-II	-
	発光層	160	40	2mDBTBPDBq-II : PCBBiF : Ir(ppy) ₂ (4dppy)	0.8:0.2:0.1
	正孔輸送層	112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	111	60	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	
発光素子 10	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	2mDBTBPDBq-II	-
	発光層	160	40	2mDBTBPDBq-II : PCCP : Ir(ppy) ₂ (4dppy)	0.45:0.45:0.1
	正孔輸送層	112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	111	60	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	
比較 発光 素子 4	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	2mDBTBPDBq-II	-
	発光層	160	40	2mDBTBPDBq-II : Ir(ppy) ₂ (4dppy)	0.9:0.1
	正孔輸送層	112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	111	60	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	

10

20

【 0 8 4 5】

< 発光素子の作製 >

30

発光素子 9 の作製

基板 200 上に電極 101 として、ITSO 膜を厚さが 70 nm になるように形成した。なお、電極 101 の電極面積は、4 mm² (2 mm × 2 mm) とした。

【 0 8 4 6】

次に、電極 101 上に正孔注入層 111 として、DBT3P-II と、MoO₃ と、を重量比 (DBT3P-II : MoO₃) が 1 : 0.5 になるように、且つ厚さが 60 nm になるように共蒸着した。

【 0 8 4 7】

次に、正孔注入層 111 上に正孔輸送層 112 として、BPAFLP を厚さが 20 nm になるように蒸着した。

40

【 0 8 4 8】

次に、正孔輸送層 112 上に発光層 160 として、2mDBTBPDBq-II と、PCBBiF と、[2-(4-フェニル-2-ピリジニル-N)フェニル-C]ビス[2-(2-ピリジニル-N)フェニル-C]イリジウム(III) (略称: Ir(ppy)₂(4dppy)) とを、重量比 (2mDBTBPDBq-II : PCBBiF : Ir(ppy)₂(4dppy)) が 0.8 : 0.2 : 0.1 になるように、且つ厚さが 40 nm になるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、2mDBTBPDBq-II が第 1 の有機化合物であり、PCBBiF が第 2 の有機化合物であり、Ir(ppy)₂(4dppy) がゲスト材料 (燐光材料) である。

【 0 8 4 9】

50

次に、発光層 160 上に、電子輸送層 118 として、2mDBTBPD Bq - II を厚さが 20 nm になるよう、及び BPhen を厚さが 10 nm になるよう、順次蒸着した。次に、電子輸送層 118 上に、電子注入層 119 として、フッ化リチウム (LiF) を厚さが 1 nm になるように蒸着した。

【0850】

次に、電子注入層 119 上に、電極 102 として、アルミニウム (Al) を厚さが 20 nm になるように形成した。

【0851】

次に、窒素雰囲気グローブボックス内において、有機 EL 用シール材を用いて封止するための基板 220 を、有機材料を形成した基板 200 に固定することで、発光素子 9 を封止した。なお、具体的な方法は、実施例 1 と同様である。以上の工程により発光素子 9 を得た。

10

【0852】

発光素子 10 の作製

発光素子 10 は、先に示す発光素子 9 の作製と、発光層 160 の構成のみ異なり、それ以外の工程は発光素子 9 と同様の作製方法とした。

【0853】

発光素子 10 の発光層 160 として、2mDBTBPD Bq - II と、PCCP と、Ir(pppy)₂(4dppy) と、を重量比 (2mDBTBPD Bq - II : PCCP : Ir(pppy)₂(4dppy)) が 0.45 : 0.45 : 0.1 になるように、且つ厚さが 40 nm になるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、2mDBTBPD Bq - II が第 1 の有機化合物であり、PCCP が第 2 の有機化合物であり、Ir(pppy)₂(4dppy) がゲスト材料 (燐光材料) である。

20

【0854】

比較発光素子 4 の作製

比較発光素子 4 は、先に示す発光素子 9 の作製と、発光層 160 の構成のみ異なり、それ以外の工程は発光素子 9 と同様の作製方法とした。

【0855】

比較発光素子 4 の発光層 160 として、2mDBTBPD Bq - II と、Ir(pppy)₂(4dppy) と、を重量比 (2mDBTBPD Bq - II : Ir(pppy)₂(4dppy)) が 0.9 : 0.1 になるように、且つ厚さが 40 nm になるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、2mDBTBPD Bq - II が第 1 の有機化合物であり、Ir(pppy)₂(4dppy) がゲスト材料 (燐光材料) であり、第 2 の有機化合物を有さない。

30

【0856】

< 発光素子の特性 >

次に、上記作製した発光素子 9、発光素子 10、及び比較発光素子 4 の特性を測定した。発光素子 9、発光素子 10、及び比較発光素子 4 の電流効率 - 輝度特性を図 75 に、輝度 - 電圧特性を図 76 に、外部量子効率 - 輝度特性を図 77 に、電力効率 - 輝度特性を図 78 に、それぞれ示す。また、発光素子 9、発光素子 10、及び比較発光素子 4 にそれぞれ 2.5 mA/cm² の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図 79 に示す。なお、各発光素子の測定は室温 (23 に保たれた雰囲気) で行った。また、測定方法は、実施例 1 と同様である。

40

【0857】

また、1000 cd/m² 付近における、発光素子 9、発光素子 10、及び比較発光素子 4 の素子特性を表 16 に示す。

【0858】

【表 1 6】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	電力効率 (lm/W)	外部量子 効率(%)
発光素子 9	3.2	1.3	(0.46, 0.53)	1100	82	81	25
発光素子 10	3.4	1.3	(0.45, 0.54)	1000	77	71	23
比較発光 素子4	3.7	1.4	(0.47, 0.52)	1100	80	68	25

10

【0859】

図79に示すように、発光素子9、発光素子10、及び比較発光素子4の電界発光スペクトルのピーク波長は、それぞれ562nm、559nm、及び564nmであり、半値全幅が84nm、80nm、及び93nmである緑色の発光を示した。これらの発光は、ゲスト材料であるIr(pppy)₂(4dppy)に由来する発光である。

【0860】

また、図75乃至図79、及び表16で示すように、発光素子9、発光素子10、及び比較発光素子4は、いずれも高い電流効率および外部量子効率を示した。また、発光素子9、発光素子10、及び比較発光素子4の外部量子効率の最大値は、それぞれ24.6%、22.6%、及び25.4%と優れた値を示した。一方、発光素子9及び10は、比較発光素子4より低い駆動電圧で駆動した。そのため、発光素子9及び10は優れた電力効率を示した。

20

【0861】

また、発光素子9及び発光素子10の発光開始電圧(輝度が1cd/m²より大きくなる電圧)は、それぞれ2.3V及び2.5Vであった。この電圧値は、後に示すように、ゲスト材料であるIr(pppy)₂(4dppy)のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当する電圧より小さい。したがって、発光素子9及び発光素子10においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合して発光しているのではなく、より小さいエネルギーギャップを有する材料において、キャリアが再結合していることが示唆される。

30

【0862】

<ホスト材料の発光スペクトル>

ここで、上記作製した発光素子のホスト材料(第1の有機化合物および第2の有機化合物)として用いた、2mDBTBPD Bq - II単体、PCBBiF単体、及びPCCP単体の薄膜の発光スペクトルを測定した結果を図80に示す。

【0863】

上記の発光スペクトルを測定するため、石英基板上に真空蒸着法により薄膜サンプルを作製した。また、発光スペクトルの測定にはPL-EL測定装置(浜松ホトニクス社製)を用い、室温(23℃に保たれた雰囲気)で測定を行った。なお、薄膜の膜厚は50nmとした。

40

【0864】

図80に示すように、2mDBTBPD Bq - II、PCBBiF、及びPCCPの発光スペクトルは、それぞれピーク波長が428nm、435nm、及び412nmである青色の発光を示した。

【0865】

<比較発光素子の作製>

次に、発光素子9及び10の比較発光素子として、ゲスト材料を有さない発光素子(比較発光素子5及び6)を作製し、その特性を評価した。素子構造の詳細を表17に示す。

【0866】

【表 17】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
比較 発光 素子 5	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	2mDBTBPDBq-II	-
	発光層	160	40	2mDBTBPDBq-II : PCBBiF	0.8:0.2
	正孔輸送層	112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	111	60	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
	電極	101	70	ITSO	-
比較 発光 素子 6	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	2mDBTBPDBq-II	-
	発光層	160	40	2mDBTBPDBq-II : PCCP	0.8:0.2
	正孔輸送層	112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	111	60	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
	電極	101	70	ITSO	-

10

20

【0867】

比較発光素子5及び6は、先に示す発光素子9及び10の作製と、発光層160の構成のみそれぞれ異なり、それ以外の工程は発光素子9及び10と同様の作製方法とした。

【0868】

比較発光素子5の発光層160として、2mDBTBPDBq-IIと、PCBBiFとを、重量比(2mDBTBPDBq-II : PCBBiF)が0.8 : 0.2になるように、且つ厚さが40nmになるように共蒸着した。

【0869】

比較発光素子6の発光層160として、2mDBTBPDBq-IIと、PCCPとを、重量比(2mDBTBPDBq-II : PCCP)が0.8 : 0.2になるように、且つ厚さが40nmになるように共蒸着した。

30

【0870】

< 比較発光素子の特性 >

次に、上記作製した比較発光素子5及び6の特性を測定した。測定方法は、実施例1と同様である。

【0871】

比較発光素子5及び6の電流効率 - 輝度特性を図81に、輝度 - 電圧特性を図82に、外部量子効率 - 輝度特性を図83に、それぞれ示す。また、比較発光素子5及び6にそれぞれ2.5mA/cm²の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図84に示す。なお、各発光素子の測定は室温(23℃に保たれた雰囲気)で行った。

40

【0872】

また、1000cd/m²付近における、比較発光素子5及び6の素子特性を表18に示す。

【0873】

【表 18】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	電力効率 (lm/W)	外部量子 効率(%)
比較発光 素子5	3.9	14	(0.33, 0.55)	950	6.6	5.3	2.1
比較発光 素子6	4.4	23	(0.21, 0.39)	1050	4.5	3.2	1.8

【0874】

図84に示すように、比較発光素子5及び6の電界発光スペクトルのピーク波長は、542nm及び498nmであり、半値全幅が101nm及び103nmである黄色の発光をそれぞれ示した。この発光は、図80に示した2mDBTBPD Bq - II単体、PCBBiF単体、及びPCCP単体の薄膜の発光スペクトルと大きく異なる発光スペクトルである。

10

【0875】

後に示すように、2mDBTBPD Bq - IIのLUMO準位は、PCBBiF及びPCCPのLUMO準位より低く、PCBBiF及びPCCPのHOMO準位は、2mDBTBPD Bq - IIのHOMO準位より高い。また、2mDBTBPD Bq - IIとPCBBiFとの混合膜を有する比較発光素子5の発光は、2mDBTBPD Bq - IIのLUMO準位とPCBBiFのHOMO準位とのエネルギー差に概ね相当するエネルギーを有し、該混合膜を有する比較発光素子5が呈する発光が、2mDBTBPD Bq - II単体及びPCBBiF単体の発光より長波長（低エネルギー）であることから、比較発光素子5の発光は、両化合物が形成する励起錯体からの発光であるといえる。また、2mDBTBPD Bq - IIとPCCPとの混合膜を有する比較発光素子6の発光は、2mDBTBPD Bq - IIのLUMO準位とPCCPのHOMO準位とのエネルギー差に概ね相当するエネルギーを有し、該混合膜を有する比較発光素子6が呈する発光が、2mDBTBPD Bq - II単体及びPCCP単体の発光より長波長（低エネルギー）であることから、比較発光素子6の発光は、両化合物が形成する励起錯体からの発光であるといえる。すなわち、2mDBTBPD Bq - IIとPCBBiFとは、互いに励起錯体を形成する組み合わせの有機化合物である。また、2mDBTBPD Bq - IIとPCCPとは、互いに励起錯体を形成する組み合わせの有機化合物である。そのため、2mDBTBPD Bq - IIとPCBBiFとを宿主材料として有する、または2mDBTBPD Bq - IIとPCCPとを宿主材料として有することで、EXTEETを利用する発光素子を作製することができる。

20

30

【0876】

<ゲスト材料の吸収スペクトル及び発光スペクトル>

次に、上記発光素子に用いたゲスト材料であるIr(pppy)₂(4dppy)の吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図85に示す。

【0877】

吸収スペクトルを測定するため、Ir(pppy)₂(4dppy)を溶解させたジクロロメタン溶液を作製し、石英セルを用いて吸収スペクトルを測定した。吸収スペクトルの測定には、紫外可視分光光度計（（株）日本分光製 V550型）を用い、該ジクロロメタン溶液を石英セルに入れ、室温で測定を行った。なお、測定した吸収スペクトルから、石英セルおよびジクロロメタンの吸収スペクトルを差し引いた。また、発光スペクトルの測定には、絶対PL量子収率測定装置（（株）浜松ホトニクス製 C11347-01）を用い、グローブボックス（（株）ブライト製 LABstar M13(1250/780)）にて、窒素雰囲気下で脱酸素した該ジクロロメタン溶液を石英セルに入れ、密栓し、室温で測定を行った。

40

【0878】

図85に示すように、Ir(pppy)₂(4dppy)の吸収スペクトルにおける最も

50

低エネルギー側（長波長側）の吸収帯は、500 nm付近である。また、吸収スペクトルのデータより、吸収端を求め、直接遷移を仮定した遷移エネルギーを見積もった結果、 $\text{Ir}(\text{ppy})_2(4\text{dppy})$ の吸収端は516 nmであり、遷移エネルギーは2.40 eVと算出された。

【0879】

したがって、 $\text{Ir}(\text{ppy})_2(4\text{dppy})$ の吸収スペクトルにおける最も低エネルギー側（長波長側）の吸収帯は、2mDBTBPD Bq - IIとPCBBiFとで形成する励起錯体が呈する発光、及び2mDBTBPD Bq - IIとPCCPとで形成する励起錯体が呈する発光、とそれぞれ重なる領域を有している。そのため、2mDBTBPD Bq - IIおよびPCBBiFを宿主材料として有する発光素子9、及び2mDBTBPD Bq - IIおよびPCCPを宿主材料として有する発光素子10は、効果的にゲスト材料($\text{Ir}(\text{ppy})_2(4\text{dppy})$)へ励起エネルギーを移動することができる。

10

【0880】

上記のように、発光素子9及び10は、第1の有機化合物(2mDBTBPD Bq - II)と第2の有機化合物(PCBBiF及びPCCP)とが励起錯体を形成する組み合わせの宿主材料を有する発光素子である。

【0881】

<宿主材料の燐光発光スペクトル>

次に、宿主材料として用いた2mDBTBPD Bq - II及びPCBBiFの三重項励起エネルギー準位(T1準位)の測定結果を図86に示す。測定方法は、実施例1と同様である。なお、PCCPの三重項励起エネルギー準位(T1準位)の測定結果は、図37を参照すればよい。

20

【0882】

図86において、2mDBTBPD Bq - II及びPCBBiFの燐光発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長は、それぞれ515 nm及び509 nmであることから、三重項励起エネルギー準位(T1準位)は、それぞれ2.41 eV及び2.44 eVと導出することができた。なお、実施例1で示したように、PCCPの三重項励起エネルギー準位(T1準位)は2.66 eVであった。

【0883】

また、図85で示した吸収スペクトルの吸収端から導出された $\text{Ir}(\text{ppy})_2(4\text{dppy})$ の遷移エネルギー(2.40 eV)より、2mDBTBPD Bq - II、PCBBiF、及びPCCPの三重項励起エネルギー準位(T1準位)は高い。

30

【0884】

したがって、本実施例で宿主材料として用いた第1の有機化合物(2mDBTBPD Bq - II)及び第2の有機化合物(PCBBiF及びPCCP)は、宿主材料として十分な三重項励起エネルギー準位(T1準位)を有する。

【0885】

<CV測定結果>

ここで、2mDBTBPD Bq - II、PCBBiF、PCCP、及び $\text{Ir}(\text{ppy})_2(4\text{dppy})$ の電気化学的特性(酸化反応特性および還元反応特性)をサイクリックボルタンメトリ(CV)測定によって測定した。なお測定方法は、実施例1と同様であり、各化合物をDMFに溶解させた溶液を測定した。

40

【0886】

CV測定の結果より得られた各化合物の酸化電位および還元電位、及びCV測定より算出した各化合物のHOMO準位およびLUMO準位を、表19に示す。

【0887】

【表 19】

略称	酸化電位(V)	還元電位(V)	酸化電位 から算出した HOMO準位 (eV)	還元電位 から算出した LUMO準位 (eV)
2mDBTBPDq-II	1.28	-2.00	-6.22	-2.94
PCBBiF	0.42	-2.94	-5.36	-2.00
PCCP	0.69	-2.98	-5.63	-1.96
Ir(ppy) ₂ (4dppy)	0.37	-2.38	-5.31	-2.57

10

【0888】

表 19 に示すように、第 1 の有機化合物 (2 m D B T B P D B q - I I) の還元電位は、第 2 の有機化合物 (P C B B i F 及び P C C P) の還元電位より高く、第 1 の有機化合物 (2 m D B T B P D B q - I I) の酸化電位は、第 2 の有機化合物 (P C B B i F 及び P C C P) の酸化電位より高く、ゲスト材料 (I r (p p y) ₂ (4 d p p y)) の還元電位は、第 1 の有機化合物 (2 m D B T B P D B q - I I) の還元電位より低く、ゲスト材料 (I r (p p y) ₂ (4 d p p y)) の酸化電位は、第 2 の有機化合物 (P C B B i F 及び P C C P) の酸化電位より低い。また、第 1 の有機化合物 (2 m D B T B P D B q - I I) の L U M O 準位は、第 2 の有機化合物 (P C B B i F 及び P C C P) の L U M O 準位より低く、第 1 の有機化合物 (2 m D B T B P D B q - I I) の H O M O 準位は、第 2 の有機化合物 (P C B B i F 及び P C C P) の H O M O 準位より低く、ゲスト材料 (I r (p p y) ₂ (4 d p p y)) の L U M O 準位は、第 1 の有機化合物 (2 m D B T B P D B q - I I) の L U M O 準位より高く、ゲスト材料 (I r (p p y) ₂ (4 d p p y)) の H O M O 準位は、第 2 の有機化合物 (P C B B i F 及び P C C P) の H O M O 準位より高い。

20

【0889】

C V 測定の結果から、第 1 の有機化合物 (2 m D B T B P D B q - I I) と第 2 の有機化合物 (P C B B i F 及び P C C P) とが励起錯体を形成することができる組み合わせであるといえる。

30

【0890】

なお、表 19 に示した C V 測定の結果より算出された I r (p p y) ₂ (4 d p p y) の L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差は、2.75 e V であった。

【0891】

一方、上述のように、図 8 5 において測定した I r (p p y) ₂ (4 d p p y) の吸収スペクトルの吸収端より求めた遷移エネルギーは、2.40 e V である。

【0892】

したがって、I r (p p y) ₂ (4 d p p y) においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより、0.35 e V 大きい結果であった。

40

【0893】

また、I r (p p y) ₂ (4 d p p y) の発光エネルギーは、図 8 5 に示した発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長がそれぞれ、576 nm であったことから、2.15 e V と算出された。

【0894】

したがって、I r (p p y) ₂ (4 d p p y) においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより、0.60 e V 大きい結果であった。

【0895】

すなわち、発光素子 9 及び 10 に用いたゲスト材料においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより 0.3 e V 以上大

50

きい。また、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより0.4 eV以上大きい。そのため、一对の電極から注入されたキャリアが、該ゲスト材料において直接再結合する場合においては、LUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当する大きなエネルギーが必要となり、高い電圧が必要となる。

【0896】

しかしながら、本発明の一態様の発光素子においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合することなく、励起錯体からのエネルギー移動によってゲスト材料を励起することが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0897】

なお、ホスト材料である2mDBTBPD Bq - II (第1の有機化合物)のLUMO準位と、PCBBiF (第2の有機化合物)のHOMO準位とのエネルギー差は、表19より2.42 eVと算出された。また、2mDBTBPD Bq - II (第1の有機化合物)のLUMO準位と、PCCP (第2の有機化合物)のHOMO準位とのエネルギー差は、表19より2.69 eVと算出された。すなわち、ホスト材料である励起錯体のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当するエネルギーは、ゲスト材料(Ir(ppy)₂(4dppy))のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差(2.75 eV)より小さいが、ゲスト材料(Ir(ppy)₂(4dppy))の吸収端から算出される遷移エネルギー(2.40 eV)より大きい。したがって、発光素子9及び10においては、励起錯体を經由してゲスト材料を励起させることが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

10

20

【0898】

ところで、表19のCV測定の結果より、一对の電極から注入されたキャリア(電子および正孔)のうち、電子はLUMO準位が低いホスト材料である第1の有機化合物(2mDBTBPD Bq - II)に注入されやすく、正孔はHOMO準位が高いゲスト材料(Ir(ppy)₂(4dppy))に注入されやすい構成となっている。すなわち、第1の有機化合物(2mDBTBPD Bq - II)とゲスト材料(Ir(ppy)₂(4dppy))とで、励起錯体を形成してしまう可能性がある。

【0899】

しかしながら、発光素子9及び10の電界発光スペクトルは、図85に示したゲスト材料(Ir(ppy)₂(4dppy))の発光スペクトルと同等の結果であり、第1の有機化合物とゲスト材料とで励起錯体を形成していない。このことは、本発明者らが見出した特徴的な現象である。

30

【0900】

表19に示したCV測定の結果より、第1の有機化合物(2mDBTBPD Bq - II)のLUMO準位と、ゲスト材料であるIr(ppy)₂(4dppy)のHOMO準位とのエネルギー差を算出したところ、2.37 eVであった。

【0901】

したがって、発光素子9及び10においては、第1の有機化合物(2mDBTBPD Bq - II)のLUMO準位と、ゲスト材料(Ir(ppy)₂(4dppy))のHOMO準位とのエネルギー差(2.37 eV)が、ゲスト材料(Ir(ppy)₂(4dppy))が呈する発光のエネルギー(2.15 eV)以上である。そのため、第1の有機化合物とゲスト材料とで励起錯体を形成するより、最終的にはゲスト材料へ励起エネルギーが移動しやすく、ゲスト材料から効率よく発光を得ることができる。この関係が、効率よく発光を得るための本発明の一態様の特徴である。

40

【0902】

<信頼性試験結果>

次に、上記発光素子の信頼性試験の測定結果を図87に示す。なお、信頼性試験は、各発光素子(発光素子9、発光素子10、及び比較発光素子4)の電流密度を50 mA/cm²

50

m² に設定し、電流密度を一定の条件で各発光素子を連続駆動させた。

【0903】

その結果、発光素子9、発光素子10、及び比較発光素子4において、初期輝度の90%に劣化した時間(LT90)はそれぞれ、60時間、120時間、及び10時間であり、発光素子9及び10は優れた信頼性を示す結果が得られた。

【0904】

すなわち、発光素子9及び10のように、第1の有機化合物のLUMO準位が、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より低く、ゲスト材料のLUMO準位が、第1の有機化合物のLUMO準位より高く、ゲスト材料のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より高い場合、第1の有機化合物と第2の有機化合物とが励起錯体を形成する組み合わせであり、第1の有機化合物のLUMO準位とゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差が、ゲスト材料の発光のエネルギー以上であることで、高い発光効率と低い駆動電圧を両立し、且つ優れた信頼性を有する発光素子を作製することができる。

