

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-78699
(P2014-78699A)

(43) 公開日 平成26年5月1日(2014.5.1)

(51) Int.Cl.

H01L 51/50 (2006.01)
C09K 11/06 (2006.01)

F 1

H05B 33/14
C09K 11/06 690
C09K 11/06 660

テーマコード(参考)

3 K 1 O 7

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 47 頁)

(21) 出願番号 特願2013-191442 (P2013-191442)
 (22) 出願日 平成25年9月17日 (2013.9.17)
 (31) 優先権主張番号 特願2012-208661 (P2012-208661)
 (32) 優先日 平成24年9月21日 (2012.9.21)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000153878
 株式会社半導体エネルギー研究所
 神奈川県厚木市長谷398番地
 (72) 発明者 山崎 舜平
 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
 濑尾 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 下垣 智子
 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

最終頁に続く

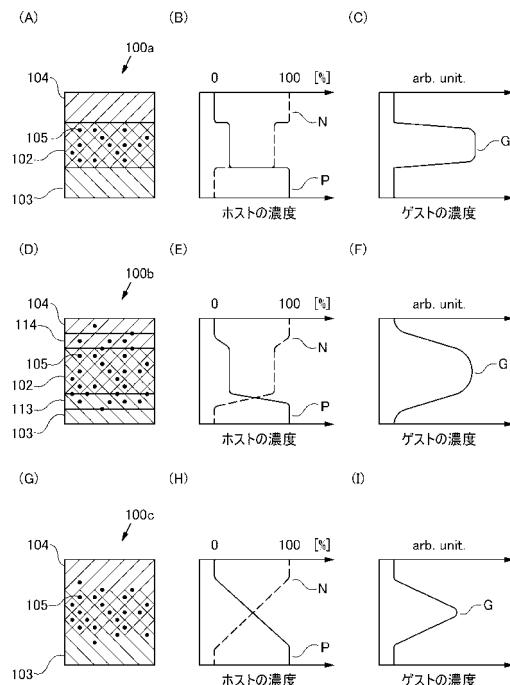
(54) 【発明の名称】発光素子

(57) 【要約】

【課題】発光効率が高い発光素子を提供する。

【解決手段】一対の電極間に、P型ホストを含む層と、ゲスト、P型ホスト、及びN型ホストを含む発光層と、N型ホストを含む層と、を備える発光素子。該P型ホスト及び該N型ホストは励起錯体を形成する組み合わせである。飛行時間二次イオン質量分析計による分析では、P型ホストを含む層、発光層、及びN型ホストを含む層のうち、N型ホストの二次イオン強度が最も高い層は発光層であり、次に高い層はN型ホストを含む層であり、最も低い層はP型ホストを含む層である。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第1の電極と、前記第1の電極上の発光層と、前記発光層上の第1の層と、前記第1の層上の第2の電極と、を有し、

前記発光層は、燐光性化合物及び有機化合物を含み、かつ、前記燐光性化合物よりも前記有機化合物を多く含み、

前記第1の層は、前記有機化合物を含み、

飛行時間二次イオン質量分析計による分析では、前記発光層は、前記第1の層よりも、前記有機化合物の二次イオン強度が高い発光素子。

【請求項 2】

第1の電極と、前記第1の電極上の第1の層と、前記第1の層上の発光層と、前記発光層上の第2の層と、前記第2の層上の第2の電極と、を有し、

前記発光層は、燐光性化合物と、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を含み、かつ、前記第2の有機化合物を最も多く含み、

前記第1の層は、前記第1の有機化合物を含み、

前記第2の層は、前記第2の有機化合物を含み、

前記第1の有機化合物及び前記第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、

飛行時間二次イオン質量分析計による分析では、前記第1の層、前記発光層、及び前記第2の層のうち、前記第2の有機化合物の二次イオン強度が最も高い層は前記発光層であり、次に高い層は前記第2の層であり、最も低い層は前記第1の層である発光素子。

【請求項 3】

第1の電極と、前記第1の電極上の第1の層と、前記第1の層上の発光層と、前記発光層上の第2の層と、前記第2の層上の第2の電極と、を有し、

前記発光層は、燐光性化合物と、正孔輸送性の第1の有機化合物と、電子輸送性の第2の有機化合物と、を含み、

前記第1の層は、前記第1の有機化合物を含み、

前記第2の層は、前記第2の有機化合物を含み、

前記第1の有機化合物及び前記第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、

飛行時間二次イオン質量分析計による分析では、前記第1の層、前記発光層、及び前記第2の層のうち、前記第2の有機化合物の二次イオン強度が最も高い層は前記発光層であり、次に高い層は前記第2の層であり、最も低い層は前記第1の層である発光素子。

【請求項 4】

請求項2又は3において、

飛行時間二次イオン質量分析計による分析では、前記第1の層、前記発光層、及び前記第2の層のうち、前記第1の有機化合物の二次イオン強度が最も低い層は前記第2の層である発光素子。

【請求項 5】

請求項2乃至4のいずれか一項において、

前記第1の有機化合物は、芳香族アミン化合物である発光素子。

【請求項 6】

請求項2乃至5のいずれか一項において、

前記第2の有機化合物は、含窒素複素芳香族化合物である発光素子。

【請求項 7】

請求項2乃至5のいずれか一項において、

前記第2の有機化合物は、6員環のヘテロ芳香族化合物である発光素子。

【請求項 8】

請求項1乃至7のいずれか一項において、

前記燐光性化合物は、有機金属錯体である発光素子。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

有機エレクトロルミネッセンス(EL:Electroluminescence)現象を利用した発光素子(以下、有機EL素子とも記す)に関する。

【背景技術】**【0002】**

有機EL素子の研究開発が盛んに行われている。有機EL素子の基本的な構成は、一対の電極間に、発光物質である有機化合物を含む層(以下、発光層とも記す)を挟んだものである。有機EL素子は、薄型軽量化できる、入力信号に高速に応答できる、直流低電圧駆動が可能である、などの特性から、次世代のフラットパネルディスプレイ素子として注目されている。また、有機EL素子を用いたディスプレイは、コントラストや画質に優れ、視野角が広いという特徴も有している。さらに、有機EL素子は面光源であるため、液晶ディスプレイのバックライトや照明等の光源としての応用も考えられている。

10

【0003】

有機EL素子の発光機構は、キャリア注入型である。すなわち、素子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)がそれぞれ発光層に注入され、電流が流れる。そして、注入した電子及び正孔が発光物質である有機化合物を励起状態に至らしめ、励起された該有機化合物から発光を得るものである。

20

【0004】

有機化合物が形成する励起状態の種類としては、一重項励起状態と三重項励起状態が可能であり、一重項励起状態(S^*)からの発光が蛍光、三重項励起状態(T^*)からの発光が燐光と呼ばれている。ここで、蛍光を発する化合物(以下、蛍光性化合物とも記す)は室温において、通常、燐光は観測されず蛍光のみが観測される。したがって、蛍光性化合物を用いた発光素子における内部量子効率(注入したキャリアに対して発生するフォトンの割合)の理論的限界は、上記の一重項励起状態と三重項励起状態の比率を根拠に25%とされている。

20

【0005】

一方、燐光を発する化合物(以下、燐光性化合物とも記す)を用いれば、理論上、内部量子効率は100%にまで高めることが可能となる。つまり、蛍光性化合物に比べて高い発光効率を得ることが可能になる。このような理由から、発光効率の高い発光素子を実現するために、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。

30

【0006】

特に、燐光性化合物としては、その燐光量子収率の高さゆえに、イリジウム等を中心金属とする有機金属錯体が注目されており、例えば、特許文献1には、イリジウムを中心金属とする有機金属錯体が燐光材料として開示されている。

30

【0007】

上述した燐光性化合物を用いて発光素子の発光層を形成する場合、燐光性化合物の濃度消光や三重項-三重項消滅による消光を抑制するために、他の化合物からなるマトリクス中に該燐光性化合物が分散するように形成することが多い。この時、マトリクスとなる化合物はホスト、燐光性化合物のようにマトリクス中に分散される化合物はゲストと呼ばれる。

40

【0008】

燐光性化合物をゲストとして用いる発光素子(以下、燐光発光素子とも記す)における発光の一般的な素過程について説明する。

【0009】**(1) 直接再結合過程**

電子及び正孔がゲスト分子において再結合し、ゲスト分子が励起状態となる場合、該励起状態が三重項励起状態のとき、ゲスト分子は燐光を発する。該励起状態が一重項励起状態のとき、ゲスト分子は三重項励起状態に項間交差し、燐光を発する。

50

【 0 0 1 0 】

つまり、直接再結合過程においては、ゲスト分子の項間交差効率、及び燐光量子収率さえ高ければ、高い発光効率が得られることになる。

【 0 0 1 1 】**(2) エネルギー移動過程**

(2 - 1) 電子及び正孔がホスト分子において再結合し、ホスト分子が三重項励起状態となる場合

ホスト分子の三重項励起エネルギー準位 (T_1 準位) がゲスト分子の T_1 準位よりも高いとき、ホスト分子からゲスト分子に励起エネルギーが移動し、ゲスト分子が三重項励起状態となる。三重項励起状態となったゲスト分子は燐光を発する。

(2 - 2) 電子及び正孔がホスト分子において再結合し、ホスト分子が一重項励起状態となる場合

ホスト分子の一重項励起エネルギー準位 (S_1 準位) がゲスト分子の S_1 準位及び T_1 準位よりも高い場合、ホスト分子からゲスト分子に励起エネルギーが移動し、ゲスト分子が一重項励起状態又は三重項励起状態となる。三重項励起状態となったゲスト分子は燐光を発する。また、一重項励起状態となったゲスト分子は、三重項励起状態に項間交差し、燐光を発する。

【 0 0 1 2 】

つまり、エネルギー移動過程においては、ホスト分子の三重項励起エネルギー及び一重項励起エネルギーの双方が、いかにゲスト分子に効率良く移動できるかが重要となる。

【 0 0 1 3 】

このエネルギー移動過程を鑑みれば、ホスト分子からゲスト分子に励起エネルギーが移動する前に、ホスト分子自体がその励起エネルギーを光又は熱として放出して失活してしまうと、発光効率が低下することになる。

【 先行技術文献 】**【 特許文献 】****【 0 0 1 4 】**

【特許文献 1】 国際公開第 0 0 / 7 0 6 5 5 号パンフレット

【特許文献 2】 特開 2 0 0 2 - 3 1 3 5 8 3 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【 0 0 1 5 】**

ここで、ホスト分子が一重項励起状態である場合(上記(2-2))は、三重項励起状態である場合(上記(2-1))に比べて、燐光性化合物であるゲスト分子へのエネルギー移動が起こりにくく、発光効率が低下しやすい。その理由は、エネルギー移動過程を考慮することで導き出される。

【 0 0 1 6 】

分子間のエネルギー移動の機構として知られているフェルスター機構(双極子-双極子相互作用)及びデクスター機構(電子交換相互作用)を考慮すると、ホストからゲストへのエネルギー移動効率を高める(発光効率の高い発光素子を実現する)ためには、ホストの発光スペクトル(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)とゲストの吸収スペクトル(通常は、燐光があるので、三重項励起状態と基底状態とのエネルギー差)との重なりが大きい方が良い。またさらに、ゲストの T_1 準位からホストの T_1 準位への逆エネルギー移動を抑制するために、ホストの T_1 準位はゲストの T_1 準位よりも高くすることが必要である。

【 0 0 1 7 】

例えば、燐光発光素子のゲストとして用いることができる燐光性化合物として、有機金属錯体(有機金属イリジウム錯体等)が挙げられる。有機金属錯体は、一般に、比較的長波長の領域に三重項MLCT(Metal to Ligand Charge Tran

10

20

30

40

50

s f e r) 遷移に由来する吸収帯を有しており、励起スペクトルからも、この長波長領域（主に 500 nm ~ 600 nm 付近）の吸収帯が発光に大きく寄与するといえる。したがって、この長波長領域の吸収帯とホストの燐光スペクトルが大きく重なることが好ましい。これは、ホストの三重項励起状態から効率よくエネルギー移動が起こり、ゲストの三重項励起状態が効率よく生成するからである。

【 0 0 1 8 】

一方、ホストの S_1 準位は T_1 準位よりも高いため、 S_1 準位に対応する蛍光スペクトルは T_1 準位に対応する燐光スペクトルと比較してかなり短波長領域に観察される。このことはすなわち、ホストの蛍光スペクトルとゲストの長波長領域の吸収帯（三重項 M L C T 遷移に由来する吸収帯）との重なりが小さくなることを意味しており、ホストの一重項励起状態からゲストへのエネルギー移動が十分に利用できることになる。

10

【 0 0 1 9 】

すなわち、従来の燐光発光素子では、ホストの一重項励起状態からゲストにエネルギー移動して一重項励起状態を生成し、引き続く項間交差によるゲストの三重項励起状態の生成という過程を経る確率が非常に低い。

【 0 0 2 0 】

また、発光素子において異なる層の接合を有する場合、界面にエネルギーギャップが生じるため、駆動電圧が増大し、パワー効率が低下することが知られている（特許文献 2 参照）。

20

【 0 0 2 1 】

本発明はこのような問題点に鑑みてなされるものである。本発明の一態様は、発光効率が高い発光素子を提供することを目的の一とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 2 2 】

本発明の一態様の発光素子は、第 1 の電極と、第 1 の電極上の発光層と、発光層上の第 1 の層と、第 1 の層上の第 2 の電極と、を有し、発光層は、燐光性化合物（ゲストとも記す）及び有機化合物を含み、かつ、燐光性化合物よりも有機化合物を多く含み、第 1 の層は、有機化合物を含み、飛行時間二次イオン質量分析計（Time of Flight - Secondary Ion Mass Spectrometer : ToF - SIMS）による分析では、発光層は、第 1 の層よりも、有機化合物の二次イオン強度が高い。

30

【 0 0 2 3 】

また、本発明の一態様の発光素子は、第 1 の電極と、第 1 の電極上の第 1 の層と、第 1 の層上の発光層と、発光層上の第 2 の層と、第 2 の層上の第 2 の電極とを有し、発光層は、燐光性化合物と、第 1 の有機化合物と、第 2 の有機化合物とを含み、かつ、第 2 の有機化合物を最も多く含み、第 1 の層は第 1 の有機化合物を含み、第 2 の層は第 2 の有機化合物を含み、第 1 の有機化合物及び第 2 の有機化合物は励起錯体（エキサイプレックス、exciplex）を形成する組み合わせであり、ToF - SIMS による分析では、第 1 の層、発光層、及び第 2 の層のうち、第 2 の有機化合物の二次イオン強度が最も高い層は発光層であり、次に高い層は第 2 の層であり、最も低い層は第 1 の層である。

40

【 0 0 2 4 】

また、本発明の別の態様の発光素子は、第 1 の電極と、第 1 の電極上の第 1 の層と、第 1 の層上の発光層と、発光層上の第 2 の層と、第 2 の層上の第 2 の電極と、を有し、発光層は、燐光性化合物と、正孔輸送性の第 1 の有機化合物と、電子輸送性の第 2 の有機化合物と、を含み、第 1 の層は第 1 の有機化合物を含み、第 2 の層は第 2 の有機化合物を含み、第 1 の有機化合物及び第 2 の有機化合物は励起錯体を形成する組み合わせであり、ToF - SIMS による分析では、第 1 の層、発光層、及び第 2 の層のうち、第 2 の有機化合物の二次イオン強度が最も高い層は発光層であり、次に高い層は第 2 の層であり、最も低い層は第 1 の層である。

【 0 0 2 5 】

本発明の一態様の発光素子において、ToF - SIMS による分析では、第 1 の層、発光

50

層、及び第2の層のうち、第1の有機化合物の二次イオン強度が最も低い層は第2の層であると好ましい。

【0026】

本明細書では、第1の有機化合物及び第2の有機化合物の正孔輸送性又は電子輸送性の特色に着目して、正孔輸送性の有機化合物をP型ホスト、電子輸送性の有機化合物をN型ホストとも記す。

【0027】

上記発光素子では、励起錯体から燐光性化合物へのエネルギー移動を経て燐光性化合物が励起され、燐光性化合物の励起状態からの発光が得られる。なお、発光層以外の層が電流の注入により発光する能力を有してもよい。

10

【0028】

励起錯体は一重項励起エネルギーと三重項励起エネルギーの差が極めて小さいと考えられる。換言すれば、励起錯体の一重項状態からの発光と三重項状態からの発光は、極めて近い波長領域に現れる。また励起錯体の発光は通常モノマー状態と比較して長波長側に観察されるので、長波長領域に現れる燐光性化合物の三重項M-L-C-T遷移に由来する吸収と、励起錯体の発光の重なりを大きくすることができる。このことはすなわち、励起錯体の一重項状態及び三重項状態の双方から、燐光性化合物に対して効率よくエネルギー移動できることを意味し、発光素子の発光効率の向上に寄与することとなる。

【0029】

さらに、励起錯体には基底状態が存在しない。したがって、燐光性化合物の三重項励起状態から励起錯体へ逆エネルギー移動する過程は存在しないので、この過程による発光素子の発光効率の低下は起こりえない。

20

【0030】

また、適切なP型ホスト及びN型ホストの組み合わせにおいては、励起状態となった際に励起錯体を形成する。なお、励起錯体を形成する必要条件は、N型ホストのHOMO準位 < P型ホストのHOMO準位 < N型ホストのLUMO準位 < P型ホストのLUMO準位であるが、これは十分条件ではない。例えば、P型ホストをNPB、N型ホストをAlq₃とすると、上記の条件を満たすが、励起錯体を形成することはない。

【0031】

これに対し、P型ホスト及びN型ホストが励起錯体を形成できる場合には、上述したように、励起錯体の一重項状態と三重項状態の双方から燐光性化合物へエネルギー移動が生じ、これによって燐光性化合物を励起させることが可能であるため、従来の燐光発光素子と比較して発光効率が向上する。

