(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6831646号
(P6831646)

(45)発行日　令和3年2月17日(2021.2.17)　(24)登録日　令和3年2月2日(2021.2.2)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 51/50	(2006.01)	H05B	33/14	B
H05B 33/12	(2006.01)	H05B	33/12	E
H05B 33/02	(2006.01)	H05B	33/02	
H01L 27/32	(2006.01)	H01L	27/32	
G09F 9/30	(2006.01)	G09F	9/30	365

請求項の数 11　(全 225 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2016-119259(P2016-119259)
(22)出願日　平成28年6月15日(2016.6.15)
(65)公開番号　特開2017-168800(P2017-168800A)
(43)公開日　平成29年9月21日(2017.9.21)
審査請求日　令和1年6月11日(2019.6.11)
(31)優先権主張番号　特願2015-122398(P2015-122398)
(32)優先日　平成27年6月17日(2015.6.17)
(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2015-157207(P2015-157207)
(32)優先日　平成27年8月7日(2015.8.7)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

(73)特許権者　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
(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
(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
(72)発明者　井上　英子
神奈川県厚木市長谷３９８番地　株式会社半導体エネルギー研究所内
(72)発明者　山田　唯
神奈川県厚木市長谷３９８番地　株式会社半導体エネルギー研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】発光素子、表示装置、電子機器、及び照明装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
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、
前記第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位は、前記第２の有機化合物のＬＵＭＯ準位より低く、
前記第１の有機化合物のＨＯＭＯ準位は、前記第２の有機化合物のＨＯＭＯ準位より低く、
前記ゲスト材料のＬＵＭＯ準位は、前記第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位より高く、
前記ゲスト材料のＨＯＭＯ準位は、前記第２の有機化合物のＨＯＭＯ準位より低く、
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る、
（ただし、前記第１の有機化合物が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）であり、前記第２の有機化合物が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）であり、前記ゲスト材料がビス（３，５－ジメチル－２－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（ｍｐｐｒ－Ｍｅ）$_2$（ｄｐｍ）］である組み合わせ、
前記第１の有機化合物が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）であり、前記第２の有機化合物が９－フェニル－９Ｈ－３－（９－フェニル－９Ｈ－カルバゾール－３－イル）カルバゾール（略称：ＰＣＣＰ）であり、前記ゲスト材料が、トリス［２－メチル－３－（６－ｔｅｒｔ－ブチル－４－ピリミジニル－κＮ３）ピリジル－κＣ４］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：［Ｉｒ（ｔＢｕｍｐｙｐｍ）$_3$］）である組み合わせ、
前記第１の有機化合物が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）であり、前記第２の有機化合物が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）であり、前記ゲスト材料が（アセチルアセトナト）ビス（６－ｔｅｒｔ－ブチル－４－フェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：［Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）］）である組み合わせ、及び
前記第１の有機化合物が２－［３’－（ジベンゾチオフェン－４－イル）ビフェニル－３－イル］ジベンゾ［ｆ，ｈ］キノキサリン（略称：２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩ）であり、前記第２の有機化合物がＮ－（４－ビフェニル）－Ｎ－（９，９－ジメチル－９Ｈ－フルオレン－２－イル）ジベンゾフラン－４－アミン（略称：ＦｒＢｉＦ）であり、前記ゲスト材料が（アセチルアセトナト）ビス（６－ｔｅｒｔ－ブチル－４－フェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：［Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）］）である組み合わせ、を除く）
発光素子。

【請求項２】
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、
前記第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位は、前記第２の有機化合物のＬＵＭＯ準位より低く、
前記第１の有機化合物のＨＯＭＯ準位は、前記第２の有機化合物のＨＯＭＯ準位より低く、
前記ゲスト材料のＬＵＭＯ準位は、前記第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位より高く、
前記ゲスト材料のＬＵＭＯ準位と前記第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位との差は、０．１ｅＶ以上であり、
前記ゲスト材料のＨＯＭＯ準位は、前記第２の有機化合物のＨＯＭＯ準位より低く、
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る、
発光素子。

【請求項３】
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、
前記第１の有機化合物の還元電位は、前記第２の有機化合物の還元電位より高く、
前記第１の有機化合物の酸化電位は、前記第２の有機化合物の酸化電位より高く、
前記ゲスト材料の還元電位は、前記第１の有機化合物の還元電位より低く、
前記ゲスト材料の酸化電位は、前記第２の有機化合物の酸化電位より高く、
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

である、
（ただし、前記第１の有機化合物が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）であり、前記第２の有機化合物が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）であり、前記ゲスト材料がビス（３，５－ジメチル－２－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（ｍｐｐｒ－Ｍｅ）$_2$（ｄｐｍ）］である組み合わせ、
前記第１の有機化合物が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）であり、前記第２の有機化合物が９－フェニル－９Ｈ－３－（９－フェニル－９Ｈ－カルバゾール－３－イル）カルバゾール（略称：ＰＣＣＰ）であり、前記ゲスト材料が、トリス［２－メチル－３－（６－ｔｅｒｔ－ブチル－４－ピリミジニル－κＮ３）ピリジル－κＣ４］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：［Ｉｒ（ｔＢｕｍｐｙｐｍ）$_3$］）である組み合わせ、
前記第１の有機化合物が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）であり、前記第２の有機化合物が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）であり、前記ゲスト材料が（アセチルアセトナト）ビス（６－ｔｅｒｔ－ブチル－４－フェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：［Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）］）である組み合わせ、及び
前記第１の有機化合物が２－［３’－（ジベンゾチオフェン－４－イル）ビフェニル－３－イル］ジベンゾ［ｆ，ｈ］キノキサリン（略称：２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩ）であり、前記第２の有機化合物がＮ－（４－ビフェニル）－Ｎ－（９，９－ジメチル－９Ｈ－フルオレン－２－イル）ジベンゾフラン－４－アミン（略称：ＦｒＢｉＦ）であり、前記ゲスト材料が（アセチルアセトナト）ビス（６－ｔｅｒｔ－ブチル－４－フェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：［Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）］）である組み合わせ、を除く）
発光素子。
【請求項４】
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、
前記第１の有機化合物の還元電位は、前記第２の有機化合物の還元電位より高く、
前記ゲスト材料のＬＵＭＯ準位と前記第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位との差は、０．１ｅＶ以上であり、
前記第１の有機化合物の酸化電位は、前記第２の有機化合物の酸化電位より高く、
前記ゲスト材料の還元電位は、前記第１の有機化合物の還元電位より低く、
前記ゲスト材料の酸化電位は、前記第２の有機化合物の酸化電位より高く、
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る、
発光素子。
【請求項５】
請求項２または請求項４において、
前記ゲスト材料のＬＵＭＯ準位と前記第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位との差は、０．２ｅＶ以上である、
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、

前記ゲスト材料が呈する発光の発光スペクトルは、４００ｎｍ以上５０５ｎｍ未満の波長領域に少なくとも一つのピークを有する、
発光素子。
【請求項７】
請求項１乃至請求項６のいずれか一項において、
前記ゲスト材料は、イリジウムを有する、
発光素子。
【請求項８】
請求項７において、
前記ゲスト材料は、前記イリジウムに配位する配位子を有し、
前記配位子は、含窒素五員複素環骨格を有する、
発光素子。
【請求項９】
請求項１乃至請求項８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。
【請求項１０】
請求項９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、
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。
【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ことができる。
【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、一対の電極間に発光性の物質を含む層（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、発光性の物質からの発光が得られる。
【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、該表示装置は、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】
発光性の物質に有機化合物を用い、一対の電極間に当該発光性の物質を含むＥＬ層を設けた発光素子（例えば、有機ＥＬ素子）の場合、一対の電極間に電圧を印加することによ

り、陰極から電子が、陽極から正孔（ホール）がそれぞれ発光性のＥＬ層に注入され、電流が流れる。そして、注入された電子及び正孔が再結合することによって発光性の有機化合物が励起状態となり、励起された発光性の有機化合物から発光を得ることができる。

【０００６】

有機化合物が形成する励起状態の種類としては、一重項励起状態（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、蛍光を発する化合物（蛍光性化合物）を用いた発光素子より、燐光を発する化合物（燐光性化合物）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、三重項励起状態を発光に変換することが可能な燐光性化合物を用いた発光素子の開発が近年盛んに行われている（例えば、特許文献１参照）。

【０００７】

有機化合物を励起するために必要なエネルギーは、有機化合物の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。燐光性化合物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、有機化合物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、有機化合物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う。有機化合物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。そのため、駆動電圧を低減する手法が探索されている（特許文献２参照）。

【０００８】

また、燐光性化合物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、安定な燐光性化合物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。

【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】

【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性化合物として、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、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。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、含窒素六員複素環骨格と比較して電子受容性が低い。そのため、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は、ＬＵＭＯ準位が高く、電子キャリアが注入されにくい。そのため、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においては、キャリアの直接再結合による励起が困難であり、効率よく発光させることが難しい。

【００１１】

したがって、本発明の一態様では、燐光性化合物を有し、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、新規な化合物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、新規な化合物を有する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。

【課題を解決するための手段】

【００１３】

本発明の一態様は、燐光性化合物を、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。また、高い発光エネルギーの発光を呈することができる新規な燐光性化合物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ＬＵＭＯ準位と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。

【００１５】

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準位より低く、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。

【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ＬＵＭＯ準位は、第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位と同等であり、ゲスト材料の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。

【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準位と同等であり、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。

【００１８】

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の有機化合物の還元電位は、第２の有機化合物の還元電位より高く、第１の有機化合物の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く

、ゲスト材料の還元電位は、第１の有機化合物の還元電位より低く、ゲスト材料の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、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。

【００１９】

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の有機化合物の還元電位は、第２の有機化合物の還元電位より高く、第１の有機化合物の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、ゲスト材料の還元電位は、第１の有機化合物の還元電位と同等であり、ゲスト材料の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、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。

【００２０】

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の有機化合物の還元電位は、第２の有機化合物の還元電位より高く、第１の有機化合物の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、ゲスト材料の還元電位は、第１の有機化合物の還元電位より低く、ゲスト材料の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位と同等であり、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。

【００２１】

また、上記各構成において、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、のエネルギー差は、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と好ましい。

【００２２】

また、上記各構成において、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、のエネルギー差は、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。

【００２３】

また、上記各構成において、ゲスト材料のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差は、ゲスト材料の吸収端から算出される遷移エネルギーより、０．４ｅＶ以上大きいと好ましい。

【００２４】

また、上記各構成において、ゲスト材料のＬＵＭＯ準位と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、０．４ｅＶ以上大きいと好ましい。

【００２５】

また、上記各構成において、ゲスト材料が呈する発光の発光スペクトルは、４００ｎｍ以上５０５ｎｍ未満の波長領域に少なくとも一つのピークを有すると好ましい。

【００２６】

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、ゲスト材料の最も低いエネルギー側の吸収帯と重なる領域を有すると好ましい。

【００２７】

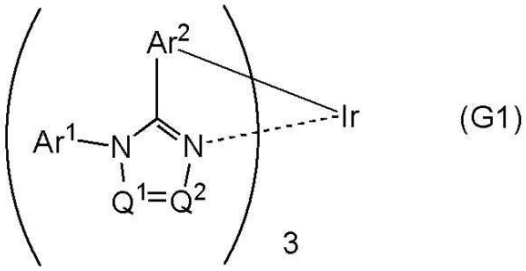
また、上記各構成において、ゲスト材料は、イリジウムを有すると好ましい。また、ゲスト材料は、イリジウムに配位する配位子を有し、配位子は、含窒素五員複素環骨格を有すると好ましい。また、配位子は、トリアゾール骨格またはイミダゾール骨格を有すると好ましい。

【００２８】

また、本発明の他の一態様は、一般式（Ｇ１）で表されるイリジウム錯体である。

【００２９】

【化１】



(G1)

【００３０】

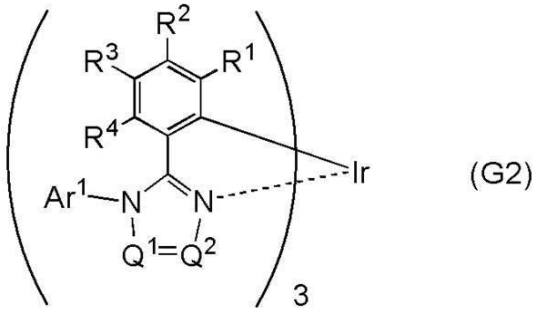
一般式（Ｇ１）において、Ａｒ[1]は、炭素数６乃至１３の置換または無置換の第１のアリール基を表す。また、Ａｒ[2]は、炭素数６乃至１３の置換または無置換の第２のアリール基を表す。また、Ｑ[1]及びＱ[2]は、それぞれ独立に、ＮまたはＣ－Ｒを表し、Ｒは、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換の第３のアリール基のいずれかを表す。なお、Ｑ[1]及びＱ[2]の少なくとも一方は、Ｃ－Ｒを有する。また、第１のアリール基乃至第３のアリール基の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【００３１】

また、本発明の他の一態様は、一般式（Ｇ２）で表されるイリジウム錯体である。

【００３２】

【化２】



(G2)

【００３３】

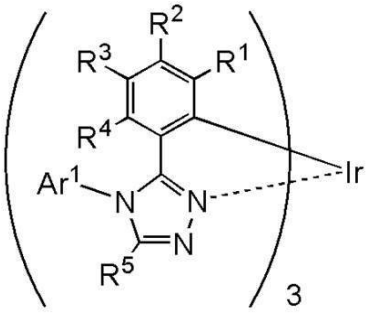
一般式（Ｇ２）において、Ａｒ[1]は、炭素数６乃至１３の置換または無置換の第１のアリール基を表す。また、Ｒ[1]乃至Ｒ[4]は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６のシクロアルキル基、炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換の第４のアリール基、またはシアノ基のいずれかを表す。また、Ｑ[1]及びＱ[2]は、それぞれ独立に、ＮまたはＣ－Ｒを表し、Ｒは、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換の第３のアリール基のいずれかを表す。なお、Ｑ[1]及びＱ[2]の少なくとも一方は、Ｃ－Ｒを有する。また、第１のアリール基、第３のアリール基、第４のアリール基、及びＲ[1]乃至Ｒ[4]の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【００３４】

また、本発明の他の一態様は、一般式（Ｇ３）で表されるイリジウム錯体である。

【００３５】

【化３】



(G3)

【００３６】

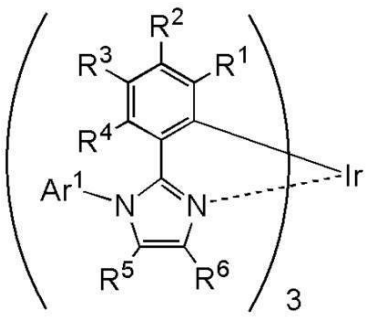
一般式（Ｇ３）において、Ａｒ[1]は、炭素数６乃至１３の置換または無置換の第１のアリール基を表す。また、Ｒ[1]乃至Ｒ[4]は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６のシクロアルキル基、炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換の第４のアリール基、またはシアノ基のいずれかを表す。また、Ｒ[5]は、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換の第３のアリール基のいずれかを表す。また、第１のアリール基、第３のアリール基、第４のアリール基、及びＲ[1]乃至Ｒ[4]の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【００３７】

また、本発明の他の一態様は、一般式（Ｇ４）で表されるイリジウム錯体である。

【００３８】

【化４】



(G4)

【００３９】

一般式（Ｇ４）において、Ａｒ[1]は、炭素数６乃至１３の置換または無置換の第１のアリール基を表す。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第４のアリール基のいずれかを表す。また、Ｒ[5]および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第３のアリール基のいずれかを表す。また、第１のアリール基、第３のアリール基、第４のアリール基、及びＲ[1]乃至Ｒ[4]の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【００４０】

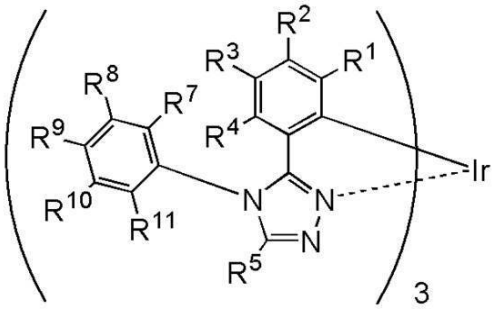
また、上記各構成において、Ａｒ[1]は、置換または無置換のフェニル基であり、フェニル基は、シアノ基を有することが好ましい。

【００４１】

また、本発明の他の一態様は、一般式（Ｇ５）で表されるイリジウム錯体である。

【００４２】

【化５】



(G5)

【００４３】

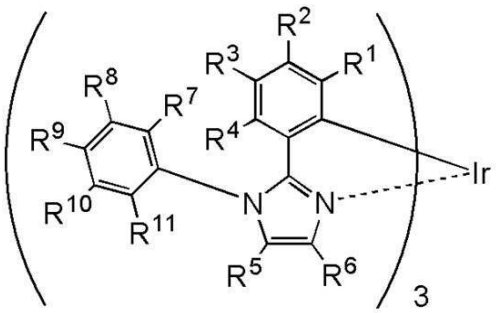
一般式（Ｇ５）において、Ｒ[1]乃至Ｒ[4]は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６のシクロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ｒ[5]は、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ｒ[7]及びＲ[11]は、炭素数１乃至６のアルキル基を表し、Ｒ[7]及びＲ[11]は互いに同じ構造を有する。また、Ｒ[8]乃至Ｒ[10]は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６のシクロアルキル基、置換もしくは無置換のフェニル基、またはシアノ基のいずれかを表し、Ｒ[8]乃至Ｒ[10]の少なくとも一はシアノ基を有する。

【００４４】

また、本発明の他の一態様は、一般式（Ｇ６）で表されるイリジウム錯体である。

【００４５】

【化６】



(G6)

【００４６】

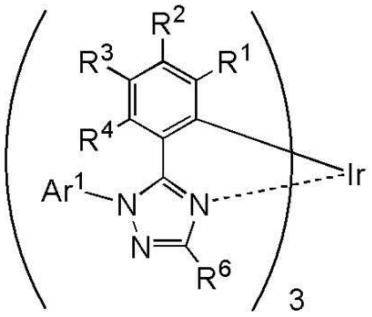
一般式（Ｇ６）において、Ｒ[1]乃至Ｒ[4]は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６のシクロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ｒ[5]およびＲ[6]は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ｒ[7]及びＲ[11]は、炭素数１乃至６のアルキル基を表し、Ｒ[7]及びＲ[11]は互いに同じ構造を有する。また、Ｒ[8]乃至Ｒ[10]は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６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し、Ｒ[8]乃至Ｒ[10]の少なくとも一はシアノ基を有する。

【００４７】

また、本発明の他の一態様は、一般式（Ｇ７）で表されるイリジウム錯体である。

【００４８】

【化７】



(G7)

【００４９】

一般式（Ｇ７）において、Ａｒ[1]は、炭素数６乃至１３の置換または無置換の第１のアリール基を表す。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第４のアリール基のいずれかを表す。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第３のアリール基のいずれかを表す。また、第１のアリール基、第３のアリール基、第４のアリール基、及びＲ[1]乃至Ｒ[4]の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【００５０】

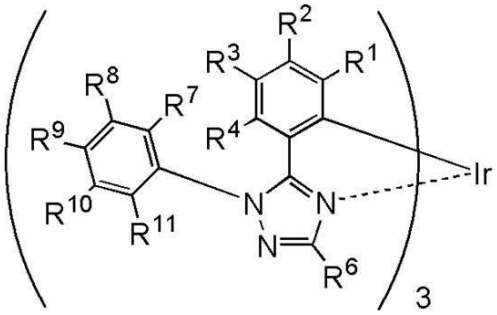
上記構成に記載のＡｒ[1]は、置換または無置換のフェニル基であり、フェニル基は、シアノ基を有することが好ましい。

【００５１】

また、本発明の他の一態様は、一般式（Ｇ８）で表されるイリジウム錯体である。

【００５２】

【化８】



(G8)

【００５３】

一般式（Ｇ８）において、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。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。また、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。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し、Ｒ[8]乃至Ｒ[10]の少なくとも一はシアノ基を有する。

【００５４】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成に記載のイリジウム錯体を有する発光素子である。

【００５５】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成に記載のイリジウム錯体と、第１の有機化合物と、第２の有機化合物と、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、イリジウム錯体のＬＵＭＯ準位と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、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。

【００５６】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成に記載のイリジウム錯体と、第１の有機化合物と、第２の有機化合物と、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、イリジウム錯体のＬＵＭＯ準位は、第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位より高く、イリジウム錯体のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物のＨＯＭＯ準位より低く、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。

【００５７】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成に記載のイリジウム錯体と、第１の有機化合物と、第２の有機化合物と、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、イリジウム錯体のＬＵＭＯ準位は、第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位と同等であり、イリジウム錯体のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物のＨＯＭＯ準位より低く、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。

【００５８】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成に記載のイリジウム錯体と、第１の有機化合物と、第２の有機化合物と、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、イリジウム錯体のＬＵＭＯ準位は、第１の有機化合物のＬＵＭＯ準位より高く、イリジウム錯体のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物のＨＯＭＯ準位と同等であり、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。

【００５９】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成に記載のイリジウム錯体と、第１の有機化合物と、第２の有機化合物と、を有する発光素子であって、第１の有機化合物の還元電位は、第２の有機化合物の還元電位より高く、第１の有機化合物の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、イリジウム錯体の還元電位は、第１の有機化合物の還元電位より低く、イリジウム錯体の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、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。

【００６０】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成に記載のイリジウム錯体と、第１の有機化合物と、第２の有機化合物と、を有する発光素子であって、第１の有機化合物の還元電位は、第２の有機化合物の還元電位より高く、第１の有機化合物の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、イリジウム錯体の還元電位は、第１の有機化合物の還元電位と同等であり、イリジウム錯体の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、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。

【００６１】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成に記載のイリジウム錯体と、第１の有機化合物と、第２の有機化合物と、を有する発光素子であって、第１の有機化合物の還元電位は、第２の有機化合物の還元電位より高く、第１の有機化合物の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位より高く、イリジウム錯体の還元電位は、第１の有機化合物の還元電位より低く、イリジウム錯体の酸化電位は、第２の有機化合物の酸化電位と同等であり、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。

【００６２】

また、上記各構成において、励起錯体は、イリジウム錯体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、イリジウム錯体の最も低いエネルギー側の吸収帯と重なる領域を有すると好ましい。

【００６３】

また、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、のエネルギー差は、イリジウム錯体の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。

【００６４】

また、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、のエネルギー差は、イリジウム錯体が呈する発光のエネルギー以上であると好ましい。

【００６５】

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、π電子不足型複素芳香環骨格を有し、第２の有機化合物は、π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。

【００６６】

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ー、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ＣＯＧ（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発光装置を含む場合がある。

【発明の効果】

【００６７】

本発明の一態様により、燐光性化合物を有し、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、新規な化合物を提供することができる。または、本発明の一態様により、新規な化合物を有する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。

【００６８】

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】

【００６９】

【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。
【図３】本発明の一態様の発光素子の断面模式図。
【図４】本発明の一態様の発光素子の断面模式図。
【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。
【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。
【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。
【図３１】本発明の一態様の発光装置を説明する断面図。
【図３２】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３３】本発明の一態様の照明装置について説明する図。
【図３４】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図３５】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図３６】本発明の一態様の化合物の液体クロマトグラフを説明する図。
【図３７】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図３８】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図３９】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図４０】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図４１】本発明の一態様の化合物の液体クロマトグラフを説明する図。
【図４２】実施例に係る、発光素子を説明する断面模式図。
【図４３】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４４】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４５】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図４６】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４７】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４８】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４９】実施例に係る、化合物の吸収スペクトルを説明する図。
【図５０】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５１】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５２】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図５３】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５４】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５５】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５６】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５７】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図５８】実施例に係る、発光素子の電流密度－電圧特性を説明する図。
【図５９】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６０】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６１】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６２】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６３】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図６４】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図６５】本発明の一態様の化合物の液体クロマトグラフを説明する図。
【図６６】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図６７】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図６８】本発明の一態様の化合物の液体クロマトグラフを説明する図。
【図６９】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図７０】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図７１】本発明の一態様の化合物の液体クロマトグラフを説明する図。
【図７２】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図７３】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図７４】本発明の一態様の化合物の液体クロマトグラフを説明する図。
【図７５】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図７６】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図７７】本発明の一態様の化合物の液体クロマトグラフを説明する図。
【図７８】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図７９】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図８０】本発明の一態様の化合物の液体クロマトグラフを説明する図。
【図８１】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図８２】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図８３】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図８４】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。
【図８５】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８６】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図８７】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８８】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８９】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９０】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９１】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９２】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図９３】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９４】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９５】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９６】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９７】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図９８】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９９】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１００】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１０１】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１０２】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図１０３】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１０４】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１０５】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１０６】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１０７】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１０８】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図１０９】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１１０】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１１１】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１１２】実施例に係る、化合物の吸収スペクトルを説明する図。
【図１１３】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１１４】実施例に係る、発光素子の輝度－電圧特性を説明する図。
【図１１５】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１１６】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１１７】実施例に係る、発光素子の発光の様子を説明する図。
【図１１８】本発明の一態様の化合物のＮＭＲチャートを説明する図。
【図１１９】本発明の一態様の化合物の吸収スペクトル、及び発光スペクトルを説明する図。

【発明を実施するための形態】

【００７０】

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。

【００７１】

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、図面等に開示された位置、大きさ、範囲などに限定されない。

【００７２】

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。

【００７３】

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。

【００７４】
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。
【００７５】
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、一重項励起エネルギー準位の最も低い準位（Ｓ１準位）は、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、三重項励起エネルギー準位の最も低い準位（Ｔ１準位）は、最も低い三重項励起状態の励起エネルギー準位のことである。なお、本明細書等において、単に一重項励起状態および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およびＳ１準位を表す場合がある。また、三重項励起状態および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およびＴ１準位を表す場合がある。
【００７６】
また、本明細書等において、蛍光性化合物とは、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化合物である。一方、燐光性化合物とは、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化合物である。換言すると燐光性化合物とは、三重項励起エネルギーを可視光へ変換可能な化合物の一つである。
【００７７】
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。
【００７８】
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。
【００７９】
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。
【００８０】
（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。
【００８１】
＜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。
【００８２】
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。
【００８３】
発光素子１５０は、一対の電極（電極１０１及び電極１０２）を有し、該一対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

。
【００８４】
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。
【００８５】
なお、本実施の形態においては、一対の電極のうち、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。
【００８６】
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。
【００８７】
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。
【００８８】
また、ゲスト材料１３２としては、発光性の有機化合物を用いればよく、該発光性の有機化合物としては、燐光を発することができる物質（以下、燐光性化合物ともいう）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、燐光性化合物を用いる構成について説明する。なお、ゲスト材料１３２を燐光性化合物として読み替えてもよい。
【００８９】
＜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。
【００９０】
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。
【００９１】
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。
【００９２】
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。
【００９３】
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とき、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。

【００９４】

このとき、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。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、一対の電極（電極１０１および電極１０２）から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。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、ΔE_{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、ΔE_{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。

【００９５】

また、ゲスト材料１３２のＨＯＭＯ準位は、有機化合物１３１＿２のＨＯＭＯ準位より低く、且つ、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位は、有機化合物１３１＿１のＬＵＭＯ準位より高いことが好ましい。すなわち、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（ΔE_{G}）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（ΔE_{Ex}）より大きい。そうすることで、ゲスト材料１３２と、有機化合物１３１＿１または有機化合物１３１＿２と、で励起錯体を形成する反応を抑制することができる。

【００９６】

例えば、ゲスト材料１３２のＨＯＭＯ準位が、有機化合物１３１＿２のＨＯＭＯ準位以上であり、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であるとき、ゲスト材料１３２と、有機化合物１３１＿１とで、励起錯体を形成する可能性がある。特に、ゲスト材料１３２のＨＯＭＯ準位と有機化合物１３１＿１のＬＵＭＯ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よりも小さくなるにつれて、ゲスト材料１３２と有機化合物１３１＿１とで形成される励起錯体が生成されやすくなる。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。

【００９７】

また、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位が、有機化合物１３１＿１のＬＵＭＯ準位以下であり、発光層１３０が有する材料のうち、最も低いＬＵＭＯ準位を有する材料がゲスト材料１３２であり、最も高いＨＯＭＯ準位を有する材料が有機化合物１３１＿２であるとき、ゲスト材料１３２と、有機化合物１３１＿２とで、励起錯体を形成する可能性がある。特に、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位と有機化合物１３１＿２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よりも小さくなるにつれて、ゲスト材料１３２と有機化合物１３１＿２とで形成される励起錯体が生成されやすくなる。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。

【００９８】

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１３２と、有機化合物１３１＿１または有機化合物１３１＿２と、で励起錯体を形成する反応を抑制すること

ができるため、高い発光効率を示す発光素子を作製することができる。

【００９９】

また、ゲスト材料１３２のＨＯＭＯ準位は、有機化合物１３１＿２のＨＯＭＯ準位より低く、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位は、有機化合物１３１＿１のＬＵＭＯ準位より高いため、一対の電極（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において有機化合物１３１＿２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に注入されやすい。

【０１００】

なお、このような観点からは、ゲスト材料１３２のＨＯＭＯ準位と有機化合物１３１＿２のＨＯＭＯ準位、あるいは、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位と有機化合物１３１＿１のＬＵＭＯ準位は、同等であっても良く、本発明の一態様である。ただし、以下に述べる理由により、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（ΔE_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（ΔE_{Ex}）より大きいことが好ましい。

【０１０１】

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（ΔE_{Ex}）は、有機化合物１３１＿１および有機化合物１３１＿２それぞれのＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差より小さいため、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（ΔE_G）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（ΔE_{Ex}）より大きいため、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。

【０１０２】

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（ΔE_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、このゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（ΔE_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（ΔE_{Ex}）より大きい場合においても、ゲスト材料１３２が呈する発光エネルギー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が、ΔE_{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ΔE_Gが、ゲスト材料１３２が呈する発光エネルギー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よりも大きい場合、ゲスト材料１３２を直接電気励起するのには、ΔE_Gに相当する大きな電気エネルギーが必要となり、駆動電圧が上昇する。しかし、上記の本発明の一態様においては、ΔE_{Ex}（ΔE_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、そこからのエネルギー移動によってゲスト材料１３２の発光が得られるため、低い電圧で高効率なゲスト材料の発光を得ることができる。つまり、ΔE_Gが、ゲスト材料１３２が呈する発光エネルギー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、本発明の一態様は有益である。

【０１０３】

なお、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確率を高めることができ、好ましい。

【０１０４】

また、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（ΔE_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（ΔE_{Ex}）より大きい場合であっても、ゲスト材料１３２の吸収端から算出される遷移エネルギー（略称：ΔE_{G_abs}）が、ΔE_{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が移動する。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。この時、$\Delta E_{G_abs} \leqq \Delta E_{Ex} < \Delta E_G$（$\Delta E_{G_abs}$は$\Delta E_{Ex}$以下であり、$\Delta E_{Ex}$は$\Delta E_G$より小さい）となっている。したがって、ゲスト材料１３２の吸収端から算出される遷移エネルギー（ΔE_{G_abs}）が、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（ΔE_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、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（ΔE_G）が、ゲスト材料１３２の吸収端から算出される遷移エネルギー（ΔE_{G_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（ΔE_G）は、ゲスト材料１３２の吸収端から算出される遷移エネルギー（ΔE_{G_abs}）より、０．４ｅＶ以上大きいと好ましい。また、ゲスト材料１３２が呈する発光のエネルギーは、ΔE_{G_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（ΔE_G）が、ゲスト材料１３２が呈する発光のエネルギーより、０．４ｅＶ以上大きいと好ましい。なお、発光のエネルギーは、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。

【０１０５】

なお、ゲスト材料１３２の発光波長が短波長になる（発光エネルギーが大きくなる）ほど、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（ΔE_G）は大きくなり、それに伴い、ゲスト材料を電気励起するには大きなエネルギーが必要となる。しかしながら、ゲスト材料１３２の吸収端から算出される遷移エネルギー（ΔE_{G_abs}）が、ΔE_{Ex}と同等か、より小さければ、本発明によりΔE_Gよりも遥かに小さいΔE_{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の吸収端から算出される遷移エネルギー（ΔE_{G_abs}）と、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（ΔE_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は）、本発明の一態様のメカニズムの効果が顕著となる。

【０１０６】

ただし、ゲスト材料１３２の吸収端から算出される遷移エネルギー（ΔE_{G_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、ΔE_{G_abs}とΔE_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い。

【０１０７】

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

（ΔE_G）は、ゲスト材料１３２の吸収端から算出される遷移エネルギー（ΔE_{G_abs}）より、０．４ｅＶ以上０．８ｅＶ以下の範囲で大きいと好ましく、０．５ｅＶ以上０．８ｅＶ以下の範囲で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は、ΔE_{G_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（ΔE_G）は、ゲスト材料１３２が呈する発光のエネルギーより、０．４ｅＶ以上０．８ｅＶ以下の範囲で大きいと好ましく、０．５ｅＶ以上０．８ｅＶ以下の範囲で大きいとより好ましい。

【０１０８】

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０．０５ｅＶ以上であり、より好ましくは０．１ｅＶ以上であり、さらに好ましくは０．２ｅＶ以上である。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０．０５ｅＶ以上であり、より好ましくは０．１ｅＶ以上であり、さらに好ましくは０．２ｅＶ以上である。そうすることで、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。

【０１０９】

なお、ゲスト材料１３２のＨＯＭＯ準位が有機化合物１３１＿１のＨＯＭＯ準位より高くても良く、低くても良い。また、ゲスト材料１３２のＬＵＭＯ準位が有機化合物１３１＿２のＬＵＭＯ準位より高くても良く、低くても良い。

【０１１０】

また、上述したＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位との関係から、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、一方が他方の酸化電位より高い酸化電位を有し、且つ、他方の還元電位より高い還元電位を有することが好ましい。

【０１１１】

例えば、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とき、有機化合物１３１＿１の酸化電位は、有機化合物１３１＿２の酸化電位より高く、且つ、有機化合物１３１＿１の還元電位は、有機化合物１３１＿２の還元電位より高いことが好ましい。なお、酸化電位および還元電位については、サイクリックボルタンメトリ（ＣＶ）法によって測定することができる。

【０１１２】

また、ゲスト材料１３２の酸化電位は、有機化合物１３１＿２の酸化電位より高く、且つ、ゲスト材料１３２の還元電位は、有機化合物１３１＿１の還元電位より低いことが好ましい。そうすることで、上記と同様に、ゲスト材料１３２と、有機化合物１３１＿１または有機化合物１３１＿２と、で励起錯体を形成する反応を抑制することができる。

【０１１３】

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。

【０１１４】

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を有し、他方の有機化合物にＬＵＭＯを有するため、ＨＯＭＯとＬＵＭＯ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、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、好ましくは０ｅＶより大きく０．２ｅＶ以下である。

【０１１５】

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（燐光性化合物）
・$Ｓ_{ＰＨ}$：ホスト材料（有機化合物１３１＿１）のＳ１準位
・$Ｔ_{ＰＨ}$：ホスト材料（有機化合物１３１＿１）のＴ１準位
・$Ｓ_{ＰＧ}$：ゲスト材料１３２（燐光性化合物）のＳ１準位
・$Ｔ_{ＰＧ}$：ゲスト材料１３２（燐光性化合物）のＴ１準位
・$Ｓ_{ＰＥ}$：励起錯体のＳ１準位
・$Ｔ_{ＰＥ}$：励起錯体のＴ１準位

【０１１６】
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。励起錯体の一重項励起状態の最も低い準位（$Ｓ_{ＰＥ}$）と励起錯体の三重項励起状態の最も低い準位（$Ｔ_{ＰＥ}$）とは互いに隣接することになる（図２（Ｂ）　ルート$Ｅ_{7}$参照）。

【０１１７】
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（$Ｓ_{Ｅ}$または$Ｔ_{Ｅ}$）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）の一重項励起エネルギー準位（$Ｓ_{ＰＨ}$）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。

【０１１８】
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（燐光性化合物）の三重項励起状態の最も低い準位（$Ｔ_{ＰＧ}$）へ移動させて発光が得られる（図２（Ｂ）ルート$Ｅ_{8}$、$Ｅ_{9}$参照）。

【０１１９】
なお、励起錯体の三重項励起エネルギー準位（$Ｔ_{ＰＥ}$）は、ゲスト材料１３２の三重項励起エネルギー準位（$Ｔ_{ＰＧ}$）より高いことが好ましい。そうすることで、生成した励起錯体の一重項励起エネルギーおよび三重項励起エネルギーを、励起錯体の一重項励起エネルギー準位（$Ｓ_{ＰＥ}$）および三重項励起エネルギー準位（$Ｔ_{ＰＥ}$）からゲスト材料１３２の三重項励起エネルギー準位（$Ｔ_{ＰＧ}$）へエネルギー移動することができる。

【０１２０】
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（燐光性化合物）からの発光を、効率よく得ることが可能となる。

【０１２１】
なお、上記に示すルート$Ｅ_{7}$、ルート$Ｅ_{8}$、及びルート$Ｅ_{9}$の過程を、本明細書等においてＥｘＴＥＴ（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。

【０１２２】

なお、以上の反応は、以下の一般式（Ｇ１１）乃至（Ｇ１３）で表すことができる。

【０１２３】

$D^{+}+A^{-} \rightarrow (D\cdot A)^{*}$ （Ｇ１１）

$(D\cdot A)^{*}+G \rightarrow D+A+G^{*}$ （Ｇ１２）

$G^{*} \rightarrow G+h\nu$ （Ｇ１３）

【０１２４】

一般式（Ｇ１１）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（$(D\cdot A)^{*}$）を生成する反応である。また、一般式（Ｇ１２）は、励起錯体（$(D\cdot A)^{*}$）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、一般式（Ｇ１３）のように、励起状態のゲスト材料１３２から発光（ｈν）する。

【０１２５】

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、励起錯体の三重項励起エネルギー準位が、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）の三重項励起エネルギー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。

【０１２６】

また、有機化合物１３１＿２がドナー性の強い骨格を有するとき、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とき、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。そうすることで、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。

【０１２７】

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。

【０１２８】

＜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。

【０１２９】

≪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。

【０１３０】

【数１】

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

【０１３１】

数式（１）において、νは、振動数を表し、ｆ’$_{h}$（ν）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、ε$_{g}$（ν）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。

【０１３２】

≪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。

【０１３３】

【数２】

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

【０１３４】

数式（２）において、ｈは、プランク定数であり、Ｋは、エネルギーの次元を持つ定数であり、νは、振動数を表し、ｆ’$_{h}$（ν）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、ε’$_{g}$（ν）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。

【０１３５】

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φ$_{ET}$は、数式（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。

【０１３６】

【数３】

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

【０１３７】

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／τ）が相対的に小さくなれば良いことがわかる。

【０１３８】

≪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φ（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。

【０１３９】

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。

【０１４０】

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。

【０１４１】

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の最も長波長側（低エネルギー側）に現れる吸収帯と、が重なると好ましい。そうすることで、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。

【０１４２】

＜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。

【０１４３】

≪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（燐光性化合物）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。

【０１４４】

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、1×10^{-6} ｃｍ^2／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π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。π電子不足型複素芳香環骨格を有する化合物の例としては、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の化合物が挙げられる。亜鉛やアルミニウム系金属錯体の例としては、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。

【０１４５】

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：Ａｌｍｑ$_3$）、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：ＢｅＢｑ$_2$）、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－ビフェニリル）－５－（４－ｔｅｒｔ－ブチルフェニル）－１，３，４－オキサジアゾール（略称：ＰＢＤ）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－ビフェニリル）－４－フェニル－５－（４－ｔｅｒｔ－ブチルフェニル）－１，２，４－トリアゾール（略称：ＴＡＺ）、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：ｍＤＢＴＢＩｍ－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’－（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：２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩ）、２－［３’－（９Ｈ－カルバゾール－９－イル）ビフェニル－３－イル］ジベンゾ［ｆ、ｈ］キノキサリン（略称：２ｍＣｚＢＰＤＢｑ）、２－［４－（３，６－ジフェニル－９Ｈ－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：２ＣｚＰＤＢｑ－ＩＩＩ）、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：７ｍＤＢＴＰＤＢｑ－ＩＩ）、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：６ｍＤＢＴＰＤＢｑ－ＩＩ）、２－［３－（３，９’－ビ－９Ｈ－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：２ｍＣｚＣｚＰＤＢｑ）、４，６－ビス［３－（フェナントレン－９－イル）フェニル］ピリミジン（略称：４，６ｍＰｎＰ２Ｐｍ）、４，６－ビス［３－（４－ジベンゾチエニル）フェニル］ピリミジン（略称：４，６ｍＤＢＴＰ２Ｐｍ－ＩＩ）、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）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－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：ＰＣＣｚＰＴｚｎ）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－（９Ｈ－カルバゾール－９－イル）フェニル］ピリジン（略称：３５ＤＣｚＰＰｙ）、１，３，５－トリ［３－（３－ピリジル）フェニル］ベンゼン（略称：ＴｍＰｙＰＢ）などのピリジン骨格を有する複素環化合物、４，４’－ビス（５－メチルベンゾオキサゾール－２－イル）スチルベン（略称：ＢｚＯｓ）などの複素芳香族化合物も用いることができる。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：ＰＰｙ）、ポリ［（９，９－ジヘキシルフルオレン－２，７－ジイル）－ｃｏ－（ピリジン－３，５－ジイル）］（略称：ＰＦ－Ｐｙ）、ポリ［（９，９－ジオクチルフルオレン－２，７－ジイル）－ｃｏ－（２，２’－ビピリジン－６，６’－ジイル）］（略称：ＰＦ－ＢＰｙ）のような高分子化合物を用いることもできる。ここに述べた物質は、主に１×１０$^{-6}$ｃｍ^{2}／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。

【０１４６】

有機化合物１３１＿２としては、有機化合物１３１＿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、π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。π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１３１＿１と有機化合物１３１＿２とで形成される励起錯体の発光ピークが、ゲスト材料１３２（燐光性化合物）の三重項ＭＬＣＴ（Ｍｅｔａｌ ｔｏ Ｌｉｇａｎｄ Ｃｈａｒｇｅ Ｔｒａｎｓｆｅｒ）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１３１＿１、有機化合物１３１＿２、およびゲスト材料１３２（燐光性化合物）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、燐光性化合物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。

【０１４７】

また、有機化合物１３１＿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。

【０１４８】

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、１×１０$^{-6}$ｃｍ^{2}／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。

【０１４９】

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。

【０１５０】

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。

【０１５１】
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。
【０１５２】
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’－ビアントリル、１０，１０’－ジフェニル－９，９’－ビアントリル、１０，１０’－ビス（２－フェニルフェニル）－９，９’－ビアントリル、１０，１０’－ビス［（２，３，４，５，６－ペンタフェニル）フェニル］－９，９’－ビアントリル、アントラセン、テトラセン、ルブレン、ペリレン、２，５，８，１１－テトラ（ｔｅｒｔ－ブチル）ペリレン等が挙げられる。また、この他、ペンタセン、コロネン等も用いることができる。このように、1×10^{-6} ｃｍ^2／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。
【０１５３】
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。
【０１５４】
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。
【０１５５】
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α－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：

ＢＰＡＦＬＰ）、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：ｍＢＰＡＦＬＰ）、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：ＰＣＢＡＳＦ）、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’－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。

【０１５６】

ゲスト材料１３２（燐光性化合物）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。

【０１５７】

また、ゲスト材料１３２（燐光性化合物）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準位より低い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（燐光性化合物）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。

【０１５８】

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－κＮ２］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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－ビフェニル）－５－イソプロピル－３－フェニル－４Ｈ－１，２，４－トリアゾラト］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｉＰｒｐｔｚ－３ｂ）$_3$）、トリス［３－（５－ビフェニル）－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－１Ｈ－１，２，４－トリアゾラト］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（Ｍｐｔｚ１－ｍｐ）$_3$）、トリス（１－メチル－５－フェニル－３－プロピル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾラト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（Ｐｒｐｔｚ１－Ｍｅ）$_3$）のような１Ｈ－トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、ｆａｃ－トリス［１－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－２－フェニル－１Ｈ－イミダゾール］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｉＰｒｐｍｉ）$_3$）、トリス［３－（２，６－ジメチルフェニル）－７－メチルイミダゾ［１，２－ｆ］フェナントリジナト］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｄｍｐｉｍｐｔ－Ｍｅ）$_3$）のようなイミダゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、ビス［２－（４’，６’－ジフルオロフェニル）ピリジナト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$］イリジウム（ＩＩＩ）テトラキス（１－ピラゾリル）ボラート（略称：ＦＩｒ６）、ビス［２－（４’，６’－ジフルオロフェニル）ピリジナト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$］イリジウム（ＩＩＩ）ピコリナート（略称：ＦＩｒｐｉｃ）、ビス｛２－［３’，５’－ビス（トリフルオロメチル）フェニル］ピリジナト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$｝イリジウム（ＩＩＩ）ピコリナート（略称：Ｉｒ（ＣＦ$_3$ｐｐｙ）$_2$（ｐｉｃ））、ビス［２－（４’，６’－ジフルオロフェニル）ピリジナト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$］イリジウム（ＩＩＩ）アセチルアセトナート（略称：ＦＩｒ（ａｃａｃ））のような電子吸引基を有するフェニルピリジン誘導体を配位子とする有機金属イリジウム錯体が挙げられる。上述した中でも、４Ｈ－トリアゾール骨格、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。

【０１５９】

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（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｍ）$_3$）、

トリス（４－ｔ－ブチル－６－フェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_3$）、（アセチルアセトナト）ビス（６－メチル－４－フェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））、（アセチルアセトナト）ビス（６－ｔｅｒｔ－ブチル－４－フェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））、（アセチルアセトナト）ビス［４－（２－ノルボルニル）－６－フェニルピリミジナト］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｎｂｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））、（アセチルアセトナト）ビス［５－メチル－６－（２－メチルフェニル）－４－フェニルピリミジナト］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｍｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））、（アセチルアセトナト）ビス｛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－κＮ３］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｄｍｐｐｍ－ｄｍｐ）$_2$（ａｃａｃ））、（アセチルアセトナト）ビス（４，６－ジフェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｄｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））のようなピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、（アセチルアセトナト）ビス（３，５－ジメチル－２－フェニルピラジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｒ－Ｍｅ）$_2$（ａｃａｃ））、（アセチルアセトナト）ビス（５－イソプロピル－３－メチル－２－フェニルピラジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｒ－ｉＰｒ）$_2$（ａｃａｃ））のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス（２－フェニルピリジナト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｐｐｙ）$_3$）、ビス（２－フェニルピリジナト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$）イリジウム（ＩＩＩ）アセチルアセトナート（略称：Ｉｒ（ｐｐｙ）$_2$（ａｃａｃ））、ビス（ベンゾ［ｈ］キノリナト）イリジウム（ＩＩＩ）アセチルアセトナート（略称：Ｉｒ（ｂｚｑ）$_2$（ａｃａｃ））、トリス（ベンゾ［ｈ］キノリナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｂｚｑ）$_3$）、トリス（２－フェニルキノリナト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｐｑ）$_3$）、ビス（２－フェニルキノリナト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$）イリジウム（ＩＩＩ）アセチルアセトナート（略称：Ｉｒ（ｐｑ）$_2$（ａｃａｃ））のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、ビス（２，４－ジフェニル－１，３－オキサゾラト－Ｎ，Ｃ$^{2'}$）イリジウム（ＩＩＩ）アセチルアセトナート（略称：Ｉｒ（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。

【０１６０】

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（ｄ１ｎｐｍ）$_2$（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（ｐｉｑ）$_3$）、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（ｐｉｑ）$_2$（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。

【０１６１】

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、燐光性化合物の他に、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、燐光性化合物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０ｅＶより大きく０．２ｅＶ以下、さらに好ましくは０ｅＶより大きく０．１ｅＶ以下であることが挙げられる。

【０１６２】

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。

【０１６３】

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

【０１６４】

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、π電子過剰型複素芳香環及びπ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－（ビフェニル－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：ＰＣＣｚＰＴｚｎ）、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、π電子過剰型複素芳香環及びπ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、π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、π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、π電子過剰型複素芳香環とπ電子不足型複素芳香環とが直接結合した物質は、π電子過剰型複素芳香環のドナー性とπ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。

【０１６５】

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。

【０１６６】

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。

【０１６７】

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、デンドリマー、ポリマー等）を有してもよい。

【０１６８】

≪正孔注入層≫

正孔注入層１１１は、一対の電極の一方（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、例えば自己ドープ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。

【０１６９】

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、ヘキサア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：F_4－ＴＣＮＱ）、クロラニル、２，３，６，７，１０，１１－ヘキサシアノ－１，４，５，８，９，１２－ヘキサアザトリフェニレン（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、酸化レニウムなどである。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。

【０１７０】

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、1×10^{-6} ｃｍ^2／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。

【０１７１】

≪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。

【０１７２】

また、1×10^{-6} ｃｍ^2／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。

【０１７３】

≪電子輸送層≫

電子輸送層１１８は、電子注入層１１９を経て一対の電極の他方（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、1×10^{-6} ｃｍ^2／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π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、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、1×10^{-6} ｃｍ^2／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。

【０１７４】

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

【０１７５】
≪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（CaF_2）、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、フッ化エルビウム（ErF_3）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で用いることが出来る物質を用いても良い。
【０１７６】
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、テトラチアフルバレン（略称：ＴＴＦ）等の有機化合物を用いることもできる。
【０１７７】
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、デンドリマー、ポリマー等）を用いてもよい。
【０１７８】
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。
【０１７９】
≪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。
【０１８０】
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

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良い。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。

【０１８１】

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1×10^{-2}Ω・ｃｍ以下の導電性材料が挙げられる。

【０１８２】

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1×10^{-2}Ω・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。

【０１８３】

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1×10^{5}Ω・ｃｍ以下、さらに好ましくは1×10^{4}Ω・ｃｍ以下である。

【０１８４】

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。

【０１８５】

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金属薄膜も用いることができ、数ｎｍ乃至数十ｎｍの層を複数積層させてもよい。

【０１８６】

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。

【０１８７】

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（４．０ｅＶ以上）材料を用いることが好ましい。

【０１８８】

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。

【０１８９】

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。

【０１９０】

≪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。

【０１９１】

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。

【０１９２】

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、特に限定されることはない。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、ポリイミド、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。

【０１９３】
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、基板上にポリイ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。
【０１９４】
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、別の基板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。
【０１９５】
また、上述した基板上に、例えば電界効果トランジスタ（ＦＥＴ）を形成し、ＦＥＴと電気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。
【０１９６】
なお、本実施の形態において、本発明の一態様について述べた。または、他の実施の形態において、本発明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、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良い。あるいは、ゲスト材料のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物のＨＯＭＯ準位より低くなくてもよい。
【０１９７】
以上、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。
【０１９８】
（実施の形態２）
本実施の形態では、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新たな化合

物について、以下説明する。

【０１９９】

本発明の一態様の化合物は、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であって、該含窒素五員複素環骨格は、少なくともシアノ基を含む置換基を有する。イミダゾール骨格やトリアゾール骨格などの含窒素五員複素環骨格は、高い三重項励起エネルギー準位を有するが、含窒素六員複素環骨格と比較して電子受容性が低い。そのため、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は、ＬＵＭＯ準位が高く、電子キャリアが注入されにくい。しかしながら、本発明の一態様のイリジウム錯体は、少なくともシアノ基を含む置換基を有するため、シアノ基の強い電子吸引性により、ＬＵＭＯ準位およびＨＯＭＯ準位が低下する。そのため、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繰返しに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。以上のように、本発明の一態様のイリジウム錯体を発光素子に用いることで、優れた発光特性を有する高性能な発光素子を作製することができる。

【０２００】

また、本発明の一態様の化合物は、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。当該配位子は合成する際、純度良く合成することが容易であることから、不純物による劣化を抑制することが可能である。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結合するシアノ基を含む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。

【０２０１】

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との間には、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。

【０２０２】

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低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。

【０２０３】

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、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。

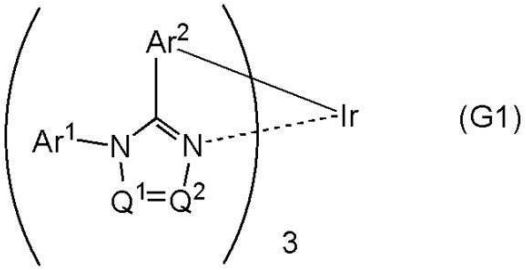
【０２０４】

＜イリジウム錯体の例１＞

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。

【０２０５】

【化９】



(G1)

【０２０６】

上記一般式（Ｇ１）において、Ａｒ[1]及びＡｒ[2]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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。

【０２０７】

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あげることができる。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あげることができる。

【０２０８】

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、の少なくとも一は、シアノ基を有する。

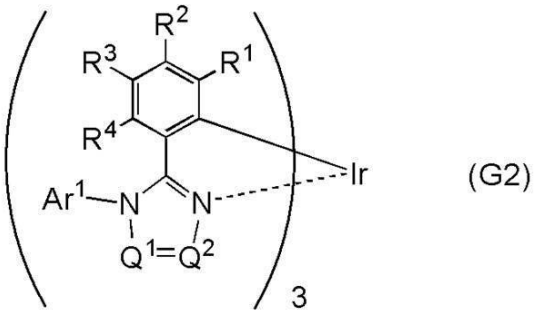
【０２０９】

＜イリジウム錯体の例２＞

また、本発明の一態様におけるイリジウム錯体は、オルトメタル錯体であると好適である。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。

【０２１０】

【化１０】



(G2)

【０２１１】

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あげることができる。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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。

【０２１２】

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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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。

【０２１３】

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

てあげることができる。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あげることができる。

【０２１４】

また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{4}が表すアリール基、Ｒ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。

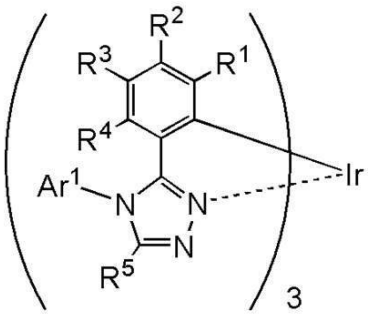
【０２１５】

＜イリジウム錯体の例３＞

また、本発明の一態様の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。

【０２１６】

【化１１】



(G3)

【０２１７】

上記一般式（Ｇ３）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あげることができる。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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。

【０２１８】

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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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。

【０２１９】

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あげることができる。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あげることができる。

【０２２０】

また、Ar^1及びR^1乃至R^5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。

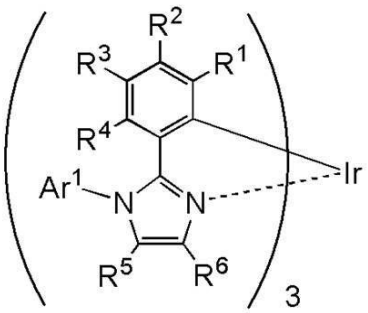
【０２２１】

＜イリジウム錯体の例４＞

また、本発明の一態様の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。

【０２２２】

【化１２】



(G4)

【０２２３】

上記一般式（Ｇ４）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あげることができる。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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。

【０２２４】

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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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。

【０２２５】

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あげることができる。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あげることができる。

【０２２６】

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。

【０２２７】

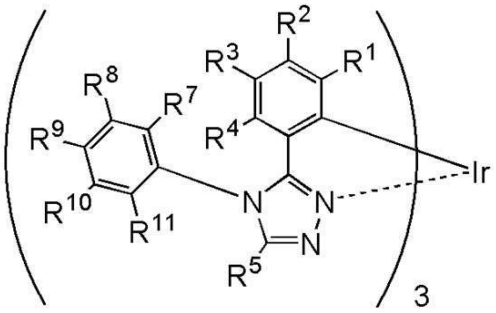
＜イリジウム錯体の例５＞

また、本発明の一態様の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。

【０２２８】

【化１３】



(G5)

【０２２９】

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ことができる。

【０２３０】

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。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。

【０２３１】

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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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。

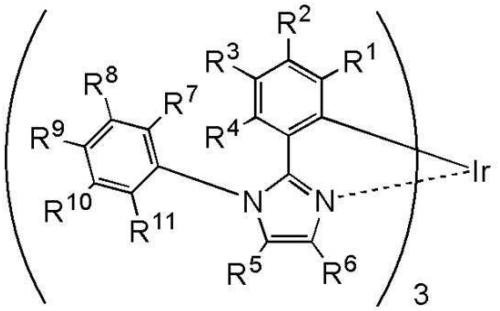
【０２３２】

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あげることができる。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あげることができる。

【０２３３】

【化１４】



(G6)

【０２３４】

上記一般式（Ｇ６）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ことができる。

【０２３５】

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。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。

【０２３６】

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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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。

【０２３７】

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あげることができる。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あげることができる。

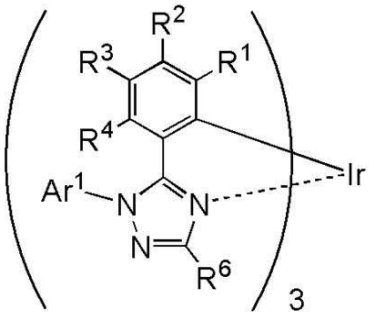
【０２３８】

＜イリジウム錯体の例６＞

また、本発明の一態様の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（Ｇ７）及び（Ｇ８）で表されるイリジウム錯体である。

【０２３９】

【化１５】



(G7)

【０２４０】

上記一般式（Ｇ７）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あげることができる。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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。

【０２４１】

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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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。

【０２４２】

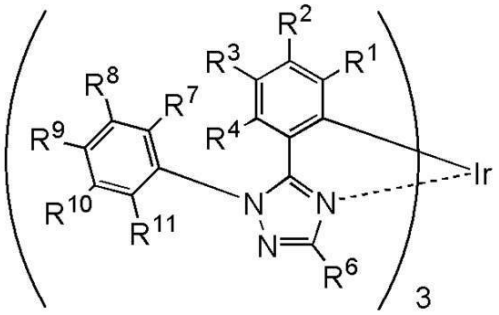
また、R^6は、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。炭素数１乃至６のアルキル基としては具体的には、メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ブチル基、イソブチル基、ｔｅｒｔ－ブチル基、ｎ－ヘキシル基などを挙げることができる。また、炭素数１乃至６のハロアルキル基、としては、少なくとも一つの水素が第１７族元素（フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチン）によって置換されたアルキル基であって、フッ化アルキル基、塩化アルキル基、臭化アルキル基、ヨウ化アルキル基などが挙げられ、具体的には、フッ化メチル基、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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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あげることができる。

【０２４３】

また、Ar^1、R^1乃至R^4、及び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。

【０２４４】

【化１６】



(G8)