10

【0905】

以上、本発明の一態様の構成を有することで、発光効率が高い発光素子を作製することができる。また、消費電力が低減された発光素子を作製することができる。また、信頼性の優れた発光素子を作製することができる。

【実施例7】

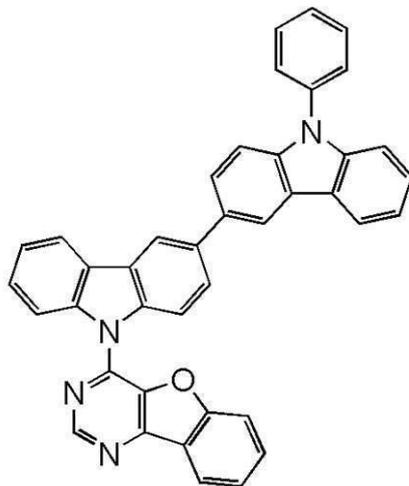
【0906】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子(発光素子11)の作製例を示す。本実施例で作製した発光素子の断面模式図は図34と同様である。素子構造の詳細を表20に示す。また、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。なお、他の化合物については、先の実施例を参酌すればよい。

20

【0907】

【化23】



30

4PCCzBfpm

40

【0908】

【表 2 0】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子 11	電極	102	200	Al	-
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4PCCzBfpm	-
	発光層	160(2)	20	4PCCzBfpm : PCCP : Ir(ppy) ₃	0.8:0.2:0.05
		160(1)	20	4PCCzBfpm : PCCP : Ir(ppy) ₃	0.5:0.5:0.05
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	60	DBT3P-II : MoO ₃	1:0.5
電極	101	70	ITSO	-	

10

【0909】

< 発光素子 11 の作製 >

基板 200 上に電極 101 として、ITSO 膜を厚さが 70 nm になるように形成した。なお、電極 101 の電極面積は、4 mm² (2 mm × 2 mm) とした。

【0910】

次に、電極 101 上に正孔注入層 111 として、DBT3P-II と、MoO₃ と、を重量比 (DBT3P-II : MoO₃) が 1 : 0.5 になるように、且つ厚さが 60 nm

20

【0911】

次に、正孔注入層 111 上に正孔輸送層 112 として、PCCP を厚さが 20 nm になるように蒸着した。

【0912】

次に、正孔輸送層 112 上に発光層 160 として、4-(9'-フェニル-3,3'-ビ-9H-カルバゾール-9-イル)ベンゾフロ[3,2-d]ピリミジン (略称: 4PCCzBfpm) と、PCCP と、Ir(ppy)₃ とを、重量比 (4PCCzBfpm : PCCP : Ir(ppy)₃) が 0.5 : 0.5 : 0.05 になるように、且つ厚さが 20 nm になるように共蒸着し、続いて、重量比 (4PCCzBfpm : PCCP : Ir(ppy)₃) が 0.8 : 0.2 : 0.05 になるように、且つ厚さが 20 nm になるように共蒸着した。なお、発光層 160 において、4PCCzBfpm が第 1 の有機化合物であり、PCCP が第 2 の有機化合物であり、Ir(ppy)₃ がゲスト材料 (燐光材料) である。

30

【0913】

次に、発光層 160 上に、電子輸送層 118 として、4PCCzBfpm を厚さが 20 nm になるよう、及び BPhen を厚さが 10 nm になるよう、順次蒸着した。次に、電子輸送層 118 上に、電子注入層 119 として、フッ化リチウム (LiF) を厚さが 1 nm になるように蒸着した。

【0914】

次に、電子注入層 119 上に、電極 102 として、アルミニウム (Al) を厚さが 200 nm になるように形成した。

40

【0915】

次に、窒素雰囲気中のグローブボックス内において、有機 EL 用シール材を用いて封止するための基板 220 を、有機材料を形成した基板 200 に固定することで、発光素子 11 を封止した。具体的な方法は、実施例 1 と同様である。以上の工程により発光素子 11 を得た。

【0916】

< 発光素子の特性 >

次に、上記作製した発光素子 11 の特性を測定した。発光素子 11 の電流効率 - 輝度特

50

性を図 8 8 に、輝度 - 電圧特性を図 8 9 に、外部量子効率 - 輝度特性を図 9 0 に、電力効率 - 輝度特性を図 9 1 に、それぞれ示す。また、発光素子 1 1 に 2.5 mA/cm^2 の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図 9 2 に示す。なお、発光素子の測定は室温 (23 に保たれた雰囲気) で行った。また、測定方法は、実施例 1 と同様である。

【0917】

また、 1000 cd/m^2 付近における、発光素子 1 1 の素子特性を表 2 1 に示す。

【0918】

【表 2 1】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m ²)	電流効率 (cd/A)	電力効率 (lm/W)	外部量子 効率(%)
発光素子 11	3.6	1.8	(0.33, 0.61)	900	51	44	14

10

【0919】

図 9 2 に示すように、発光素子 1 1 の電界発光スペクトルのピーク波長は 517 nm であり、半値全幅が 80 nm である緑色の発光を示した。この発光は、ゲスト材料である $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ に由来する発光である。

【0920】

また、図 8 8 乃至図 9 1、及び表 2 1 で示すように、発光素子 1 1 は、高い電流効率および外部量子効率を示した。また、発光素子 1 1 の外部量子効率の最大値は 15% と良好な値を示した。また、発光素子 1 1 は、低い駆動電圧で駆動した。そのため、発光素子 1 1 は良好な電力効率を示した。

20

【0921】

また、発光素子 1 1 の発光開始電圧 (輝度が 1 cd/m^2 より大きくなる電圧) は、 2.5 V であった。この電圧値は、実施例 1 で示したように、ゲスト材料である $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ の LUMO 準位と HOMO 準位とのエネルギー差 (3.01 eV) に相当する電圧より小さい。したがって、発光素子 1 1 においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合して発光しているのではなく、より小さいエネルギーギャップを有する材料において、キャリアが再結合していることが示唆される。

【0922】

< ホスト材料の燐光発光スペクトル >

次に、ホスト材料として用いた 4PCCzBfp m の三重項励起エネルギー準位 (T1 準位) の測定結果を図 9 3 に示す。測定方法は、実施例 1 と同様である。なお、 PCCP の三重項励起エネルギー準位 (T1 準位) の測定結果は、図 3 7 を参照すればよい。

【0923】

図 9 3 において、 4PCCzBfp m の燐光発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長は、 480 nm であることから、三重項励起エネルギー準位 (T1 準位) は、 2.58 eV と導出することができた。なお、実施例 1 で示したように、 PCCP の三重項励起エネルギー準位 (T1 準位) は 2.66 eV であった。

【0924】

また、図 3 6 (A) で示した $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ の吸収スペクトルの吸収端から導出された遷移エネルギー (2.44 eV) より、 4PCCzBfp m 及び PCCP の三重項励起エネルギー準位 (T1 準位) は高い。

40

【0925】

したがって、本実施例でホスト材料として用いた第 1 の有機化合物 (4PCCzBfp m) 及び第 2 の有機化合物 (PCCP) は、ホスト材料として十分な三重項励起エネルギー準位 (T1 準位) を有する。

【0926】

< CV 測定結果 >

ここで、 4PCCzBfp m の電気化学的特性 (酸化反応特性および還元反応特性) を

50

サイクリックボルタンメトリ (CV) 測定によって測定した。なお測定方法は、実施例 1 と同様であり、4 P C C z B f p m を D M F に溶解させた溶液を測定した。

【0927】

CV 測定の結果より得られた 4 P C C z B f p m の酸化電位は 0.76 V、還元電位は -2.10 V であり、CV 測定より算出した H O M O 準位は -5.70 e V、L U M O 準位は -2.84 e V であった。

【0928】

CV 結果より、第 1 の有機化合物 (4 P C C z B f p m) の還元電位は、第 2 の有機化合物 (P C C P) の還元電位より高く、第 1 の有機化合物 (4 P C C z B f p m) の酸化電位は、第 2 の有機化合物 (P C C P) の酸化電位より高く、ゲスト材料 (I r (p p y)₃) の還元電位は、第 1 の有機化合物 (4 P C C z B f p m) の還元電位より低く、ゲスト材料 (I r (p p y)₃) の酸化電位は、第 2 の有機化合物 (P C C P) の酸化電位より低い。また、第 1 の有機化合物 (4 P C C z B f p m) の L U M O 準位は、第 2 の有機化合物 (P C C P) の L U M O 準位より低く、第 1 の有機化合物 (4 P C C z B f p m) の H O M O 準位は、第 2 の有機化合物 (P C C P) の H O M O 準位より低く、ゲスト材料 (I r (p p y)₃) の L U M O 準位は、第 1 の有機化合物 (4 P C C z B f p m) の L U M O 準位より高く、ゲスト材料 (I r (p p y)₃) の H O M O 準位は、第 2 の有機化合物 (P C C P) の H O M O 準位より高い。

10

【0929】

CV 測定の結果から、第 1 の有機化合物 (4 P C C z B f p m) と第 2 の有機化合物 (P C C P) とが励起錯体を形成することができる組み合わせであるといえる。

20

【0930】

なお、CV 測定の結果より算出された I r (p p y)₃ の L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差については、3.01 e V であった。

【0931】

一方、図 36 (A) において測定した I r (p p y)₃ の吸収スペクトルの吸収端より求めた遷移エネルギーは、2.44 e V である。

【0932】

したがって、I r (p p y)₃ においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより 0.57 e V 大きい結果であった。

30

【0933】

また、I r (p p y)₃ の発光エネルギーは、図 36 (A) に示した発光スペクトルの最も短波長側のピークの波長が 514 nm であったことから、2.41 e V と算出された。

【0934】

したがって、I r (p p y)₃ においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより 0.60 e V 大きい結果であった。

【0935】

すなわち、発光素子 11 に用いたゲスト材料 (I r (p p y)₃) においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、吸収端から算出される遷移エネルギーより 0.4 e V 以上大きい。また、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差が、発光エネルギーより 0.4 e V 以上大きい。そのため、一对の電極から注入されたキャリアが、該ゲスト材料において直接再結合する場合においては、L U M O 準位と H O M O 準位とのエネルギー差に相当する大きなエネルギーが必要となり、高い電圧が必要となる。

40

【0936】

しかしながら、本発明の一態様の発光素子においては、ゲスト材料においてキャリアが直接再結合することなく、励起錯体からのエネルギー移動によってゲスト材料を励起することが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0937】

50

なお、ホスト材料である第1の有機化合物(4PCCzBfp m)のLUMO準位と、第2の有機化合物(PCCP)のHOMO準位とのエネルギー差は、2.79 eVと算出された。すなわち、ホスト材料である励起錯体のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差に相当するエネルギーは、ゲスト材料(Ir(pp y)₃)のLUMO準位とHOMO準位とのエネルギー差(3.01 eV)より小さいが、ゲスト材料(Ir(pp y)₃)の吸収端から算出される遷移エネルギー(2.44 eV)より大きい。したがって、発光素子11においては、励起錯体を經由してゲスト材料を励起させることが可能であるため、駆動電圧を低減することができる。したがって、本発明の一態様の発光素子は消費電力を低減することができる。

【0938】

ところで、CV測定の結果より、一对の電極から注入されたキャリア(電子および正孔)のうち、電子はLUMO準位が低いホスト材料である第1の有機化合物(4PCCzBfp m)に注入されやすく、正孔はHOMO準位が高いゲスト材料(Ir(pp y)₃)に注入されやすい構成となっている。すなわち、第1の有機化合物(4PCCzBfp m)とゲスト材料(Ir(pp y)₃)とで、励起錯体を形成してしまう可能性がある。

【0939】

しかしながら、発光素子11の電界発光スペクトルは、図36(A)で示したIr(pp y)₃の発光スペクトルと同等の結果であり、第1の有機化合物とゲスト材料とで励起錯体を形成していない。このことは、本発明者らが見出した特徴的な現象である。

【0940】

CV測定の結果より、第1の有機化合物(4PCCzBfp m)のLUMO準位と、ゲスト材料であるIr(pp y)₃のHOMO準位とのエネルギー差を算出したところ、2.48 eVであった。

【0941】

したがって、発光素子11においては、第1の有機化合物(4PCCzBfp m)のLUMO準位と、ゲスト材料(Ir(pp y)₃)のHOMO準位とのエネルギー差(2.48 eV)が、ゲスト材料(Ir(pp y)₃)の吸収スペクトルにおける吸収端から算出される遷移エネルギー(2.44 eV)以上である。また、第1の有機化合物(4PCCzBfp m)のLUMO準位と、ゲスト材料(Ir(pp y)₃)のHOMO準位とのエネルギー差(2.48 eV)が、ゲスト材料(Ir(pp y)₃)が呈する発光のエネルギー(2.41 eV)以上である。そのため、第1の有機化合物とゲスト材料とで励起錯体を形成するより、最終的にはゲスト材料へ励起エネルギーが移動しやすく、ゲスト材料から効率よく発光を得ることができる。この関係が、効率よく発光を得るための本発明の一態様の特徴である。

【0942】

以上、発光素子11のように、第1の有機化合物のLUMO準位が、第2の有機化合物のLUMO準位より低く、第1の有機化合物のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より低く、ゲスト材料のLUMO準位が、第1の有機化合物のLUMO準位より高く、ゲスト材料のHOMO準位が、第2の有機化合物のHOMO準位より高い場合、第1の有機化合物と第2の有機化合物とが励起錯体を形成する組み合わせであり、第1の有機化合物のLUMO準位とゲスト材料のHOMO準位とのエネルギー差が、ゲスト材料の吸収端から算出される遷移エネルギー以上である、あるいはゲスト材料の発光のエネルギー以上であることで、高い発光効率と低い駆動電圧を両立する発光素子を作製することができる。

【0943】

以上、本発明の一態様の構成を有することで、発光効率が高い発光素子を作製することができる。また、消費電力が低減された発光素子を作製することができる。

【0944】

(参考例1)

本参考例では、実施例2でゲスト材料として用いた有機金属錯体である、トリス{2 -

10

20

30

40

50

[4 - (4 - シアノ - 2 , 6 - ジイソブチルフェニル) - 5 - (2 - メチルフェニル) - 4 H - 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 i B u C N p)₃) の合成方法について説明する。

【 0 9 4 5 】

< 合成例 1 >

ステップ 1 : 4 - アミノ - 3 , 5 - ジイソブチルベンゾニトリルの合成

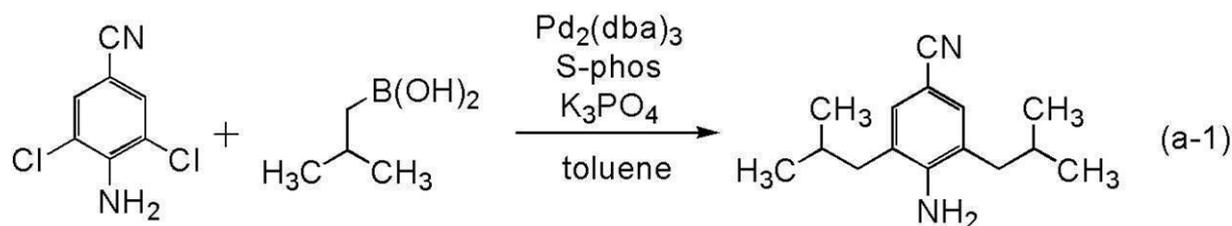
9 . 4 g (5 0 m m o l) の 4 - アミノ - 3 , 5 - ジクロロベンゾニトリルと、 2 6 g (2 5 3 m m o l) のイソブチルボロン酸と、 5 4 g (2 5 3 m m o l) のリン酸三カリウムと、 2 . 0 g (4 . 8 m m o l) の 2 - ジシクロヘキシルホスフィノ - 2 ' , 6 ' - ジメトキシビフェニル (S - p h o s) と、 5 0 0 m L のトルエンと、を 1 0 0 0 m L の三口フラスコに入れ、フラスコ内を窒素置換し、フラスコ内を減圧しながら攪拌し、この混合物を脱気した。脱気後、 0 . 8 8 g (0 . 9 6 m m o l) のトリス (ジベンジリデンアセトン) パラジウム (0) を加え、窒素気流下、 1 3 0 ° で 8 時間攪拌し反応させた。得られた反応溶液にトルエンを加えて、セライト、酸化アルミニウム、セライトの順で積層したろ過補助剤を通してろ過した。得られたろ液を濃縮し、油状物を得た。得られた油状物をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、トルエンを用いた。得られたフラクションを濃縮して、 1 0 g の黄色油状物を、収率 8 7 % で得た。得られた黄色油状物が 4 - アミノ - 3 , 5 - ジイソブチルベンゾニトリルであることを、核磁気共鳴法 (N M R) により確認した。ステップ 1 の合成スキームを下記式 (a - 1) に示す。

10

20

【 0 9 4 6 】

【 化 2 4 】



【 0 9 4 7 】

30

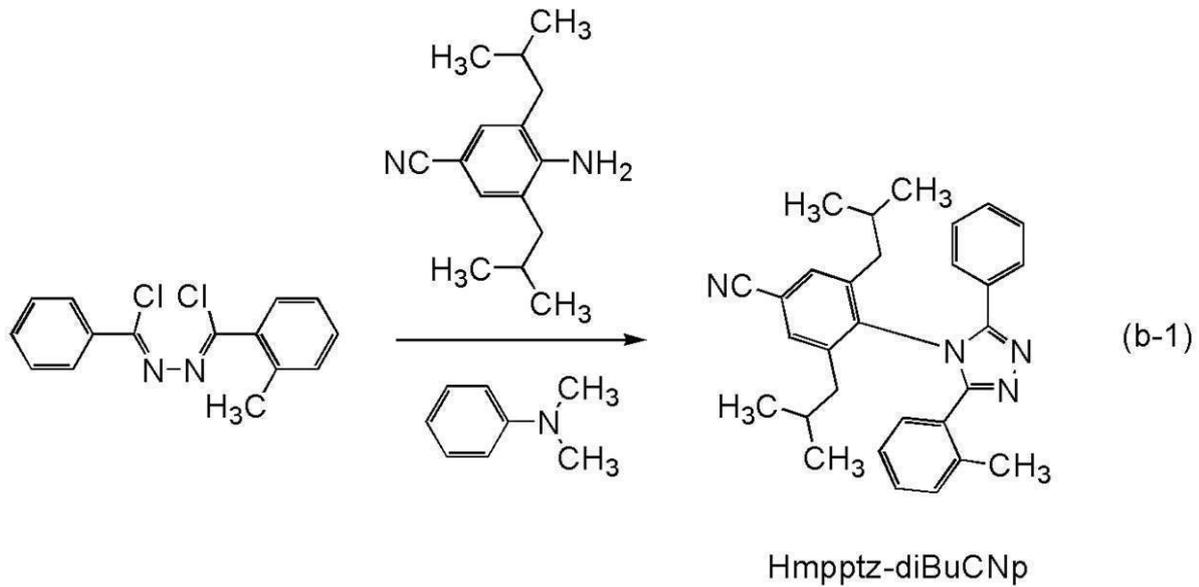
ステップ 2 : 4 - (4 - シアノ - 2 , 6 - ジイソブチルフェニル) - 3 - (2 - メチルフェニル) - 5 - フェニル - 4 H - 1 , 2 , 4 - トリアゾール (略称 : H m p p t z - d i B u C N p) の合成

ステップ 1 で合成した 4 - アミノ - 3 , 5 - ジイソブチルベンゾニトリルを 1 1 g (4 8 m m o l) と、 4 . 7 g (1 6 m m o l) の N - (2 - メチルフェニル) クロロメチリデン - N ' - フェニルクロロメチリデンヒドラジンと、 4 0 m L の N , N - ジメチルアニリンと、を 3 0 0 m L の三口フラスコに入れ、窒素気流下、 1 6 0 ° で 7 時間攪拌し反応させた。反応後、反応溶液を 3 0 0 m L の 1 M 塩酸に入れ 3 時間攪拌した。有機層と水層を分液し、水層を酢酸エチルで抽出した。有機層と得られた抽出溶液を合わせて、飽和炭酸水素ナトリウム、及び飽和食塩水で洗浄し、有機層に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥させた。得られた混合物を自然ろ過し、ろ液を濃縮して油状物を得た。得られた油状物をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、ヘキサン : 酢酸エチル = 5 : 1 の混合溶媒を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体にヘキサンを加えて超音波を照射し、吸引ろ過することで、 2 . 0 g の白色固体を、収率 2 8 % で得た。得られた白色固体が 4 - (4 - シアノ - 2 , 6 - ジイソブチルフェニル) - 3 - (2 - メチルフェニル) - 5 - フェニル - 4 H - 1 , 2 , 4 - トリアゾール (略称 : H m p p t z - d i B u C N p) であることを、核磁気共鳴法 (N M R) により確認した。ステップ 2 の合成スキームを下記式 (b - 1) に示す。

40

【 0 9 4 8 】

【化25】



10

【0949】

ステップ3：Ir(mppptz-diBuCNp)₃の合成

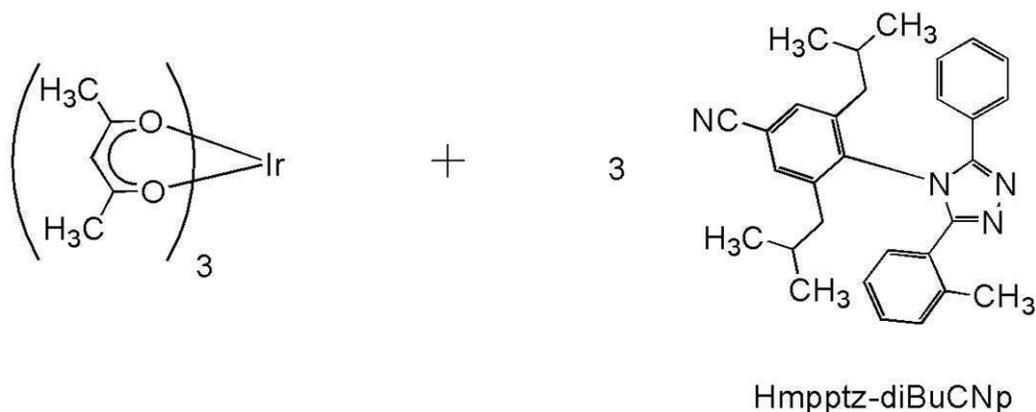
ステップ2で合成した2.0g(4.5mmol)のHmpptz-diBuCNpと、0.44g(0.89mmol)のトリス(アセチルアセトナト)イリジウム(III)とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、アルゴン気流下、250℃にて43時間攪拌し反応させた。得られた反応混合物をジクロロメタンに加え、不溶物を取り除いた。得られたろ液を濃縮し、固体を得た。得られた固体をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、ジクロロメタンを用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル/ヘキサンで再結晶し、0.32gの黄色固体を、収率23%で得た。得られた黄色固体のうち0.31gをトレインサブレーション法により昇華精製した。圧力が2.6Pa、アルゴン流量が5.0mL/minの条件で、310℃で19時間加熱して行った。昇華精製後、0.26gの黄色固体を、回収率84%で得た。ステップ3の合成スキームを下記式(c-1)に示す。