30

【0032】

また、発光素子での異種材料の接合を減らすことで、界面にエネルギーギャップが生じて駆動電圧が増大することやパワー効率が低下することを抑制できるため、好ましい。

【0033】

本発明の一態様の発光素子において、発光層と第2の層の界面では正孔に対して障害となる一方、電子に対してはほとんど障害がなく、また、発光層と第1の層の界面では電子に対して障害となる一方、正孔に対してはほとんど障害がない。このため、電子と正孔は、発光層内又は第1の層と第2の層の間に閉じ込められる。その結果、電子が陽極まで到達することや、正孔が陰極まで到達することを抑制できるため、発光効率の低下を抑制できる。

40

【0034】

また、励起錯体は一般的にブロードな発光スペクトルを与えるが、本発明の一態様では燐光性化合物が発光するので、半値幅の狭いスペクトルが得られ、その結果、発光の色純度の高い発光素子が得られる。

【0035】

本発明の一態様の発光素子は、発光層に、燐光性化合物と、第1の有機化合物と、第2の有機化合物とを含み、かつ、該第2の有機化合物を最も多く含む。本発明の一態様の発光

50

素子が有する第1の層、発光層、及び第2の層のうち、第2の有機化合物が最も多く含まれる層（体積分率又はモル分率が最も高い層）は第2の層であり、次に多く含まれる層は発光層である。しかしながら、本発明の一態様の発光素子をT o F - S I M Sにより分析すると、発光層における第2の有機化合物の2次イオン強度が、その含有量の少なさの割に高いという現象を示す。上記の通り、本発明の一態様の発光素子において、第1の層、発光層、及び第2の層のうち、第2の有機化合物の2次イオン強度が最も高い層は発光層であり、次に高い層は第2の層である。

【0036】

T o F - S I M Sによる分析では、ある層に含まれる材料の2次イオン強度が高いと、該材料はイオン化するときに分子が壊れにくいといえる。したがって、本発明の一態様の発光素子に電流を流しても、発光層に含まれる第2の有機化合物の分子は、単独で存在する場合に比べて壊れにくいことが示唆される。よって、本発明の一態様を適用することで、長寿命の発光素子を実現できる。

10

【0037】

また、本発明の別の態様の発光素子は、発光層に、ゲストと、P型ホストと、N型ホストと、を含む。本発明の一態様の発光素子が有する第1の層、発光層、及び第2の層のうち、N型ホストが最も多く含まれる層（体積分率又はモル分率が最も高い層）は第2の層であり、次に多く含まれる層は発光層である。しかしながら、本発明の一態様の発光素子をT o F - S I M Sにより分析すると、発光層におけるN型ホストの2次イオン強度が、その含有量の少なさの割に高いという現象を示す。上記の通り、本発明の一態様の発光素子において、第1の層、発光層、及び第2の層のうち、N型ホストの2次イオン強度が最も高い層は発光層であり、次に高い層は第2の層である。したがって、本発明の一態様の発光素子に電流を流しても、発光層に含まれるN型ホスト分子は、単独で存在する場合に比べて壊れにくいことが示唆される。よって、本発明の一態様を適用することで、長寿命の発光素子を実現できる。

20

【0038】

特に、P型ホストとして芳香族アミン化合物を用いることが好ましい。また、N型ホストとして含窒素複素芳香族化合物を用いることが好ましい。また、N型ホストとして6員環のヘテロ芳香族化合物を用いることが好ましい。特に、N型ホストがジアジン環を有することが好ましい。

30

【0039】

P型ホスト、N型ホストのいずれか一方は蛍光性化合物であってもよい。また、発光層中のP型ホストの濃度及びN型ホストの濃度は、それぞれ10%以上であることが好ましい。

【0040】

また、上記発光素子において、燐光性化合物は、有機金属錯体であることが好ましい。燐光性化合物は、発光層以外に、第1の層もしくは第2の層、又は発光層と第1の層との間の領域や発光層と第2の層との間の領域に含まれていてもよい。

40

【0041】

本発明の一態様では、発光層は、P型ホスト分子とN型ホスト分子とゲスト分子とを有する。もちろん、分子は規則正しく配列している必要は無く、規則性が極めて少ない状態であってもよい。特に発光層を50nm以下の薄膜とする場合には、アモルファス状態となることが好ましく、そのために、結晶化しづらい材料の組み合わせを選択することが好ましい。また、P型ホストを含む層やN型ホストを含む層は2種類以上の異なる化合物を含んでいてもよい。

【0042】

本発明の一態様の発光素子は、発光装置、電子機器、及び照明装置に適用することができる。本発明の一態様の発光素子は発光効率が高いため、消費電力の低い発光装置、電子機器、及び照明装置を実現できる。

【発明の効果】

50

【0043】

本発明の一態様の発光素子は、P型ホストを含む層と、ゲスト、P型ホスト、及びN型ホストを含む発光層と、N型ホストを含む層と、を有する。P型ホスト及びN型ホストは励起錯体を形成する組み合わせであるため、本発明の一態様では、キャリアの閉じこめと発光層へのキャリア注入障壁の低減が同時に達成されるだけでなく、励起錯体を形成し、その一重項励起状態と三重項励起状態の双方からのエネルギー移動過程を利用することができるため、発光効率の高い発光素子を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1】本発明の一態様の概念図。

10

【図2】本発明の一態様の原理を説明する図。

【図3】発光素子の一例を示す図。

【図4】発光素子を製造するための装置の一例を示す図。

【図5】発光装置の一例を示す図。

【図6】発光装置の一例を示す図。

【図7】電子機器の一例を示す図。

【図8】照明装置の一例を示す図。

【図9】実施例1に係る吸収スペクトル及びフォトルミネッセンス・スペクトルを示す図。

【図10】実施例1に係る吸収スペクトル及びフォトルミネッセンス・スペクトルを示す図。

20

【図11】実施例の発光素子を説明する図。

【図12】実施例2の発光素子の電流密度 - 輝度特性を示す図。

【図13】実施例2の発光素子の電圧 - 載度特性を示す図。

【図14】実施例2の発光素子の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図15】実施例2の発光素子の輝度 - 外部量子効率特性を示す図。

【図16】実施例2の発光素子の発光スペクトルを示す図。

【図17】実施例2の発光素子のT o F - S I M Sによる測定結果を示す図。

【図18】実施例3の発光素子の電流密度 - 載度特性を示す図。

30

【図19】実施例3の発光素子の電圧 - 載度特性を示す図。

【図20】実施例3の発光素子の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図21】実施例3の発光素子の輝度 - 外部量子効率特性を示す図。

【図22】実施例3の発光素子の発光スペクトルを示す図。

【図23】実施例3の発光素子のT o F - S I M Sによる測定結果を示す図。

【図24】実施例3の発光素子の信頼性試験の結果を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0045】

実施の形態について、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えることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。なお、以下に説明する発明の構成において、同一部分又は同様な機能を有する部分には同一の符号を異なる図面間で共通して用い、その繰り返しの説明は省略する。

40

【0046】

(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を用いて説明する。

【0047】

本発明の一態様の発光素子は、一対の電極（第1の電極及び第2の電極）間に、発光性の有機化合物を含む層（EL層）を有する。一対の電極の一方は陽極として機能し、他方は陰極として機能する。EL層は、第1の電極上の第1の層と、第1の層上の発光層と、発

50

光層上の第2の層と、を有する。該発光層は、燐光性化合物（ゲスト）、第1の有機化合物、及び第2の有機化合物を有し、該第2の有機化合物を最も多く含む。第1の層は、第1の有機化合物を含み、該第2の有機化合物を含まない。第2の層は、該第2の有機化合物を含み、該第1の有機化合物を含まない。第1の有機化合物又は第2の有機化合物の一方は正孔輸送性の有機化合物（P型ホスト）であり、他方は電子輸送性の有機化合物（N型ホスト）である。そして、P型ホスト及びN型ホストは、励起錯体を形成する組み合わせである。

【0048】

本発明の一態様の発光素子が有する第1の層、発光層、及び第2の層のうち、第1の有機化合物が最も多く含まれる層（体積分率又はモル分率が最も高い層）は第1の層であり、次に多く含まれる層は発光層であり、第2の層には第1の有機化合物は含まれない。一方、第2の有機化合物が最も多く含まれる層（体積分率又はモル分率が最も高い層）は第2の層であり、次に多く含まれる層は発光層であり、第1の層には第2の有機化合物は含まれない。しかしながら、本発明の一態様の発光素子をT_oF-SIMSにより分析すると、発光層における第1の有機化合物や第2の有機化合物の2次イオン強度が、その含有量の少なさの割に高いという現象を示す。

【0049】

E_L層は、正孔注入性の高い物質、正孔輸送性の高い物質、電子輸送性の高い物質、電子注入性の高い物質、又はバイポーラ性の物質（電子輸送性及び正孔輸送性が高い物質）等を含む層をさらに有していてもよい。

【0050】

E_L層には低分子系化合物及び高分子系化合物のいずれを用いることもでき、無機化合物を含んでいてもよい。

【0051】

図1(A)に、E_L層が備える積層体の一例を示す。図1(A)に示す積層体100aは、陽極側から、P型ホストを含む層103、発光層102、及びN型ホストを含む層104を有する。

【0052】

発光層102は、ゲスト105、P型ホスト、及びN型ホストを含む。本実施の形態において、ゲスト105は燐光性化合物であり、発光層102に分散されている。ここで、P型ホストは正孔輸送性の有機化合物であり、N型ホストは電子輸送性の有機化合物である。また、該P型ホスト及び該N型ホストは、励起錯体を形成する組み合わせである。

【0053】

P型ホストを含む層103は、P型ホストを含み、N型ホストを含まない（本明細書中では、N型ホストの濃度が0.1%以下であることを指す）。

【0054】

N型ホストを含む層104は、N型ホストを含み、P型ホストを含まない（本明細書中では、P型ホストの濃度が0.1%以下であることを指す）。

【0055】

図1(B)に、図1(A)に示した積層体100aにおけるP型ホストの濃度（図中にPと表記）、及びN型ホストの濃度（図中にNと表記）の分布を示す。図1(B)では、発光層102中のP型ホストの濃度は20%で、N型ホストの濃度は80%である。発光層中のP型ホストの濃度及びN型ホストの濃度は、P型ホスト及びN型ホストの輸送特性等を考慮して適宜決定すればよく、いずれも10%以上であることが好ましい。

【0056】

また、P型ホストを含む層103におけるN型ホストの濃度は極めて低く、上述の通り、0.1%以下である。同様に、N型ホストを含む層104におけるP型ホストの濃度は極めて低く、0.1%以下である。もちろん、発光層102とP型ホストを含む層103との界面、及び発光層102とN型ホストを含む層104との界面は必ずしも濃度変化が急峻である必要は無い。

10

20

30

40

50

【0057】

図1(C)に、図1(A)に示した積層体100aにおけるゲスト105の濃度(図中にGと表記)の分布を示す。図1(C)では、ゲスト105は、発光層102にのみ分散しているが、これに限らず、P型ホストを含む層103の一部やN型ホストを含む層104の一部にも含まれていてもよい。

【0058】

図1(D)に、EL層が備える積層体の別の例を示す。図1(D)に示す積層体100bは、陽極側から、P型ホストを含む層103、発光層102、及びN型ホストを含む層104を有する。さらに、発光層102とP型ホストを含む層103との間に、P型ホストの濃度とN型ホストの濃度が連続的に変化するP型遷移領域113が設けられており、かつ、発光層102とN型ホストを含む層104との間に、P型ホストの濃度とN型ホストの濃度が連続的に変化するN型遷移領域114が設けられている。10

【0059】

なお、本発明の一態様では、EL層が、P型遷移領域113又はN型遷移領域114の一方のみを有していてもよい。また、P型遷移領域113やN型遷移領域114は発光機能を有していてもよく、発光層102に含まれていてもよい。P型遷移領域113やN型遷移領域114の厚さは、1nm以上50nm以下とするといい。

【0060】

図1(E)に、図1(D)に示した積層体100bにおけるP型ホストの濃度及びN型ホストの濃度の分布を示す。図1(E)に示すように、P型遷移領域113及びN型遷移領域114では、P型ホストの濃度及びN型ホストの濃度が連続的に変化する。20

【0061】

図1(F)に、図1(D)に示した積層体100bにおけるゲスト105の濃度の分布を示す。図1(F)に示すように、ゲスト105は、発光層102だけでなく、P型遷移領域113やN型遷移領域114中に含まれていてもよく、さらには、P型ホストを含む層103やN型ホストを含む層104の一部に含まれるように設けてよい。

【0062】

図1(G)に、EL層が備える積層体の別の例を示す。図1(H)に、図1(G)に示した積層体100cにおけるP型ホストの濃度及びN型ホストの濃度の分布を示す。図1(H)に示すように、積層体100cでは、P型ホストを含む層103とN型ホストを含む層104に挟まれた領域において、P型ホストの濃度及びN型ホストの濃度が連続的に変化する。本明細書中では、該領域において、ゲスト105、P型ホスト及びN型ホストが含まれ、かつ、P型ホスト及びN型ホストのいずれの濃度も10%以上である領域を、広い意味での発光層とする。30

【0063】

図1(I)に、図1(G)に示した積層体100cにおけるゲスト105の濃度の分布を示す。ゲスト105は、図1(I)に示されるように、上記広い意味での発光層に含まれる。なお、本実施の形態では、P型ホストを含む層103上に発光層102を有し、発光層102上にN型ホストを含む層104を有する構成を示したが、逆の構成、すなわち、発光層102を介して、N型ホストを含む層104上にP型ホストを含む層103を有する構造も本発明の形態に含まれる。40

【0064】

図1(A)に示した積層体100aのエネルギー準位について、図2(A)を用いて説明する。積層体100aに用いるP型ホスト及びN型ホストのHOMO準位及びLUMO準位には、N型ホストのHOMO準位 < P型ホストのHOMO準位 < N型ホストのLUMO準位 < P型ホストのLUMO準位という関係がある。

【0065】

P型ホストとN型ホストが混合された発光層102においては、正孔はP型ホストのHOMO準位を利用して輸送され、電子はN型ホストのLUMO準位を利用して輸送されるので、キャリア移動の観点から見ると、HOMO準位はP型ホストのHOMO準位、LUM50

O準位はN型ホストのLUMO準位とみなすことができる。その結果、発光層102とP型ホストを含む層103の界面においては、LUMO準位にギャップが生じるため、電子の移動にとって障壁となる。同様に、発光層102とN型ホストを含む層104の界面においては、HOMO準位にギャップが生じるため、正孔の移動にとって障壁となる。

【0066】

一方で、発光層102とP型ホストを含む層103の界面においては、HOMO準位が連続であるため、正孔の移動にとっては障壁が無く、発光層102とN型ホストを含む層104の界面においても、LUMO準位が連続であるため、電子の移動にとっては障壁が無い。

【0067】

その結果、電子は、N型ホストを含む層104から発光層102へは移動しやすいが、発光層102とP型ホストを含む層103との間にあるLUMO準位のギャップにより、発光層102からP型ホストを含む層103への移動は妨げられる。

【0068】

同様に、正孔は、P型ホストを含む層103から発光層102へは移動しやすいが、発光層102とN型ホストを含む層104との間にあるHOMO準位のギャップにより、発光層102からN型ホストを含む層104への移動は妨げられる。この結果、発光層102に電子と正孔を閉じ込めることができる。

【0069】

図1(B)に示した積層体100bのエネルギー準位について、図2(B)を用いて説明する。発光層102、P型ホストを含む層103、及びN型ホストを含む層104のHOMO準位及びLUMO準位は図2(A)と同様である。

【0070】

上述の通り、P型遷移領域113及びN型遷移領域114では、P型ホストの濃度とN型ホストの濃度が連続的に変化する。しかしながら、無機半導体材料の伝導帯や価電子帯が組成の変化に伴って連続的に変化する場合とは異なり、混合有機化合物のLUMO準位やHOMO準位が連続的に変化することはほとんど無い。これは、有機化合物の電気伝導がホッピング伝導という無機半導体とは異なる方式であるためである。

【0071】

例えば、N型ホストの濃度が低下し、P型ホストの濃度が上昇すると、電子は伝導しにくくなるが、それは、LUMO準位が連続的に上昇するためではなく、N型ホスト分子同士の距離が長くなるために移動確率が低下するため、及び、近傍のP型ホストの高いLUMO準位へホッピングするためのエネルギーがさらに必要とされるためである。

【0072】

したがって、N型遷移領域114においては、そのHOMOはN型ホストのHOMOとP型ホストのHOMOの混合状態であり、より詳細には、発光層102に近い部分では、P型ホストのHOMOである確率が高いが、N型ホストを含む層104に近づくにつれ、N型ホストのHOMOである確率が高くなる。P型遷移領域でも同様である。

【0073】

しかし、このようなP型遷移領域113、N型遷移領域114があったとしても、発光層102とP型ホストを含む層103の界面においては、LUMO準位にギャップが生じるため、電子の移動にとって障壁となり、発光層102とN型ホストを含む層104の界面においては、HOMO準位にギャップが生じるため、正孔の移動にとって障壁となることは図2(A)と同じである。

【0074】

ただし、図2(A)のような濃度変化が急峻な界面では、例えば、電子はその界面に集中的に滞留する確率が高いため、界面付近が劣化しやすくなるという問題がある。これに対し、図2(B)のように界面があいまいな状態では、電子の滞留する部分は確率的に決まるため、特定の部分が劣化することはない。すなわち、発光素子の劣化を緩和し、信頼性

10

20

30

40

50

を高めることができる。

【0075】

一方、発光層102とP型遷移領域113の界面、及びP型遷移領域113とP型ホストを含む層103の界面においては、HOMO準位が連続であるため、正孔の移動にとって障壁が無く、発光層102とN型遷移領域114の界面、及びN型遷移領域114とN型ホストを含む層104の界面においては、LUMO準位が連続であるため、電子の移動にとって障壁が無い。

【0076】

その結果、電子は、N型ホストを含む層104から発光層102へは移動しやすいが、P型遷移領域113にあるLUMO準位のギャップにより、発光層102からP型ホストを含む層103への移動は妨げられる。同様に、正孔は、P型ホストを含む層103から発光層102へは移動しやすいが、N型遷移領域114にあるHOMO準位のギャップにより、発光層102からN型ホストを含む層104への移動は妨げられる。

10

【0077】

この結果、発光層102に電子と正孔を閉じ込めることができる。また、P型ホストを含む層103とN型ホストを含む層104との間のP型ホストの濃度とN型ホストの濃度が連続的に変化する積層体100cでも、同様な考えにより、効率的に電子と正孔を、P型ホストを含む層103とN型ホストを含む層104との間に閉じ込めることができる。

