

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5425439号
(P5425439)

(45) 発行日 平成26年2月26日(2014.2.26)

(24) 登録日 平成25年12月6日(2013.12.6)

(51) Int.Cl.

H01L 51/50 (2006.01)

F 1

H05B 33/22

D

H05B 33/14

A

H05B 33/22

B

請求項の数 9 (全 51 頁)

(21) 出願番号 特願2008-268424 (P2008-268424)
 (22) 出願日 平成20年10月17日 (2008.10.17)
 (65) 公開番号 特開2009-117823 (P2009-117823A)
 (43) 公開日 平成21年5月28日 (2009.5.28)
 審査請求日 平成23年9月27日 (2011.9.27)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-272003 (P2007-272003)
 (32) 優先日 平成19年10月19日 (2007.10.19)
 (33) 優先権主張国 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 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
 (72) 発明者 鈴木 恒徳
 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 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

審査官 本田 博幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】発光素子、発光装置、および電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一対の電極間にEL層を有する発光素子であって、

前記EL層は、陽極として機能する電極と発光性を有する第3の層との間に正孔注入性を有する第1の層、および正孔輸送性を有する第2の層とを少なくとも有し、陰極として機能する電極と前記第3の層との間に電子の移動を制御する第4の層を少なくとも有し、

前記第1の層は、電子よりも正孔の輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を有し、

前記第2の層の最高被占有軌道準位の絶対値は、前記第1の層の最高被占有軌道準位の絶対値よりも大きく、

前記第4の層は、電子輸送性の第1の有機化合物と正孔輸送性の第2の有機化合物とを有し、前記第2の有機化合物の含有量が質量比で全体の50%未満であり、

前記第2の有機化合物の最低空軌道準位の絶対値は、第1の有機化合物の最低空軌道準位の絶対値との差が0.3eV以下であり、

前記第1の有機化合物の双極子モーメントをP₁、前記第2の有機化合物の双極子モーメントをP₂とすると、P₁/P₂=3の関係を満たすことを特徴とする発光素子。

【請求項 2】

一対の電極間にEL層を有する発光素子であって、

前記EL層は、陽極として機能する電極と発光性を有する第3の層との間に正孔注入性を有する第1の層、および正孔輸送性を有する第2の層とを少なくとも有し、陰極として

10

20

機能する電極と前記第3の層との間に電子の移動を制御する第4の層を少なくとも有し、前記第1の層は、電子よりも正孔の輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を有し、

前記第2の層の最高被占有軌道準位の絶対値は、前記第1の層の最高被占有軌道準位の絶対値よりも大きく、

前記第4の層は、電子輸送性の第1の有機化合物と正孔輸送性の第2の有機化合物とを有し、前記第2の有機化合物の含有量が質量比で全体の50%未満であり、

前記第2の有機化合物の最低空軌道準位の絶対値は、第1の有機化合物の最低空軌道準位の絶対値との差が0.3eV以下であり、

前記第1の有機化合物は、金属錯体であり、

前記第2の有機化合物は、芳香族アミン化合物であることを特徴とする発光素子。

【請求項3】

一対の電極間にEL層を有する発光素子であって、

前記EL層は、陽極として機能する電極と発光性を有する第3の層との間に正孔注入性を有する第1の層、および正孔輸送性を有する第2の層とを少なくとも有し、陰極として機能する電極と前記第3の層との間に電子の移動を制御する第4の層を少なくとも有し、

前記第1の層は、電子よりも正孔の輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を有し、

前記第2の層の最高被占有軌道準位の絶対値は、前記第1の層の最高被占有軌道準位の絶対値よりも大きく、

前記第4の層は、電子輸送性の第1の有機化合物と電子トラップ性の第2の有機化合物とを有し、前記第2の有機化合物の含有量が質量比で全体の50%未満であり、

前記第1の有機化合物は、金属錯体であり、

前記第2の有機化合物は、クマリン誘導体であることを特徴とする発光素子。

【請求項4】

一対の電極間にEL層を有する発光素子であって、

前記EL層は、陽極として機能する電極と発光性を有する第3の層との間に正孔注入性を有する第1の層、および正孔輸送性を有する第2の層とを少なくとも有し、陰極として機能する電極と前記第3の層との間に電子の移動を制御する第4の層を少なくとも有し、