【０２４５】

上記一般式（Ｇ８）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ことができる。

【０２４６】

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。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。

【０２４７】

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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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。

【０２４８】

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、ビフェニル基、フルオレニル基などを具体例としてあげることができる。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あげることができる。

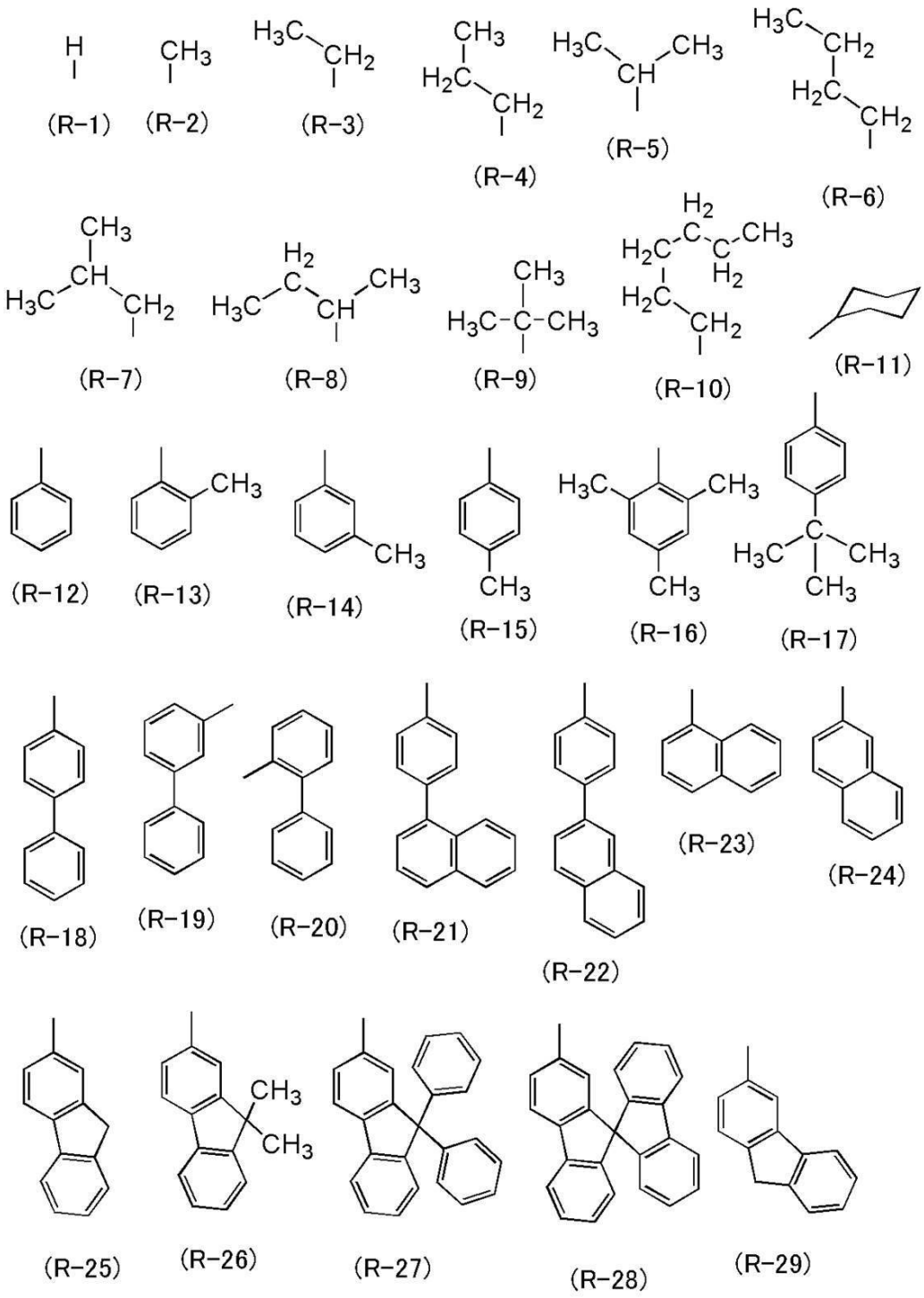
【０２４９】

＜置換基の例＞

上記一般式（Ｇ２）乃至（Ｇ８）のR^{1}乃至R^{4}で表されるアルキル基およびアリール基として、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。

【０２５０】

【化１７】



【０２５１】

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。

【０２５２】

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。

【０２５３】

また、一般式（Ｇ５）、（Ｇ６）、及び（Ｇ８）のＲ^{8}乃至Ｒ^{10}で表されるアルキル

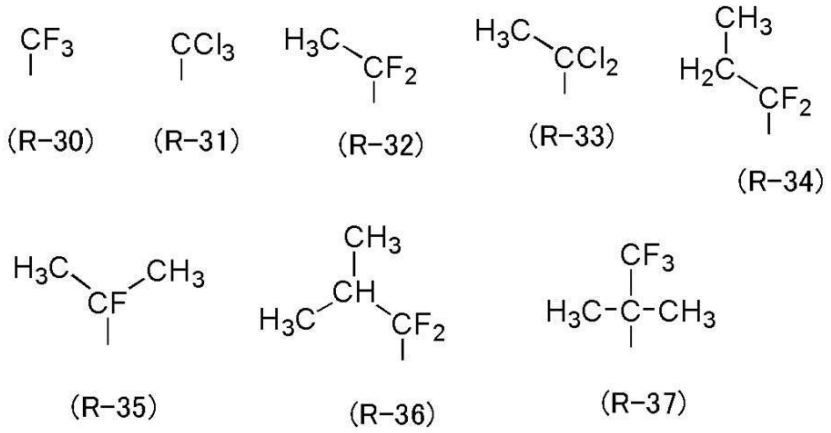
基または置換または無置換のフェニル基は、例えば、上記構造式（Ｒ－１）乃至（Ｒ－２２）で表される基を適用することができる。なお、アルキル基またはフェニル基として用いることのできる基はこれらに限られない。

【０２５４】

また、上記一般式（Ｇ３）乃至（Ｇ６）のR^5、及び一般式（Ｇ４）、（Ｇ６）乃至（Ｇ８）のR^6で表されるアルキル基、アリール基、またはハロアルキル基は、例えば、上記構造式（Ｒ－１）乃至（Ｒ－２９）、及び下記構造式（Ｒ－３０）乃至（Ｒ－３７）で表される基を適用することができる。なお、アルキル基、アリール基、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。

【０２５５】

【化１８】



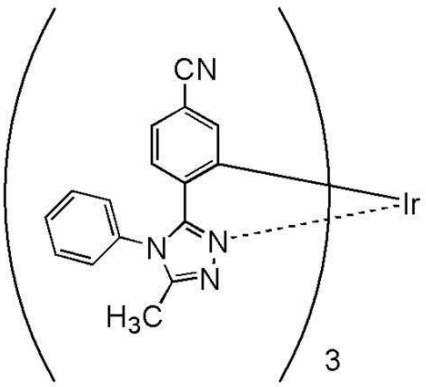
【０２５６】

＜イリジウム錯体の具体例＞

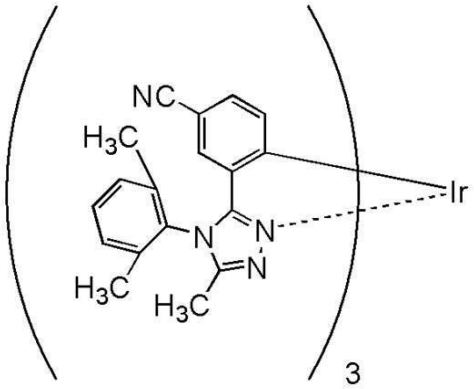
上記一般式（Ｇ１）乃至（Ｇ８）として表されるイリジウム錯体の具体的な構造としては、下記構造式（１００）乃至（１３４）で表される化合物などが挙げられる。なお、一般式（Ｇ１）乃至（Ｇ８）として表されるイリジウム錯体は下記例示に限られない。

【０２５７】

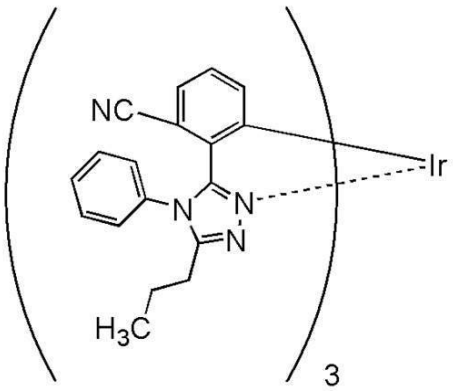
【化１９】



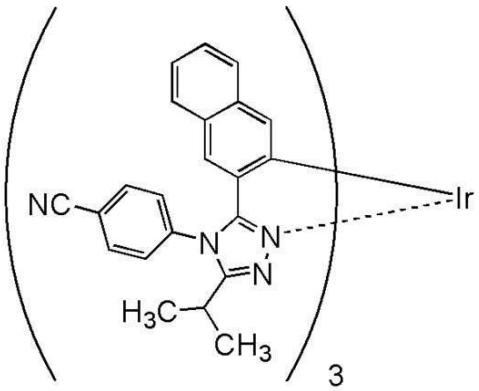
(100)



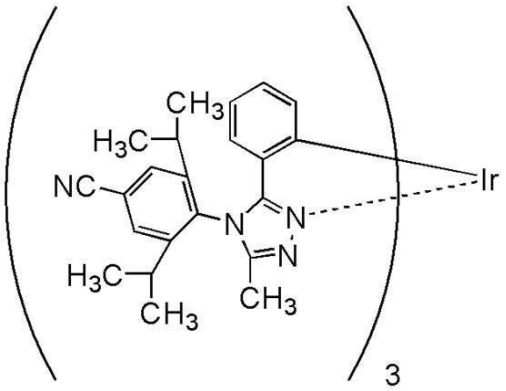
(101)



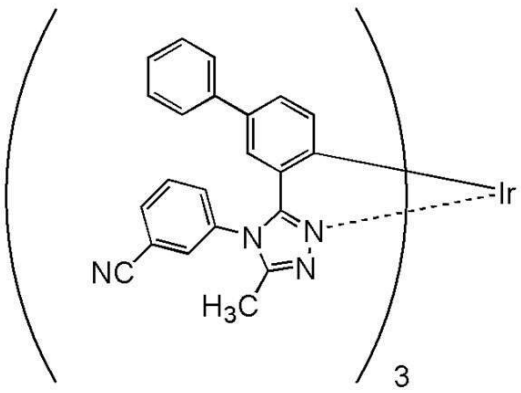
(102)



(103)



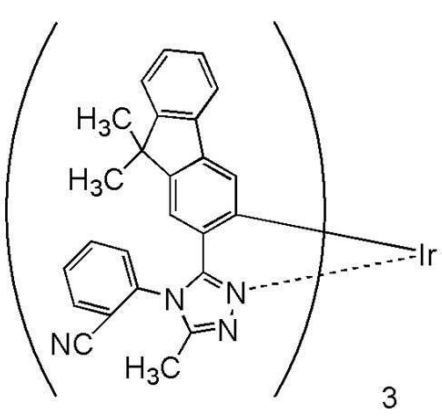
(104)



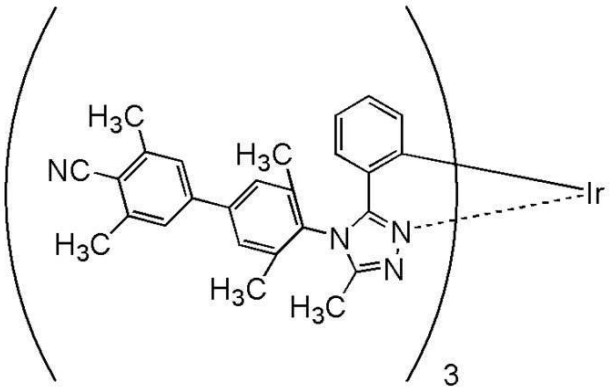
(105)

【０２５８】

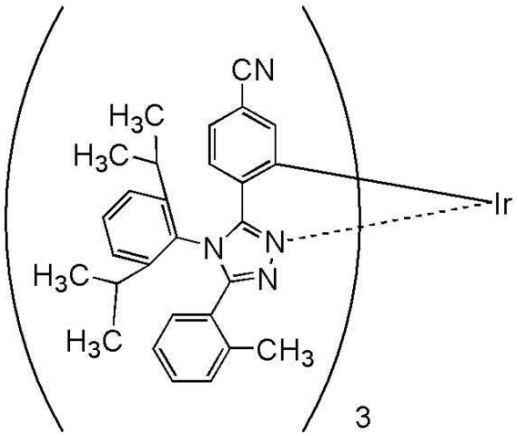
【化２０】



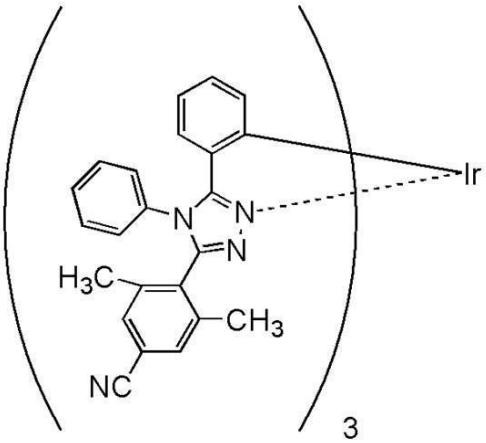
(106)



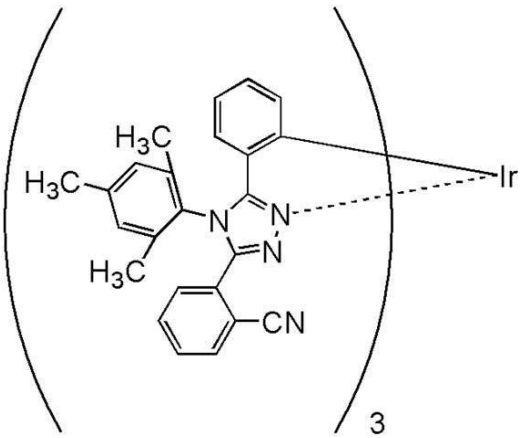
(107)



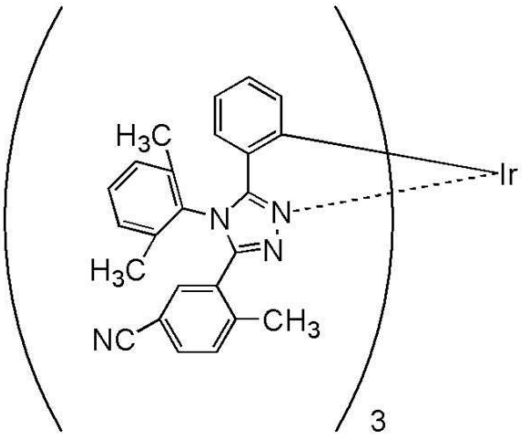
(108)



(109)



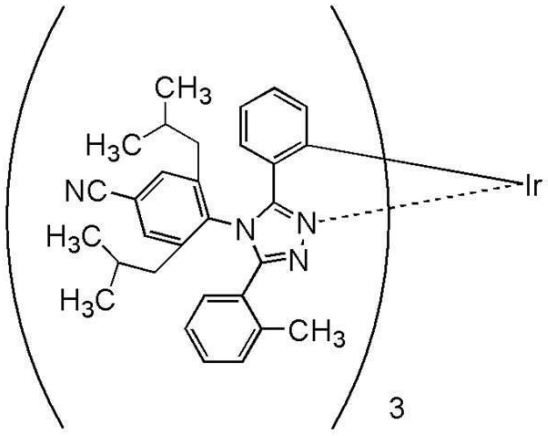
(110)



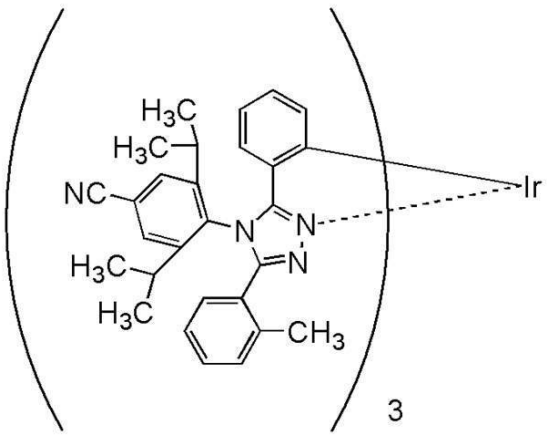
(111)

【０２５９】

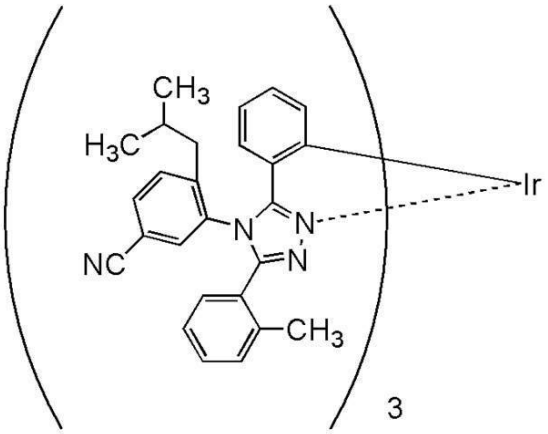
【化２１】



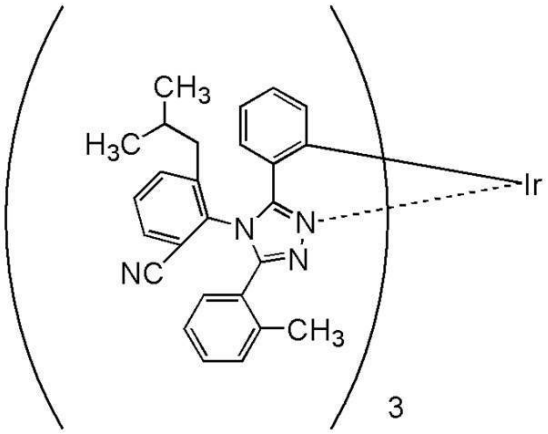
(112)



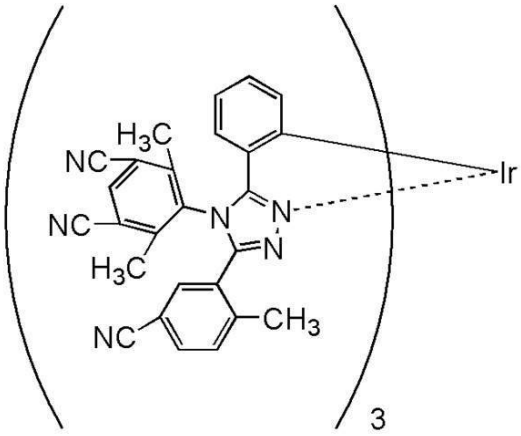
(113)



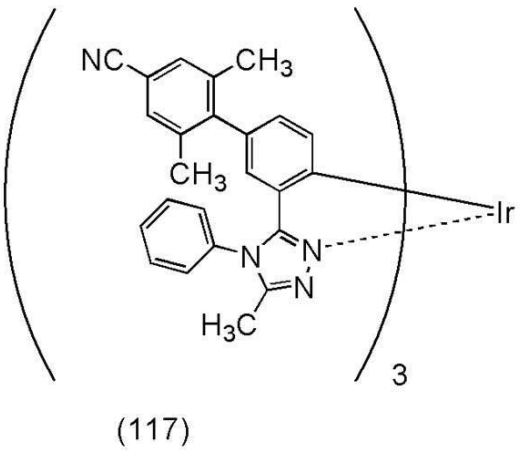
(114)



(115)



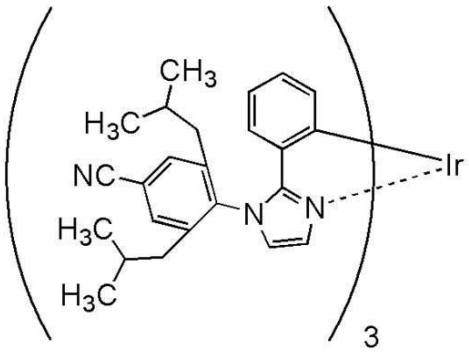
(116)



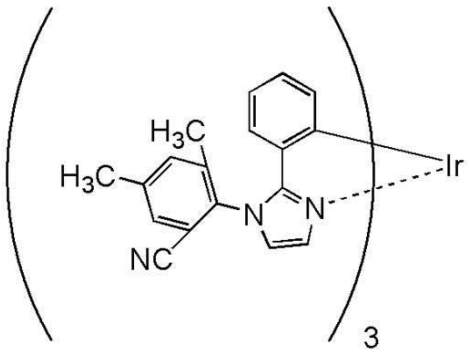
(117)

【０２６０】

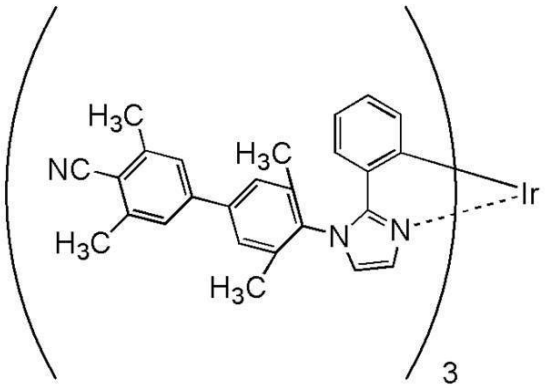
【化２２】



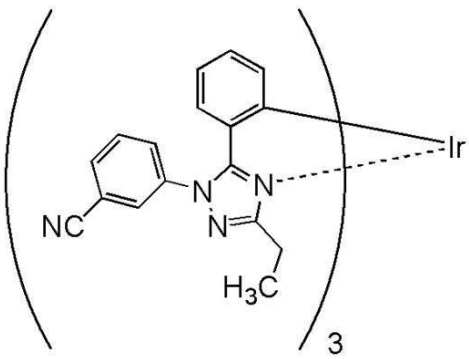
(118)



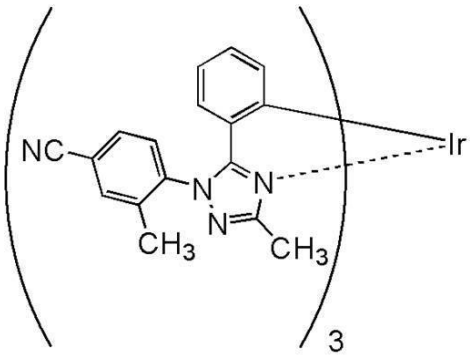
(119)



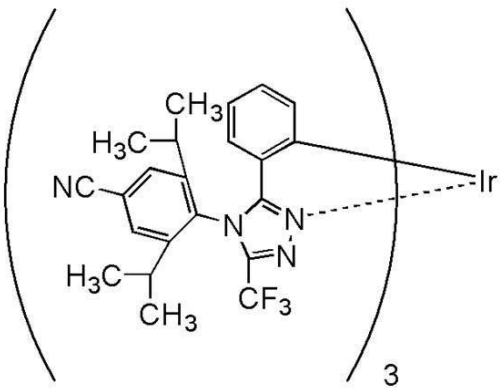
(120)



(121)



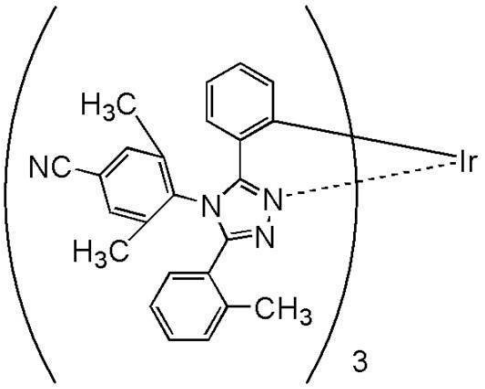
(122)



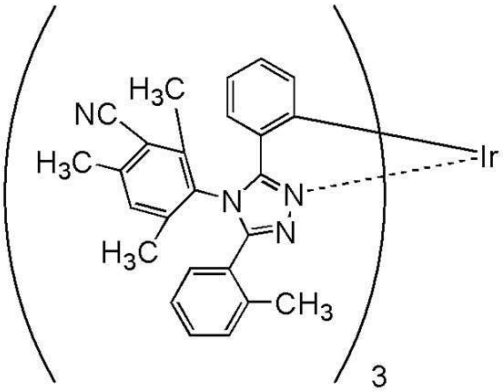
(123)

【０２６１】

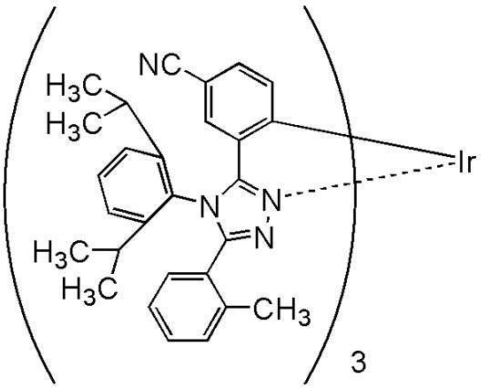
【化２３】



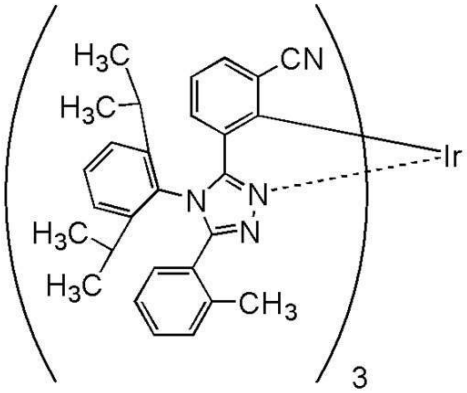
(124)



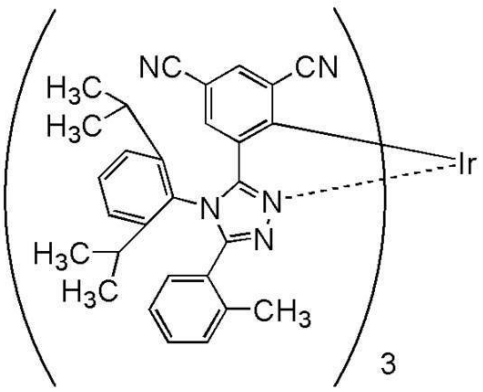
(125)



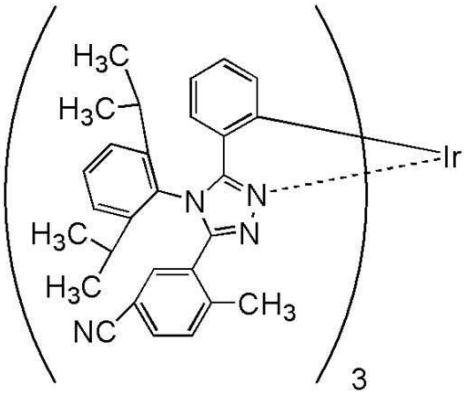
(126)



(127)



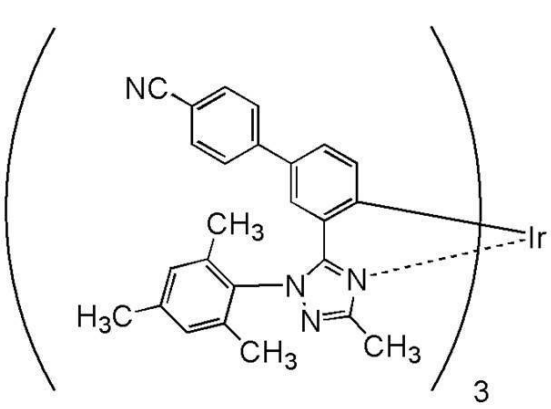
(128)



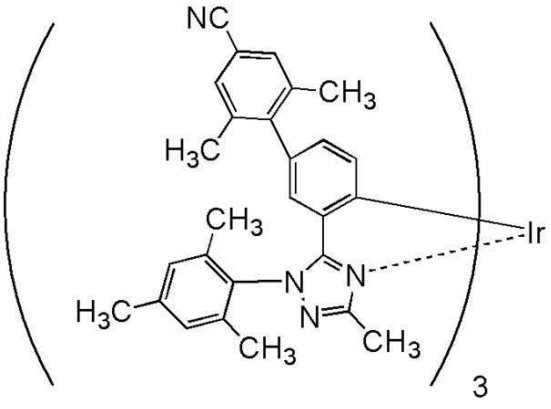
(129)

【０２６２】

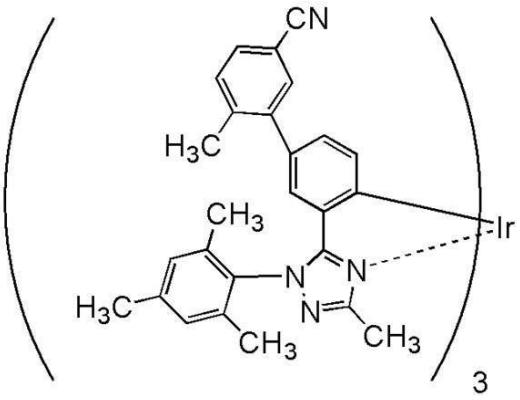
【化２４】



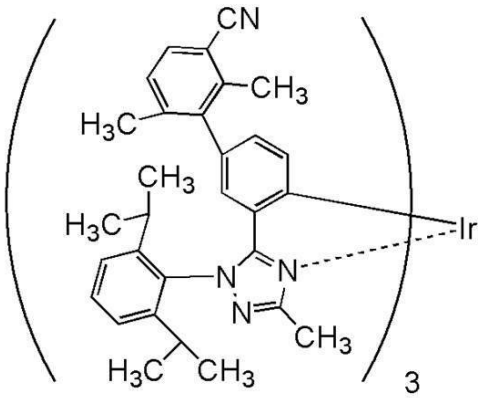
(130)



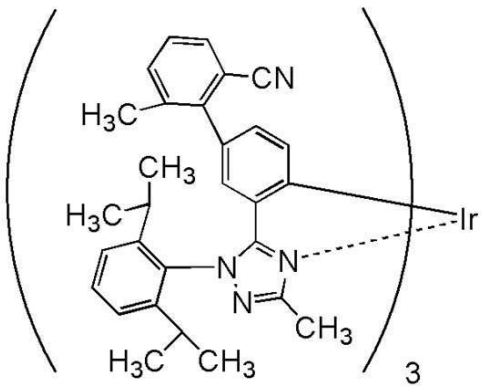
(131)



(132)



(133)

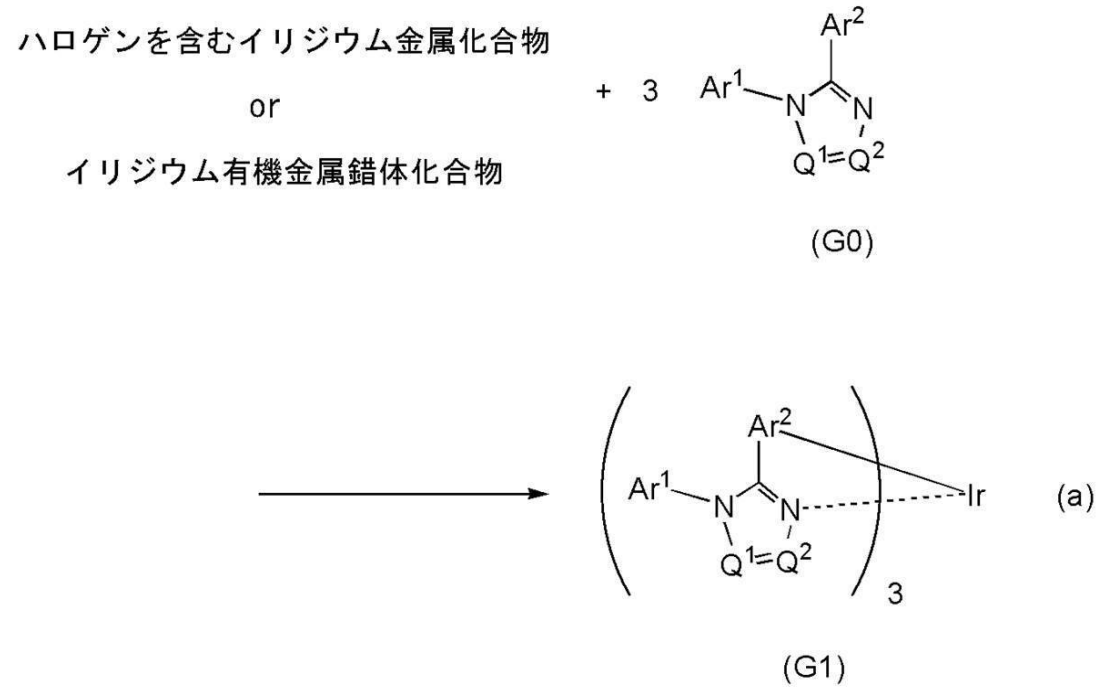


(134)

【０２６３】

以上のように、本発明の一態様のイリジウム錯体は、比較的低いＨＯＭＯ準位およびＬＵＭＯ準位を有することから、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、本発明の一態様のイリジウム錯体は、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、本発明の一態様のイリジウム錯体は、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、駆動寿命の良好な発光素子を作製することができる。以上のように、本発明の一態様のイリジウム錯体は、発光素子に用いるのに好適な材料である。

【０２６４】
なお、本発明の一態様のイリジウム錯体は、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を用いて成膜することができる。
【０２６５】
なお、本実施の形態に示す化合物は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。
【０２６６】
（実施の形態３）
本実施の形態では、一般式（Ｇ１）、（Ｇ３）、（Ｇ４）、及び（Ｇ７）で表される構造を含むイリジウム錯体の合成方法の一例について説明する。イリジウム錯体の合成方法としては種々の反応を適用することができる。例えば、以下に示す合成反応を行うことによって、一般式（Ｇ１）、（Ｇ３）、（Ｇ４）、及び（Ｇ７）で表されるイリジウム錯体を合成することができる。なお、本発明の一態様であるイリジウム錯体の合成方法は、以下の合成方法に限定されない。
【０２６７】
＜一般式（Ｇ１）で表されるイリジウム錯体の合成方法＞
一般式（Ｇ１）で表される構造を有するイリジウム錯体の合成方法の例について説明する。
【０２６８】
下記合成スキーム（ａ）に示すように、一般式（Ｇ０）で表される含窒素五員環誘導体と、ハロゲンを含むイリジウム金属化合物（塩化イリジウム水和物、ヘキサクロロイリジウム酸アンモニウム等）、またはイリジウム有機金属錯体化合物（アセチルアセトナト錯体、ジエチルスルフィド錯体等）とを混合した後、加熱することにより、一般式（Ｇ１）で表される構造を有するイリジウム錯体を得ることができる。また、この加熱プロセスは、一般式（Ｇ０）で表される含窒素五員環誘導体と、ハロゲンを含むイリジウム金属化合物、またはイリジウム有機金属錯体化合物とをアルコール系溶媒（グリセロール、エチレングリコール、２－メトキシエタノール、２－エトキシエタノール等）に溶解した後に行ってもよい。
【０２６９】
【化２５】



【０２７０】

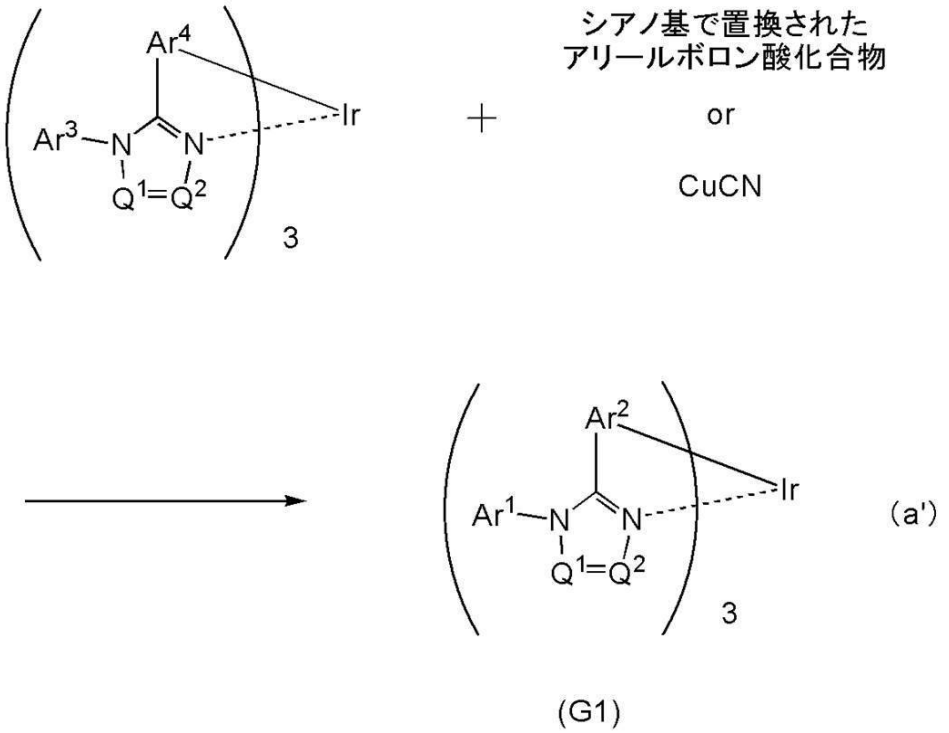
合成スキーム（ａ）において、Ａｒ[1]及びＡｒ[2]は、それぞれ独立に、炭素数６乃至１３の置換または無置換のアリール基を表す。また、Ｑ[1]及びＱ[2]は、それぞれ独立に、ＮまたはＣ－Ｒを表し、Ｒは、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基を表す。なお、Ｑ[1]及びＱ[2]の少なくとも一方は、Ｃ－Ｒを有する。また、Ａｒ[1]及びＡｒ[2]が表すアリール基、及びＲが表すアリール基の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【０２７１】

なお、一般式（Ｇ１）で表される構造を有するイリジウム錯体の合成方法としては、合成スキーム（ａ）に限定されない。例えば、他の合成方法の一例として、下記合成スキーム（ａ’）に示すように、Ａｒ[3]およびＡｒ[4]で表されるアリール基の少なくとも一がハロゲン基で置換された配位子を有するイリジウム錯体と、シアノ基で置換されたアリールボロン酸化合物、またはシアン化銅と、を反応させることにより、一般式（Ｇ１）で表される構造を有するイリジウム錯体を得ることができる。なお、Ａｒ[3]およびＡｒ[4]で表されるアリール基の少なくとも一がボロン酸、ボロン酸エステル、または環状トリオールボレート塩である化合物を配位子とするイリジウム錯体と、シアノ基で置換されたハロゲン化アリールと、を反応させても良い。

【０２７２】

【化２６】



【０２７３】

上記合成スキーム（ａ’）において、Ａｒ[1]及びＡｒ[2]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。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。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は、シアノ基を有する。

【０２７４】

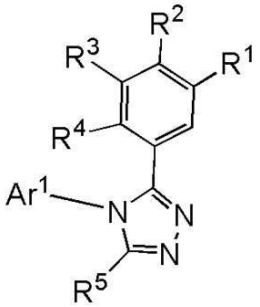
以上のように、一般式（Ｇ１）のイリジウム錯体を合成することができる。

【０２７５】

＜一般式（Ｇ３）で表されるイリジウム錯体の合成方法＞

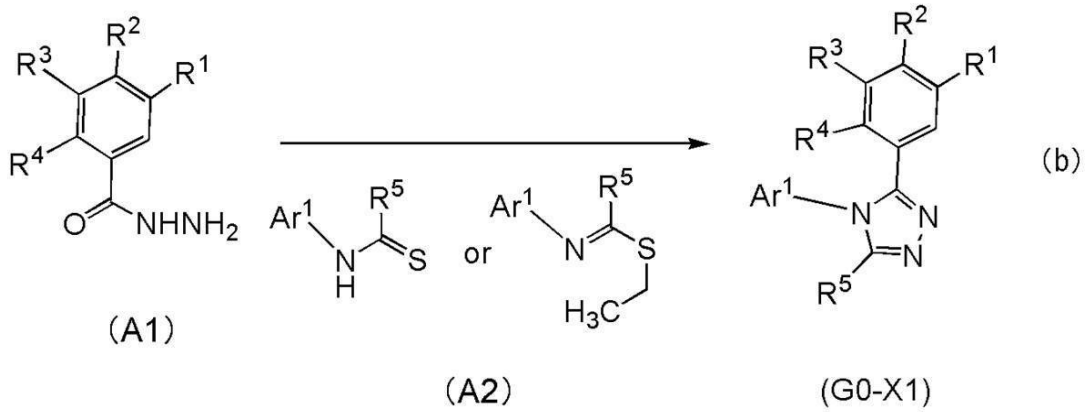
次に、一般式（Ｇ３）で表される構造を有するイリジウム錯体の合成方法の一例について説明する。

【０２７６】
≪１，２，４－トリアゾール誘導体の合成法≫
まず、下記一般式（Ｇ０－Ｘ１）で表される１，２，４－トリアゾール誘導体の合成法の一例について説明する。
【０２７７】
【化２７】



(G0-X1)

【０２７８】
なお、一般式（Ｇ０－Ｘ１）中、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。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ール基、またはシアノ基のいずれかを表す。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。また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{5}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。
【０２７９】
下記合成スキーム（ｂ）に示すように、ヒドラジド化合物（Ａ１）と、チオエーテル化合物、またはＮ－置換チオアミド化合物（Ａ２）とを反応させることにより、一般式（Ｇ０－Ｘ１）で表される１，２，４－トリアゾール誘導体を得ることができる。なお、合成スキーム（ｂ）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。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。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。また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{5}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。
【０２８０】
【化２８】



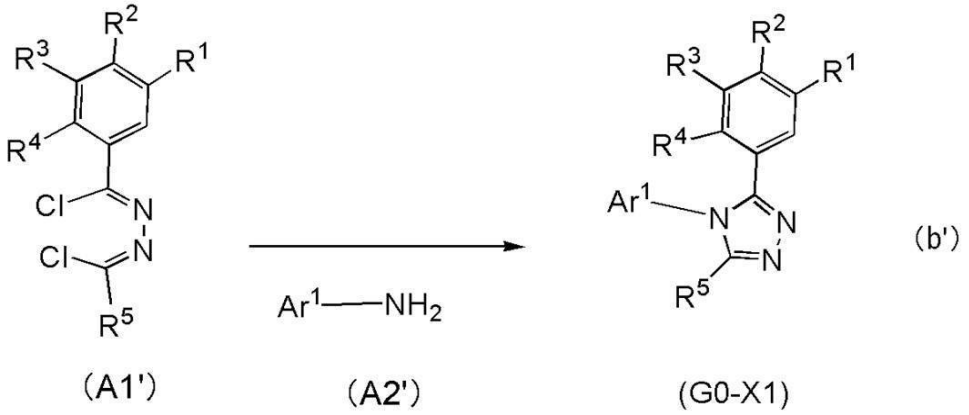
(A1)　(A2)　(G0-X1)　(b)

【０２８１】
ただし、一般式（Ｇ０－Ｘ１）で表される１，２，４－トリアゾール誘導体の合成法は、合成スキーム（ｂ）のみに限定されない。例えば、他の合成法の一例として、下記合成

スキーム（ｂ’）に示すように、ジヒドラジド化合物（Ａ１’）と第１級アミン化合物（Ａ２’）とを反応させる方法もある。なお、合成スキーム（ｂ’）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。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ール基、またはシアノ基のいずれかを表す。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。また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{5}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。

【０２８２】

【化２９】



【０２８３】

以上のように、一般式（Ｇ０－Ｘ１）で表される１，２，４－トリアゾール誘導体は、ごく簡便な合成スキームにより合成することができる。

【０２８４】

その後、上記合成スキーム（ａ）と同様の合成方法を用いて、一般式（Ｇ０－Ｘ１）で表される１，２，４－トリアゾール誘導体と、ハロゲンを含むイリジウム金属化合物（塩化イリジウム水和物、ヘキサクロロイリジウム酸アンモニウム等）、またはイリジウム有機金属錯体化合物（アセチルアセトナト錯体、ジエチルスルフィド錯体等）とを混合した後、加熱することにより、一般式（Ｇ３）で表される構造を有するイリジウム錯体を得ることができる。

【０２８５】

以上のように、一般式（Ｇ３）のイリジウム錯体を合成することができる。

【０２８６】

なお、本発明の一態様においては、一般式（Ｇ３）で表される１，２，４－トリアゾール誘導体を配位子とするオルトメタル錯体であるイリジウム錯体を得るために、一般式（Ｇ０－Ｘ１）で表される１，２，４－トリアゾール誘導体の５位（すなわちＲ^{5}）に置換基を導入してもよい。特にＲ^{5}として、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用いた場合、Ｒ^{5}として水素を用いた場合と比較して、合成スキーム（ａ）における収率を高めることができるため好ましい。

【０２８７】

＜一般式（Ｇ４）で表されるイリジウム錯体の合成方法＞

次に、一般式（Ｇ４）で表される構造を有するイリジウム錯体の合成方法の一例について説明する。

【０２８８】

≪イミダゾール誘導体の合成法≫

まず、下記一般式（Ｇ０－Ｘ２）で表されるイミダゾール誘導体の合成法の一例につい

て説明する。

【０２８９】

【化３０】



(G0-X2)

【０２９０】

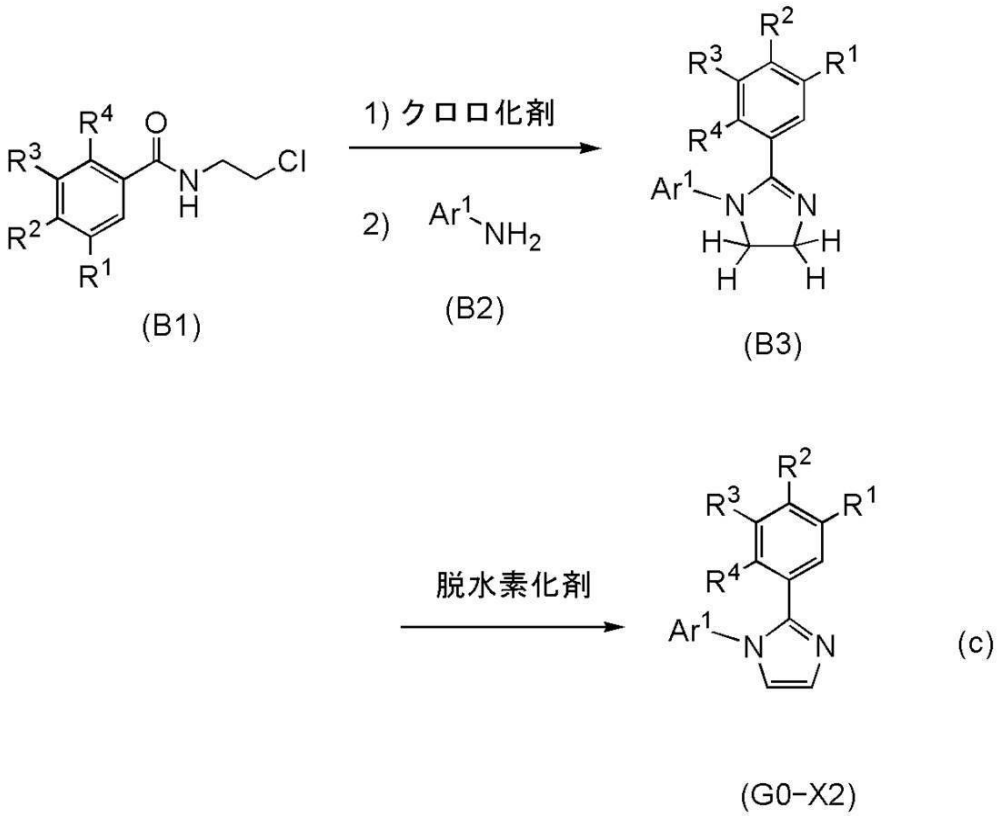
なお、一般式（Ｇ０－Ｘ２）中、Ａｒ^{1}は、炭素数６乃至１３の置換または無置換のアリール基を表す。また、Ｒ^{1}乃至Ｒ^{4}は、それぞれ独立に水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６のシクロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{4}が表すアリール基、及びＲ^{1}乃至Ｒ^{4}の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【０２９１】

下記合成スキーム（ｃ）に示すように、まずＮ－（２－クロロエチル）ベンズアミド化合物（Ｂ１）とクロロ化剤を反応させ、次に第１級アミン化合物（Ｂ２）とを反応させることにより、中間体（Ｂ３）を得ることができる。なお、クロロ化剤として、五塩化リンや塩化ホスホリルなどが挙げられる。そして、中間体（Ｂ３）と脱水素化剤とを反応させることにより、一般式（Ｇ０－Ｘ２）で表されるイミダゾール誘導体を得ることができる。なお、脱水素化剤として、過マンガン酸カリウムやベンゾキノン誘導体などが挙げられる。なお、合成スキーム（ｃ）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。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。また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{4}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。

【０２９２】

【化３１】

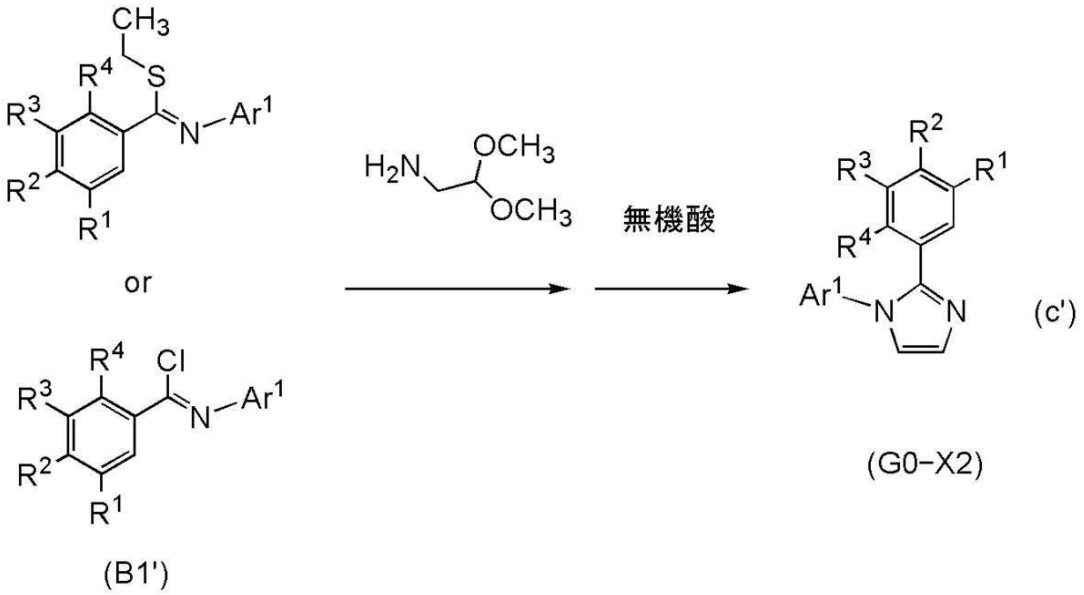


【０２９３】

ただし、一般式（Ｇ０－Ｘ２）で表されるイミダゾール誘導体の合成法は、合成スキーム（ｃ）のみに限定されない。例えば、他の合成法の一例として、下記合成スキーム（ｃ’）に示すように、チオエーテル化合物、またはイミノクロライド化合物（Ｂ１’）とアミノアセトアルデヒドジメチルアセタールをまず反応させ、次に無機酸を加えて反応させる方法もある。なお、無機酸として、リン酸や塩酸などが挙げられる。なお、合成スキーム（ｃ’）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。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。また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{4}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。

【０２９４】

【化３２】

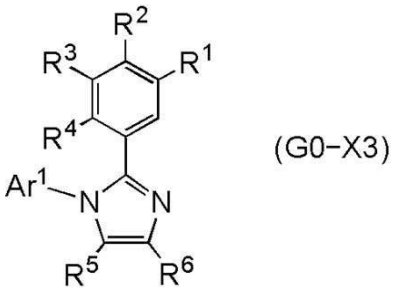


【０２９５】

次に、下記一般式（Ｇ０－Ｘ３）で表されるイミダゾール誘導体の合成法の一例について説明する。

【０２９６】

【化３３】



【０２９７】

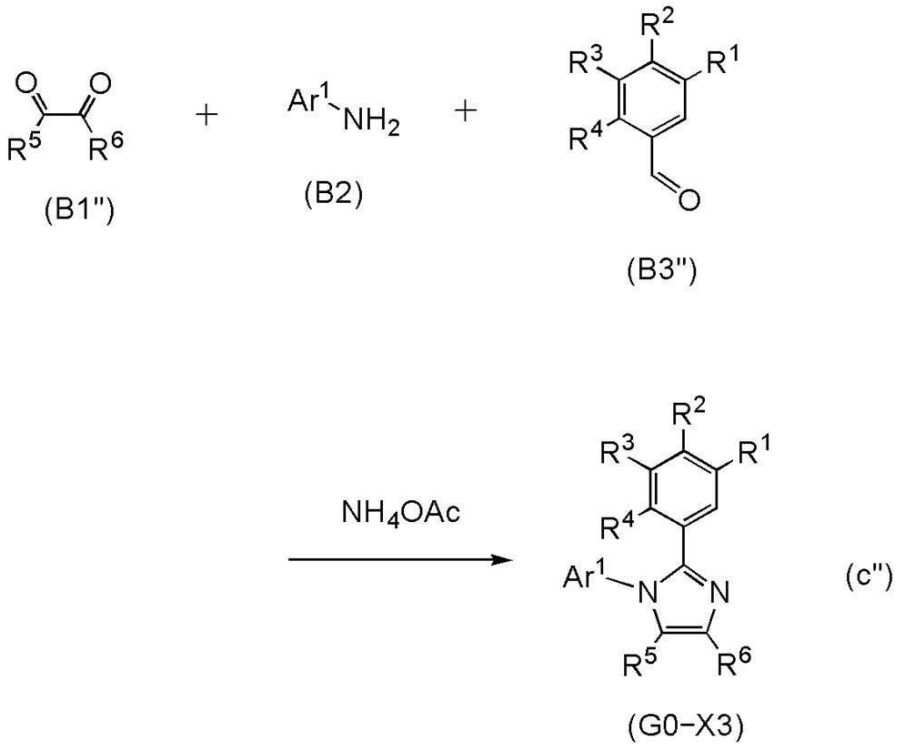
なお、一般式（Ｇ０－Ｘ３）中、Ａｒ^{1}は、炭素数６乃至１３の置換または無置換のアリール基を表す。また、Ｒ^{1}乃至Ｒ^{4}は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６のシクロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ｒ^{5}及びＲ^{6}は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{6}が表すアリール基、及びＲ^{1}乃至Ｒ^{6}の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【０２９８】

下記合成スキーム（ｃ’’）に示すように、βジケトン化合物（Ｂ１’’）と第１級アミン化合物（Ｂ２）とベンズアルデヒド化合物（Ｂ３’’）と酢酸アンモニウムを混ぜて反応させる方法もある。なお、合成スキーム（ｃ’’）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。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。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。また、Ａｒ^{1}及びＲ^{1}乃至Ｒ^{4}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。

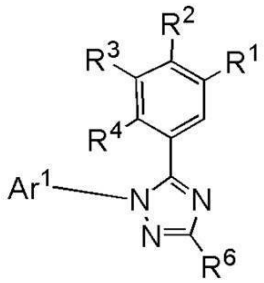
【０２９９】

【化３４】



【０３００】
以上のように、一般式（Ｇ０－Ｘ３）で表されるイミダゾール誘導体は、ごく簡便な合成スキームにより合成することができる。
【０３０１】
その後、上記合成スキーム（ａ）と同様の合成方法を用いて、一般式（Ｇ０－Ｘ３）で表されるイミダゾール誘導体と、ハロゲンを含むイリジウム金属化合物（塩化イリジウム水和物、ヘキサクロロイリジウム酸アンモニウム等）、またはイリジウム有機金属錯体化合物（アセチルアセトナト錯体、ジエチルスルフィド錯体等）とを混合した後、加熱することにより、一般式（Ｇ４）で表される構造を有するイリジウム錯体を得ることができる。
【０３０２】
以上のように、一般式（Ｇ４）のイリジウム錯体を合成することができる。
【０３０３】
＜一般式（Ｇ７）で表されるイリジウム錯体の合成方法＞
次に、一般式（Ｇ７）で表される構造を有するイリジウム錯体の合成方法の一例について説明する。
【０３０４】
≪１Ｈ－１，２，４－トリアゾール誘導体の合成法≫
まず、下記一般式（Ｇ０－Ｘ４）で表される１Ｈ－１，２，４－トリアゾール誘導体の合成方法の一例について説明する。
【０３０５】

【化３５】



(G0-X4)

【０３０６】

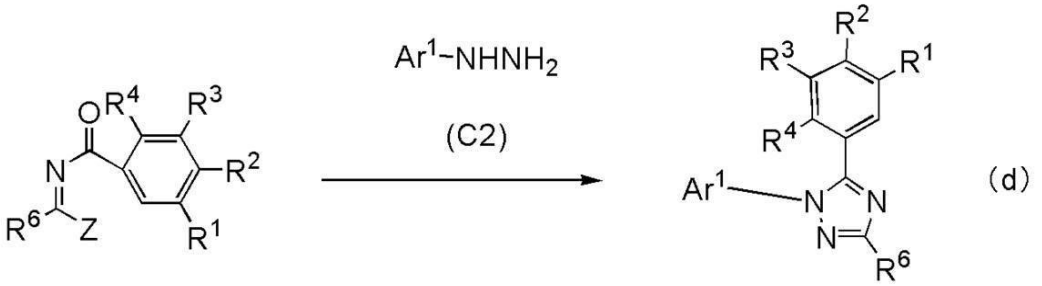
なお、一般式（Ｇ０－Ｘ４）中、Ａｒ^{1}は、炭素数６乃至１３の置換または無置換のアリール基を表す。また、Ｒ^{1}乃至Ｒ^{4}は、それぞれ独立に、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数３乃至６のシクロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ｒ^{6}は、水素、炭素数１乃至６のアルキル基、炭素数１乃至６のハロアルキル基、または炭素数６乃至１３の置換もしくは無置換のアリール基のいずれかを表す。また、Ａｒ^{1}、Ｒ^{1}乃至Ｒ^{4}、及びＲ^{6}が表すアリール基、及びＲ^{1}乃至Ｒ^{4}の少なくとも一は、シアノ基を有する。

【０３０７】

下記合成スキーム（ｄ）に示すように、アシルアミジン化合物（Ｃ１）と、ヒドラジン化合物（Ｃ２）とを反応させることにより１Ｈ－１，２，４－トリアゾール誘導体が得られる。なお、式中Ｚは閉環反応によって脱離する基（脱離基）を表し、アルコキシ基、アルキルチオ基、アミノ基、シアノ基などが挙げられる。なお上記合成スキーム（ｄ）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。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。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。また、Ａｒ^{1}、Ｒ^{1}乃至Ｒ^{4}、及び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。