20

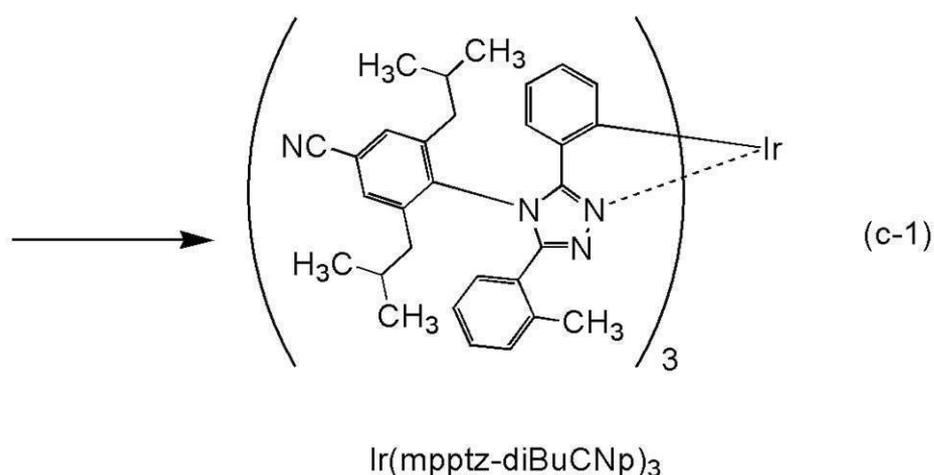
30

【0950】

【化 2 6】



10



20

【0951】

上記ステップ3で得られた黄色固体のプロトン (¹H) を核磁気共鳴法 (NMR) により測定した。以下に得られた値を示す。このことから、本合成例において、Ir (mpptz-diBuCNp)₃ が得られたことがわかった。

30

【0952】

¹H-NMR (CDCl₃) : 0.33 (d, 18H), 0.92 (d, 18H), 1.51 - 1.58 (m, 3H), 1.80 - 1.88 (m, 6H), 2.10 - 2.15 (m, 6H), 2.26 - 2.30 (m, 3H), 2.55 (s, 9H), 6.12 (d, 3H), 6.52 (t, 3H), 6.56 (d, 3H), 6.72 (t, 3H), 6.83 (t, 3H), 6.97 (d, 3H), 7.16 (t, 3H), 7.23 (d, 3H), 7.38 (s, 3H), 7.55 (s, 3H)。

【0953】

(参考例2)

40

本参考例では、実施例3でゲスト材料としてもちいた有機金属錯体である、トリス{2-[1-(4-シアノ-2,6-ジイソブチルフェニル)-1H-イミダゾール-2-イル-N3]フェニル-C}イリジウム(III) (略称: Ir(pim-diBuCNp)₃) の合成方法について説明する。

【0954】

<合成例2>

ステップ1: 1-(4-シアノ-2,6-ジイソブチルフェニル)-2-フェニル-4,5-ジヒドロ-1H-イミダゾールの合成

22g (117mmol) のN-(2-クロロエチル)ベンズアミドと、260mL の脱水キシレンと、を1000mLの三口フラスコに入れた。この混合溶液に33g (15

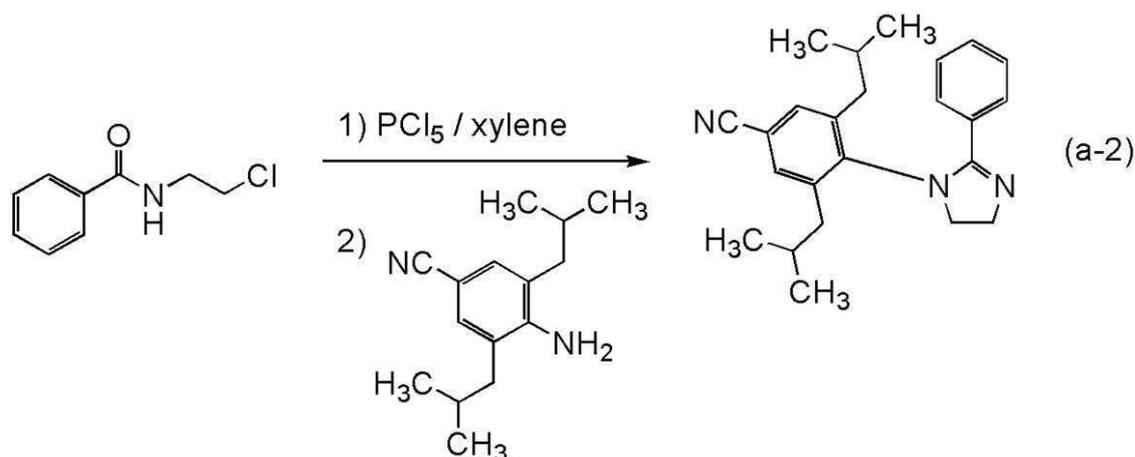
50

8 mmol) の五塩化リンを加え、140 で1時間加熱撹拌し反応させた。反応後、室温まで冷やし、28 g (120 mmol) の4-アミノ-3,5-ジイソブチルベンゾニトリルと60 mLの脱水キシレンとの混合溶液を滴下し、140 で5時間加熱撹拌した。この反応混合物を500 mLの水にゆっくりと加え、室温で30分撹拌した。この混合物にクロロホルムを加えて抽出した。得られた抽出液を1 M水酸化ナトリウム水溶液にゆっくりと加え、室温で30分撹拌した。この混合物の水層と有機層を分液し、得られた抽出溶液を飽和炭酸水素ナトリウム水溶液、次いで飽和食塩水で洗浄した。洗浄後、有機層に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥させ、得られた混合物を自然ろ過して、ろ液を得た。得られたろ液を濃縮して固体を得た。得られた固体に酢酸エチル/ヘキサンの混合溶媒を加えて吸引ろ過をし、白色固体を33 g、収率79%で得た。核磁気共鳴法(NMR)

10

【0955】

【化27】



20

【0956】

ステップ2：1-(4-シアノ-2,6-ジイソブチルフェニル)-2-フェニル-1H-イミダゾール(略称：Hpim-diBuCNp)の合成

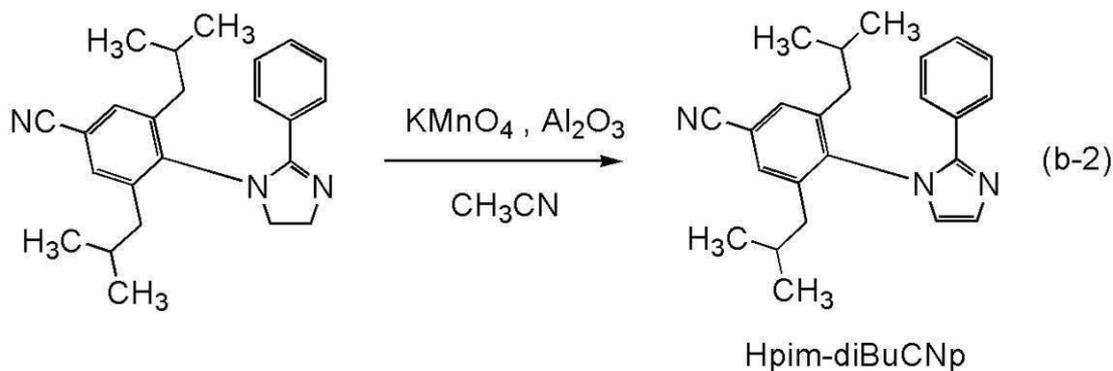
30

ステップ1で合成した1-(4-シアノ-2,6-ジイソブチルフェニル)-2-フェニル-4,5-ジヒドロ-1H-イミダゾールのうち15 g (42 mmol)と、アセトニトリルとを200 mLの三口フラスコに入れた。13 g (84 mmol)の過マンガン酸カリウムと29 gの酸化アルミニウムとを乳鉢と一緒に細かくすり潰した粉末を、上記混合溶液に加え、室温で17時間撹拌し反応させた。この反応混合物をセライトに通して吸引ろ過した。得られたろ液を濃縮し、油状物を得た。得られた油状物にトルエンを加え、セライト、酸化アルミニウム、セライトの順で積層したろ過補助剤を通してろ過した。得られたろ液を濃縮し、油状物を得た。得られた油状物をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、ヘキサン：酢酸エチル=5：1の混合溶媒を用いた。得られたフラクションを濃縮して、無色油状物を8.0 g、収率53%で得た。核磁気共鳴法(NMR)により得られた無色油状物が1-(4-シアノ-2,6-ジイソブチルフェニル)-2-フェニル-1H-イミダゾール(略称：Hpim-diBuCNp)であることを確認した。ステップ2の合成スキームを下記式(b-2)に示す。

40

【0957】

【化28】



10

【0958】

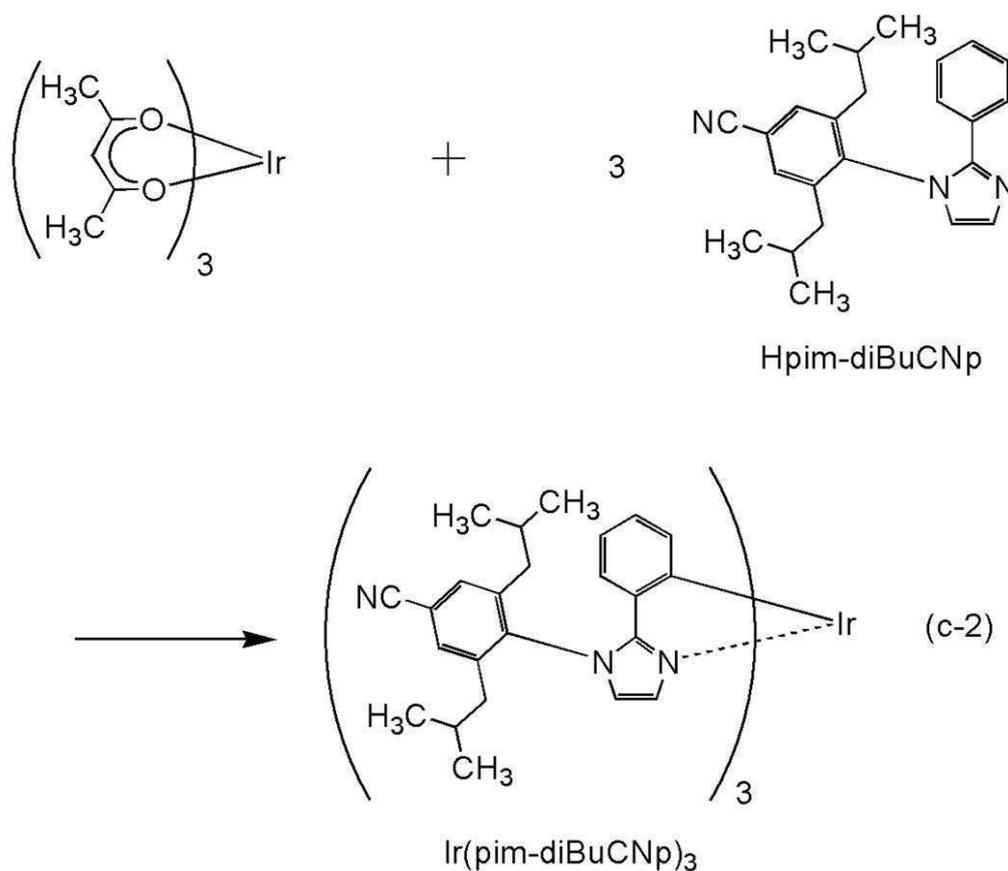
ステップ3: $\text{Ir}(\text{pim-diBuCNp})_3$ の合成

ステップ2で合成した1-(4-シアノ-2,6-ジイソブチルフェニル)-2-フェニル-1H-イミダゾールのうち5.0g(14mmol)と、1.4g(2.8mmol)のトリス(アセチルアセトナト)イリジウム(III)とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、アルゴン気流下、250℃にて38時間加熱し反応させた。得られた反応混合物にトルエンを加え、不溶物を取り除いた。得られたろ液を濃縮し、固体を得た。得られた固体をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、まずトルエンを用いた。次いで、トルエン:酢酸エチル=9:1の混合溶媒を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル/ヘキサンで再結晶し、0.6gの黄色固体を、収率18%で得た。得られた0.6gの黄色固体をトレインサブレーション法により昇華精製した。圧力が2.6Pa、アルゴン流量が5.0mL/minの条件で、280℃で17時間加熱した。昇華精製後、0.4gの黄色固体を、回収率67%で得た。ステップ3の合成スキームを下記式(c-2)に示す。

20

【0959】

【化29】



30

40

50

【0960】

上記ステップ3で得られた黄色固体のプロトン (^1H) を核磁気共鳴法 (NMR) により測定した。以下に得られた値を示す。このことから、本合成例において、 $\text{Ir}(\text{pim-dibucnp})_3$ が得られたことがわかった。

【0961】

^1H -NMR (CDCl_3) : 0.43 (d, 9H), 0.56 (d, 9H), 0.79 (t, 18H), 1.42 - 1.50 (m, 3H), 1.73 - 1.81 (m, 3H), 1.97 - 2.02 (m, 3H), 2.12 - 2.17 (m, 3H), 2.24 - 2.29 (m, 3H), 2.46 - 2.50 (m, 3H), 6.05 (d, 3H), 6.40 (t, 3H), 6.59 (t, 3H), 6.71 - 6.76 (m, 9H), 7.54 (d, 6H)。

10

【0962】

(参考例3)

本参考例3では、実施例3でゲスト材料として用いた有機金属錯体である、トリス{2-[4-(4-シアノ-2,6-ジメチルフェニル)-5-(2-メチルフェニル)-4H-1,2,4-トリアゾール-3-イル-N₂]フェニル-C}イリジウム (III) (略称: $\text{Ir}(\text{mppztz-dmCnp})_3$) の合成方法について説明する。

【0963】

<合成例3>

ステップ1: 4-(4-シアノ-2,6-ジメチルフェニル)-3-(2-メチルフェニル)-5-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾール (略称: Hmppztz-dmCnp) の合成

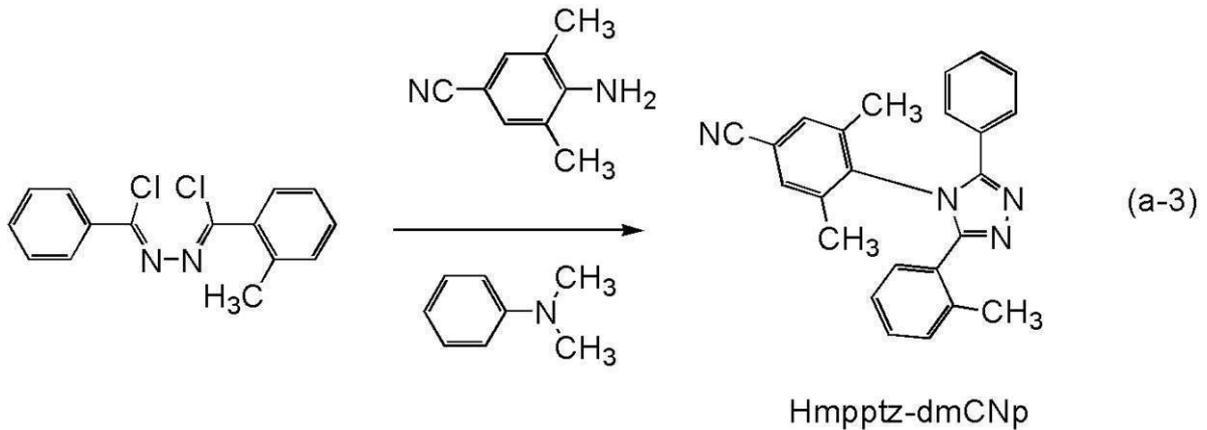
20

6.5 g (44 mmol) の4-アミノ-2,6-ジメチルベンゾニトリルと、10 g (34 mmol) のN-(2-メチルフェニル)クロロメチリデン-N'-フェニルクロロメチリデンヒドラジンと、80 mLのN,N-ジメチルアニリンを300 mLの三口フラスコに入れ、窒素気流下、160 で21時間攪拌し反応させた。反応後、反応溶液を300 mLの1M塩酸に入れ3時間攪拌した。有機層と水層を分液し、水層をトルエンで抽出した。有機層と得られた抽出溶液を合わせて、飽和炭酸水素ナトリウム、及び飽和食塩水で洗浄し、有機層に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥させた。得られた混合物を自然ろ過し、ろ液を濃縮して油状物を得た。得られた油状物をシリカカラムクロマトグラフィにより精製した。展開溶媒には、まずトルエン:酢酸エチル=10:1 (v:v) の混合溶媒を用い、トルエン:酢酸エチル=2:1 (v:v) まで高極性溶媒比率を徐々にあげていった。得られたフラクションを濃縮して得た固体を酢酸エチルにより再結晶し、3.5 gの白色固体を、収率27%で得た。核磁気共鳴法 (NMR) により得られた白色固体が、4-(4-シアノ-2,6-ジメチルフェニル)-3-(2-メチルフェニル)-5-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾール (略称: Hmppztz-dmCnp) であることを確認した。ステップ1の合成スキームを下記式 (a-3) に示す。

30

【0964】

【化30】



10

【0965】

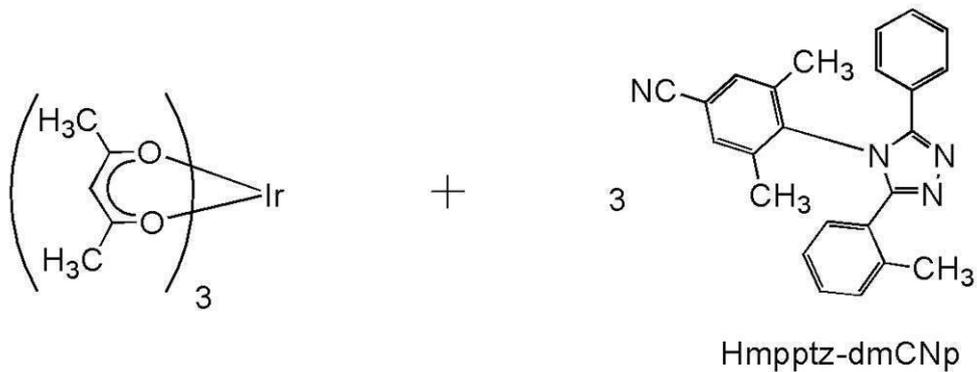
ステップ2：Ir(mppptz-dmCNp)₃の合成

次に、上記ステップ1で得られた4-(4-シアノ-2,6-ジメチルフェニル)-3-(2-メチルフェニル)-5-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾール(略称：Hmpptz-dmCNp)のうち3.0g(8.2mmol)と、0.81g(1.6mmol)のトリス(アセチルアセトナト)イリジウム(III)とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、250℃にて37時間加熱し反応させた。得られた反応混合物をシリカゲルカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、ジクロロメタン：酢酸エチル=20：1(v：v)を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチルで再結晶し、150mgの黄色固体を、収率7.3%で得た。ステップ3の合成スキームを下記式(b-3)に示す。

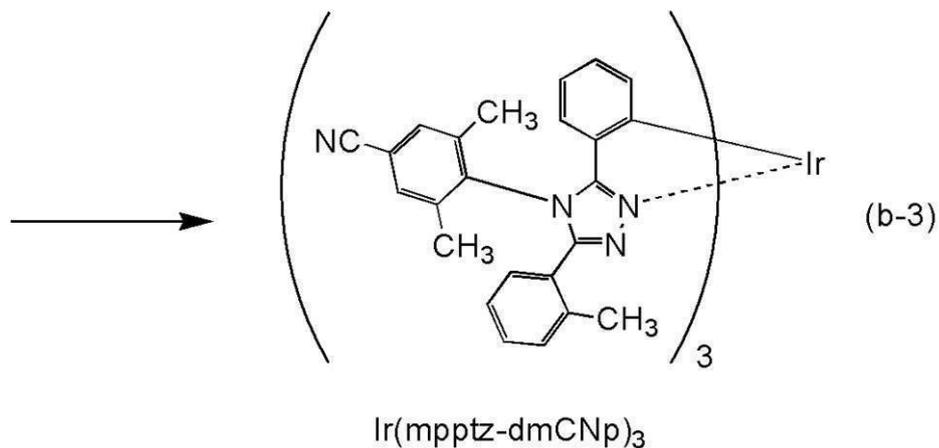
20

【0966】

【化31】



30



40

50

【0967】

上記ステップ2で得られた黄色固体のプロトン (^1H) を核磁気共鳴法 (NMR) により測定した。以下に得られた値を示す。このことから、本合成例において、 $\text{Ir}(\text{m p p t z - d m C N p})_3$ が得られたことがわかった。

【0968】

^1H -NMR (CDCl_3) : 1.99 (s, 9H), 2.02 (s, 9H), 2.36 (s, 9H), 6.22 (d, 3H), 6.61 (t, 3H), 6.66 (d, 3H), 6.78 (t, 3H), 6.90 - 6.93 (m, 3H), 6.99 (d, 3H), 7.19 - 7.23 (m, 6H), 7.41 (s, 3H), 7.48 (s, 3H)。

【0969】

(参考例4)

本参考例4では、実施例3でゲスト材料として用いた有機金属錯体である、トリス{2-[4-(3-シアノ-2,4,6-トリメチルフェニル)-5-(2-メチルフェニル)]-4H-1,2,4-トリアゾール-3-イル-N2]フェニル-C}イリジウム(III) (略称: $\text{Ir}(\text{m p p t z - t m 5 C N p})_3$) の合成方法を説明する。

【0970】

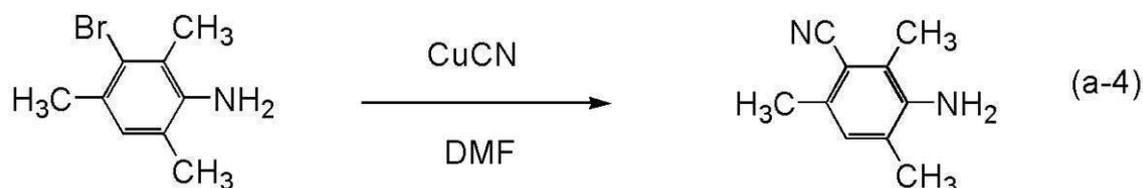
<合成例4>

ステップ1: 3-アミノ-2,4,6-トリメチルベンゾニトリルの合成

13g (61mmol) の3-ブromo-2,4,6-トリメチルアニリンと、200mL のジメチルホルムアミドと、8.2g (91mmol) のシアン化銅とを、500mL の三口フラスコに入れ、窒素気流下、150 で16時間加熱攪拌し反応させた。得られた反応溶液に100mL のアンモニア水と100mL の水を加え室温で攪拌した。得られた混合物を有機層と水層に分液し、水層をジクロロメタンで抽出し、有機層を水、及び飽和食塩水で洗浄した。得られた有機層に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥させ、この混合物を自然ろ過してろ液を得た。このろ液を濃縮して褐色固体を得た。この褐色固体をエタノールで洗浄して、7.1g の淡赤色固体を、収率73%で得た。核磁気共鳴法 (NMR) により得られた淡赤色固体が3-アミノ-2,4,6-トリメチルベンゾニトリルであることを確認した。ステップ2の合成スキームを下記式(a-4)に示す。