前記第1の層は、電子よりも正孔の輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を有し、

前記第2の層の最高被占有軌道準位の絶対値は、前記第1の層の最高被占有軌道準位の絶対値よりも大きく、

前記第4の層は、電子輸送性の第1の有機化合物と電子トラップ性の第2の有機化合物とを有し、前記第2の有機化合物の含有量が質量比で全体の50%未満であり、

前記第1の有機化合物は、金属錯体であり、

前記第2の有機化合物は、キナクリドン誘導体であることを特徴とする発光素子。

【請求項5】

請求項3または請求項4において、

前記第2の有機化合物の最低空軌道準位の絶対値は、前記第1の有機化合物の最低空軌道準位の絶対値よりも0.3eV以上大きいことを特徴とする発光素子。

【請求項6】

請求項1乃至請求項5のいずれか一において、

前記第3の層は、電子輸送性の物質を含むことを特徴とする発光素子。

【請求項7】

請求項1乃至請求項6のいずれか一において、

前記第4の層の膜厚は、5nm以上20nm以下であることを特徴とする発光素子。

【請求項8】

請求項1乃至請求項7のいずれか一に記載の発光素子を有することを特徴とする発光装置。

【請求項 9】

請求項8に記載の発光装置を有することを特徴とする電子機器。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、一対の電極間に発光物質を挟んでなる電流励起型の発光素子、そのような発光素子を有する発光装置、および電子機器に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、エレクトロルミネッセンス(Electroluminescence)を利用した発光素子の研究開発が盛んに行われている。これら発光素子の基本的な構成は、一対の電極間に発光性の物質を含む層を挟んだものである。この素子に電圧を印加することにより、発光性の物質からの発光を得ることができる。10

【0003】

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

【0004】

そして、これらの発光素子は膜状に形成することが可能であるため、大面積の素子を形成することにより、面状の発光を容易に得ることができる。このことは、白熱電球やLEDに代表される点光源、あるいは蛍光灯に代表される線光源では得難い特色であるため、照明等に応用できる面光源としての利用価値も高い。20

【0005】

そのエレクトロルミネッセンスを利用した発光素子は、発光性の物質が有機化合物であるか、無機化合物であるかによって大別できるが、本発明は、発光性の物質に有機化合物を用いるものである。その場合、発光素子に電圧を印加することにより、一対の電極から電子および正孔がそれぞれ発光性の有機化合物を含む層に注入され、電流が流れる。そして、それらキャリア(電子および正孔)が再結合することにより、発光性の有機化合物が励起状態を形成し、その励起状態が基底状態に戻る際に発光する。30

【0006】

このようなメカニズムから、このような発光素子は電流励起型の発光素子と呼ばれる。なお、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。

【0007】

このような発光素子に関しては、その素子特性を向上させる上で、物質に依存した問題が多く、これらを克服するために素子構造の改良や物質開発等が行われている。

【0008】

例えば、非特許文献1では、正孔ブロック層を設けることにより、燐光物質を用いた発光素子を効率良く発光させている。しかし、非特許文献1に記載されているように正孔ブロック層は耐久性がなく、発光素子の寿命は極端に短いという問題を有している。

【非特許文献1】テツオ・ツツイ、外8名、ジャパンニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス、vol. 38、L1502-L1504(1999)

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0009】**

そこで、本発明では、従来とは異なる素子構造を有する発光素子を形成することにより、発光効率が高く、かつ従来よりも寿命の長い発光素子を提供することを目的とする。さらに、発光効率の高い発光装置および電子機器を提供することを目的とする。

40
50

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の例示的な一態様となる発光素子は、一对の電極間にE L層を有する発光素子であって、E L層は、一对の電極のうち、陽極として機能する電極と発光性を有する第3の層(発光層)との間に正孔注入性を有する第1の層(正孔注入層)、および正孔輸送性を有する第2の層(正孔輸送層)を少なくとも有し、第1の層は、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料からなり、第2の層の最高被占有軌道準位(HOMO準位)の絶対値は、第1の層の最高被占有軌道準位(HOMO準位)の絶対値よりも大きいことを特徴とする。