【０３０８】

【化３６】



(C1) (C2) (d) (G0-X4)

【０３０９】

ただし、１Ｈ－１，２，４－トリアゾール誘導体の合成法は、合成スキーム（ｄ）のみに限定されない。以上のように、一般式（Ｇ０－Ｘ４）で表される１Ｈ－１，２，４－トリアゾール誘導体は、ごく簡便な合成スキームにより合成することができる。

【０３１０】

その後、上記合成スキーム（ａ）と同様の合成方法を用いて、一般式（Ｇ０－Ｘ４）で

表される１Ｈ－１，２，４－トリアゾール誘導体と、ハロゲンを含むイリジウム金属化合物（塩化イリジウム水和物、ヘキサクロロイリジウム酸アンモニウム等）、またはイリジウム有機金属錯体化合物（アセチルアセトナト錯体、ジエチルスルフィド錯体等）とを混合した後、加熱することにより、一般式（Ｇ７）で表される構造を有するイリジウム錯体を得ることができる。

【０３１１】

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

【０３１２】

（実施の形態４）

本実施の形態では実施の形態２で説明したイリジウム錯体を用いた発光素子の構成例について図３（Ａ）（Ｂ）を用いて以下に説明する。

【０３１３】

＜発光素子の構成例＞

図３（Ａ）は、本発明の一態様の発光素子１５２の断面模式図である。

【０３１４】

発光素子１５２は、一対の電極間にＥＬ層１００を有し、ＥＬ層１００中のいずれかの層に、実施の形態２で説明したイリジウム錯体を有する発光素子である。

【０３１５】

また、ＥＬ層１００は、少なくとも発光層１４０を有する。ＥＬ層１００の構成としては、発光層１４０の他に、実施の形態１で示した正孔注入層１１１、正孔輸送層１１２、電子輸送層１１８、電子注入層１１９を有する構成とすることができる。なお、ＥＬ層１００の積層構造については、これに限らない。

【０３１６】

また、本実施の形態における一対の電極（電極１０１及び電極１０２）、正孔注入層１１１、正孔輸送層１１２、電子輸送層１１８、電子注入層１１９としては、実施の形態１で記載した材料を用いることができる。

【０３１７】

また、図３（Ｂ）は、発光素子１５２が有する発光層１４０の一例を示す断面模式図である。発光層１４０は、ホスト材料１４１と、ゲスト材料１４２と、を有する。ホスト材料１４１は、実施の形態１で示したホスト材料１３１で記載した材料を用いることができる。すなわち、ホスト材料１４１が有する有機化合物１４１＿１及び有機化合物１４１＿２は、それぞれ実施の形態１で示した有機化合物１３１＿１及び有機化合物１３１＿２で記載した材料を用いることができる。

【０３１８】

また、実施の形態２で説明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。すなわち、実施の形態２で説明したイリジウム錯体を発光素子１５２のゲスト材料１４２として用いることで、発光効率の良好な発光素子を作製することができる。また、該イリジウム錯体は、三重項励起エネルギー準位が高いため、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。したがって、本実施の形態の構成を用いることにより、発光効率が良好で、青色に発光スペクトルピークを有する発光素子を作製することができる。また、該イリジウム錯体は、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、駆動寿命の良好な発光素子を作製することができる。

【０３１９】

また、図２（Ａ）（Ｂ）で示した発光機構と同様に、ゲスト材料１４２のＨＯＭＯ準位は、有機化合物１４１＿２のＨＯＭＯ準位より低く、且つ、ゲスト材料１４２のＬＵＭＯ準位は、有機化合物１４１＿１のＬＵＭＯ準位より高いことが好ましい。実施の形態２で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、上記構成のゲスト材料として好適に用いることができる。すなわち、ゲスト材料１４２

のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差が、有機化合物１４１＿１のＬＵＭＯ準位と、有機化合物１４１＿２のＨＯＭＯ準位とのエネルギー差より大きくなるよう、有機化合物１４１＿１、有機化合物１４１＿２、及びゲスト材料１４２を選択すればよく、該ゲスト材料１４２として実施の形態２で示したイリジウム錯体が好適である。このような構成とすることで、ゲスト材料１４２と、有機化合物１４１＿１または有機化合物１４１＿２と、で励起錯体を形成することを抑制することができるため、高い発光効率を示す発光素子を作製することができる。

【０３２０】

なお、実施の形態２で示したイリジウム錯体は、三重項励起エネルギーを発光に変換する機能を有する。そのため、該イリジウム錯体は、ＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差より、エネルギーが小さい発光を呈することができる。したがって、該イリジウム錯体のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差が、有機化合物１４１＿１のＬＵＭＯ準位と有機化合物１４１＿２のＨＯＭＯ準位とのエネルギー差より大きい場合においても、該イリジウム錯体が呈する発光のエネルギーあるいは吸収のエネルギーが、有機化合物１４１＿１のＬＵＭＯ準位と有機化合物１４１＿２のＨＯＭＯ準位とのエネルギー差より小さい場合においては、有機化合物１４１＿１と有機化合物１４１＿２とで形成する励起錯体から該イリジウム錯体への励起エネルギーの移動が可能となり、該イリジウム錯体から発光を得ることができる。

【０３２１】

また、ゲスト材料１４２の酸化電位は、有機化合物１４１＿２の酸化電位より高く、且つ、ゲスト材料１４２の還元電位は、有機化合物１４１＿１の還元電位より低いことが好ましい。実施の形態２で示したイリジウム錯体は、比較的高い酸化電位および還元電位を示すことから、上記構成のゲスト材料として好適に用いることができる。このような構成とすることで、ゲスト材料１４２と、有機化合物１４１＿１または有機化合物１４１＿２と、で励起錯体を形成することを抑制することができるため、高い発光効率を示す発光素子を作製することができる。なお、酸化電位および還元電位については、サイクリックボルタンメトリ（ＣＶ）法によって測定することができる。

【０３２２】

なお、発光層１４０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１４０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。

【０３２３】

また、発光層１４０において、ホスト材料１４１およびゲスト材料１４２以外の材料を有していても良い。

【０３２４】

なお、発光層１４０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、デンドリマー、ポリマー等）を有してもよい。

【０３２５】

なお、本実施の形態で示す発光素子１５２における、その他の構成としては、実施の形態１で示した発光素子１５０の構成を参酌すればよい。

【０３２６】

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

とができる。

【０３２７】

（実施の形態５）

本実施の形態においては、実施の形態１及び実施の形態４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４を用いて、以下説明を行う。なお、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。

【０３２８】

図４は、発光素子２５０の断面模式図である。

【０３２９】

図４に示す発光素子２５０は、一対の電極（電極１０１及び電極１０２）の間に、複数の発光ユニット（図４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または図３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及び図３で示した発光素子１５２は、１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。

【０３３０】

また、図４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または図３で示すＥＬ層１００を用いると好ましい。

【０３３１】

また、発光素子２５０は、発光層１７０と、発光層１８０と、を有する。また、発光ユニット１０６は、発光層１７０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１８０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。

【０３３２】

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。

【０３３３】

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、デンドリマー、ポリマー等）など、種々の化合物を用いることができる。なお、有機化合物としては、正孔移動度が1×10^{-6} ｃｍ^{2}／Ｖｓ以上である有機化合物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。

【０３３４】

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て形成してもよい。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て形成してもよい。

【０３３５】

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ときに、一方の発光ユニットに電子を注入し、他方の発光ユニットに正孔を注入するものであれば良い。例えば、図４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。

【０３３６】

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、一対の電極（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。

【０３３７】

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。

【０３３８】

また、図４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、一対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。

【０３３９】

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及び実施の形態４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。

【０３４０】

なお、上記各構成において、発光ユニット１０６および発光ユニット１０８に用いるゲスト材料（発光材料）としては、同じであっても異なっていてもよい。発光ユニット１０６と発光ユニット１０８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２５０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１０６と発光ユニット１０８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２５０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１７０及び発光層１８０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物質を用いることによって、発光素子２５０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。

【０３４１】

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１７０と発光層１８０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。

【０３４２】

また、発光層１７０及び発光層１８０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１７０及び発光層１８０のいずれか一方または双方は、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。

【０３４３】

発光層１７０及び発光層１８０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及び実施の形態４に示す発光層１４０に用いることのできる材料を援用すればよい。また、実施の形態２で示したイリジウム錯体をゲスト材料として有することが好ましい。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。

【０３４４】

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。

【０３４５】

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て用いることができる。

【０３４６】

（実施の形態６）

本実施の形態では、実施の形態１、実施の形態４、及び実施の形態５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。

【０３４７】

＜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。

【０３４８】

図５（Ａ）（Ｂ）に示す発光素子２６０ａ及び発光素子２６０ｂ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。

【０３４９】

発光素子２６０ａ及び発光素子２６０ｂ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２６０ａ及び発光素子２６０ｂ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。

【０３５０】

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。

【０３５１】

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。

【０３５２】

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。

【０３５３】

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。

【０３５４】

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。

【０３５５】

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。

【０３５６】

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。

【０３５７】

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。

【０３５８】

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。

【０３５９】

また、発光層１２３Ｒ、発光層１２３Ｇ、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１２３Ｇ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２２１Ｇは緑色の発光を呈し、発光層１２３Ｂ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２２１Ｂ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２６０ａまたは発光素子２６０ｂ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、異なっていても良い。

【０３６０】
また、発光層１２３Ｂ、発光層１２３Ｇ、発光層１２３Ｒ、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１３０、及び実施の形態４で示した発光層１４０のうち少なくとも一つの構成を有することが好ましい。また、実施の形態２で示したイリジウム錯体を発光材料として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。
【０３６１】
なお、発光層１２３Ｂ、発光層１２３Ｇ、発光層１２３Ｒ、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。
【０３６２】
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４で示した発光層の構成、または実施の形態２で示した発光材料を有し、該発光層を有する発光素子２６０ａまたは発光素子２６０ｂ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２６０ａまたは発光素子２６０ｂを有する表示装置は、消費電力を低減することができる。
【０３６３】
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２６０ａ及び発光素子２６０ｂの色純度を向上させることができる。そのため、発光素子２６０ａまたは発光素子２６０ｂ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２６０ａ及び発光素子２６０ｂの外光反射を低減することができる。そのため、発光素子２６０ａまたは発光素子２６０ｂ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。
【０３６４】
なお、発光素子２６０ａ及び発光素子２６０ｂにおける他の構成については、実施の形態１、実施の形態４、及び実施の形態５における発光素子の構成を参酌すればよい。
【０３６５】
＜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。
【０３６６】
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。
【０３６７】
図６（Ａ）（Ｂ）は、一対の電極間に、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２６２ａは、基板２００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２６２ｂ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）型であっても良い。
【０３６８】
発光素子２６２ａ及び発光素子２６２ｂは、基板２００上に電極１０１と、電極１０２と、電極１０３と、電極１０４とを有する。また、電極１０１と電極１０２との間、及び電極１０２と電極１０３との間、及び電極１０２と電極１０４との間に、少なくとも発光層１７０と、発光層１９０と、電荷発生層１１５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１１３と、電子注入層１１４と、正孔注入層１１６と、正孔輸送層１１７と、電子輸送層１１８と、電子注入層１１９と、を有する。
【０３６９】
また、電極１０１は、導電層１０１ａと、導電層１０１ａ上に接する導電層１０１ｂと

、を有する。また、電極１０３は、導電層１０３ａと、導電層１０３ａ上に接する導電層１０３ｂと、を有する。電極１０４は、導電層１０４ａと、導電層１０４ａ上に接する導電層１０４ｂと、を有する。

【０３７０】

図６（Ａ）に示す発光素子２６２ａ、及び図６（Ｂ）に示す発光素子２６２ｂは、電極１０１と電極１０２とで挟持された領域２２２Ｂ、電極１０２と電極１０３とで挟持された領域２２２Ｇ、及び電極１０２と電極１０４とで挟持された領域２２２Ｒ、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、電極１０３、及び電極１０４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上の該電極を、それぞれ島状に分離することが可能となる。

【０３７１】

また、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）が添加された材料により、形成することができる。なお、電荷発生層１１５の導電率が一対の電極と同程度に高い場合、電荷発生層１１５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１１５は、一対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。

【０３７２】

また、発光素子２６２ａ及び発光素子２６２ｂは、領域２２２Ｂ、領域２２２Ｇ、及び領域２２２Ｒ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２２４Ｂ、光学素子２２４Ｇ、及び光学素子２２４Ｒを有する基板２２０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２２２Ｂから呈される光は、光学素子２２４Ｂを介して射出され、領域２２２Ｇから呈される光は、光学素子２２４Ｇを介して射出され、領域２２２Ｒから呈される光は、光学素子２２４Ｒを介して射出される。

【０３７３】

また、光学素子２２４Ｂ、光学素子２２４Ｇ、及び光学素子２２４Ｒ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２２４Ｂを介して射出される領域２２２Ｂから呈される光は、青色を呈する光となり、光学素子２２４Ｇを介して射出される領域２２２Ｇから呈される光は、緑色を呈する光となり、光学素子２２４Ｒを介して射出される領域２２２Ｒから呈される光は、赤色を呈する光となる。

【０３７４】

光学素子２２４Ｒ、光学素子２２４Ｇ、及び光学素子２２４Ｂ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。

【０３７５】

なお、光学素子２２４Ｒ、光学素子２２４Ｇ、及び光学素子２２４Ｂ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。

【０３７６】

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。

【０３７７】

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。

【０３７８】

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。

【０３７９】

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。

【０３８０】

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を参酌すればよい。

【０３８１】

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。

【０３８２】

≪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、一対の電極（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。

【０３８３】

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。

【０３８４】

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$m_B \lambda_B / 2$（m_Bは自然数、λ_Bは領域２２２Ｂ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１０３が有する導電層１０３ｂの膜厚を、電極１０３と電極１０２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２２２Ｇ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１０４が有する導電層

１０４ｂの膜厚を、電極１０４と電極１０２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２２２Ｒで強める光の波長を、それぞれ表す）となるよう調整する。

【０３８５】

なお、電極１０１乃至電極１０４の反射領域を厳密に決定することが困難な場合、電極１０１乃至電極１０４の任意の領域を反射領域と仮定することで、発光層１７０または発光層１９０から射出される光を強める光学距離を導出してもよい。また、発光層１７０および発光層１９０の発光領域を厳密に決定することが困難な場合、発光層１７０および発光層１９０の任意の領域を発光領域と仮定することで、発光層１７０および発光層１９０から射出される光を強める光学距離を導出してもよい。

【０３８６】

上記のように、マイクロキャビティ構造を設け、各領域の一対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。

【０３８７】

なお、上記構成においては、導電層１０１ｂ、導電層１０３ｂ、導電層１０４ｂ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１０１ｂ、導電層１０３ｂ、導電層１０４ｂ、を構成する材料は、互いに同じであっても良いし、異なっていても良い。導電層１０１ｂ、導電層１０３ｂ、及び導電層１０４ｂに同じ材料を用いる場合、電極１０１、電極１０３、電極１０４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１０１ｂ、導電層１０３ｂ、導電層１０４ｂ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。

【０３８８】

なお、図６（Ａ）に示す発光素子２６２ａは、上面射出型の発光素子であるため、導電層１０１ａ、導電層１０３ａ、及び導電層１０４ａ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、光を透過する機能と、光を反射する機能とを有することが好ましい。

【０３８９】

また、図６（Ｂ）に示す発光素子２６２ｂは、下面射出型の発光素子であるため、導電層１０１ａ、導電層１０３ａ、導電層１０４ａ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１０２は、光を反射する機能を有することが好ましい。

【０３９０】

また、発光素子２６２ａ及び発光素子２６２ｂにおいて、導電層１０１ａ、導電層１０３ａ、または導電層１０４ａ、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１０１ａ、導電層１０３ａ、導電層１０４ａ、に同じ材料を用いる場合、発光素子２６２ａ及び発光素子２６２ｂの製造コストを低減できる。なお、導電層１０１ａ、導電層１０３ａ、導電層１０４ａ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。

【０３９１】

また、発光素子２６２ａ及び発光素子２６２ｂにおける発光層１７０及び発光層１９０の少なくとも一方には、実施の形態１及び実施の形態４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。また、実施の形態２で示したイリジウム錯体を発光材料に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。

【０３９２】

また、発光層１７０及び発光層１９０は、例えば発光層１９０ａ及び発光層１９０ｂ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。
【０３９３】
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。
【０３９４】
以上のように、実施の形態１及び実施の形態４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。
【０３９５】
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、実施の形態４、及び実施の形態５で示した発光素子の構成を参酌すればよい。
【０３９６】
＜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。
【０３９７】
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。
【０３９８】
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。
【０３９９】
≪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）。
【０４００】
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。
【０４０１】
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、それぞれ電気的に接続させてもよい。
【０４０２】
≪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）。
【０４０３】
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。
【０４０４】
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。
【０４０５】
≪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）。
【０４０６】
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。
【０４０７】
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。
【０４０８】
≪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）。
【０４０９】
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。
【０４１０】
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４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物質を有することが好ましい。
【０４１１】
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。
【０４１２】
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。

【０４１３】
≪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）。
【０４１４】
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。
【０４１５】
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４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及び実施の形態４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。
【０４１６】
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。
【０４１７】
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。
【０４１８】
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２２２Ｂ、領域２２２Ｇ、及び領域２２２Ｒを有する発光素子が基板２００上に形成される。
【０４１９】
≪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２２４Ｂ、光学素子２２４Ｇ、及び光学素子２２４Ｒを形成する工程である（図８（Ｃ）参照）。
【０４２０】
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２２４Ｂ、光学素子２２４Ｇ、及び光学素子２２４Ｒを形成する。光学素子２２４Ｂ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２２４Ｇ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２２４Ｒ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。
【０４２１】
≪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２２４Ｂ、光学素子２２４Ｇ、及び光学素子２２４Ｒ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）。
【０４２２】
以上の工程により、図６（Ａ）に示す発光素子２６２ａを形成することができる。
【０４２３】
なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。
【０４２４】

（実施の形態７）
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。
【０４２５】
＜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。
【０４２６】
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。
【０４２７】
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。
【０４２８】
また、信号線駆動回路部６０１は、Ｎチャネル型のトランジスタ６２３とＰチャ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出来る。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。
【０４２９】
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のドレインに電気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。
【０４３０】
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（０．２μｍ以上３μｍ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。
【０４３１】
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、及び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。

【０４３２】

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。

【０４３３】

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、デンドリマーを含む）であっても良い。

【０４３４】

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、実施の形態４乃至実施の形態６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、実施の形態４乃至実施の形態６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。

【０４３５】

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、シリコーン系樹脂、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。

【０４３６】

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６に示す光学素子、及び遮光層と同様の構成とすればよい。

【０４３７】

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（ＦｉｂｅｒＲｅｉｎｆｏｒｃｅｄ　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。

【０４３８】

以上のようにして、実施の形態１、実施の形態４乃至実施の形態６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。

【０４３９】

＜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。

【０４４０】

図１０（Ａ）には基板１００１、下地絶縁膜１００２、ゲート絶縁膜１００３、ゲート電極１００６、１００７、１００８、第１の層間絶縁膜１０２０、第２の層間絶縁膜１０２１、周辺部１０４２、画素部１０４０、駆動回路部１０４１、発光素子の下部電極１０

２４Ｒ、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。

【０４４１】

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。

【０４４２】

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。

【０４４３】

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。

【０４４４】

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。

【０４４５】

＜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。

【０４４６】

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。

【０４４７】

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。

【０４４８】

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好適である。

【０４４９】

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、発光素子に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。

【０４５０】

＜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。

【０４５１】

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。

【０４５２】

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とき、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。

【０４５３】

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、マイクロキャビ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。

【０４５４】

マイクロキャビティ、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。

【０４５５】

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。

【０４５６】

＜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。

【０４５７】

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、シリコーン系樹脂、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。

【０４５８】

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。

【０４５９】

＜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。

【０４６０】

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。

【０４６１】

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。

【０４６２】

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。
【０４６３】
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、シリコーン系樹脂、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。
【０４６４】
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。
【０４６５】
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。
【０４６６】
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。
【０４６７】
（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表示装置について、図１８乃至図２０を用いて説明を行う。
【０４６８】
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。
【０４６９】
＜表示装置に関する説明＞
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。
【０４７０】
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出来る。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。
【０４７１】
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。
【０４７２】
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、信号を出力する。例えば、走査線駆動回路８０４ａ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８０４ａ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８０４ａを複数設け、複数の走査線駆動回路８０４ａ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８０４ａ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８０４ａは、別の信号を供給することも可能である。

【０４７３】

信号線駆動回路８０４ｂは、シフトレジスタ等を有する。信号線駆動回路８０４ｂ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８０４ｂ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８０４ｂ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８０４ｂ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８０４ｂ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８０４ｂは、別の信号を供給することも可能である。

【０４７４】

信号線駆動回路８０４ｂ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８０４ｂ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８０４ｂを構成してもよい。

【０４７５】

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８０４ａ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８０４ａ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８０４ｂからデータ信号が入力される。

【０４７６】

図１８（Ａ）に示す保護回路８０６は、例えば、走査線駆動回路８０４ａ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８０４ｂ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８０４ａ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８０４ｂ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。

【０４７７】

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ときに、該配線と別の配線とを導通状態にする回路である。

【０４７８】

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８０４ａに保護回路８０６を接続した構成、または信号線駆動回路８０４ｂ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。

【０４７９】

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。

【０４８０】

＜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。

【０４８１】

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。

【０４８２】

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）に電気的に接続される。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）に電気的に接続される。

【０４８３】

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。

【０４８４】

容量素子８６２の一対の電極の一方は、電位が与えられる配線（以下、電位供給線ＶＬ＿ａという）に電気的に接続され、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気的に接続される。

【０４８５】

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。

【０４８６】

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に電気的に接続される。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気的に接続される。

【０４８７】

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に電気的に接続され、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気的に接続される。

【０４８８】

発光素子８７２としては、実施の形態１、実施の形態４乃至実施の形態６に示す発光素子を用いることができる。

【０４８９】

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。

【０４９０】

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。

【０４９１】

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。

【０４９２】

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。

【０４９３】

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が電気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。

【０４９４】

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が電気的に接続されている。ここで、配線３０１＿５と配線３０１＿６とは、それぞれ電気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。

【０４９５】

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が電気的に接続されている。ここで配線３０６＿１と配線３０６＿３とは、それぞれ電気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。

【０４９６】

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が電気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。

【０４９７】

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。

【０４９８】

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）を用いることが出来る。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出来る。

【０４９９】

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図ることが出来る。

【０５００】

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

【０５０１】

（実施の形態９）
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。
【０５０２】
＜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。
【０５０３】
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。
【０５０４】
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。
【０５０５】
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。
【０５０６】
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。
【０５０７】
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。
【０５０８】
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。
【０５０９】
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。
【０５１０】
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。
【０５１１】
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。
【０５１２】
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の四辺形が角部で接続される形状を有する。
【０５１３】

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。

【０５１４】

配線２５９４は、電極２５９２を挟む二つの電極２５９１と電気的に接続する。このとき、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。

【０５１５】

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。このとき、隣接する２つの電極２５９２の間に、これらとは電気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。

【０５１６】

＜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。

【０５１７】

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。

【０５１８】

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。

【０５１９】

基板２５１０及び基板２５７０としては、例えば、水蒸気の透過率が1×10^{-5}ｇ・m^{-2}・ｄａｙ$^{-1}$以下、好ましくは1×10^{-6}ｇ・m^{-2}・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1×10^{-3}／Ｋ以下、好ましくは5×10^{-5}／Ｋ以下、より好ましくは1×10^{-5}／Ｋ以下である材料を好適に用いることができる。

【０５２０】

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。

【０５２１】

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、シリコー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。

【０５２２】

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きる。

【０５２３】

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。

【０５２４】

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。

【０５２５】

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。

【０５２６】

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、実施の形態４乃至実施の形態６に示す発光素子を適用することができる。

【０５２７】

また、下部電極と上部電極との間で、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てもよい。

【０５２８】

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。

【０５２９】

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。

【０５３０】

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。

【０５３１】

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。

【０５３２】

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。

【０５３３】

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２５５０Ｒ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。
【０５３４】
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。
【０５３５】
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）が電気的に接続される。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良い。
【０５３６】
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。
【０５３７】
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。
【０５３８】
＜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。
【０５３９】
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を電気的に接続する配線２５９４とを有する。
【０５４０】
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。
【０５４１】
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。
【０５４２】
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。

【０５４３】

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と電気的に接続する。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。

【０５４４】

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。

【０５４５】

一対の電極２５９１が１つの電極２５９２を挟んで設けられる。また、配線２５９４は一対の電極２５９１を電気的に接続している。

【０５４６】

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。

【０５４７】

また、配線２５９８は、電極２５９１または電極２５９２と電気的に接続される。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、タングステン、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。

【０５４８】

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。

【０５４９】

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

【０５５０】

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。

【０５５１】

＜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。

【０５５２】

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。

【０５５３】

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。

【０５５４】

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、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。

【０５５５】
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。
【０５５６】
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。
【０５５７】
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。
【０５５８】
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。
【０５５９】
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。
【０５６０】
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。
【０５６１】
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。
【０５６２】
＜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。
【０５６３】
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。
【０５６４】
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。
【０５６５】
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。なお電流の検出は、積分回路等を用いて行えばよい。
【０５６６】

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。

【０５６７】

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。

【０５６８】

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。

【０５６９】

＜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。

【０５７０】

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。

【０５７１】

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のゲートと電気的に接続する。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気的に接続し、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と電気的に接続する。容量２６０３の他方の電極には電圧ＶＳＳが与えられる。

【０５７２】

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。

【０５７３】

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。

【０５７４】

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。

【０５７５】

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、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。

【０５７６】

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

【０５７７】

（実施の形態１０）

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。

【０５７８】

＜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、ＦＰＣ８００３に接続されたタッチセンサ８００４、ＦＰＣ８００５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８０１１を有する。

【０５７９】

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。

【０５８０】

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。

【０５８１】

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。

【０５８２】

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。

【０５８３】

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８０１１による電源であってもよい。バッテリ８０１１は、商用電源を用いる場合には、省略可能である。

【０５８４】

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。

【０５８５】

＜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、にお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。

【０５８６】

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。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。

【０５８７】

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。

【０５８８】

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。

【０５８９】

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。

【０５９０】

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。

【０５９１】

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ー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。

【０５９２】

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１ｍｍ以上１５０ｍｍ以下で曲げることができる。

【０５９３】

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。

【０５９４】

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。

【０５９５】

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。

【０５９６】

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。

【０５９７】

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。

【０５９８】

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。

【０５９９】

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。

【０６００】

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。

【０６０１】

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。

【０６０２】

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。

【０６０３】

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。

【０６０４】

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。

【０６０５】

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。

【０６０６】

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９５０２と、透光性を有する領域９５０３と、を有する。

【０６０７】

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。

【０６０８】

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。

【０６０９】

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。

【０６１０】

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

【０６１１】

（実施の形態１１）

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。

【０６１２】

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。

【０６１３】

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。

【０６１４】

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。

【０６１５】

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。

【０６１６】

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３００１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。

【０６１７】

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。

【０６１８】

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。

【０６１９】

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、二酸化マンガン、酸化モリブデン、酸化ニオブ、酸化チタン、酸化タングステン、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、少なくとも一種類以上の遷移金属を含むことが好ましい。

【０６２０】

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。

【０６２１】

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、シリコー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。

【０６２２】

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。

【０６２３】

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。

【０６２４】

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も発光装置３０００が壊れにくくなる。

【０６２５】

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。

【０６２６】

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。

【０６２７】

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。

【０６２８】

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。

【０６２９】

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。

【０６３０】

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。

【０６３１】

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。

【０６３２】

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、シリコー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。

【０６３３】

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。

【０６３４】

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。

【０６３５】

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。

【０６３６】

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。
【０６３７】
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。
【０６３８】
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。
【０６３９】
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。
【０６４０】
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。
【０６４１】
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。
【０６４２】
（実施の形態１２）
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。
【０６４３】
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。
【０６４４】
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。
【０６４５】
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。
【０６４６】
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とを組み合わせて用いる場合、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。
【０６４７】
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。
【０６４８】
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）、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。

【０６４９】

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。

【０６５０】

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。

【０６５１】

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いてもよい。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。

【０６５２】

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。

【０６５３】

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。

【０６５４】

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。

【０６５５】

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。

【０６５６】

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

【実施例１】

【０６５７】

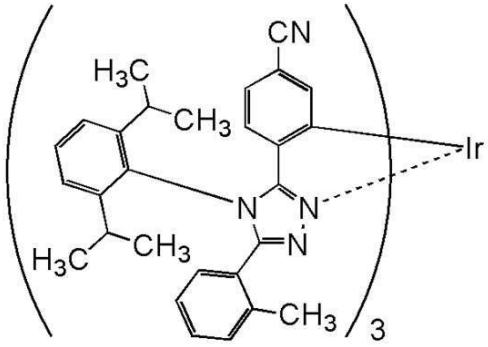
＜合成例１＞

本実施例では、実施の形態２で構造式（１０８）として示した本発明の一態様の有機金属錯体である、（ＯＣ－６－２２）－トリス｛５－シアノ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^{2}］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐ

ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）の合成方法について説明する。ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【０６５８】

【化３７】



fac-Ir(mpCNptz-diPrp)$_3$

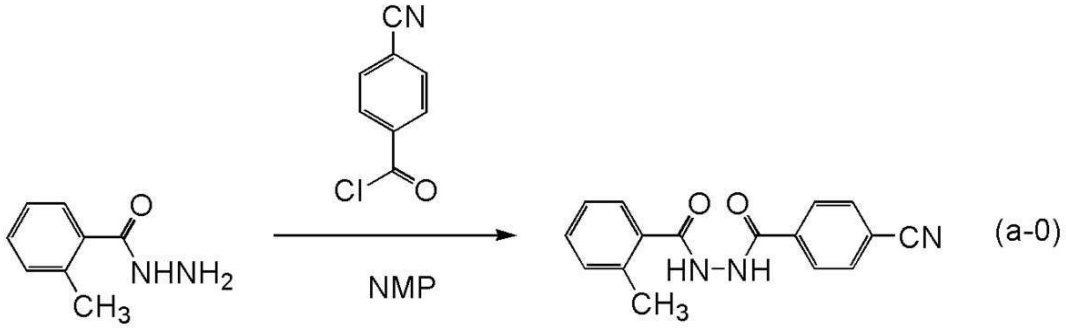
【０６５９】

≪ステップ１：Ｎ－４－シアノベンゾイル－Ｎ’－２－メチルベンゾイルヒドラジドの合成≫

１３ｇ（８９ｍｍｏｌ）のｏ－トルイル酸ヒドラジドと、６０ｍＬのＮ－メチル－２－ピロリジノン（ＮＭＰ）と、を３００ｍＬ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１５ｇ（９１ｍｍｏｌ）の４－シアノベンゾイルクロリドと３０ｍＬのＮＭＰとの混合溶液をゆっくり滴下し、１６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。析出した固体を水と１Ｍ塩酸で交互に２回ずつ超音波洗浄した。その後、エタノールで超音波洗浄を行い、２０ｇの白色固体を、収率８２％で得た。得られた白色固体がＮ－４－シアノベンゾイル－Ｎ’－２－メチルベンゾイルヒドラジドであることを、核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により確認した。ステップ１の合成スキームを下記式（ａ－０）に示す。

【０６６０】

【化３８】



【０６６１】

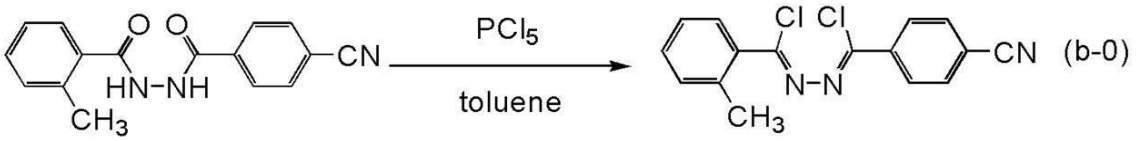
≪ステップ２：Ｎ－クロロ－４－シアノフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチルフェニルメチリデンヒドラゾンの合成≫

ステップ１で合成した２０ｇ（７３ｍｍｏｌ）のＮ－４－シアノベンゾイル－Ｎ’－２－メチルベンゾイルヒドラジドと、５００ｍＬのトルエンと、を１０００ｍＬの三口フラスコに入れた。この混合溶液に５０ｇ（２４０ｍｍｏｌ）の五塩化リンを加え、窒素気流下、１２０℃で７時間撹拌し反応させた。反応後、この反応溶液を３００ｍＬの水にゆっくりと加え、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、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合わせた混合物を４００ｍＬの１Ｍ水酸化カ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、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合わせて、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、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、固体を吸引ろ過により濾取したところ、１７ｇの黄色固体を、収率７２％で得た。得られた黄色固体がＮ－クロロ－４－シアノフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチルフェニルメチリデンヒドラゾンであることを、核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により確認した。ステップ２の合成スキームを下記式（ｂ－０）に示す。

【０６６２】

【化３９】



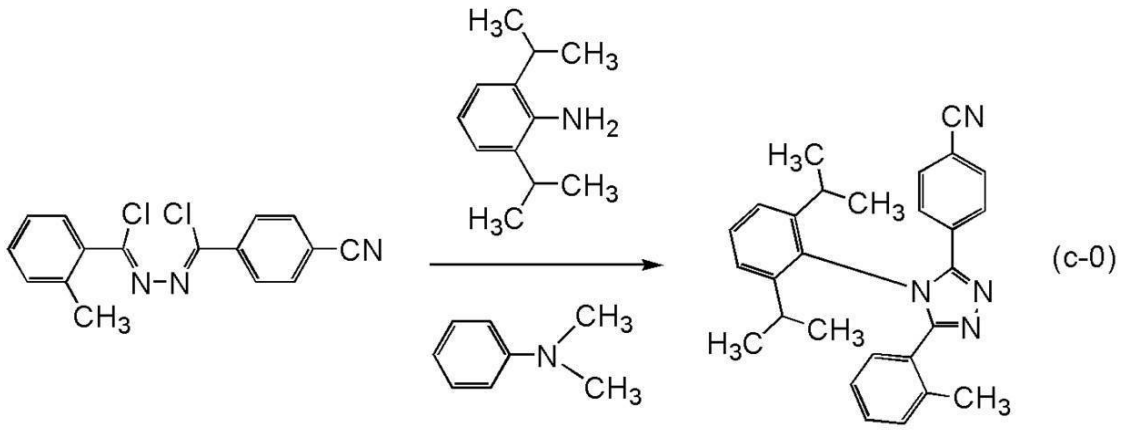
【０６６３】

≪ステップ３：５－（４－シアノフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－３－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：ＨｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）の合成≫

ステップ２で合成したＮ－クロロ－４－シアノフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチルフェニルメチリデンヒドラゾンのうち４．７ｇ（１６ｍｍｏｌ）と、１７ｇ（９５ｍｍｏｌ）の２，６－ジイソプロピルアニリンと、１００ｍＬのＮ，Ｎ－ジメチルアニリンと、を５００ｍＬの三口フラスコに入れ、窒素気流下、１６０℃で８時間撹拌し反応させた。反応後、反応溶液を３００ｍＬの１Ｍ塩酸に入れ、１時間撹拌した。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、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。得られた固体に酢酸エチルを加えて超音波を照射し、吸引ろ過することで、４．７ｇの白色固体を、収率３５％で得た。得られた白色固体が５－（４－シアノフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－３－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：ＨｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）であることを、核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により確認した。ステップ３の合成スキームを下記式（ｃ－０）に示す。

【０６６４】

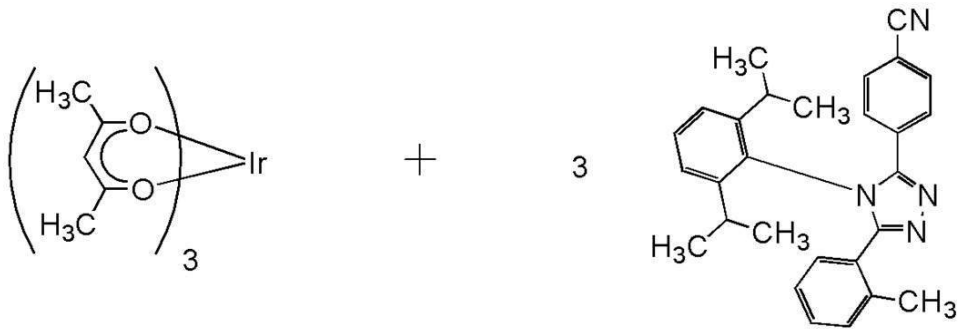
【化４０】



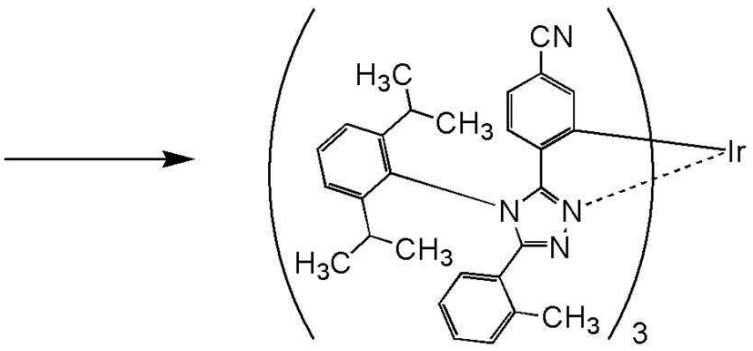
HmpCNptz-diPrp

【０６６５】
≪ステップ４：ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の合成≫
ステップ３で合成した４．７ｇ（１１ｍｍｏｌ）のＨｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐと、１．１ｇ（２．２ｍｍｏｌ）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時間撹拌した。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。展開溶媒はジクロロメタン：ヘキサン＝４：１を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体は、ｆａｃ体および、ｍｅｒ体の異性体混合物であることを確認した。^{1}Ｈ－ＮＭＲによる異性体比はｆａｃ体：ｍｅｒ体＝２：３の割合であることを確認した。異性体を分離するために、再度、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：ヘキサン＝１：１の混合溶媒を用い、次いで、ジクロロメタン：ヘキサン＝４：１を用い、ｍｅｒ体のフラクションがなくなったことをシリカゲル薄層クロマトグラフィー（ＴＬＣ）で確認した後、展開溶媒をジクロロメタンに変えた。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、０．３１ｇの黄色固体を、収率１０％で得た。得られた黄色固体のうち０．３０ｇをトレインサブリメーション法により昇華精製した。圧力２．６Ｐａ、アルゴン流量５．０ｍＬ／ｍｉｎの条件で、３２０℃で２４時間加熱して行った。昇華精製後、０．２１ｇの黄色固体を、回収率７０％で得た。ステップ４の合成スキームを下記式（ｄ－０）に示す。

【０６６６】
【化４１】



HmpCNptz-diPrp



(d-0)

fac-Ir(mpCNptz-diPrp)$_3$
mer-Ir(mpCNptz-diPrp)$_3$

【０６６７】

上記ステップ４で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図３４に示す。このことから、本合成例１において、上述の構造式（１０８）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$が得られたことがわかった。

【０６６８】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ δ（CD_2Cl_2）：０．７２－０．７９（ｍ，２７Ｈ），０．９６（ｄ，９Ｈ），２．１１－２．１７（ｍ，３Ｈ），２．２５（ｓ，９Ｈ），２．６４－２．６９（ｍ，３Ｈ），６．２３（ｄ，３Ｈ），６．８０（ｄ，３Ｈ），６．８７－６．９１（ｍ，６Ｈ），７．０５（ｓ，３Ｈ），７．１８－７．２９（ｍ，１２Ｈ），７．５３（ｔ，３Ｈ）。

【０６６９】

＜ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$の特性＞

続いて、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$のジクロロメタン溶液（０．０１００ｍｍｏｌ／Ｌ）の紫外可視吸収スペクトル（以下、単に「吸収スペクトル」という）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ＬＡＢｓｔａｒＭ１３（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。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図３５に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。なお、図３５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。

【０６７０】

図３５に示す通り、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$のジクロロメタン溶液からは、５１３ｎｍ、及び５５０ｎｍに発光ピークを有する緑色の発光が観測された。

【０６７１】

次に、本実施例で得られたｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$を液体クロマトグラフ質量分析（Ｌｉｑｕｉｄ　Ｃｈｒｏｍａｔｏｇｒａｐｈｙ　Ｍａｓｓ　Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ（略称：ＬＣ／ＭＳ分析））によって質量（ＭＳ）分析した。

【０６７２】

ＬＣ／ＭＳ分析は、ＬＣ（液体クロマトグラフィー）分離をウォーターズ社製Ａｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣにより、ＭＳ分析（質量分析）をウォーターズ社製Ｘｅｖｏ　Ｇ２　Ｔｏｆ　ＭＳにより行った。ＬＣ分離で用いたカラムはＡｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣ　ＢＥＨ　Ｃ８（２．１×１００ｍｍ　１．７μｍ）、カラム温度は４０℃とした。移動相は移動相Ａをアセトニトリル、移動相Ｂを０．１％のギ酸水溶液とした。また、サンプルは任意の濃度のｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$をクロロホルムに溶解し、アセトニトリルで希釈して調整し、注入量は５．０μＬとした。

【０６７３】

ＬＣ分離には移動相の組成を変化させるグラジエント法を用い、測定開始後０分から１分までが、移動相Ａ：移動相Ｂ＝８５：１５、その後組成を変化させ、１０分における移動相Ａと移動相Ｂとの比が移動相Ａ：移動相Ｂ＝９５：５となるようにした。組成の変化はリニアに変化させた。

【０６７４】

ＭＳ分析では、エレクトロスプレーイオン化法（ＥｌｅｃｔｒｏＳｐｒａｙ　Ｉｏｎｉｚａｔｉｏｎ（略称：ＥＳＩ））によるイオン化を行った。この時のキャピラリー電圧は３．０ｋＶ、サンプルコーン電圧は３０Ｖとし、検出はポジティブモードで行った。以上

の条件でイオン化されたｍ／ｚ＝１４５０．６３の成分を衝突室（コリジョンセル）内でアルゴンガスと衝突させてプロダクトイオンに解離させた。アルゴンを衝突させる際のエネルギー（コリジョンエネルギー）は５０ｅＶとした。なお、測定する質量範囲はｍ／ｚ＝１００から２０００とした。図３６に、解離させたプロダクトイオンを飛行時間（ＴＯＦ）型ＭＳで検出した結果を示す。

【０６７５】

図３６の結果から、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は、主としてｍ／ｚ＝１０３１付近にプロダクトイオンが検出されることがわかった。なお、図３６に示す結果は、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$に由来する特徴的な結果を示すデータであることから、混合物中に含まれるｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$を同定する上での重要なデータであるといえる。

【０６７６】

なお、ｍ／ｚ＝１０３１付近のプロダクトイオンは、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$から配位子であるＨｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐが離脱した状態のカチオンと推定され、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の特徴の一つである。

【実施例２】

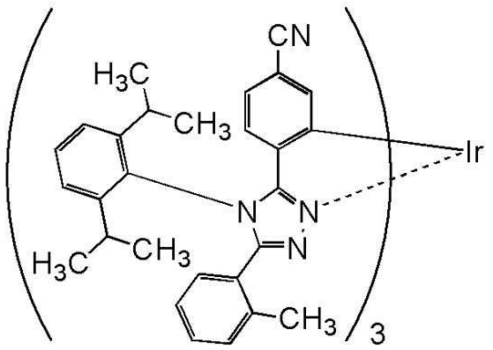
【０６７７】

＜合成例２＞

本実施例では、実施の形態２で構造式（１０８）として示した本発明の一態様の有機金属錯体である、（ＯＣ－６－２１）－トリス｛５－シアノ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^2］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）の合成方法について説明する。ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【０６７８】

【化４２】



mer-Ir(mpCNptz-diPrp)$_3$

【０６７９】

≪ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の合成≫

実施例１の合成例１に記載の方法で合成したｆａｃ体および、ｍｅｒ体の異性体混合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、まずジクロロメタン：ヘキサン＝１：１の混合溶媒を用い、次いで、ジクロロメタン：ヘキサン＝４：１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、０．３８ｇの黄色固体を、収率１２％で得た。得られた黄色固体のうち０．３７ｇをトレインサブリメーション法により昇華精製した。圧力２．６Ｐａ、アルゴン流量５．０ｍＬ／ｍｉｎの条件で、３０５℃で４２時間加熱して行った。昇華精製後、０．２５ｇの黄色固体を、回収率６８％で得た。

【０６８０】

上記ステップで得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図３７に示す。このことから、本合成例２において、構造式（１０８）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$が得られたことがわかった。

【０６８１】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ δ（CD_2Cl_2）：０．４０（ｄ，３Ｈ），０．６３（ｔ，６Ｈ），０．７２（ｄ，３Ｈ），０．９２－１．０１（ｍ，２１Ｈ），１．０７（ｄ，３Ｈ），２．１４－２．１９（ｍ，１Ｈ），２．２９（ｓ，３Ｈ），２．３８－２．５４（ｍ，９Ｈ），２．６０－２．６６（ｍ，２Ｈ），６．１６－６．２５（ｍ，３Ｈ），６．７７－６．８６（ｍ，５Ｈ），６．９２－６．９９（ｍ，４Ｈ），７．１３（ｓ，１Ｈ），７．２０－７．３０（ｍ，１１Ｈ），７．３４－７．４０（ｍ，３Ｈ），７．４８（ｔ，１Ｈ），７．５５－７．５９（ｍ，２Ｈ）。

【０６８２】

＜ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$の特性＞

続いて、ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$のジクロロメタン溶液（０．０１００ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図３８に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。

【０６８３】

図３８に示す通り、ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$のジクロロメタン溶液からは、５１８ｎｍ、及び５５６ｎｍに発光ピークを有する緑色の発光が観測された。

【０６８４】

次に、本実施例で得られたｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$を液体クロマトグラフ質量分析（ＬＣ／ＭＳ分析）によって質量（ＭＳ）分析した。分析条件は実施例１と同様である。得られた結果も実施例１と同様の結果であったため、本測定から立体異性の帰属は困難であるが、フラグメンテーションの特徴は実施例１の化合物と同様であることがわかった。

【実施例３】

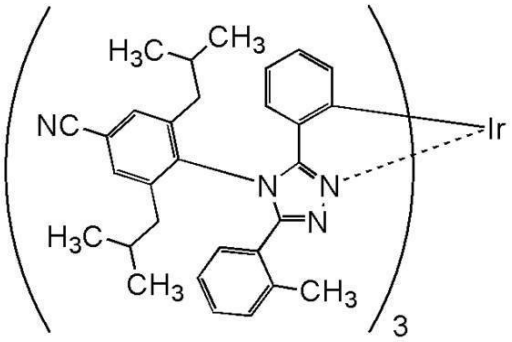
【０６８５】

＜合成例３＞

本実施例では、実施の形態２で構造式（１１２）として示した本発明の一態様の有機金属錯体である、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）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^{2}］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_{3}$）の合成方法について説明する。Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_{3}$の構造を以下に示す。

【０６８６】

【化４３】



Ir(mpptz-diBuCNp)$_3$

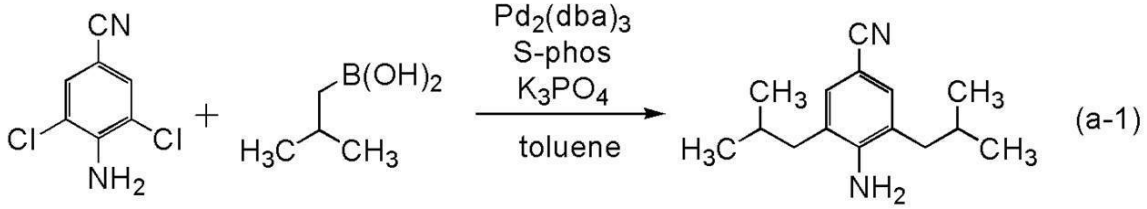
【０６８７】

≪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≫

９．４ｇ（５０ｍｍｏｌ）の４－アミノ－３，５－ジクロロベンゾニトリルと、２６ｇ（２５３ｍｍｏｌ）のイソブチルボロン酸と、５４ｇ（２５３ｍｍｏｌ）のリン酸三カリウムと、２．０ｇ（４．８ｍｍｏｌ）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－ｐｈｏｓ）と、５００ｍＬのトルエンと、を１０００ｍＬ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撹拌し、この混合物を脱気した。脱気後、０．８８ｇ（０．９６ｍｍｏｌ）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、１３０℃で８時間撹拌し反応させた。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、１０ｇの黄色油状物を、収率８７％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（ＮＭＲ）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。

【０６８８】

【化４４】



【０６８９】

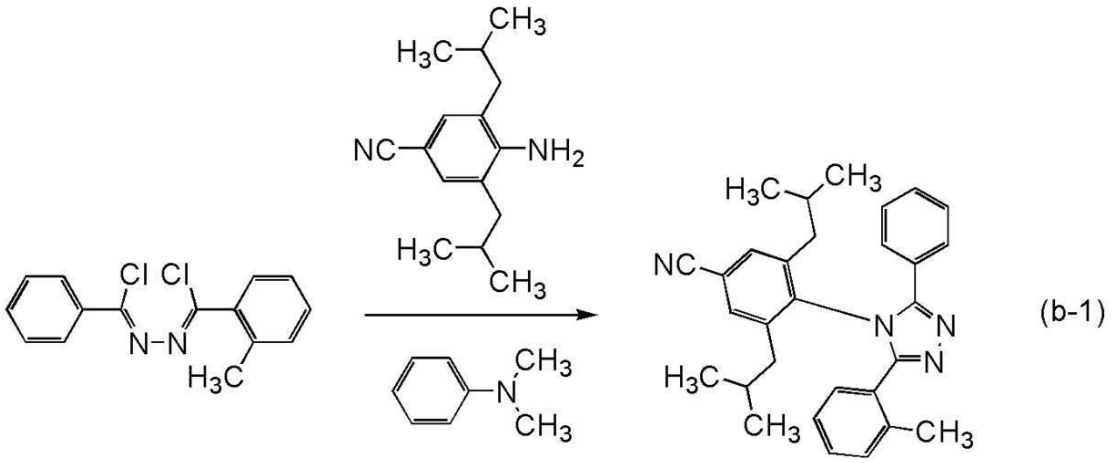
≪ステップ２：４－（４－シアノ－２，６－ジイソブチルフェニル）－３－（２－メチルフェニル）－５－フェニル－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：Ｈｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）の合成≫

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１１ｇ（４８ｍｍｏｌ）と、４．７ｇ（１６ｍｍｏｌ）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、４０ｍＬ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７時間撹拌し反応させた。反応後、反応溶液を３００ｍＬの１Ｍ塩酸に入れ３時間撹拌した。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、２．０ｇの白色固体を、収率２８％で得た。得られた白色固体がＨｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐであることを、核磁気共鳴法（ＮＭＲ）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。

【０６９０】

【化４５】



Hmpptz-diBuCNp

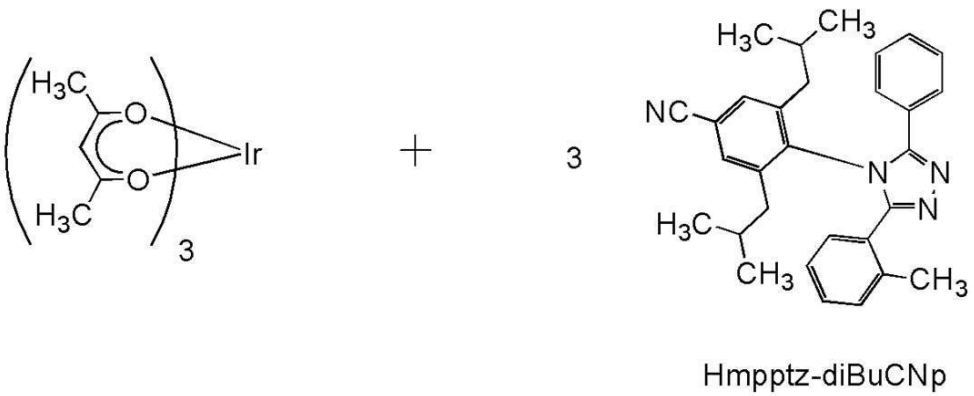
【０６９１】

≪ステップ３：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）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^{2}］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_{3}$）の合成≫

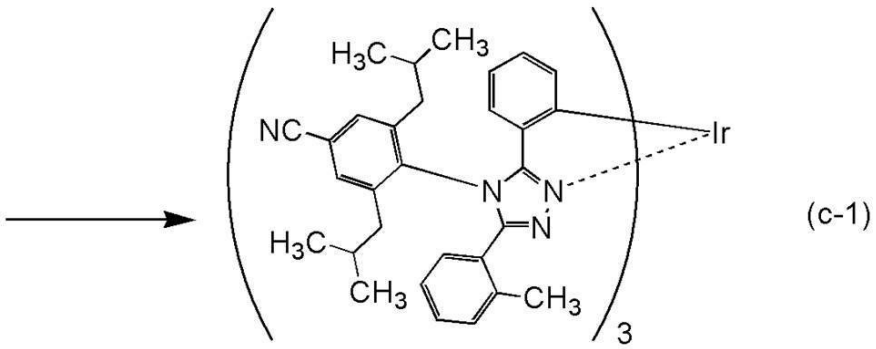
ステップ２で合成した２．０ｇ（４．５ｍｍｏｌ）のＨｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐと、０．４４ｇ（０．８９ｍｍｏｌ）のトリス（アセチルアセトナト）イリジウム（ＩＩＩ）とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、アルゴン気流下、２５０℃にて４３時間撹拌し反応させた。得られた反応混合物をジクロロメタンに加え、不溶物を取り除いた。得られたろ液を濃縮し、固体を得た。得られた固体をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、ジクロロメタンを用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル／ヘキサンで再結晶し、０．３２ｇの黄色固体を、収率２３％で得た。得られた黄色固体のうち０．３１ｇをトレインサブリメ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。

【０６９２】

【化４６】



Hmpptz-diBuCNp



Ir(mpptz-diBuCNp)$_3$

【０６９３】

上記ステップ３で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図３９に示す。このことから、本合成例３において、上述の構造式（１１２）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$が得られたことがわかった。

【０６９４】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ δ（ＣＤＣｌ$_3$）：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）。

【０６９５】

＜Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の特性＞

続いて、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$のジクロロメタン溶液（０．０１０４ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図４０に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。

【０６９６】

図４０に示す通り、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$のジクロロメタン溶液からは、５０２ｎｍに発光ピークを有する青色の発光が観測された。

【０６９７】

次に、本実施例で得られたＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$を液体クロマトグラフ質量分析（ＬＣ／ＭＳ分析）によって質量（ＭＳ）分析した。

【０６９８】

ＬＣ／ＭＳ分析は、ＬＣ（液体クロマトグラフィー）分離をウォーターズ社製Ａｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣにより、ＭＳ分析（質量分析）をウォーターズ社製Ｘｅｖｏ　Ｇ２　Ｔｏｆ　ＭＳにより行った。ＬＣ分離で用いたカラムはＡｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣ　ＢＥＨ　Ｃ８（２．１×１００ｍｍ　１．７μｍ）、カラム温度は４０℃とした。移動相は移動相Ａをアセトニトリル、移動相Ｂを０．１％のギ酸水溶液とした。また、サンプルは任意の濃度のＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$をクロロホルムに溶解し、アセトニトリルで希釈して調整し、注入量は５．０μＬとした。

【０６９９】

ＬＣ分離には移動相の組成を変化させるグラジエント法を用い、測定開始後０分から１分までが、移動相Ａ：移動相Ｂ＝９０：１０、その後組成を変化させ、１０分における移動相Ａと移動相Ｂとの比が移動相Ａ：移動相Ｂ＝９５：５となるようにした。組成の変化はリニアに変化させた。

【０７００】

ＭＳ分析では、エレクトロスプレーイオン化法（ＥＳＩ）によるイオン化を行った。この時のキャピラリー電圧は３．０ｋＶ、サンプルコーン電圧は３０Ｖとし、検出はポジティブモードで行った。以上の条件でイオン化されたｍ／ｚ＝１５３４．７３の成分を衝突室（コリジョンセル）内でアルゴンガスと衝突させてプロダクトイオンに解離させた。アルゴンを衝突させる際のエネルギー（コリジョンエネルギー）は５０ｅＶとした。なお、測定する質量範囲はｍ／ｚ＝１００から２０００とした。図４１に、解離させたプロダクトイオンを飛行時間（ＴＯＦ）型ＭＳで検出した結果を示す。

【０７０１】

図４１の結果から、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$は、主としてｍ／ｚ＝１０８７付近にプロダクトイオンが検出されることがわかった。なお、図４１に示す結果は、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$に由来する特徴的な結果を示すデータであることから、混合物中に含まれるＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$を同定する上での重要なデータであるといえる。

【０７０２】

なお、ｍ／ｚ＝１０８７付近のプロダクトイオンは、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$から配位子であるＨｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐが離脱した状態のカチオンと推定され、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の特徴の一つである。