【0971】

【化32】



【0972】

ステップ2: 4-(3-シアノ-2,4,6-トリメチルフェニル)-3-(2-メチルフェニル)-5-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾール (略称: $\text{H m p p t z - t m 5 C N p}$) の合成

次に、ステップ1で合成した3-アミノ-2,4,6-トリメチルベンゾニトリルのうち6.5g (41mmol) と、9.4g (34mmol) のN-(2-メチルフェニル)クロロメチリデン-N'-フェニルクロロメチリデンヒドラジンと、110mL のN,N-ジメチルアニリンとを、300mL の三口フラスコに入れ、窒素気流下、160 で19時間攪拌し反応させた。反応後、反応溶液を300mL の1M塩酸に入れ3時間攪拌した。有機層と水層を分液し、水層をトルエンで抽出した。有機層と得られた抽出溶液とを合わせて、飽和炭酸水素ナトリウム、及び飽和食塩水で洗浄し、有機層に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥させた。得られた混合物を自然ろ過し、ろ液を濃縮して油状物を得た。得られた油状物をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、トルエン:酢酸エチル=1:1 (v:v) の混合溶媒を用いた。得られたフラクションを

10

20

30

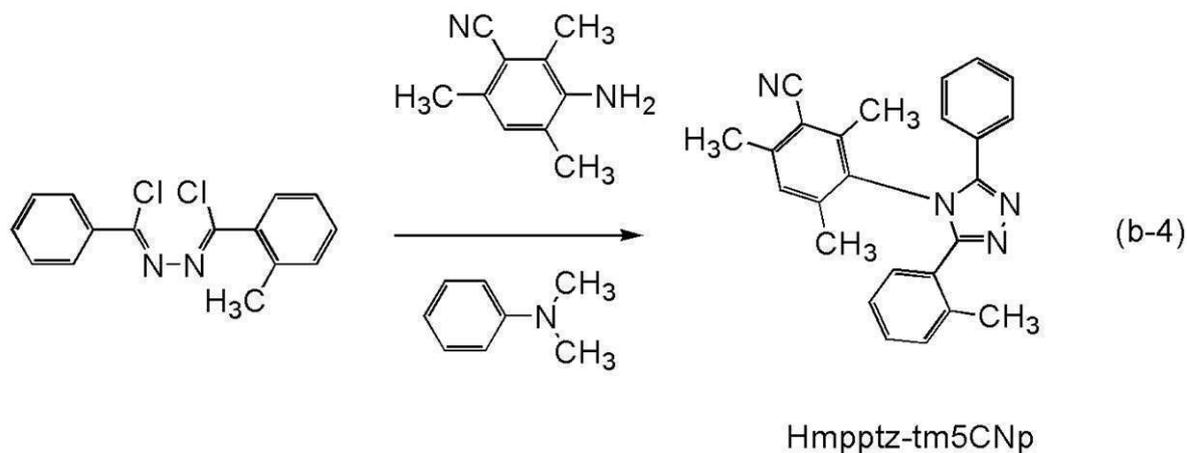
40

50

濃縮して、白色固体を得た。得られた白色固体を酢酸エチルにより再結晶し、5.2 gの白色固体を、収率40%で得た。核磁気共鳴法(NMR)により得られた白色固体が4-(3-シアノ-2,4,6-トリメチルフェニル)-3-(2-メチルフェニル)-5-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾール(略称:Hmpptz-tm5CNp)であることを確認した。ステップ2の合成スキームを下記式(b-4)に示す。

【0973】

【化33】



10

【0974】

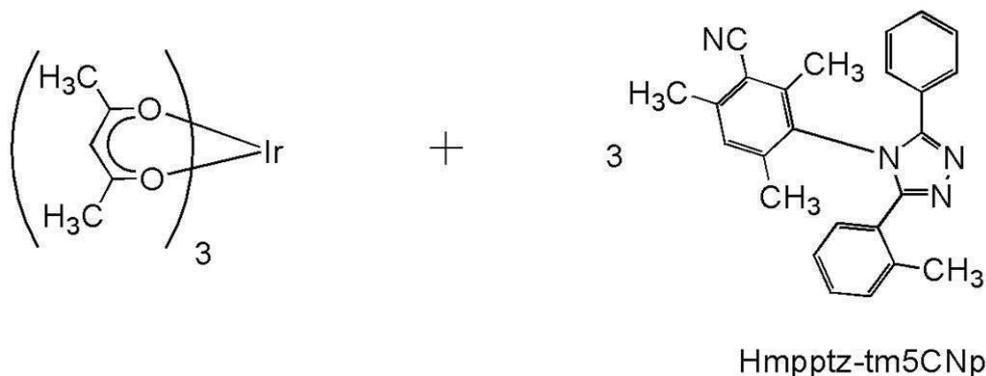
ステップ3: Ir(mppptz-tm5CNp)₃の合成

次に、上記ステップ2で得られた4-(3-シアノ-2,4,6-トリメチルフェニル)-3-(2-メチルフェニル)-5-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾールのうち4.5 g (12 mmol)と、1.2 g (2.4 mmol)のトリス(アセチルアセトナト)イリジウム(III)とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、250℃にて40時間加熱した。得られた反応混合物をシリカゲルカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、ジクロロメタン:酢酸エチル=20:1(v:v)を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル/ヘキサンで再結晶し、0.80 gの黄色固体を、収率25%で得た。得られた黄色固体のうち0.31 gをトレインサブレーション法により昇華精製した。圧力を 4.7×10^{-3} Paとし、315℃で16時間、及び320℃で8.5時間加熱した。昇華精製後、0.18 gの黄色固体を、回収率58%で得た。ステップ3の合成スキームを下記式(c-4)に示す。

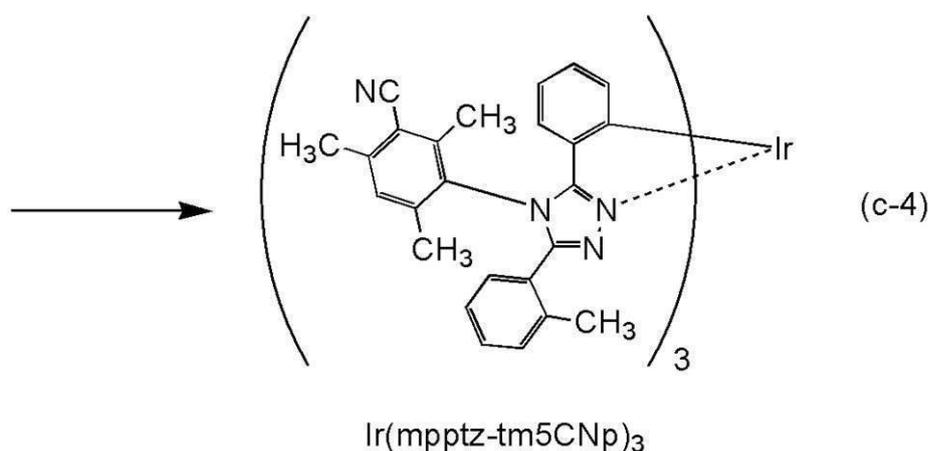
30

【0975】

【化34】



10



20

【0976】

上記ステップ3で得られた黄色固体のプロトン (^1H) を核磁気共鳴法 (NMR) により測定した。以下に得られた値を示す。このことから、本合成例において、 $\text{Ir}(\text{mpptz}-\text{tm}5\text{CNp})_3$ が得られたことがわかった。

【0977】

^1H -NMR (CDCl_3) : 1.37 - 2.18 (m, 18H), 2.30 - 2.34 (m, 9H), 2.56 (s, 9H), 6.20 - 6.22 (m, 3H), 6.58 - 6.62 (m, 3H), 6.72 (d, 3H), 6.75 - 6.78 (m, 3H), 6.91 - 7.02 (m, 6H), 7.05 - 7.07 (m, 3H), 7.19 - 7.20 (m, 6H)。

30

【0978】

(参考例5)

本参考例では、実施例5でゲスト材料として用いた有機金属錯体である、トリス{2-[5-(5-シアノ-2-メチルフェニル)-4-(2,6-ジイソプロピルフェニル)-4H-1,2,4-トリアゾール-3-イル-N²]フェニル-C}イリジウム(III) (略称: $\text{Ir}(\text{mCNpptz}-\text{diPrp})_3$) の合成方法について説明する。

40

【0979】

<合成例5>

ステップ1: N-5-ブロモ-2-メチルベンゾイル-N'-ベンゾイルヒドラジドの合成

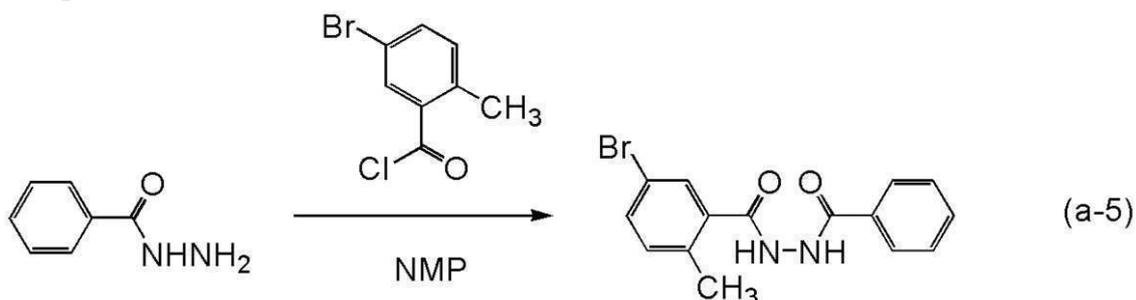
15g (107mmol) のベンゾイルヒドラジドと、75mL のN-メチル-2-ピロリジノン (NMP) と、を500mL の三口フラスコに加え、窒素気流下、氷浴で撹拌した。この混合溶液に25g (107mmol) の5-ブロモ-2-メチルベンゾイルクロリドと32mL のNMPの混合溶液をゆっくり滴下し、23時間撹拌し反応させた。反応後、この反応溶液を500mLの水にゆっくり加えると、固体が析出した。析出した固

50

体を水と1 M塩酸で交互に超音波洗浄した。その後、エタノールで超音波洗浄を行い、白色固体を33 g、収率92%で得た。核磁気共鳴法(NMR)により得られた白色固体がN-5-ブromo-2-メチルベンゾイル-N'-ベンゾイルヒドラジドであることを確認した。ステップ1の合成スキームを下記式(a-5)に示す。

【0980】

【化35】



10

【0981】

ステップ2：N-クロロ-5-ブromo-2-メチルフェニルメチリデン-N'-クロロフェニルメチリデンヒドラゾンの合成

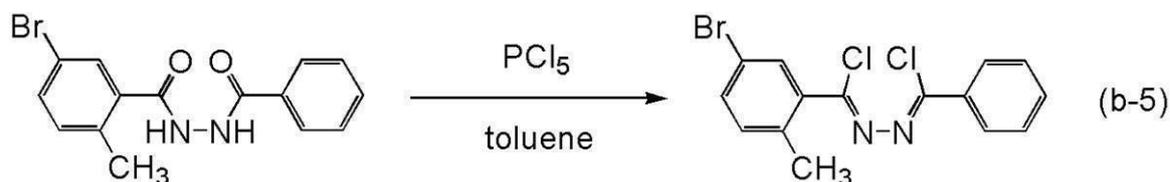
ステップ1で合成したN-5-ブromo-2-メチルベンゾイル-N'-ベンゾイルヒドラジドのうち27 g (80 mmol)と、500 mLのトルエンと、を1000 mLの三口フラスコに入れた。この混合溶液に50 g (240 mmol)の五塩化リンを加え、120 で8時間加熱攪拌し反応させた。反応後、この反応溶液を500 mLの水にゆっくりと加え、室温で30分攪拌した。この混合物の水層と有機層を分液し、水層をトルエンで抽出した。得られた抽出溶液と有機層を回収し、この有機層を400 mLの1 M水酸化ナトリウム水溶液にゆっくりと加え、室温で30分攪拌した。この混合物の水層と有機層を分液し、水層をトルエンで抽出した。得られた抽出溶液を飽和炭酸水素ナトリウム水溶液、次いで飽和食塩水で洗浄した。洗浄後の溶液に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥させ、得られた混合物を自然ろ過して、ろ液を得た。得られたろ液を濃縮して固体を得た。得られた固体にヘキサンを加えて超音波を照射し、吸引ろ過をすることで黄色固体を22 g、収率75%で得た。核磁気共鳴法(NMR)により得られた黄色固体がN-クロロ-5-ブromo-2-メチルフェニルメチリデン-N'-クロロフェニルメチリデンヒドラゾンであることを確認した。ステップ2の合成スキームを下記式(b-5)に示す。

20

30

【0982】

【化36】



40

【0983】

ステップ3：3-(5-ブromo-2-メチルフェニル)-4-(2,6-ジイソプロピルフェニル)-5-フェニル-4H-1,2,4-トリアゾールの合成

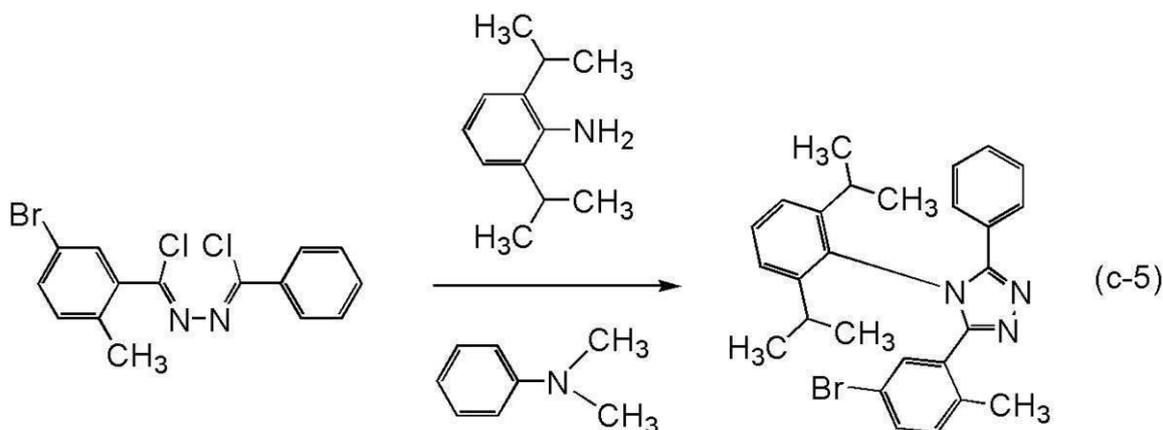
ステップ2で合成した22 g (66 mmol)のN-クロロ-5-ブromo-2-メチルフェニルメチリデン-N'-クロロフェニルメチリデンヒドラゾンと、35 g (199 mmol)の2,6-ジイソプロピルアニリンと、200 mLのN,N-ジメチルアニリンと、を500 mLの三口フラスコに入れ、窒素気流下、160 で11.5時間攪拌し反応させた。反応後、反応溶液を500 mLの3 M塩酸に入れ、1時間攪拌した。有機層と水層を分液し、水層を酢酸エチルで抽出した。有機層と得られた抽出溶液を合わせて、飽和炭酸水素ナトリウム及び飽和食塩水で洗浄し、得られた溶液に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥させた。得られた混合物を自然ろ過し、ろ液を濃縮して油状物を得た。得られ

50

た油状物をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、トルエン：酢酸エチル = 5 : 1 の混合溶媒を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル / ヘキサンで再結晶し、白色固体を 1.3 g、収率 4.2 % で得た。核磁気共鳴法 (NMR) により得られた白色固体が 3 - (5 - プロモ - 2 - メチルフェニル) - 4 - (2, 6 - ジイソプロピルフェニル) - 5 - フェニル - 4H - 1, 2, 4 - トリアゾールであることを確認した。ステップ 3 の合成スキームを下記式 (c - 5) に示す。

【0984】

【化37】



10

20

【0985】

ステップ 4 : 3 - (5 - シアノ - 2 - メチルフェニル) - 4 - (2, 6 - ジイソプロピルフェニル) - 5 - フェニル - 4H - 1, 2, 4 - トリアゾール (略称 : HmCNpptz - diPrp) の合成

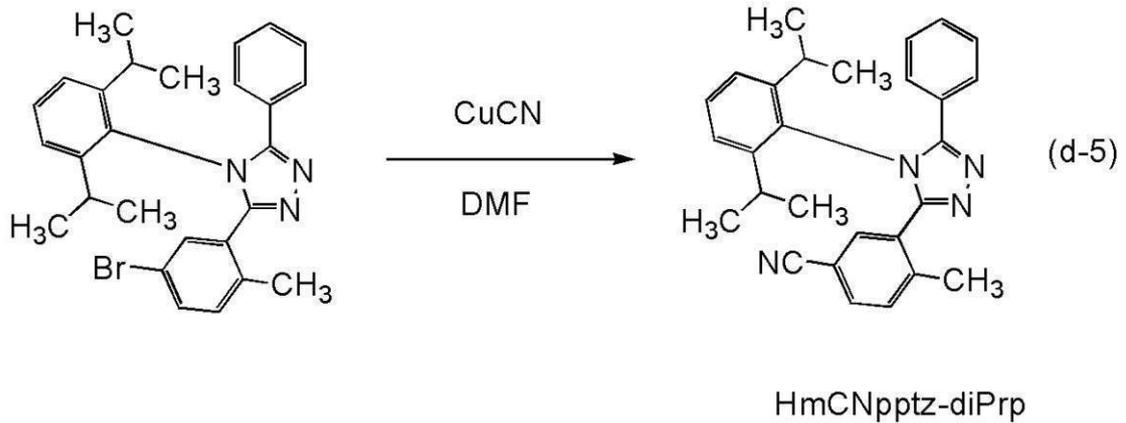
ステップ 3 で合成した 3 - (5 - プロモ - 2 - メチルフェニル) - 4 - (2, 6 - ジイソプロピルフェニル) - 5 - フェニル - 4H - 1, 2, 4 - トリアゾールのうち 10 g (21 mmol) と、70 mL の N, N - ジメチルホルムアミドと、を 300 mL の三口フラスコに入れた。この混合溶液に 2.8 g (32 mmol) のシアン化銅を加え、150 で 43 時間加熱攪拌し反応させた。反応後、この反応溶液に 100 mL のアンモニア水と 100 mL の水とを加えて室温で 30 分間攪拌した。この混合物にクロロホルムを加えて、抽出した。得られた抽出溶液を飽和食塩水で 2 回洗浄した。洗浄後の溶液に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥させ、得られた混合物を自然ろ過して、ろ液を得た。得られたろ液を濃縮して油状物を得た。得られた油状物をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、まず酢酸エチル：ヘキサン = 1 : 5 の混合溶媒を用い、次いで、酢酸エチル：ヘキサン = 1 : 3 の混合溶媒を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル / ヘキサンで再結晶し、白色固体を 1.9 g、収率 2.1 % で得た。核磁気共鳴法 (NMR) により得られた白色固体が 3 - (5 - シアノ - 2 - メチルフェニル) - 4 - (2, 6 - ジイソプロピルフェニル) - 5 - フェニル - 4H - 1, 2, 4 - トリアゾール (略称 : HmCNpptz - diPrp) であることを確認した。ステップ 4 の合成スキームを下記式 (d - 5) に示す。

30

40

【0986】

【化38】



10

【0987】

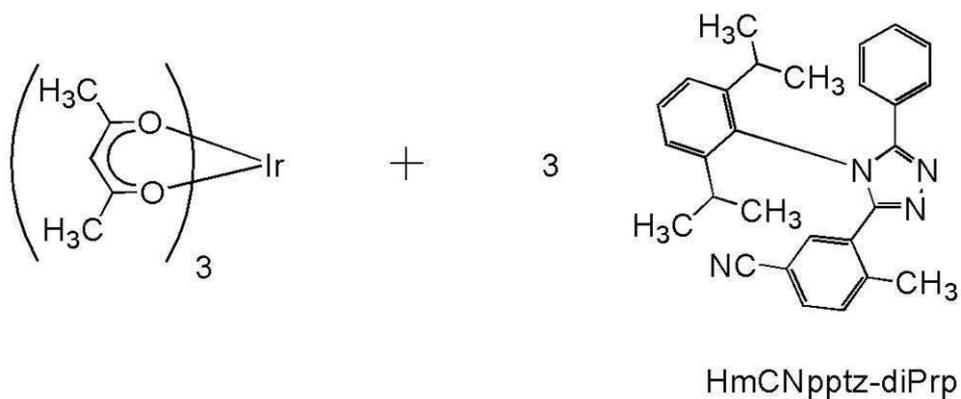
ステップ5: $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diPrp})_3$ の合成

ステップ4で合成した1.9g(4.4mmol)のHmCNpptz-diPrpと、0.43g(0.89mmol)のトリス(アセチルアセトナト)イリジウム(III)とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、アルゴン気流下、250℃にて40.5時間攪拌し反応させた。得られた反応混合物をジクロロメタンに加えてろ過し、不溶物を取り除いた。得られたろ液を濃縮し、固体を得た。得られた固体をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、まずジクロロメタンを用い、次いで、ジクロロメタン:酢酸エチル=100:3を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル/ヘキサンで再結晶し、黄色固体を0.27g、収率21%で得た。得られた0.27gの黄色固体をトレインサブレーション法により昇華精製した。圧力が 8.6×10^{-3} Paの条件で、310℃で17時間加熱して行った。昇華精製後、0.16gの黄色固体を、回収率61%で得た。ステップ5の合成スキームを下記式(e-5)に示す。

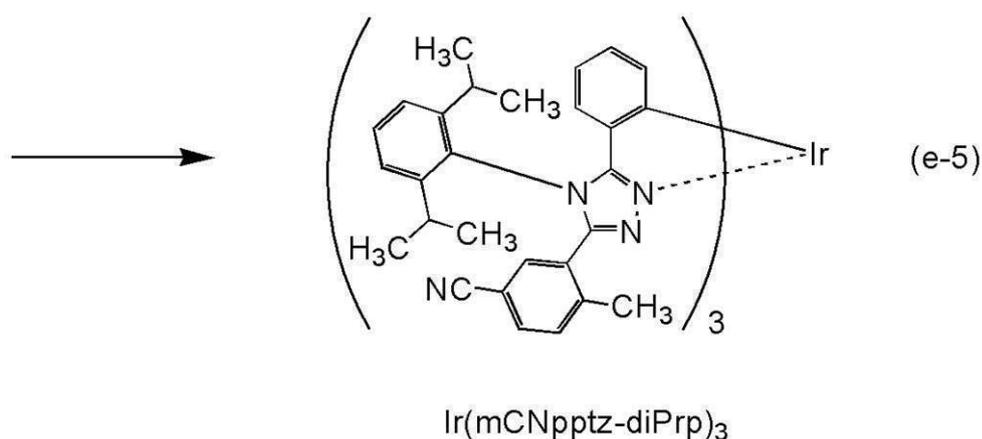
20

【0988】

【化 3 9】



10



20

【0989】

上記ステップ5で得られた黄色固体のプロトン (^1H) を核磁気共鳴法 (NMR) により測定した。以下に得られた値を示す。このことから、本合成例において、 $\text{Ir}(\text{mCNpptz-diPrp})_3$ が得られたことがわかった。