20

【0078】

次に、ゲスト105の発光過程について説明する。ここでは、積層体100aを例に取り説明するが、積層体100b及び積層体100cでも同様である。上述の通り、発光性化合物をゲストとして用いる発光素子における発光の一般的な素過程には、直接再結合過程とエネルギー移動過程がある。

30

【0079】

まず、図2(C)を用いて直接再結合過程について説明する。陽極に接続したP型ホストを含む層103からは正孔が、陰極に接続したN型ホストを含む層104からは電子が、それぞれ、発光層102のHOMO及びLUMOに注入される。発光層102にはゲスト105が存在するため、適切な条件の下では、ゲストのHOMO及びLUMOに正孔及び電子を注入することでゲストを励起状態(分子内励起子、エキシトン)とすることができる。

30

【0080】

しかしながら、発光層102にまばらに存在するゲストのHOMO及びLUMOに正孔及び電子を効率良く注入することは技術的に困難であるため、その過程の確率は十分に高くない。効率をより高めるには、ゲストのLUMO準位をN型ホストのLUMO準位よりも0.1eV~0.3eV低くすることにより、ゲストに電子を優先的にトラップさせると良い。また、ゲストのHOMO準位をP型ホストのHOMO準位よりも0.1eV~0.3eV高くしても同様の効果が得られる。なお、図2(C)では、ゲストのHOMO準位はP型ホストのHOMO準位よりも低いが、ゲストのLUMO準位はP型ホストとN型ホストのLUMO準位よりも十分に低いので、電子は効率良くトラップされる。

40

【0081】

ゲストのLUMO準位をN型ホストのLUMO準位よりも0.5eV以上低くする(もしくはゲストのHOMO準位をP型ホストのHOMO準位よりも0.5eV以上高くする)と、電子(正孔)のトラップの確率は高まるが、発光層102の導電性が低下し、また、陰極側(陽極側)のゲストのみが集中的に励起されるため好ましくない。

【0082】

次に、図2(D)を用いて、本発明の一態様にしたがってP型ホストとN型ホストを適切に選択し、励起錯体を形成させる場合を説明する。発光層102に、上記と同様に正孔及び電子が注入された場合、正孔及び電子がゲストで出会う確率よりも、発光層102内の隣接しているP型ホストとN型ホストで出会う確率の方が高い。そのような場合には、P型ホストとN型ホストは励起錯体を形成する。ここで、励起錯体に関して詳説する。

50

【0083】

励起錯体は、励起状態における異種分子間の相互作用によって形成される。励起錯体は、比較的深い（低い）LUMO準位をもつ材料（ここではN型ホスト）と、浅い（高い）HOMO準位をもつ材料（ここではP型ホスト）間との間で形成しやすいことが一般に知られている。

【0084】

ここでは、励起錯体からの発光波長は、P型ホストのHOMO準位とN型ホストのLUMO準位間のエネルギー差に依存する。エネルギー差が大きいと発光波長は短くなり、エネルギー差が小さいと発光波長は長くなる。そして、P型ホストとN型ホストにより励起錯体が形成された場合、励起錯体のLUMO準位はN型ホストに由来し、HOMO準位はP型ホストに由来する。10

【0085】

したがって、励起錯体のエネルギー差は、P型ホストのエネルギー差やN型ホストのエネルギー差よりも小さくなる。つまり、P型ホスト、N型ホストのそれぞれの発光波長に比べて、励起錯体の発光波長は長波長となる。

【0086】

励起錯体の形成過程は大きく分けて2つの過程が考えられる。

【0087】

エレクトロプレックス（electroplex）

本明細書において、エレクトロプレックスとは、基底状態のP型ホスト及び基底状態のN型ホストから直接形成された励起錯体を指す。20

【0088】

前述の通り、一般的な発光過程のうちエネルギー移動過程においては、正孔及び電子がホスト中で再結合（励起）し、励起状態のホストからゲストに励起エネルギーが移動し、ゲストが励起状態に至り、発光する。

【0089】

ここで、ホストからゲストに励起エネルギーが移動する前に、ホスト自体が発光する、又は励起エネルギーが熱エネルギーとなると、励起エネルギーを失活する。特に、ホストが一重項励起状態である場合は、三重項励起状態である場合に比べて励起寿命が短いため励起エネルギーの失活が起こりやすい。励起エネルギーの失活は、発光素子の劣化及び寿命の低下につながる要因の一つである。30

【0090】

しかし、P型ホスト及びN型ホストがキャリアを持った状態（カチオン又はアニオン）からエレクトロプレックスを形成すれば、励起寿命の短い一重項励起子の形成を抑制することができる。つまり、一重項励起子を形成することなく、直接励起錯体を形成する過程が存在しうる。これにより、P型ホスト又はN型ホストの一重項励起エネルギーの失活も抑制することができる。したがって、寿命が長い発光素子を実現することができる。

【0091】

このようにして本発明の一態様では、ホストの一重項励起状態の発生を抑制し、その代わりに生じたエレクトロプレックスからゲストにエネルギー移動を行って発光効率が高い発光素子を得ることができる。40

【0092】

励起子による励起錯体の形成

もう一つの過程としては、P型ホスト又はN型ホストの一方が一重項励起子を形成した後、基底状態の他方と相互作用して励起錯体を形成する素過程が考えられる。エレクトロプレックスとは異なり、この場合は一旦、P型ホスト又はN型ホストの一重項励起状態が生成してしまうが、これは速やかに励起錯体に変換されるため、一重項励起エネルギーの失活を抑制することができる。したがって、ホストが励起エネルギーを失活することを抑制することができる。

【0093】

10

20

30

40

50

なお、P型ホストとN型ホストのHOMO準位の差、及びLUMO準位の差が大きい場合（具体的には差が0.3eV以上）、電子は優先的にN型ホストに入り、正孔は優先的にP型ホストに入る。この場合、一重項励起子を経て励起錯体が形成される過程よりも、エレクトロプレックスが形成される過程の方が優先されると考えられる。

【0094】

なお、エネルギー移動過程の効率を高めるには、MLCT遷移に由来する吸収帯の重要性を考慮すると、フェルスター機構、デクスター機構のいずれにおいても、P型ホスト（又はN型ホスト）単独の発光スペクトルとゲストの吸収スペクトルとの重なりよりも、励起錯体の発光スペクトルとゲストの吸収スペクトルとの重なりを大きくすることが好ましい。
10

【0095】

また、エネルギー移動効率を高めるためには、濃度消光が問題とならない程度にゲストの濃度を高めることができが好ましく、P型ホストとN型ホストの総量に対して、ゲストの濃度は重量比で1%～9%とすると良い。

【0096】

P型ホスト及びN型ホスト中に存在するゲストを、P型ホストとN型ホストの励起錯体からのエネルギー移動によって励起状態とする概念を利用することで、本実施の形態においては、キャリアの閉じこめと発光層へのキャリア注入障壁の低減が同時に達成されるだけでなく、励起錯体を形成し、その一重項励起状態と三重項励起状態の双方からのエネルギー移動過程を利用することができるので、高効率かつ低電圧駆動の（すなわちパワー効率の非常に高い）発光素子が得られる。
20

【0097】

<ゲスト>

ゲストとしては燐光性化合物を用いることができ、有機金属錯体が好ましく、有機金属イリジウム錯体が特に好ましい。なお、フェルスター機構によるエネルギー移動を考慮すると、燐光性化合物の最も長波長側に位置する吸収帯のモル吸光係数は、 $2000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上が好ましく、 $5000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上が特に好ましい。

【0098】

このような大きなモル吸光係数を有する化合物としては、例えば、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)]）や、（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(aca)]）などが挙げられる。特に、[Ir(dppm)₂(aca)]のように、モル吸光係数が $5000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上に達する材料を用いると、外部量子効率が30%程度に達する発光素子が得られる。
30

【0099】

ゲストとして用いることができる燐光性化合物のその他の例を挙げる。例えば、440nm～520nmに発光のピークを有する燐光性化合物としては、トリス[2-[5-(2-メチルフェニル)-4-(2,6-ジメチルフェニル)-4H-1,2,4-トリアゾール-3-イル-N²]フェニル-C]イリジウム（III）（略称：[Ir(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(ipptz-3b)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(Pptz1-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
40

ル - 1 H - イミダゾール] イリジウム (III) (略称: [Ir(ipr₃)])、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нат] 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(CF₃ppy)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: FIracac) 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-トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率が優れるため、特に好ましい。

10

20

30

40

【0100】

また、例えば、520 nm ~ 600 nm に発光のピークを有する燐光性化合物としては、トリス (4-メチル-6-フェニルピリミジнат) 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нат) イリジウム (III) (略称: [Ir(tBu₃ppm)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нат) 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нат) イリジウム (III) (略称: [Ir(tBu₃ppm)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нат] イリジウム (III) (endo-, exo-混合物) (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нат] イリジウム (III) (略称: [Ir(mppm)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нат) 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-イソプロビル-3-メチル-2-フェニルピラジнат) 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、信頼性や発光効率が際だって優れるため、特に好ましい。

50

【0101】

また、例えば、600 nm ~ 700 nm に発光のピークを有する燐光性化合物としては、(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

50

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 (I I I) (略称 : [Ir (d 1 n p m) ₂ (d p m)]) 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 (I I I) (略称 : [Ir (t p p r) ₂ (a c a c)]) 、ビス (2, 3, 5 - トリフェニルピラジナト) (ジピバロイルメタナト) イリジウム (I I I) (略称 : [Ir (t p p r) ₂ (d p m)]) 、(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 (I I I) (略称 : [Ir (F d p q) ₂ (a c a c)]) のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス (1 - フェニルイソキノリナト - N, C ²) イリジウム (I I I) (略称 : [Ir (p i q) ₃]) 、ビス (1 - フェニルイソキノリナト - N, C ²) イリジウム (I I I) アセチルアセトナート (略称 : [Ir (p i q) ₂ (a c a c)]) のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体の他、2, 3, 7, 8, 12, 13, 17, 18 - オクタエチル - 21H, 23H - ポルフィリン白金 (I I) (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) ヨーロピウム (I I I) (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) ヨーロピウム (I I I) (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、信頼性や発光効率が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。

10

20

30

40

50

【0102】

< P 型ホスト >

P型ホストは、正孔輸送性の有機化合物である。このような有機化合物としては、電子過剰型複素芳香族化合物（例えばカルバゾール誘導体やインドール誘導体）や芳香族アミン化合物を好適に用いることができ、例えば、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 (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, 4' - ビス [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）、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）、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 : DPASF）、N, N' - ビス (9 - フェニルカルバゾール - 3 - イル) - N, N' - ジフェニルベンゼン - 1, 3 - ジアミン（略称 : PCA2B）、N - (9, 9 - ジメチル - 2 - ジフェニルアミノ - 9H - フルオレン - 7 - イル) ジフェニルアミン（略称 : DPNF）、N, N', N' - トリフェニル - N, N', N' - トリス (9 - フェニルカルバゾール - 3 - イル) ベンゼン - 1, 3, 5 - トリアミン（略称 : PCA3B）、2 - [N - (9 - フェニルカルバゾール - 3 - イル) - N - フェニルアミノ] スピロ - 9, 9' - ビフルオレン（略称 : PCASF）、2 - [N - (4 - ジフェニルアミノフェニル) - N - フェニルアミノ] スピロ - 9, 9' - ビフルオレン（略称 : DPASF）、N, N' - ビス [4 - (カルバゾール - 9 - イル) フェニル] - N, N' - ジフェニル - 9, 9 - ジメチルフルオレン - 2, 7 - ジアミン（略称 : YGA2F）、N, N' - ビス (3 - メチルフェニル) - N, N' - ジフェニル - [1, 1' - ビフェニル] - 4, 4' - ジアミン（略称 : TPD）、4, 4' - ビス [N - (4 - ジフェニルアミノフェニル) - N - フェニルアミノ] ビフェニル（略称 : DPAB）、N - (9, 9 - ジメチル - 9H - フルオレン - 2 - イル) - N - { 9, 9 - ジメチル - 2 - [N' - フェニル - N' - (9, 9 - ジメチル - 9H - フルオレン - 2 - イル) アミノ] - 9H - フルオレン - 7 - イル } フェニルアミン（略称 : DFLADFL）、3 - [N - (9 - フェニルカルバゾール - 3 - イル) - N - フェニルアミノ] - 9 - フェニルカルバゾール（略称 : PC

z P C A 1)、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: P C z D P A 1)、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: P C z D P A 2)、4 , 4 ' - ビス (N - { 4 - [N ' - (3 - メチルフェニル) - N ' - フェニルアミノ] フェニル } - N - フェニルアミノ) ピフェニル(略称: D N T P D)、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: P C z T P N 2)、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: P C z P C A 2)等が挙げられる。

【0103】

10

< N型ホスト >

N型ホストは、電子輸送性の有機化合物である。このような有機化合物としては、含窒素複素芳香族化合物のような 電子不足型複素芳香族化合物や、キノリン骨格又はベンゾキノリン骨格を有する金属錯体、オキサゾール系配位子又はチアゾール系配位子を有する金属錯体などを用いることができる。

【0104】

具体的には、ビス (10 - ヒドロキシベンゾ [h] キノリナト) ベリリウム (I I) (略称: B e B q₂)、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 (I I I) (略称: B A l q)、ビス (8 - キノリノラト) 亜鉛 (I I) (略称: Z n q)、ビス [2 - (2 - ベンゾオキサゾリル) フェノラト] 亜鉛 (I I) (略称: Z n (B O X)₂)、ビス [2 - (2 - ベンゾチアゾリル) フェノラト] 亜鉛 (I I) (略称: Z n (B T Z)₂)などの金属錯体、2 - (4 - ピフェニリル) - 5 - (4 - t e r t - ブチルフェニル) - 1 , 3 , 4 - オキサジアゾール (略称: P B D)、3 - (4 - ピフェニリル) - 4 - フェニル - 5 - (4 - t e r t - ブチルフェニル) - 1 , 2 , 4 - トリアゾール (略称: T A Z)、1 , 3 - ビス [5 - (p - t e r t - 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: O X D - 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] - 9 H - カルバゾール (略称: C O 1 1)、2 , 2 ' , 2 ' ' - (1 , 3 , 5 - ベンゼントリイル) トリス (1 - フェニル - 1 H - ベンゾイミダゾール) (略称: T P B I)、2 - [3 - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) フェニル] - 1 - フェニル - 1 H - ベンゾイミダゾール (略称: m D B T B I m - I I)などのポリアゾール骨格を有する複素環化合物、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: 2 m D B T P D B q - I I)、7 - [3 - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) フェニル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称: 7 m D B T P D B q - I I)、6 - [3 - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) フェニル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称: 6 m D B T P D B q - I I)、2 - [3 ' - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル) ピフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称: 2 m D B T B P D B q - I I)、2 - [4 - (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: 2 D B T P D B q - I I)、2 - [4 - (3 , 6 - ジフェニル - 9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称: 2 C z P D B q - I I I)、2 - [3 ' - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) ピフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [f , h] キノキサリン (略称: 2 m C z B P D B q)などのキノキサリン骨格又はジベンゾキノキサリン骨格を有する複素環化合物、4 , 6 - ビス [3 - (フェナントレン - 9 - イル) フェニル] ピリミジン (略称: 4 , 6 m P n P 2 P m)、4 , 6 - ビス [3 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] ピリミジン (略称: 4 , 6 m C z P 2 P m)、4 , 6 - ビス [3 - (4 - ジベンゾチエニル) フェニル] ピリミジン (略称: 4 , 6 m D B T P 2 P m - I I)などのジアジン骨格 (ピリミジン骨格やピラジン骨格) を有する複素環化合物、3 , 5 - ビス [3 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] ピリジン (略称: 3 5 D C z P P y)、1 , 3 , 5 - トリ [3 - (3 - ピリジル) フェニル] ベンゼン (略称: T m P y P B)、3 , 3 ' , 5 , 5 ' - テトラ [(m - ピリジ

20

30

40

50

ル) - フェン - 3 - イル] ビフェニル(略称: BP4mPy)などのピリジン骨格を有する複素環化合物が挙げられる。上述した中でも、キノキサリン骨格又はジベンゾキノキサリン骨格を有する複素環化合物、ジアジン骨格を有する複素環化合物、ピリジン骨格を有する複素環化合物は、信頼性が良好であり好ましい。

【0105】

なお、本発明の一態様の発光素子では、P型ホストやN型ホストをそれぞれ複数種用いることができる。

【0106】

以上のように、本発明の一態様では、キャリアの閉じこめと発光層へのキャリア注入障壁の低減が同時に達成されるだけでなく、励起錯体を形成し、その一重項励起状態と三重項励起状態の双方からのエネルギー移動過程を利用することができるため、発光効率の高い発光素子を実現できる。

10

【0107】

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

【0108】

(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ついて、図3を用いて説明する。

【0109】

本実施の形態の発光素子は、一対の電極(陽極及び陰極)間に、EL層を有する。

20

【0110】

図3(A)に示す発光素子は、陽極101及び陰極109の間に、EL層として積層体100のみを備える。本実施の形態で示す積層体100には、実施の形態1で示した積層体100a乃至積層体100cのいずれかを適用すればよい。なお、各積層体は、陽極101側にP型ホストを含む層103を有し、陰極109側にN型ホストを含む層104を有する。また、陽極101及び陰極109の少なくとも一方は、可視光に対する透光性を有する。

【0111】

図3(A)に示す発光素子において、積層体100が有するP型ホストを含む層103は正孔輸送層として機能し、電子を阻止する機能を有する。また、N型ホストを含む層104は電子輸送層として機能し、正孔を阻止する機能を有する。したがって、別途、正孔輸送層や電子輸送層を設ける必要が無く、発光素子の作製工程を簡略化できる。

30

【0112】

図3(B)に示す発光素子において、EL層110は、陽極101側から、正孔注入層121、積層体100、及び電子注入層124を有する。

【0113】

正孔注入層121及び電子注入層124を設けることで、陽極101及び陰極109からEL層110に正孔及び電子を効率良く注入でき、エネルギー利用効率が高まるため好ましい。