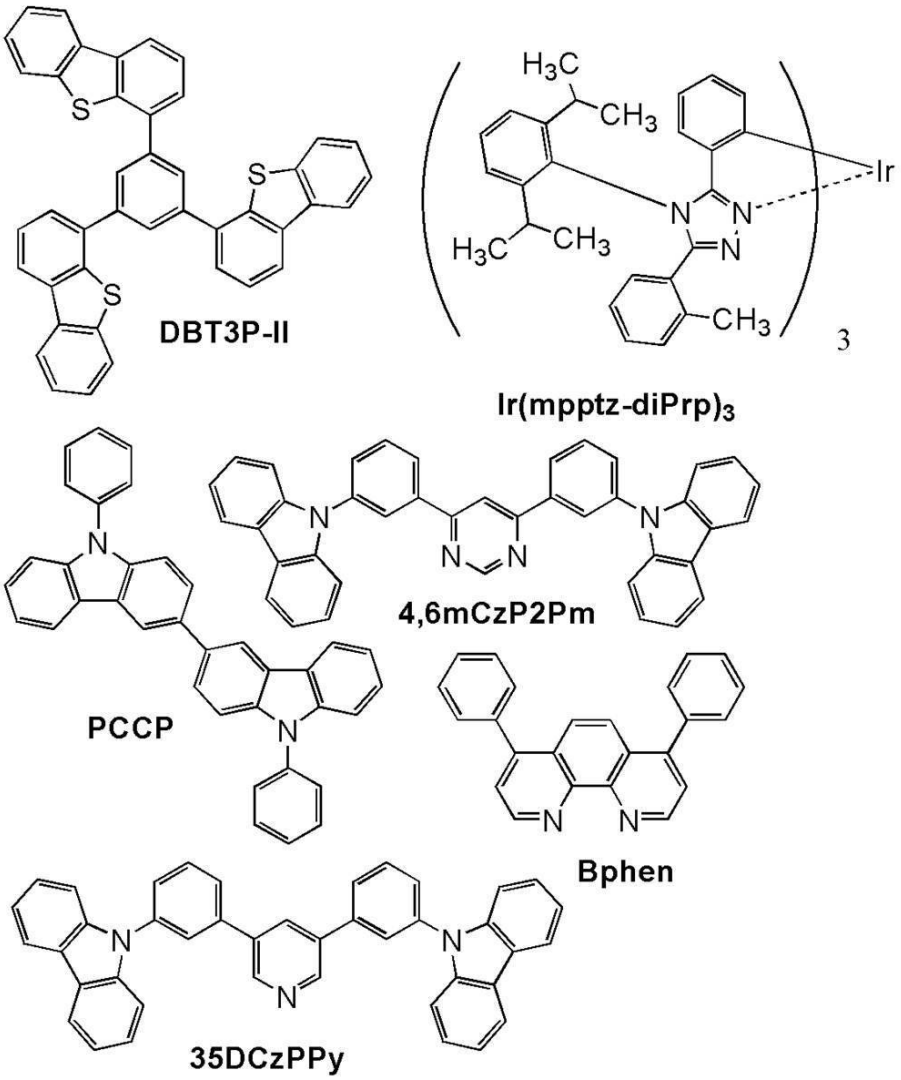
【実施例４】

【０７０３】

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、発光素子２）と比較発光素子（比較発光素子１、比較発光素子２）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４２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。なお、他の化合物については、実施例３を参酌すればよい。

【０７０４】

【化４７】



【０７０５】

【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)	15	BPhen	−
		118(1)	10	35DCzPPy	−
	発光層	160(2)	10	35DCzPPy : $Ir(mpptz\text{-}diBuCNp)_3$	1:0.06
		160(1)	30	35DCzPPy : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}diBuCNp)_3$	0.65:0.65:0.06
	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	−
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	4,6mCzP2Pm : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}diBuCNp)_3$	0.8:0.2:0.06
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}diBuCNp)_3$	0.4:0.6:0.06
	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1	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 : $Ir(mpptz\text{-}diPrp)_3$	1:0.06
		160(1)	30	35DCzPPy : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}diPrp)_3$	0.3:1:0.06
	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)	10	BPhen	−
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	−
	発光層	160(2)	20	4,6mCzP2Pm : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}diPrp)_3$	0.8:0.2:0.05
		160(1)	20	4,6mCzP2Pm : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}diPrp)_3$	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	−

【０７０６】

＜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７０ｎｍになるように形成した。なお、電極１０１の電極面積は、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【０７０７】

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（MoO_3）と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）が１：０．５になるように、且つ厚さが２０ｎｍになるように共蒸着した。

【０７０８】

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２０ｎｍになるように蒸着した。

【０７０９】
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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$と、を重量比（３５ＤＣｚＰＰｙ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$と、を重量比（３５ＤＣｚＰＰｙ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【０７１０】
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、及びバソフェナントロリン（略称：ＢＰｈｅｎ）を厚さが１５ｎｍとになるよう、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。

【０７１１】
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。

【０７１２】
次に、窒素雰囲気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／ｃｍ^{2}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。

【０７１３】
≪発光素子２の作製≫
発光素子２は、先に示す発光素子１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１と同様の作製方法とした。

【０７１４】
発光素子２の発光層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、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$とを重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$）が０．４：０．６：０．０６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、重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$）が０．８：０．２：０．０６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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【０７１５】
≪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、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１と同様の作製方法とした。

【０７１６】
比較発光素子１の発光層１６０として、３５ＤＣｚＰＰｙ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－κＮ２］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）と、を重量比（３５ＤＣｚＰＰｙ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）が０．３：１：０．０６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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉ

Ｐｒｐ）$_3$と、を重量比（３５ＤＣｚＰＰｙ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【０７１７】

≪比較発光素子２の作製≫

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

【０７１８】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、ＭｏＯ$_3$とを重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：ＭｏＯ$_3$）が１：０．５になるように、且つ厚さが２０ｎｍになるように共蒸着した。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。

【０７１９】

次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）が０．５：０．５：０．０５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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）が０．８：０．２：０．０５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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【０７２０】

次に、発光層１６０上に電子輸送層１１８として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍを厚さが２０ｎｍになるよう、及びＢＰｈｅｎを厚さが１０ｎｍ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、ＬｉＦを厚さが１ｎｍになるよう蒸着した。

【０７２１】

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。

【０７２２】

次に、窒素雰囲気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、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１と同様である。以上の工程により比較発光素子２を得た。

【０７２３】

＜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、発光素子２、比較発光素子１及び比較発光素子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、ＰＣＣＰ単体、３５ＤＣｚＰＰｙ単体、及び４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ単体の薄膜の発光スペクトルを測定した結果と、３５ＤＣｚＰＰｙとＰＣＣＰの混合薄膜、及び４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとＰＣＣＰの混合薄膜の発光スペクトルを測定した結果を図４３（Ａ）（Ｂ）に示す。

【０７２４】

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。

【０７２５】

図４３（Ａ）に示すように、３５ＤＣｚＰＰｙ単体及びＰＣＣＰ単体の発光スペクトルのピーク波長は、それぞれ３７７ｎｍ及び４１２ｎｍであり非常に短波長な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４１４ｎｍ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。

【０７２６】

また、図４３（Ｂ）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、ＥｘＴＥＴを利用する発光素子を作製することができる。

【０７２７】

また、図４０に示したように、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$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付近であり、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。

【０７２８】

上記のように、発光素子１及び比較発光素子１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及び比較発光素子２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。

【０７２９】

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）を測定した。

【０７３０】

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１０Ｋ、励起光としてＨｅ－Ｃｄレーザ（３２５ｎｍ）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。

【０７３１】

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４５９ｎｍ、４６７ｎｍであり、三重項励起エネルギー準位（Ｔ１準位）は、それぞれ２．７０ｅＶ、２．６６ｅＶと導出することができた。

【０７３２】

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４３（Ｂ）で示した４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとＰＣＣＰ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（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。

【０７３３】

また、後に示すように、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。

【０７３４】

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。

【０７３５】

＜発光素子の特性＞

作製した発光素子１、発光素子２、比較発光素子１及び比較発光素子２の電流効率－輝度特性を図４４に示す。また、輝度－電圧特性を図４５に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図４６に示す。また、電力効率－輝度特性を図４７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。

【０７３６】

また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子１、発光素子２、比較発光素子１及び比較発光素子２の素子特性を表２に示す。

【０７３７】

【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	3.8	0.84	(0.18, 0.47)	740	87	72	35
発光素子2	3.2	1.3	(0.18, 0.48)	1100	86	85	34
比較発光素子1	4.2	1.3	(0.18, 0.42)	870	69	52	30
比較発光素子2	3.4	2.3	(0.30, 0.52)	1000	44	41	15

【０７３８】

また、発光素子１及び比較発光素子１にそれぞれ２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図４８（Ａ）に示し、発光素子２及び比較発光素子２にそれぞれ２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図４８（Ｂ）に示す。

【０７３９】

図４４乃至図４７、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１の外部量子効率の最大値は３５％と極めて優れた値を示した。また、図４８（Ａ）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４８７ｎｍであり、半値全幅が６５ｎｍである、青色の発光を示した。すなわち、シアノ基を含むアリール基を配位子に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。

【０７４０】

また、図４４乃至図４７、及び表２で示すように、発光素子２は、比較発光素子２と比べて、高い電流効率を示した。また、発光素子２の外部量子効率の最大値は３５％と極め

て優れた値を示した。また、発光素子２は、発光素子１、比較発光素子１、及び比較発光素子２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。

【０７４１】

また、図４８（Ｂ）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４８７ｎｍであり、半値全幅が６５ｎｍである、青色の発光を示した。一方、比較発光素子２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２の電界発光スペクトルは、ゲスト材料が同じ比較発光素子１の電界発光スペクトルと大きく異なる結果となった。

【０７４２】

＜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・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、還元電位ピーク電位を得た。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。

【０７４３】

ホスト材料（ＰＣＣＰ、３５ＤＣｚＰＰｙ、及び４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）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（Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$及びＩｒ（ｍｐｐｔｚ－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。

【０７４４】

ＣＶ測定より得られた酸化電位および還元電位、及びＣＶ測定の結果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。

【０７４５】

【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)
PCCP	0.69	−2.98	−5.63	−1.96
35DCzPPy	0.96	−2.56	−5.90	−2.39
4,6mCzP2Pm	0.95	−2.06	−5.89	−2.88
$Ir(mpptz\text{-}diBuCNp)_3$	0.46	−2.46	−5.40	−2.49
$Ir(mpptz\text{-}diPrp)_3$	0.30	−2.98	−5.24	−1.96

【０７４６】

表３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準位より低い。そのため、一対の電極から注入されたキャリア（電子および正孔）が、効率よくホスト材料である第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ＰＣＣＰ）にそれぞれ注入され、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。したがって、発光素子２は、高い発光効率と低い駆動電圧を両立した優れた特性を示している。

【０７４７】

比較発光素子２においては、ゲスト材料（Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）のＬＵＭＯ準位は、第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）のＬＵＭＯ準位より高いが、ゲスト材料（Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物（ＰＣＣＰ）のＨＯＭＯ準位より０．３ｅＶ以上高い。そのため、ゲスト材料（Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）と第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）とで励起錯体を形成してしまう可能性がある。

【０７４８】

実際、図４８（Ｂ）に示したように、比較発光素子２の電界発光スペクトルは、半値全幅が１０８ｎｍと広く、ゲスト材料が同じ比較発光素子１の電界発光スペクトルと大きく異なる発光スペクトルを示す結果となった。このことから、比較発光素子２においては、ゲスト材料（Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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長波長になったといえる。また、比較発光素子２は、電流効率および外部量子効率が十分に高い値となっていないのも同様の理由である。

【０７４９】

＜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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収スペクトルの測定結果を図４９に示す。なお、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の吸収スペクトルは、実施例３の図４０で示している。

【０７５０】

吸収スペクトルを測定するため、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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。測定したサンプルのスペクトルから石英セルの吸収スペクトルを差し引いた。

【０７５１】

次に、測定し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。その結果、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の吸収端は４７８ｎｍであり、遷移エネルギーは２．５９ｅＶと算出された。また、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収端は４７１ｎｍであり、遷移エネルギーは２．６３ｅＶと算出された。

【０７５２】

一方、表３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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$は２．９１ｅＶであり、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は３．２８ｅＶであった。

【０７５３】

したがって、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$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、０．３２ｅＶ及び０．６５ｅＶ大きい結果であった。

【０７５４】

また、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$及びＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の発光エネルギーは、図４８（Ａ）に示した発光素子１及び比較発光素子１の電界発光ス

ペクトルの最も短波長側のピーク波長がそれぞれ、４８７ｎｍ、４７７ｎｍであったことから、それぞれ２．５５ｅＶ、２．６０ｅＶと算出された。

【０７５５】

したがって、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$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、０．３６ｅＶ及び０．６８ｅＶ大きい結果であった。

【０７５６】

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、一対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。

【０７５７】

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。

【０７５８】

なお、発光素子２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２．７５ｅＶと算出された。すなわち、発光素子２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（Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$）のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（２．９１ｅＶ）より小さく、吸収端から算出される遷移エネルギー（２．５９ｅＶ）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。

【０７５９】

＜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５０に示す。なお、信頼性試験は、各発光素子（発光素子１、発光素子２、及び比較発光素子１）の初期輝度を２０００ｃｄ／ｍ^{2}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。

【０７６０】

その結果、発光素子１、発光素子２、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、５４時間、１６０時間、４０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。

【０７６１】

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、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、ゲスト材料に、シアノ基を含むイリジウム錯体を用いる、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提供することができる。

【０７６２】

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、信頼性の優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、信頼性の優れた、青色の発光を呈する発光素子を提供することができる。

【０７６３】

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５】

【０７６４】

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及び発光素子４）の作製例を示す。本実施例で作製する発光素子の断面模式図は図４２を参酌すればよい。また、素子構造の詳細を表４に示す。また、使用した化合物の構造と略称については、先の実施例を参酌すればよい。

【０７６５】

【表４】

	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)	10	BPhen	−
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	−
	発光層	160(2)	20	4,6mCzP2Pm PCCP : fac-Ir(mpCNptz-diPrp)$_3$	0.8:0.2:0.05
		160(1)	20	4,6mCzP2Pm PCCP : fac-Ir(mpCNptz-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	−
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	4,6mCzP2Pm	−
	発光層	160(2)	20	4,6mCzP2Pm : PCCP : mer-Ir(mpCNptz-diPrp)$_3$	0.8:0.2:0.05
		160(1)	20	4,6mCzP2Pm : PCCP : mer-Ir(mpCNptz-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	−

【０７６６】

＜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１１０ｎｍになるように形成した。なお、電極１０１の電極面積は、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【０７６７】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、MoO_3と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）が１：０．５になるように、且つ厚さが２０ｎｍになるように共蒸着した。

【０７６８】

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。

【０７６９】

次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－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、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－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、Ｐ

ＣＣＰが第２の有機化合物であり、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【０７７０】

次に、発光層１６０上に、電子輸送層１１８として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍを厚さが２０ｎｍになるよう、及びＢＰｈｅｎを厚さが１０ｎｍ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。

【０７７１】

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。

【０７７２】

次に、窒素雰囲気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。

【０７７３】

≪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。

【０７７４】

発光素子４の発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－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、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－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、ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。すなわち、発光素子４は、発光素子３とゲスト材料のみ異なる発光素子である。

【０７７５】

＜発光素子の特性＞

作製した発光素子３及び発光素子４の電流効率－輝度特性を図５１に示す。また、輝度－電圧特性を図５２に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図５３に示す。また、電力効率－輝度特性を図５４に示す。なお、図５１乃至図５４においては、実施例４で作製した比較発光素子２の特性も併せて表示した。また、各発光素子の測定は室温（２３℃に保たれた雰囲気）で行った。

【０７７６】

また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子３及び発光素子４の素子特性を表５に示す。

【０７７７】

【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3	2.9	1.0	(0.35, 0.61)	880	84	91	24
発光素子4	3.1	1.2	(0.36, 0.59)	1000	81	82	24

【０７７８】

また、発光素子３及び発光素子４にそれぞれ２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図５５に示す。

【０７７９】

図５１乃至図５４、及び表５で示すように、発光素子３及び発光素子４は、比較発光素子２と比べて、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及び発光素子４の外部量子効率の最大値はそれぞれ２５％、及び２４％と良好な値を示した。また、発光素子３及び発光素子４は、比較発光素子２と比べて、低い駆動電圧で駆動した。そのため、発光素子３及び発光素子４は優れた電力効率を示した。また、図５５に示すように、発光素子３及び発光素子４の電界発光スペクトルのピーク波長はそれぞれ、５０９ｎｍ、及び５１１ｎｍであり、緑色の発光を示した。すなわち、配位子にシアノ基を含むアリー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緑色の発光素子を作製できる。

【０７８０】

＜ＣＶ測定結果＞

ここで、上記発光素子のゲスト材料の電気化学的特性をＣＶ測定によって測定した。なお、測定方法は、実施例４と同様である。すなわち、ゲスト材料（ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）の酸化反応特性は、クロロホルムにゲスト材料を溶解させた溶液を用いて測定し、還元反応特性は、ＤＭＦにゲスト材料を溶解させた溶液を用いて測定した。

【０７８１】

ＣＶ測定より得られた酸化電位および還元電位、及びＣＶ測定の結果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。

【０７８２】

【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)
fac-Ir(mpCNptz-diPrp)$_3$	0.91	−2.31	−5.85	−2.64
mer-Ir(mpCNptz-diPrp)$_3$	0.86	−2.30	−5.80	−2.65

【０７８３】

表６及び実施例４の表３に示したＣＶ測定の結果より、発光素子３及び発光素子４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（ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－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（ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）の酸化電位は、第２の有機化合物（ＰＣＣＰ）の酸化電位より高い。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（ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－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（ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物（ＰＣＣＰ）のＨＯＭＯ準位より低い。そのため、一対の電極から注入されたキャリア（電子および正孔）が、効率よくホスト材料である第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ＰＣＣＰ）にそれぞれ注入され、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。したが

って、発光素子３及び発光素子４は、高い発光効率と低い駆動電圧を両立した優れた特性を示している。

【０７８４】

＜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の吸収スペクトルの測定結果より、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。なお、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$、及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収スペクトルは、先の実施例の図３５及び図３８で示している。

【０７８５】

その結果、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収端は５１３ｎｍであり、遷移エネルギーは２．４２ｅＶと算出された。また、ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収端は５１６ｎｍであり、遷移エネルギーは２．４０ｅＶと算出された。

【０７８６】

一方、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、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は３．２１ｅＶであり、ｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は３．１５ｅＶであった。

【０７８７】

したがって、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－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０．７９ｅＶ及び０．７５ｅＶ大きい結果であった。

【０７８８】

また、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の発光エネルギーは、図５５に示した発光素子３及び発光素子４の電界発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長がそれぞれ、５０９ｎｍ、５１１ｎｍであったことから、それぞれ２．４４ｅＶ、２．４３ｅＶと算出された。

【０７８９】

したがって、ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－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０．７７ｅＶ及び０．７２ｅＶ大きい結果であった。

【０７９０】

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０．４ｅＶ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０．４ｅＶ以上大きい。そのため、一対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。

【０７９１】

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。

【０７９２】

なお、発光素子３及び発光素子４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、実施例４で示した表３より２．７５ｅＶと算出された。すなわち、発光素子３及び発光素子４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（ｆａｃ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びｍｅｒ－Ｉｒ（ｍｐＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）のＬＵＭＯ準位とＨＯ

ＭＯ準位とのエネルギー差（それぞれ３．２１ｅＶおよび３．１５ｅＶ）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２．４２ｅＶおよび２．４０ｅＶ）より大きい。したがって、発光素子３及び発光素子４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。

【０７９３】

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、発光効率が高い、消費電力が低減された、緑色の発光を呈する発光素子を提供することができる。

【０７９４】

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。

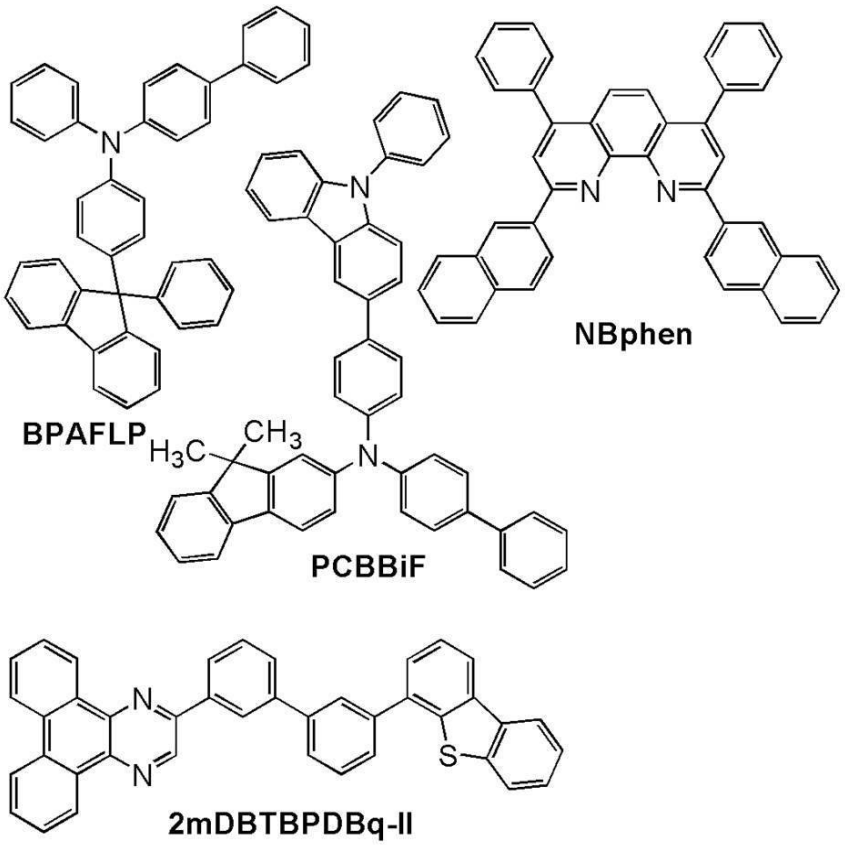
【実施例６】

【０７９５】

実施の形態５で示したように、本発明の一態様の発光素子と、他の発光素子と、を組み合わせることで、消費電力が低減された表示装置を作製することができる。そこで、本実施例では、本発明の一態様である表示装置に好適に用いることができる発光素子（発光素子５乃至発光素子７）の作製例を示す。本実施例で作製する発光素子の断面模式図は図４２を参酌すればよい。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。

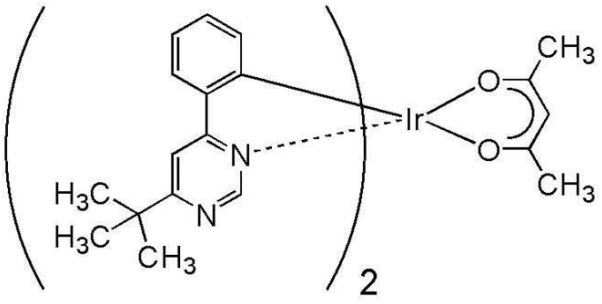
【０７９６】

【化４８】

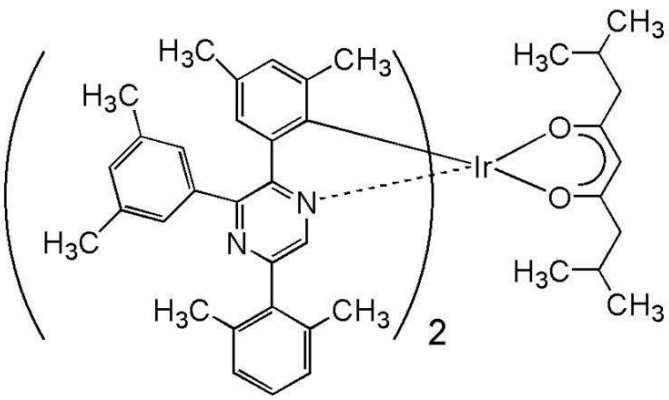


【０７９７】

【化４９】



Ir(tBuppm)$_2$(acac)



Ir(dmdppr-dmp)$_2$(divm)

【０７９８】

【表７】

	層	符号	膜厚(nm)	材料	重量比
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	NBphen	-
		118(1)	20	2mDBTBPDBq-II	-
	発光層	160(2)	20	2mDBTBPDBq-II : PCBBiF : $Ir(tBuppm)_2(acac)$	0.8:0.2:0.05
		160(1)	20	2mDBTBPDBq-II : PCBBiF : $Ir(tBuppm)_2(acac)$	0.7:0.3:0.05
	正孔輸送層	112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	111	40	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)	25	2mDBTBPDBq-II	-
	発光層	160(2)	20	2mDBTBPDBq-II : PCBBiF : $Ir(dmdppr\text{-}dmp)_2(divm)$	0.8:0.2:0.05
		160(1)	20	2mDBTBPDBq-II : PCBBiF : $Ir(dmdppr\text{-}dmp)_2(divm)$	0.7:0.3:0.05
	正孔輸送層	112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	111	50	BPAFLP : MoO_3	1:0.5
	電極	101	70	ITSO	-
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	35DCzPPy	-
	発光層	160(2)	10	35DCzPPy : $Ir(mpptz\text{-}diBuCNp)_3$	1:0.06
		160(1)	30	35DCzPPy : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}diBuCNp)_3$	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	-

【０７９９】

＜発光素子の作製＞

≪発光素子５の作製≫

基板２００上に電極１０１として、ＩＴＳＯ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、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【０８００】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、MoO_3と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）が１：０．５になるように、且つ厚さが４０ｎｍになるように共蒸着した。

【０８０１】

次に、正孔注入層１１１上に正孔輸送層１１２として、４－フェニル－４’－（９－フェニルフルオレン－９－イル）トリフェニルアミン（略称：ＢＰＡＦＬＰ）を厚さが２０ｎｍになるように蒸着した。

【０８０２】

次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、２－［３’－（ジベンゾチオフェン－４－イル）ビフェニル－３－イル］ジベンゾ［ｆ、ｈ］キノキサリン（略称：２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩ）と、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）と、（アセチルアセトナト）ビス（６－ｔｅｒｔ－ブチル－４－フェニルピリミジナト）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））と、を重量比（２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩ：ＰＣＢＢｉＦ：Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））が０．７：０．３：０．０５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、２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩと、ＰＣＢ

ＢｉＦと、Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）と、を重量比（２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩ：ＰＣＢＢｉＦ：Ｉｒ（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））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、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（ｔＢｕｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【０８０３】

次に、発光層１６０上に、電子輸送層１１８として、２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩを厚さが２０ｎｍになるよう、及び２，９－ビス（ナフタレン－２－イル）－４，７－ジフェニル－１，１０－フェナントロリン（略称：ＮＢＰｈｅｎ）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。

【０８０４】

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。

【０８０５】

次に、窒素雰囲気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５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５を得た。

【０８０６】

≪発光素子６の作製≫

基板２００上に電極１０１として、ＩＴＳＯ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、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【０８０７】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＢＰＡＦＬＰと、ＭｏＯ$_3$と、を重量比（ＢＰＡＦＬＰ：ＭｏＯ$_3$）が１：０．５になるように、且つ厚さが５０ｎｍになるように共蒸着した。

【０８０８】

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

【０８０９】

次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩと、ＰＣＢＢｉＦと、ビス｛４，６－ジメチル－２－［５－（２，６－ジメチルフェニル）－３－（３，５－ジメチルフェニル）－２－ピラジニル－κＮ］フェニル－κＣ｝（２，８－ジメチル－４，６－ノナンジオナト－κ^{2}Ｏ，Ｏ’）イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｄｍｄｐｐｒ－ｄｍｐ）$_2$（ｄｉｖｍ））と、を重量比（２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩ：ＰＣＢＢｉＦ：Ｉｒ（ｄｍｄｐｐｒ－ｄｍｐ）$_2$（ｄｉｖｍ））が０．７：０．３：０．０５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、２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩと、ＰＣＢＢｉＦと、Ｉｒ（ｄｍｄｐｐｒ－ｄｍｐ）$_2$（ｄｉｖｍ）と、を重量比（２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩ：ＰＣＢＢｉＦ：Ｉｒ（ｄｍｄｐｐｒ－ｄｍｐ）$_2$（ｄｉｖｍ））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、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（ｄｍｄｐｐｒ－ｄｍｐ）$_2$（ｄｉｖｍ）がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【０８１０】

次に、発光層１６０上に、電子輸送層１１８として、２ｍＤＢＴＢＰＤＢｑ－ＩＩを厚さが２５ｎｍ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。

【０８１１】
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。
【０８１２】
次に、窒素雰囲気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６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６を得た。
【０８１３】
≪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７０ｎｍになるように形成した。なお、電極１０１の電極面積は、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。
【０８１４】
次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、MoO_3と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）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。
【０８１５】
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。
【０８１６】
次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、３５ＤＣｚＰＰｙと、ＰＣＣＰと、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$と、を重量比（３５ＤＣｚＰＰｙ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$とを重量比（３５ＤＣｚＰＰｙ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。
【０８１７】
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。
【０８１８】
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。
【０８１９】
次に、窒素雰囲気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、発光素子１と同様である。以上の工程により発光素子７を得た。
【０８２０】
＜発光素子の特性＞
作製した発光素子５乃至発光素子７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、電流密度－電圧特性を図５８に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図５９に示す。また、電力効率－輝度特性を図６０に示す。また、各発光素子の測定は室温（２３℃に保たれた雰囲気）で行った。
【０８２１】
また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子５乃至発光素子７の素子特性を表８

に示す。

【０８２２】

【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５	2.9	0.810	(0.40, 0.59)	1030	127	138	32.7
発光素子６	3.3	2.24	(0.66, 0.34)	1100	48.9	46.5	28.1
発光素子７	4.0	1.63	(0.17, 0.41)	1110	68.0	53.4	30.1

【０８２３】

また、発光素子５乃至発光素子７にそれぞれ２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図６１に示す。

【０８２４】

図５６乃至図６０、及び表８で示すように、発光素子５乃至発光素子７は、高い電流効率を示した。また、発光素子５、発光素子６、及び発光素子７の外部量子効率の最大値はそれぞれ３３％、２９％、及び３１％と優れた値を示した。また、発光素子５乃至発光素子７は、低い駆動電圧で駆動した。そのため、発光素子５乃至発光素子７は優れた電力効率を示した。また、図６１に示すように、発光素子５、発光素子６、及び発光素子７の電界発光スペクトルのピーク波長はそれぞれ、５４３ｎｍ、６１２ｎｍ、及び４８３ｎｍであり、色純度の良好な緑色、赤色、及び青色の発光を示した。

【０８２５】

＜表示装置の消費電力＞

上記、作製した発光素子５乃至発光素子７を用いて、表示装置を作製する場合の消費電力を見積もった。

【０８２６】

表示装置の消費電力の見積もりとしてとしては、縦横比が１６：９で対角４．３インチの大きさで、表示領域の面積が５０．９７ｃｍ^{2}の表示装置において、開口率（略称：R_A）が３５％と仮定して算出した。

【０８２７】

該表示装置の表示素子に発光素子５乃至発光素子７を用いた場合、下記数式（４）のように、発光素子５の構造を有する表示素子の輝度L_5が２８４ｃｄ／ｍ^2、発光素子６の構造を有する表示素子の輝度L_6が９７９ｃｄ／ｍ^2、発光素子７の構造を有する表示素子の輝度L_7が１３０９ｃｄ／ｍ^{2}のときに、色温度が３５００Ｋの白色（色度（ｘ，ｙ）が（０．４０５，０．３９１））を３００ｃｄ／ｍ^{2}で表示領域全面に表示させることができる。

【０８２８】

【数４】

$$(L_5+L_6+L_7)\ R_A/3=300\ \mathrm{cd/m^2} \quad \cdots(4)$$

【０８２９】

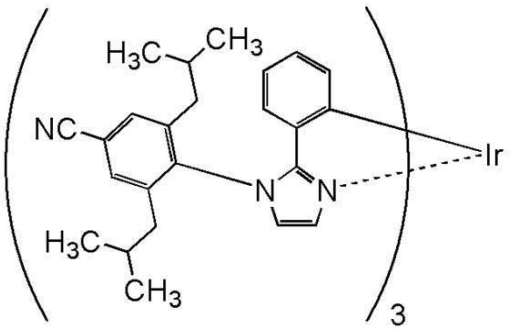
また、このときの表示素子部の消費電力は１．７ｍＷ／ｃｍ^{2}と見積もることができた。したがって、発光素子５乃至発光素子７の構造を有する表示素子を用いることで、極めて低消費電力な表示装置を作製することができることが分かった。

【０８３０】

＜信頼性試験結果＞

次に、発光素子５及び発光素子６の信頼性試験の測定結果を図６２に示す。なお、信頼性試験は、各発光素子（発光素子５、及び発光素子６）の初期輝度を５０００ｃｄ／ｍ^{2}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。

【０８３１】
その結果、発光素子５及び発光素子６において、初期輝度の５０％に劣化する時間（ＬＴ５０）はそれぞれ、２００００時間以上、及び１００００時間以上と見積もられ、発光素子５及び発光素子６は優れた信頼性を示す結果が得られた。
【０８３２】
すなわち、本発明の一態様の青色発光を呈する発光素子（発光素子７）と、上記の発光素子５及び発光素子６のような優れた特性を示す緑色発光素子および赤色発光素子を組み合わせることで、三原色とも発光効率が良好で、信頼性に優れた、発光素子および表示装置を提供することができる。
【０８３３】
以上、本発明の一態様の構成と、本実施例の構成を組み合わせることで、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、信頼性の優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、消費電力が低減され、信頼性の優れた、表示装置を提供することができる。
【実施例７】
【０８３４】
＜合成例４＞
本実施例では、実施の形態２で構造式（１１８）として示した本発明の一態様の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－κＮ^3］フェニル－κＣ｝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。Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の構造を以下に示す。
【０８３５】
【化５０】



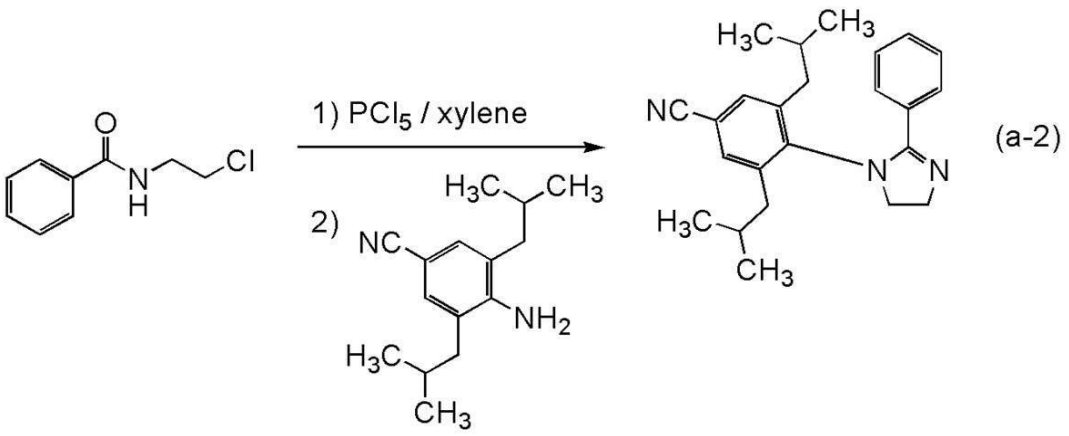
Ir(pim-diBuCNp)$_3$

【０８３６】
≪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（１５８ｍｍｏｌ）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、２８ｇ（１２０ｍｍｏｌ）の４－アミノ－３，５－ジイソブチルベンゾニトリルと６０ｍＬ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５００ｍＬ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１Ｍ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３３ｇ、収率７９％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）

により得られた白色固体が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－２）に示す。

【０８３７】

【化５１】



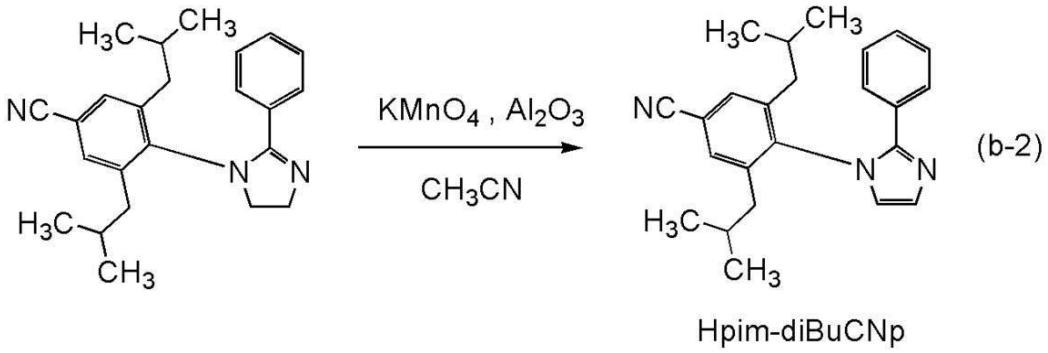
【０８３８】

≪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≫

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１５ｇ（４２ｍｍｏｌ）と、アセトニトリルとを２００ｍＬの三口フラスコに入れた。１３ｇ（８４ｍｍｏｌ）の過マンガン酸カリウムと２９ｇの酸化アルミニウムとを乳鉢に一緒に入れて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８．０ｇ、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。

【０８３９】

【化５２】



【０８４０】

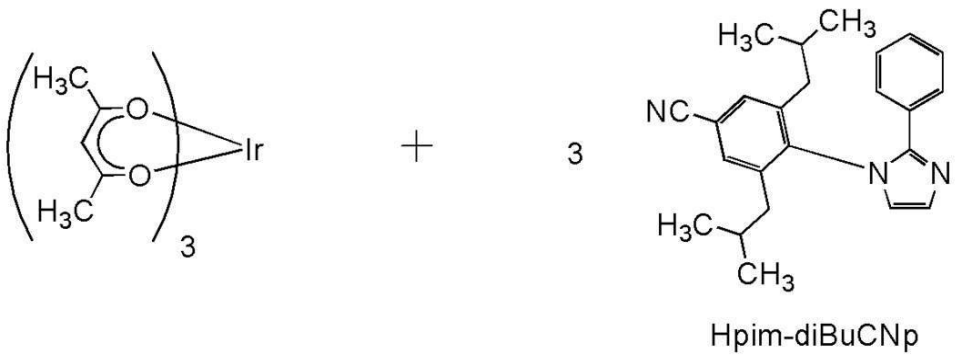
≪ステップ３：トリス｛２－［１－（４－シアノ－２，６－ジイソブチルフェニル）－１Ｈ－イミダゾール－２－イル－κＮ^{3}］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_{3}$）の合成≫

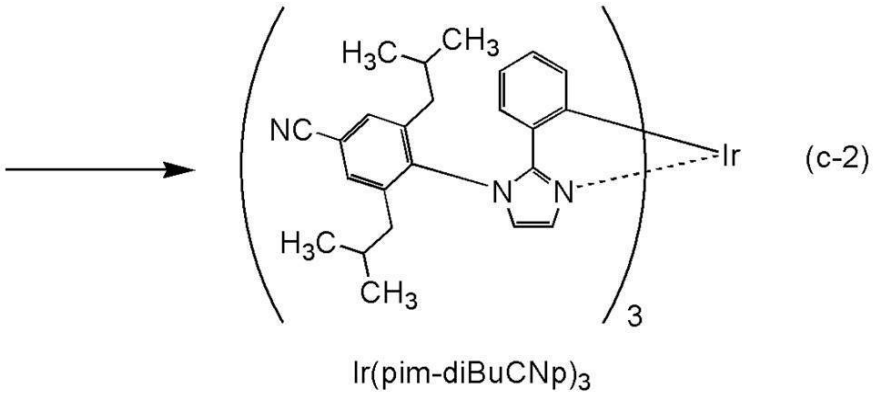
ステップ２で合成したＨｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐのうち５．０ｇ（１４ｍｍｏｌ）と、

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リメ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。

【０８４１】

【化５３】





【０８４２】

上記ステップ３で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図６３に示す。このことから、本合成例４において、上述の構造式（１１８）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_{3}$が得られたことがわかった。

【０８４３】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ δ（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）。

【０８４４】

＜Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_{3}$の特性＞

続いて、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_{3}$のジクロロメタン溶液（０．０１１５ｍｍ

ｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図６４に示す。横軸は波長を、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。

【０８４５】

図６４に示す通り、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た。

【０８４６】

次に、本実施例で得られたＩｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$を液体クロマトグラフ質量分析（ＬＣ／ＭＳ分析）によって質量（ＭＳ）分析した。

【０８４７】

ＬＣ／ＭＳ分析は、ＬＣ（液体クロマトグラフィー）分離をウォーターズ社製Ａｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣにより、ＭＳ分析（質量分析）をウォーターズ社製Ｘｅｖｏ　Ｇ２　Ｔｏｆ　ＭＳにより行った。ＬＣ分離で用いたカラムはＡｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣ　ＢＥＨ　Ｃ８　（２．１×１００ｍｍ　１．７μｍ）、カラム温度は４０℃とした。移動相は移動相Ａをアセトニトリル、移動相Ｂを０．１％ギ酸水溶液とした。また、サンプルは任意の濃度のＩｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$をクロロホルムに溶解し、アセトニトリルで希釈して調整し、注入量は５．０μＬとした。

【０８４８】

ＬＣ分離には移動相の組成を変化させるグラジエント法を用い、測定開始後０分から１分までが、移動相Ａ：移動相Ｂ＝７０：３０、その後組成を変化させ、１０分における移動相Ａと移動相Ｂとの比が移動相Ａ：移動相Ｂ＝９５：５となるようにした。組成変化はリニアに変化させた。

【０８４９】

ＭＳ分析では、エレクトロスプレーイオン化法（ＥＳＩ）によるイオン化を行った。この時のキャピラリー電圧は３．０ｋＶ、サンプルコーン電圧は３０Ｖとし、検出はポジティブモードで行った。以上の条件でイオン化されたｍ／ｚ＝１２６１．６０の成分を衝突室（コリジョンセル）内でアルゴンガスと衝突させてプロダクトイオンに解離させた。アルゴンを衝突させる際のエネルギー（コリジョンエネルギー）は５０ｅＶとした。なお、測定する質量範囲はｍ／ｚ＝１００から２０００とした。図６５に、解離させたプロダクトイオンを飛行時間（ＴＯＦ）型ＭＳで検出した結果を示す。

【０８５０】

図６５の結果から、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$は、主としてｍ／ｚ＝９０５付近にプロダクトイオンが検出されることがわかった。なお、図６５に示す結果は、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$に由来する特徴的な結果を示すデータであることから、混合物中に含まれるＩｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$を同定する上での重要なデータであるといえる。

【０８５１】

なお、ｍ／ｚ＝９０５付近のプロダクトイオンは、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$から配位子であるＨｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐが離脱した状態のカチオンと推定され、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の特徴の一つである。

【０８５２】

次に、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$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。なお測定には、電気化学アナライザー（ビー・エー・エス（株）製、型番：ＡＬＳモデル６００Ａまたは６００Ｃ）を用いた。なお、酸化反応特性では、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$をクロロホルムに溶解させた溶液を、還元反応特性では、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$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、それぞれ測定した。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、還元電位ピーク電位を得た。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、Ｈ

ＯＭＯ準位およびＬＵＭＯ準位を算出した。

【０８５３】

ＣＶ測定の結果、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の酸化電位は０．２８Ｖ、還元電位は－２．５４Ｖであった。また、ＣＶ測定より算出したＩｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$のＨＯＭＯ準位は－５．２２ｅＶ、ＬＵＭＯ準位は－２．４１ｅＶであった。

【実施例８】

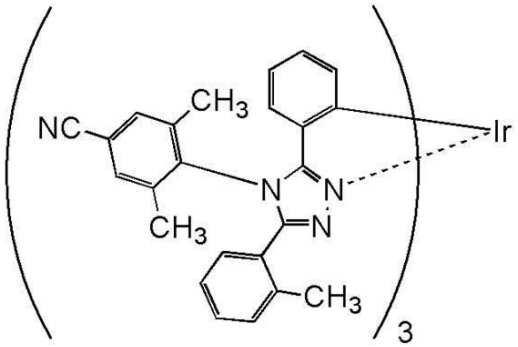
【０８５４】

＜合成例５＞

本合成例５では、実施の形態２の構造式（１２４）で表される本発明の一態様の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－κＮ２］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$）の合成例を具体的に例示する。Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【０８５５】

【化５４】



Ir(mpptz-dmCNp)$_3$

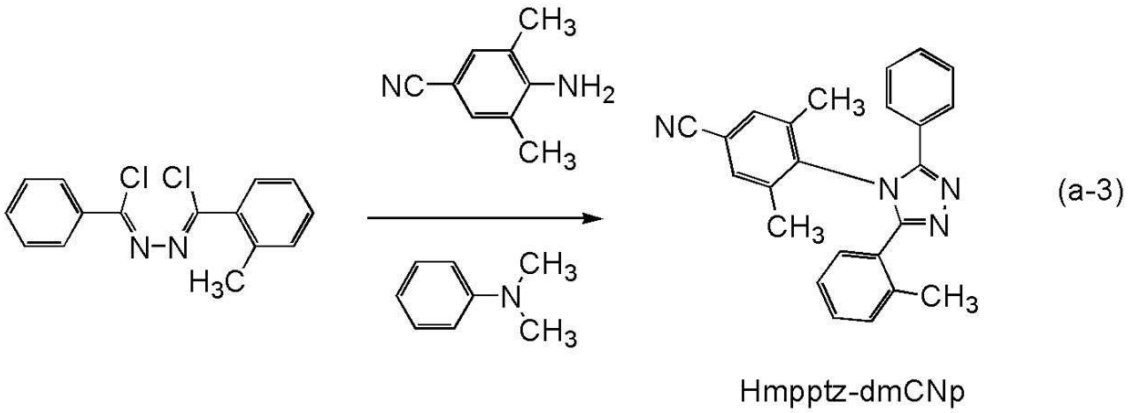
【０８５６】

≪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：Ｈｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）の合成≫

６．５ｇ（４４ｍｍｏｌ）の４－アミノ－２，６－ジメチルベンゾニトリルと、１０ｇ（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、８０ｍＬのＮ，Ｎ－ジメチルアニリンを３００ｍＬの三口フラスコに入れ、窒素気流下、１６０℃で２１時間撹拌し反応させた。反応後、反応溶液を３００ｍＬの１Ｍ塩酸に入れ３時間撹拌した。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ーにより精製した。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、３．５ｇ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：Ｈｍｐｐｔｚ－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。

【０８５７】

【化５５】



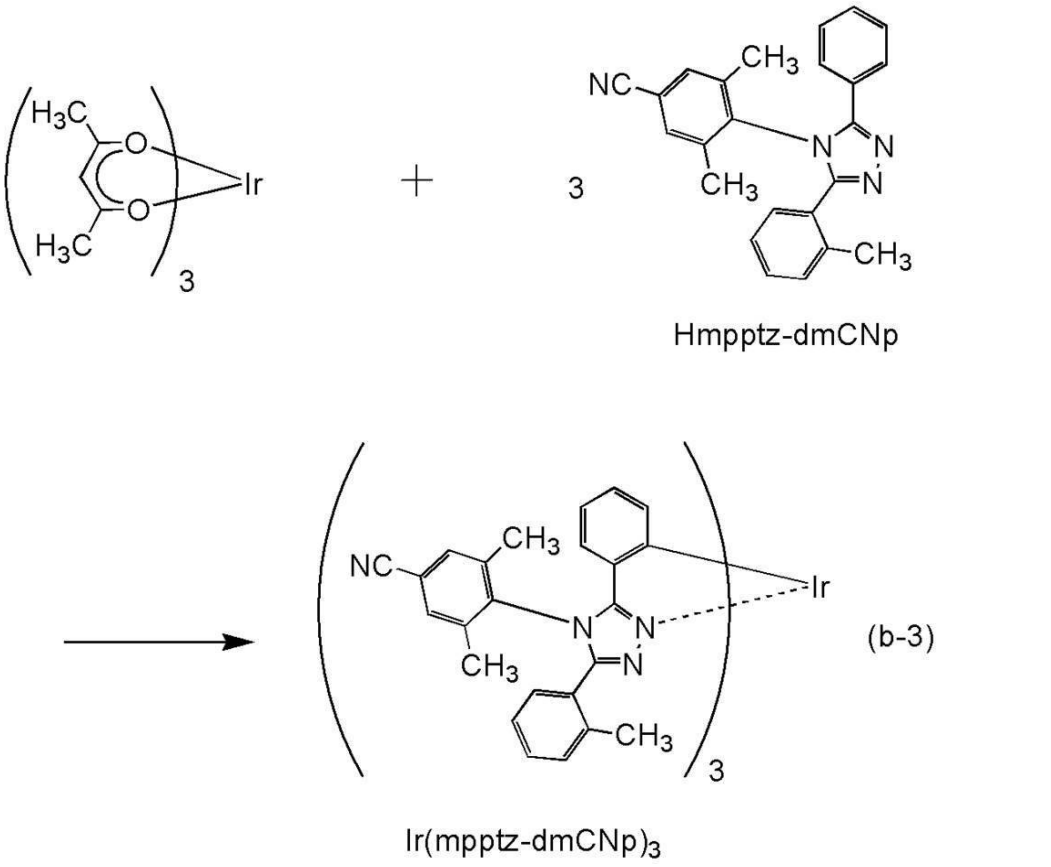
【０８５８】

≪ステップ２：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－κＮ２］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$）の合成≫

次に、上記ステップ１で得られた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。

【０８５９】

【化５６】



【０８６０】

上記ステップ２で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図６６に示す。このことから、本合成例５において、上述の構造式（１２４）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$が得られたことがわかった。

【０８６１】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ δ（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）。

【０８６２】

＜Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$の特性＞

続いて、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$のジクロロメタン溶液（０．０１００ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図６７に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。

【０８６３】

図６７に示す通り、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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緑色の発光が観測された。

【０８６４】

次に、本実施例で得られたＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$を液体クロマトグラフ質量分析（ＬＣ／ＭＳ分析）によって質量（ＭＳ）分析した。

【０８６５】

ＬＣ／ＭＳ分析は、ＬＣ（液体クロマトグラフィー）分離をウォーターズ社製Ａｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣにより、ＭＳ分析（質量分析）をウォーターズ社製Ｘｅｖｏ　Ｇ２　Ｔｏｆ　ＭＳにより行った。ＬＣ分離で用いたカラムはＡｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣ　ＢＥＨ　Ｃ８　（２．１×１００ｍｍ　１．７μｍ）、カラム温度は４０℃とした。移動相は移動相Ａをアセトニトリル、移動相Ｂを０．１％ギ酸水溶液とした。また、サンプルは任意の濃度のＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$をクロロホルムに溶解し、アセトニトリルで希釈して調整し、注入量は５．０μＬとした。

【０８６６】

ＬＣ分離には移動相の組成を変化させるグラジエント法を用い、測定開始後０分から１分までが、移動相Ａ：移動相Ｂ＝７０：１０、その後組成を変化させ、１０分における移動相Ａと移動相Ｂとの比が移動相Ａ：移動相Ｂ＝９５：５となるようにした。組成変化はリニアに変化させた。

【０８６７】

ＭＳ分析では、エレクトロスプレーイオン化法（ＥｌｅｃｔｒｏＳｐｒａｙ　Ｉｏｎｉｚａｔｉｏｎ（略称：ＥＳＩ））によるイオン化を行った。この時のキャピラリー電圧は３．０ｋＶ、サンプルコーン電圧は３０Ｖとし、検出はポジティブモードで行った。以上の条件でイオン化されたｍ／ｚ＝１２８２．４５の成分を衝突室（コリジョンセル）内でアルゴンガスと衝突させてプロダクトイオンに解離させた。アルゴンを衝突させる際のエネルギー（コリジョンエネルギー）は７０ｅＶとした。なお、測定する質量範囲はｍ／ｚ＝１００から１５００とした。図６８に、解離させたプロダクトイオンを飛行時間（ＴＯＦ）型ＭＳで検出した結果を示す。

【０８６８】

図６８の結果から、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$は、主としてｍ／ｚ＝９１９および８９１付近にプロダクトイオンが検出されることがわかった。なお、図６８に示す結果は、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$に由来する特徴的な結果を示すデータであることから、混合物中に含まれるＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$を同定する上での重要なデータであるといえる。

【０８６９】

なお、ｍ／ｚ＝９１９付近のプロダクトイオンは、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_{3}$

から配位子であるＨｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐが離脱した状態のカチオンと推定され、ｍ／ｚ＝８９１付近のプロダクトイオンは、ｍ／ｚ＝９１９付近のプロダクトイオンから、さらにメチル基が２つ解離した状態のカチオンと推定され、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$の特徴の一つである。

【０８７０】

次に、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$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。なお測定には、電気化学アナライザー（ビー・エー・エス（株）製、型番：ＡＬＳモデル６００Ａまたは６００Ｃ）を用いた。なお、酸化反応特性では、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$をクロロホルムに溶解させた溶液を、還元反応特性では、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$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、それぞれ測定した。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、還元電位ピーク電位を得た。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、ＨＯＭＯ準位およびＬＵＭＯ準位を算出した。

【０８７１】

ＣＶ測定の結果、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$の酸化電位は０．４８Ｖ、還元電位は－２．４４Ｖであった。また、ＣＶ測定より算出したＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$のＨＯＭＯ準位は－５．４２ｅＶ、ＬＵＭＯ準位は－２．５１ｅＶであった。

【実施例９】

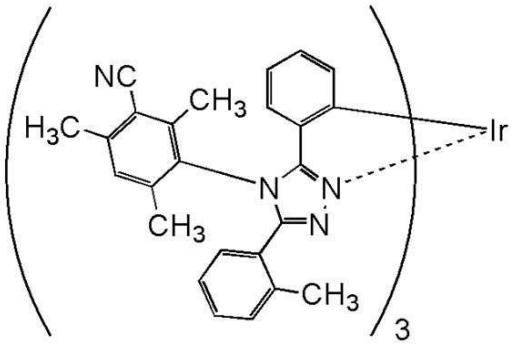
【０８７２】

＜合成例６＞

本合成例６では、実施の形態２の構造式（１２５）で表される本発明の一態様の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－κＮ２］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$）の合成例を具体的に例示する。Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【０８７３】

【化５７】



Ir(mpptz-tm5CNp)$_3$

【０８７４】

≪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－ブロモ－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時間加熱撹拌し反応させた。得られた反応溶液に１００ｍＬのアンモニア水と１００ｍＬの水を加え室温で撹拌した。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。

【０８７５】

【化５８】



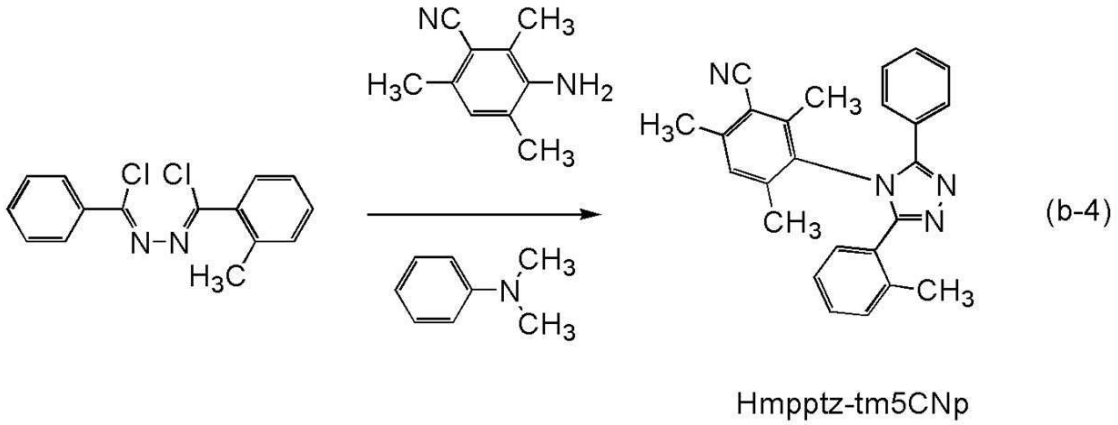
【０８７６】

≪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：Ｈｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）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時間撹拌し反応させた。反応後、反応溶液を３００ｍＬの１Ｍ塩酸に入れ３時間撹拌した。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、５．２ｇ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。

【０８７７】

【化５９】



【０８７８】

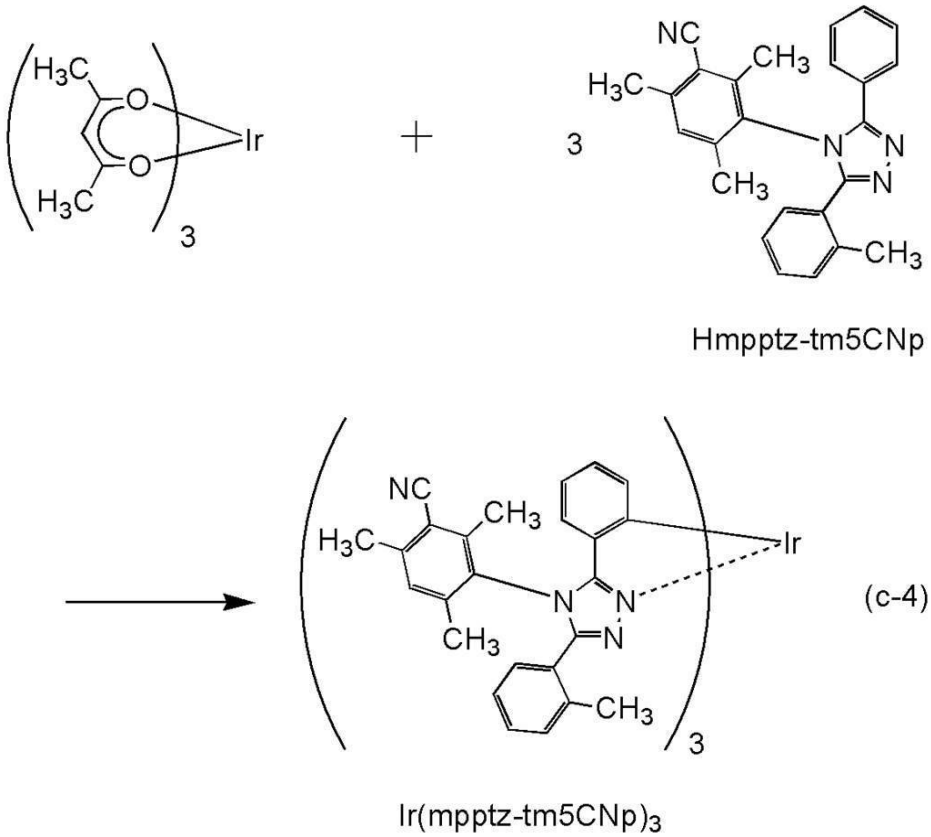
≪ステップ３：トリス｛２－［４－（３－シアノ－２，４，６－トリメチルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ２］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$）の合成≫

次に、上記ステップ２で得られたＨｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐのうち４．５ｇ（１２ｍｍｏｌ）と、１．２ｇ（２．４ｍｍｏｌ）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、０．８０ｇの黄色固体を、収率２５％で得た。得られた黄色固体のうち０．３１ｇをトレインサブリメ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、０．１８ｇ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。

【０８７９】

【化６０】



【０８８０】

上記ステップ３で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図６９に示す。このことから、本合成例６において、上述の構造式（１２５）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_{3}$が得られたことがわかった。

【０８８１】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ δ（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）。

【０８８２】

＜Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_{3}$の特性＞

続いて、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_{3}$のジクロロメタン溶液（０．０１００ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図７０に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。

【０８８３】

図７０に示す通り、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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。

【０８８４】

次に、本実施例で得られたＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$を液体クロマトグラフ質量分析（ＬＣ／ＭＳ分析）によって質量（ＭＳ）分析した。