30

【0990】

^1H -NMR. (CD_2Cl_2): 0.72 (d, 9H), 0.80 - 0.83 (m, 18H), 0.93 (d, 9H), 2.15 - 2.21 (m, 3H), 2.35 (s, 9H), 2.69 - 2.74 (m, 3H), 6.21 (d, 3H), 6.52 (t, 3H), 6.70 (t, 3H), 6.80 (d, 3H), 7.07 (d, 3H), 7.29 - 7.31 (m, 6H), 7.34 (d, 3H), 7.45 (d, 3H), 7.56 (t, 3H)。

【0991】

(参考例6)

40

本参考例では、実施例7でホスト材料として用いた化合物である、4-(9'-フェニル-3,3'-ビ-9H-カルバゾール-9-イル)ベンゾフロ[3,2-d]ピリミジン(略称: 4PCCzBfpm)の合成方法について説明する。

【0992】

<合成例6>

4PCCzBfpmの合成

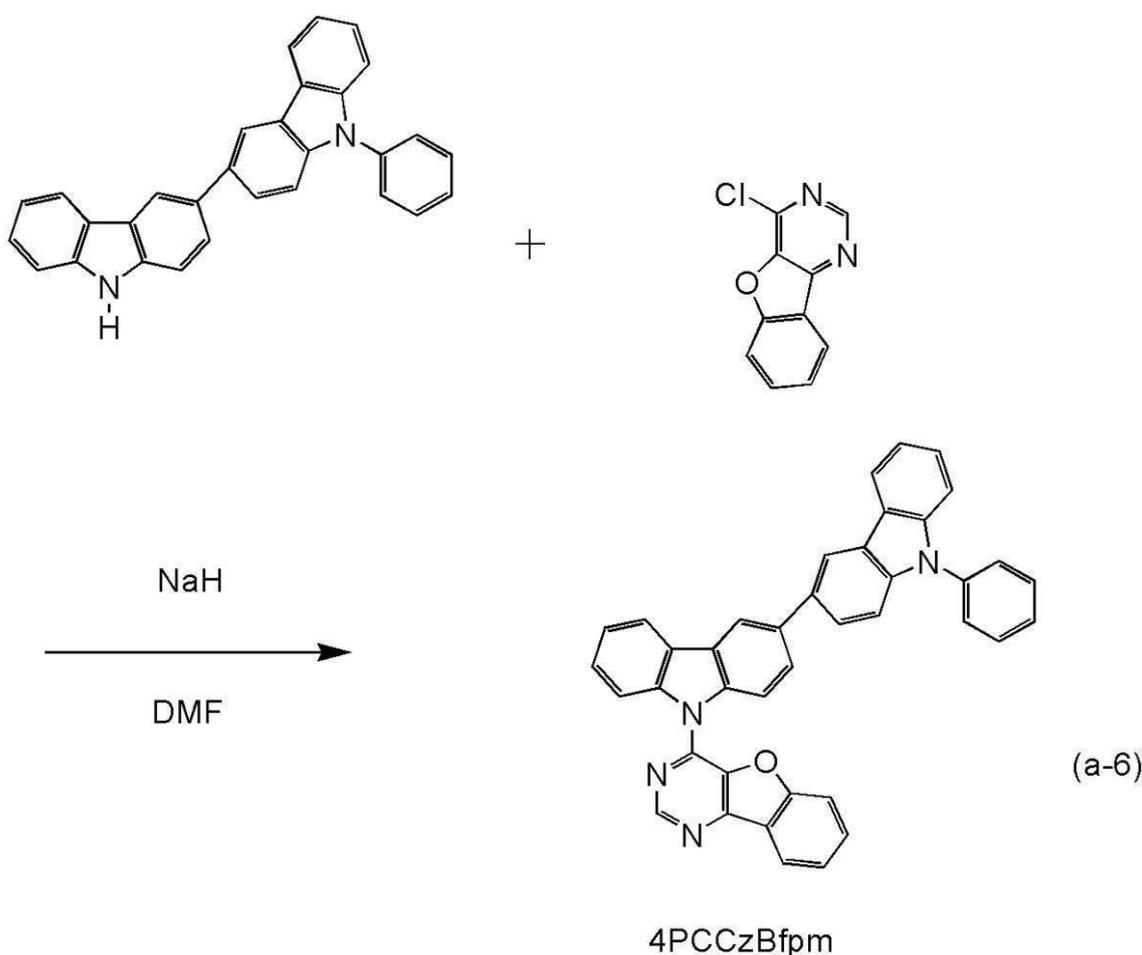
まず始めに、窒素で置換した三口フラスコに0.15g (3.6mmol)の水素化ナトリウム(60%)を入れ、攪拌しながら10mLのN,N-ジメチルホルムアミド(略称: DMF)を滴下した。容器を0 に冷やし、1.1g (2.7mmol)の9-フェニル-3,3'-ビ-9H-カルバゾールと、15mLのDMFとの混合液を滴下して加

50

え、室温にて30分、攪拌した。攪拌後、容器を0℃に冷やし、0.50g(2.4mmol)の4-クロロ[1]ベンゾフロ[3,2-d]ピリミジンと、15mLのDMFとの混合液を加え、室温にて20時間、攪拌した。得られた反応液を氷水に入れ、トルエンを加え、これを酢酸エチルにて有機層を抽出し、飽和食塩水にて洗浄し、硫酸マグネシウムを加え、濾過した。得られた濾液の溶媒を留去し、トルエン、次いでトルエン：酢酸エチル=1：20を展開溶媒としたシリカゲルカラムクロマトグラフィーにて精製した。これをさらにトルエンとヘキサンの混合溶媒にて再結晶を行うことにより、目的物である4PCCzBfpmを1.0g得た(収率：72%、黄白色固体)。この1.0gの黄白色固体を、トレインサブレーション法により昇華精製した。昇華精製条件は、圧力を2.6Paとし、アルゴンガスを5mL/minの流量で流しながら、270℃から280℃付近で黄白色固体を加熱した。昇華精製後、目的物の黄白色固体を0.7g、回収率69%で得た。本ステップの合成スキームを下記式(a-6)に示す。

【0993】

【化40】



【0994】

なお、上記ステップで得られた黄白色固体の核磁気共鳴分光法($^1\text{H-NMR}$)による分析結果を以下に示す。この結果より、本合成例において、4PCCzBfpmが得られたことがわかった。

【0995】

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl₃): 7.31 - 7.34 (m, 1H)、7.43 - 7.46 (m, 3H)、7.48 - 7.54 (m, 3H)、7.57 - 7.60 (t, 1H)、7.62 - 7.66 (m, 4H)、7.70 (d, 1H)、7.74 - 7.77 (dt, 1H)、7.80 (dd, 1H)、7.85 (dd, 1H)、7.88 - 7.93 (m, 2H)、8.25 (d, 2H)、8.37 (d, 1H)、8.45 (ds, 1H)、8.49 (ds, 1H)、9.30 (s, 1H)。

【符号の説明】

【0996】

100	EL層	
101	電極	
101a	導電層	
101b	導電層	
101c	導電層	
102	電極	
103	電極	
103a	導電層	10
103b	導電層	
104	電極	
104a	導電層	
104b	導電層	
106	発光ユニット	
108	発光ユニット	
110	EL層	
111	正孔注入層	
112	正孔輸送層	
113	電子輸送層	20
114	電子注入層	
115	電荷発生層	
116	正孔注入層	
117	正孔輸送層	
118	電子輸送層	
119	電子注入層	
120	発光層	
121	ホスト材料	
122	ゲスト材料	
123B	発光層	30
123G	発光層	
123R	発光層	
130	発光層	
131	ホスト材料	
131__1	有機化合物	
131__2	有機化合物	
132	ゲスト材料	
145	隔壁	
150	発光素子	
160	発光層	40
170	発光層	
171	ホスト材料	
171__1	有機化合物	
171__2	有機化合物	
172	ゲスト材料	
180	発光層	
190	発光層	
190a	発光層	
190b	発光層	
200	基板	50

2 2 0	基板	
2 2 1 B	領域	
2 2 1 G	領域	
2 2 1 R	領域	
2 2 2 B	領域	
2 2 2 G	領域	
2 2 2 R	領域	
2 2 3	遮光層	
2 2 4 B	光学素子	
2 2 4 G	光学素子	10
2 2 4 R	光学素子	
2 5 0	発光素子	
2 5 2	発光素子	
2 6 0 a	発光素子	
2 6 0 b	発光素子	
2 6 2 a	発光素子	
2 6 2 b	発光素子	
3 0 1 _ 1	配線	
3 0 1 _ 5	配線	
3 0 1 _ 6	配線	20
3 0 1 _ 7	配線	
3 0 2 _ 1	配線	
3 0 2 _ 2	配線	
3 0 3 _ 1	トランジスタ	
3 0 3 _ 6	トランジスタ	
3 0 3 _ 7	トランジスタ	
3 0 4	容量素子	
3 0 4 _ 1	容量素子	
3 0 4 _ 2	容量素子	
3 0 5	発光素子	30
3 0 6 _ 1	配線	
3 0 6 _ 3	配線	
3 0 7 _ 1	配線	
3 0 7 _ 3	配線	
3 0 8 _ 1	トランジスタ	
3 0 8 _ 6	トランジスタ	
3 0 9 _ 1	トランジスタ	
3 0 9 _ 2	トランジスタ	
3 1 1 _ 1	配線	
3 1 1 _ 3	配線	40
3 1 2 _ 1	配線	
3 1 2 _ 2	配線	
6 0 0	表示装置	
6 0 1	信号線駆動回路部	
6 0 2	画素部	
6 0 3	走査線駆動回路部	
6 0 4	封止基板	
6 0 5	シール材	
6 0 7	領域	
6 0 7 a	封止層	50

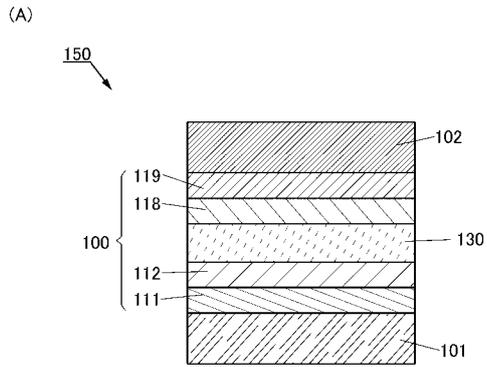
6 0 7 b	封止層	
6 0 7 c	封止層	
6 0 8	配線	
6 0 9	F P C	
6 1 0	素子基板	
6 1 1	トランジスタ	
6 1 2	トランジスタ	
6 1 3	下部電極	
6 1 4	隔壁	
6 1 6	E L 層	10
6 1 7	上部電極	
6 1 8	発光素子	
6 2 1	光学素子	
6 2 2	遮光層	
6 2 3	トランジスタ	
6 2 4	トランジスタ	
8 0 1	画素回路	
8 0 2	画素部	
8 0 4	駆動回路部	
8 0 4 a	走査線駆動回路	20
8 0 4 b	信号線駆動回路	
8 0 6	保護回路	
8 0 7	端子部	
8 5 2	トランジスタ	
8 5 4	トランジスタ	
8 6 2	容量素子	
8 7 2	発光素子	
1 0 0 1	基板	
1 0 0 2	下地絶縁膜	
1 0 0 3	ゲート絶縁膜	30
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	層間絶縁膜	
1 0 2 1	層間絶縁膜	
1 0 2 2	電極	
1 0 2 4 B	下部電極	
1 0 2 4 G	下部電極	
1 0 2 4 R	下部電極	
1 0 2 4 Y	下部電極	40
1 0 2 5	隔壁	
1 0 2 6	上部電極	
1 0 2 8	E L 層	
1 0 2 8 B	発光層	
1 0 2 8 G	発光層	
1 0 2 8 R	発光層	
1 0 2 8 Y	発光層	
1 0 2 9	封止層	
1 0 3 1	封止基板	
1 0 3 2	シール材	50

1 0 3 3	基材	
1 0 3 4 B	着色層	
1 0 3 4 G	着色層	
1 0 3 4 R	着色層	
1 0 3 4 Y	着色層	
1 0 3 5	遮光層	
1 0 3 6	オーバーコート層	
1 0 3 7	層間絶縁膜	
1 0 4 0	画素部	
1 0 4 1	駆動回路部	10
1 0 4 2	周辺部	
2 0 0 0	タッチパネル	
2 0 0 1	タッチパネル	
2 5 0 1	表示装置	
2 5 0 2 R	画素	
2 5 0 2 t	トランジスタ	
2 5 0 3 c	容量素子	
2 5 0 3 g	走査線駆動回路	
2 5 0 3 s	信号線駆動回路	
2 5 0 3 t	トランジスタ	20
2 5 0 9	F P C	
2 5 1 0	基板	
2 5 1 0 a	絶縁層	
2 5 1 0 b	可撓性基板	
2 5 1 0 c	接着層	
2 5 1 1	配線	
2 5 1 9	端子	
2 5 2 1	絶縁層	
2 5 2 8	隔壁	
2 5 5 0 R	発光素子	30
2 5 6 0	封止層	
2 5 6 7 B M	遮光層	
2 5 6 7 p	反射防止層	
2 5 6 7 R	着色層	
2 5 7 0	基板	
2 5 7 0 a	絶縁層	
2 5 7 0 b	可撓性基板	
2 5 7 0 c	接着層	
2 5 8 0 R	発光モジュール	
2 5 9 0	基板	40
2 5 9 1	電極	
2 5 9 2	電極	
2 5 9 3	絶縁層	
2 5 9 4	配線	
2 5 9 5	タッチセンサ	
2 5 9 7	接着層	
2 5 9 8	配線	
2 5 9 9	接続層	
2 6 0 1	パルス電圧出力回路	
2 6 0 2	電流検出回路	50

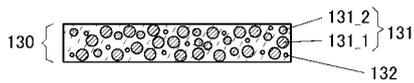
2 6 0 3	容量	
2 6 1 1	トランジスタ	
2 6 1 2	トランジスタ	
2 6 1 3	トランジスタ	
2 6 2 1	電極	
2 6 2 2	電極	
3 0 0 0	発光装置	
3 0 0 1	基板	
3 0 0 3	基板	
3 0 0 5	発光素子	10
3 0 0 7	封止領域	
3 0 0 9	封止領域	
3 0 1 1	領域	
3 0 1 3	領域	
3 0 1 4	領域	
3 0 1 5	基板	
3 0 1 6	基板	
3 0 1 8	乾燥剤	
3 5 0 0	多機能端末	
3 5 0 2	筐体	20
3 5 0 4	表示部	
3 5 0 6	カメラ	
3 5 0 8	照明	
3 6 0 0	ライト	
3 6 0 2	筐体	
3 6 0 8	照明	
3 6 1 0	スピーカ	
8 0 0 0	表示モジュール	
8 0 0 1	上部カバー	
8 0 0 2	下部カバー	30
8 0 0 3	F P C	
8 0 0 4	タッチセンサ	
8 0 0 5	F P C	
8 0 0 6	表示装置	
8 0 0 9	フレーム	
8 0 1 0	プリント基板	
8 0 1 1	バッテリー	
8 5 0 1	照明装置	
8 5 0 2	照明装置	
8 5 0 3	照明装置	40
8 5 0 4	照明装置	
9 0 0 0	筐体	
9 0 0 1	表示部	
9 0 0 3	スピーカ	
9 0 0 5	操作キー	
9 0 0 6	接続端子	
9 0 0 7	センサ	
9 0 0 8	マイクロフォン	
9 0 5 0	操作ボタン	
9 0 5 1	情報	50

9 0 5 2	情報	
9 0 5 3	情報	
9 0 5 4	情報	
9 0 5 5	ヒンジ	
9 1 0 0	携帯情報端末	
9 1 0 1	携帯情報端末	
9 1 0 2	携帯情報端末	
9 2 0 0	携帯情報端末	
9 2 0 1	携帯情報端末	
9 3 0 0	テレビジョン装置	10
9 3 0 1	スタンド	
9 3 1 1	リモコン操作機	
9 5 0 0	表示装置	
9 5 0 1	表示パネル	
9 5 0 2	表示領域	
9 5 0 3	領域	
9 5 1 1	軸部	
9 5 1 2	軸受部	
9 7 0 0	自動車	
9 7 0 1	車体	20
9 7 0 2	車輪	
9 7 0 3	ダッシュボード	
9 7 0 4	ライト	
9 7 1 0	表示部	
9 7 1 1	表示部	
9 7 1 2	表示部	
9 7 1 3	表示部	
9 7 1 4	表示部	
9 7 1 5	表示部	
9 7 2 1	表示部	30
9 7 2 2	表示部	
9 7 2 3	表示部	

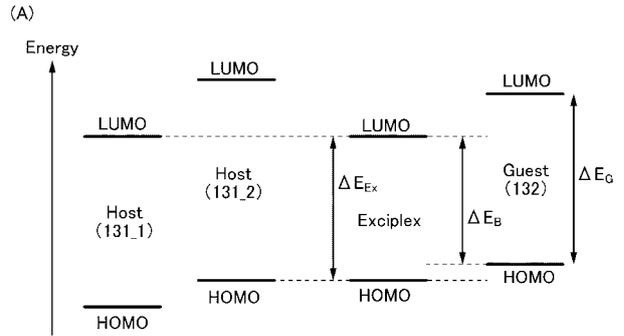
【 図 1 】



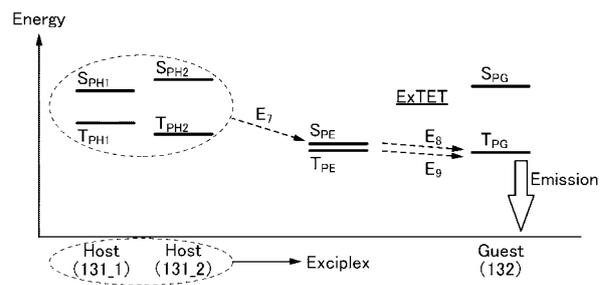
(B)



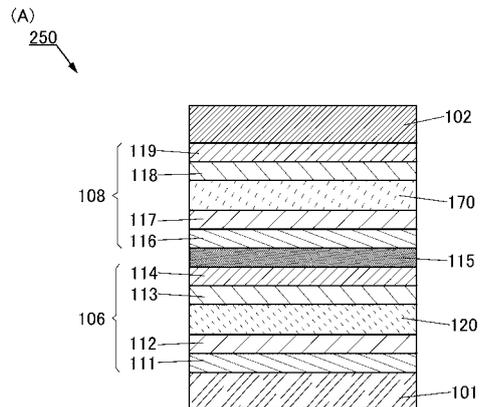
【 図 2 】



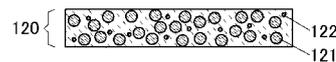
(B)



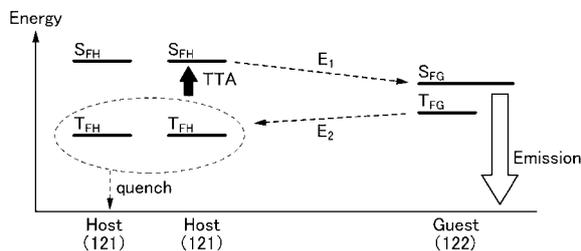
【 図 3 】



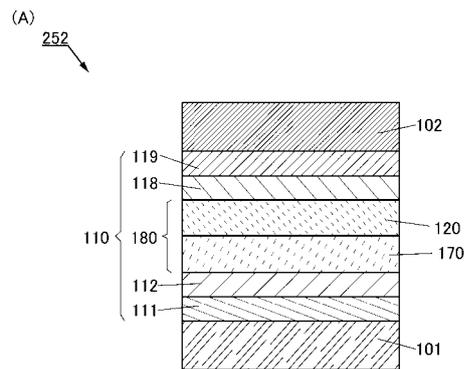
(B)



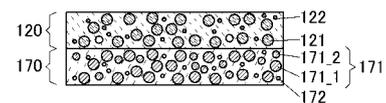
(C)



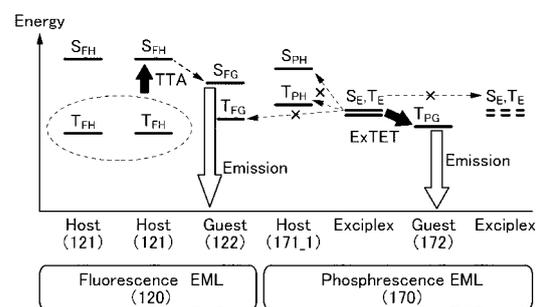
【 図 4 】



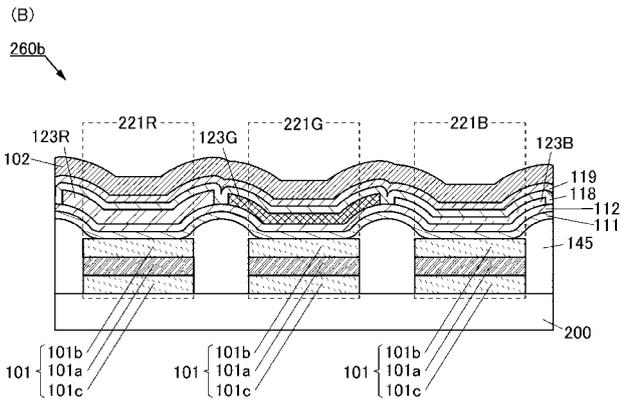
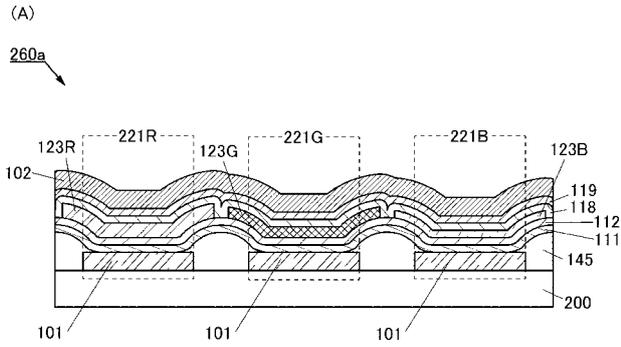
(B)



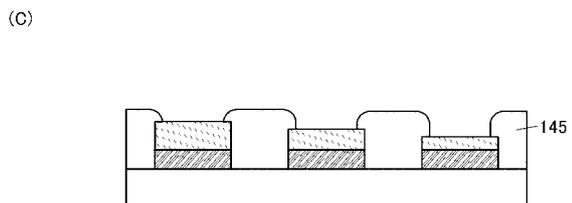
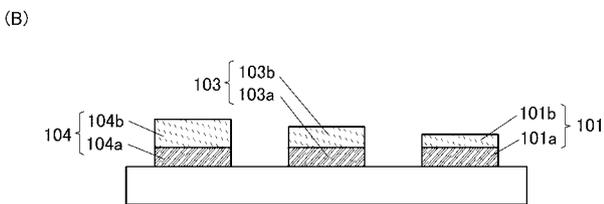
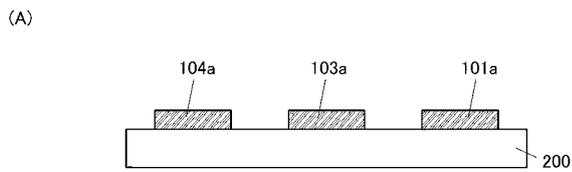
(C)