【0114】

図3(C)に示す発光素子において、EL層110は、陽極101側から、正孔注入層121、正孔輸送層122、積層体100、電子輸送層123、及び電子注入層124を有する。

40

【0115】

上述のように、積層体100が有するP型ホストを含む層及びN型ホストを含む層は、それぞれキャリア輸送層として機能するが、EL層110に、別途、正孔輸送層122や電子輸送層123を設けることで、電子や正孔をより効率良く注入できるため、好ましい。

【0116】

図3(D)に示す発光素子は、陽極101及び陰極109の間に、第1のEL層110a及び第2のEL層110bを有し、さらに、第1のEL層110aと第2のEL層110bの間に、電荷発生領域115を有する。

50

【0117】

各EL層は、少なくとも発光物質である有機化合物を含む。図3(D)に示す発光素子のように、複数のEL層を備える本発明の一態様の発光素子では、少なくとも1つのEL層に、実施の形態1で示した積層体が設けられていればよい。図3(D)では、第1のEL層110a及び第2のEL層110bの少なくとも一方は、実施の形態1に示した積層体100を含む。

【0118】

電荷発生領域115は、陽極101及び陰極109に電圧を印加したときに、一方のEL層に電子を注入し、他方のEL層に正孔を注入する機能を有する。本実施の形態の場合は、陽極101に陰極109よりも電位が高くなるように電圧を印加すると、電荷発生領域115から第1のEL層110aに電子が注入され、第2のEL層110bに正孔が注入される。電荷発生領域115を形成することにより、EL層が積層された場合における駆動電圧の上昇を抑制することができる。10

【0119】

なお、電荷発生領域115は、光の取り出し効率の点から、可視光に対して透光性を有することが好ましい。また、電荷発生領域115は、陽極101や陰極109よりも低い導電率であっても機能する。

【0120】

<陽極>

陽極101は、導電性を有する金属、合金、導電性化合物等を1種又は複数種用いて形成することができる。特に、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。例えば、インジウムスズ酸化物(ITO: Indium Tin Oxide)、珪素もしくは酸化珪素を含有したインジウムスズ酸化物(ITSO)、インジウム亜鉛酸化物、酸化タンクステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウム、グラフェン、金、白金、ニッケル、タンクステン、クロム、モリブデン、鉄、コバルト、銅、パラジウム、又は金属材料の窒化物(例えば、窒化チタン)等が挙げられる。20

【0121】

なお、陽極が電荷発生領域と接する場合は、仕事関数の大きさを考慮せずに、様々な導電性材料を用いることができ、例えば、アルミニウム、銀、アルミニウムを含む合金等も用いることができる。30

【0122】

<陰極>

陰極109は、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。特に、仕事関数が小さい(3.8eV以下)材料を用いることが好ましい。例えば、元素周期表の第1族又は第2族に属する元素(例えば、リチウム、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、Mg-Ag、Al-Li)、ユーロピウム、イツテルビウム等の希土類金属、これら希土類金属を含む合金、アルミニウム、銀等を用いることができる。

【0123】

なお、陰極が電荷発生領域と接する場合は、仕事関数の大きさを考慮せずに、様々な導電性材料を用いることができる。例えば、ITO、ITSO等も用いることができる。

【0124】

電極は、それぞれ、真空蒸着法やスパッタリング法を用いて形成すればよい。また、銀ペースト等を用いる場合には、塗布法やインクジェット法を用いればよい。

【0125】

<正孔注入層>

正孔注入層121は、正孔注入性の高い物質を含む層である。

【0126】

正孔注入性の高い物質としては、例えば、モリブデン酸化物、チタン酸化物、バナジウム50

酸化物、レニウム酸化物、ルテニウム酸化物、クロム酸化物、ジルコニウム酸化物、ハフニウム酸化物、タンタル酸化物、銀酸化物、タングステン酸化物、マンガン酸化物等の金属酸化物等を用いることができる。

【0127】

また、フタロシアニン（略称：H₂Pc）、銅（II）フタロシアニン（略称：CuPc）等のフタロシアニン系の化合物を用いることができる。

【0128】

また、低分子の有機化合物である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：T DATA）、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：MT DATA）、DPAB、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）、PCzPCA1、PCzPCA2、PCzPCN1等の芳香族アミン化合物を用いることができる。10

【0129】

また、ポリ(N-ビニルカルバゾール)（略称：PVK）、ポリ(4-ビニルトリフェニルアミン)（略称：PVTPA）、ポリ[N-(4-{N'}-[4-(4-ジフェニルアミノ)フェニル]フェニル-N'-フェニルアミノ]フェニル]メタクリルアミド]（略称：PTPDMA）、ポリ[N,N'-ビス(4-ブチルフェニル)-N,N'-ビス(フェニル)ベンジン]（略称：Poly-TPD）等の高分子化合物、ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)/ポリ(スチレンスルホン酸)（略称：PEDOT/PS）20、ポリアニリン/ポリ(スチレンスルホン酸)（略称：PAni/ PSS）等の酸を添加した高分子化合物を用いることができる。

【0130】

また、正孔注入層121を、電荷発生領域としてもよい。陽極と接する正孔注入層121が電荷発生領域であると、仕事関数を考慮せずに様々な導電性材料を該陽極に用いることができる。電荷発生領域を構成する材料については後述する。

【0131】

<正孔輸送層>

正孔輸送層122は、正孔輸送性の有機化合物を含む層である。例えば、上述のP型ホストを用いて形成することができる。30

【0132】

そのほかの正孔輸送性の有機化合物としては、例えば、4-フェニル-4'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン（略称：BPALP）、4,4'-ビス[N-(9,9-ジメチルフルオレン-2-イル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル（略称：DFLDPBi）、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）等の芳香族アミン化合物を用いることができる。

【0133】

また、4,4'-ジ(N-カルバゾリル)ビフェニル（略称：CBP）、9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール（略称：CzPA）、9-フェニル-3-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール（略称：PCzPA）等のカルバゾール誘導体を用いることができる。40

【0134】

また、2-tert-ブチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン（略称：t-BuDNA）、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）等の芳香族炭化水素化合物を用いることができる。

【0135】

また、PVK、PVTPA、PTPDMA、Poly-TPD等の高分子化合物を用いることができる。50

【0136】

<電子輸送層>

電子輸送層123は、電子輸送性の有機化合物を含む層である。例えば、上述のN型ホストを用いて形成することができる。

【0137】

そのほか、電子輸送層123には、例えば、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(IICI)(略称:Alq)、トリス(4-メチル-8-キノリノラト)アルミニウム(IICI)(略称:Almq₃)等の金属錯体を用いることができる。

【0138】

また、バソフェナントロリン(略称:BPhen)、バソキュプロイン(略称:BCP)、3-(4-tert-ブチルフェニル)-4-(4-エチルフェニル)-5-(4-ビフェニリル)-1,2,4-トリアゾール(略称:p-ETTAZ)、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)等の複素芳香族化合物を用いることができる。

【0139】

また、ポリ(2,5-ピリジンジイル)(略称:PPy)、ポリ[(9,9-ジヘキシリフルオレン-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)等の高分子化合物を用いることができる。

【0140】

<電子注入層>

電子注入層124は、電子注入性の高い物質を含む層である。

【0141】

電子注入性の高い物質としては、例えば、リチウム、セシウム、カルシウム、酸化リチウム、炭酸リチウム、炭酸セシウム、フッ化リチウム、フッ化セシウム、フッ化カルシウム、フッ化エルビウム等のようなアルカリ金属、アルカリ土類金属、希土類金属又はこれらの化合物(酸化物、炭酸塩、ハロゲン化物など)を用いることができる。

【0142】

また、電子注入層124を、電荷発生領域としてもよい。陰極と接する電子注入層124が電荷発生領域であると、仕事関数を考慮せずに様々な導電性材料を該陰極に用いることができる。電荷発生領域を構成する材料については後述する。

【0143】

<電荷発生領域>

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

【0144】

正孔輸送性の有機化合物としては、例えば、上述のP型ホストや正孔輸送層に用いることができる材料が挙げられ、電子輸送性の有機化合物としては、例えば、上述のN型ホストや電子輸送層に用いることができる材料が挙げられる。

【0145】

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

【0146】

10

20

30

40

50

また、電子供与体としては、アルカリ金属、アルカリ土類金属、希土類金属、又は元素周期表における第2、13族に属する金属及びその酸化物、炭酸塩を用いることができる。具体的には、リチウム、セシウム、マグネシウム、カルシウム、イッテルビウム、インジウム、酸化リチウム、炭酸セシウムなどを用いることが好ましい。また、テトラチアナフタセンのような有機化合物を電子供与体として用いてもよい。

【0147】

上述したEL層を構成する各層、及び電荷発生領域は、それぞれ、蒸着法（真空蒸着法を含む）、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。

【0148】

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせができる。

10

【0149】

（実施の形態3）

本実施の形態では、本発明の一様の発光素子を製造するための装置について図4を用いて説明する。

【0150】

図4(A)に示す製造装置は、真空チャンバー201内に、第1の成膜材料保持部202、第2の成膜材料保持部203、第3の成膜材料保持部204を有する。本実施の形態で示す各成膜材料保持部は、いずれも線状の開口部を有し、抵抗加熱方式で内部の成膜材料を気化させることができる（図4(C)に示す第1の成膜材料保持部202が有する線状の開口部223参照）。

20

【0151】

本実施の形態では、第1の成膜材料保持部202はP型ホストを気化させ、第2の成膜材料保持部203はゲストを気化させ、第3の成膜材料保持部204はN型ホストを気化させるものとする。また、成膜材料保持部には、シャッターを設けてもよい。さらに、各成膜材料保持部の温度はそれぞれ独立に制御できるようになるとよい。

【0152】

さらに、例えば、第1の成膜材料保持部202と第3の成膜材料保持部204では有機化合物を比較的広い角度範囲に飛散させ、これに対し、第2の成膜材料保持部203では、より狭い範囲に飛散させるように、各成膜材料保持部の開口部の形状や大きさ等を異ならせてよい。また、図4(A)に示すように各成膜材料保持部の開口部の向きを異なるように設定してもよい。

30

【0153】

また、真空チャンバー201内には1枚以上の基板、好ましくは2枚以上の基板（図4(A)では基板205、基板206、及び基板207）を配置し、図のように左から右へ（すなわち、成膜材料保持部の開口部の方向と略直角な方向に）適切な速度で移動させるとよい。なお、各成膜材料保持部と基板の距離を異ならせてよい。

【0154】

図4(A)に示す製造装置において、領域208では主として、第1の成膜材料保持部202から飛散するP型ホストが堆積する。また、領域209では第1の成膜材料保持部202から飛散するP型ホスト、第2の成膜材料保持部203から飛散するゲスト、第3の成膜材料保持部204から飛散するN型ホストが一定の比率で堆積する。さらに、領域210では、主として、第3の成膜材料保持部204から飛散するN型ホストが堆積する。

40

【0155】

したがって、基板205～基板207が左から右へ移動する間に、最初にP型ホストを含む層103が形成され、次いで、発光層102が形成され、さらにN型ホストを含む層104が形成される。実施の形態1で示した積層体100bのように、P型ホストを含む層103と発光層102の間にP型遷移領域113、N型ホストを含む層104と発光層102の間にN型遷移領域114が形成されることもある。また、実施の形態1で示した積層体100cのように、発光層とP型ホストを含む層103の間、又は発光層とN型ホストを含む層104の間に明確な境界が形成されない場合もある。

50

【0156】

図4(B)に示す製造装置は、真空チャンバー211内に、第1の成膜材料保持部212、第2の成膜材料保持部213、第3の成膜材料保持部214、第4の成膜材料保持部215、第5の成膜材料保持部216を有する。本実施の形態では、第1の成膜材料保持部212及び第2の成膜材料保持部213はP型ホストを気化させ、第3の成膜材料保持部214はゲストを気化させ、第4の成膜材料保持部215及び第5の成膜材料保持部216はN型ホストを気化させるものとする。

【0157】

図4(B)に示す製造装置において、領域220では主として、第1の成膜材料保持部212から飛散するP型ホストが堆積する。また、領域221では第2の成膜材料保持部213から飛散するP型ホスト、第3の成膜材料保持部214から飛散するゲスト、第4の成膜材料保持部215から飛散するN型ホストが一定の比率で堆積する。さらに、領域222では、主として、第5の成膜材料保持部216から飛散するN型ホストが堆積する。

10

【0158】

図4(B)に示す製造装置では、実施の形態1で示した積層体100aのように、発光層102とP型ホストを含む層103との界面や、発光層102とN型ホストを含む層104との界面におけるP型ホストの濃度又はN型ホストの濃度の変化を急峻にことができる。

【0159】

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

20

【0160】

(実施の形態4)

本実施の形態では、本発明の一態様の発光装置について図5及び図6を用いて説明する。

本実施の形態の発光装置は、本発明の一態様の発光素子を含む。該発光素子は、発光効率が高いいため、消費電力の低い発光装置を実現できる。

【0161】

図5(A)は、本発明の一態様の発光装置を示す平面図であり、図5(B)は、図5(A)を一点鎖線A-Bで切断した断面図である。

【0162】

本実施の形態の発光装置は、支持基板401、封止基板405及びシール材407に囲まれた空間415内に、発光素子403を備える。発光素子403は、ボトムエミッション構造の有機EL素子であり、具体的には、支持基板401上に可視光を透過する第1の電極421を有し、第1の電極421上にEL層423を有し、EL層423上に可視光を反射する第2の電極425を有する。EL層423は、実施の形態1で示した積層体のいずれか一を含む。

30

【0163】

第1の端子409aは、補助配線417及び第1の電極421と電気的に接続する。第1の電極421上には、補助配線417と重なる領域に、絶縁層419が設けられている。第1の端子409aと第2の電極425は、絶縁層419によって電気的に絶縁されている。第2の端子409bは、第2の電極425と電気的に接続する。なお、本実施の形態では、補助配線417上に第1の電極421が形成されている構成を示すが、第1の電極421上に補助配線417を形成してもよい。

40

【0164】

支持基板401と大気との界面に光取り出し構造411aを有することが好ましい。大気と支持基板401の界面に光取り出し構造411aを設けることで、全反射の影響で大気を取り出せない光を低減し、発光装置の光の取り出し効率を向上させることができる。

【0165】

また、発光素子403と支持基板401との界面に光取り出し構造411bを有することが好ましい。光取り出し構造411bが凹凸を有する場合、光取り出し構造411bと第1の電極421の間に、平坦化層413を設けることが好ましい。これによって、第1の

50

電極 421 を平坦な膜とすることができる、EL層423における第1の電極421の凹凸に起因するリーク電流の発生を抑制することができる。また、平坦化層413と支持基板401との界面に、光取り出し構造411bを有するため、全反射の影響で大気に取り出せない光を低減し、発光装置の光の取り出し効率を向上させることができる。

【0166】

光取り出し構造411a及び光取り出し構造411bの材料としては、例えば、樹脂を用いることができる。また、光取り出し構造411a及び光取り出し構造411bとして、半球レンズ、マイクロレンズアレイや、凹凸構造が施されたフィルム、光拡散フィルム等を用いることもできる。例えば、支持基板401上に上記レンズやフィルムを、支持基板401又は該レンズもしくはフィルムと同程度の屈折率を有する接着剤等を用いて接着することで、光取り出し構造411a及び光取り出し構造411bを形成することができる。
10

【0167】

平坦化層413は、光取り出し構造411bと接する面よりも、第1の電極421と接する面のほうが平坦である。平坦化層413の材料としては、透光性を有し、高屈折率であるガラス、液体、樹脂等を用いることができる。

【0168】

図6(A)は、本発明の一態様の発光装置を示す平面図であり、図6(B)は、図6(A)を一点鎖線C-Dで切断した断面図である。

【0169】

本実施の形態に係るアクティブマトリクス型の発光装置は、支持基板501上に、発光部551、駆動回路部552(ゲート側駆動回路部)、駆動回路部553(ソース側駆動回路部)及び封止材507を有する。発光部551及び駆動回路部552、553は、支持基板501、封止基板505及び封止材507で形成された空間515に封止されている。
20

【0170】

図6(B)に示す発光部551は、スイッチング用のトランジスタ541aと、電流制御用のトランジスタ541bと、トランジスタ541bの配線(ソース電極又はドレイン電極)に電気的に接続された第2の電極525とを含む複数の発光ユニットにより形成されている。
30

【0171】

発光素子503は、ボトムエミッション構造であり、第1の電極521と、EL層523と、可視光を透過する第2の電極525とで構成されている。また、第2の電極525の端部を覆って隔壁519が形成されている。

【0172】

支持基板501上には、駆動回路部552、553に外部からの信号(ビデオ信号、クロック信号、スタート信号、又はリセット信号等)や電位を伝達する外部入力端子を接続するための引き出し配線517が設けられる。ここでは、外部入力端子としてFPC509(Flexible Printed Circuit)を設ける例を示している。なお、FPC509にはプリント配線基板(PWB)が取り付けられていてもよい。本明細書における発光装置は、発光装置本体だけでなく、発光装置本体にFPC又はPWBが取り付けられた状態のものも範疇に含むものとする。
40

【0173】

駆動回路部552、553は、トランジスタを複数有する。図6(B)では、駆動回路部552が、nチャネル型のトランジスタ542及びpチャネル型のトランジスタ543を組み合わせたCMOS回路を有する例を示している。駆動回路部の回路は、種々のCMOS回路、PMOS回路又はNMOS回路で形成することができる。また、本実施の形態では、発光部が形成された基板上に駆動回路が形成されたドライバータイプを示すが、本発明はこの構成に限定されるものではなく、発光部が形成された基板とは別の基板に駆動回路を形成することもできる。
50

【0174】

工程数の増加を防ぐため、引き出し配線 517 は、発光部や駆動回路部に用いる電極や配線と同一の材料、同一の工程で作製することが好ましい。本実施の形態では、引き出し配線 517 を、発光部 551 及び駆動回路部 552 に含まれるトランジスタのソース電極及びドレイン電極と同一の材料、同一の工程で作製した例を示す。