【０８８５】

ＬＣ／ＭＳ分析は、ＬＣ（液体クロマトグラフィー）分離をウォーターズ社製Ａｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣにより、ＭＳ分析（質量分析）をウォーターズ社製Ｘｅｖｏ　Ｇ２　Ｔｏｆ　ＭＳにより行った。ＬＣ分離で用いたカラムはＡｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣ　ＢＥＨ　Ｃ８　（２．１×１００ｍｍ　１．７μｍ）、カラム温度は４０℃とした。移動相は移動相Ａをアセトニトリル、移動相Ｂを０．１％ギ酸水溶液とした。また、サンプルは任意の濃度のＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$をクロロホルムに溶解し、アセトニトリルで希釈して調整し、注入量は５．０μＬとした。

【０８８６】

ＬＣ分離には移動相の組成を変化させるグラジエント法を用い、測定開始後０分から１分までが、移動相Ａ：移動相Ｂ＝７０：１０、その後組成を変化させ、１０分における移動相Ａと移動相Ｂとの比が移動相Ａ：移動相Ｂ＝９５：５となるようにした。組成変化はリニアに変化させた。

【０８８７】

ＭＳ分析では、エレクトロスプレーイオン化法（ＥＳＩ）によるイオン化を行った。この時のキャピラリー電圧は３．０ｋＶ、サンプルコーン電圧は３０Ｖとし、検出はポジティブモードで行った。以上の条件でイオン化されたｍ／ｚ＝１３２４．４９の成分を衝突室（コリジョンセル）内でアルゴンガスと衝突させてプロダクトイオンに解離させた。アルゴンを衝突させる際のエネルギー（コリジョンエネルギー）は５０ｅＶとした。なお、測定する質量範囲はｍ／ｚ＝１００から２０００とした。図７１に、解離させたプロダクトイオンを飛行時間（ＴＯＦ）型ＭＳで検出した結果を示す。

【０８８８】

図７１の結果から、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$は、主としてｍ／ｚ＝９４７および９１９付近にプロダクトイオンが検出されることがわかった。なお、図７１に示す結果は、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$に由来する特徴的な結果を示すデータであることから、混合物中に含まれるＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$を同定する上での重要なデータであるといえる。

【０８８９】

なお、ｍ／ｚ＝９４７付近のプロダクトイオンは、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$から配位子であるＨｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐが離脱した状態のカチオンと推定され、ｍ／ｚ＝９１９付近のプロダクトイオンは、ｍ／ｚ＝９４７付近のプロダクトイオンから、さらにメチル基が２つ解離した状態のカチオンと推定され、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$の特徴の一つである。

【０８９０】

次に、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$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。なお測定には、電気化学アナライザー（ビー・エー・エス（株）製、型番：ＡＬＳモデル６００Ａまたは６００Ｃ）を用いた。なお、酸化反応特性では、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$をクロロホルムに溶解させた溶液を、還元反応特性では、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$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、それぞれ測定した。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、還元電位ピーク電位を得た。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、ＨＯＭＯ準位およびＬＵＭＯ準位を算出した。

【０８９１】

ＣＶ測定の結果、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$の酸化電位は０．４６Ｖ、還元電位は－２．５８Ｖであった。また、ＣＶ測定より算出したＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$のＨＯＭＯ準位は－５．４０ｅＶ、ＬＵＭＯ準位は－２．３７ｅＶであった。

【実施例１０】

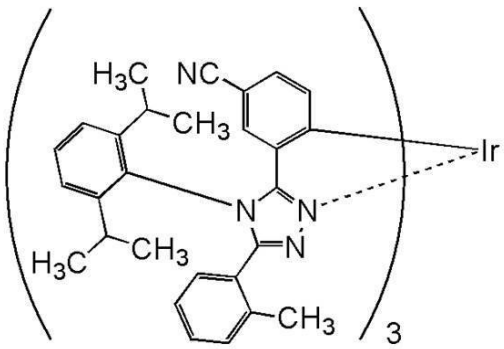
【０８９２】

＜合成例７＞

本実施例では、実施の形態２で構造式（１２６）として示した本発明の一態様の有機金属錯体である、トリス｛４－シアノ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ２］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）の合成方法について説明する。Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【０８９３】

【化６１】



Ir(mp5CNptz-diPrp)$_3$

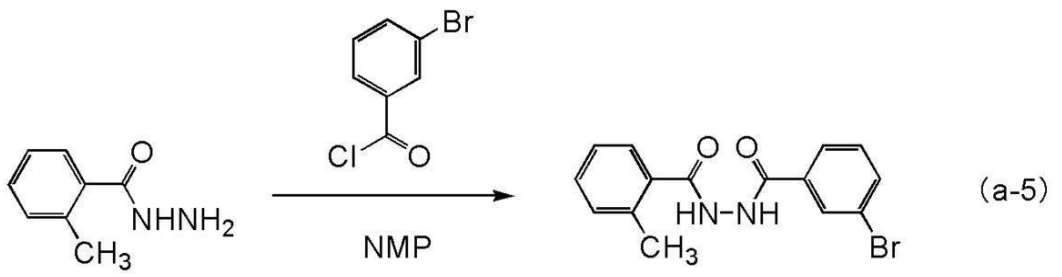
【０８９４】

≪ステップ１：Ｎ－３－ブロモベンゾイル－Ｎ’－２－メチルベンゾイルヒドラジドの合成≫

２５ｇ（１６６ｍｍｏｌ）のＯ－トルイル酸ヒドラジドと、１２０ｍＬ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、フラスコ内を窒素置換し、氷冷下で撹拌した。この混合溶液に３７ｇ（１６６ｍｍｏｌ）の３－ブロモベンゾイルクロリドと５０ｍＬのＮＭＰとの混合溶液をゆっくり滴下し、２０時間撹拌し反応させた。反応後、この反応溶液を３００ｍＬの水にゆっくり加えると、固体が析出した。析出した固体を水と１Ｍ塩酸で交互に超音波洗浄した。その後、固体をエタノールで超音波洗浄し、白色固体を４０ｇ、収率７１％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体がＮ－３－ブロモベンゾイル－Ｎ’－２－メチル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。

【０８９５】

【化６２】



(a-5)

【０８９６】

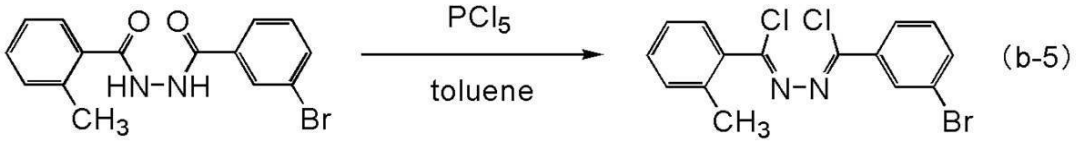
≪ステップ２：Ｎ－クロロ－３－ブロモフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチル

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４０ｇ（１１９ｍｍｏｌ）のＮ－３－ブロモベンゾイル－Ｎ’－２－メチルベンゾイルヒドラジドと、８００ｍＬのトルエンと、を２０００ｍＬの三口フラスコに入れた。この混合溶液に７５ｇ（３６０ｍｍｏｌ）の五塩化リンを加え、窒素気流下、１２０℃で８時間加熱撹拌し反応させた。反応後、この反応溶液を４００ｍＬの水にゆっくりと加え、室温で３０分撹拌した。撹拌後、析出した固体をろ過で取り除き、得られたろ液を水層と有機層に分液し、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合わせた溶液を、４００ｍＬの２Ｍ水酸化カリウム水溶液にゆっくりと加え、室温で４８時間撹拌した。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とを合わせた溶液を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、黄色固体を４３ｇ、収率９７％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－３－ブロモフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチル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。

【０８９７】

【化６３】



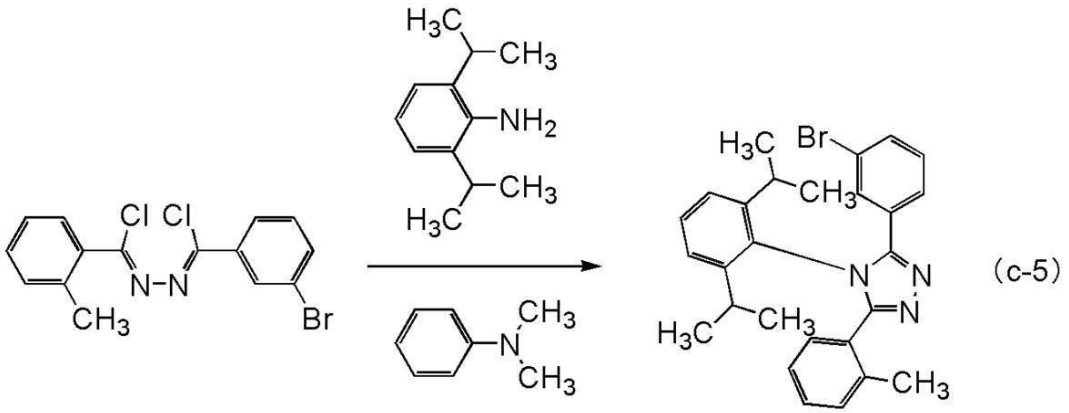
【０８９８】

≪ステップ３：３－（３－ブロモフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾールの合成≫

ステップ２で合成したＮ－クロロ－３－ブロモフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチルフェニルメチリデンヒドラゾンのうち３０ｇ（８１．０ｍｍｏｌ）と、４３ｇ（２４３ｍｍｏｌ）の２，６－ジイソプロピルアニリンと、２５０ｍＬのＮ，Ｎ－ジメチルアニリンと、を１０００ｍＬの三口フラスコに入れ、窒素気流下、１６０℃で１３時間加熱撹拌し反応させた。反応後、反応溶液を５００ｍＬの３Ｍ塩酸に入れ、３０分間撹拌した。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、水、飽和炭酸水素ナトリウム、及び飽和食塩水で洗浄し、ここ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。得られた固体を酢酸エチル／ヘキサンの混合溶媒で再結晶し、白色固体を１８ｇ、収率４６％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体が３－（３－ブロモフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－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。

【０８９９】

【化６４】



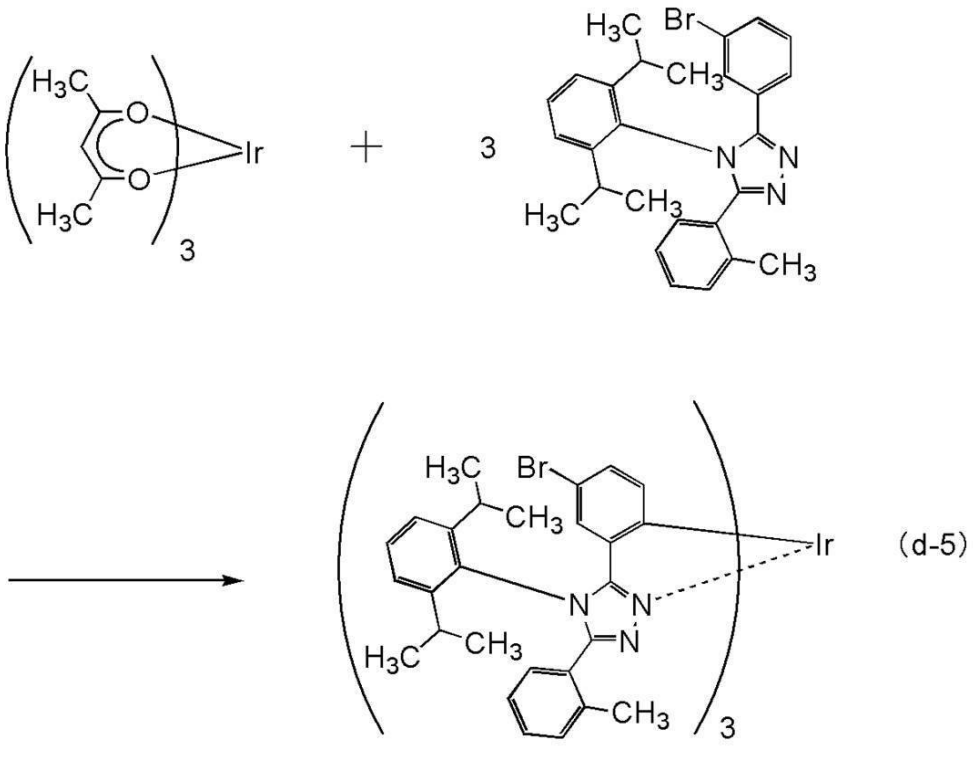
【０９００】

≪ステップ４：トリス｛４－ブロモ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^2］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）の合成≫

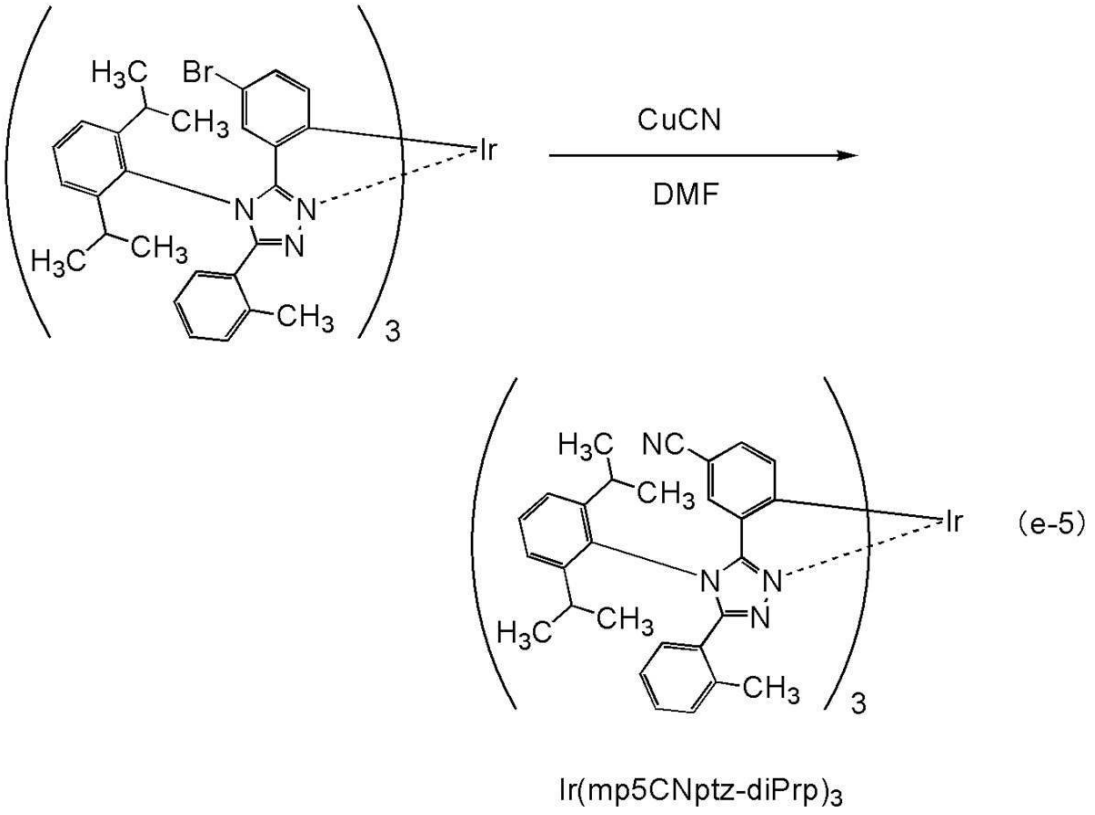
次に、上記ステップ３で得られた３－（３－ブロモフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾールのうち４．８ｇ（１０ｍｍｏｌ）と、１．０ｇ（２．０ｍｍｏｌ）のトリス（アセチルアセトナト）イリジウム（ＩＩＩ）とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、２５０℃にて４０時間加熱し反応させた。得られた反応混合物をジクロロメタンに溶解し、不溶固体を吸引ろ過にて除去した。得られたろ液を、シリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、ジクロロメタンを用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。この固体をジクロロメタンとヘキサンの混合溶媒で洗浄し、黄色固体を１．７ｇ、収率５３％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた黄色固体がトリス｛４－ブロモ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^2］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）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。

【０９０１】

【化６５】



【０９０２】
≪ステップ５：トリス｛４－シアノ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^{2}］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$）の合成≫
次に、上記ステップ４で得られたトリス｛４－ブロモ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^{2}］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）のうち１．２ｇ（０．７４ｍｍｏｌ）と、１０ｍＬのジメチルホルムアミド（ＤＭＦ）と、を５０ｍＬの三口フラスコに入れ、この混合物に０．３０ｇ（３．４ｍｍｏｌ）のシアン化銅を加えて、窒素気流下１５０℃で４４時間加熱撹拌し反応させた。反応後、反応溶液に１０ｍＬのアンモニア水、１０ｍＬの水を加え、室温で撹拌した。得られた混合溶液をジクロロメタンで抽出し、抽出溶液を水、及び飽和食塩水で洗浄した。この溶液に無水硫酸マグネシウムを加えて乾燥し、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。この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。この固体を酢酸エチルにて再結晶し、黄色固体を０．６１ｇ、収率５７％で得た。ステップ５の合成スキームを下記式（ｅ－５）に示す。
【０９０３】
【化６６】



(e-5)

Ir(mp5CNptz-diPrp)$_3$

【０９０４】
上記ステップ５で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図７２に示す。このことから、本合成例７において、上述の構造式（１２６）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$が得られたことがわかった。
【０９０５】
^{1}Ｈ－ＮＭＲ　δ（ＣＤＣｌ$_{3}$）：０．７４－０．８０（ｍ，２７Ｈ），０．９３（ｄ

，９Ｈ），２．１３－２．１７（ｍ，３Ｈ），２．３２（ｓ，９Ｈ），２．６５－２．７０（ｍ，３Ｈ），６．３３（ｄ，３Ｈ），６．８１（ｄ，３Ｈ），６．９１（ｔ，３Ｈ），６．９６－７．０１（ｍ，６Ｈ），７．１２－７．２７（ｍ，９Ｈ），７．３０（ｄ，３Ｈ），７．５６（ｔ，３Ｈ）。

【０９０６】

＜Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の特性＞

続いて、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のジクロロメタン溶液（０．０１００ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図７３に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。なお、図７３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。

【０９０７】

図７３に示す通り、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のジクロロメタン溶液からは、４６０ｎｍ、及び４８９ｎｍに発光ピークを有する青色の発光が観測された。

【０９０８】

次に、本実施例で得られたＩｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$を液体クロマトグラフ質量分析（ＬＣ／ＭＳ分析）によって質量（ＭＳ）分析した。

【０９０９】

ＬＣ／ＭＳ分析は、ＬＣ（液体クロマトグラフィー）分離をウォーターズ社製Ａｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣにより、ＭＳ分析（質量分析）をウォーターズ社製Ｘｅｖｏ　Ｇ２　Ｔｏｆ　ＭＳにより行った。ＬＣ分離で用いたカラムはＡｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣ　ＢＥＨ　Ｃ８　（２．１×１００ｍｍ　１．７μｍ）、カラム温度は４０℃とした。移動相は移動相Ａをアセトニトリル、移動相Ｂを０．１％ギ酸水溶液とした。また、サンプルは任意の濃度のＩｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$をクロロホルムに溶解し、アセトニトリルで希釈して調整し、注入量は５．０μＬとした。

【０９１０】

ＬＣ分離には移動相の組成を変化させるグラジエント法を用い、測定開始後０分から１分までが、移動相Ａ：移動相Ｂ＝８５：１５、その後組成を変化させ、１０分における移動相Ａと移動相Ｂとの比が移動相Ａ：移動相Ｂ＝９５：５となるようにした。組成変化はリニアに変化させた。

【０９１１】

ＭＳ分析では、エレクトロスプレーイオン化法（ＥＳＩ）によるイオン化を行った。この時のキャピラリー電圧は３．０ｋＶ、サンプルコーン電圧は３０Ｖとし、検出はポジティブモードで行った。以上の条件でイオン化されたｍ／ｚ＝１４５１．６４の成分を衝突室（コリジョンセル）内でアルゴンガスと衝突させてプロダクトイオンに解離させた。アルゴンを衝突させる際のエネルギー（コリジョンエネルギー）は５０ｅＶとした。なお、測定する質量範囲はｍ／ｚ＝１００から２０００とした。図７４に、解離させたプロダクトイオンを飛行時間（ＴＯＦ）型ＭＳで検出した結果を示す。

【０９１２】

図７４の結果から、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は、主としてｍ／ｚ＝１０３１付近にプロダクトイオンが検出されることがわかった。なお、図７４に示す結果は、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$に由来する特徴的な結果を示すデータであることから、混合物中に含まれるＩｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$を同定する上での重要なデータであるといえる。

【０９１３】

なお、ｍ／ｚ＝１０３１付近のプロダクトイオンは、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$から配位子である３－（３－シアノフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：Ｈ

ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）が離脱した状態のカチオンと推定され、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の特徴の一つである。

【０９１４】

次に、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－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。なお測定には、電気化学アナライザー（ビー・エー・エス（株）製、型番：ＡＬＳモデル６００Ａまたは６００Ｃ）を用いた。なお、酸化反応特性では、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$をクロロホルムに溶解させた溶液を、還元反応特性では、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$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、それぞれ測定した。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、還元電位ピーク電位を得た。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、ＨＯＭＯ準位およびＬＵＭＯ準位を算出した。

【０９１５】

ＣＶ測定の結果、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の酸化電位は０．９６Ｖ、還元電位は－２．５９Ｖであった。また、ＣＶ測定より算出したＩｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のＨＯＭＯ準位は－５．９０ｅＶ、ＬＵＭＯ準位は－２．３５ｅＶであった。

【実施例１１】

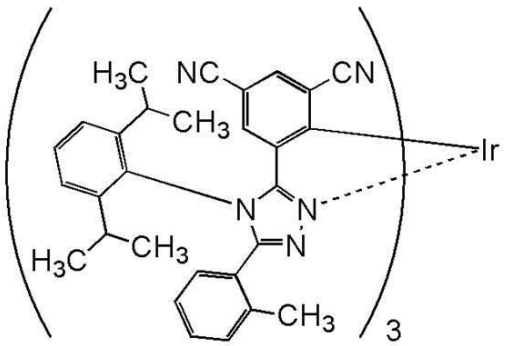
【０９１６】

＜合成例８＞

本実施例では、実施の形態２で構造式（１２８）として示した本発明の一態様の有機金属錯体である、トリス｛４，６－ジシアノ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^2］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）の合成方法について説明する。Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【０９１７】

【化６７】



Ir(mpdCNptz-diPrp)$_3$

【０９１８】

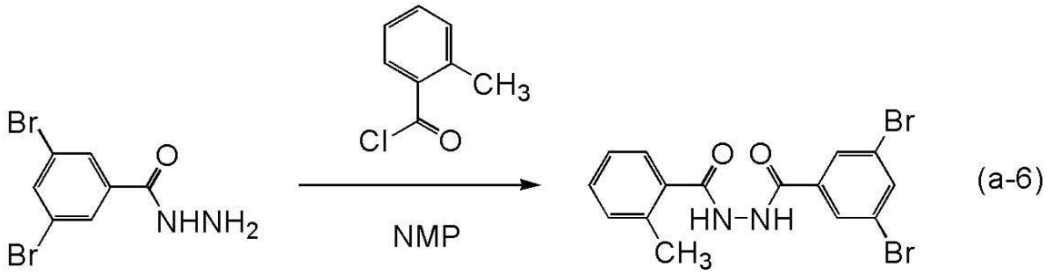
≪ステップ１：Ｎ－３，５－ジブロモベンゾイル－Ｎ’－２－メチルベンゾイルヒドラジドの合成≫

２４ｇ（８０ｍｍｏｌ）の３，５－ジブロモベンゾイルヒドラジドと、１５０ｍＬ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１２ｇ（８０ｍｍｏｌ）のｏ－トルオイルクロリドと２５ｍＬのＮＭＰとの混合溶液をゆっくり滴下し、２０時間撹拌し反応させた。反応後、この反応溶液を３００ｍＬの水にゆっくり加えると、固体が析出した。析出した固体を水と１Ｍ塩酸で交互に超音波洗浄した。その後、固体をエタノールで超音波洗浄し、白

色固体を３１ｇ、収率９３％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体がＮ－３，５－ジブロモベンゾイル－Ｎ’－２－メチル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－６）に示す。

【０９１９】

【化６８】



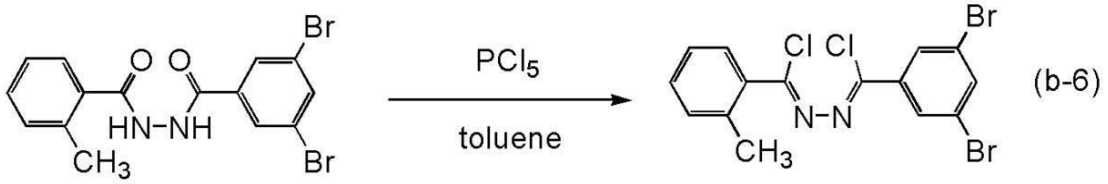
【０９２０】

≪ステップ２：Ｎ－クロロ－３，５－ジブロモフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチル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３１ｇ（７５ｍｍｏｌ）のＮ－３，５－ジブロモベンゾイル－Ｎ’－２－メチルベンゾイルヒドラジドと、５００ｍＬのトルエンを、１０００ｍＬの三口フラスコに入れた。この混合溶液に５０ｇ（２４０ｍｍｏｌ）の五塩化リンを加え、１２０℃で４時間加熱撹拌し反応させた。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、水層をジクロロメタンで抽出した。得られた抽出溶液と有機層とを合わせた溶液を４００ｍＬの１Ｍ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、水層をジクロロメタンで抽出した。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濾過して、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、吸引ろ過することで黄色固体を２７ｇ、収率８１％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－３，５－ジブロモフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチル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－６）に示す。

【０９２１】

【化６９】



【０９２２】

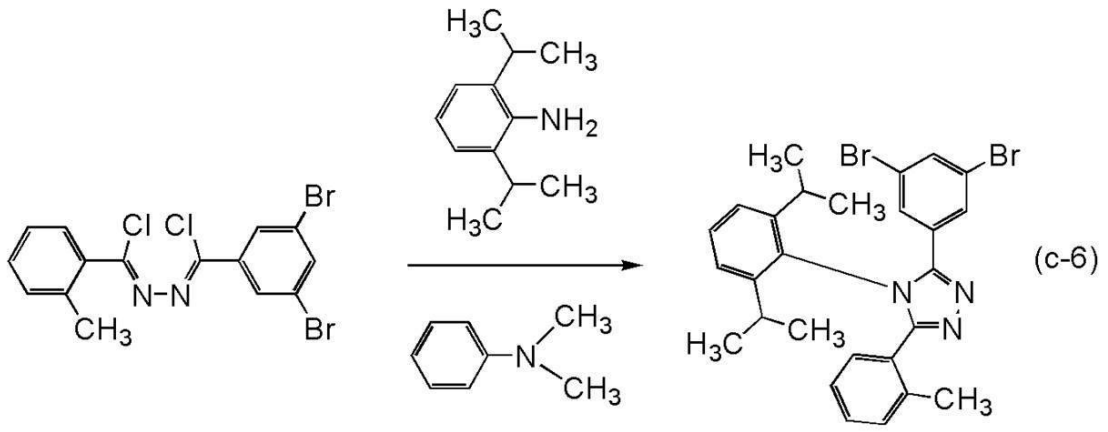
≪ステップ３：３－（３，５－ジブロモフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾールの合成≫

ステップ２で合成した２７ｇ（６０ｍｍｏｌ）のＮ－クロロ－３，５－ジブロモフェニルメチリデン－Ｎ’－クロロ－２－メチルフェニルメチリデンヒドラゾンと、３２ｇ（１８０ｍｍｏｌ）の２，６－ジイソプロピルアニリンと、２００ｍＬのＮ，Ｎ－ジメチルアニリンと、を５００ｍＬの三口フラスコに入れ、窒素気流下、１６０℃で１４時間撹拌し反応させた。反応後、反応溶液を５００ｍＬの３Ｍ塩酸に入れ、１時間撹拌した。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、飽和食塩水で洗浄し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、吸引ろ過で固体を得た。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９．４ｇ、収率２８％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体が３－（３，５－ジブロモフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－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－６）に示す。

【０９２３】

【化７０】



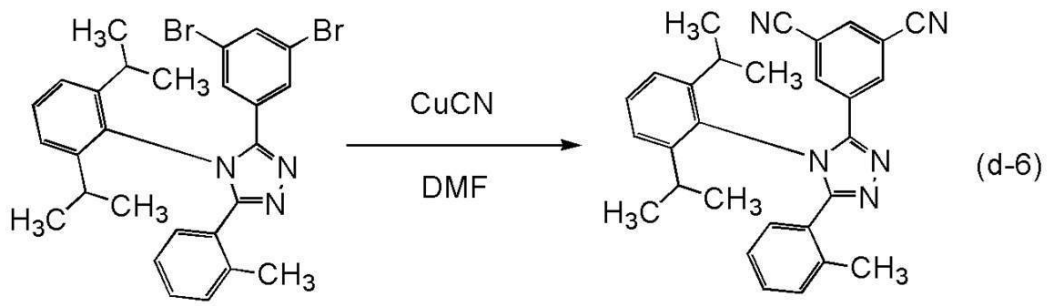
【０９２４】

≪ステップ４：３－（３，５－ジシアノフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：ＨｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）の合成≫

ステップ３で合成した３－（３，５－ジブロモフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾールのうち６．０ｇ（１１ｍｍｏｌ）と、３６ｍＬのＮ，Ｎ－ジメチルホルムアミドと、を２００ｍＬの三口フラスコに入れた。この混合溶液に２．９ｇ（３３ｍｍｏｌ）のシアン化銅を加え、１５０℃で２９．５時間加熱撹拌し反応させた。反応後、この反応溶液に６０ｍＬのアンモニア水と６０ｍＬの水とを加えて室温で２時間撹拌した。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、酢酸エチル：ヘキサン＝１：５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２．０ｇ、収率４２％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体が３－（３，５－ジシアノフェニル）－４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：ＨｍｐｄＣＮｐｔｚ－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－６）に示す。

【０９２５】

【化７１】



HmpdCNptz-diPrp

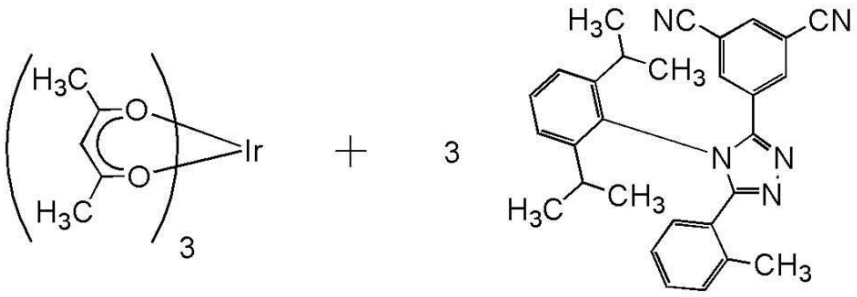
【０９２６】

≪ステップ５：トリス｛４，６－ジシアノ－２－［４－（２，６－ジイソプロピルフェニル）－５－（２－メチルフェニル）－４Ｈ－１，２，４－トリアゾール－３－イル－κＮ^{2}］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$）の合成≫

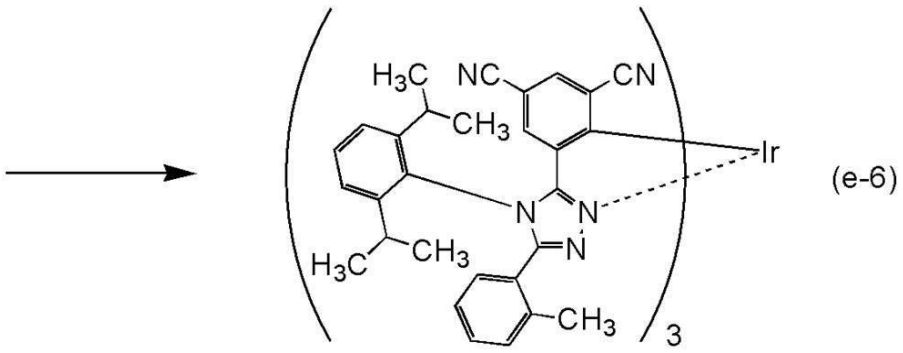
ステップ４で合成した２．０ｇ（４．５ｍｍｏｌ）のＨｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐと、０．４４ｇ（０．９０ｍｍｏｌ）のトリス（アセチルアセトナト）イリジウム（ＩＩＩ）とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、アルゴン気流下、２５０℃にて３７時間撹拌し反応させた。得られた反応混合物をジクロロメタンに加えてろ過し、不溶物を取り除いた。得られたろ液を濃縮し、固体を得た。得られた固体をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、まずジクロロメタンを用い、次いで、ジクロロメタン：酢酸エチル＝１００：３を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル／ヘキサンで再結晶し、黄色固体を０．３１ｇ、収率２２％で得た。得られた０．３１ｇの黄色固体をトレインサブリメーション法により昇華精製した。圧力が３．０×１０$^{-3}$Ｐａの条件で、３１０℃で３８時間加熱して行った。昇華精製後、０．１９ｇの黄色固体を、回収率６０％で得た。ステップ５の合成スキームを下記式（ｅ－６）に示す。

【０９２７】

【化７２】



HmpdCNptz-diPrp



Ir(mpdCNptz-diPrp)$_3$

【０９２８】

上記ステップ５で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図７５に示す。このことから、本合成例において、上述の構造式（１２８）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$が得られたことがわかった。

【０９２９】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ．δ（CD_2Cl_2）：０．１７（ｄ，３Ｈ），０．３２（ｄ，３Ｈ），０．３７（ｄ，３Ｈ），０．５４（ｄ，３Ｈ），０．６４－０．６７（ｍ，６Ｈ），０．７４－０．７８（ｍ，６Ｈ），０．９２（ｄ，３Ｈ），１．０２（ｄ，３Ｈ），１．０６－１．１１（ｍ，６Ｈ），１．８８－１．９７（ｍ，２Ｈ），２．２３－２．２８（ｍ，１Ｈ），２．３８（ｓ，３Ｈ），２．４５（ｓ，３Ｈ），２．４８（ｓ，３Ｈ），２．８２－２．８７（ｍ，１Ｈ），３．１１－３．１６（ｍ，１Ｈ），６．２３（ｄ，１Ｈ），６．４６（ｄ，１Ｈ），６．５８（ｄ，１Ｈ），６．６９（ｄ，１Ｈ），６．７３（ｄ，１Ｈ），６．７７－６．８３（ｍ，２Ｈ），６．８７－６．９４（ｍ，２Ｈ），７．１６－７．３９（ｍ，１４Ｈ），７．４９－７．５０（ｍ，２Ｈ），７．５７（ｔ，３Ｈ）。

【０９３０】

＜Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の特性＞

続いて、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のジクロロメタン溶液（０．０１２５ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図７６に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。なお、図７６に示す吸収スペクトルは、ジクロロメタン溶液（０．０１２５ｍｍｏｌ／Ｌ）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。

【０９３１】

図７６に示すように、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のジクロロメタン溶液からは、４７０ｎｍおよび４９９ｎｍに発光ピークを有する青色の発光が観測された。

【０９３２】

次に、本実施例で得られたＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$を液体クロマトグラフ質量分析（ＬＣ／ＭＳ分析）によって質量（ＭＳ）分析した。

【０９３３】

ＬＣ／ＭＳ分析は、ＬＣ（液体クロマトグラフィー）分離をウォーターズ社製Ａｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣにより、ＭＳ分析（質量分析）をウォーターズ社製Ｘｅｖｏ　Ｇ２　Ｔｏｆ　ＭＳにより行った。ＬＣ分離で用いたカラムはＡｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣ　ＢＥＨ　Ｃ８　（２．１×１００ｍｍ　１．７μｍ）、カラム温度は４０℃とした。移動相は移動相Ａをアセトニトリル、移動相Ｂを０．１％ギ酸水溶液とした。また、サンプルは任意の濃度のＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$をクロロホルムに溶解し、アセトニトリルで希釈して調整し、注入量は５．０μＬとした。

【０９３４】

ＬＣ分離には移動相の組成を変化させるグラジエント法を用い、測定開始後０分から１分までが、移動相Ａ：移動相Ｂ＝８０：２０、その後組成を変化させ、１０分における移動相Ａと移動相Ｂとの比が移動相Ａ：移動相Ｂ＝９５：５となるようにした。組成変化はリニアに変化させた。

【０９３５】

ＭＳ分析では、エレクトロスプレーイオン化法（ＥＳＩ）によるイオン化を行った。この時のキャピラリー電圧は３．０ｋＶ、サンプルコーン電圧は３０Ｖとし、検出はポジティブモードで行った。以上の条件でイオン化されたｍ／ｚ＝１５２６．６２の成分を衝突室（コリジョンセル）内でアルゴンガスと衝突させてプロダクトイオンに解離させた。アルゴンを衝突させる際のエネルギー（コリジョンエネルギー）は５０ｅＶとした。なお、測定する質量範囲はｍ／ｚ＝１００から２０００とした。図７７に、解離させたプロダクトイオンを飛行時間（ＴＯＦ）型ＭＳで検出した結果を示す。

【０９３６】

図７７の結果から、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は、主としてｍ／ｚ＝１０８１付近にプロダクトイオンが検出されることがわかった。なお、図７７に示す結果は、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$に由来する特徴的な結果を示すデータであることから、混合物中に含まれるＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$を同定する上での重要なデータであるといえる。

【０９３７】

なお、ｍ／ｚ＝１０８１付近のプロダクトイオンは、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$から配位子であるＨｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐが離脱した状態のカチオンと推定され、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の特徴の一つである。

【０９３８】

次に、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－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。なお測定には、電気化学アナライザー（ビー・エー・エス（株）製、型番：ＡＬＳモデル６００Ａまたは６００Ｃ）を用いた。なお、酸化反応特性では、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$をクロロホルムに溶解させた溶液を、還元反応特性では、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$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、それぞれ測定した。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、還元電位ピーク電位を得た。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、ＨＯＭＯ準位およびＬＵＭＯ準位を算出した。

【０９３９】

ＣＶ測定の結果、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の還元電位は－２．２０Ｖであった。また、ＣＶ測定より算出したＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のＬＵＭＯ準位は－２．７５ｅＶであった。一方、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の酸化電位は非常に高く正確な値が測定できなかった。そのため、ＣＶ測定より算出されるＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のＨＯＭＯ準位は低く、－６ｅＶ以下であると見積もられる。

【実施例１２】

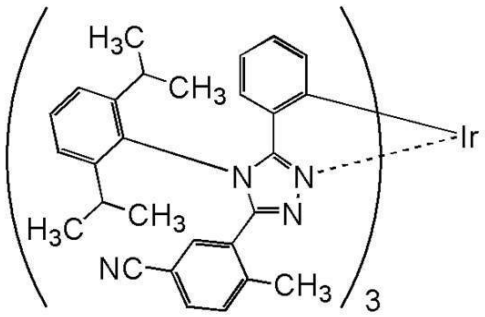
【０９４０】

＜合成例９＞

本実施例では、実施の形態２で構造式（１２９）として示した本発明の一態様の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－κＮ^2］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）の合成方法について説明する。Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【０９４１】

【化７３】



Ir(mCNpptz-diPrp)$_3$

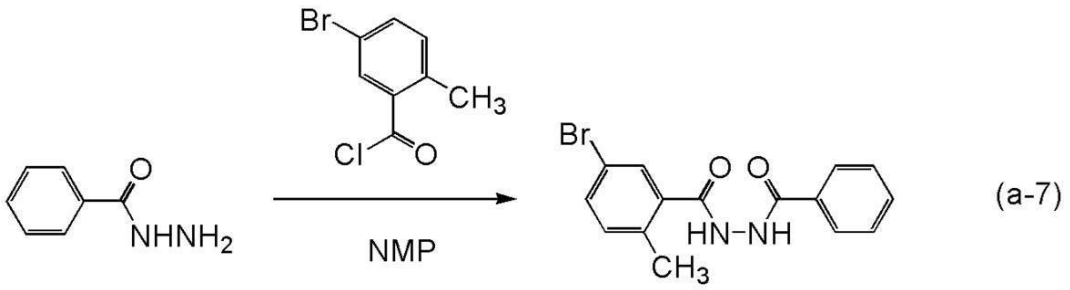
【０９４２】

≪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。析出した固体を水と１Ｍ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３３ｇ、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－ブロモ－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－７）に示す。

【０９４３】

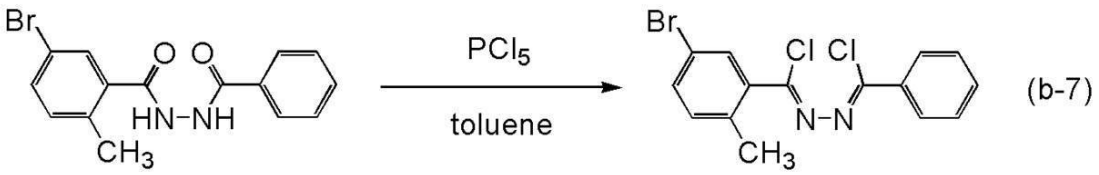
【化７４】



(a-7)

【０９４４】
≪ステップ２：Ｎ－クロロ－５－ブロモ－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－ブロモ－２－メチルベンゾイル－Ｎ’－ベンゾイルヒドラジドのうち２７ｇ（８０ｍｍｏｌ）と、５００ｍＬのトルエンと、を１０００ｍＬの三口フラスコに入れた。この混合溶液に５０ｇ（２４０ｍｍｏｌ）の五塩化リンを加え、１２０℃で８時間加熱撹拌し反応させた。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、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４００ｍＬの１Ｍ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、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２２ｇ、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－ブロモ－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－７）に示す。

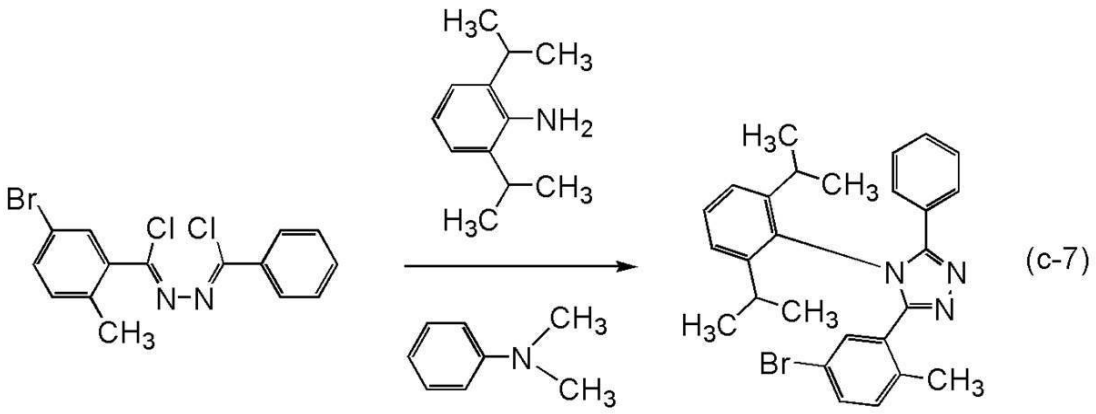
【０９４５】
【化７５】



【０９４６】
≪ステップ３：３－（５－ブロモ－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－トリアゾールの合成≫
ステップ２で合成した２２ｇ（６６ｍｍｏｌ）のＮ－クロロ－５－ブロモ－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、３５ｇ（１９９ｍｍｏｌ）の２，６－ジイソプロピルアニリンと、２００ｍＬのＮ，Ｎ－ジメチルアニリンと、を５００ｍＬの三口フラスコに入れ、窒素気流下、１６０℃で１１．５時間撹拌し反応させた。反応後、反応溶液を５００ｍＬの３Ｍ塩酸に入れ、１時間撹拌した。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１３ｇ、収率４２％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体が３－（５－ブロモ－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－７）に示す。

【０９４７】

【化７６】



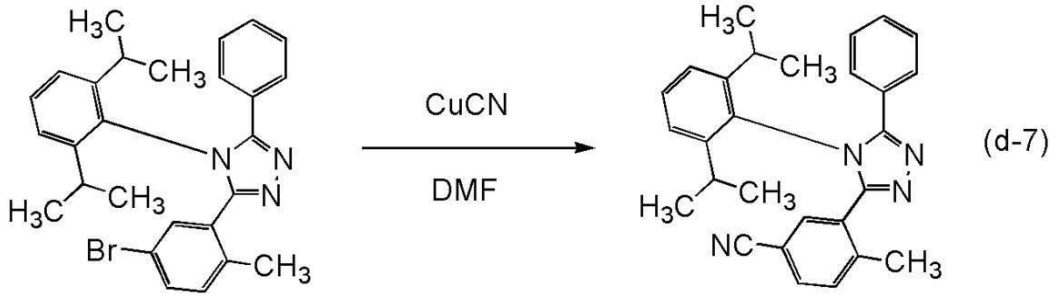
【０９４８】

≪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－ブロモ－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１０ｇ（２１ｍｍｏｌ）と、７０ｍＬのＮ，Ｎ－ジメチルホルムアミドと、を３００ｍＬの三口フラスコに入れた。この混合溶液に２．８ｇ（３２ｍｍｏｌ）のシアン化銅を加え、１５０℃で４３時間加熱撹拌し反応させた。反応後、この反応溶液に１００ｍＬのアンモニア水と１００ｍＬの水とを加えて室温で３０分間撹拌した。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１．９ｇ、収率２１％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－７）に示す。

【０９４９】

【化７７】



HmCNpptz-diPrp

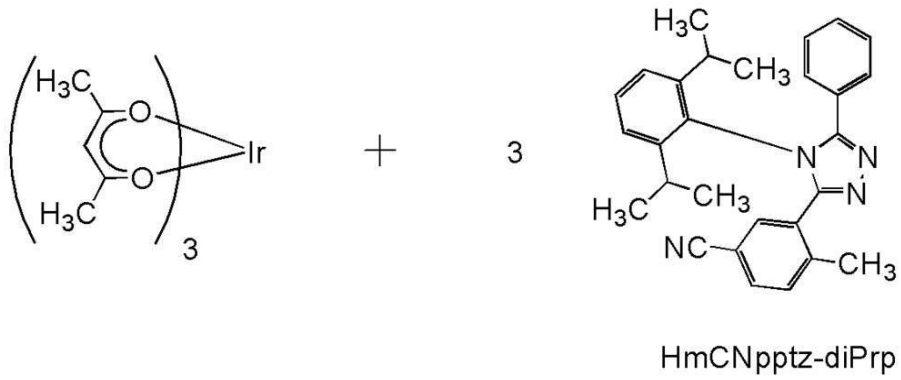
【０９５０】

≪ステップ５：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－κＮ^{2}］フェニル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_{3}$）の合成≫

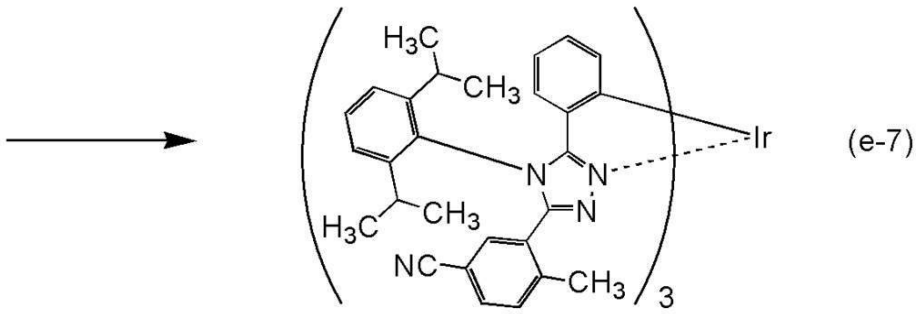
ステップ４で合成した１．９ｇ（４．４ｍｍｏｌ）のＨｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐと、０．４３ｇ（０．８９ｍｍｏｌ）のトリス（アセチルアセトナト）イリジウム（ＩＩＩ）とを、三方コックを付けた反応容器に入れ、アルゴン気流下、２５０℃にて４０．５時間撹拌し反応させた。得られた反応混合物をジクロロメタンに加えてろ過し、不溶物を取り除いた。得られたろ液を濃縮し、固体を得た。得られた固体をシリカカラムクロマトグラフィーにより精製した。展開溶媒には、まずジクロロメタンを用い、次いで、ジクロロメタン：酢酸エチル＝１００：３を用いた。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。得られた固体を酢酸エチル／ヘキサンで再結晶し、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リメ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－７）に示す。

【０９５１】

【化７８】



HmCNpptz-diPrp



Ir(mCNpptz-diPrp)$_3$

【０９５２】

上記ステップ５で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図７８に示す。このことから、本合成例において、上述の構造式（１２９）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$が得られたことがわかった。

【０９５３】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ．δ（ＣＤ$_2$Ｃｌ$_2$）：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）。
【０９５４】
＜Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の特性＞
続いて、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のジクロロメタン溶液（０．０１００ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図７９に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。なお、図７９に示す吸収スペクトルは、ジクロロメタン溶液（０．０１００ｍｍｏｌ／Ｌ）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。
【０９５５】
図７９に示すように、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のジクロロメタン溶液からは、４９９ｎｍに発光ピークを有する青緑色の発光が観測された。
【０９５６】
次に、本実施例で得られたＩｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$を液体クロマトグラフ質量分析（ＬＣ／ＭＳ分析）によって質量（ＭＳ）分析した。
【０９５７】
ＬＣ／ＭＳ分析は、ＬＣ（液体クロマトグラフィー）分離をウォーターズ社製Ａｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣにより、ＭＳ分析（質量分析）をウォーターズ社製Ｘｅｖｏ　Ｇ２　Ｔｏｆ　ＭＳにより行った。ＬＣ分離で用いたカラムはＡｃｑｕｉｔｙ　ＵＰＬＣ　ＢＥＨ　Ｃ８　（２．１×１００ｍｍ　１．７μｍ）、カラム温度は４０℃とした。移動相は移動相Ａをアセトニトリル、移動相Ｂを０．１％ギ酸水溶液とした。また、サンプルは任意の濃度のＩｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$をクロロホルムに溶解し、アセトニトリルで希釈して調整し、注入量は５．０μＬとした。
【０９５８】
ＬＣ分離には移動相の組成を変化させるグラジエント法を用い、測定開始後０分から１分までが、移動相Ａ：移動相Ｂ＝８０：２０、その後組成を変化させ、１０分における移動相Ａと移動相Ｂとの比が移動相Ａ：移動相Ｂ＝９５：５となるようにし、その比で１５分まで保持した。組成変化はリニアに変化させた。
【０９５９】
ＭＳ分析では、エレクトロスプレーイオン化法（ＥＳＩ）によるイオン化を行った。この時のキャピラリー電圧は３．０ｋＶ、サンプルコーン電圧は３０Ｖとし、検出はポジティブモードで行った。以上の条件でイオン化されたｍ／ｚ＝１４５１．６５の成分を衝突室（コリジョンセル）内でアルゴンガスと衝突させてプロダクトイオンに解離させた。アルゴンを衝突させる際のエネルギー（コリジョンエネルギー）は５０ｅＶとした。なお、測定する質量範囲はｍ／ｚ＝１００から２０００とした。図８０に、解離させたプロダクトイオンを飛行時間（ＴＯＦ）型ＭＳで検出した結果を示す。
【０９６０】
図８０の結果から、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は、主としてｍ／ｚ＝１０３１付近にプロダクトイオンが検出されることがわかった。なお、図８０に示す結果は、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$に由来する特徴的な結果を示すデータであることから、混合物中に含まれるＩｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$を同定する上での重要なデータであるといえる。
【０９６１】
なお、ｍ／ｚ＝１０３１付近のプロダクトイオンは、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$から配位子であるＨｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐが離脱した状態のカチオンと推定され、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の特徴の一つである。
【０９６２】
次に、Ｉｒ（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

には、電気化学アナライザー（ビー・エー・エス（株）製、型番：ＡＬＳモデル６００Ａまたは６００Ｃ）を用いた。なお、酸化反応特性では、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$をクロロホルムに溶解させた溶液を、還元反応特性では、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$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、それぞれ測定した。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、還元電位ピーク電位を得た。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、ＨＯＭＯ準位およびＬＵＭＯ準位を算出した。

【０９６３】

ＣＶ測定の結果、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の酸化電位は０．４８Ｖ、還元電位は－２．５１Ｖであった。また、ＣＶ測定より算出したＩｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$のＨＯＭＯ準位は－５．４２ｅＶ、ＬＵＭＯ準位は－２．４３ｅＶであった。

【実施例１３】

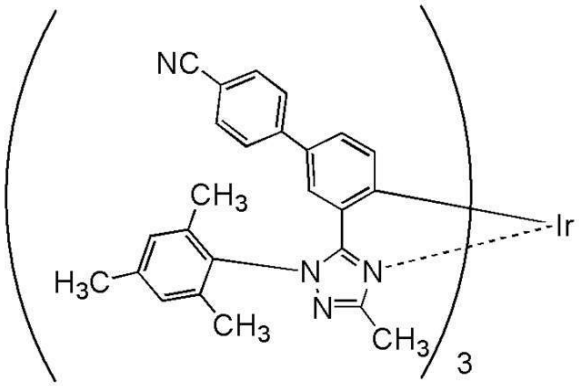
【０９６４】

＜合成例１０＞

本実施例では、実施の形態２の構造式（１３０）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、トリス｛４’－シアノ－３－［３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^4］－１，１’－ビフェニル－４－イル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ＭＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$）の合成例を具体的に例示する。Ｉｒ（ＭＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【０９６５】

【化７９】



Ir(MCN5btz1-tmp)$_3$

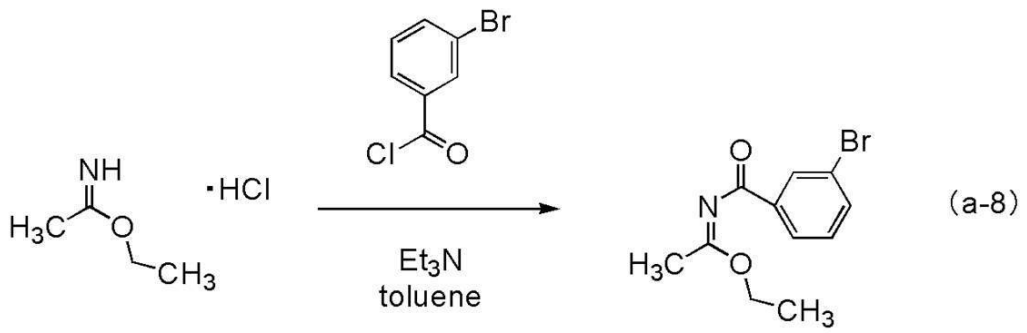
【０９６６】

≪ステップ１：Ｎ－（１－エトキシエチリデン）－３－ブロモベンズアミドの合成≫

１０ｇ（８１ｍｍｏｌ）のアセトイミド酸エチル　塩酸塩と、１５０ｍＬのトルエンと、２０ｇ（２０２ｍｍｏｌ）のトリエチルアミン（Ｅｔ$_3$Ｎ）と、を５００ｍＬの三口フラスコに入れ、窒素気流下、室温で１０分間撹拌した。その後、この混合物に１８ｇ（８１ｍｍｏｌ）の３－ブロモベンゾイルクロリドと３０ｍＬのトルエンとの混合溶媒を滴下し、室温で２４時間撹拌し反応させた。反応後、得られた反応溶液を吸引ろ過し、固体を除去した。得られたろ液を濃縮し、黄色油状物を１９ｇ，収率８７％得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた黄色油状物がＮ－（１－エトキシエチリデン）－３－ブロモベンズアミ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－８）に示す。

【０９６７】

【化８０】



(a-8)

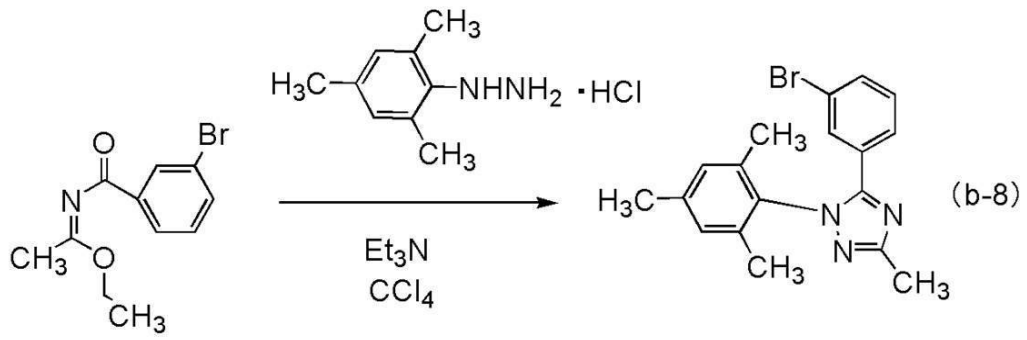
【０９６８】

≪ステップ２：５－（３－ブロモフェニル）－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－３－メチル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾールの合成≫

次に、１３ｇ（７０ｍｍｏｌ）の２，４，６－トリメチルフェニルヒドラジン塩酸塩と、１４０ｍＬの四塩化炭素と、を５００ｍＬの三口フラスコに入れ、この混合物に１４ｇ（１４０ｍｍｏｌ）のトリエチルアミン（$Ｅｔ_{3}Ｎ$）を加え、室温で１時間撹拌した。その後、上記ステップ１で合成した１９ｇ（７０ｍｍｏｌ）のＮ－（１－エトキシエチリデン）－３－ブロモベンズアミドを加え、窒素気流下、室温で１７時間撹拌し反応させた。反応後、得られた反応溶液に水を加え、水層をクロロホルムで抽出した。得られた抽出溶液と有機層を合わせて、水、及び飽和食塩水で洗浄した。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、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、ジクロロメタンを用い、続いてジクロロメタン：酢酸エチル＝９：１（ｖ：ｖ）の混合溶媒を用いた。得られたフラクションを濃縮して、黄色油状物を１６ｇ、収率６５％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた黄色油状物が５－（３－ブロモフェニル）－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－３－メチル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾー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（ｂ－８）に示す。

【０９６９】

【化８１】



(b-8)