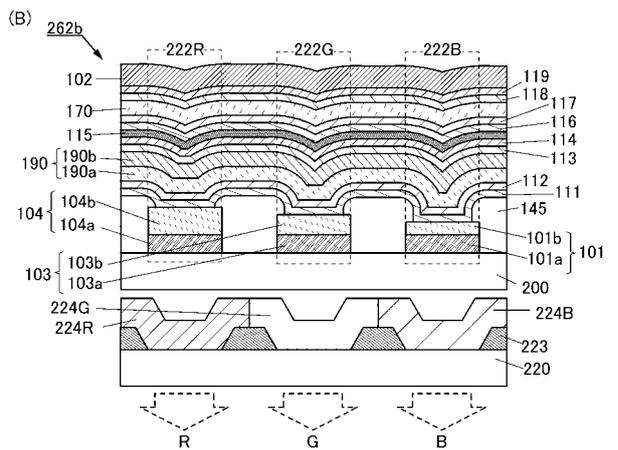
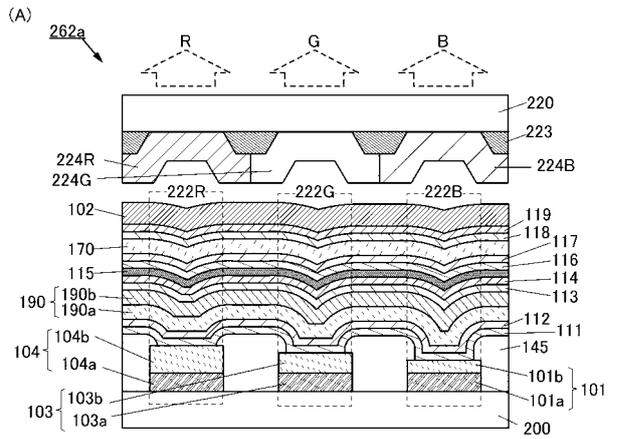
【 図 5 】



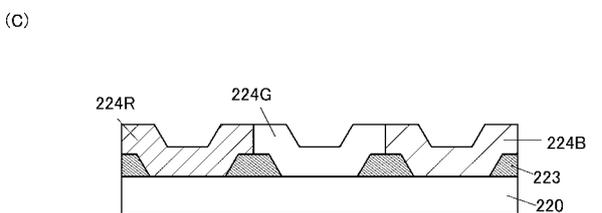
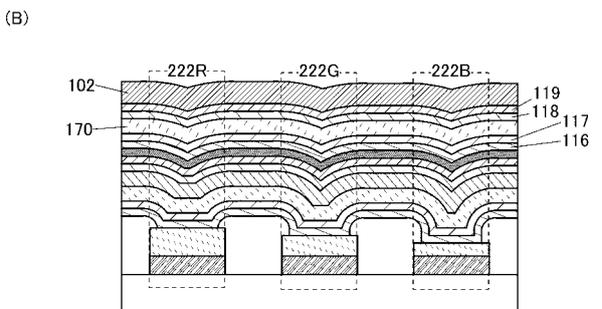
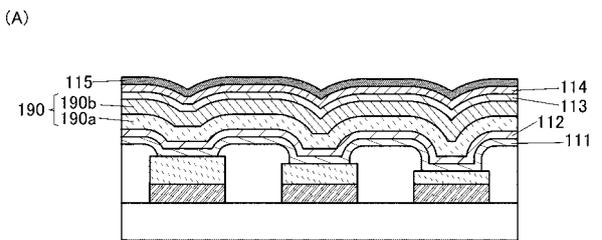
【 図 7 】