【0175】

図 6 (B)において、封止材 507 は、引き出し配線 517 上の第 1 の絶縁層 511 と接している。封止材 507 は金属との密着性が低い場合がある。したがって、封止材 507 は、引き出し配線 517 上に設けられた無機絶縁膜と接することが好ましい。このような構成とすることで、封止性及び密着性が高く、信頼性の高い発光装置を実現することができる。無機絶縁膜としては、金属や半導体の酸化物膜、金属や半導体の窒化物膜、金属や半導体の酸窒化物膜が挙げられ、具体的には、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、酸化チタン膜等が挙げられる。

10

【0176】

また、第 1 の絶縁層 511 は、トランジスタを構成する半導体への不純物の拡散を抑制する効果を奏する。また、第 2 の絶縁層 513 は、トランジスタ起因の表面凹凸を低減するために平坦化機能を有する絶縁膜を選択することが好適である。

【0177】

本発明の一態様の発光装置に用いるトランジスタの構造、材料は特に限定されない。トップゲート型のトランジスタを用いてもよいし、逆スタガ型などのボトムゲート型のトランジスタを用いてもよい。また、チャネルエッチ型やチャネル保護型としてもよい。

20

【0178】

半導体層は、シリコンや、In-Ga-Zn 系金属酸化物等の酸化物半導体を用いて形成することができる。

【0179】

また、本実施の形態では、塗り分け方式を用いた発光装置を例に説明したが、本発明の構成はこれに限られない。例えば、カラーフィルタ方式や、色変換方式を適用してもよい。また、本発明の一態様の発光装置には、カラーフィルタ、ブラックマトリクス、乾燥剤等が設けられていてもよい。

30

【0180】

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

【0181】

(実施の形態 5)

本実施の形態では、本発明の一態様を適用した発光装置を用いた電子機器及び照明装置の一例について、図 7 及び図 8 を用いて説明する。

【0182】

本実施の形態の電子機器は、表示部に本発明の一態様の発光装置を備える。また、本実施の形態の照明装置は、発光部(照明部)に本発明の一態様の発光装置を備える。本発明の一態様の発光装置を適用することで、消費電力の低い電子機器や照明装置を実現できる。

40

【0183】

発光装置を適用した電子機器として、例えば、テレビジョン装置(テレビ、又はテレビジョン受信機ともいう)、コンピュータ用などのモニタ、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機(携帯電話、携帯電話装置ともいう)、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、パチンコ機などの大型ゲーム機などが挙げられる。これらの電子機器及び照明装置の具体例を図 7 及び図 8 に示す。

【0184】

図 7 (A)は、テレビジョン装置の一例を示している。テレビジョン装置 7100 は、筐体 7101 に表示部 7102 が組み込まれている。表示部 7102 では、映像を表示することが可能である。本発明の一態様を適用した発光装置は、表示部 7102 に用いること

50

ができる。また、ここでは、スタンド 7103 により筐体 7101 を支持した構成を示している。

【0185】

テレビジョン装置 7100 の操作は、筐体 7101 が備える操作スイッチや、別体のリモコン操作機 7111 により行うことができる。リモコン操作機 7111 が備える操作キーにより、チャンネルや音量の操作を行うことができ、表示部 7102 に表示される映像を操作することができる。また、リモコン操作機 7111 に、当該リモコン操作機 7111 から出力する情報を表示する表示部を設ける構成としてもよい。

【0186】

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

【0187】

図 7 (B) は、コンピュータの一例を示している。コンピュータ 7200 は、本体 7201、筐体 7202、表示部 7203、キーボード 7204、外部接続ポート 7205、ポイントティングデバイス 7206 等を含む。なお、コンピュータは、本発明の一態様の発光装置をその表示部 7203 に用いることにより作製される。

【0188】

図 7 (C) は、携帯型ゲーム機の一例を示している。携帯型ゲーム機 7300 は、筐体 7301a 及び筐体 7301b の 2 つの筐体で構成されており、連結部 7302 により、開閉可能に連結されている。筐体 7301a には表示部 7303a が組み込まれ、筐体 7301b には表示部 7303b が組み込まれている。また、図 7 (C) に示す携帯型ゲーム機は、スピーカ部 7304、記録媒体挿入部 7305、操作キー 7306、接続端子 7307、センサ 7308（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、におい又は赤外線を測定する機能を含むもの）、LED ランプ、マイクロフォン等を備えている。もちろん、携帯型ゲーム機の構成は上述のものに限定されず、少なくとも表示部 7303a、表示部 7303b の両方、又は一方に本発明の一態様の発光装置を用いていればよく、その他付属設備が適宜設けられた構成と/or することができる。図 7 (C) に示す携帯型ゲーム機は、記録媒体に記録されているプログラム又はデータを読み出して表示部に表示する機能や、他の携帯型ゲーム機と無線通信を行って情報を共有する機能を有する。なお、図 7 (C) に示す携帯型ゲーム機が有する機能はこれに限定されず、様々な機能を有することができる。

【0189】

図 7 (D) は、携帯電話機の一例を示している。携帯電話機 7400 は、筐体 7401 に組み込まれた表示部 7402 の他、操作ボタン 7403、外部接続ポート 7404、スピーカ 7405、マイク 7406 などを備えている。なお、携帯電話機 7400 は、本発明の一態様の発光装置を表示部 7402 に用いることにより作製される。

【0190】

図 7 (D) に示す携帯電話機 7400 は、表示部 7402 を指などで触れることで、情報を入力することができる。また、電話を掛ける、或いはメールを作成するなどの操作は、表示部 7402 を指などで触れることにより行うことができる。

【0191】

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

【0192】

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

10

20

30

40

50

【0193】

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

【0194】

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

【0195】

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

10

【0196】

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

【0197】

図7(E)は、2つ折り可能なタブレット型端末(開いた状態)の一例を示している。タブレット型端末7500は、筐体7501a、筐体7501b、表示部7502a、表示部7502bを有する。筐体7501aと筐体7501bは、軸部7503により接続されており、該軸部7503を軸として開閉動作を行うことができる。また、筐体7501aは、電源7504、操作キー7505、スピーカ7506等を備えている。なお、タブレット型端末7500は、本発明の一態様の発光装置を表示部7502a、表示部7502bの両方、又は一方に用いることにより作製される。

20

【0198】

表示部7502aや表示部7502bは、少なくとも一部をタッチパネルの領域とすることができ、表示された操作キーにふれることでデータ入力をすることができます。例えば、表示部7502aの全面にキーボードボタンを表示させてタッチパネルとし、表示部7502bを表示画面として用いることができる。

30

【0199】

図8(A)は卓上照明器具であり、照明部7601、傘7602、可変アーム7603、支柱7604、台7605、電源7606を含む。なお、卓上照明器具は、本発明の一態様の発光装置を照明部7601に用いることにより作製される。なお、照明器具には天井固定型の照明器具又は壁掛け型の照明器具なども含まれる。

40

【0200】

図8(B)は、本発明の一態様の発光装置を、室内の照明器具7701に用いた例である。本発明の一態様の発光装置は大面積化も可能であるため、大面積の照明装置に用いることができる。その他、ロール型の照明器具7702として用いることもできる。なお、図8(B)に示すように、室内の照明器具7701を備えた部屋で、図8(A)で説明した卓上照明器具7703を併用してもよい。

【0201】

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

【実施例1】

【0202】

本実施例では、本発明の一態様の発光素子に適用することができる、N型ホスト、P型ホスト、及びゲストの組み合わせの一例について図9及び図10を用いて説明する。

【0203】

本実施例で用いるN型ホストは、2-[3-(ジベンゾチオフェン-4-イル)フェニル

50

]ジベンゾ[*f*,*h*]キノキサリン(略称:2mDBTPDPBq-II)である。また、本実施例で用いるP型ホストは、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)、及び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)である。また、本実施例で用いるゲストは、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)])、及び(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)])である。

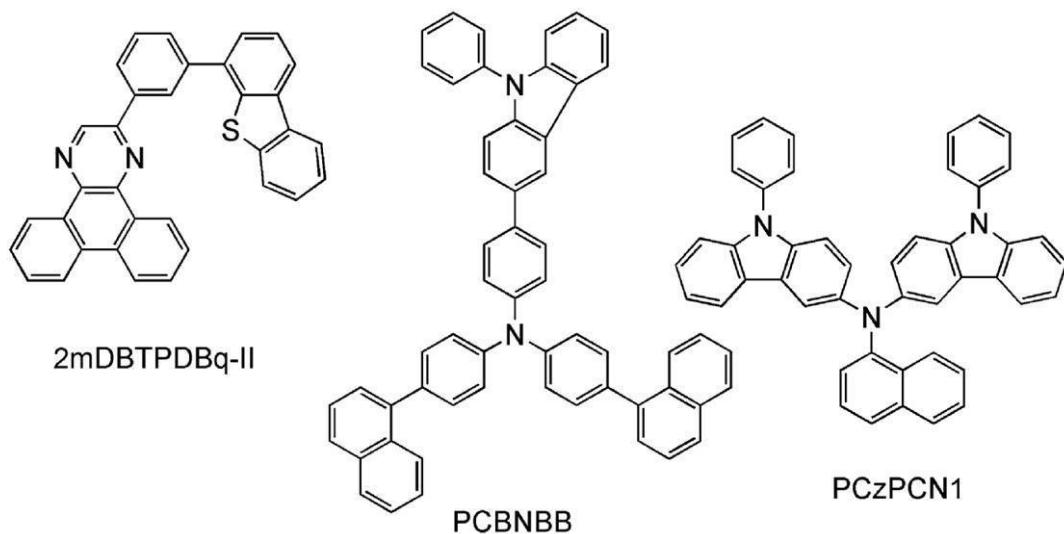
【0204】

10

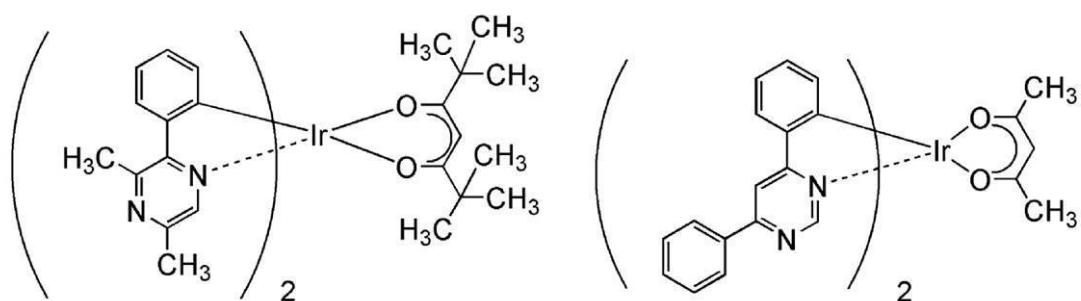
本実施例で用いた材料の構造式と、主な物性値を以下に示す。なお、各材料のT₁準位は、10Kにおける熒光スペクトルのピークの値を用いて求めた。

【0205】

【化1】



20



30

【0206】

40

【表1】

| | | LUMO準位 | HOMO準位 | T ₁ 準位 |
|-------|----------------------------------|----------|----------|-------------------|
| N型ホスト | 2mDBTPDBq-II | -2.78 eV | -5.88 eV | 2.54 eV |
| P型ホスト | PCBNBB | -2.31 eV | -5.46 eV | 2.40 eV |
| | PCzPCN1 | -2.31 eV | -5.15 eV | 2.21 eV |
| ゲスト | [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] | -2.77 eV | -5.50 eV | 2.10 eV |
| | [Ir(dppm) ₂ (acac)] | -2.98 eV | -5.56 eV | 2.09 eV |

10

20

30

40

50

【0207】

2mDBTPDBq-IIとPCBNBBが混合された領域では、LUMO準位が-2.78 eV、HOMO準位が-5.46 eVとなり、それぞれ[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]のLUMO準位、HOMO準位と同等の高さである。一方、[Ir(dppm)₂(acac)]のLUMO準位、HOMO準位は、どちらもこれより低いため、[Ir(dppm)₂(acac)]は電子をトラップしやすいことがわかる。このため、[Ir(dppm)₂(acac)]をゲストに用いた場合は、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]を用いた場合より直接再結合過程の確率が高いことが示唆される。

【0208】

2mDBTPDBq-IIとPCzPCN1が混合された領域では、LUMO準位が-2.78 eV、HOMO準位が-5.15 eVとなる。すなわち、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]は該領域よりもHOMO準位が低いが、LUMO準位は該領域と同等の高さである。一方、[Ir(dppm)₂(acac)]は、該領域よりLUMO準位、HOMO準位のいずれも低いため、[Ir(dppm)₂(acac)]は電子をトラップしやすく、直接再結合過程の確率が高いことが示唆される。

【0209】

また、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]及び[Ir(dppm)₂(acac)]のT₁準位は、それぞれ、2mDBTPDBq-II、PCBNBB、及びPCzPCN1のT₁準位よりも0.1 eV以上低いので、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]や[Ir(dppm)₂(acac)]が三重項励起状態となった後、その三重項励起エネルギーが移動し、2mDBTPDBq-II、PCBNBB、又はPCzPCN1が三重項励起状態になる確率は小さい。特に[Ir(dppm)₂(acac)]のT₁準位は、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]のT₁準位よりも低いため、[Ir(dppm)₂(acac)]の方が[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]よりも発光効率が高いことが示唆される。

【0210】

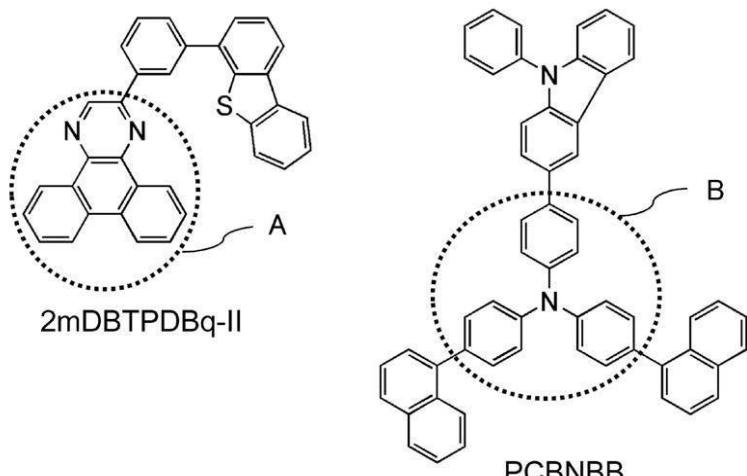
一般に、ベンゼン環のような6員芳香環の構成原子に、窒素原子のような炭素原子よりも電気陰性度が大きい原子（ヘテロ原子）を導入すると、ヘテロ原子に環上の電子が引きつけられ、芳香環は電子不足となりやすい。以下に示す2mDBTPDBq-IIの分子構造における点線で囲まれた部分Aは電子が不足している部位を示し、この部分で電子をトラップしやすい。一般に、6員環のヘテロ芳香族化合物はN型ホストとなりやすい。

【0211】

また一般に、窒素原子が、ベンゼン環のような芳香環の外側にあって環と結合すると、窒素原子の非共有電子対がベンゼン環に供与されて電子過剰となり電子を放出しやすくなる（すなわち、正孔をトラップしやすくなる）。以下に示すPCBNBBの分子構造における点線で囲まれた部分Bは電子が過剰となっている部位を示し、この部分で電子を放出（正孔をトラップ）しやすい。一般に、芳香族アミン化合物はP型ホストとなりやすい。

【0212】

【化2】



10

20

30

【0213】

また、2mDBTPDBq-IIとPCBNBBのLUMOの間には0.47eV、HOMOの間には0.42eVという比較的大きなギャップが存在する。そして、2mDBTPDBq-IIとPCzPCN1のLUMOの間には0.47eV、HOMOの間には0.73eVという比較的大きなギャップが存在する。このギャップが電子や正孔の障壁となり、キャリアが再結合することなく発光層を突き抜けることができる。このような障壁の高さは0.3eV以上、好ましくは、0.4eV以上あるとよい。

【0214】

N型ホストとP型ホストが励起錯体を形成するかどうかは蛍光スペクトルを測定すればよい。また、得られる励起錯体の蛍光スペクトルがゲストの吸収スペクトルと重なるとフェルスター機構によるエネルギー移動過程が起こりやすいといえる。

【0215】

以下に、N型ホスト、P型ホスト、並びに、N型ホスト及びP型ホストの混合材料の蛍光スペクトルと、ゲストの吸収スペクトルとの重なりの例を示す。

【0216】

構成例1

構成例1で用いるN型ホストは2mDBTPDBq-IIであり、P型ホストはPCBNBBであり、ゲストは[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]である。

【0217】

図9に[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]のジクロロメタン溶液の吸収スペクトル（吸収スペクトルA）を示す。本実施例において、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、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。

【0218】

また、図9に、2mDBTPDBq-IIの薄膜の蛍光スペクトル・スペクトル（発光スペクトル1）、PCBNBBの薄膜の蛍光スペクトル・スペクトル（発光スペクトル2）、及び2mDBTPDBq-IIとPCBNBBの混合材料の薄膜の蛍光スペクトル・スペクトル（発光スペクトル3）を示す。なお、混合材料の薄膜における2mDBTPDBq-IIとPCBNBBの重量比は0.8:0.2であった。

【0219】

構成例2

構成例2で用いるN型ホストは2mDBTPDBq-IIであり、P型ホストはPCzPCN1であり、ゲストは[Ir(dppm)₂(acac)]である。

【0220】

図10に[Ir(dppm)₂(acac)]のジクロロメタン溶液の吸収スペクトル（

40

50

吸収スペクトルB)を示す。また、図10に、2mDBTPDBq-IIの薄膜のフォトルミネッセンス・スペクトル(発光スペクトル4)、PCzPCN1の薄膜のフォトルミネッセンス・スペクトル(発光スペクトル5)、及び2mDBTPDBq-IIとPCzPCN1の混合材料の薄膜のフォトルミネッセンス・スペクトル(発光スペクトル6)を示す。なお、混合材料の薄膜における2mDBTPDBq-IIとPCzPCN1の重量比は0.7:0.3であった。

【0221】

図9及び図10において、横軸は、波長(nm)を示し、縦軸は、モル吸光係数(M⁻¹·cm⁻¹)及び発光強度(任意単位)を示す。

【0222】

図9の吸収スペクトルから、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]は500nm付近にプロードな吸収帯を有することがわかる。この吸収帯が、発光に強く寄与する吸収帯であると考えられる。