【0011】

なお、上記構成において、第2の層のHOMO準位の絶対値は、第1の層のHOMO準位の絶対値よりも0.1eV以上大きいことを特徴とする。

【0012】

上述した構成の発光素子を形成することにより、第1の層(正孔注入層)と第2の層(正孔輸送層)との間にエネルギーギャップを形成し、陽極として機能する電極側から注入される正孔(ホール)の第1の層(正孔注入層)から第2の層(正孔輸送層)への注入量を抑制することができるため、発光素子の発光効率を向上させることができる。

【0013】

また、上記構成に加えて、陰極として機能する電極と第3の層(発光層)との間に電子の移動を制御する第4の層(キャリア制御層)を少なくとも有し、第4の層は、電子輸送性の第1の有機化合物と正孔輸送性の第2の有機化合物とからなり、第2の有機化合物の含有量が質量比で全体の50%未満であることを特徴とする。なお、第2の有機化合物の含有量が全体の1~20重量%となるように濃度を制御するのがさらに好ましい。

【0014】

上記構成において、第4の層(キャリア制御層)を速度論的に機能させる場合には、第2の有機化合物の最低空軌道準位(LUMO準位)の絶対値は、第1の有機化合物の最低空軌道準位(LUMO準位)の絶対値との差が0.3eV以下であり、第1の有機化合物の双極子モーメントをP₁、第2の有機化合物の双極子モーメントをP₂とすると、P₁/P₂=3の関係を満たすことを特徴とする。

【0015】

上記構成において、第1の有機化合物として金属錯体、第2の有機化合物として、芳香族アミン化合物を用いることが好ましい。

【0016】

また、上記構成の他に、第4の層(キャリア制御層)を熱力学的に機能させる場合には、第4の層は、電子輸送性の第1の有機化合物と電子トラップ性の第2の有機化合物とからなり、第2の有機化合物の含有量が質量比で全体の50%未満であることを特徴とする。なお、第2の有機化合物の含有量が全体の0.1~5重量%となるように濃度を制御するのがさらに好ましい。また、第2の有機化合物のLUMO準位の絶対値は、第1の有機化合物のLUMO準位の絶対値よりも0.3eV以上大きいことを特徴とする。さらに、第1の有機化合物として金属錯体、第2の有機化合物として、クマリン誘導体、またはキナクリドン誘導体を用いることが好ましい。

【0017】

また、上記構成において、第4の層の膜厚は、5nm以上20nm以下であることが好ましい。

【0018】

なお、上記各構成において、第3の層(発光層)は、電子輸送性の物質を含むことが好ましい。

【0019】

また、本発明は、上述した発光素子を有する発光装置および発光装置を有する電子機器も範疇に含めるものである。本明細書中における発光装置とは、画像表示デバイス、発光

10

20

30

40

50

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）もしくはTAB（Tape Automated Bonding）テープもしくはTCP（Tape Carrier Package）が取り付けられたモジュール、TABテープやTCPの先にプリント配線板が設けられたモジュール、または発光素子にCOG（Chip On Glass）方式によりIC（集積回路）が直接実装されたモジュールも全て発光装置に含むものとする。

【発明の効果】

【0020】

発光素子のキャリアである正孔（ホール）の第1の層（正孔注入層）から第2の層（正孔輸送層）への注入量を抑制することができるため、発光層内における再結合確率を高めることができ、発光素子の発光効率を高めることができる。さらに、電子の移動速度を小さくすることができる構造を組み合わせることにより、高効率で長寿命な発光素子を得ることができる。また、開示された発光素子を、発光装置および電子機器に適用することにより、消費電力が低減された発光装置および電子機器を得ることができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

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

20

【0022】

（実施の形態1）

本実施の形態1では、発光素子の第1の層（正孔注入層）から第2の層（正孔輸送層）への正孔（ホール）の注入量を抑制することができる構造を有する発光素子について説明する。

【0023】

本実施の形態1における発光素子は、陽極として機能する第1の電極、陰極として機能する第2の電極、および第1の電極と第2の電極との間に設けられたEL層とから構成されており、EL層は、少なくとも第1の電極側から順次積層された正孔注入層、正孔輸送層、及び発光層を有し、正孔注入層が、第1の電極の仕事関数に関係なく正孔（ホール）注入が容易となる複合材料で形成され、かつ正孔輸送層のHOMO準位が、正孔注入層のHOMO準位よりも深く（絶対値が大きく）なるように設けられていれば良く、他の層については、特に限定されない。また、本実施の形態1における発光素子は、第1の電極102の方が第2の電極104よりも電位が高くなるように、それぞれに電圧を印加したときに、発光が得られるものとする。