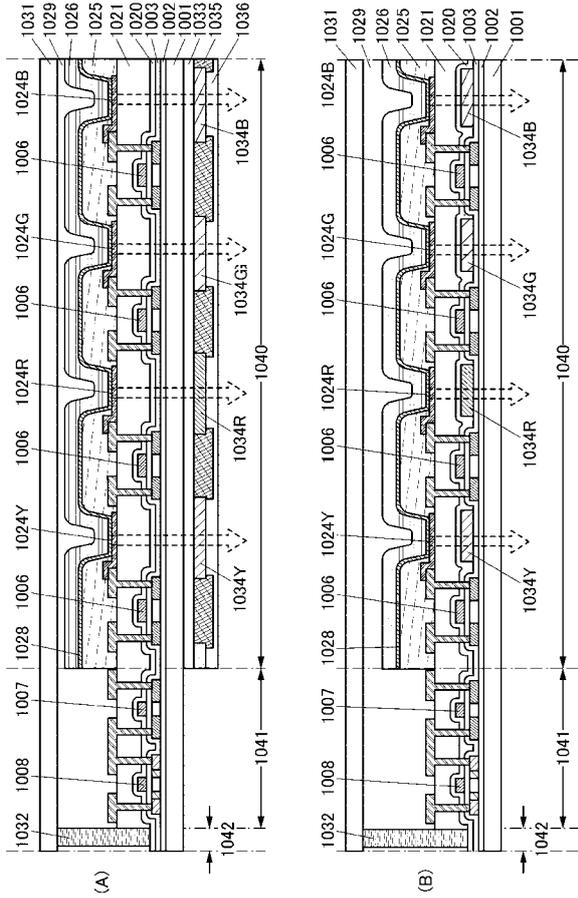
【 図 6 】



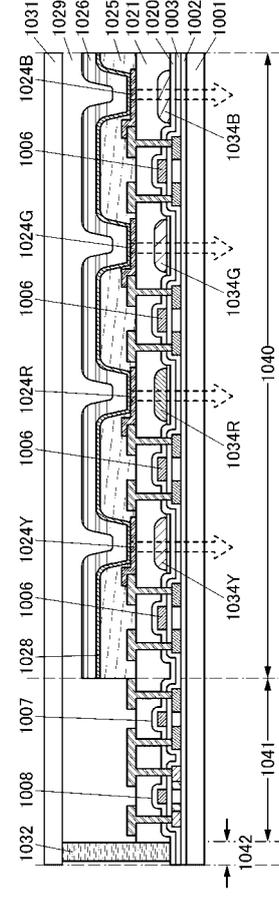
【 図 8 】



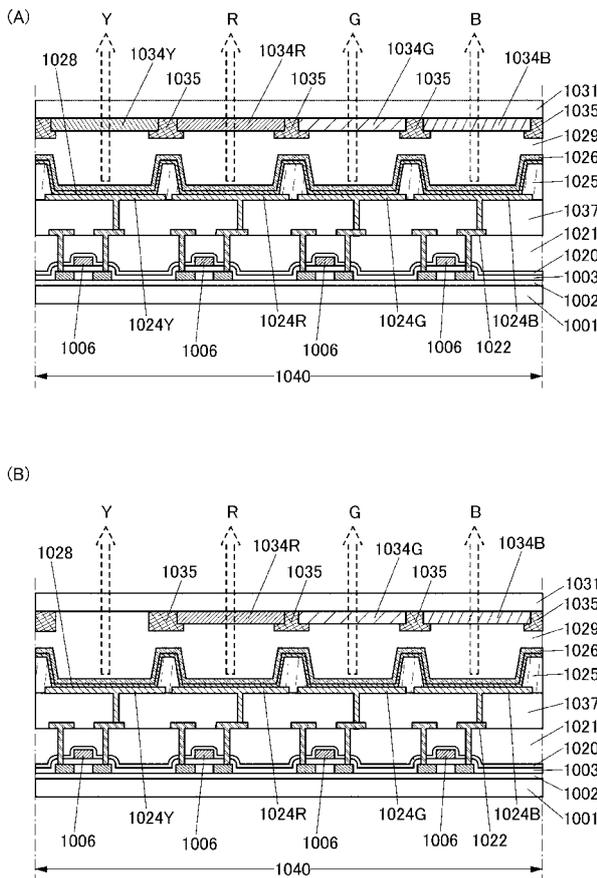
【 図 1 3 】



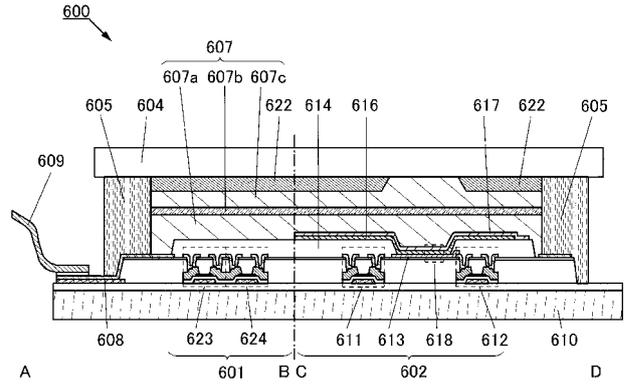
【 図 1 4 】



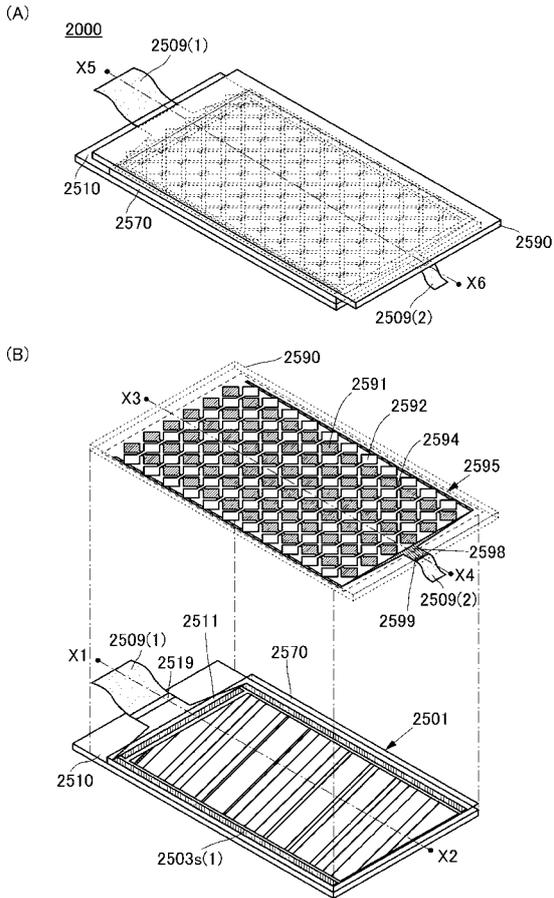
【 図 1 5 】



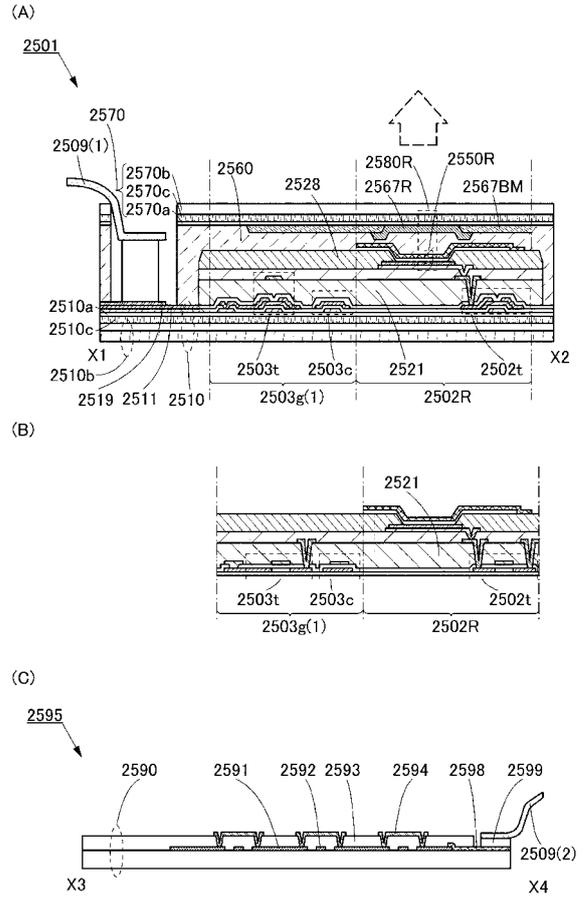
【 図 1 6 】



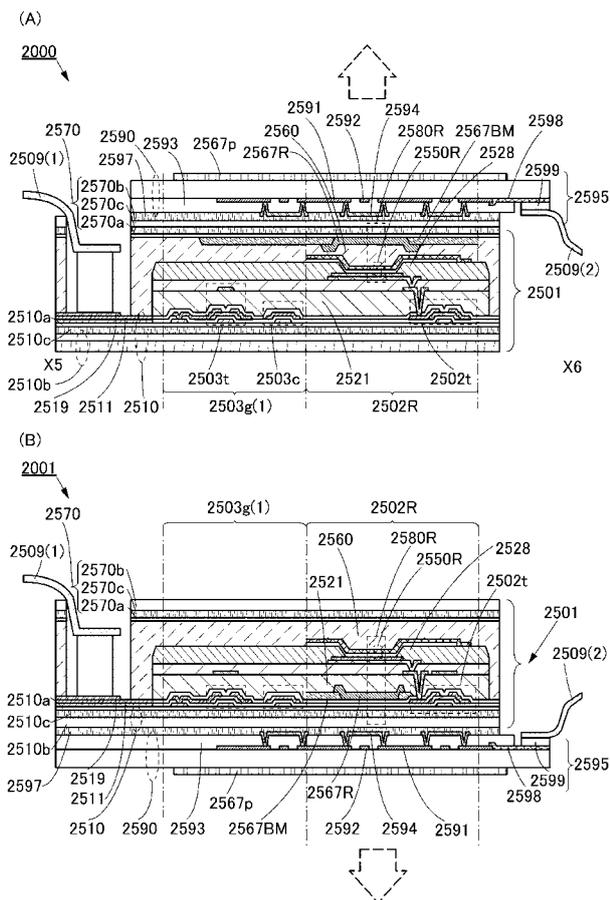
【図 2 1】



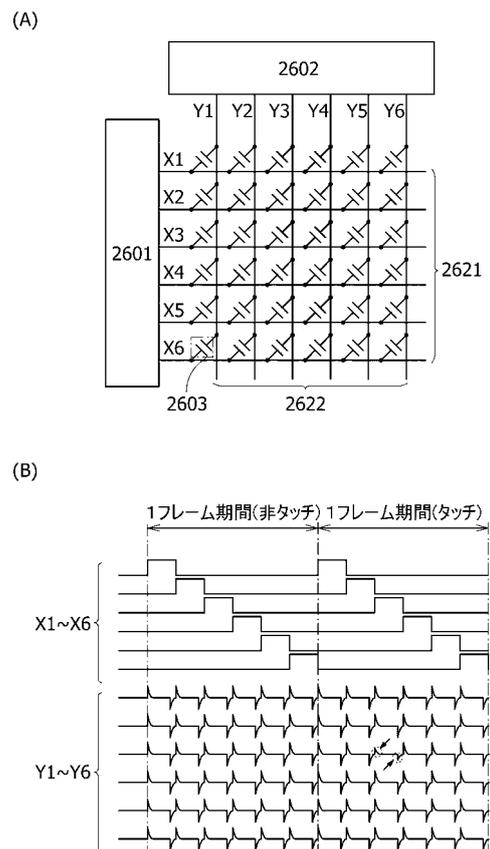
【図 2 2】



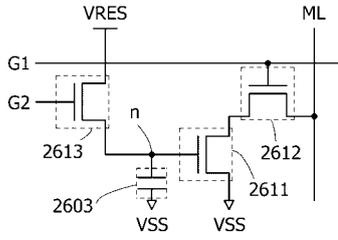
【図 2 3】



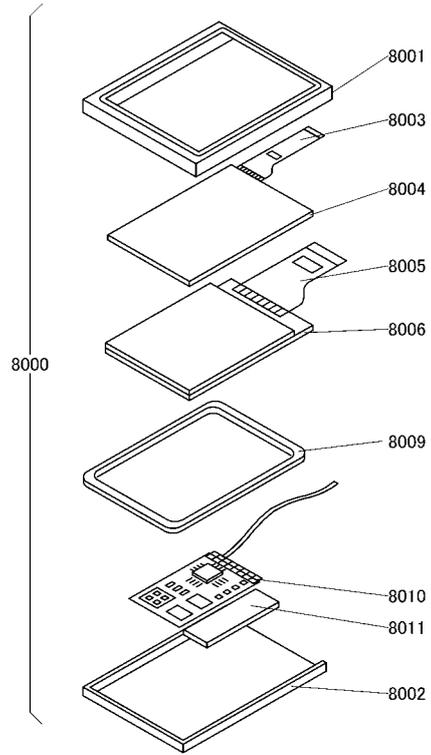
【図 2 4】



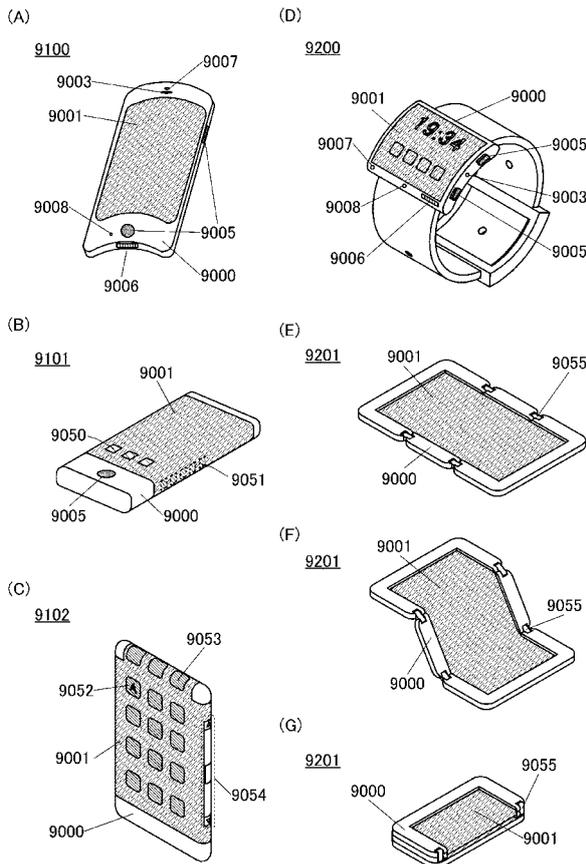
【 図 2 5 】



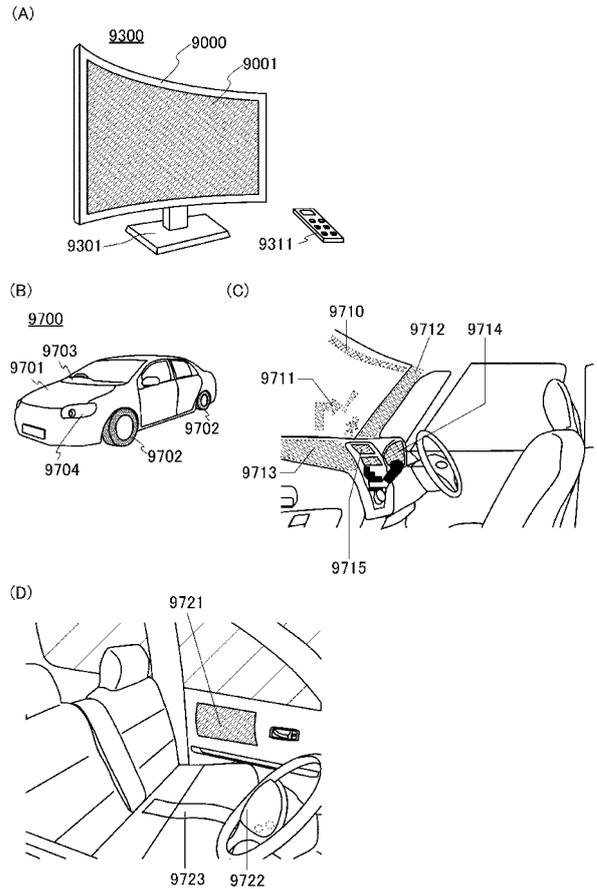
【 図 2 6 】



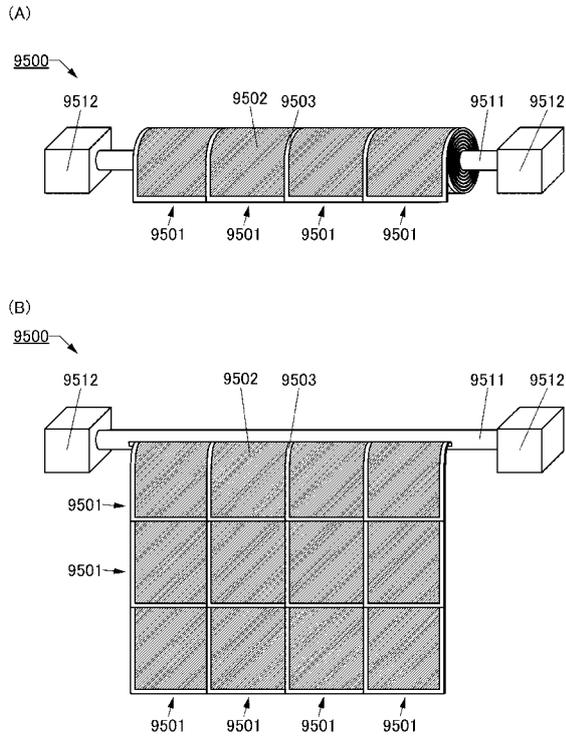
【 図 2 7 】



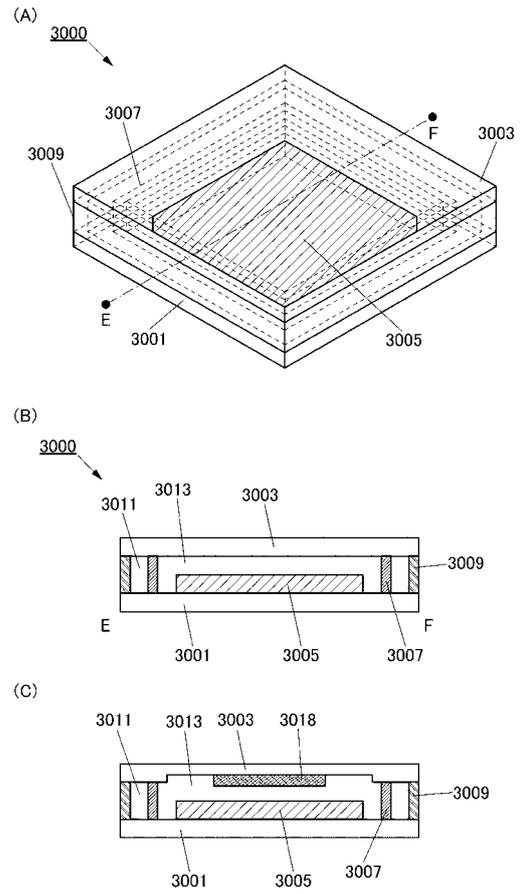
【 図 2 8 】



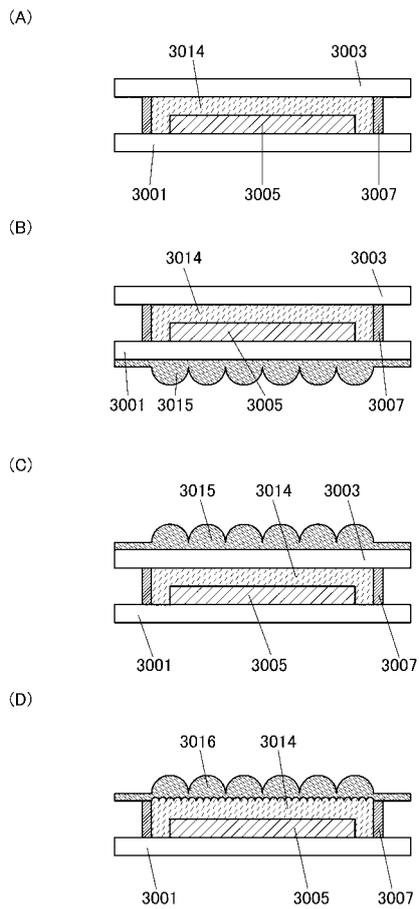
【 図 2 9 】



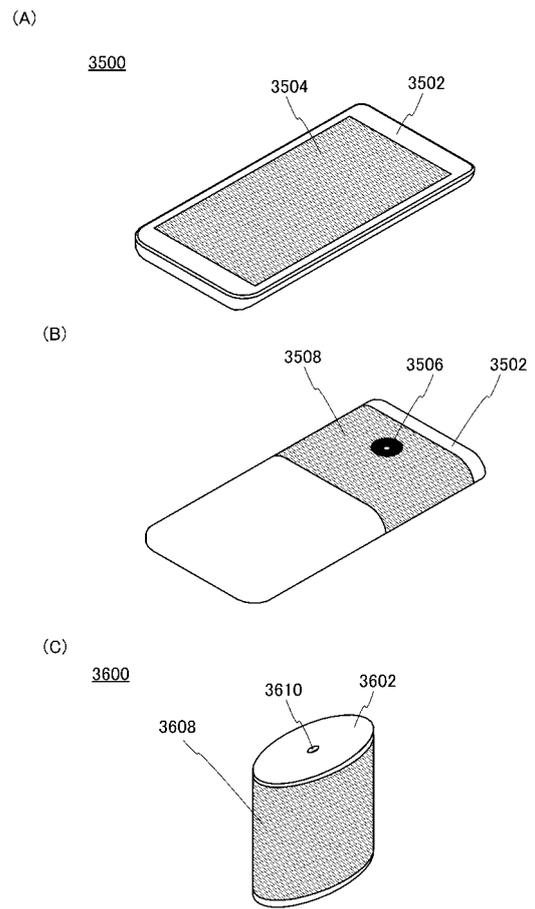
【 図 3 0 】



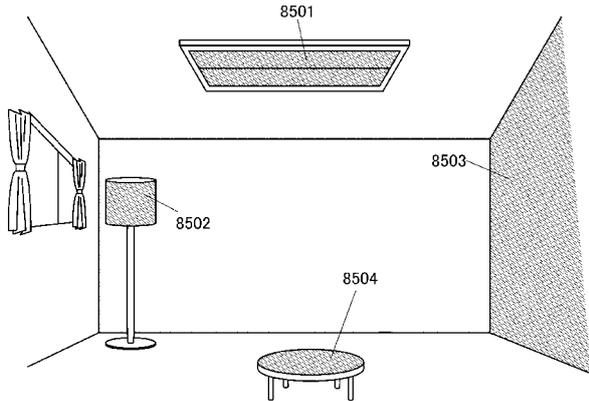
【 図 3 1 】



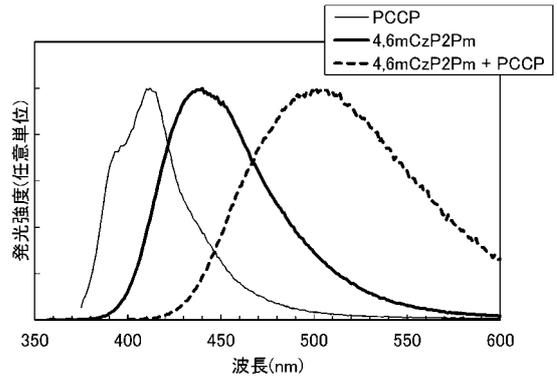
【 図 3 2 】



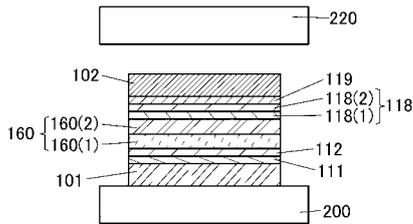
【 図 3 3 】



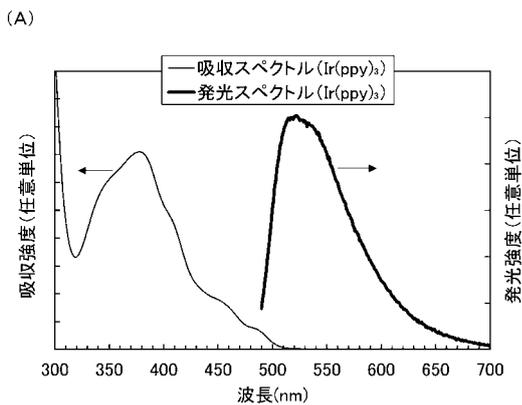
【 図 3 5 】



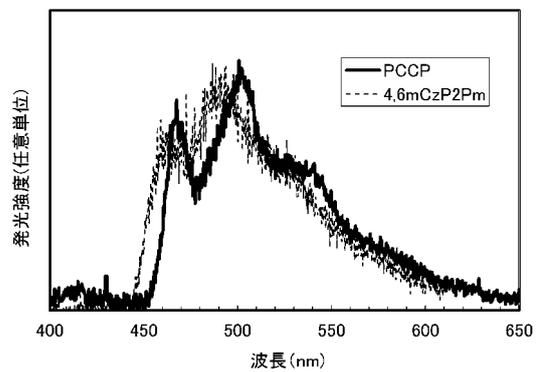
【 図 3 4 】



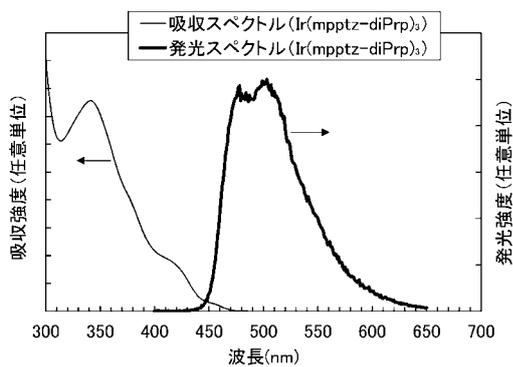
【 図 3 6 】



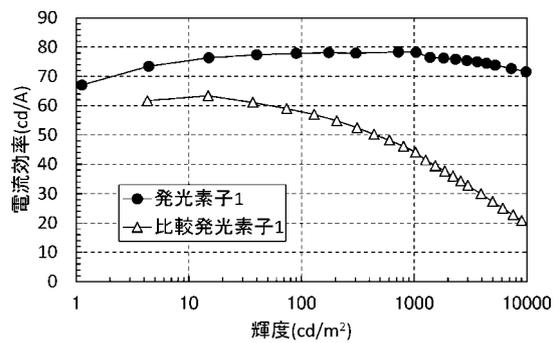
【 図 3 7 】



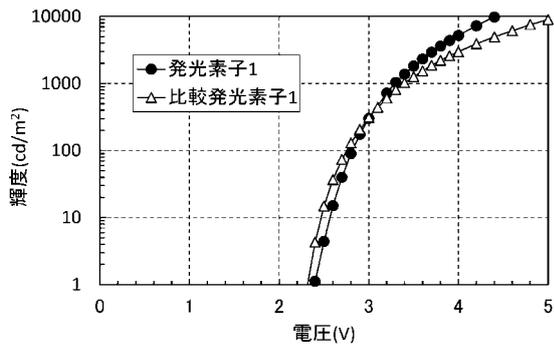
(B)



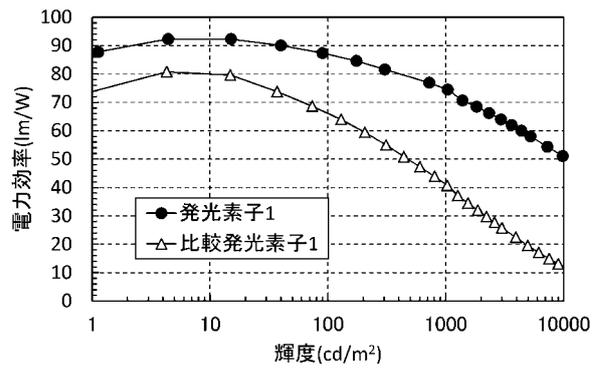
【 図 3 8 】



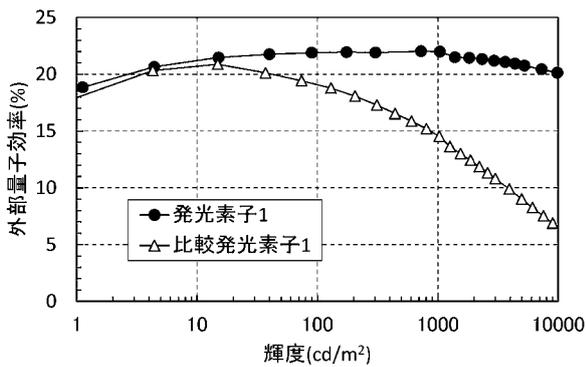
【 図 3 9 】



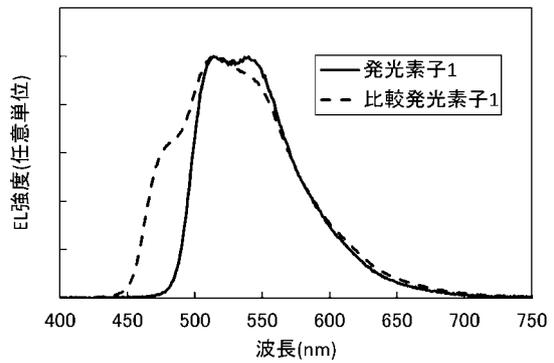
【 図 4 1 】



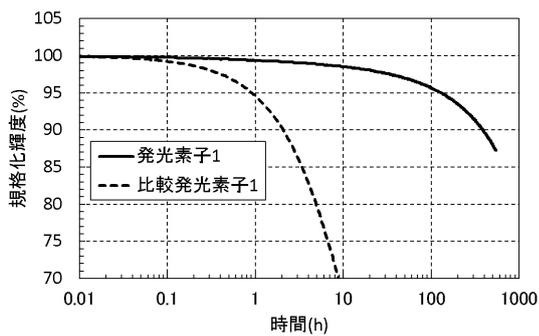
【 図 4 0 】



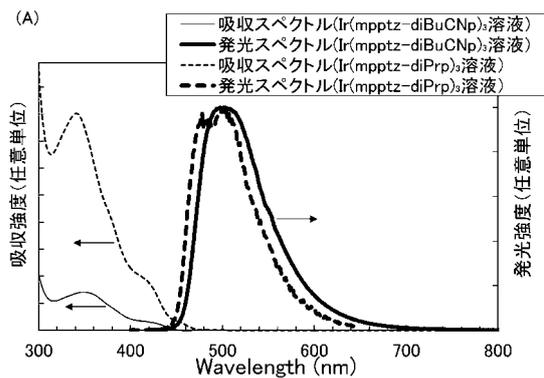
【 図 4 2 】



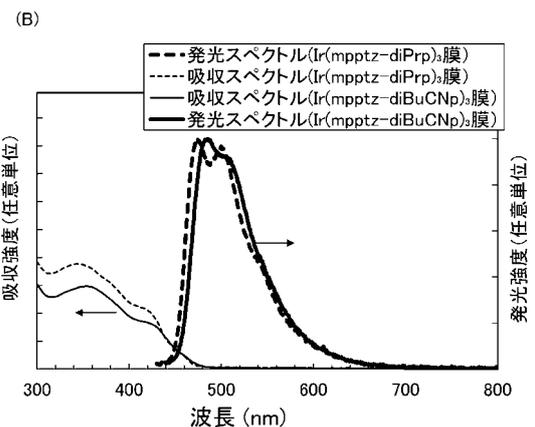
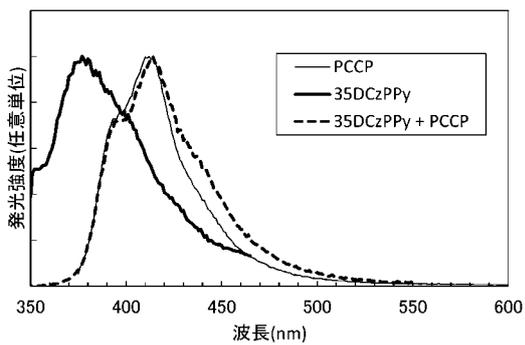
【 図 4 3 】