【0223】

図9において、発光スペクトル3は、発光スペクトル1、2よりも長波長側にピークを有する。そして、発光スペクトル3のピークは、発光スペクトル1、2のピークに比べて、該吸収帯と近い位置に存在する。

【0224】

2mDBTPDBq-II及びPCBNBBの混合材料のフォトルミネッセンス・スペクトルは、単体のフォトルミネッセンス・スペクトルよりも長波長側にピークを有することがわかった。このことから、2mDBTPDBq-IIとPCBNBBを混合することで、励起錯体が形成されることが示唆された。また、2mDBTPDBq-II単体及びPCBNBB単体に由来する発光ピークは観測されず、2mDBTPDBq-II及びPCBNBBが個別に励起されたとしても、ただちに励起錯体を形成することを意味する。

【0225】

該混合材料のフォトルミネッセンス・スペクトルのピークは、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]の吸収スペクトルにおいて発光に強く寄与すると考えられる吸収帯と重なりが大きい。よって、2mDBTPDBq-IIとPCBNBBの混合材料、及び、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]を用いた発光素子は、励起錯体からゲストへのエネルギー移動効率が高いことが示唆された。したがって、外部量子効率が高い発光素子を得られることが示唆された。

【0226】

図10の吸収スペクトルから、[Ir(dppm)₂(acac)]は520nm付近にプロードな吸収帯を有することがわかる。この吸収帯が、発光に強く寄与する吸収帯であると考えられる。なお、[Ir(dppm)₂(acac)]の発光スペクトルのピーク波長は592nmである。

【0227】

図10において、発光スペクトル6は、発光スペクトル4、5よりも長波長側にピークを有する。そして、発光スペクトル6のピークは、該吸収帯と重なりを有する。

【0228】

図10から、2mDBTPDBq-II及びPCzPCN1の混合材料のフォトルミネッセンス・スペクトルは、単体のフォトルミネッセンス・スペクトルよりも長波長側にピークを有することがわかった。このことから、2mDBTPDBq-IIとPCzPCN1を混合することで、励起錯体が形成されることが示唆された。また、2mDBTPDBq-II単体及びPCzPCN1単体に由来する発光ピークは観測されず、2mDBTPDBq-II及びPCzPCN1が個別に励起されたとしても、ただちに励起錯体を形成することを意味する。

【0229】

また、本発明の一態様の発光素子において、キャリアの再結合(又は一重項励起子)によって励起錯体が形成される電圧のしきい値は、該励起錯体の発光スペクトルのピークの工

10

20

30

40

50

エネルギーによって決まる。例えば、励起錯体の発光スペクトルのピークが 620 nm (2.0 eV) であれば、その励起錯体を電気エネルギーで形成するのに必要な電圧のしきい値も 2.0 V 程度である。励起錯体の発光スペクトルのピーク波長が長いほど、該電圧のしきい値は小さくなり好ましい。

【0230】

構成例 2 では、励起錯体の発光スペクトルのピーク波長が、ゲストの吸収スペクトルの最も長波長側に位置する吸収帯のピーク波長以上である。したがって、構成例 2 の材料を発光層に用いた発光素子では、キャリアの再結合によってゲストが発光を始める電圧の値よりも、キャリアの再結合によって励起錯体が形成される電圧の値の方が小さい。つまり、発光素子に印加される電圧が、ゲストが発光を始める値未満であっても、キャリアが再結合し励起錯体を形成することで、発光素子に再結合電流が流れ始める。したがって、より駆動電圧の低い（電圧 - 電流特性の良い）発光素子を実現することができる。ここで、励起錯体の発光スペクトルのピーク波長が、ゲストの吸収スペクトルのピーク波長以上であっても、励起錯体の発光スペクトルとゲストの吸収スペクトルの最も長波長側に位置する吸収帯との重なりを利用してエネルギー移動が可能であるため、高い発光効率を得ることができる。

10

【0231】

なお、励起錯体の発光スペクトルのピークが、ゲストの発光スペクトルのピークに近い位置に存在することで、駆動電圧が低く、発光効率も十分に高い発光素子が得られる。低電圧化の効果は、励起錯体の発光スペクトルのピークが、ゲストの発光スペクトルのピーク + 30 nm 以内の領域で顕著に見られる。また、励起錯体の発光スペクトルのピークが、ゲストの発光スペクトルのピーク - 30 nm 以内の領域であれば、比較的高い発光効率も保てる。

20

【0232】

このように、2mDBTPDPBq-II と PCzPCN1 の混合材料、及び [Ir(dpmp)₂(acac)] を発光素子に用いることで、駆動電圧を低減しつつ、高い発光効率（外部量子効率）が得られることにより、高いパワー効率が実現できることが示唆された。

【実施例 2】

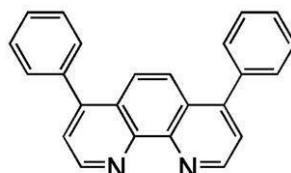
【0233】

30

本実施例では、本発明の一態様の発光素子について図 11 を用いて説明する。本実施例で用いた材料の構造式を以下に示す。なお、先の実施例で用いた材料の構造式は省略する。

【0234】

【化 3】



40

BPhen

【0235】

以下に本実施例の発光素子 1 の作製方法を示す。

【0236】

（発光素子 1）

まず、ガラス基板 1100 上に、ITO をスパッタリング法にて成膜し、陽極 1101 を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は 2 mm × 2 mm とした。

【0237】

次に、ガラス基板 1100 上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で

50

洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

【0238】

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

【0239】

次に、陽極1101が形成された面が下方となるように、陽極1101が形成されたガラス基板1100を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、陽極1101上に、PCBNBBと酸化モリブデン(VI)を共蒸着することで、正孔注入層1111を形成した。その膜厚は、40nmとし、PCBNBBと酸化モリブデンの比率は、重量比で4:2(=PCBNBB:酸化モリブデン)となるように調節した。10

【0240】

次に、正孔注入層1111上に、PCBNBBを20nmの膜厚となるように成膜し、第1の層1112(P型ホストを含む層に相当)を形成した。

【0241】

さらに、2mDBTPDBq-II、PCBNBB、及び[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]を共蒸着し、第1の層1112上に発光層1113を形成した。ここで、2mDBTPDBq-II、PCBNBB及び[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]の重量比は、0.9:0.1:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(mppr-Me)₂(dpm)])となるように調節した。また、発光層1113の膜厚は40nmとした。20

【0242】

次に、発光層1113上に2mDBTPDBq-IIを膜厚10nmとなるよう成膜し、第2の層1114(N型ホストを含む層に相当)を形成した。

【0243】

次に、第2の層1114上に、バソフェナントロリン(略称:BPhen)を膜厚20nmとなるように成膜し、電子輸送層1115を形成した。

【0244】

さらに、電子輸送層1115上に、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚で蒸着し、電子注入層1116を形成した。30

【0245】

最後に、陰極として機能する陰極1103として、アルミニウムを200nmの膜厚となるように蒸着することで、本実施例の発光素子1を作製した。

【0246】

なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【0247】

以上により得られた発光素子1の素子構造を表2に示す。

【0248】

【表2】

| 陽極 | 正孔注入層 | 第1の層 | 発光層 | 第2の層 | 電子輸送層 | 電子注入層 | 陰極 |
|---------------|-----------------------------------|----------------|--|--------------------------|---------------|------------|-------------|
| ITSO 110nm | PCBNBB :MoOx (=4:2) 40nm | PCBNBB 20nm | 2mDBTPDBq-II:PCBNBB :[Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.9:0.1:0.05) 40nm | 2mDBT PDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |

【0249】

発光素子1を、窒素雰囲気のグローブボックス内において、発光素子が大気に曝されない

10

20

40

50

ように封止する作業を行った後、発光素子の動作特性について測定を行った。なお、測定は室温（25℃に保たれた雰囲気）で行った。

【0250】

発光素子1の電流密度・輝度特性を図12に示す。図12において、横軸は電流密度（mA/cm²）を、縦軸は輝度（cd/m²）を表す。また、電圧・輝度特性を図13に示す。図13において、横軸は電圧（V）を、縦軸は輝度（cd/m²）を表す。また、輝度・電流効率特性を図14に示す。図14において、横軸は輝度（cd/m²）を、縦軸は電流効率（cd/A）を表す。また、輝度・外部量子効率特性を図15に示す。図15において、横軸は、輝度（cd/m²）を、縦軸は外部量子効率（%）を示す。

【0251】

また、発光素子1における輝度1000cd/m²のときの電圧（V）、電流密度（mA/cm²）、CIE色度座標（x、y）、電流効率（cd/A）、パワー効率（lm/W）、外部量子効率（%）を表3に示す。

【0252】

【表3】

| 電圧(V) | 電流密度 (mA/cm ²) | 色度 (x,y) | 電流効率 (cd/A) | パワー効率 (lm/W) | 外部量子効率 (%) |
|-------|-------------------------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|
| 2.8 | 1.75 | (0.53, 0.46) | 49 | 55 | 19 |

【0253】

また、発光素子1に0.1mAの電流を流した際の発光スペクトルを、図16に示す。図16において、横軸は波長（nm）、縦軸は発光強度（任意単位）を表す。また、表3に示す通り、1000cd/m²の輝度のときの発光素子1のCIE色度座標は（x, y）=（0.53, 0.46）であった。この結果から、発光素子1は、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]に由来する橙色発光が得られたことがわかった。

【0254】

表3及び図12乃至図15からわかるように、発光素子1は、電流効率、パワー効率、外部量子効率がそれぞれ高い値を示した。

【0255】

本実施例の発光素子1では、実施例1に示した2mDBTPDBq-II、PCBNBB及び[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]を発光層に用いた。実施例1より、2mDBTPDBq-II、PCBNBB単体のフォトルミネッセンス・スペクトルに比べて、2mDBTPDBq-IIとPCBNBBの混合材料のフォトルミネッセンス・スペクトル（励起錯体のフォトルミネッセンス・スペクトル）は、[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]の吸収スペクトルとの重なりが大きい。本実施例の発光素子1は、該重なりを利用してエネルギー移動をするため、エネルギー移動効率が高く、外部量子効率が高いと考えられる。

【0256】

以上の結果から、本発明の一態様を適用することで、外部量子効率の高い素子を実現できることが示された。

【0257】

次に、発光素子1について、ガスクラスターイオンビーム（GCB）機能を用いたToF-SIMSによる分析を行った。測定は深さ方向による分析とした。具体的には、アルミニウム及びLiFをピーリングにて除去した表面から（つまり、Bphen側から）測定を行った。ここで、1次イオン源にはビスマス（Bi）を用い、ガスクラスターイオンにはアルゴン（Ar）ガスを用い、加速電圧は25keVとした。ToF-SIMSによる測定結果を図17に示す。図17において、横軸は測定位置の深さ（μm）、縦軸は二次イオン強度（counts/sec）を示す。

10

20

30

40

50

【0258】

まず、第1の層1112、発光層1113、及び第2の層1114におけるN型ホスト(2mDBTPDBq-II)の二次イオン強度を比較した。図17(B)から、N型ホストの二次イオン強度は発光層1113で最も高く、第2の層1114で次に高く、第1の層1112で最も低かった。

【0259】

同様に、第1の層1112、発光層1113、及び第2の層1114におけるP型ホスト(PCBNBB)の二次イオン強度を比較した。図17(B)から、P型ホストの二次イオン強度は第1の層1112と発光層1113で同等の高さであり、第2の層1114で最も低かった。

10

【0260】

また、ゲスト([Ir(mppr-Me)₂(dpm)])の二次イオン強度は、発光層1113で最も高かった。

【0261】

発光素子1において、第1の層1112にはP型ホストが単独で存在するのに対し、発光層1113にはP型ホストが約1割しか存在しないにも関わらず、発光層1113におけるP型ホストの二次イオン強度は、第1の層1112におけるそれに匹敵するほど高かった。また、発光素子1において、第2の層1114にはN型ホストが単独で存在するのに対し、発光層1113にはN型ホストだけでなくP型ホストやゲストが含まれているにも関わらず、発光層1113におけるN型ホストの二次イオン強度は、第2の層1114におけるそれに比べて高かった。このことはすなわち、P型ホストやN型ホストがそれぞれ単独で存在する層(第1の層1112や第2の層1114)よりも混合されている層(発光層1113)の方が、二次イオンが検出されやすい傾向にあることの証である。前述の通り、ToF-SIMSによる分析では、ある層に含まれる材料の二次イオン強度が高いと、該材料はイオン化するときに分子が壊れにくいといえる。したがって、本発明の一態様の発光素子に電流を流しても、発光層に含まれるP型ホスト分子やN型ホスト分子は、それぞれ単独で存在する場合に比べて壊れにくいことが示唆される。よって、本発明の一態様を適用することで、長寿命の発光素子を実現できる。

20

【実施例3】

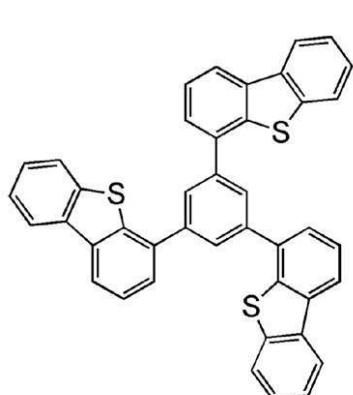
30

【0262】

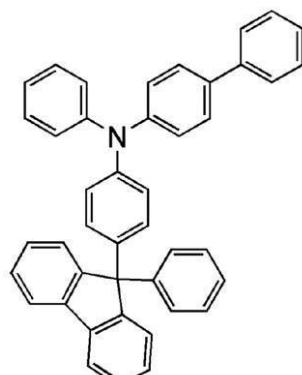
本実施例では、本発明の一態様の発光素子について図11を用いて説明する。本実施例で用いた材料の構造式を以下に示す。なお、先の実施例で用いた材料の構造式は省略する。

【0263】

【化4】



DBT3P-II



BPAFLP

40

【0264】

以下に本実施例の発光素子2の作製方法を示す。

【0265】

50

(発光素子 2)

まず、ガラス基板 1100 上に、ITOをスパッタリング法にて成膜し、陽極 1101 を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は 2 mm × 2 mm とした。

【0266】

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

【0267】

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

10

【0268】

次に、陽極 1101 が形成された面が下方となるように、陽極 1101 が形成されたガラス基板 1100 を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、陽極 1101 上に、4,4',4''-(1,3,5-ベンゼントリイル)トリ(ジベンゾチオフェン)(略称: DBT3P-II)と酸化モリブデン(VI)を共蒸着することで、正孔注入層 1111 を形成した。その膜厚は、40 nm とし、DBT3P-II と酸化モリブデンの比率は、重量比で 4 : 2 (= DBT3P-II : 酸化モリブデン) となるように調節した。

【0269】

次に、正孔注入層 1111 上に、4-フェニル-4'-(9-フェニルフルオレン-9-イル)トリフェニルアミン(略称: BPAFLP)と PCzPCN1 を共蒸着することで、第 1 の層 1112 (P型ホストを含む層に相当) を形成した。その膜厚は、20 nm とし、BPAFLP と PCzPCN1 の比率は、重量比で 0.5 : 0.5 となるように調節した。

20

【0270】

さらに、2mDBTPDBq-II、PCzPCN1、及び [Ir(dppm)₂(acac)] を共蒸着し、第 1 の層 1112 上に発光層 1113 を形成した。ここでは、2mDBTPDBq-II、PCzPCN1 及び [Ir(dppm)₂(acac)] の重量比が、0.7 : 0.3 : 0.06 (= 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : [Ir(dppm)₂(acac)]) となるように調節して成膜した膜厚 20 nm の層と、該重量比が、0.8 : 0.2 : 0.05 (= 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : [Ir(dppm)₂(acac)]) となるように調節して成膜した膜厚 20 nm の層とを積層した。

30

【0271】

次に、発光層 1113 上に 2mDBTPDBq-II を膜厚 10 nm となるよう成膜し、第 2 の層 1114 (N型ホストを含む層に相当) を形成した。

【0272】

次に、第 2 の層 1114 上に、BPhen を膜厚 20 nm となるよう成膜し、電子輸送層 1115 を形成した。

40

【0273】

さらに、電子輸送層 1115 上に、LiF を 1 nm の膜厚で蒸着し、電子注入層 1116 を形成した。

【0274】

最後に、陰極として機能する陰極 1103 として、アルミニウムを 200 nm の膜厚となるように蒸着することで、本実施例の発光素子 2 を作製した。

【0275】

なお、上述した蒸着過程において、蒸着は全て抵抗加熱法を用いた。

【0276】

以上により得られた発光素子 2 の素子構造を表 4 に示す。

【0277】

50

【表4】

| 陽極 | 正孔注入層 | 第1の層 | 発光層 | 第2の層 | 電子輸送層 | 電子注入層 | 陰極 |
|--------------|-------------------------------------|--|---|--------------------------|---------------|------------|-------------|
| ITO 110nm | DBT3P-II :MoOx (=4:2) 40nm | BPAFLP: PCzPCN1 (=0.5:0.5) 20nm | 2mDBTPDBq-II:PCzPCN1 :[Ir(dppm) ₂ (acac)] (=0.7:0.3:0.06) 20nm (=0.8:0.2:0.05) 20nm | 2mDBT PDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |

【0278】

10

発光素子2を、窒素雰囲気のグローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないように封止する作業を行った後、発光素子の動作特性について測定を行った。なお、測定は室温(25℃に保たれた雰囲気)で行った。

【0279】

20

発光素子2の電流密度-輝度特性を図18に示す。図18において、横軸は電流密度(mA/cm²)を、縦軸は輝度(cd/m²)を表す。また、電圧-輝度特性を図19に示す。図19において、横軸は電圧(V)を、縦軸は輝度(cd/m²)を表す。また、輝度-電流効率特性を図20に示す。図20において、横軸は輝度(cd/m²)を、縦軸は電流効率(cd/A)を表す。また、輝度-外部量子効率特性を図21に示す。図21において、横軸は、輝度(cd/m²)を、縦軸は外部量子効率(%)を示す。