【０９７０】

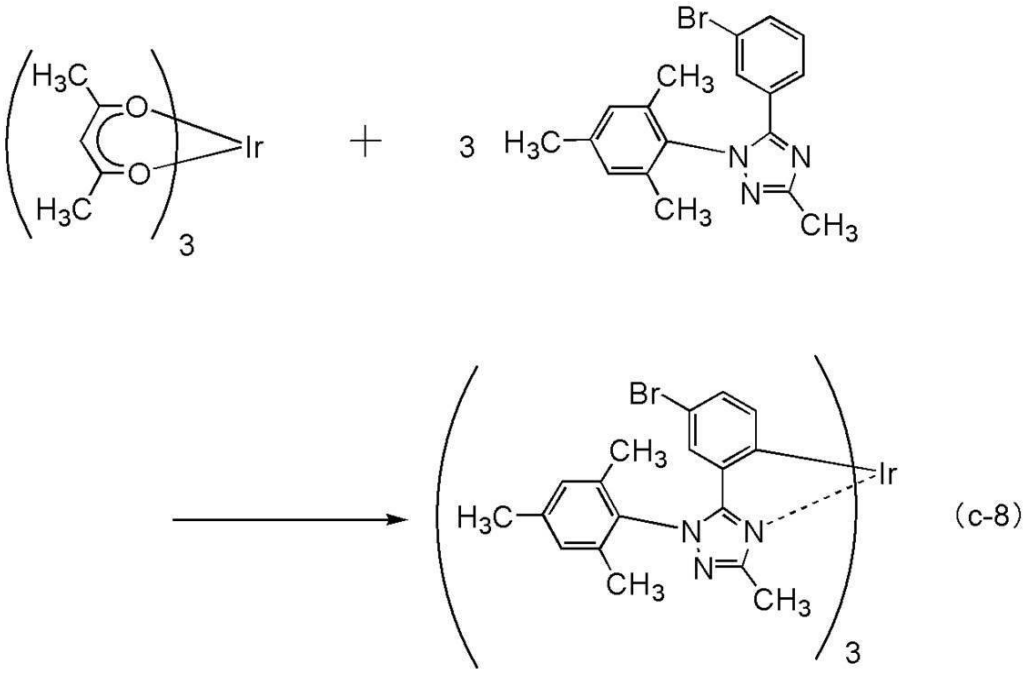
≪ステップ３：トリス［３－ブロモ－２－｛１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－３－メチル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κ$Ｎ^{4}$｝フェニル－κＣ］イリジウム（ＩＩＩ）の合成≫

次に、上記ステップ２で得られた５－（３－ブロモフェニル）－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－３－メチル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾールのうち５．２ｇ（１４ｍｍｏｌ）と、１．４ｇ（２．９ｍｍｏｌ）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４２時間加熱し反応させた。反応後、得られた反応混合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、ジクロロメタン：酢酸エチル＝４０：１（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。この固体を酢酸エチル／ヘキサンで再結晶し、黄色固体を０．７７ｇ、収率２２％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた黄色

固体がトリス［３－ブロモ－２－｛１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－３－メチル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^4｝フェニル－κＣ］イリジウム（ＩＩＩ）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－８）に示す。

【０９７１】

【化８２】



【０９７２】

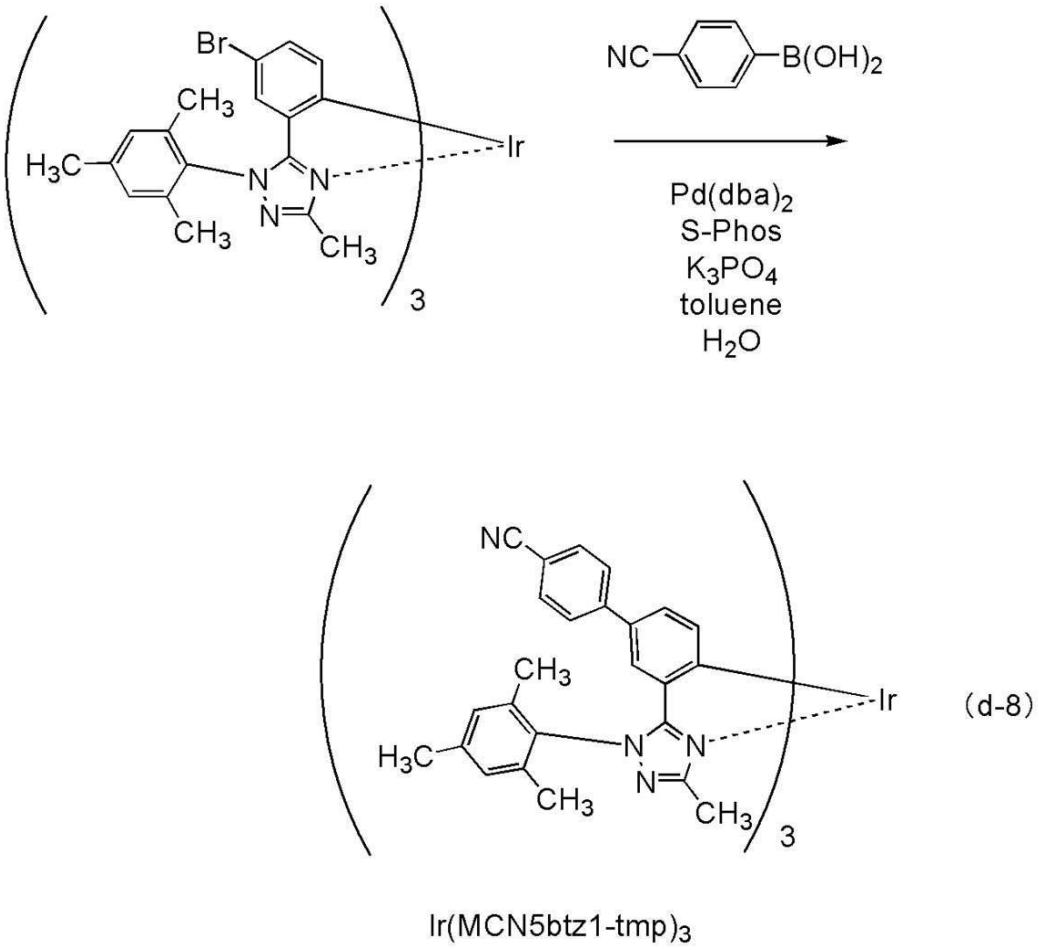
≪ステップ４：トリス｛４’－シアノ－３－［３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^4］－１，１’－ビフェニル－４－イル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ＭＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$）の合成≫

次に、上記ステップ３で得られたトリス［３－ブロモ－２－｛１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－３－メチル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^4｝フェニル－κＣ］イリジウム（ＩＩＩ）のうち０．７６ｇ（０．６１ｍｍｏｌ）と、０．５４ｇ（３．６７ｍｍｏｌ）の４－シアノフェニルボロン酸と、６８ｍｇ（０．１５ｍｍｏｌ）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－ｐｈｏｓ）と、０．５９ｇ（０．１５ｍｍｏｌ）のリン酸カリウムと、を１００ｍＬの三口フラスコに入れ、この混合物に４０ｍＬのトルエン、及び５ｍＬの水を加え、フラスコ内を窒素置換した。この混合物に４２ｍｇ（０．０７３ｍｍｏｌ）のビス（ジベンジリデンアセトン）パラジウム（０）を加え、９０℃で１８時間加熱した。この混合物にさらに６４ｍｇ（０．１５ｍｍｏｌ）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－ｐｈｏｓ）と、４２ｍｇ（０．０７３ｍｍｏｌ）のビス（ジベンジリデンアセトン）パラジウム（０）と、を加え、９０℃で３．５時間加熱撹拌した。その後、水層をトルエンで抽出し、得られた抽出溶液と有機層を合わせて水、及び飽和食塩水で洗浄した。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、ろ液を濃縮して固体を得た。この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：酢酸エチル＝１０：１（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。この固体を酢酸エチル／ヘキサンで再結晶し、黄色固体を０．１４６ｇ、収率１８％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた黄色固体がトリス｛４’－シアノ－３－［３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^4］－１，１’－ビフェニル－４－イル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ＭＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）

$_3$）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－８）に示す。

【０９７３】

【化８３】



【０９７４】

上記ステップ４で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図８１に示す。このことから、本合成例１０において、上述の構造式（１３０）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ＭＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$が得られたことがわかった。

【０９７５】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ δ（ＣＤＣｌ$_3$）：１．８（ｓ，９Ｈ），２．１５（ｓ，９Ｈ），２．１７（ｓ，９Ｈ），２．４４（ｓ，９Ｈ），６．６２（ｄ，３Ｈ），６．６７（ｄ，３Ｈ），６．９７（ｄｄ，３Ｈ），７．０８（ｓ，３Ｈ），７．１５（ｓ，３Ｈ），７．２１（ｄ，６Ｈ），７．５１（ｄ，６Ｈ）。

【０９７６】

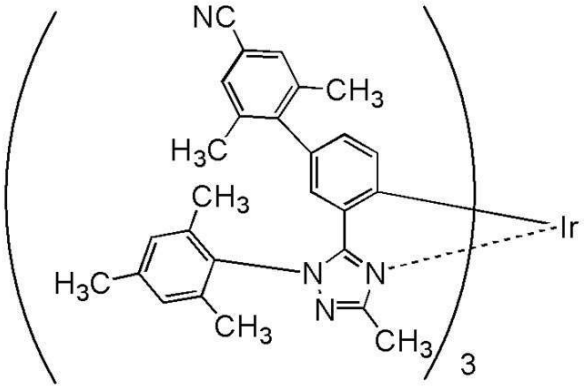
＜Ｉｒ（ＭＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の特性＞

続いて、Ｉｒ（ＭＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$のジクロロメタン溶液（０．００２９ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図８２に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。なお、図８２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。

【０９７７】

図８２に示す通り、Ｉｒ（ＭＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$のジクロロメタン溶液からは

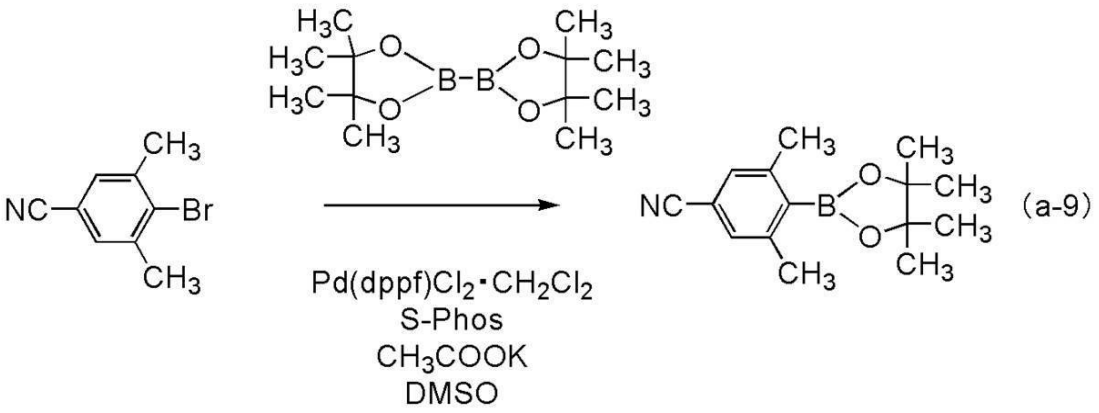
、５０６ｎｍ、及び５４１ｎｍに発光ピークを有する緑色の発光が観測された。
【実施例１４】
【０９７８】
＜合成例１１＞
本実施例では、実施の形態２の構造式（１３１）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、トリス｛４’－シアノ－２’，６’－ジメチル－３－［３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^{4}］－１，１’－ビフェニル－４－イル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_{3}$）の合成例を具体的に例示する。Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_{3}$の構造を以下に示す。
【０９７９】
【化８４】



Ir(MdmCN5btz1-tmp)$_3$

【０９８０】
≪ステップ１：４－シアノ－２，６－ジメチルフェニルボロン酸　ピナコールエステルの合成≫
まず、５．０ｇ（２４ｍｍｏｌ）の４－ブロモ－３，５－ジメチルベンゾニトリルと、７．３ｇ（２９ｍｍｏｌ）のビス（ピナコラト）ジボロンと、８．４ｇ（８６ｍｍｏｌ）の酢酸カリウムと、１２０ｍＬのジメチルスルホキシド（ＤＭＳＯ）と、を三口フラスコに入れ、フラスコ内を窒素置換した。この混合物に、０．２０ｇ（０．２４ｍｍｏｌ）の［１，１’－ビス（ジフェニルホスフィノ）フェロセン］パラジウム（ＩＩ）ジクロロメタン付加物と、０．２０ｇ（０．４８ｍｍｏｌ）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－ｐｈｏｓ）と、を加え、９０℃で７時間加熱撹拌した。その後、この混合物にさらに０．２０ｇ（０．２４ｍｍｏｌ）の［１，１’－ビス（ジフェニルホスフィノ）フェロセン］パラジウム（ＩＩ）ジクロロメタン付加物と、０．２０ｇ（０．４８ｍｍｏｌ）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－ｐｈｏｓ）と、３．５ｇ（１４ｍｍｏｌ）のビス（ピナコラト）ジボロンと、を加え、１００℃で１７時間加熱撹拌し反応させた。得られた反応溶液に水を加え、有機層と水層に分液し、水層はトルエンで抽出した。有機層と抽出溶液を合わせた溶液を、水、及び飽和食塩水で洗浄し、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、ろ液を濃縮して固体を得た。この固体をフラッシュ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、最初にトルエン：酢酸エチル＝１０：１（ｖ：ｖ）の混合溶媒を用い、次いでトルエン：酢酸エチル＝５：１（ｖ：ｖ）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。この固体をトルエンとヘキサンで洗浄し、白色固体を３．５ｇ、収率５７％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体が４－シアノ－２，６－ジメチルフェニルボロン酸　ピナコールエステル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－９）に示す。
【０９８１】

【化８５】



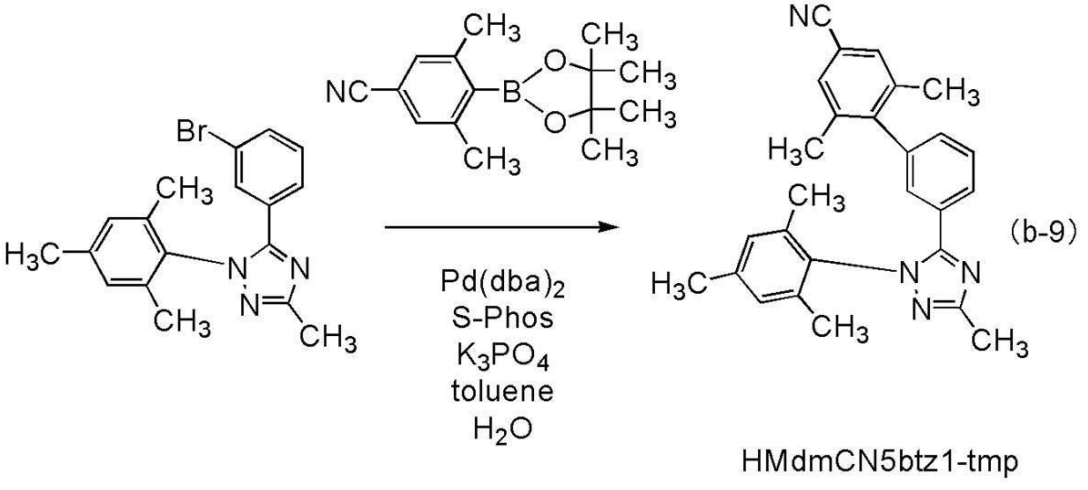
【０９８２】

≪ステップ２：５－（４’－シアノ－２’，６’－ジメチル－１，１’－ビフェニル－３－イル）－３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：ＨＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）の合成≫

次に、上記合成例１０のステップ２で得られる５－（３－ブロモフェニル）－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－３－メチル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾールを４．０ｇ（１１ｍｍｏｌ）と、上記ステップ１で得られた４－シアノ－２，６－ジメチルフェニルボロン酸　ピナコールエステルを３．２ｇ（１２ｍｍｏｌ）と、４．１ｇ（２０ｍｍｏｌ）のリン酸カリウムと、７５ｍＬのトルエンと、７ｍＬの水と、を三口フラスコに入れ、フラスコ内を窒素置換した。この混合物に、０．２６ｇ（０．４５ｍｍｏｌ）のビス（ジベンジリデンアセトン）パラジウム（０）と、０．３７ｇ（０．９０ｍｍｏｌ）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－ｐｈｏｓ）と、を加え、９０℃で７．５時間加熱撹拌し反応させた。反応後、得られた反応溶液を有機層と水層に分液し、水層をトルエンで抽出し、抽出溶液と有機層を合わせて水、及び飽和食塩水で洗浄した。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、ろ液を濃縮して油状物を得た。この油状物をフラッシュ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、その後酢酸エチルを添加してトルエン：酢酸エチル＝４：１まで極性をあげて行った。得られたフラクションを濃縮して、固体を得た。この固体をエタノールで洗浄し、白色固体を３．９ｇ、収率８５％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体が５－（４’－シアノ－２’，６’－ジメチル－１，１’－ビフェニル－３－イル）－３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：ＨＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）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－９）に示す。

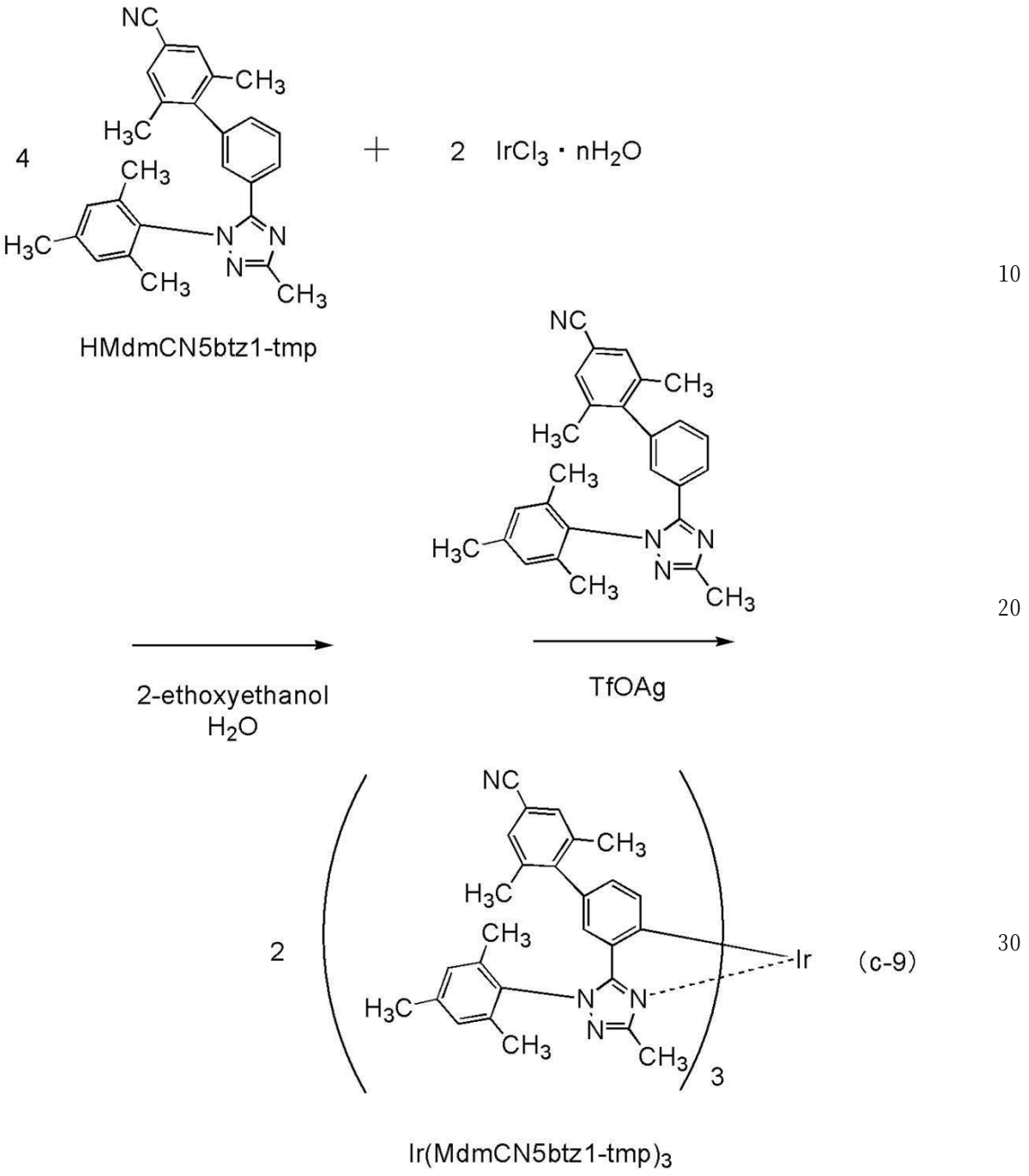
【０９８３】

【化８６】



【０９８４】
≪ステップ３：トリス｛４’－シアノ－２’，６’－ジメチル－３－［３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^{4}］－１，１’－ビフェニル－４－イル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_{3}$）の合成≫
次に、上記ステップ２で得られた配位子であるＨＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐのうち１．０ｇ（２．５ｍｍｏｌ）と、０．３３ｇ（１．１ｍｍｏｌ）の塩化イリジウム水和物と、１５ｍＬの２－エトキシエタノールと、５ｍＬの水と、を５０ｍＬのナス型フラスコに入れ、フラスコ内をアルゴン置換した。このフラスコに１００Ｗ、１００℃の条件でマイクロ波を１時間照射することにより加熱し、反応を行った。反応後、得られた反応溶液を濃縮し、黄色油状物を得た。この油状物に、０．５８ｇ（２．２ｍｍｏｌ）のトリフルオロメタンスルホン酸銀と、配位子であるＨＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐのうち２．２８ｇ（５．６１ｍｍｏｌ）と、を加え、フラスコ内を窒素置換し、１６５℃で２３時間加熱撹拌し反応させた。反応後、得られた反応混合物をジクロロメタンに溶解し、吸引ろ過して不溶固体を除去した。得られたろ液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：酢酸エチル＝５：１（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。この固体を酢酸エチル／ヘキサンで再結晶し、黄色固体を８ｍｇ、収率０．５％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた黄色固体がトリス｛４’－シアノ－２’，６’－ジメチル－３－［３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^{4}］－１，１’－ビフェニル－４－イル－κＣ｝イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_{3}$）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－９）に示す。
【０９８５】

【化８７】



【０９８６】

上記ステップ３で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図８３に示す。このことから、本合成例１１において、上述の構造式（１３１）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_{3}$が得られたことがわかった。

【０９８７】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ δ（ＣＤ$_{2}$Ｃｌ$_{2}$）：１．７１（ｓ，９Ｈ），１．８６（ｓ，９Ｈ），１．９０（ｓ，９Ｈ），２．１０（ｓ，９Ｈ），２．１２（ｓ，９Ｈ），２．２８（ｓ，９Ｈ），６．１９（ｄ，３Ｈ），６．４４（ｄｄ，３Ｈ），６．７０（ｄ，３Ｈ），６．９５（ｓ，３Ｈ），７．００（ｓ，３Ｈ），７．２５（ｓ，６Ｈ）。

【０９８８】

＜Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_{3}$の特性＞

続いて、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$のジクロロメタン溶液（０．０１４ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図８４に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。なお、図８４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。

【０９８９】

図８４に示す通り、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$のジクロロメタン溶液からは、４６２ｎｍ、及び４９０ｎｍに発光ピークを有する青色の発光が観測された。

【０９９０】

次に、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$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。なお測定には、電気化学アナライザー（ビー・エー・エス（株）製、型番：ＡＬＳモデル６００Ａまたは６００Ｃ）を用いた。なお、酸化反応特性では、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$をクロロホルムに溶解させた溶液を、還元反応特性では、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$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、それぞれ測定した。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、還元電位ピーク電位を得た。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、ＨＯＭＯ準位およびＬＵＭＯ準位を算出した。

【０９９１】

ＣＶ測定の結果、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の酸化電位は０．７２Ｖ、還元電位は－２．７０Ｖであった。また、ＣＶ測定より算出したＩｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$のＨＯＭＯ準位は－５．６６ｅＶ、ＬＵＭＯ準位は－２．２４ｅＶであった。

【実施例１５】

【０９９２】

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乃至発光素子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４２を参酌すればよい。また、素子構造の詳細を表９に示す。また、使用した化合物の構造と略称については、先の実施例を参酌すればよい。

【０９９３】

【表９】

	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 : $Ir(pim\text{-}diBuCNp)_3$	0.6:0.4:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : $Ir(pim\text{-}diBuCNp)_3$	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9	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 : $Ir(pim\text{-}diBuCNp)_3$	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10	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 : $Ir(mpptz\text{-}dmCNp)_3$	0.8:0.2:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}dmCNp)_3$	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11	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 : $Ir(mpptz\text{-}tm5CNp)_3$	0.8:0.2:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : $Ir(mpptz\text{-}tm5CNp)_3$	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	−

【０９９４】

＜発光素子の作製＞

≪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７０ｎｍになるように形成した。なお、電極１０１の電極面積は、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【０９９５】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、MoO_3と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）が１：０．５になるように、且つ厚さが２０ｎｍになるように共蒸着した。

【０９９６】

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。

【０９９７】

次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰ

と、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$とを重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（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：Ｉｒ（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、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【０９９８】

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。

【０９９９】

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。

【１０００】

次に、窒素雰囲気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。

【１００１】

≪発光素子９の作製≫

発光素子９は、先に示す発光素子８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８と同様の作製方法とした。

【１００２】

発光素子９の発光層１６０として、３５ＤＣｚＰＰｙと、ＰＣＣＰと、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$と、を重量比（３５ＤＣｚＰＰｙ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（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、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１００３】

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。

【１００４】

≪発光素子１０の作製≫

発光素子１０は、先に示す発光素子８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８と同様の作製方法とした。

【１００５】

発光素子１０の発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$とを重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（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：Ｉｒ（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、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１００６】

≪発光素子１１の作製≫

発光素子１１は、先に示す発光素子８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８と同様の作製方法とした。

【１００７】

発光素子１１の発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍＣＮｐ）$_3$と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍＣＮｐ）$_3$）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（ｍｐｐｔｚ－ｔｍＣＮｐ）$_3$）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（ｍｐｐｔｚ－ｔｍＣＮｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１００８】

＜発光素子の特性＞

作製した発光素子８乃至発光素子１１の電流効率－輝度特性を図８５に示す。また、輝度－電圧特性を図８６に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図８７に示す。また、電力効率－輝度特性を図８８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。

【１００９】

また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子８乃至発光素子１１の素子特性を表１０に示す。

【１０１０】

【表１０】

	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	4.0	1.2	(0.23, 0.55)	780	66	52	23
発光素子9	5.0	1.1	(0.23, 0.57)	1000	93	58	32
発光素子10	3.3	1.1	(0.21, 0.50)	860	79	75	31
発光素子11	3.3	1.4	(0.21, 0.48)	1000	76	72	29

【１０１１】

また、発光素子８乃至発光素子１１にそれぞれ２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図８９に示す。

【１０１２】

図８５乃至図８８、及び表１０で示すように、発光素子８乃至発光素子１１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、発光素子９、発光素子１０、及び発光素子１１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。

【１０１３】

また、図８９に示すように、発光素子８、発光素子９、発光素子１０、及び発光素子１１の電界発光スペクトルのピーク波長はそれぞれ４９８ｎｍ、５０２ｎｍ、４８８ｎｍ、４８５ｎｍであり、半値全幅はそれぞれで７０ｎｍ、６７ｎｍ、６４ｎｍ、７７ｎｍ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ー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。

【１０１４】

また、図８５乃至図８８、及び表１０で示すように、発光素子８、発光素子１０、及び発光素子１１は、発光素子９と比べて、低い駆動電圧で駆動した。

【１０１５】

先の実施例で示したように、発光素子８、発光素子１０、及び発光素子１１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準位より低い。そのため、一対の電極から注入されたキャリア（電子および正孔）が、効率よくホスト材料である第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ＰＣＣＰ）にそれぞれ注入され、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。したがって、発光素子８、発光素子１０、及び発光素子１１は、高い発光効率と低い駆動電圧を両立した優れた特性を示している。

【１０１６】

また、先の実施例で示したＩｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の吸収スペクトル（図６４）、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$の吸収スペクトル（図６７）、及びＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$の吸収スペクトル（図７０）より、それぞれ吸収端を求め、直接遷移を仮定した遷移エネルギーを見積もった。その結果、Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$の吸収端は４８４ｎｍであり、遷移エネルギーは２．５６ｅＶと算出された。また、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$の吸収端は４７５ｎｍであり、遷移エネルギーは２．６１ｅＶと算出された。また、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－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。

【１０１７】

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。

【１０１８】

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２．８１ｅＶであり、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$は２．９１ｅＶであり、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$は３．０３ｅＶであった。

【１０１９】

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０．２５ｅＶ、０．３０ｅＶ、及び０．４１ｅＶ大きい結果であった。

【１０２０】

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８９に示した発光素子８、発光素子１０、及び発光素子１１の電界発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長がそれぞれ、４９８ｎｍ、４８８ｎｍ、及び４８５ｎｍであったことから、それぞれ２．４９ｅＶ、２．５４ｅＶ、及び２．５６ｅＶと算出された。

【１０２１】

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、発光エネルギーより、それぞれ０．３２ｅＶ、０．３７ｅＶ、及び０．４７ｅＶ大きい結果であった。

【１０２２】

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０．３ｅＶ以上大きい。そ

のため、一対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。

【１０２３】

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。

【１０２４】

なお、発光素子８、発光素子１０、及び発光素子１１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２．７５ｅＶと算出された。すなわち、発光素子８、発光素子１０、及び発光素子１１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（Ｉｒ（ｐｉｍ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｍＣＮｐ）$_3$、及びＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｔｍ５ＣＮｐ）$_3$）のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（それぞれ２．８１ｅＶ、２．９１ｅＶ、３．０３ｅＶ）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２．５６ｅＶ、２．６１ｅＶ、２．６２ｅＶ）より大きい。したがって、発光素子８、発光素子１０、及び発光素子１１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。

【１０２５】

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。

【１０２６】

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。

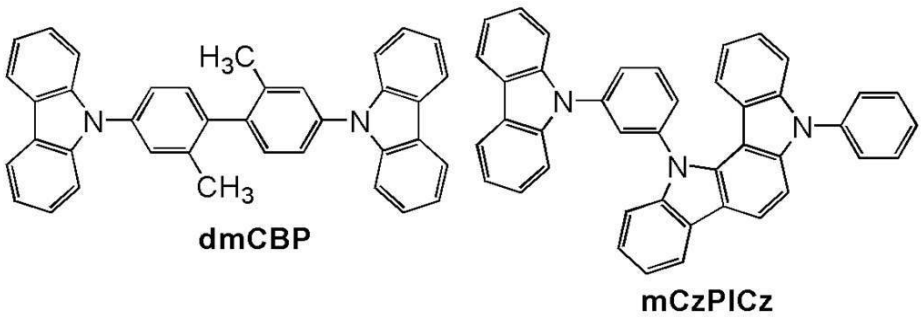
【実施例１６】

【１０２７】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子（発光素子１２及び発光素子１３）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４２を参酌すればよい。また、素子構造の詳細を表１１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。

【１０２８】

【化８８】



【１０２９】

【表１１】

	層	符号	膜厚(nm)	材料	重量比
発光素子12	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 : $Ir(mp5CNptz\text{-}diPrp)_3$	0.8:0.2:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : mCzPICz : $Ir(mp5CNptz\text{-}diPrp)_3$	0.6:0.4:0.125
	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	−
発光素子13	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	40	4,6mCzP2Pm : mCzPICz : $Ir(mpdCNptz\text{-}diPrp)_3$	0.8:0.2:0.125
	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	−

【１０３０】

＜発光素子の作製＞

≪発光素子１２の作製≫

基板２００上に電極１０１として、ＩＴＳＯ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、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【１０３１】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、MoO_3と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）が１：０．５になるように、且つ厚さが２０ｎｍになるように共蒸着した。

【１０３２】

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’－ジメチルビフェニル（略称：ｄｍＣＢＰ）を厚さが２０ｎｍになるように蒸着した。

【１０３３】

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、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$とを重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ｍＣｚＰＩＣｚ：Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）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：ｍＣｚＰＩＣｚ：Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）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、ｍＣｚＰＩＣｚが第２の有機化合物であり、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１０３４】

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。

【１０３５】

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。

【１０３６】

次に、窒素雰囲気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１２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１２を得た。

【１０３７】

≪発光素子１３の作製≫

発光素子１３は、先に示す発光素子１２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１２と同様の作製方法とした。

【１０３８】

発光素子１３の発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ｍＣｚＰＩＣｚと、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒＰ）$_3$とを重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ｍＣｚＰＩＣｚ：Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒＰ）$_3$）が０．８：０．２：０．１２５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、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ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（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒＰ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１０３９】

＜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１２及び発光素子１３）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ｍＣｚＰＩＣｚ単体の薄膜の発光スペクトルを測定した結果と、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ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９０に示す。

【１０４０】

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（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ｍＣｚＰＩＣｚ）は１：１とした。

【１０４１】

図９０に示すように、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとｍＣｚＰＩＣｚとの混合薄膜の発光スペクトルはピーク波長が４７７ｎｍ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３７２ｎｍ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、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍのＬＵＭＯ準位は、ｍＣｚＰＩＣｚのＬＵＭＯ準位より低く、ｍＣｚＰＩＣｚのＨＯＭＯ準位は、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍのＨＯＭＯ準位より高い。また、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとｍＣｚＰＩＣｚとの混合薄膜の発光は、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ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、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ単体及びｍＣｚＰＩＣｚ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ｍＣｚＰＩＣｚ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ｍＣｚＰＩＣｚ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。

【１０４２】

また、図７３及び図７６に示したように、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－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４５０ｎｍ付近であり、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとｍＣｚＰＩＣｚ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いる。したがって

、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍおよびｍＣｚＰＩＣｚ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。

【１０４３】

上記のように、発光素子１２及び発光素子１３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ホスト材料を有する発光素子である。

【１０４４】

次に、ホスト材料として用いた第２の有機化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）の三重項励起エネルギー準位（Ｔ１準位）を測定した。なお、第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）の三重項励起エネルギー準位（Ｔ１準位）は先の実施例４で示したとおりである。

【１０４５】

三重項励起エネルギー準位の測定は、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１０Ｋ、励起光としてＨｅ－Ｃｄレーザ（３２５ｎｍ）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。

【１０４６】

第２の有機化合物（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であり、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。また、実施例４で示したように、第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）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、４５９ｎｍであり、三重項励起エネルギー準位（Ｔ１準位）は２．７０ｅＶであった。

【１０４７】

また、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９０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。

【１０４８】

また、後に示すように、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。

【１０４９】

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（ｍＣｚＰＩＣｚ）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。

【１０５０】

＜発光素子の特性＞

作製した発光素子１２及び発光素子１３の電流効率－輝度特性を図９１に示す。また、輝度－電圧特性を図９２に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図９３に示す。また、電力効率－輝度特性を図９４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。

【１０５１】

また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子１２及び発光素子１３の素子特性を表１２に示す。

【１０５２】

【表１２】

	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12	3.2	1.8	(0.16, 0.28)	840	47	46	26
発光素子13	3.3	1.9	(0.18, 0.38)	1100	59	57	27

【１０５３】

また、発光素子１２及び発光素子１３にそれぞれ２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図９５に示す。

【１０５４】

図９１乃至図９４、及び表１２で示すように、発光素子１２及び発光素子１３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１２及び発光素子１３の外部量子効率の最大値はそれぞれ２６％及び２８％と良好な値を示した。

【１０５５】

また、図９５に示すように、発光素子１２及び発光素子１３の電界発光スペクトルのピーク波長はそれぞれ４６４ｎｍ及び４７１ｎｍであり、半値全幅がそれぞれ６０ｎｍ及び７０ｎｍである、色純度の高い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ー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。

【１０５６】

また、図９１乃至図９４、及び表１２で示すように、発光素子１２及び発光素子１３は、低い駆動電圧で駆動した。

【１０５７】

＜ＣＶ測定結果＞

ここで、上記発光素子のホスト材料に用いた化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）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・エー・エス（株）製、型番：ＡＬＳモデル６００Ａまたは６００Ｃ）を用い、化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）を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、還元電位ピーク電位を得た。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。

【１０５８】

ＣＶ測定の結果より得られたｍＣｚＰＩＣｚの酸化電位は０．６８Ｖであり、還元電位は－３．００Ｖであったことから、ＣＶ測定より算出したｍＣｚＰＩＣｚのＨＯＭＯ準位は－５．６２ｅＶであり、ＬＵＭＯ準位は－１．９５ｅＶと算出された。なお、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ、及びゲスト材料（Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）のＨＯＭＯ準位及びＬＵＭＯ準位は、先の実施例を参酌すればよい。

【１０５９】

以上のように、発光素子１２及び発光素子１３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（ｍＣｚＰＩＣｚ）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（ｍＣｚＰＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位より低く、ゲスト材料（Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－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（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位より低い。そのため、一対の電極から注入されたキャリア（電子および正孔）が、効率よくホスト材料であ

る第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）にそれぞれ注入され、第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）とが励起錯体を形成することができる。したがって、発光素子１２及び発光素子１３は、高い発光効率と低い駆動電圧を両立した優れた特性を示している。

【１０６０】

また、先の実施例で示したＩｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収スペクトル（図７３）、及びＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収スペクトル（図７６）より、それぞれ吸収端を求め、直接遷移を仮定した遷移エネルギーを見積もった。その結果、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収端は４６７ｎｍであり、遷移エネルギーは２．６５ｅＶと算出された。また、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収端は４６６ｎｍであり、遷移エネルギーは２．６６ｅＶと算出された。

【１０６１】

一方、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（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は３．５５ｅＶであった。また、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$は３．２５ｅＶ以上と見積もられた。

【１０６２】

したがって、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－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、０．９ｅＶ大きい結果であった。また、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－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、０．５９ｅＶ以上大きいと見積もられた。

【１０６３】

また、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の発光エネルギーは、図９５に示した発光素子１２及び発光素子１３の電界発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長がそれぞれ、４６４ｎｍ及び４７１ｎｍであったことから、それぞれ２．６７ｅＶ及び２．６３ｅＶと算出された。

【１０６４】

したがって、Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－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０．８８ｅＶ大きい結果であった。また、Ｉｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－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０．６２ｅＶ以上大きいと見積もられた。

【１０６５】

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０．４ｅＶ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０．４ｅＶ以上大きい。そのため、一対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。

【１０６６】

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。

【１０６７】

なお、発光素子１２及び発光素子１３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（ｍＣｚＰＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位とのエネルギー差は、２．７４ｅＶと算出された。すなわち、発光素子１２及び発光素子１３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（Ｉｒ（ｍｐ５ＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$及びＩｒ（ｍｐｄＣＮｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー

差より小さく、吸収端から算出される遷移エネルギー（それぞれ２．６５ｅＶ及び２．６６ｅＶ）より大きい。したがって、発光素子１２及び発光素子１３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。

【１０６８】

以上のように、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準位より低く、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た青色発光を呈する発光素子を提供することができる。また、本構成のゲスト材料としては、シアノ基を含むイリジウム錯体が好適である。

【１０６９】

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。

【１０７０】

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１７】

【１０７１】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子（発光素子１４）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４２を参酌すればよい。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については、先の実施例を参酌すればよい。

【１０７２】

【表１３】

	層	符号	膜厚(nm)	材料	重量比
発光素子14	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 : $Ir(mCNpptz\text{-}diPrp)_3$	0.8:0.2:0.125
		160(1)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : $Ir(mCNpptz\text{-}diPrp)_3$	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	-

【１０７３】

＜発光素子１４の作製＞

基板２００上に電極１０１として、ＩＴＳＯ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、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【１０７４】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、MoO_3と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）が１：０．５になるように、且つ厚さが２０ｎｍになるように共蒸着した。

【１０７５】

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。

【１０７６】

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３０ｎｍ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（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１０７】

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。

【１０７８】

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。

【１０７９】

次に、窒素雰囲気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１４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１４を得た。

【１０８０】

＜発光素子の特性＞

作製した発光素子１４の電流効率－輝度特性を図９６に示す。また、輝度－電圧特性を図９７に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図９８に示す。また、電力効率－輝度特性を図９９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。

【１０８１】

また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子１４の素子特性を表１４に示す。

【１０８２】

【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14	3.4	1.4	(0.20, 0.46)	900	66	61	26

【１０８３】

また、発光素子１４に２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図１００に示す。

【１０８４】

図９６乃至図９９、及び表１４で示すように、発光素子１４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１４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１００に示すように、発光素子１４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。すなわち、配位子にシアノ基を含むアリー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。

【１０８５】

また、図９６乃至図９９、及び表１４で示すように、発光素子１４は、低い駆動電圧で駆動した。

【１０８６】

先の実施例で示したように、発光素子１４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準位より低い。そのため、一対の電極から注入されたキャリア（電子および正孔）が、効率よくホスト材料である第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ＰＣＣＰ）にそれぞれ注入され、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。したがって、発光素子１４は、高い発光効率と低い駆動電圧を両立した優れた特性を示している。

【１０８７】

また、先の実施例で示したＩｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収スペクトル（図７９）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。その結果、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の吸収端は４７２ｎｍであり、遷移エネルギーは２．６３ｅＶと算出された。

【１０８８】

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。

【１０８９】

また、ＣＶ測定の結果より算出されたＩｒ（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。

【１０９０】

したがって、Ｉｒ（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。

【１０９１】

また、Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$の発光エネルギーは、図１００に示した発光素子１４の電界発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長が４９０ｎｍであったことから、２．５３ｅＶと算出された。

【１０９２】

したがって、Ｉｒ（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、０．４６ｅＶ大きい結果であった。

【１０９３】

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０．４ｅＶ以上大きい。そのため、一対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。

【１０９４】

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。

【１０９５】

なお、発光素子１４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２．７５ｅＶと算出された。すなわち、発光素子１４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（Ｉｒ（ｍＣＮｐｐｔｚ－ｄｉＰｒｐ）$_3$）のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（２．９９ｅＶ）より小さく、吸収端から算出される遷移エネルギー（２．６３ｅＶ）より大きい。したがって、発光素子１４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。

【１０９６】

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。

【１０９７】

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１８】

【１０９８】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子（発光素子１５）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４２を参酌すればよい。また、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については、先の実施例を参酌すればよい。

【１０９９】

【表１５】

	層	符号	膜厚（nm）	材料	重量比
発光素子15	電極	102	200	Al	－
	電子注入層	119	1	LiF	－
	電子輸送層	118(2)	15	BPhen	－
		118(1)	30	4,6mCzP2Pm	－
	発光層	160	22	4,6mCzP2Pm : mCzPICz : $Ir(MdmCN5btz1\text{-}tmp)_3$	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	－

【１１００】

＜発光素子１５の作製＞

基板２００上に電極１０１として、ＩＴＳＯ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、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【１１０１】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、ＭｏＯ$_3$と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：ＭｏＯ$_3$）が１：０．５になるように、且つ厚さが２０ｎｍになるように共蒸着した。

【１１０２】

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

【１１０３】

次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ｍＣｚＰＩＣｚと、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ｍＣｚＰＩＣｚ：Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$）が０．４：０．６：０．１２５になるように、且つ厚さが２２ｎｍ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、ｍＣｚＰＩＣｚが第２の有機化合物であり、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１１０４】

次に、発光層１６０上に、電子輸送層１１８として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍを厚さが３０ｎｍ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。

【１１０５】

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。

【１１０６】

次に、窒素雰囲気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１５を封止した。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１５を得た。

【１１０７】

＜発光素子の特性＞

作製した発光素子１５の電流効率－輝度特性を図１０１に示す。また、輝度－電圧特性を図１０２に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図１０３に示す。また、電力効率－輝度特性を図１０４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。

【１１０８】

また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子１５の素子特性を表１６に示す。

【１１０９】

【表１６】

	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15	3.2	1.9	(0.16, 0.28)	1000	53	52	30

【１１１０】

また、発光素子１５に２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図１０５に示す。

【１１１１】

図１０１乃至図１０４、及び表１６で示すように、発光素子１５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１５の外部量子効率の最大値は３１％と優れた値を示した。

【１１１２】

また、図１０５に示すように、発光素子１５の電界発光スペクトルのピーク波長は４６４ｎｍであり、半値全幅が５５ｎｍである、色純度の高い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ー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。

【１１１３】

また、図１０１乃至図１０４、及び表１６で示すように、発光素子１５は、低い駆動電圧で駆動した。

【１１１４】

先の実施例で示したように、発光素子１５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（ｍＣｚＰＩＣｚ）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（ｍＣｚＰＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位より低く、ゲスト材料（Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$）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（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$）のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位より低い。そのため、一対の電極から注入されたキャリア（電子および正孔）が、効率よくホスト材料である第１の

有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）にそれぞれ注入され、第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ｍＣｚＰＩＣｚ）とが励起錯体を形成することができる。したがって、発光素子１５は、高い発光効率と低い駆動電圧を両立した優れた特性を示している。

【１１１５】

また、先の実施例で示したＩｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の吸収スペクトル（図８２）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。その結果、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の吸収端は４６４ｎｍであり、遷移エネルギーは２．６７ｅＶと算出された。

【１１１６】

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（ｍＣｚＰＩＣｚ）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２．８１ｅＶ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（ｍＣｚＰＩＣｚ）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。

【１１１７】

また、ＣＶ測定の結果より算出されたＩｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差は、３．４２ｅＶであった。

【１１１８】

したがって、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$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、０．７５ｅＶ大きい結果であった。

【１１１９】

また、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の発光エネルギーは、図１０５に示した発光素子１５の電界発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長が４６４ｎｍであったことから、２．６７ｅＶと算出された。

【１１２０】

したがって、Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$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、０．７５ｅＶ大きい結果であった。

【１１２１】

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０．４ｅＶ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０．４ｅＶ以上大きい。そのため、一対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。

【１１２２】

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。

【１１２３】

なお、発光素子１５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（ｍＣｚＰＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位とのエネルギー差は、表３より２．７４ｅＶと算出された。すなわち、発光素子１５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（Ｉｒ（ＭｄｍＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$）のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（３．４２ｅＶ）より小さく、吸収端から算出される遷移エネルギー（

２．６７ｅＶ）より大きい。したがって、発光素子１５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。

【１１２４】

以上のように、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準位より低く、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とを両立した青色発光呈する発光素子を提供することができる。また、本構成のゲスト材料としては、シアノ基を含むイリジウム錯体が好適である。

【１１２５】

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。

【１１２６】

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。

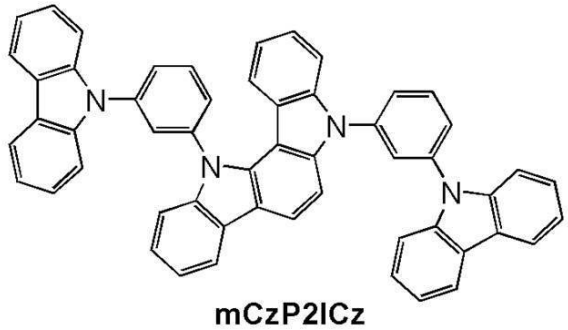
【実施例１９】

【１１２７】

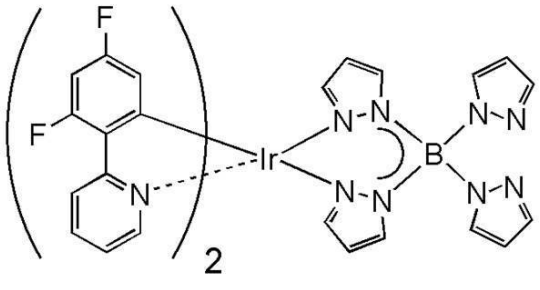
本実施例では、本発明の一態様である発光素子（発光素子１６）の作製例を示す。本実施例で作製した発光素子の断面模式図は図４２を参酌すればよい。また、素子構造の詳細を表１７に示す。また、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。なお、他の化合物については、先の実施例を参酌すればよい。

【１１２８】

【化８９】



mCzP2ICz



FIr6

【１１２９】

【表１７】

	層	符号	膜厚(nm)	材料	重量比
発光素子16	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	40	4,6mCzP2Pm : mCzP2ICz : FIr6	0.6:0.2:0.2
	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	－

【１１３０】

＜発光素子１６の作製＞

基板２００上に電極１０１として、ＩＴＳＯ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、４ｍｍ^2（２ｍｍ×２ｍｍ）とした。

【１１３１】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、MoO_3と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）が１：０．５になるように、且つ厚さが２０ｎｍになるように共蒸着した。

【１１３２】

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

【１１３３】

次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、５，１２－ビス［３－（９Ｈ－カルバゾール－９－イル）フェニル］－５，１２－ジヒドロ－インドロ［３，２－ａ］カルバゾール（略称：ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）と、ＦＩｒ６とを重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ｍＣｚＰ２ＩＣｚ：ＦＩｒ６）が０．６：０．２：０．２になるように、且つ厚さが４０ｎｍになるように共蒸着した。なお、発光層１６０において、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍが第１の有機化合物であり、ｍＣｚＰ２ＩＣｚが第２の有機化合物であり、ＦＩｒ６がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１１３４】

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。

【１１３５】

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。

【１１３６】

次に、窒素雰囲気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１６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１６を得た。

【１１３７】

＜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１６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ｍＣｚＰ２ＩＣｚ単体の薄膜の発光スペクトルを測定した結果と、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとｍＣｚＰ２ＩＣｚの混合薄膜の発光スペクトルを測定した結果を図１０６に示す。

【１１３８】

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。

【１１３９】

図１０６に示すように、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとｍＣｚＰ２ＩＣｚとの混合薄膜の発光スペクトルはピーク波長が４６０ｎｍであり、ピーク波長が４４０ｎｍである４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ単体、及び３８８ｎｍであるｍＣｚＰ２ＩＣｚ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、ｍＣｚＰ２ＩＣｚのＬＵＭＯ準位より低く、ｍＣｚＰ２ＩＣｚのＨＯＭＯ準位は、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍのＨＯＭＯ準位より高い。また、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとｍＣｚＰ２ＩＣｚとの混合薄膜の発光は、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍのＬＵＭＯ準位と、ｍＣｚＰ２ＩＣｚ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ｍＣｚＰ２ＩＣｚ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ｍＣｚＰ２ＩＣｚ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ｍＣｚＰ２ＩＣｚ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。

【１１４０】

したがって、発光素子１６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組み合わせのホスト材料を有する発光素子である。

【１１４１】

また、後に示すように、ＦＩｒ６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ｍＣｚＰ２ＩＣｚ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いる。したがって、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍおよびｍＣｚＰ２ＩＣｚ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。

【１１４２】

次に、ホスト材料として用いたｍＣｚＰ２ＩＣｚの三重項励起エネルギー準位（Ｔ１準位）を測定した。なお、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍの三重項励起エネルギー準位（Ｔ１準位）は、先の実施例で示したとおりである。

【１１４３】

三重項励起エネルギー準位の測定は、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１０Ｋ、励起光としてＨｅ－Ｃｄレーザ（３２５ｎｍ）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。

【１１４４】

ｍＣｚＰ２ＩＣｚ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４４２ｎｍであり、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、先の実施例で示したように、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍの三重項励起エネルギー準位（Ｔ１準位）は２．７０ｅＶであった。

【１１４５】

また、４，６ｍＣｚＰ２ＰｍおよびｍＣｚＰ２ＩＣｚ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１０６で示した４，６ｍＣｚＰ２ＰｍとｍＣｚＰ２ＩＣｚ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（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）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。

【１１４６】

また、後に示すように、吸収スペクトルの吸収端から導出されたＦＩｒ６の遷移エネルギーより、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ及びｍＣｚＰ２ＩＣｚの三重項励起エネルギー準位（Ｔ１準位）は高い。

【１１４７】

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（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）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。

【１１４８】

＜発光素子の特性＞

作製した発光素子１６の電流効率－輝度特性を図１０７に示す。また、輝度－電圧特性を図１０８に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図１０９に示す。また、電力効率－輝度特性を図１１０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。

【１１４９】

また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子１６の素子特性を表１８に示す。

【１１５０】

【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(%)
発光素子16	3.5	2.2	(0.15, 0.25)	980	46	41	29

【１１５１】

また、発光素子１６に２．５ｍＡ／ｃｍ^{2}の電流密度で電流を流した際の発光スペクトルを図１１１に示す。

【１１５２】

図１０７乃至図１１０、及び表１８で示すように、発光素子１６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１６の外部量子効率の最大値は、３０％と優れた値を示した。

【１１５３】

また、図１１１に示すように、発光素子１６の電界発光スペクトルのピーク波長は４５８ｎｍであり、半値全幅が５４ｎｍである、色純度の高い青色の発光を示した。

【１１５４】

また、図１０７乃至図１１０、及び表１８で示すように、発光素子１６は、低い駆動電圧で駆動した。

【１１５５】

＜ＣＶ測定結果＞

ここで、上記発光素子のホスト材料に用いた第２の有機化合物（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）、及びゲスト材料（ＦＩｒ６）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・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。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、還元電位ピーク電位を得た。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。

【１１５６】
ＣＶ測定の結果より得られた酸化電位と還元電位、及びＣＶ測定より算出した各化合物のＨＯＭＯ準位とＬＵＭＯ準位を、表１９にそれぞれ示す。なお、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍの測定値は、先の実施例を参酌した。
【１１５７】
【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)
mCzP2ICz	0.70	−3.03	−5.64	−1.92
4,6mCzP2Pm	0.95	−2.06	−5.89	−2.88
FIr6	1.18	−2.34	−6.12	−2.61

【１１５８】
表１９に示すように、発光素子１６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（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）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（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位より低く、ゲスト材料（ＦＩｒ６）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（ＦＩｒ６）のＨＯＭＯ準位は、第２の有機化合物（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位より低い。そのため、一対の電極から注入されたキャリア（電子および正孔）が、効率よくホスト材料である第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）にそれぞれ注入され、第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）とが励起錯体を形成することができる。したがって、発光素子１６は、高い発光効率と低い駆動電圧を両立した優れた特性を示している。
【１１５９】
＜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ＦＩｒ６の吸収スペクトルの測定結果を図１１２に示す。
【１１６０】
吸収スペクトルを測定するため、ＦＩｒ６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。測定したサンプルのスペクトルから石英セルの吸収スペクトルを差し引いた。
【１１６１】
次に、測定し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。その結果、ＦＩｒ６の吸収端は４５４ｎｍであり、遷移エネルギーは２．７３ｅＶと算出された。
【１１６２】
一方、表１９に示したＣＶ測定の結果より算出されたＦＩｒ６のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差は３．５２ｅＶであった。
【１１６３】
したがって、ＦＩｒ６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、０．７９ｅＶ大きい結果であった。
【１１６４】
また、ＦＩｒ６の発光エネルギーは、図１１１に示した発光素子１６の電界発光スペクトルの最も短波長側のピーク波長が４５８ｎｍであったことから、２．７０ｅＶと算出された。
【１１６５】

したがって、ＦＩｒ６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、０．８２ｅＶ大きい結果であった。

【１１６６】

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０．４ｅＶ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０．４ｅＶ以上大きい。そのため、一対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。

【１１６７】

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。

【１１６８】

なお、発光素子１６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（ｍＣｚＰ２ＩＣｚ）のＨＯＭＯ準位とのエネルギー差は、表１９より２．７６ｅＶと算出された。すなわち、発光素子１６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（ＦＩｒ６）のＬＵＭＯ準位とＨＯＭＯ準位とのエネルギー差（３．５２ｅＶ）より小さく、吸収端から算出される遷移エネルギー（２．７３ｅＶ）より大きい。したがって、発光素子１６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。

【１１６９】

以上のように、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準位より低く、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た青色発光を呈する発光素子を提供することができる。

【１１７０】

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。

【１１７１】

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。

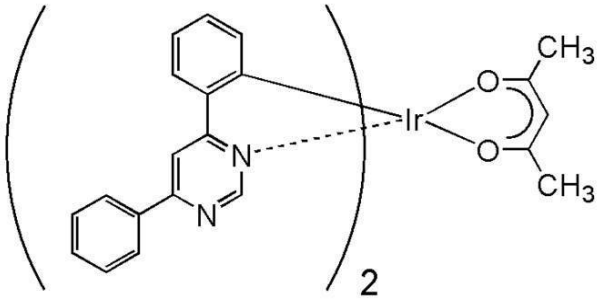
【実施例２０】

【１１７２】

本実施例では、本発明の一態様である照明装置に好適な発光素子（発光素子１７）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４２を参酌すればよい。また、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。

【１１７３】

【化９０】



Ir(dppm)$_2$(acac)

【１１７４】

【表２０】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比 *1)
発光素子17	電極	102(2)	100	Ag	-
		102(1)	1	Ag : Mg	0.6:0.2
	電子注入層	119	1	LiF	-
	電子輸送層	118(2)	20	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	160(2)	30	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(dppm)$_2$(acac)	0.8:0.2:0.05
		160(1)	10	4,6mCzP2Pm : PCCP : Ir(mpptz-diBuCNp)$_3$	0.3:0.7:0.12
	正孔輸送層	112	20	PCCP	-
	正孔注入層	111	30	DBT3P-II : MoO_3	1:0.5
	電極	101	70	ITO	-

*1)Ag : Mgの比率のみ体積比で記載。

【１１７５】

＜発光素子１７の作製＞

屈折率が１．８４の高屈折率ガラスを用いた基板２００上に電極１０１として、ＩＴＯ膜を厚さが７０ｎｍになるようにスパッタリング法にて形成した。なお、電極１０１は、発光素子の発光面積が８１００ｍｍ^2（９０ｍｍ×９０ｍｍ）となるよう形成した。

【１１７６】

次に、電極１０１上に正孔注入層１１１として、ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩと、MoO_3と、を重量比（ＤＢＴ３Ｐ－ＩＩ：MoO_3）が１：０．５になるように、且つ厚さが３０ｎｍになるように共蒸着した。

【１１７７】

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。

【１１７８】

次に、正孔輸送層１１２上に発光層１６０として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$）が０．３：０．７：０．１２になるように、且つ厚さが１０ｎｍになるように共蒸着し、続いて、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍと、ＰＣＣＰと、Ｉｒ（ｄｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）と、を重量比（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ：ＰＣＣＰ：Ｉｒ（ｄｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ））が０．８：０．２：０．０５になるように、且つ厚さが３０ｎｍ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（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$及びＩｒ（ｄｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）がゲスト材料（燐光性化合物）である。

【１１７９】

次に、発光層１６０上に、電子輸送層１１８として、４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍを厚さが２０ｎｍになるよう、及びＢＰｈｅｎを厚さが２０ｎｍとになるよう、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。

【１１８０】

次に、電子注入層１１９上に、電極１０２として、銀（Ａｇ）とマグネシウム（Ｍｇ）とを厚さが１ｎｍになるよう共蒸着し、さらに、銀（Ａｇ）を厚さが１００ｎｍになるように形成した。なお、ＡｇとＭｇとの共蒸着膜としては、体積比（Ａｇ：Ｍｇ）が０．６：０．２となるよう共蒸着した。

【１１８１】

次に、窒素雰囲気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１７を封止した。具体的な方法は、発光素子１と同様である。