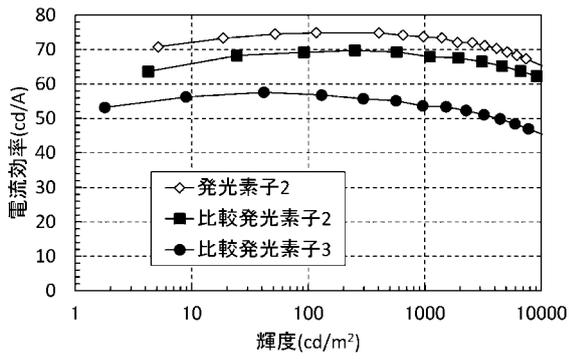
【 図 4 5 】



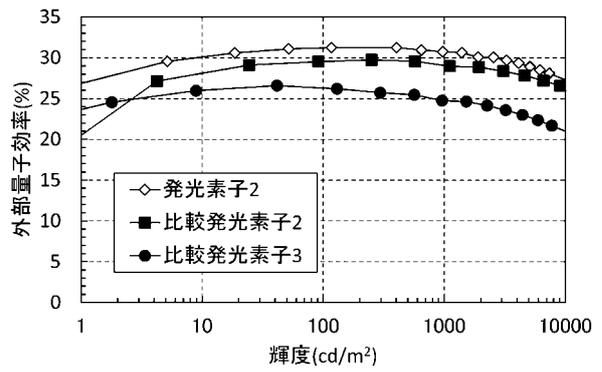
【 図 4 4 】



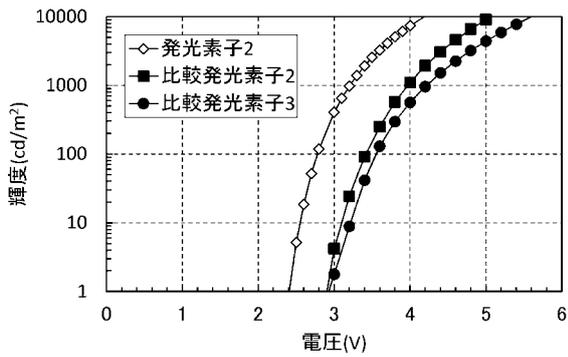
【 図 4 6 】



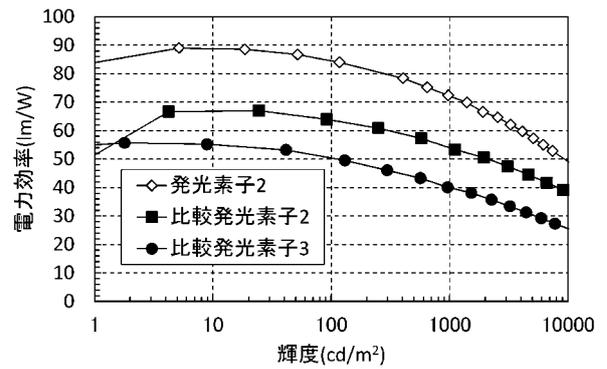
【 図 4 8 】



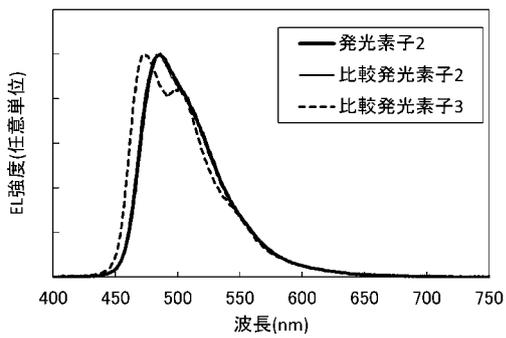
【 図 4 7 】



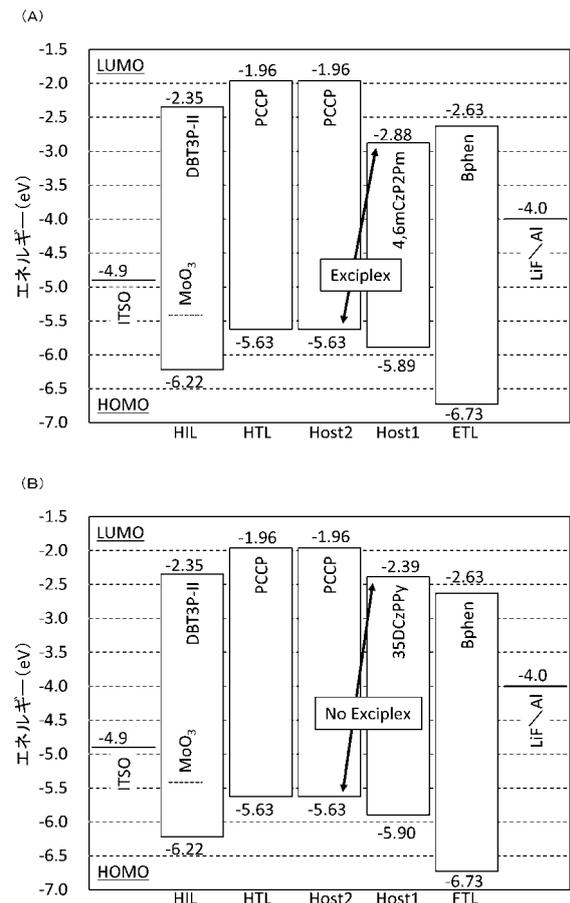
【 図 4 9 】



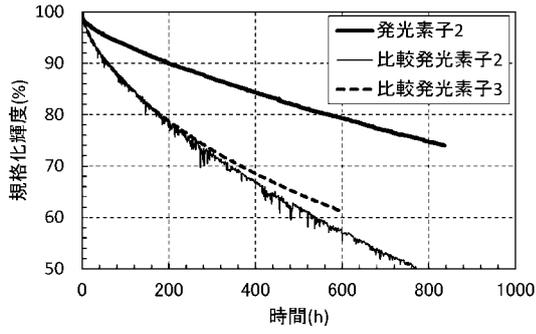
【 図 5 0 】



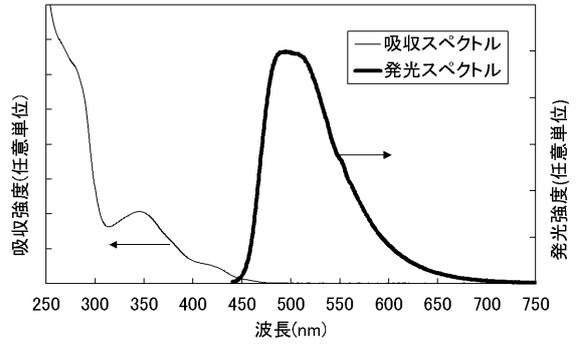
【 図 5 1 】



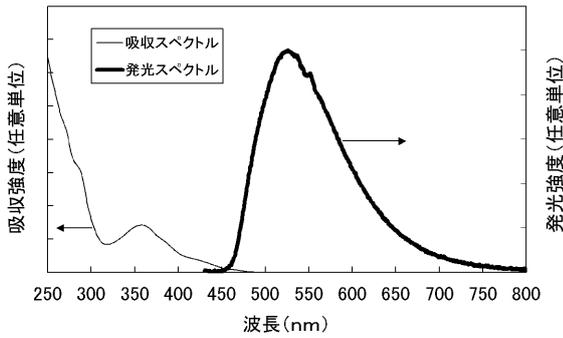
【図 5 2】



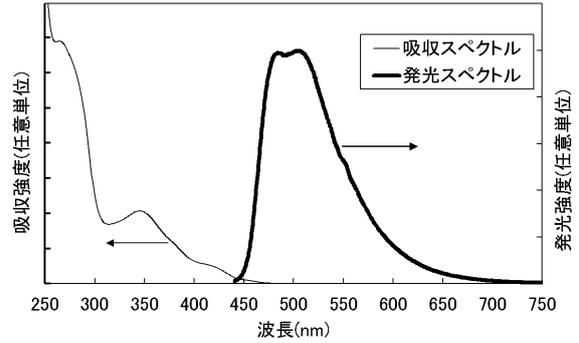
【図 5 4】



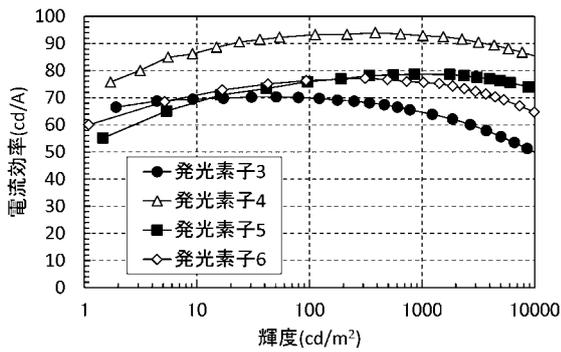
【図 5 3】



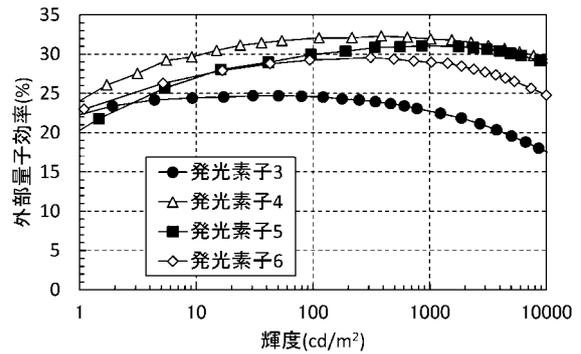
【図 5 5】



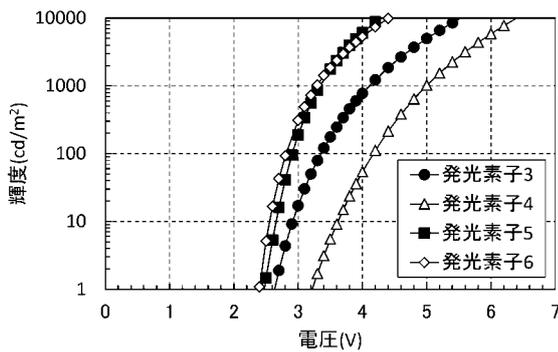
【図 5 6】



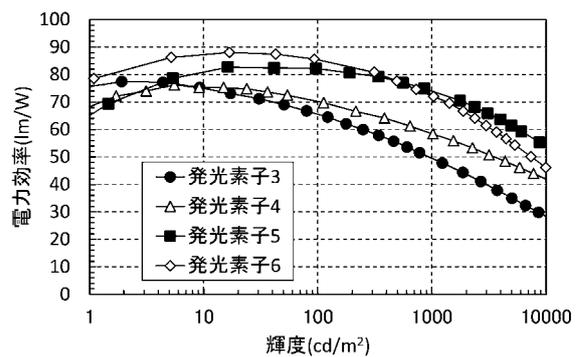
【図 5 8】



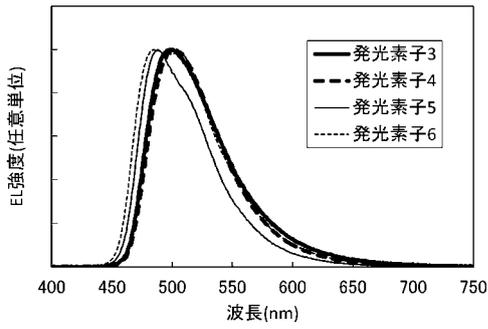
【図 5 7】



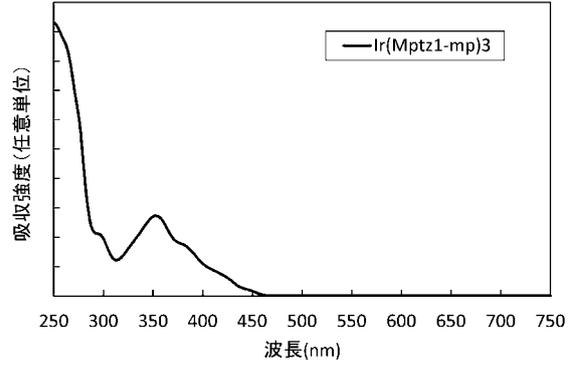
【図 5 9】



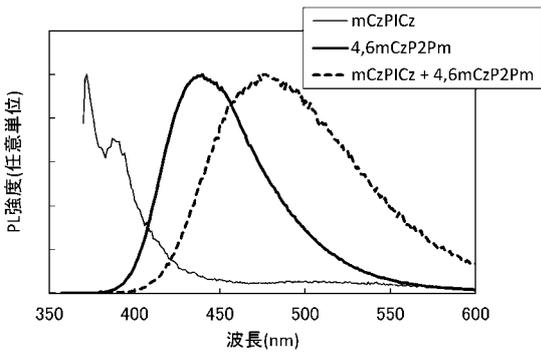
【 図 6 0 】



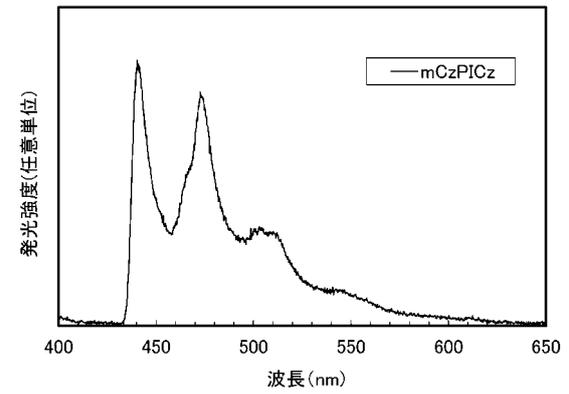
【 図 6 2 】



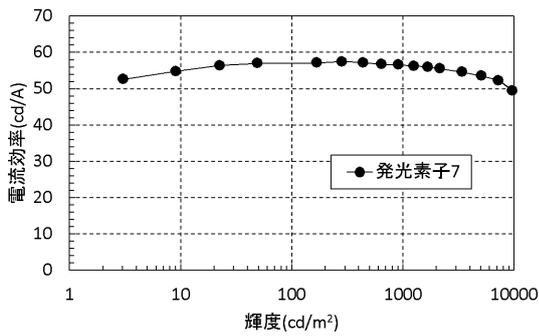
【 図 6 1 】



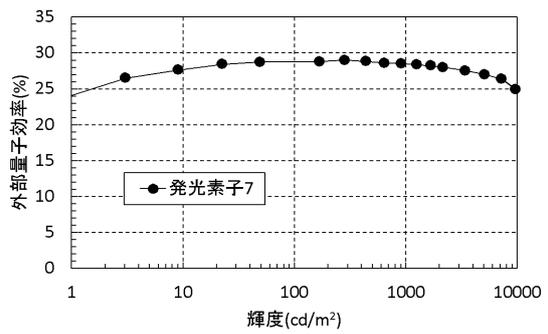
【 図 6 3 】



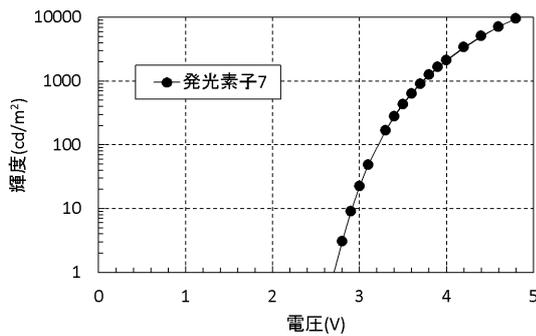
【 図 6 4 】



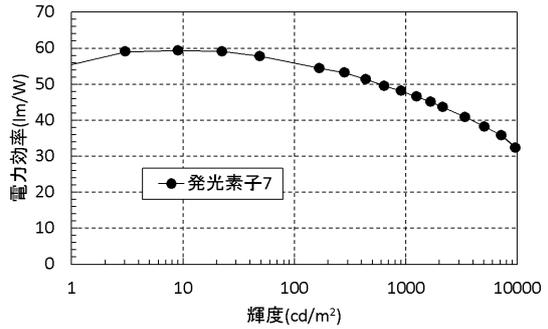
【 図 6 6 】



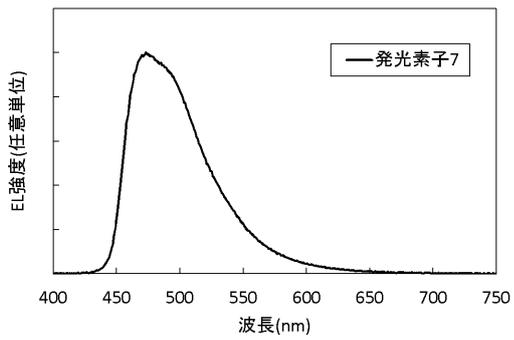
【 図 6 5 】



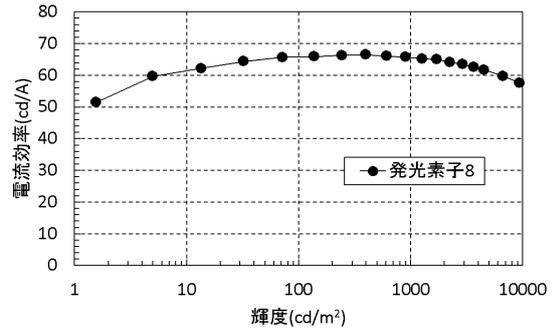
【 図 6 7 】



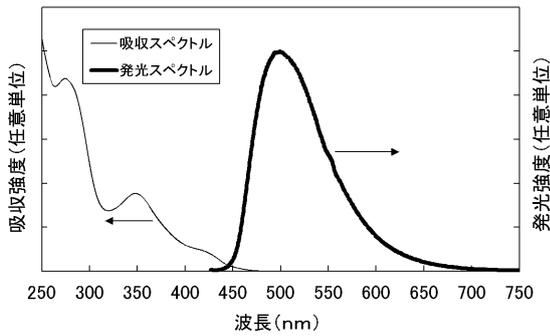
【 図 6 8 】



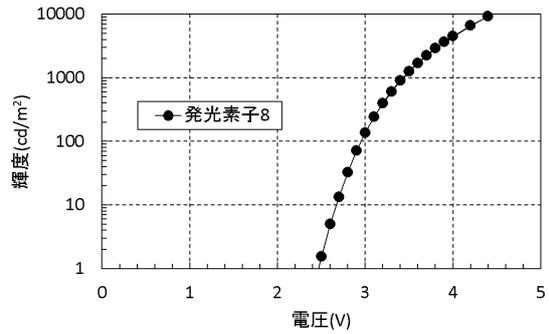
【 図 7 0 】



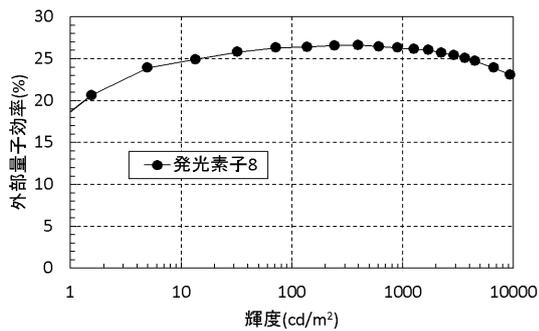
【 図 6 9 】



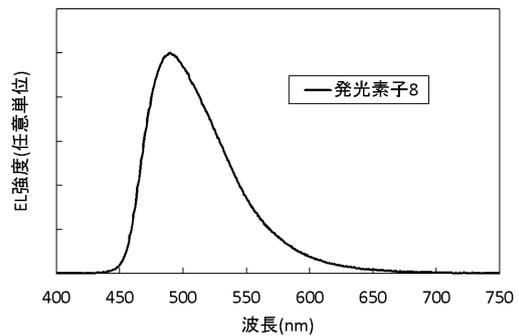
【 図 7 1 】



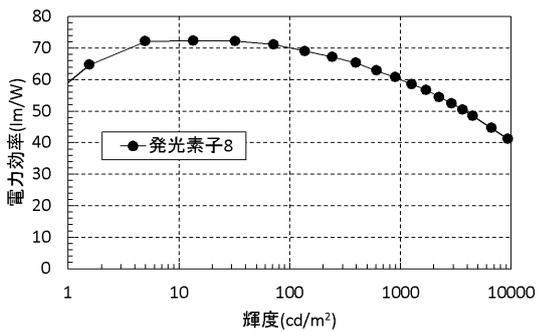
【 図 7 2 】



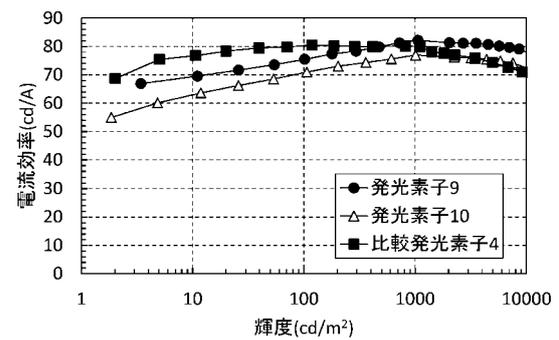
【 図 7 4 】



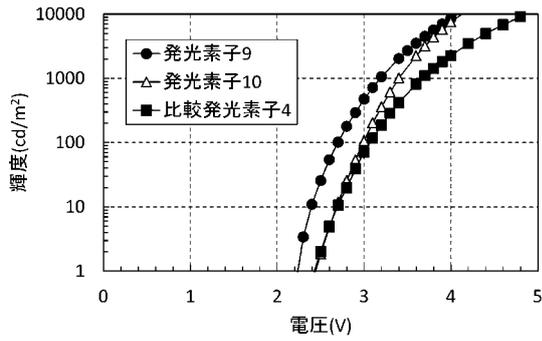
【 図 7 3 】



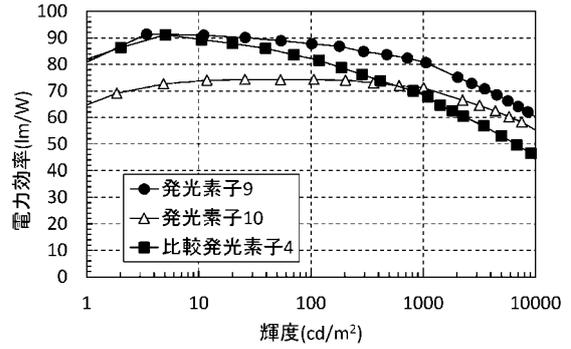
【 図 7 5 】



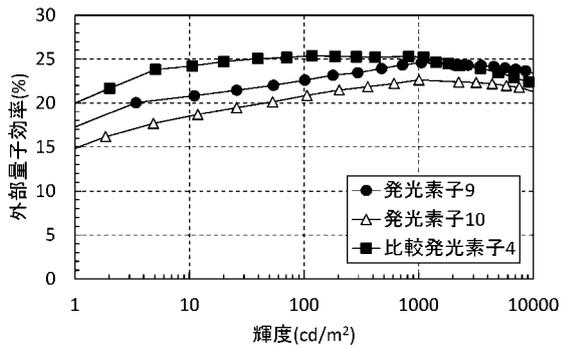
【 図 7 6 】



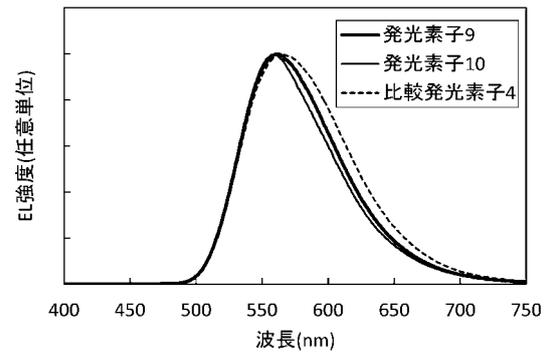
【 図 7 8 】



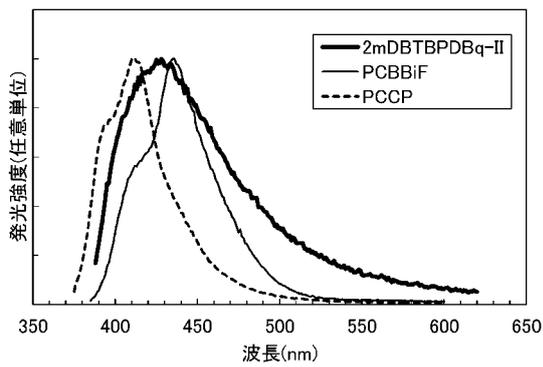
【 図 7 7 】



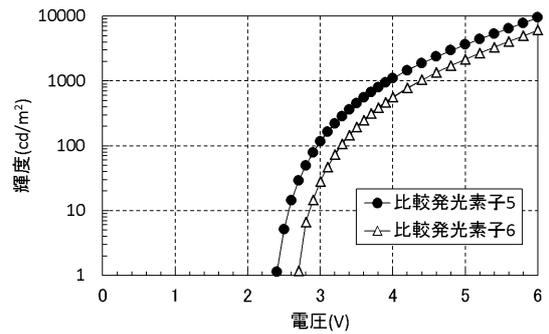
【 図 7 9 】



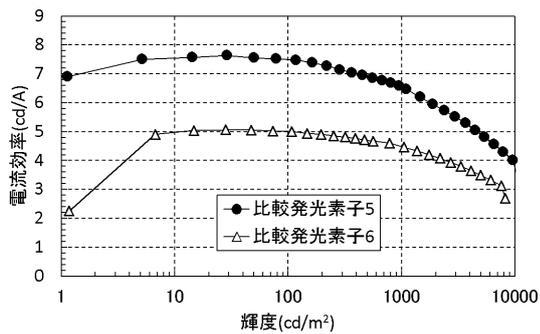
【 図 8 0 】



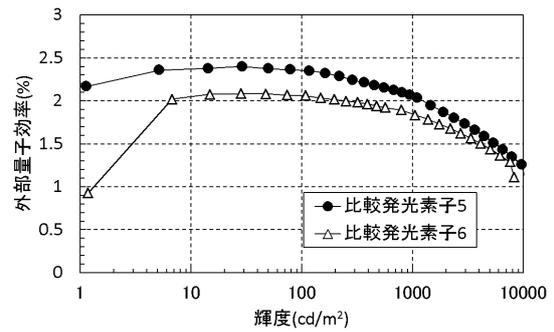
【 図 8 2 】



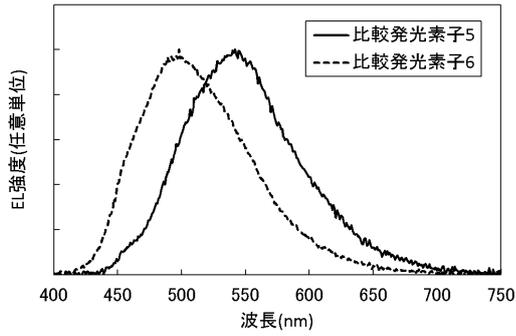
【 図 8 1 】



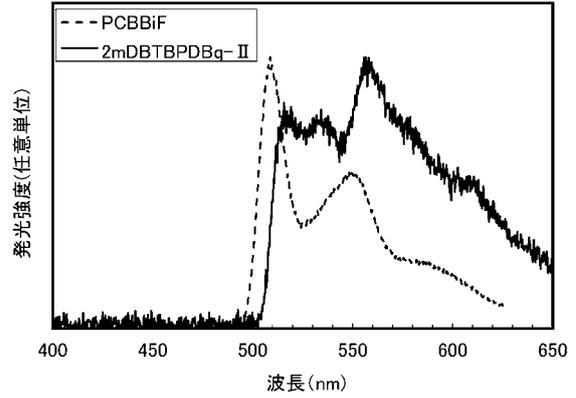
【 図 8 3 】



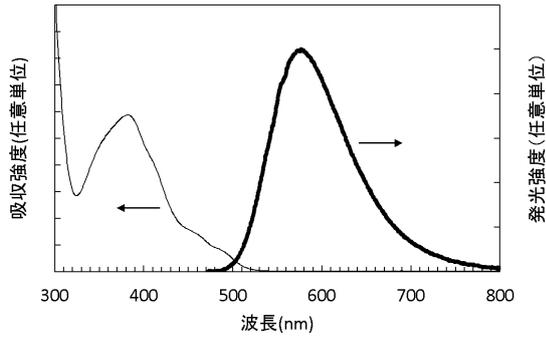
【 図 8 4 】



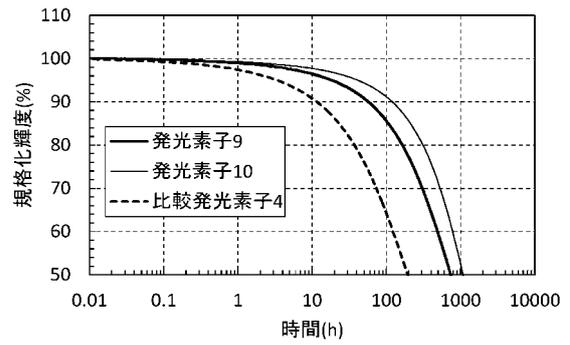
【 図 8 6 】



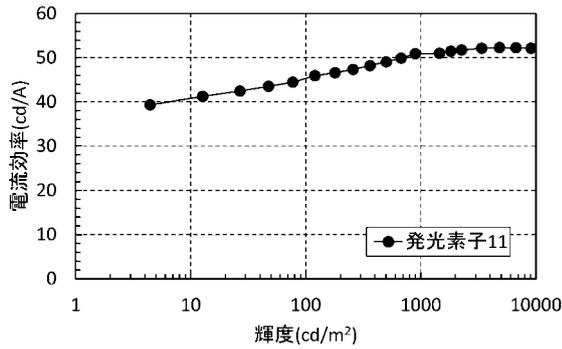
【 図 8 5 】



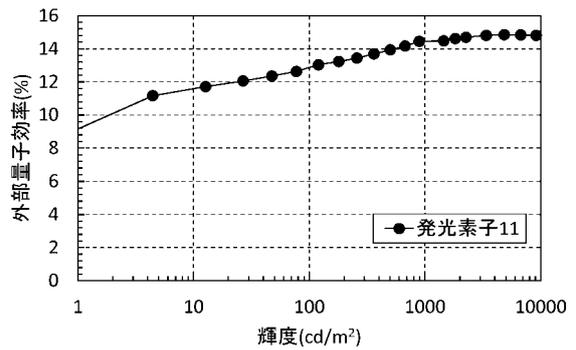
【 図 8 7 】



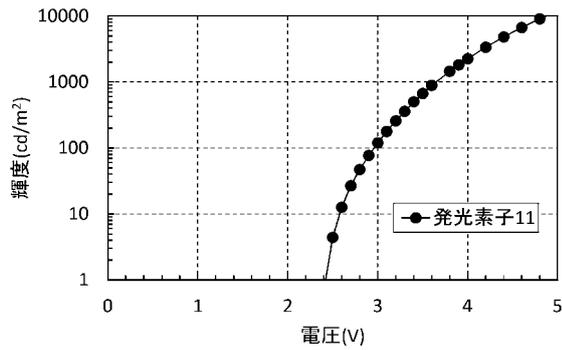
【 図 8 8 】



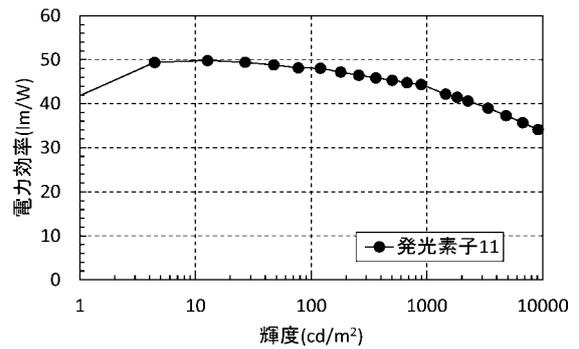
【 図 9 0 】



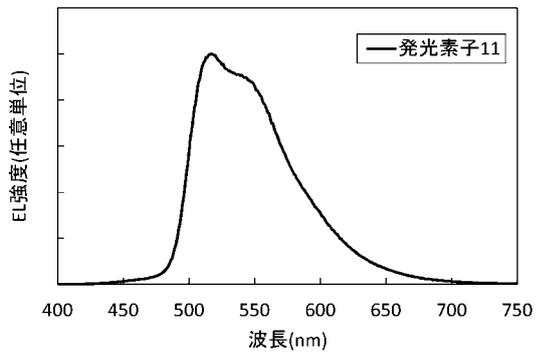
【 図 8 9 】



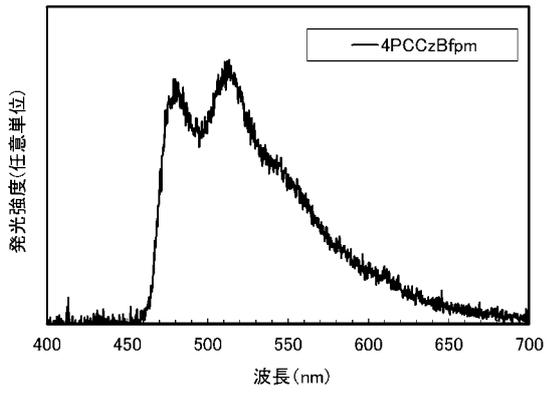
【 図 9 1 】



【 図 9 2 】



【 図 9 3 】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願2016-51351(P2016-51351)

(32)優先日 平成28年3月15日(2016.3.15)

(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

Fターム(参考) 3K107 AA01 BB01 BB02 BB07 BB08 CC04 CC14 CC21 DD53 DD59
DD67 DD68 DD69 EE03 EE22 EE66 FF19 FF20