【0280】

また、発光素子2における輝度1000cd/m²のときの電圧(V)、電流密度(mA/cm²)、CIE色度座標(x,y)、電流効率(cd/A)、パワー効率(1m/W)、外部量子効率(%)を表5に示す。

【0281】

【表5】

30

| 電圧(V) | 電流密度(mA/cm ²) | 色度(x,y) | 電流効率(cd/A) | パワー効率(1m/W) | 外部量子効率(%) |
|-------|---------------------------|--------------|------------|-------------|-----------|
| 2.5 | 1.04 | (0.57, 0.43) | 76 | 95 | 30 |

【0282】

また、発光素子2に0.1mAの電流を流した際の発光スペクトルを、図22に示す。図22において、横軸は波長(nm)、縦軸は発光強度(任意単位)を表す。また、表5に示す通り、1000cd/m²の輝度のときの発光素子2のCIE色度座標は(x,y)=(0.57, 0.43)であった。この結果から、発光素子2は、[Ir(dppm)₂(acac)]に由来する橙色発光が得られたことがわかった。

【0283】

表5及び図18乃至図21からわかるように、発光素子2は、電流効率、パワー効率、外部量子効率がそれぞれ高い値を示した。

40

【0284】

本実施例の発光素子2では、実施例1に示した2mDBTPDBq-II、PCzPCN1及び[Ir(dppm)₂(acac)]を発光層に用いた。実施例1より、2mDBTPDBq-II、PCzPCN1単体のフォトルミネッセンス・スペクトルに比べて、2mDBTPDBq-IIとPCzPCN1の混合材料のフォトルミネッセンス・スペクトル(励起錯体のフォトルミネッセンス・スペクトル)は、[Ir(dppm)₂(acac)]の吸収スペクトルとの重なりが大きい。本実施例の発光素子2は、該重なりを利用してエネルギー移動をするため、エネルギー移動効率が高く、外部量子効率が高いと考えられる。

50

【0285】

以上の結果から、本発明の一態様を適用することで、外部量子効率の高い素子を実現できることが示された。

【0286】

次に、発光素子2について、ガスクラスターイオンビーム(GCIB)機能を用いたToF-SIMSによる分析を行った。なお、測定方法や条件は実施例2と同様である。図23に、ToF-SIMSのデータを示す。図23において、横軸は測定位置の深さ(μm)、縦軸は二次イオン強度(counts/sec)を示す。

【0287】

まず、第1の層11112、発光層11113、及び第2の層11114におけるN型ホスト(2mDBTPDBq-II)の二次イオン強度を比較した。図23(B)から、N型ホストの二次イオン強度は発光層11113で最も高く、第2の層11114で次に高く、第1の層11112で最も低かった。

【0288】

同様に、第1の層11112、発光層11113、及び第2の層11114におけるP型ホスト(PczPCN1)の二次イオン強度を比較した。図23(B)から、P型ホストの二次イオン強度は第1の層11112と発光層11113で同等の高さであり、第2の層11114で最も低かった。

【0289】

また、ゲスト([Ir(dppe)₂(acac)])の二次イオン強度は、発光層1113で最も高かった。

【0290】

発光素子2において、発光層11113におけるP型ホストの含有量は、第1の層11112のそれに比べて少ないにも関わらず、発光層11113におけるP型ホストの二次イオン強度は、第1の層11112におけるそれに匹敵するほど高かった。また、発光素子2において、第2の層11114にはN型ホストが単独で存在するのに対し、発光層11113にはN型ホストだけでなくP型ホストやゲストが含まれているにも関わらず、発光層11113におけるN型ホストの二次イオン強度は、第2の層11114におけるそれに比べて高かった。このことはすなわち、P型ホストやN型ホストがそれぞれ単独で存在する層(ここでは第2の層11114)よりも混合されている層(発光層11113)の方が、二次イオンが検出されやすい傾向にあることの証である。前述の通り、ToF-SIMSによる分析では、ある層に含まれる材料の二次イオン強度が高いと、該材料はイオン化するときに分子が壊れにくいといえる。したがって、本発明の一態様の発光素子に電流を流しても、発光層に含まれるP型ホスト分子やN型ホスト分子は、それぞれ単独で存在する場合に比べて壊れにくいことが示唆される。よって、本発明の一態様を適用することで、長寿命の発光素子を実現できる。

【0291】

次に、発光素子2の信頼性試験を行った。信頼性試験の結果を図24に示す。図24において、縦軸は初期輝度を100%とした時の規格化輝度(%)を示し、横軸は素子の駆動時間(h)を示す。

【0292】

信頼性試験は、初期輝度を5000cd/m²に設定し、電流密度一定の条件で発光素子2を駆動した。

【0293】

発光素子2は、430時間後の輝度が、初期輝度の80%であった。この結果から、発光素子2は、寿命の長い素子であることがわかった。

【0294】

以上の結果から、本発明の一態様を適用することで、発光効率が高く、信頼性の高い素子を実現できることが示された。

【符号の説明】

10

20

30

40

50

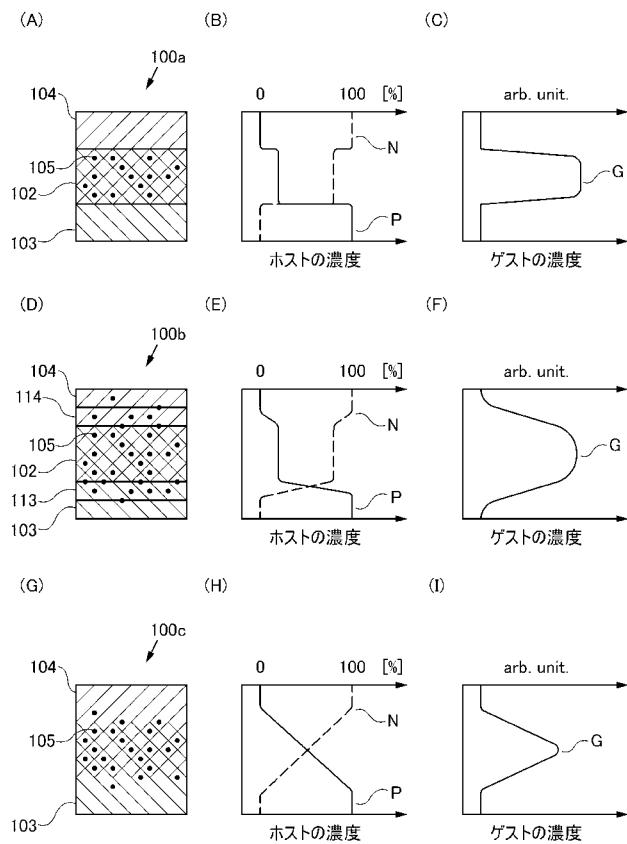
【 0 2 9 5 】

| | | |
|---------|-----------|----|
| 1 0 0 | 積層体 | |
| 1 0 0 a | 積層体 | |
| 1 0 0 b | 積層体 | |
| 1 0 0 c | 積層体 | |
| 1 0 1 | 陽極 | |
| 1 0 2 | 発光層 | |
| 1 0 3 | P型ホストを含む層 | |
| 1 0 4 | N型ホストを含む層 | |
| 1 0 5 | ゲスト | 10 |
| 1 0 9 | 陰極 | |
| 1 1 0 | EL層 | |
| 1 1 0 a | 第1のEL層 | |
| 1 1 0 b | 第2のEL層 | |
| 1 1 3 | P型遷移領域 | |
| 1 1 4 | N型遷移領域 | |
| 1 1 5 | 電荷発生領域 | |
| 1 2 1 | 正孔注入層 | |
| 1 2 2 | 正孔輸送層 | |
| 1 2 3 | 電子輸送層 | 20 |
| 1 2 4 | 電子注入層 | |
| 2 0 1 | 真空チャンバー | |
| 2 0 2 | 成膜材料保持部 | |
| 2 0 3 | 成膜材料保持部 | |
| 2 0 4 | 成膜材料保持部 | |
| 2 0 5 | 基板 | |
| 2 0 6 | 基板 | |
| 2 0 7 | 基板 | |
| 2 0 8 | 領域 | |
| 2 0 9 | 領域 | 30 |
| 2 1 0 | 領域 | |
| 2 1 1 | 真空チャンバー | |
| 2 1 2 | 成膜材料保持部 | |
| 2 1 3 | 成膜材料保持部 | |
| 2 1 4 | 成膜材料保持部 | |
| 2 1 5 | 成膜材料保持部 | |
| 2 1 6 | 成膜材料保持部 | |
| 2 2 0 | 領域 | |
| 2 2 1 | 領域 | |
| 2 2 2 | 領域 | 40 |
| 2 2 3 | 開口部 | |
| 4 0 1 | 支持基板 | |
| 4 0 3 | 発光素子 | |
| 4 0 5 | 封止基板 | |
| 4 0 7 | シール材 | |
| 4 0 9 a | 第1の端子 | |
| 4 0 9 b | 第2の端子 | |
| 4 1 1 a | 光取り出し構造 | |
| 4 1 1 b | 光取り出し構造 | |
| 4 1 3 | 平坦化層 | 50 |

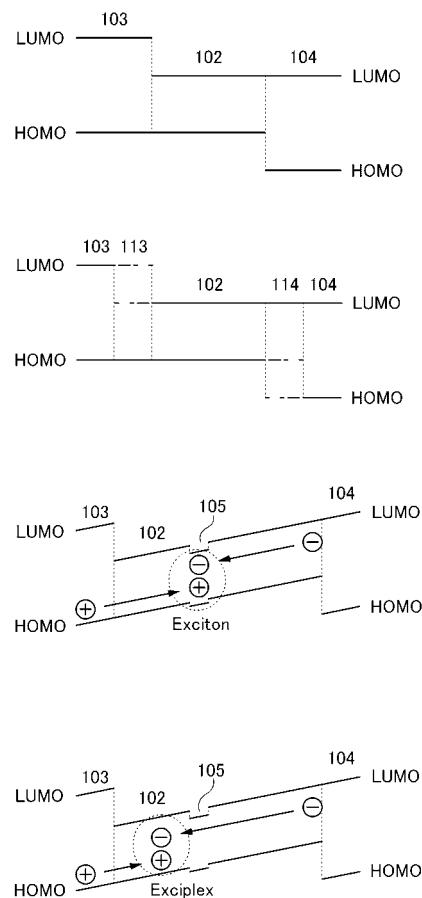
| | | |
|-----------|-------------|----|
| 4 1 5 | 空間 | |
| 4 1 7 | 補助配線 | |
| 4 1 9 | 絶縁層 | |
| 4 2 1 | 第1の電極 | |
| 4 2 3 | E L層 | |
| 4 2 5 | 第2の電極 | |
| 5 0 1 | 支持基板 | |
| 5 0 3 | 発光素子 | |
| 5 0 5 | 封止基板 | |
| 5 0 7 | 封止材 | 10 |
| 5 0 9 | F P C | |
| 5 1 1 | 絶縁層 | |
| 5 1 3 | 絶縁層 | |
| 5 1 5 | 空間 | |
| 5 1 7 | 配線 | |
| 5 1 9 | 隔壁 | |
| 5 2 1 | 第1の電極 | |
| 5 2 3 | E L層 | |
| 5 2 5 | 第2の電極 | |
| 5 4 1 a | トランジスタ | 20 |
| 5 4 1 b | トランジスタ | |
| 5 4 2 | トランジスタ | |
| 5 4 3 | トランジスタ | |
| 5 5 1 | 発光部 | |
| 5 5 2 | 駆動回路部 | |
| 5 5 3 | 駆動回路部 | |
| 1 1 0 0 | ガラス基板 | |
| 1 1 0 1 | 陽極 | |
| 1 1 0 3 | 陰極 | |
| 1 1 1 1 | 正孔注入層 | 30 |
| 1 1 1 2 | 第1の層 | |
| 1 1 1 3 | 発光層 | |
| 1 1 1 4 | 第2の層 | |
| 1 1 1 5 | 電子輸送層 | |
| 1 1 1 6 | 電子注入層 | |
| 7 1 0 0 | テレビジョン装置 | |
| 7 1 0 1 | 筐体 | |
| 7 1 0 2 | 表示部 | |
| 7 1 0 3 | スタンド | |
| 7 1 1 1 | リモコン操作機 | 40 |
| 7 2 0 0 | コンピュータ | |
| 7 2 0 1 | 本体 | |
| 7 2 0 2 | 筐体 | |
| 7 2 0 3 | 表示部 | |
| 7 2 0 4 | キーボード | |
| 7 2 0 5 | 外部接続ポート | |
| 7 2 0 6 | ポインティングデバイス | |
| 7 3 0 0 | 携帯型ゲーム機 | |
| 7 3 0 1 a | 筐体 | |
| 7 3 0 1 b | 筐体 | 50 |

| | | |
|-----------|----------|----|
| 7 3 0 2 | 連結部 | |
| 7 3 0 3 a | 表示部 | |
| 7 3 0 3 b | 表示部 | |
| 7 3 0 4 | スピーカ部 | |
| 7 3 0 5 | 記録媒体挿入部 | |
| 7 3 0 6 | 操作キー | |
| 7 3 0 7 | 接続端子 | |
| 7 3 0 8 | センサ | |
| 7 4 0 0 | 携帯電話機 | |
| 7 4 0 1 | 筐体 | 10 |
| 7 4 0 2 | 表示部 | |
| 7 4 0 3 | 操作ボタン | |
| 7 4 0 4 | 外部接続ポート | |
| 7 4 0 5 | スピーカ | |
| 7 4 0 6 | マイク | |
| 7 5 0 0 | タブレット型端末 | |
| 7 5 0 1 a | 筐体 | |
| 7 5 0 1 b | 筐体 | |
| 7 5 0 2 a | 表示部 | |
| 7 5 0 2 b | 表示部 | 20 |
| 7 5 0 3 | 軸部 | |
| 7 5 0 4 | 電源 | |
| 7 5 0 5 | 操作キー | |
| 7 5 0 6 | スピーカ | |
| 7 6 0 1 | 照明部 | |
| 7 6 0 2 | 傘 | |
| 7 6 0 3 | 可変アーム | |
| 7 6 0 4 | 支柱 | |
| 7 6 0 5 | 台 | |
| 7 6 0 6 | 電源 | 30 |
| 7 7 0 1 | 照明器具 | |
| 7 7 0 2 | 照明器具 | |
| 7 7 0 3 | 卓上照明器具 | |

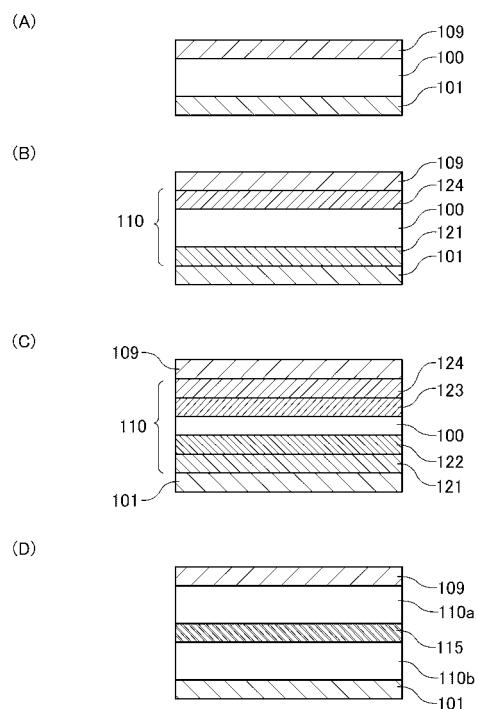
【図1】



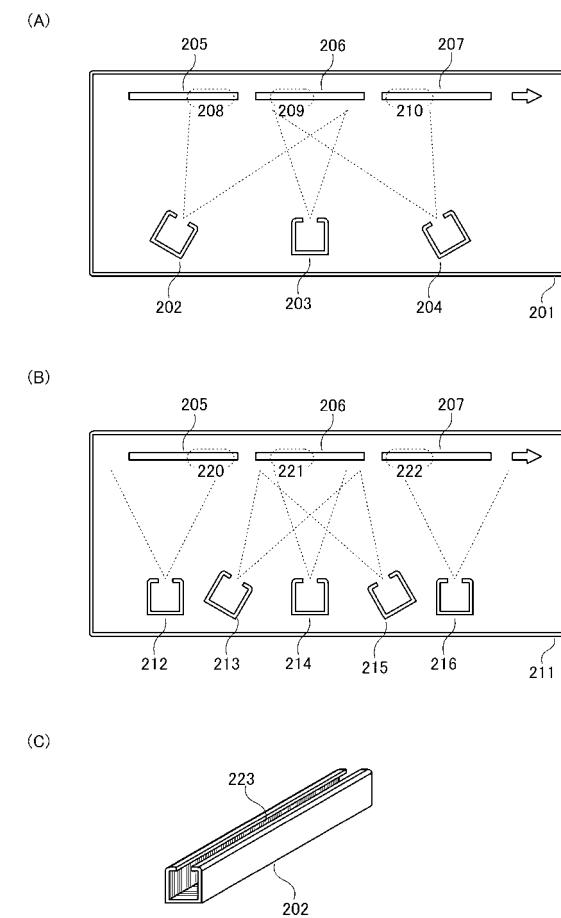
【図2】



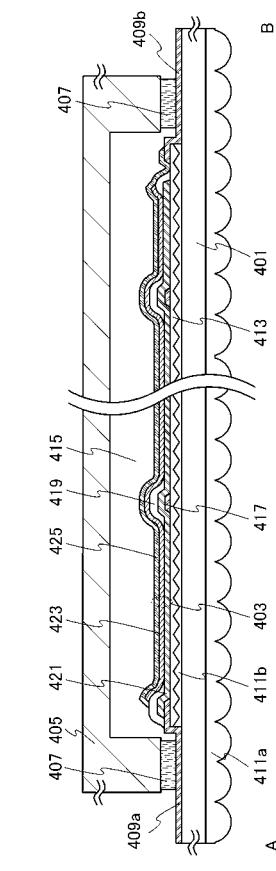
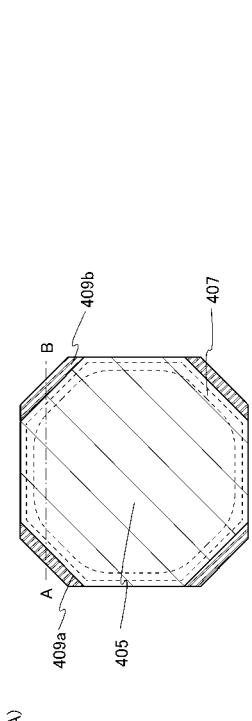
【図3】