【１１８２】

さらに、光が放出される側の基板２００の表面をフロスト加工し凹凸を形成した。以上の工程により発光素子１７を得た。

【１１８３】

＜発光素子の特性＞

作製した発光素子１７の電力効率－輝度特性を図１１３に示す。また、輝度－電圧特性を図１１４に示す。また、外部量子効率－輝度特性を図１１５に示す。なお、発光素子の測定は積分球を用い、発光素子が放出する全光束を測定した。また、発光素子の測定は、室温（２３℃に保たれた雰囲気）で行った。

【１１８４】

また、１０００ｃｄ／ｍ^{2}付近における、発光素子１７の素子特性を表２１に示す。

【１１８５】

【表２１】

	電圧 (V)	電流 (mA)	CIE色度 (x, y)	輝度 (cd/m^2)	相関色温度 (K)	duv	電力効率 (lm/W)	外部量子効率(%)
発光素子17	2.9	60	(0.48, 0.47)	1030	2880	0.018	149	50

【１１８６】

また、発光素子１７に６０ｍＡの電流を流した際の発光スペクトルを図１１６に示す。また、発光素子１７の発光の様子を撮影した写真を図１１７に示す。

【１１８７】

図１１３乃至図１１５、及び表２１で示すように、発光素子１７は、外部量子効率が高く、駆動電圧が低いため、高い電力効率を示した。発光素子１７の電力効率及び外部量子効率の最大値はそれぞれ１６６ｌｍ／Ｗ及び５０％と極めて優れた値を示した。

【１１８８】

また、図１１６に示すように、発光素子１７の電界発光スペクトルは、ゲスト材料であるＩｒ（ｍｐｐｔｚ－ｄｉＢｕＣＮｐ）$_3$が呈する青色およびＩｒ（ｄｐｐｍ）$_2$（ａｃａｃ）が呈する橙色の発光を有する発光を示した。また、表２１に示すように、発光素子１７が呈する発光は、相関色温度が２８８０Ｋの電球色で、ｄｕｖは０．０２以下と良好であった。すなわち、配位子にシアノ基を含むアリー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照明装置に好適な発光素子を作製できる。

【１１８９】

また、先の実施例４で示したように、発光素子１７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準位より低い。そのため、一対の電極から注入されたキャリ

ア（電子および正孔）が、効率よくホスト材料である第１の有機化合物（４，６ｍＣｚＰ２Ｐｍ）と第２の有機化合物（ＰＣＣＰ）にそれぞれ注入され、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。したがって、発光素子１７は、高い発光効率と低い駆動電圧を両立した優れた特性を示している。

【１１９０】

また、図１１７に示すように、発光素子１７は、発光面積が８１００ｍｍ^{2}の発光面全面において均一な発光を示した。このように、発光素子１７は、照明装置に好適な発光素子である。

【１１９１】

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、照明装置に好適な発光を呈する発光素子を提供することができる。

【１１９２】

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２１】

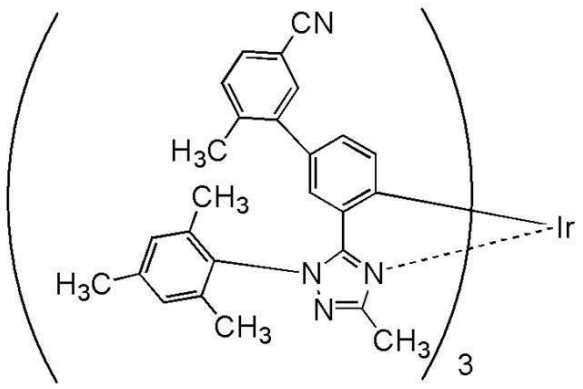
【１１９３】

＜合成例１２＞

本合成例では、実施の形態２の構造式（１３２）で表される本発明の一様態である有機金属錯体である、トリス［５’－シアノ－２’－メチル－３－｛３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール－５－イル－κＮ^4｝－１，１’－ビフェニル－４－イル－κＣ］イリジウム（ＩＩＩ）（略称：Ｉｒ（Ｍｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$）の合成例を具体的に例示する。Ｉｒ（Ｍｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の構造を以下に示す。

【１１９４】

【化９１】



Ir(Mm3CN5btz1-tmp)3

【１１９５】

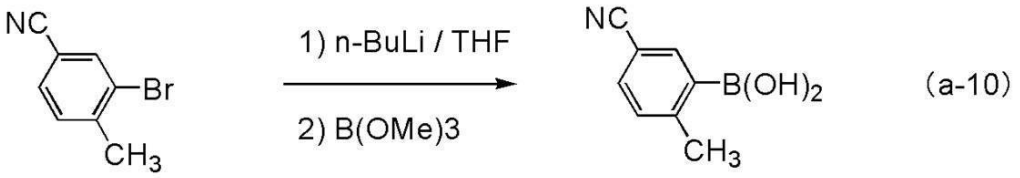
≪ステップ１：５－シアノ－２－メチルフェニルボロン酸の合成≫

まず、９．５ｇ（５０ｍｍｏｌ）の３－ブロモ－４－メチルベンゾニトリルを５００ｍＬの三口フラスコに入れ、フラスコ内を窒素置換した。ここに２５０ｍＬのテトラヒドロフラン（ＴＨＦ）を加え、－７８℃で３０分間撹拌した。この混合溶液に、１．６３Ｍのｎ－ブチルリチウム（ｎ－ＢｕＬｉ）のヘキサン溶液を３４ｍＬ（５５ｍｍｏｌ）滴下し、－７８℃で１．５時間撹拌した。その後、７．３ｍＬ（６５ｍｍｏｌ）のホウ酸トリメチルを加え、室温まで昇温しながら２０時間撹拌した。その後、この溶液に１００ｍＬの１Ｍ塩酸を加え３０分間撹拌した。得られた混合物を水層と有機層に分液し、水層を酢酸エチルで抽出した。有機層と抽出溶液を合わせて、飽和食塩水で洗浄し、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、ろ液を濃縮して固体を得た。この固体をトルエンとヘキサンで洗浄し、白色固体を４．３ｇ、収率５３％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた白色固体が５－シアノ－２－メチルフェニルボロン酸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－１０）に示す。

【１１９６】

【化９２】



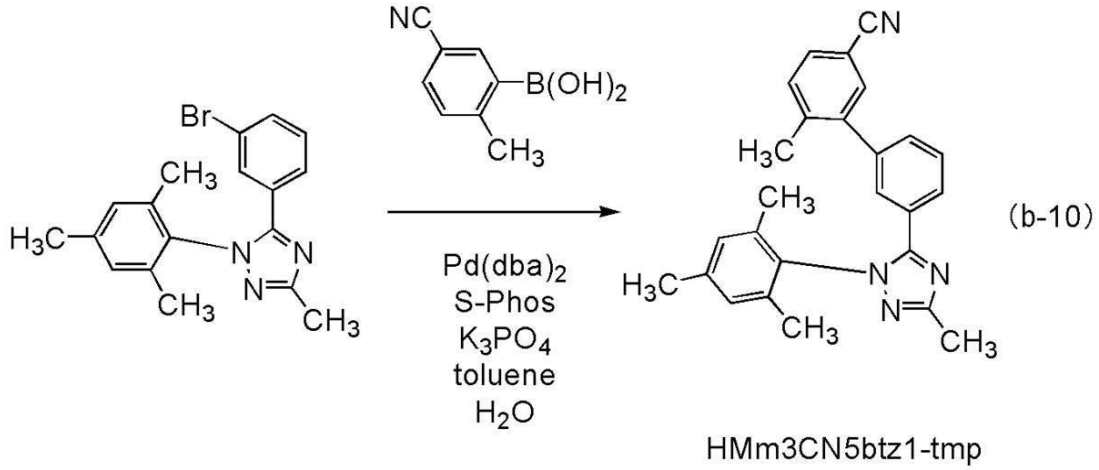
【１１９７】

≪ステップ２：５－（５’－シアノ－２’－メチル－１，１’－ビフェニル－３－イル）－３－メチル－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－１Ｈ－１，２，４－トリアゾール（略称：ＨＭｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）の合成≫

次に、合成例１０のステップ２で得られる５－（３－ブロモフェニル）－１－（２，４，６－トリメチルフェニル）－３－メチル－１Ｈ－１，２，４－トリアゾールを７．６ｇ（２１ｍｍｏｌ）と、本合成例のステップ１で得られた５－シアノ－２－メチルフェニルボロン酸のうち４．１２ｇ（２６ｍｍｏｌ）と、１６ｇ（７７ｍｍｏｌ）のリン酸カリウムと、１３０ｍＬのトルエンと、１３ｍＬの水と、を３００ｍＬの三口フラスコに入れ、フラスコ内を窒素置換した。この混合物に、０．８４ｇ（２．１ｍｍｏｌ）のビス（ジベンジリデンアセトン）パラジウム（０）と、０．５９ｇ（１．０ｍｍｏｌ）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－ｐｈｏｓ）とを加え、９０℃で３．５時間加熱撹拌し反応させた。反応後、得られた反応溶液を有機層と水層に分液し、得られた水層をトルエンで抽出した。抽出溶液と有機層を合わせて水、飽和食塩水で洗浄し、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。この油状物をフラッシュ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（ｖ：ｖ）の混合溶媒を用いた。得られたフラクションを濃縮して、黄色油状物を６．５ｇ、収率７８％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた黄色油状物がＨＭｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ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－１０）に示す。

【１１９８】

【化９３】



【１１９９】

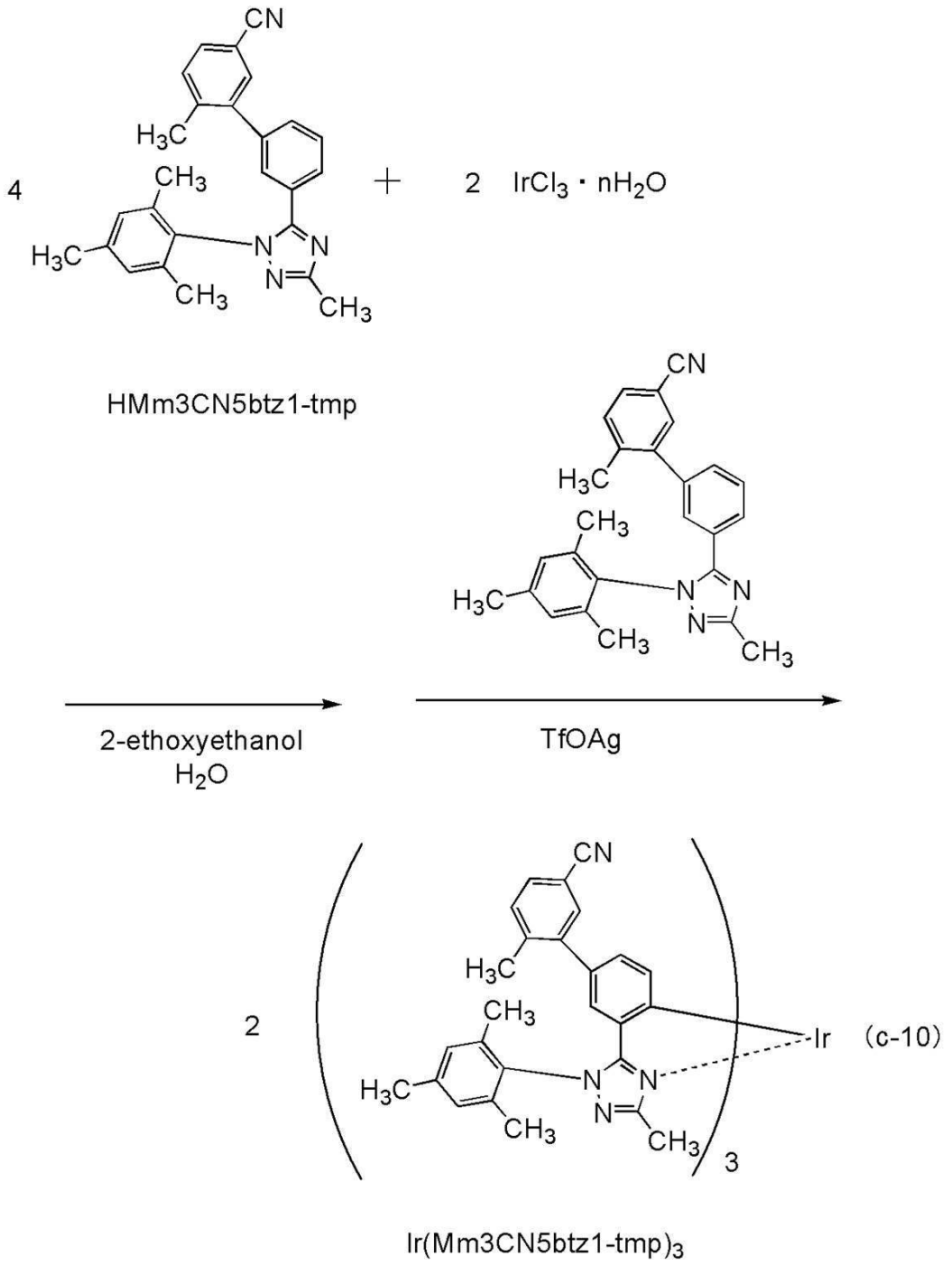
≪ステップ３：Ｉｒ（Ｍｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の合成≫

次に、上記ステップ２で得られたＨＭｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐを２．０ｇ（５．１

ｍｍｏｌ）と、０．６９ｇ（２．３ｍｍｏｌ）の塩化イリジウム水和物と、２１ｍＬの２－エトキシエタノールと、７ｍＬの水と、を５０ｍＬのナス型フラスコに入れ、フラスコ内をアルゴン置換した。このフラスコに１００Ｗ、１００℃の条件でマイクロ波を１時間照射することにより加熱し、反応を行った。反応後、得られた反応溶液を濃縮し、褐色油状物を得た。この油状物に、１．２ｇ（４．６ｍｍｏｌ）のトリフルオロメタンスルホン酸銀と、４．５ｇ（１１．５ｍｍｏｌ）のＨＭｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐとを加え、フラスコ内を窒素置換し、１７０℃で２３時間加熱撹拌し反応させた。反応後、得られた反応混合物をジクロロメタンに溶解し、セライトを通して吸引ろ過して不溶固体を除去した。得られたろ液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：酢酸エチル＝５：１（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。この固体を酢酸エチル／ヘキサンで再結晶し、黄色固体を２３ｍｇ、収率０．７３％で得た。核磁気共鳴法（ＮＭＲ）により得られた黄色固体がＩｒ（Ｍｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$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－１０）に示す。

【１２００】

【化９４】



【１２０１】

上記ステップ３で得られた黄色固体のプロトン（^{1}Ｈ）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。また、^{1}Ｈ－ＮＭＲチャートを図１１８に示す。このことから、本合成例１２において、上述の構造式（１３２）で表される本発明の一態様の有機金属錯体である、Ｉｒ（Ｍｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_{3}$が得られたことがわかった。

【１２０２】

^{1}Ｈ－ＮＭＲ　δ（CD_2Cl_2）：１．８３（ｓ，９Ｈ），２．１２（ｓ，９Ｈ），２．１４－２．１５（ｍ，１８Ｈ），２．３８（ｓ，９Ｈ），６．４４（ｓ，３Ｈ），６．７０（ｓ，６Ｈ），７．０８（ｄ，６Ｈ），７．２４（ｄ，３Ｈ），７．２６（ｄ，３Ｈ），７．４０（ｄｄ，３Ｈ）。

【１２０３】

＜Ｉｒ（Ｍｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$の特性＞

続いて、Ｉｒ（Ｍｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$のジクロロメタン溶液（０．０１５ｍｍｏｌ／Ｌ）の吸収スペクトル及び発光スペクトルを測定した。吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定方法は、実施例１と同様である。得られた吸収スペクトル及び発光スペクトルの測定結果を図１１９に示す。横軸は波長、縦軸は吸収強度および発光強度を表す。なお、図１１９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。

【１２０４】

図１１９に示す通り、Ｉｒ（Ｍｍ３ＣＮ５ｂｔｚ１－ｔｍｐ）$_3$のジクロロメタン溶液からは、４６２ｎｍ、及び４８９ｎｍに発光ピークを有する青色の発光が観測された。

【符号の説明】

【１２０５】

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
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
１１１　正孔注入層
１１２　正孔輸送層
１１３　電子輸送層
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
１２３Ｂ　発光層
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
１４０　発光層
１４１　ホスト材料
１４１＿１　有機化合物
１４１＿２　有機化合物
１４２　ゲスト材料
１４５　隔壁

１５０　発光素子
１５２　発光素子
１６０　発光層
１７０　発光層
１８０　発光層
１９０　発光層
１９０ａ　発光層
１９０ｂ　発光層
２００　基板
２２０　基板
２２１Ｂ　領域
２２１Ｇ　領域
２２１Ｒ　領域
２２２Ｂ　領域
２２２Ｇ　領域
２２２Ｒ　領域
２２３　遮光層
２２４Ｂ　光学素子
２２４Ｇ　光学素子
２２４Ｒ　光学素子
２５０　発光素子
２６０ａ　発光素子
２６０ｂ　発光素子
２６２ａ　発光素子
２６２ｂ　発光素子
３０１＿１　配線
３０１＿５　配線
３０１＿６　配線
３０１＿７　配線
３０２＿１　配線
３０２＿２　配線
３０３＿１　トランジスタ
３０３＿６　トランジスタ
３０３＿７　トランジスタ
３０４　容量素子
３０４＿１　容量素子
３０４＿２　容量素子
３０５　発光素子
３０６＿１　配線
３０６＿３　配線
３０７＿１　配線
３０７＿３　配線
３０８＿１　トランジスタ
３０８＿６　トランジスタ
３０９＿１　トランジスタ
３０９＿２　トランジスタ
３１１＿１　配線
３１１＿３　配線
３１２＿１　配線
３１２＿２　配線

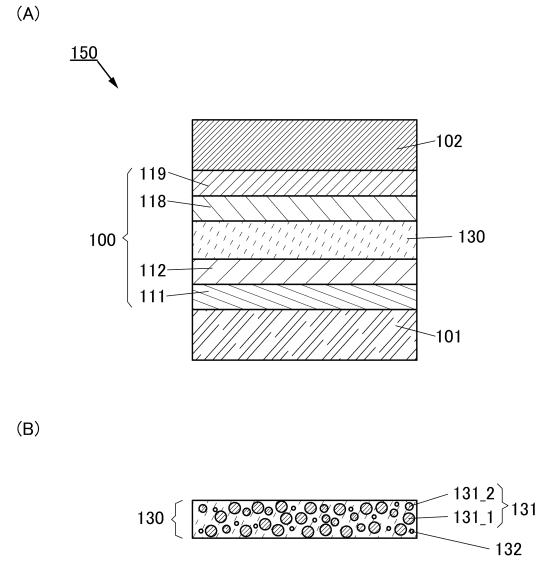
６００　表示装置
６０１　信号線駆動回路部
６０２　画素部
６０３　走査線駆動回路部
６０４　封止基板
６０５　シール材
６０７　領域
６０７ａ　封止層
６０７ｂ　封止層
６０７ｃ　封止層
６０８　配線
６０９　ＦＰＣ
６１０　素子基板
６１１　トランジスタ
６１２　トランジスタ
６１３　下部電極
６１４　隔壁
６１６　ＥＬ層
６１７　上部電極
６１８　発光素子
６２１　光学素子
６２２　遮光層
６２３　トランジスタ
６２４　トランジスタ
８０１　画素回路
８０２　画素部
８０４　駆動回路部
８０４ａ　走査線駆動回路
８０４ｂ　信号線駆動回路
８０６　保護回路
８０７　端子部
８５２　トランジスタ
８５４　トランジスタ
８６２　容量素子
８７２　発光素子
１００１　基板
１００２　下地絶縁膜
１００３　ゲート絶縁膜
１００６　ゲート電極
１００７　ゲート電極
１００８　ゲート電極
１０２０　層間絶縁膜
１０２１　層間絶縁膜
１０２２　電極
１０２４Ｂ　下部電極
１０２４Ｇ　下部電極
１０２４Ｒ　下部電極
１０２４Ｙ　下部電極
１０２５　隔壁
１０２６　上部電極

１０２８　ＥＬ層
１０２８Ｂ　発光層
１０２８Ｇ　発光層
１０２８Ｒ　発光層
１０２８Ｙ　発光層
１０２９　封止層
１０３１　封止基板
１０３２　シール材
１０３３　基材
１０３４Ｂ　着色層
１０３４Ｇ　着色層
１０３４Ｒ　着色層
１０３４Ｙ　着色層
１０３５　遮光層
１０３６　オーバーコート層
１０３７　層間絶縁膜
１０４０　画素部
１０４１　駆動回路部
１０４２　周辺部
２０００　タッチパネル
２００１　タッチパネル
２５０１　表示装置
２５０２Ｒ　画素
２５０２ｔ　トランジスタ
２５０３ｃ　容量素子
２５０３ｇ　走査線駆動回路
２５０３ｓ　信号線駆動回路
２５０３ｔ　トランジスタ
２５０９　ＦＰＣ
２５１０　基板
２５１０ａ　絶縁層
２５１０ｂ　可撓性基板
２５１０ｃ　接着層
２５１１　配線
２５１９　端子
２５２１　絶縁層
２５２８　隔壁
２５５０Ｒ　発光素子
２５６０　封止層
２５６７ＢＭ　遮光層
２５６７ｐ　反射防止層
２５６７Ｒ　着色層
２５７０　基板
２５７０ａ　絶縁層
２５７０ｂ　可撓性基板
２５７０ｃ　接着層
２５８０Ｒ　発光モジュール
２５９０　基板
２５９１　電極
２５９２　電極

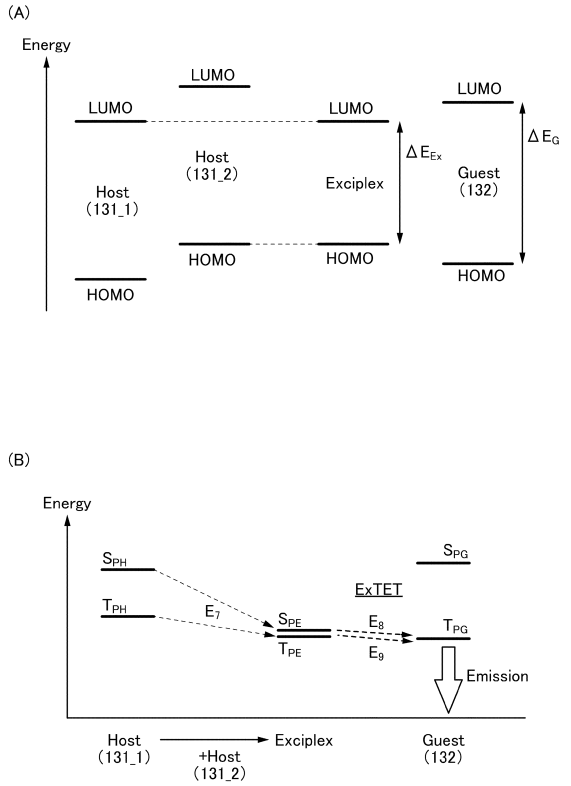
２５９３　絶縁層
２５９４　配線
２５９５　タッチセンサ
２５９７　接着層
２５９８　配線
２５９９　接続層
２６０１　パルス電圧出力回路
２６０２　電流検出回路
２６０３　容量
２６１１　トランジスタ
２６１２　トランジスタ
２６１３　トランジスタ
２６２１　電極
２６２２　電極
３０００　発光装置
３００１　基板
３００３　基板
３００５　発光素子
３００７　封止領域
３００９　封止領域
３０１１　領域
３０１３　領域
３０１４　領域
３０１５　基板
３０１６　基板
３０１８　乾燥剤
３５００　多機能端末
３５０２　筐体
３５０４　表示部
３５０６　カメラ
３５０８　照明
３６００　ライト
３６０２　筐体
３６０８　照明
３６１０　スピーカ
８０００　表示モジュール
８００１　上部カバー
８００２　下部カバー
８００３　ＦＰＣ
８００４　タッチセンサ
８００５　ＦＰＣ
８００６　表示装置
８００９　フレーム
８０１０　プリント基板
８０１１　バッテリ
８５０１　照明装置
８５０２　照明装置
８５０３　照明装置
８５０４　照明装置
９０００　筐体

９００１　表示部
９００３　スピーカ
９００５　操作キー
９００６　接続端子
９００７　センサ
９００８　マイクロフォン
９０５０　操作ボタン
９０５１　情報
９０５２　情報
９０５３　情報
９０５４　情報
９０５５　ヒンジ
９１００　携帯情報端末
９１０１　携帯情報端末
９１０２　携帯情報端末
９２００　携帯情報端末
９２０１　携帯情報端末
９３００　テレビジョン装置
９３０１　スタンド
９３１１　リモコン操作機
９５００　表示装置
９５０１　表示パネル
９５０２　表示領域
９５０３　領域
９５１１　軸部
９５１２　軸受部
９７００　自動車
９７０１　車体
９７０２　車輪
９７０３　ダッシュボード
９７０４　ライト
９７１０　表示部
９７１１　表示部
９７１２　表示部
９７１３　表示部
９７１４　表示部
９７１５　表示部
９７２１　表示部
９７２２　表示部
９７２３　表示部

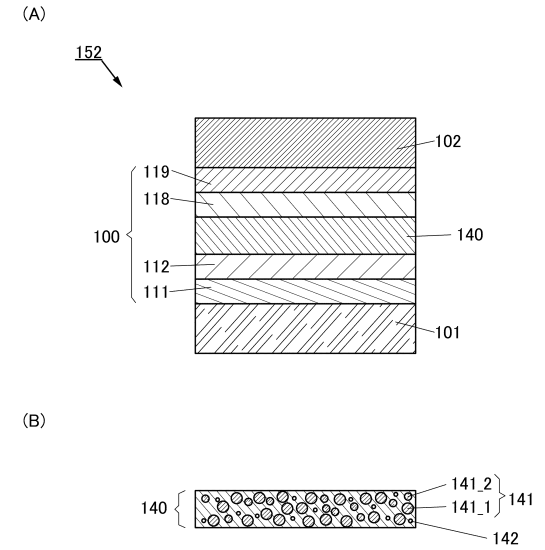
【図１】


(A)
150
102
119
118
100
130
112
111
101
(B)
130
131_2
131_1
131
132

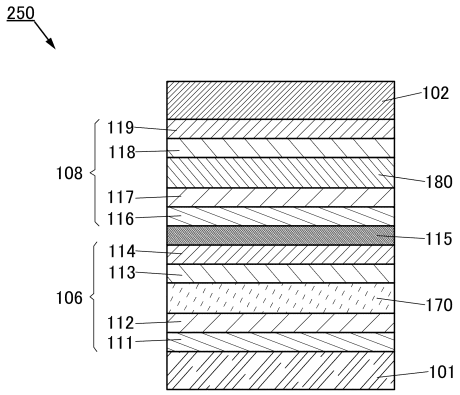
【図２】


(A)
Energy
LUMO
LUMO
LUMO
LUMO
Host
(131_2)
Exciplex
Guest
(132)
Host
(131_1)
HOMO
HOMO
HOMO
HOMO
ΔE_Ex
ΔE_G
(B)
Energy
S_PH
T_PH
E_7
S_PE
T_PE
ExTET
E_8
E_9
S_PG
T_PG
Emission
Host
(131_1)
+Host
(131_2)
Exciplex
Guest
(132)

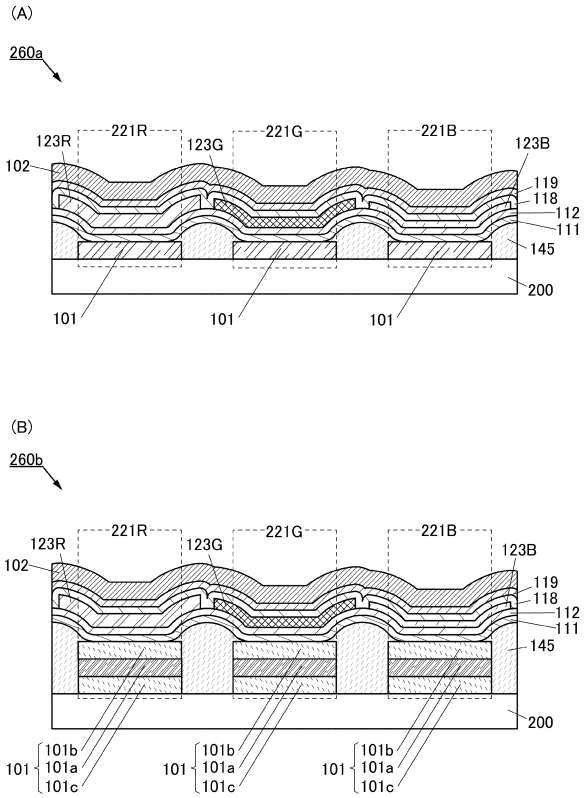
【図３】


(A)
152
102
119
118
100
140
112
111
101
(B)
140
141_2
141_1
141
142

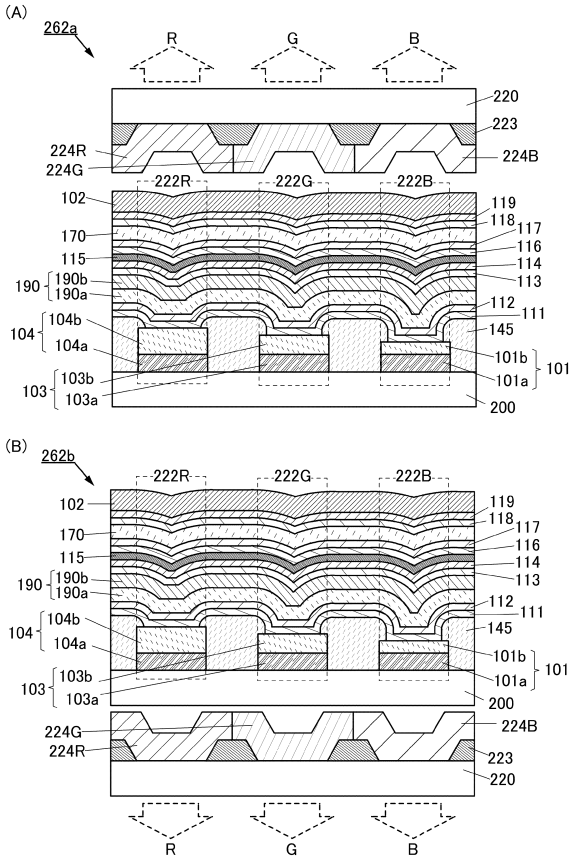
【図４】


250
102
119
118
108
180
117
116
115
114
113
106
170
112
111
101

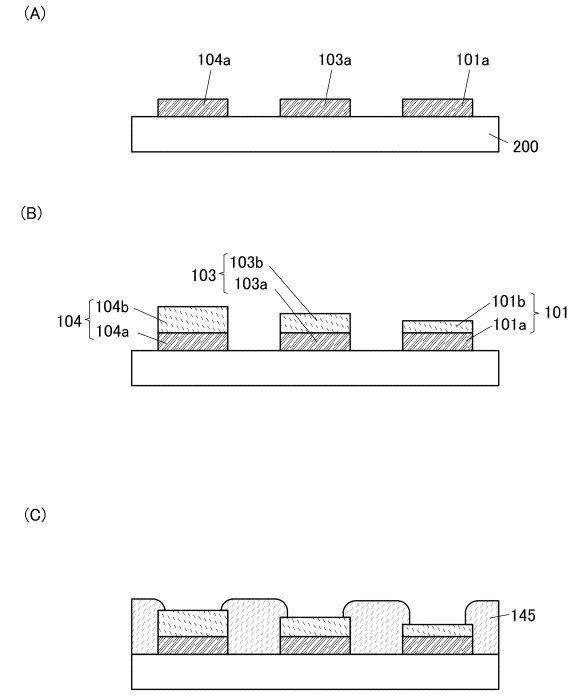
【図５】


(A)
260a
123R
221R
123G
221G
221B
123B
102
119
118
112
111
145
200
101
(B)
260b
101b
101a
101c

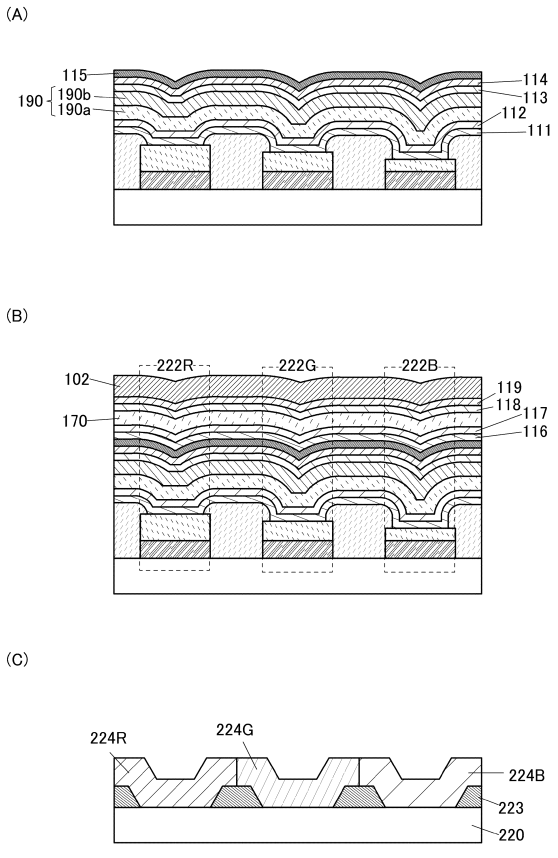
【図６】


(A)
262a
R
G
B
220
223
224R
224G
224B
222R
222G
222B
102
119
118
117
116
170
115
114
190
190b
190a
113
112
111
104
104b
104a
145
101b
101a
101
103
103b
103a
200
(B)
262b