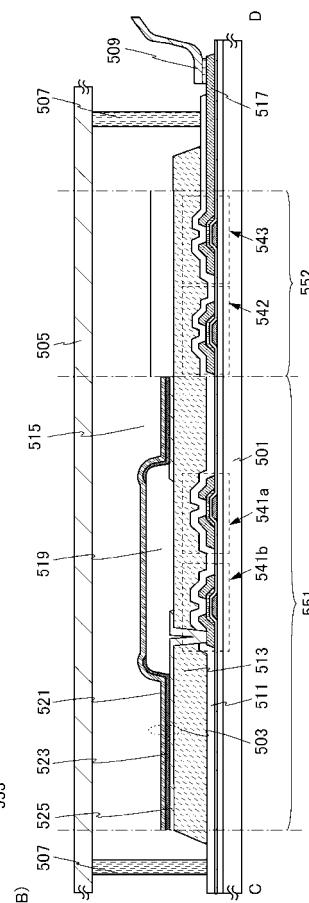
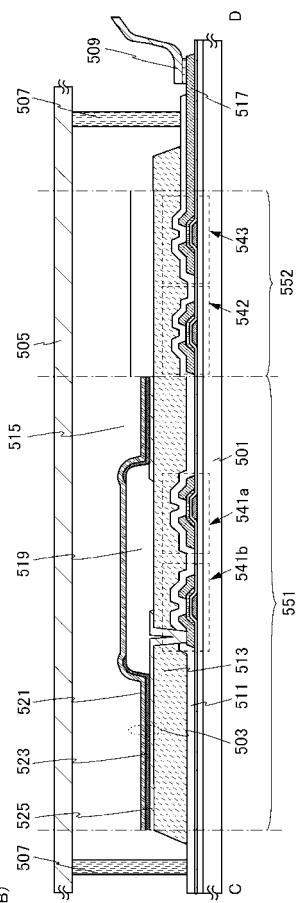
【図4】



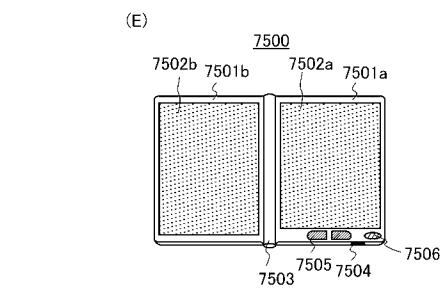
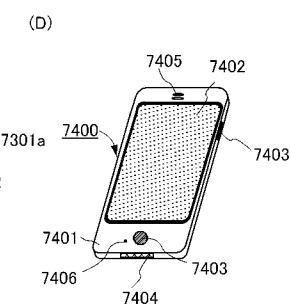
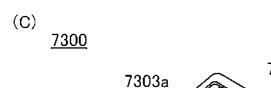
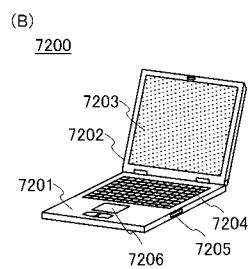
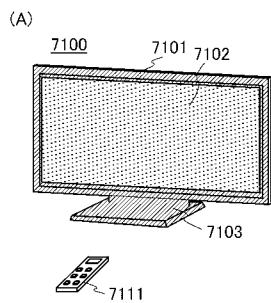
【図5】



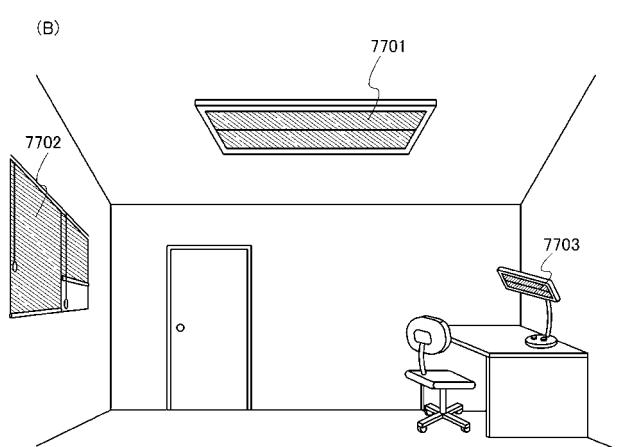
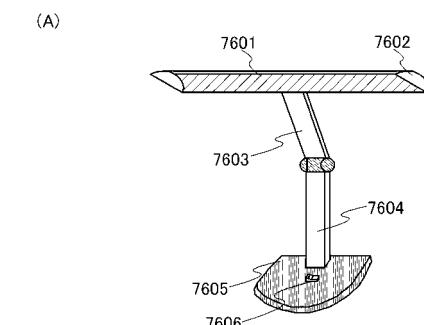
【図6】



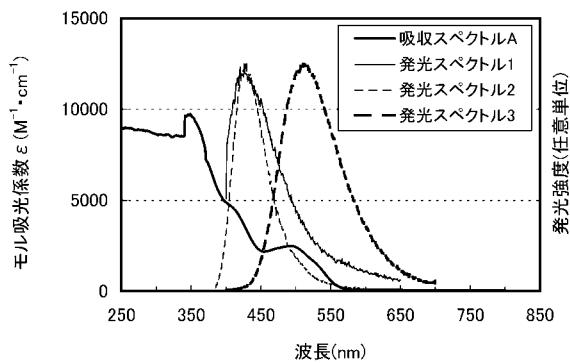
【図7】



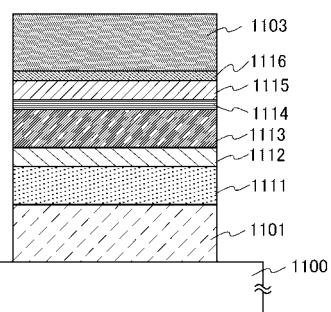
【図8】



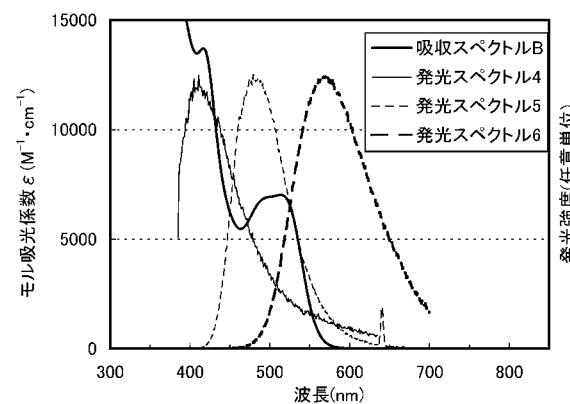
【図 9】



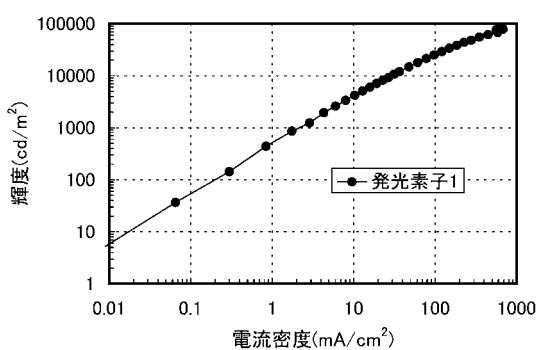
【図 11】



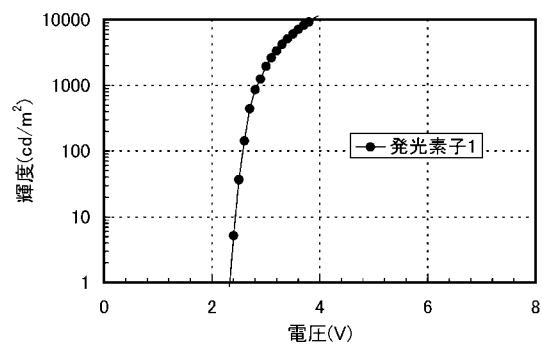
【図 10】



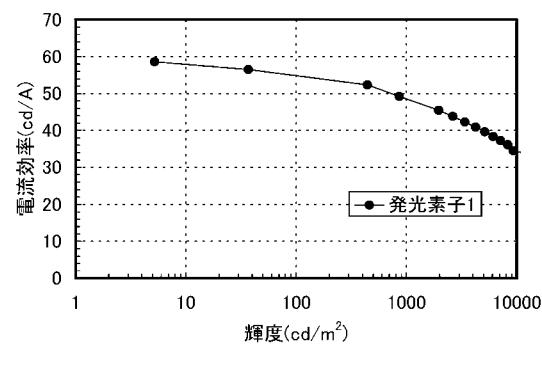
【図 12】



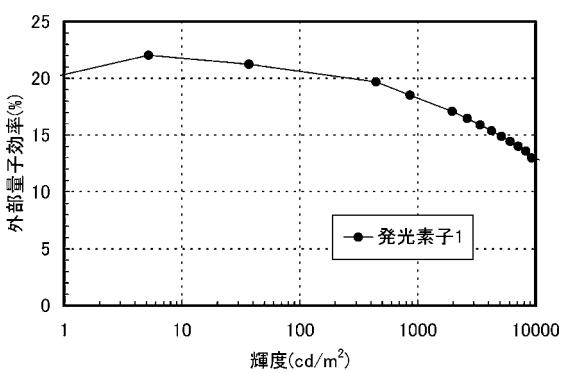
【図 13】



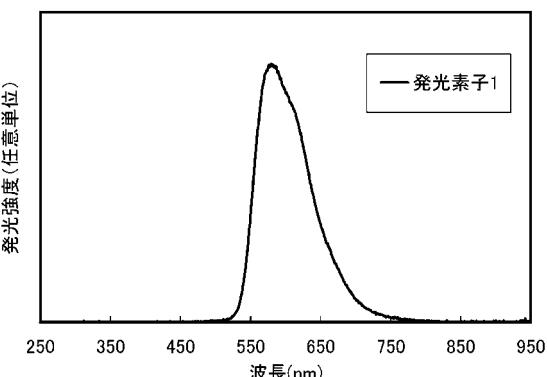
【図 14】



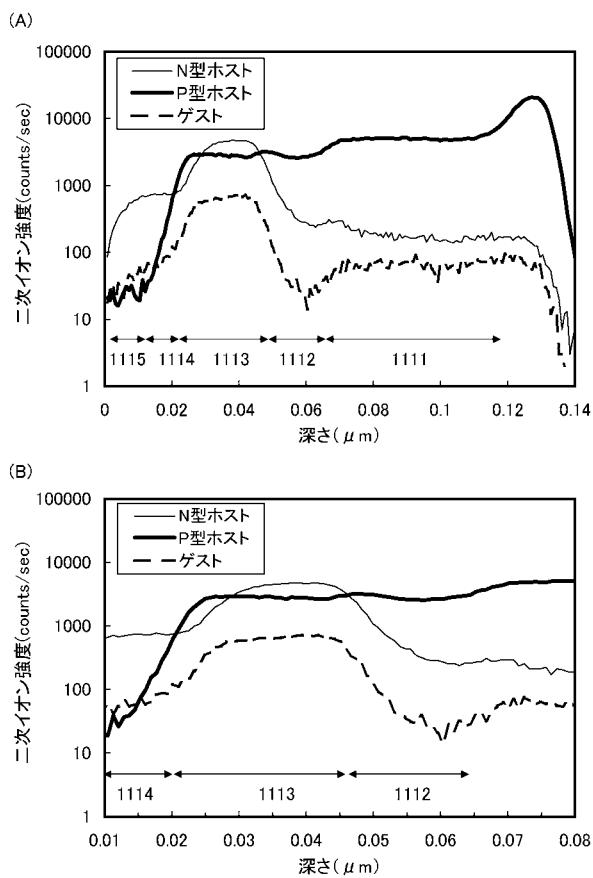
【図 15】



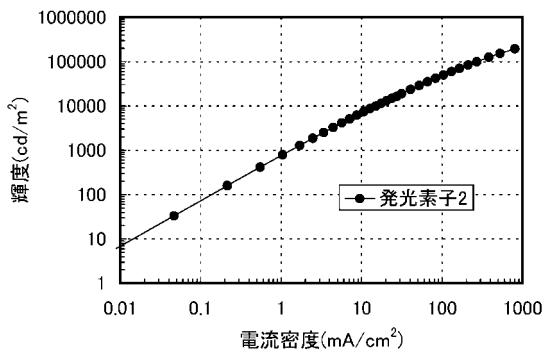
【図 16】



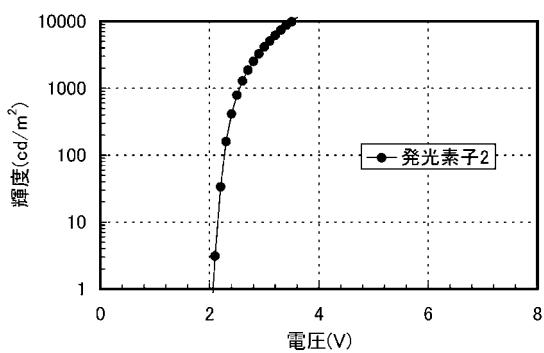
【図 17】



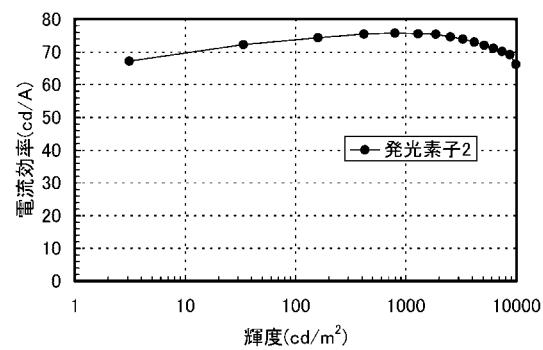
【図 18】



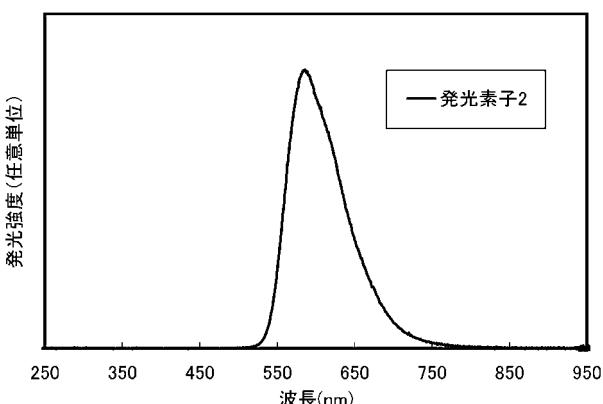
【図 19】



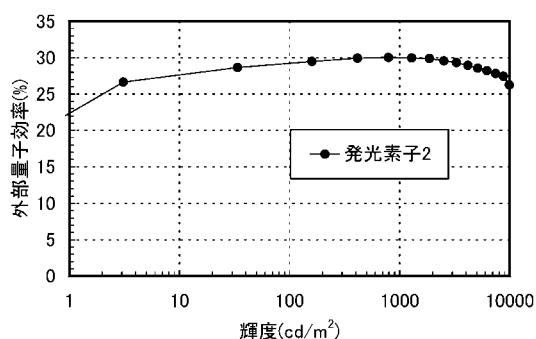
【図 20】



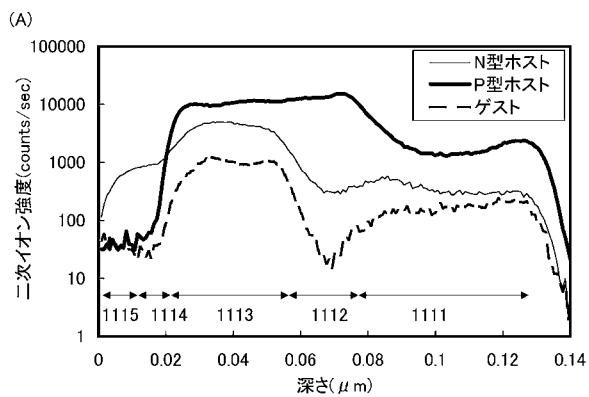
【図 22】



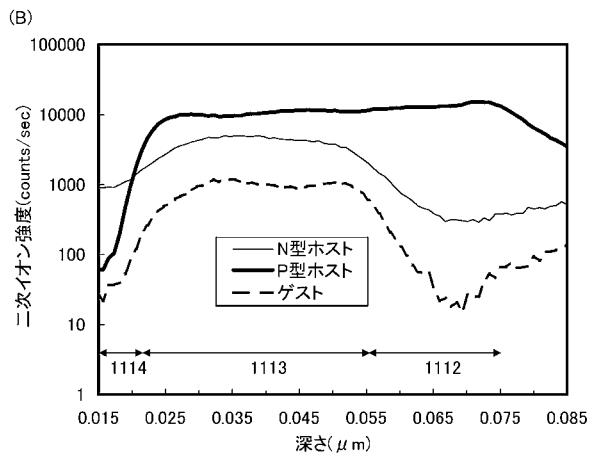
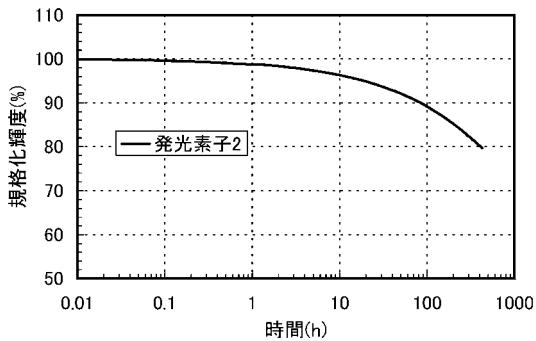
【図 21】



【図 2 3】



【図 2 4】



フロントページの続き

(72)発明者 大澤 信晴

栃木県栃木市都賀町升塚 161-2 アドバンスト フィルム ディバイス インク株式会社内

(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 門間 裕史

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 尾坂 晴恵

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

F ターム(参考) 3K107 AA01 BB01 BB02 CC04 DD53 DD58 DD64 DD67 DD68 DD69

FF00