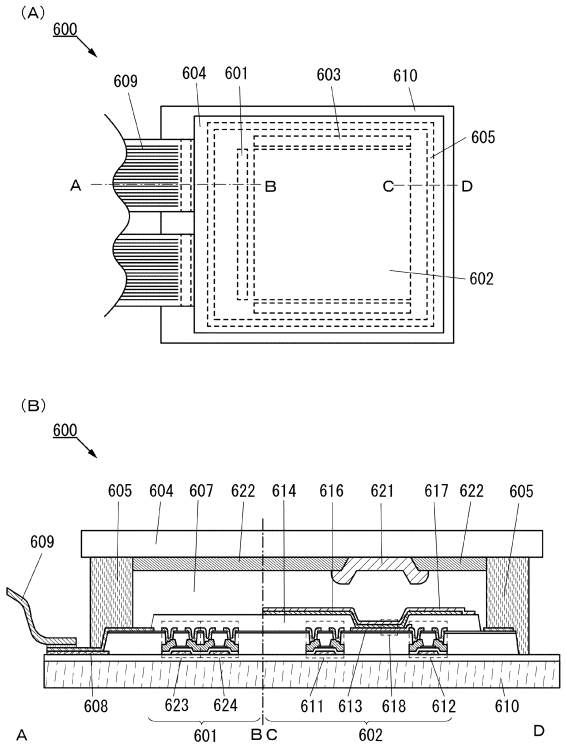
【図７】


(A)
104a
103a
101a
200
(B)
103
103b
103a
104
104b
104a
101b
101a
101
(C)
145

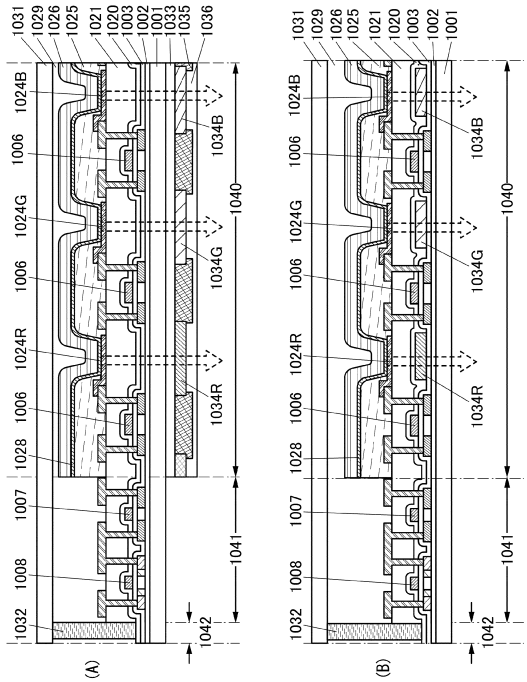
【図８】


(A)
115
190
190b
190a
114
113
112
111
(B)
102
222R
222G
222B
119
118
117
116
170
(C)
224R
224G
224B
223
220

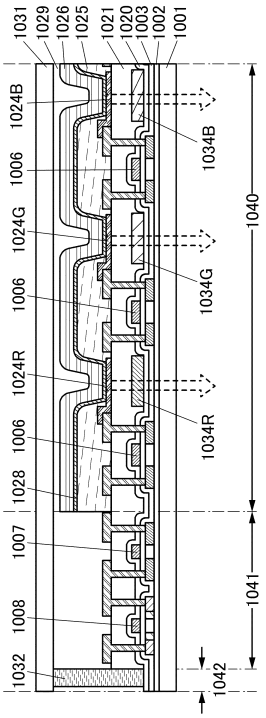
【図９】



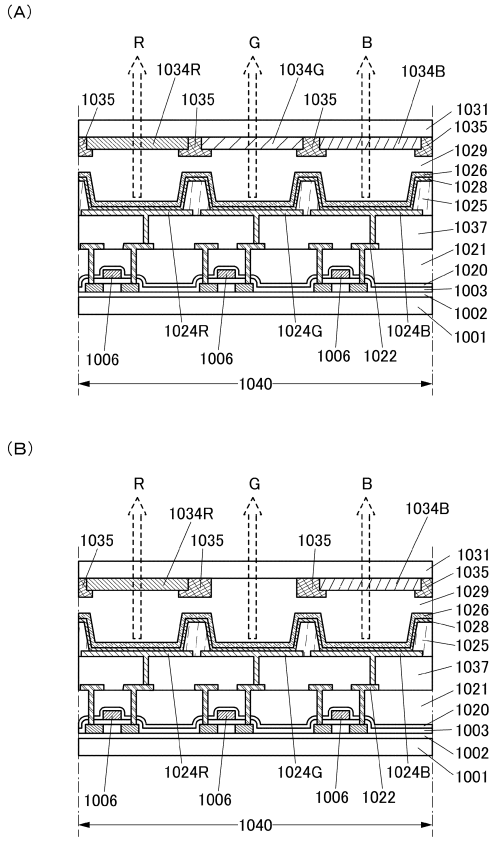
【図１０】



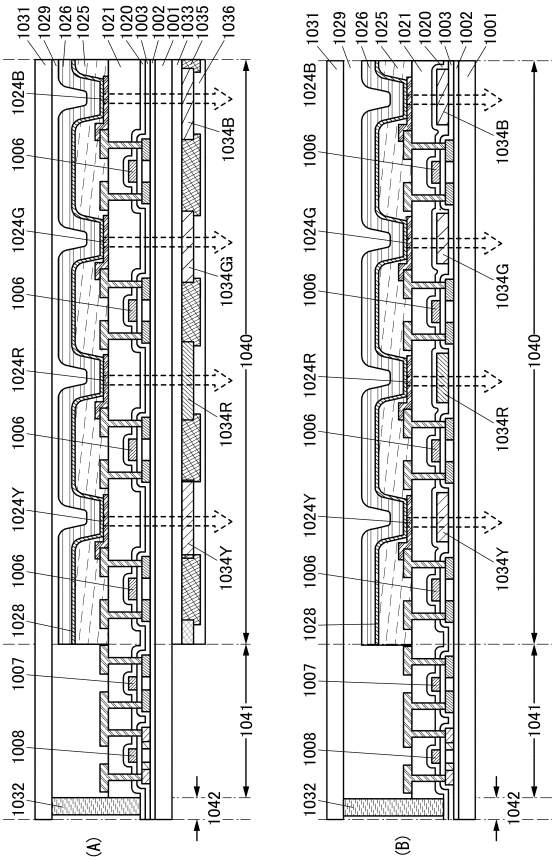
【図１１】



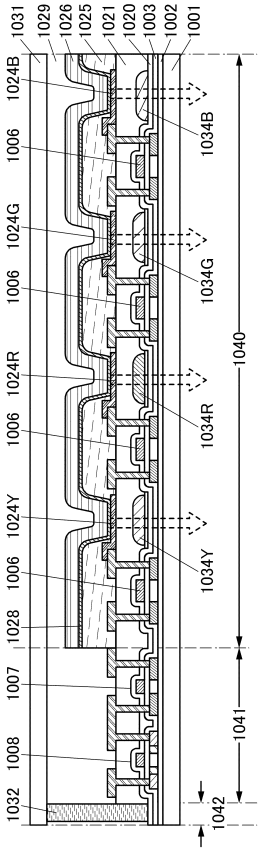
【図１２】



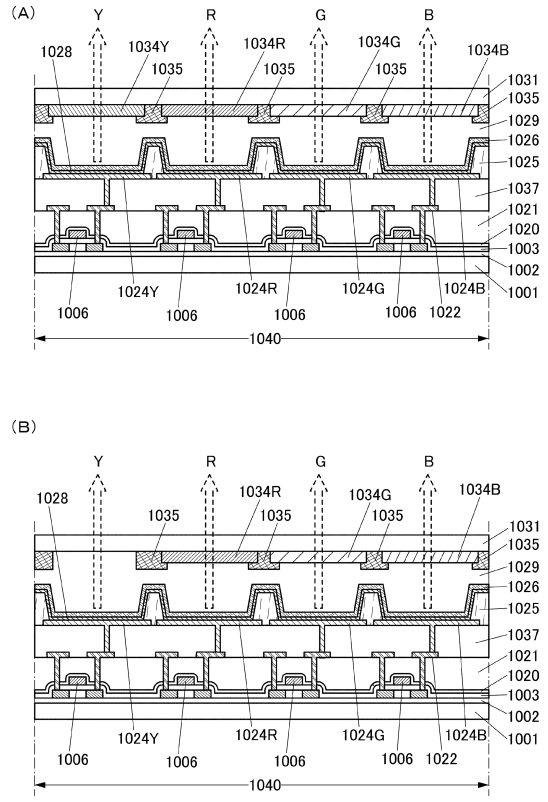
【図１３】



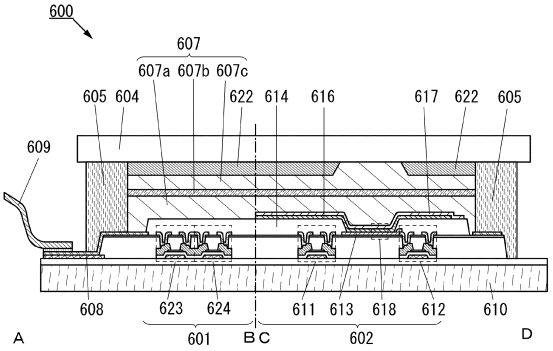
【図１４】



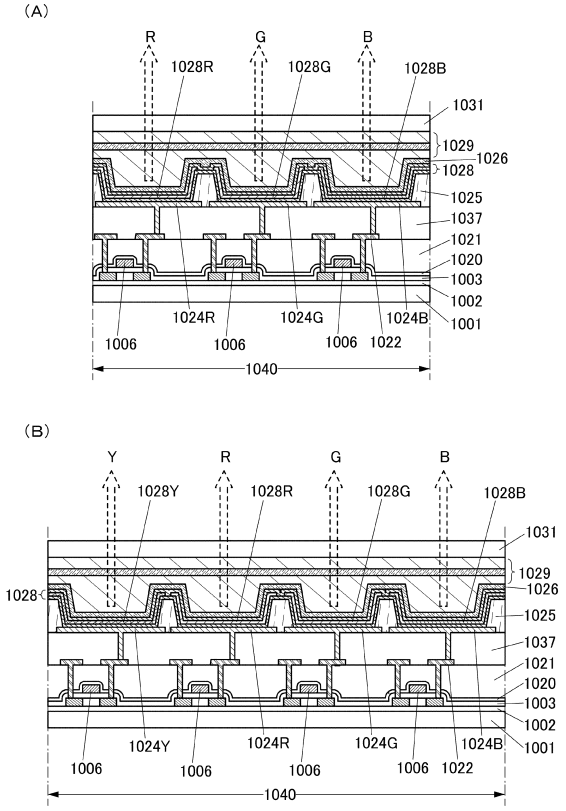
【図１５】



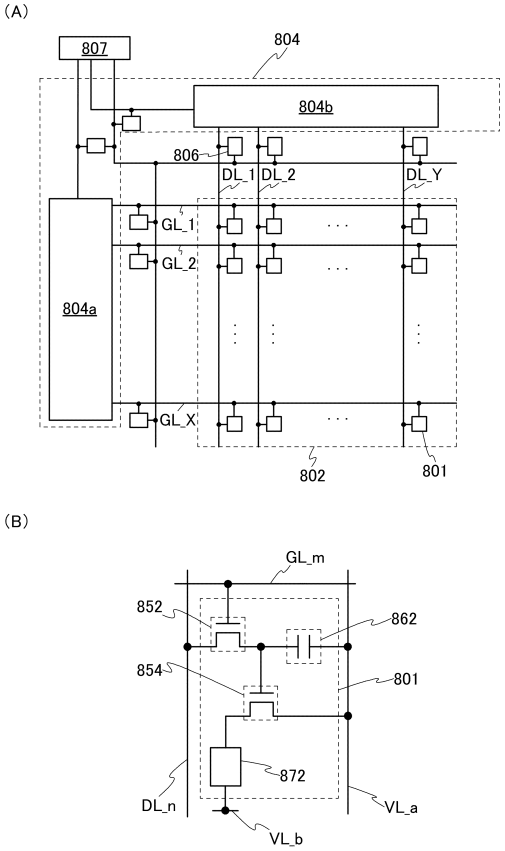
【図１６】



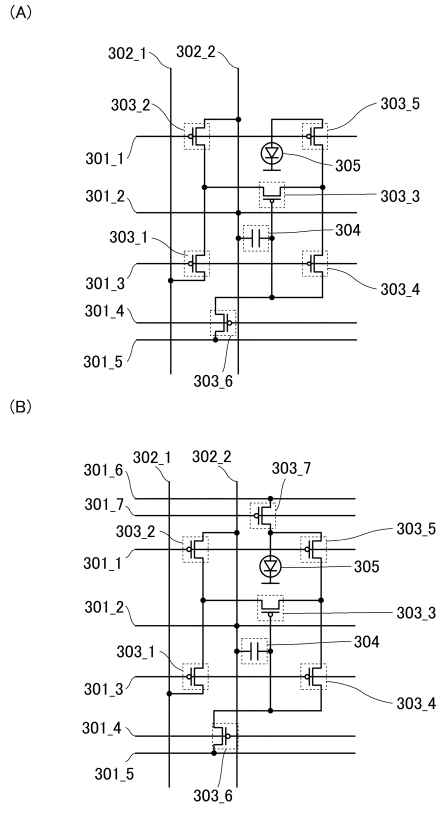
【図１７】



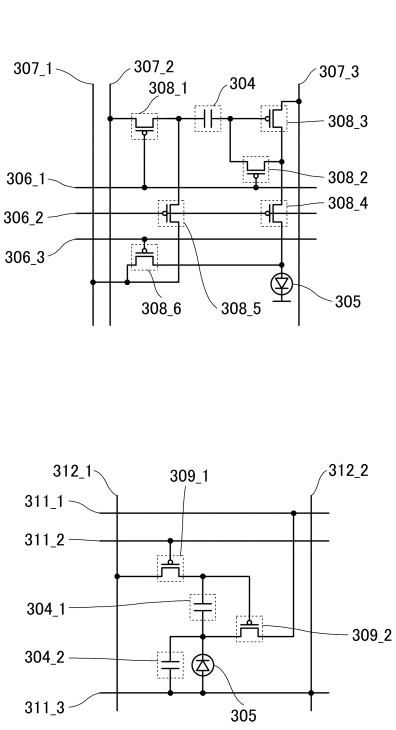
【図１８】



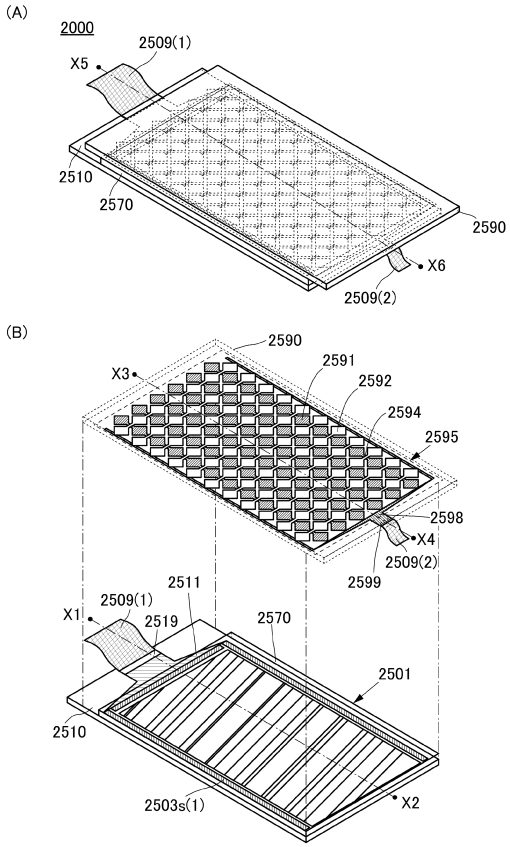
【図１９】



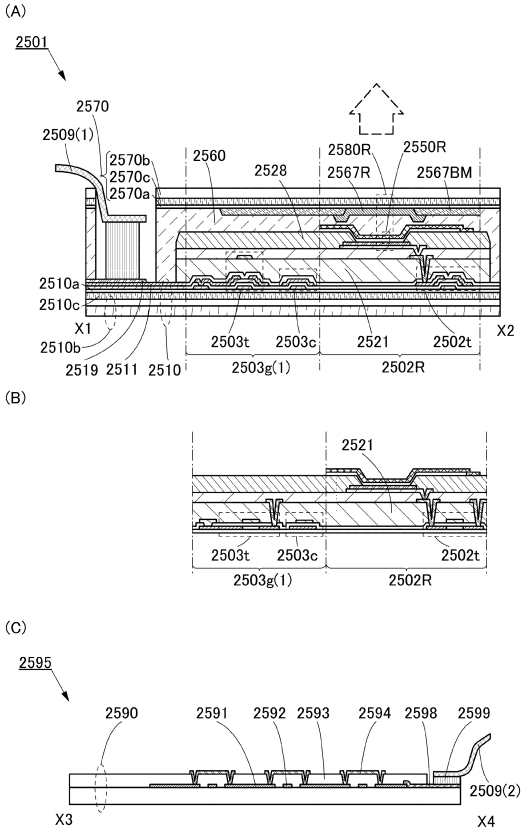
【図２０】



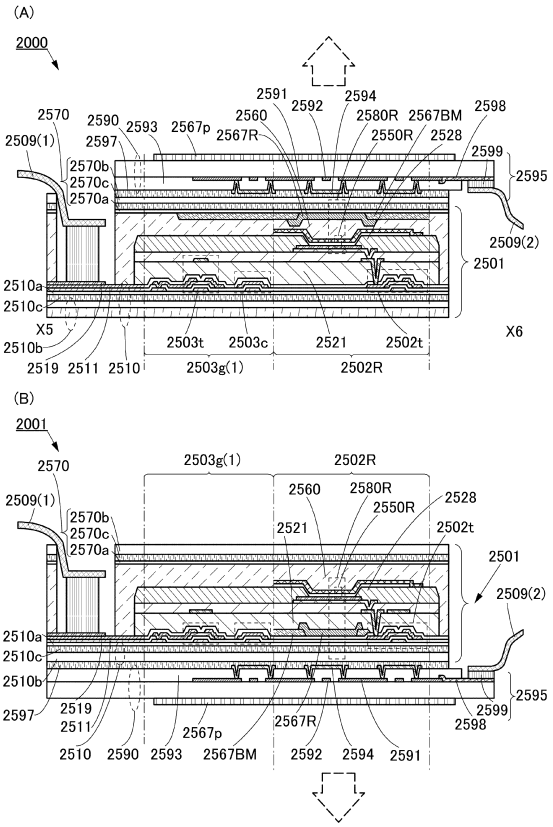
【図２１】



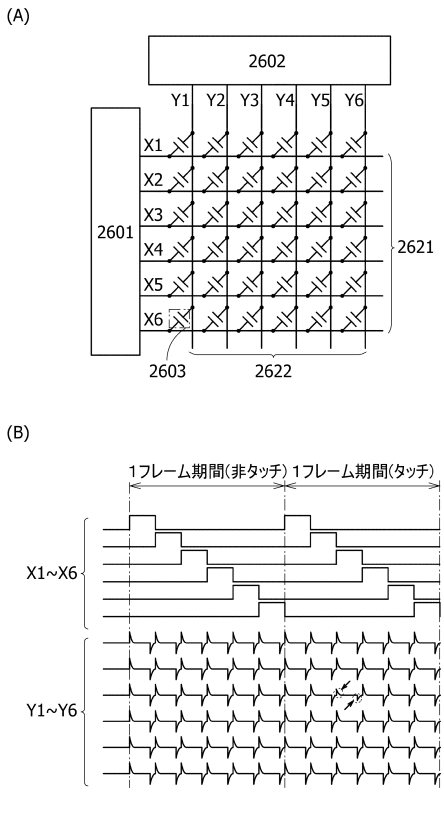
【図２２】



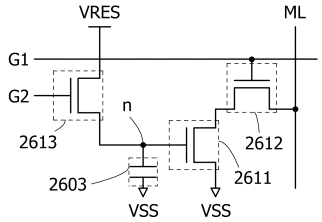
【図２３】



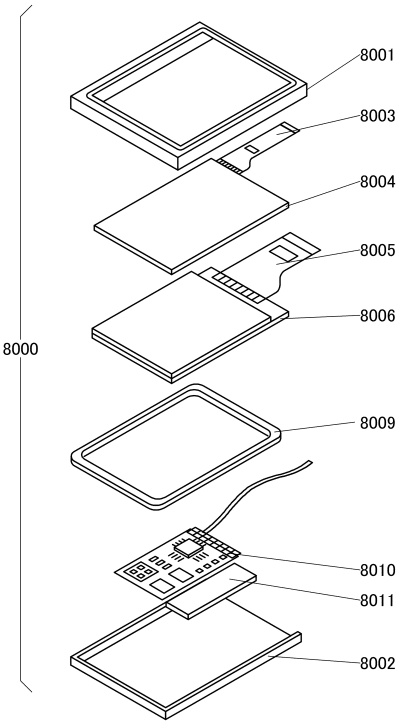
【図２４】



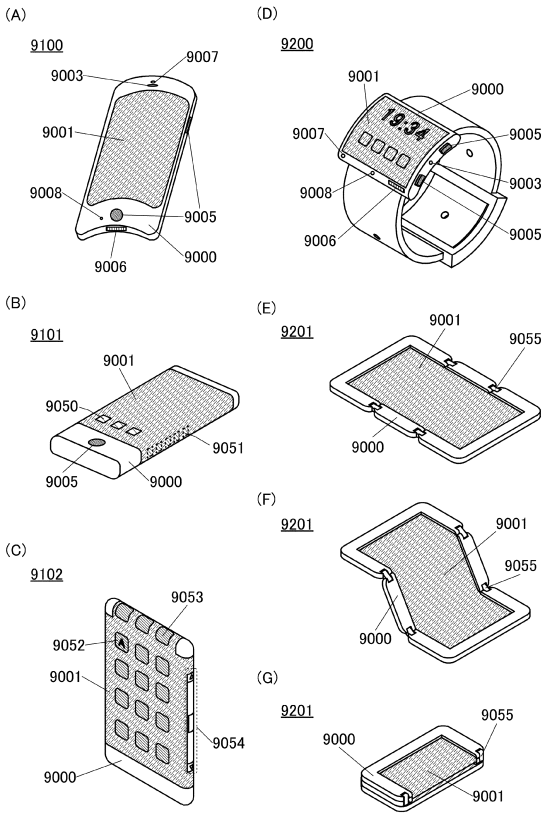
【図２５】



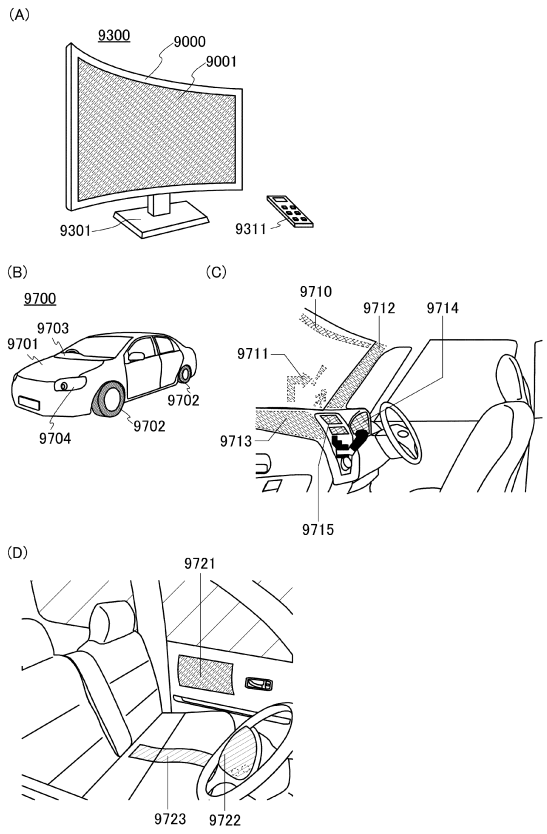
【図２６】



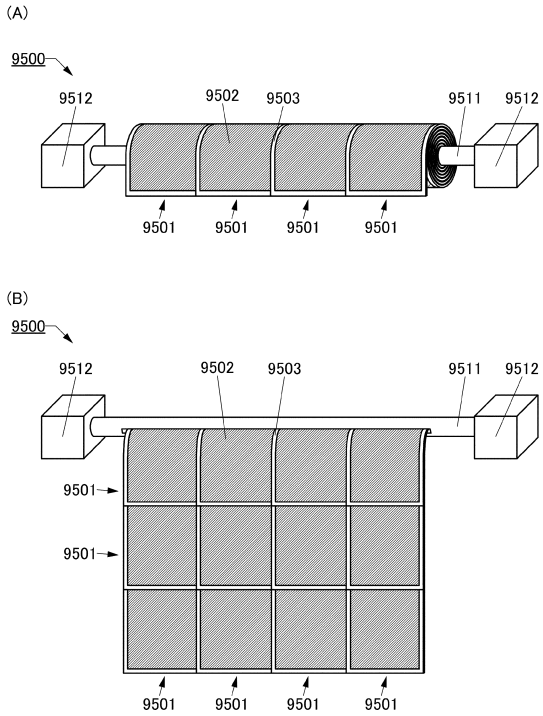
【図２７】



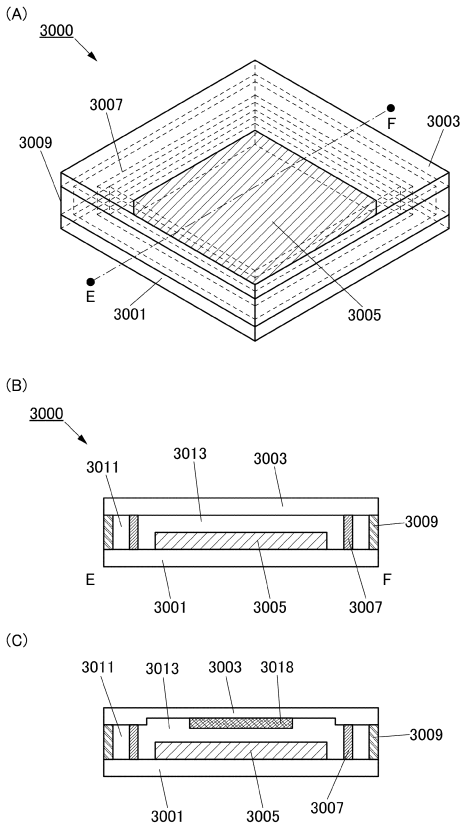
【図２８】



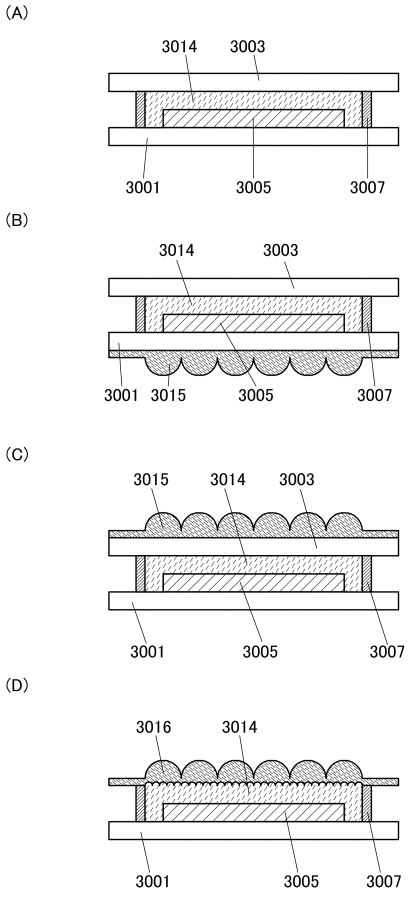
【図２９】



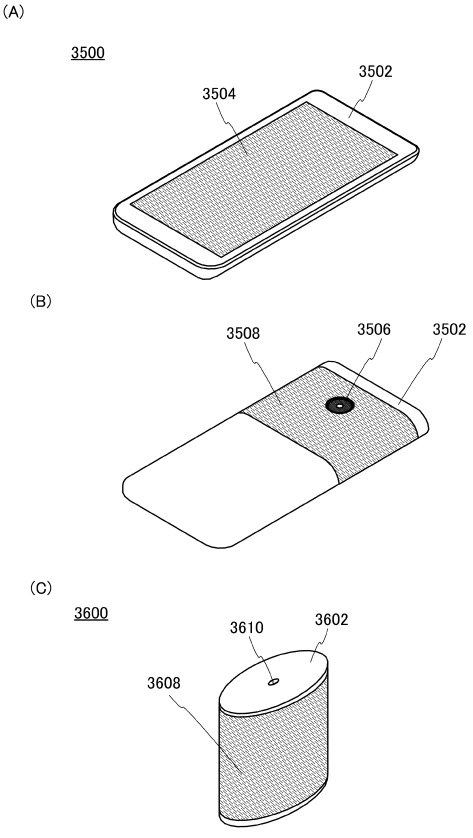
【図３０】



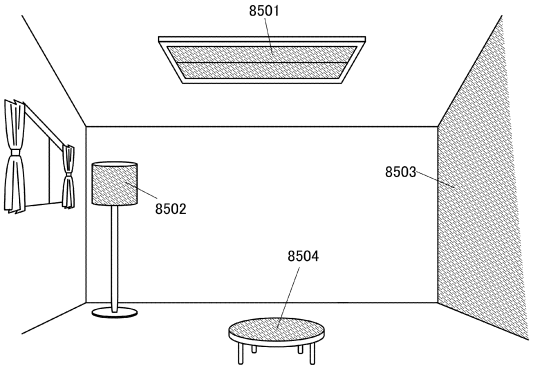
【図３１】



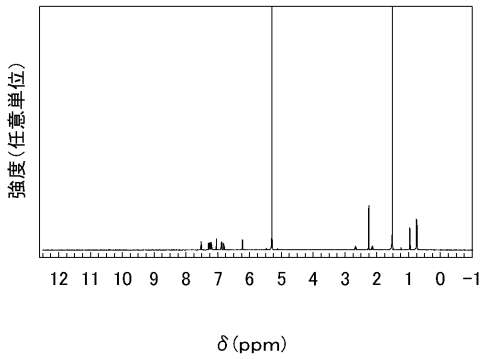
【図３２】



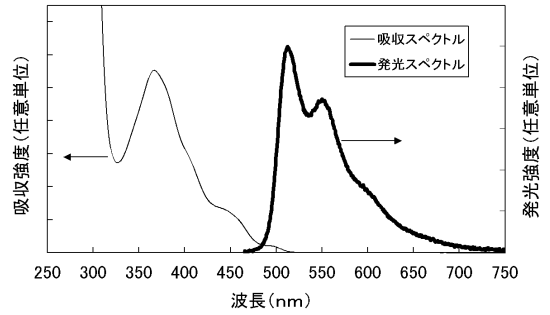
【図３３】



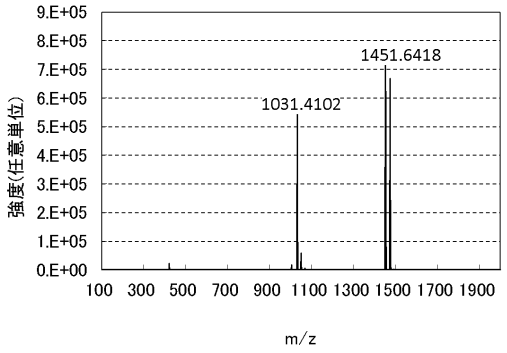
【図３４】



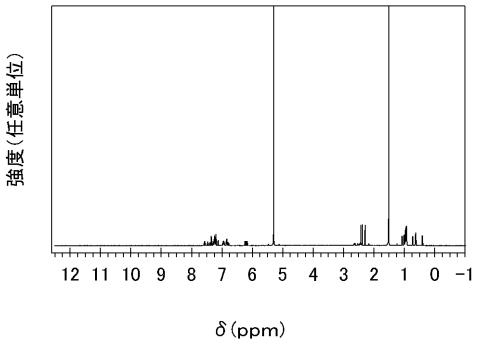
【図３５】



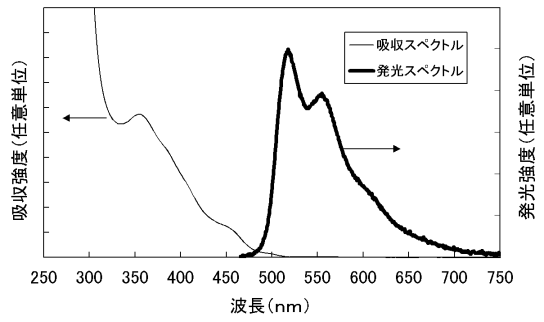
【図３６】



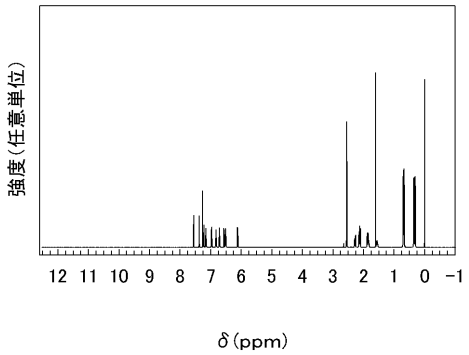
【図３７】



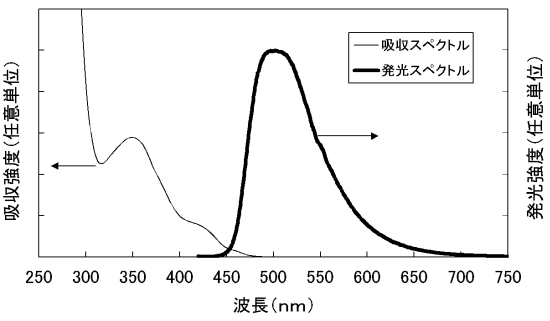
【図３８】



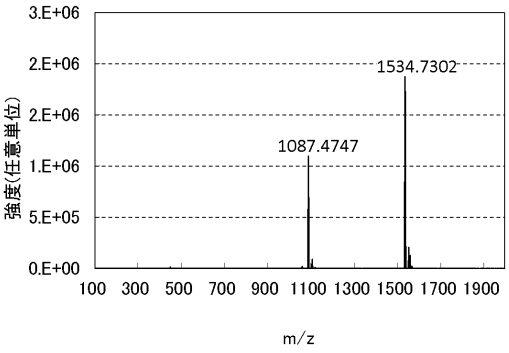
【図３９】



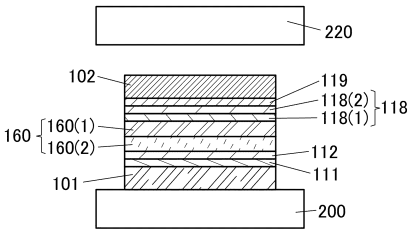
【図４０】



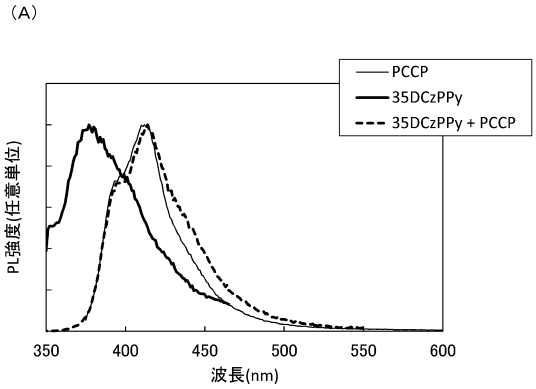
【図４１】

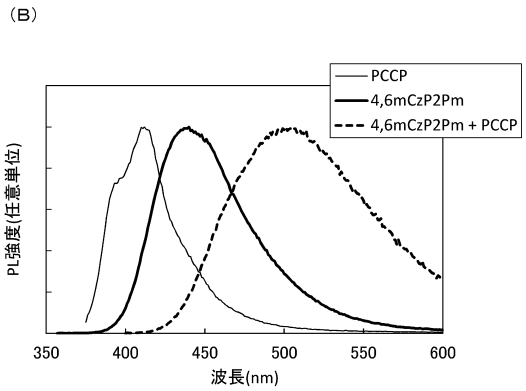


【図４２】

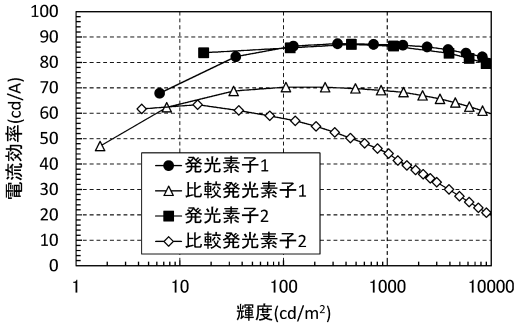


【図４３】

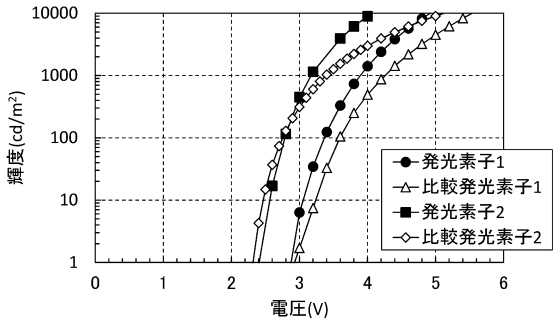




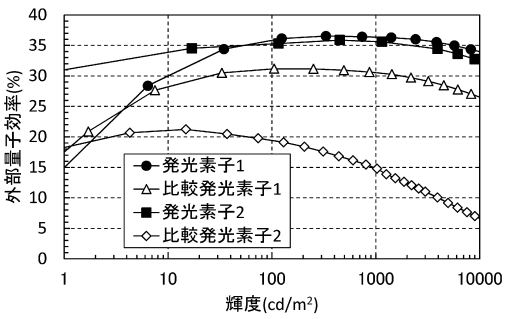
【図４４】



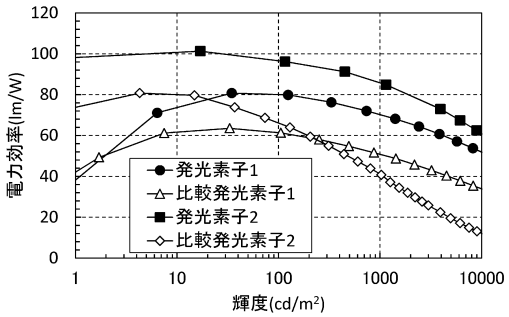
【図４５】



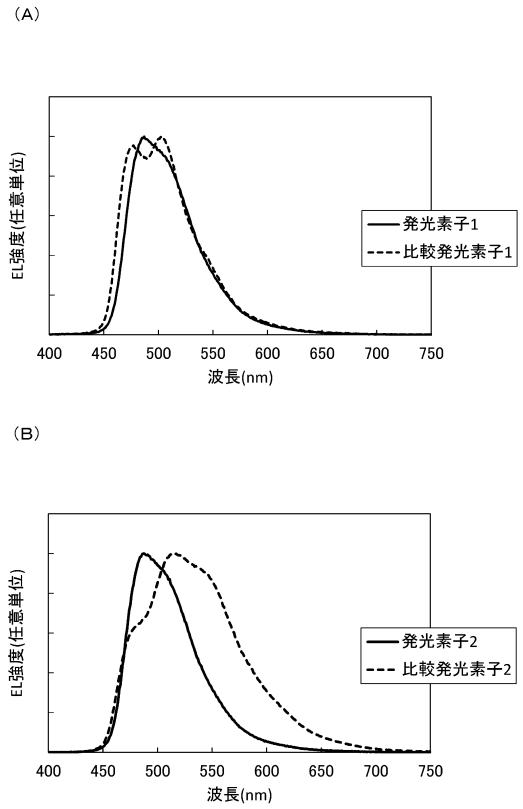
【図４６】



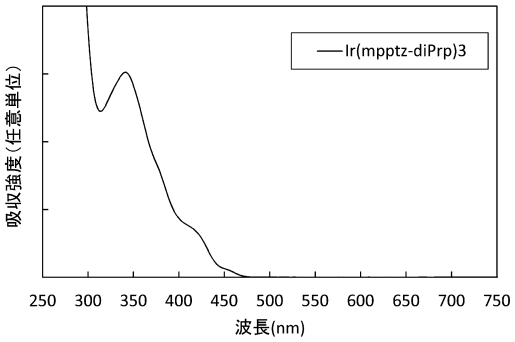
【図４７】



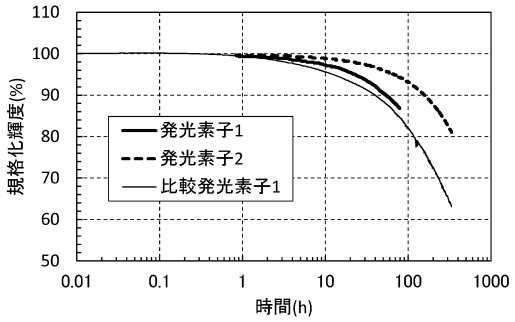
【図４８】



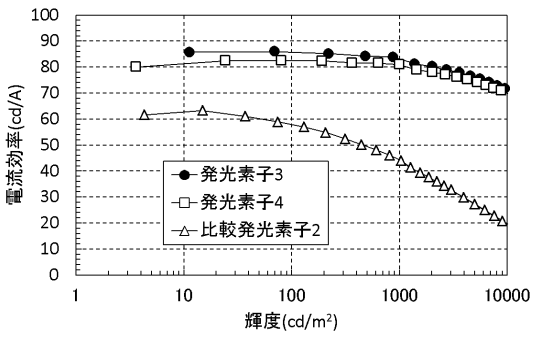
【図４９】



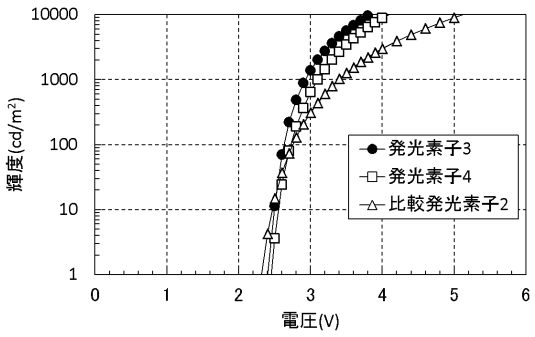
【図５０】



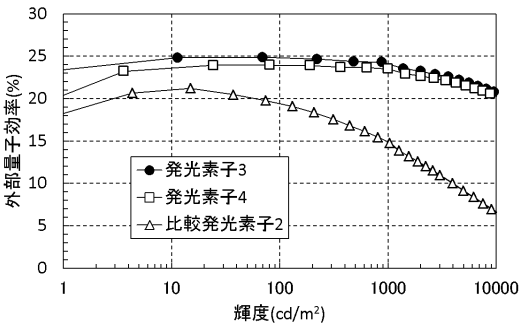
【図５１】



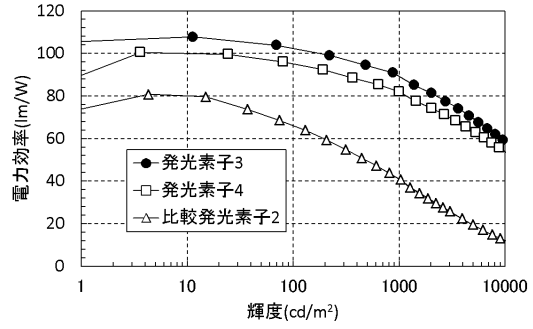
【図５２】



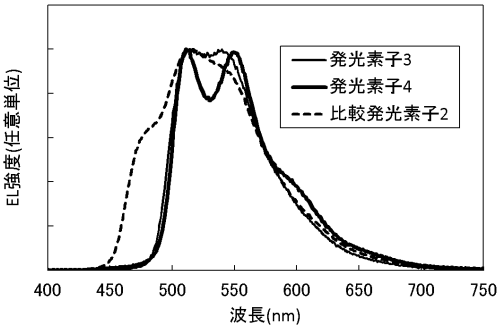
【図５３】



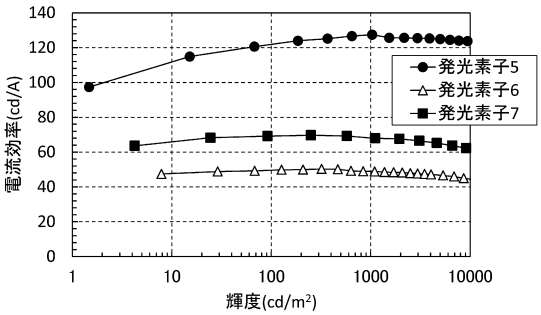
【図５４】



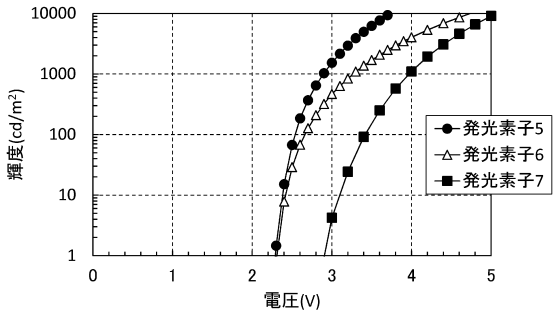
【図５５】



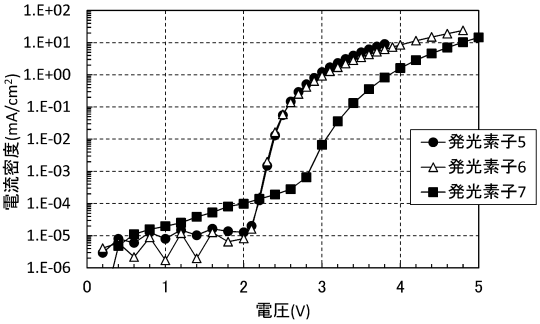
【図５６】



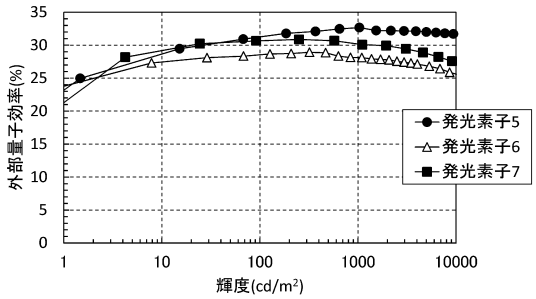
【図５７】



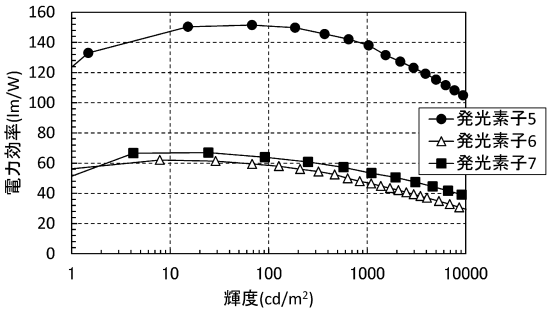
【図５８】



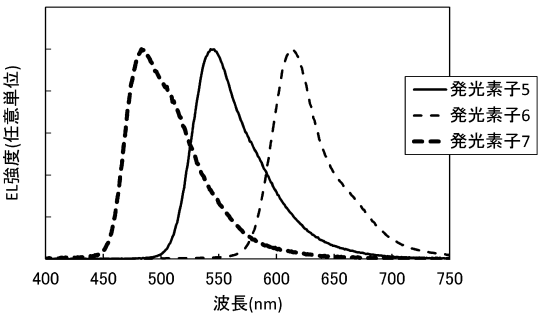
【図５９】



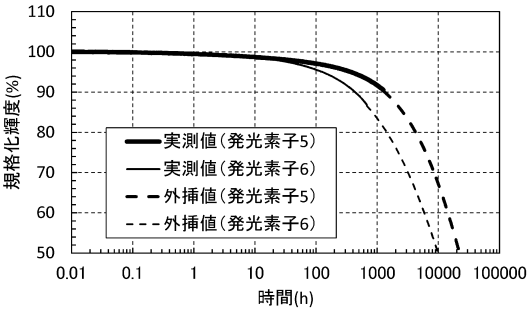
【図６０】



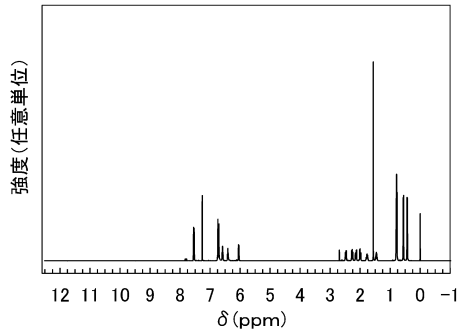
【図６１】



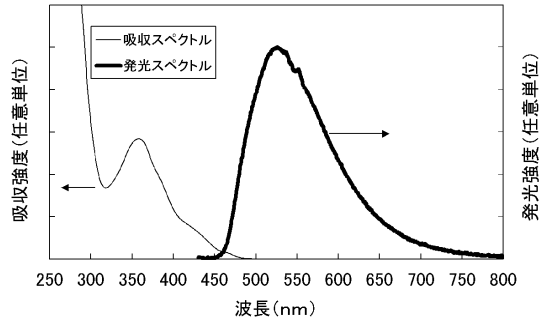
【図６２】



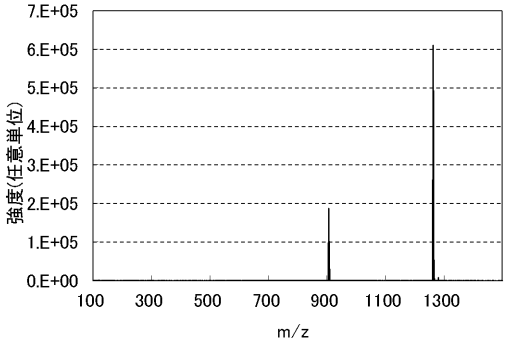
【図６３】



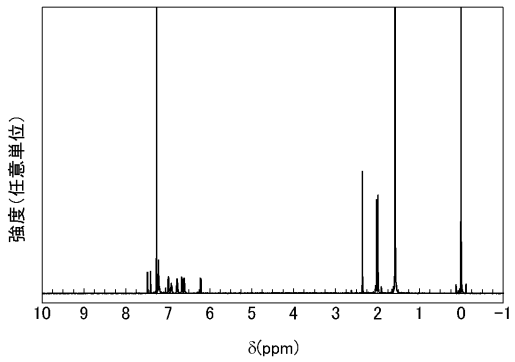
【図６４】



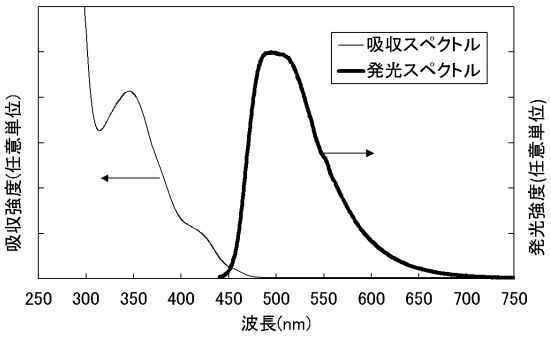
【図６５】



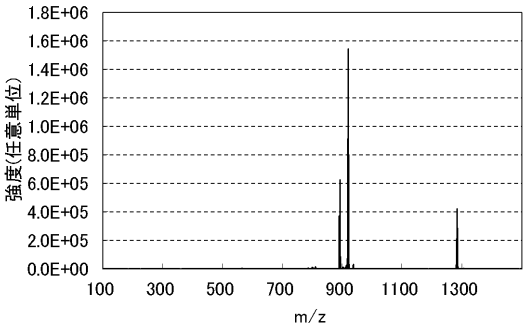
【図６６】



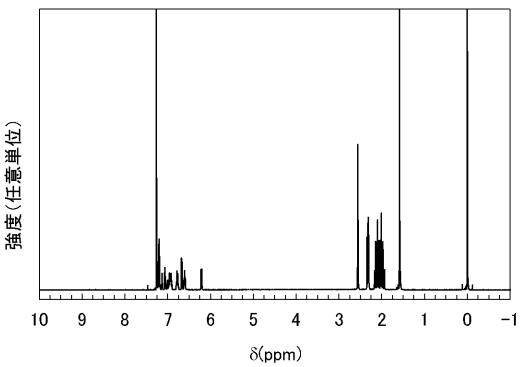
【図６７】



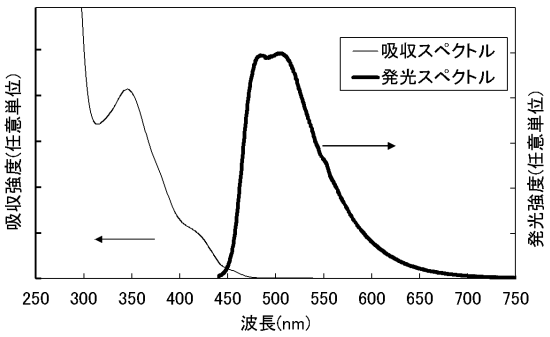
【図６８】



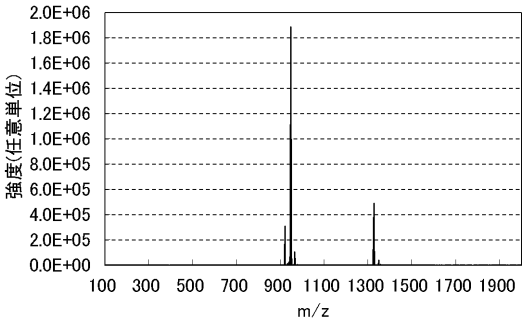
【図６９】



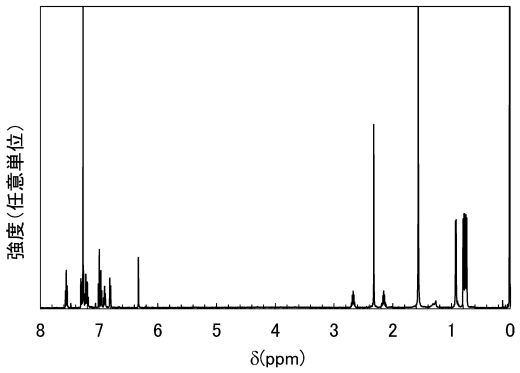
【図７０】



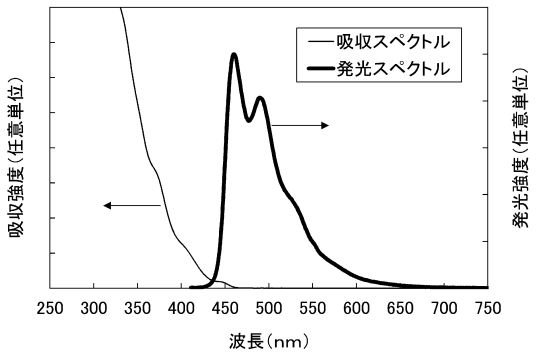
【図７１】



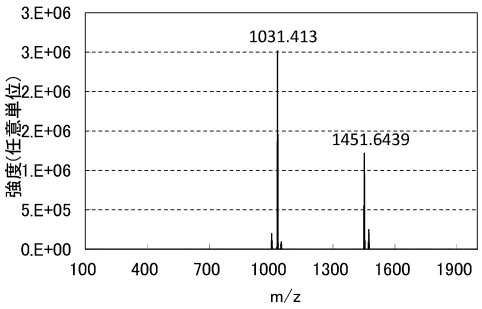
【図７２】



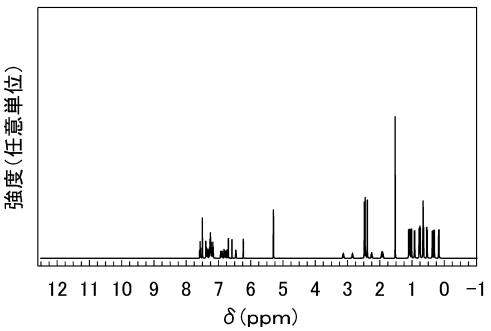
【図７３】



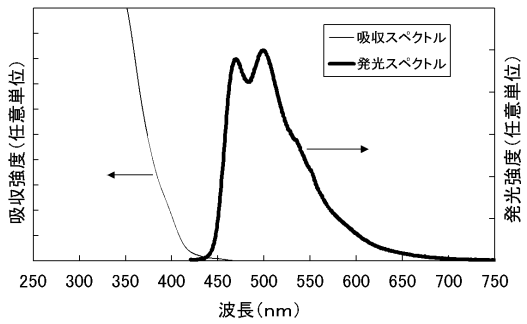
【図７４】



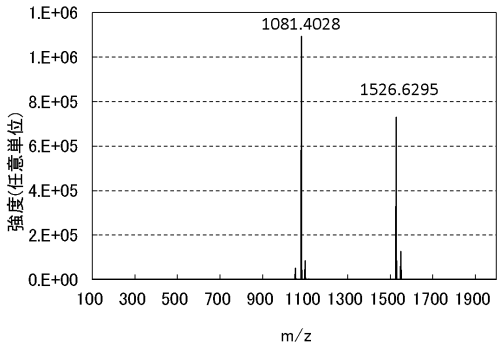
【図７５】



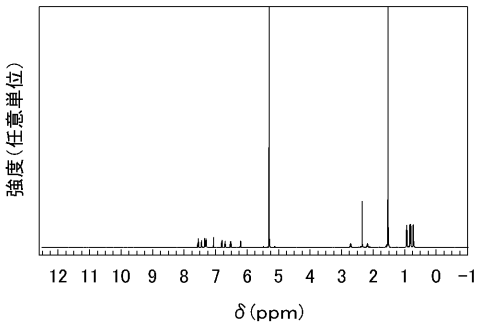
【図７６】



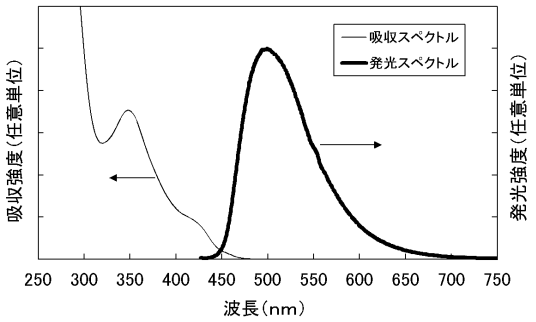
【図７７】



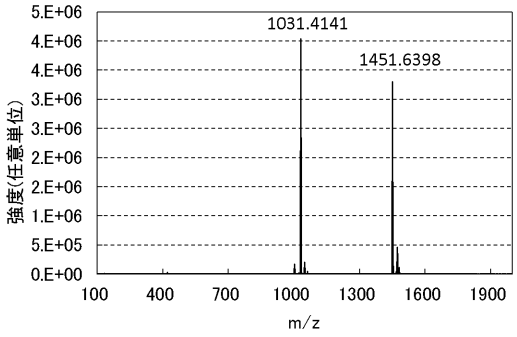
【図７８】



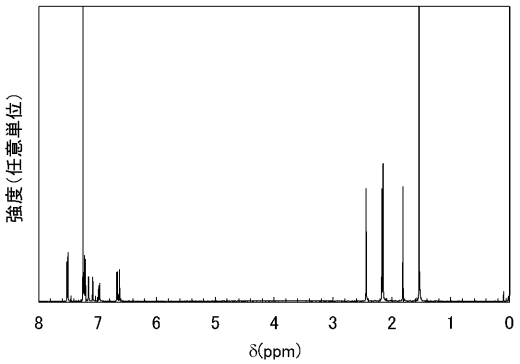
【図７９】



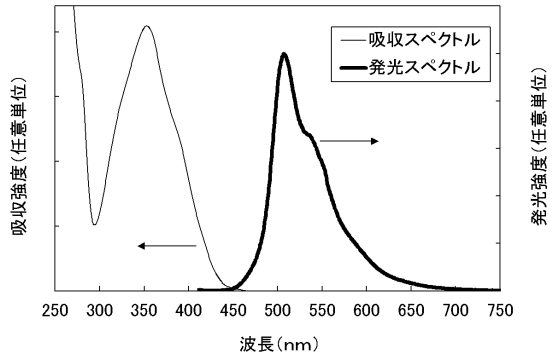
【図８０】



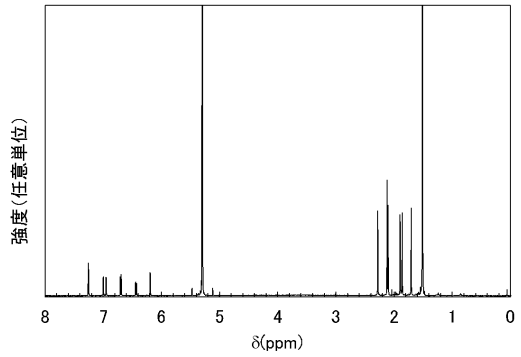
【図８１】



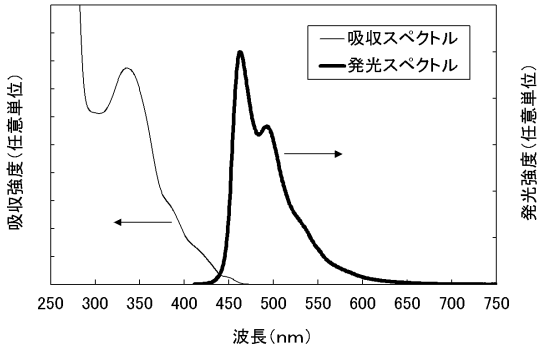
【図８２】



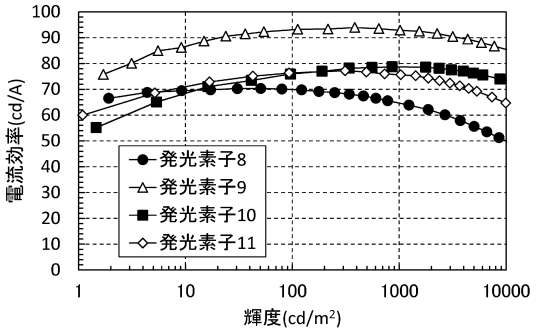
【図８３】



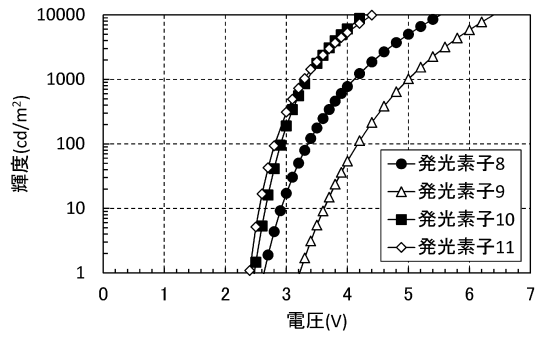
【図８４】



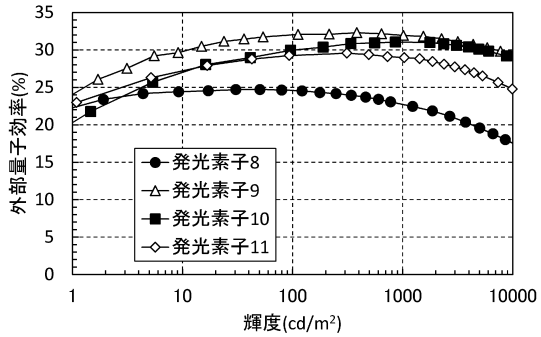
【図８５】



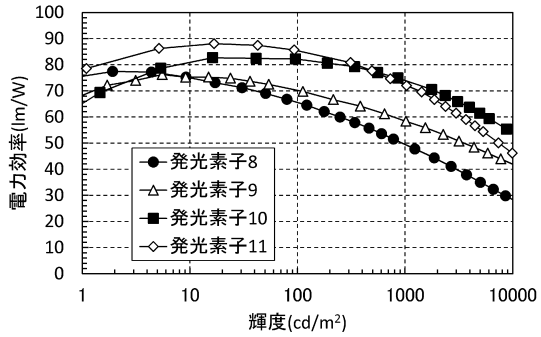
【図８６】



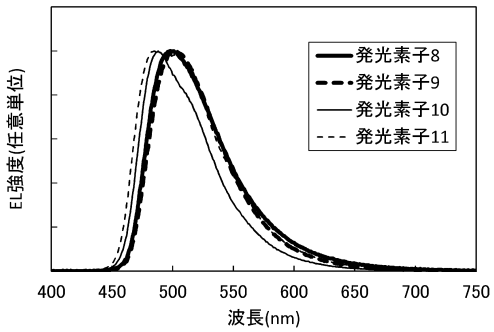
【図８７】



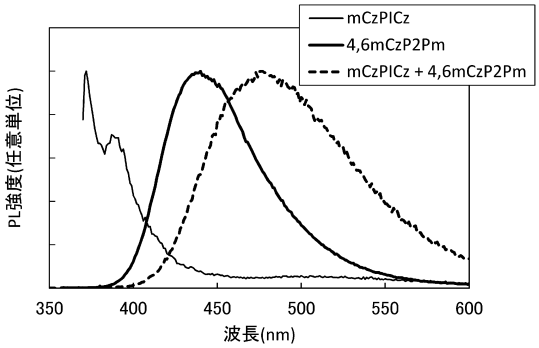
【図８８】



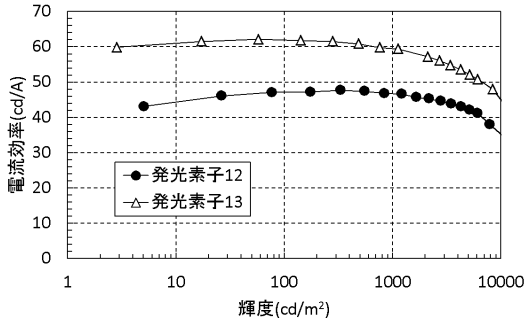
【図８９】



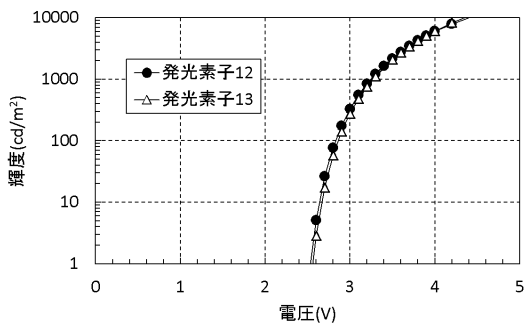
【図９０】



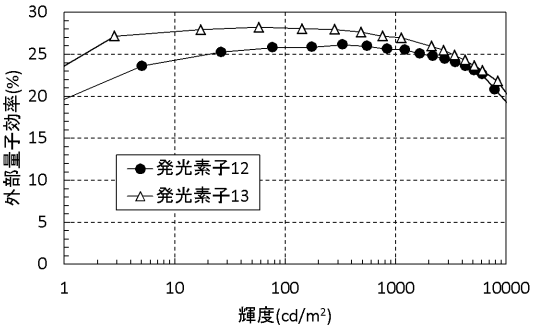
【図９１】



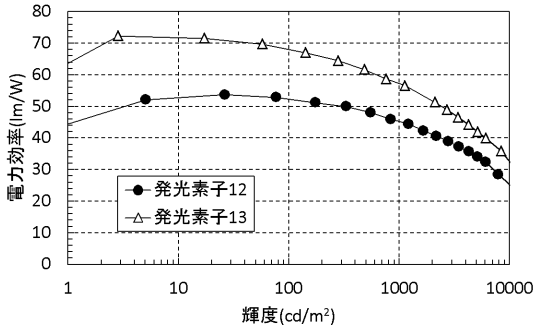
【図９２】



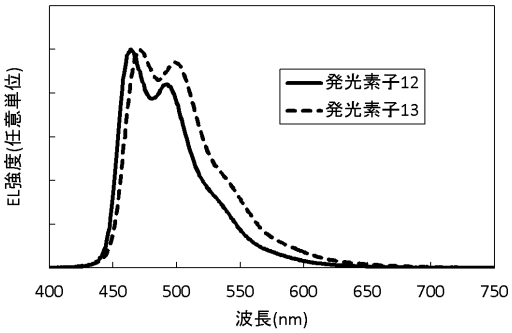
【図９３】



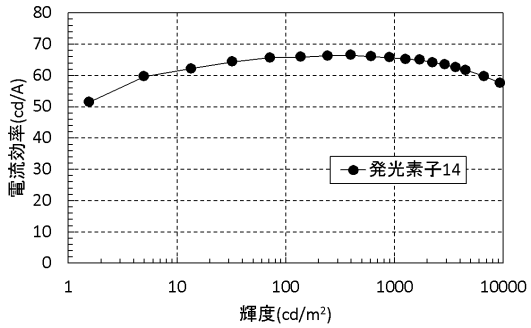
【図９４】



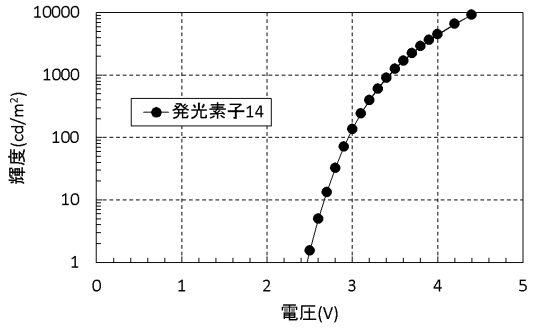
【図９５】



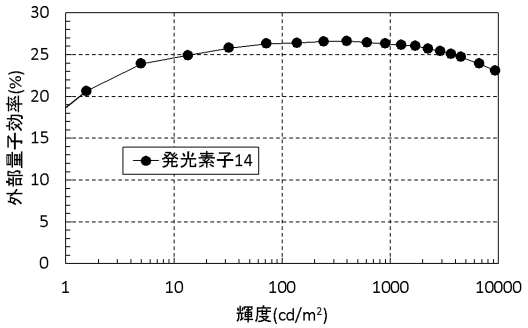
【図９６】



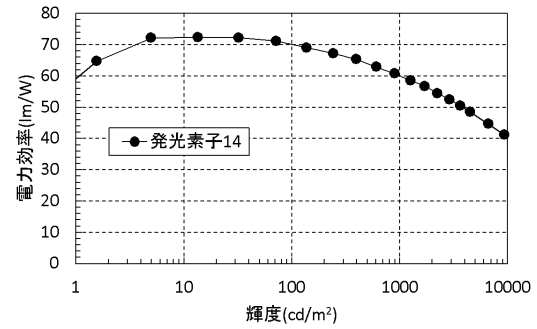
【図９７】



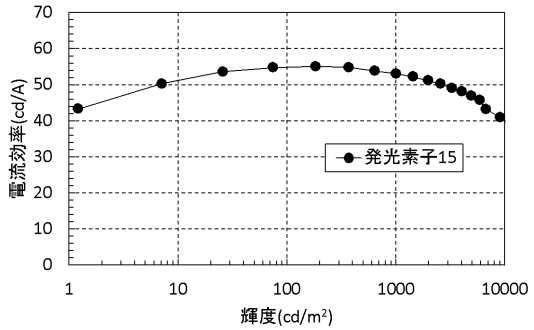
【図９８】



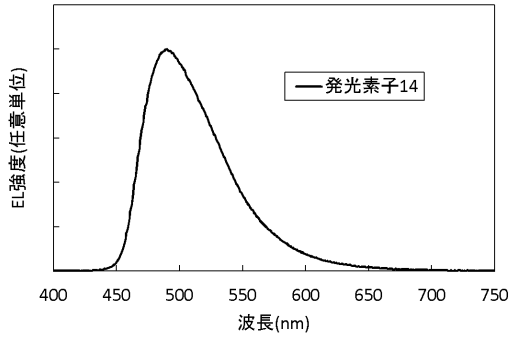
【図９９】



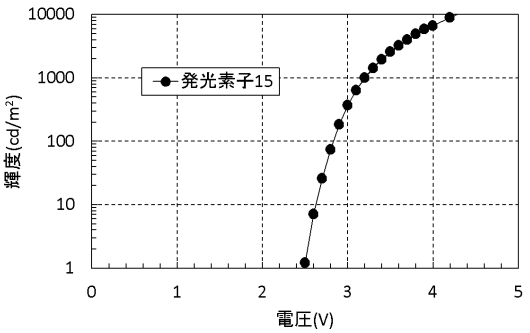
【図１０１】



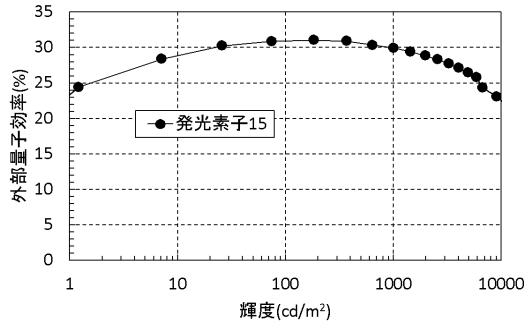
【図１００】



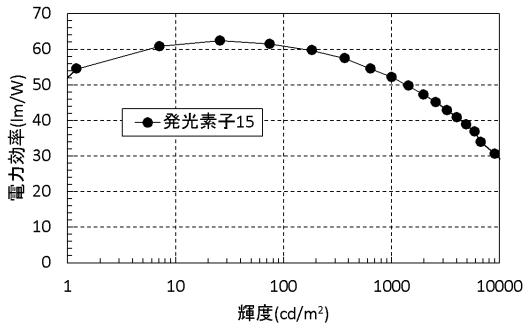
【図１０２】



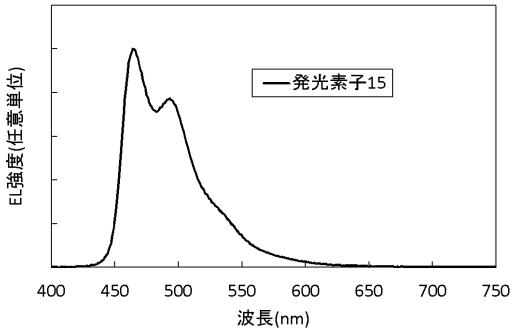
【図１０３】



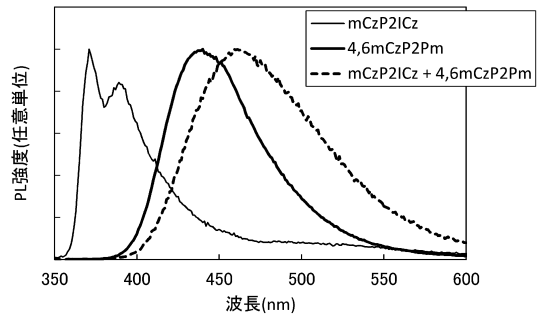
【図１０４】



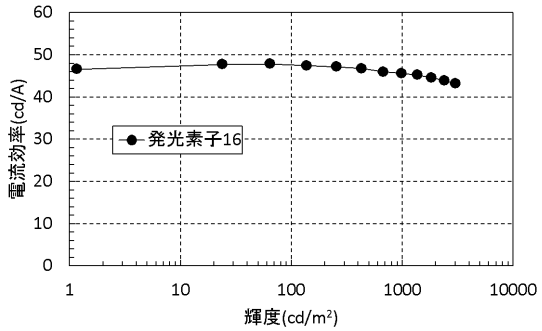
【図１０５】



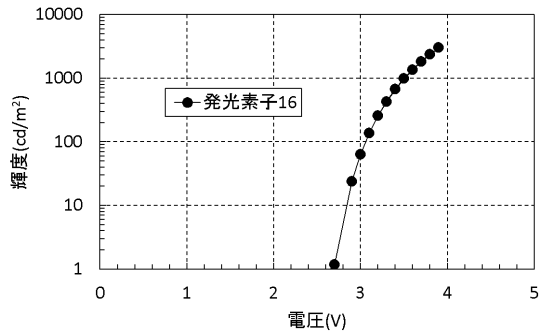
【図１０６】



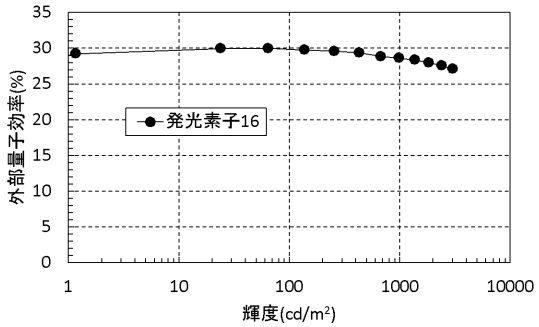
【図１０７】



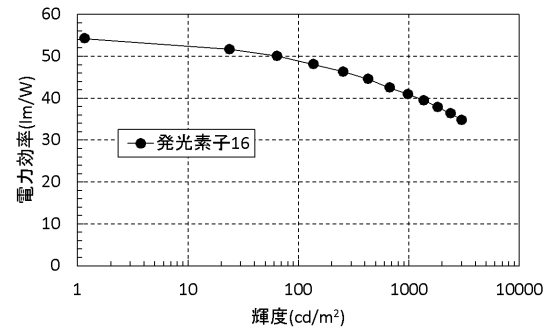
【図１０８】



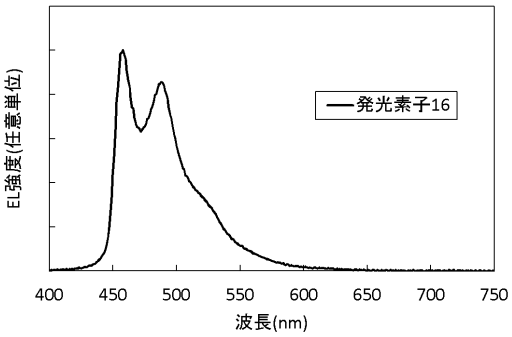
【図１０９】



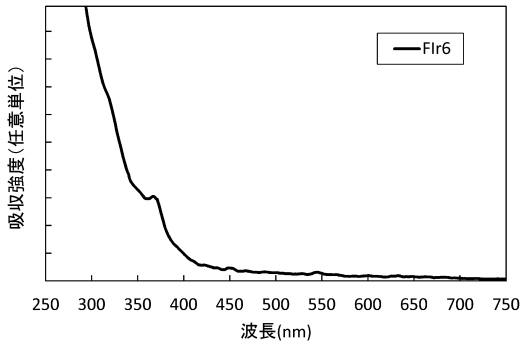
【図１１０】



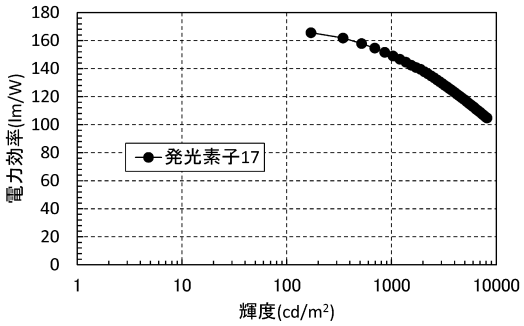
【図１１１】



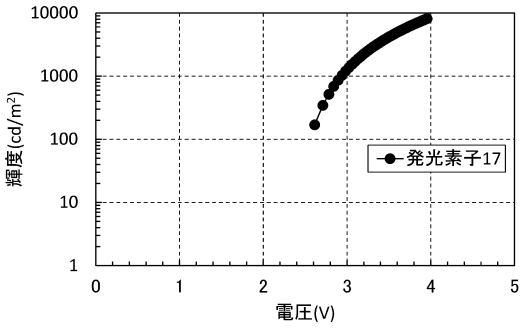
【図１１２】



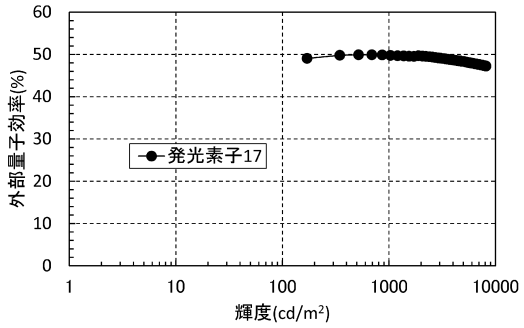
【図１１３】



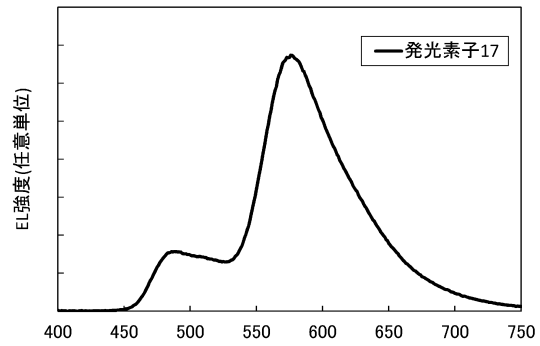
【図１１４】



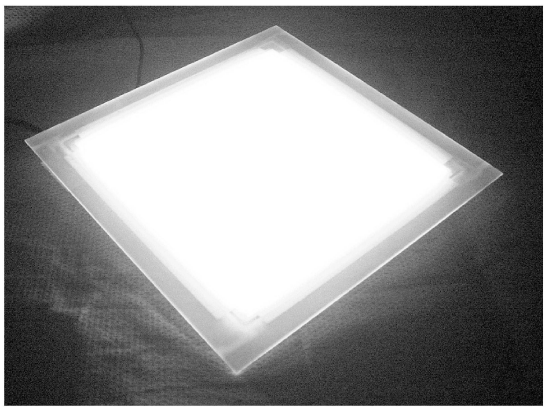
【図１１５】



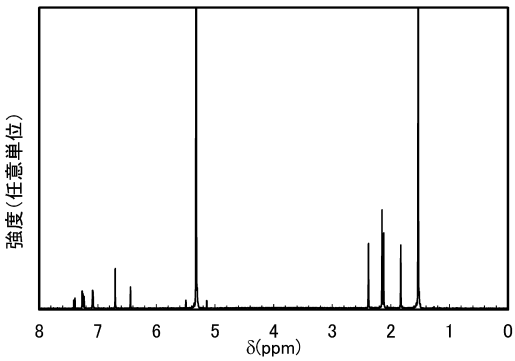
【図１１６】



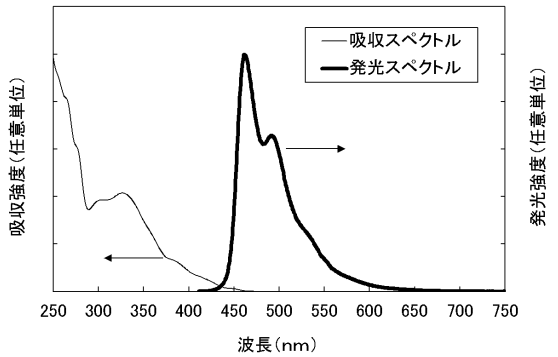
【図１１７】



【図１１８】



【図１１９】


吸収スペクトル
発光スペクトル
吸収強度（任意単位）
発光強度（任意単位）
250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750
波長（nm）

フロントページの続き

(51)Int.Cl.			FI		
C09K 11/06	*(2006.01)*		C09K	11/06	660
C07F 15/00	*(2006.01)*		C09K	11/06	690
			C07F	15/00	E

(31)優先権主張番号　特願2015-233283(P2015-233283)
(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)
(31)優先権主張番号　特願2016-51311(P2016-51311)
(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)

(72)発明者　光森　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
(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
(72)発明者　原　朋香
　　神奈川県厚木市長谷３９８番地　株式会社半導体エネルギー研究所内

審査官　中山　佳美

(56)参考文献　特開２０１２－２２７５２４（ＪＰ，Ａ）
　　特開２０１３－２３７６６２（ＪＰ，Ａ）
　　特開２０１４－０２９９７１（ＪＰ，Ａ）
　　特開２０１２－１８６４６１（ＪＰ，Ａ）
　　特開２０１４－１１２７１５（ＪＰ，Ａ）
　　特開２０１４－２０８６１４（ＪＰ，Ａ）
　　特開２０１５－００５７６５（ＪＰ，Ａ）
　　特開２００７－２５１０９７（ＪＰ，Ａ）

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