30

【0024】

そこで、図1に示すようにEL層103の構成が、第1の電極102側から第1の層（正孔注入層）111、第2の層（正孔輸送層）112、第3の層（発光層）113、第4の層（電子輸送層）114、第5の層（電子注入層）115である場合について説明する。

40

【0025】

図1に示す発光素子のEL層103において、第1の層（正孔注入層）111は、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を用いて形成されるため、フェルミ準位のシフトが起こり、第1の層（正孔注入層）111の第1の電極102との界面付近においてバンドベンディングが生じる。これにより、第1の電極102と第1の層（正孔注入層）111との界面付近における注入障壁が小さくなる（又は、実質的になくなる）ため、オーム接触しているかのように第1の電極102から第1の層（正孔注入層）111への正孔（ホール）のトンネル注入が可能となる。

【0026】

50

また、第2の層(正孔輸送層)112の最高被占有軌道準位(HOMO準位)は、第1の層(正孔注入層)111のHOMO準位よりも深く(絶対値が大きく)なるように設けられている。このような構造とすることで、第1の層(正孔注入層)111に注入された正孔(ホール)が第2の層(正孔輸送層)112へ注入される量(注入量)を抑制することができる。従って、第2の層(正孔輸送層)112によるエネルギーギャップを設けない構造に比べて、第3の層(発光層)113への正孔(ホール)の注入量を抑制することができる。なお、具体的には、第2の層112のHOMO準位の絶対値は、第1の層111のHOMO準位の絶対値よりも0.1eV以上大きいことが好ましい。

【0027】

なお、図1に示す構造を形成することにより、第3の層(発光層)113に注入される正孔(ホール)の注入量を抑制することができるため、発光素子の高効率化を図ることが可能になる。10

【0028】

従って、上述したように正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を用いて第1の層(正孔注入層)111を形成することにより、単に第1の層(正孔注入層)111よりも第2の層(正孔輸送層)112の最高被占有軌道準位(HOMO準位)が深い(絶対値が大きい)構造とすることにより素子効率の向上を図った場合に比べて、駆動電圧の上昇を最小限に抑えることができるという特徴を有している。

【0029】

また、特に第3の層(発光層)113が電子輸送性の物質を含む場合に、図1の様な構成は効果的である。第3の層(発光層)113が電子輸送性の物質を含む場合、発光領域は、第3の層(発光層)113と第2の層(正孔輸送層)112との界面付近になる。そして、もしこの界面近傍に過剰の正孔によってカチオンが生成してしまうとカチオンは消光剤として働く為、発光効率が顕著に低下してしまう。しかしながら、本構成は、正孔の注入量を抑制している為、第3の層(発光層)113周辺におけるカチオンの生成を抑制することができ発光効率の低下を抑制することができる。従って、発光効率の高い発光素子を形成することができる。20

【0030】

本実施の形態1における発光素子の構造を図2を用いて説明する。基板101は、発光素子の支持体として用いられる。基板101としては、例えばガラス、石英、プラスチックなどを用いることができる。30

【0031】

なお、上記基板101は、上述した発光素子を利用する製品である発光装置あるいは電子機器中に残存させてもよいが、最終製品中に残存せず発光素子の作製工程における支持体としての機能のみを有していてもよい。

【0032】

基板101上に形成される第1の電極102には、仕事関数の大きい(具体的には4.0eV以上)金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることが好ましい。具体的には、例えば、酸化インジウム-酸化スズ(ITO: Indium Tin Oxide)、珪素若しくは酸化珪素を含有した酸化インジウム-酸化スズ、酸化インジウム-酸化亜鉛(IZO: Indium Zinc Oxide)、酸化タンゲスタン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウム(IWZO)等が挙げられる。この他、金(Au)、白金(Pt)、ニッケル(Ni)、タンゲスタン(W)、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)、鉄(Fe)、コバルト(Co)、銅(Cu)、パラジウム(Pd)、チタン(Ti)、または金属材料の窒化物(例えば、窒化チタン)等が挙げられる。但し、第1の電極102と接して形成されるEL層103のうちの第1の層111は、第1の電極102の仕事関数に関係なく正孔(ホール)注入が容易である複合材料を用いて形成される為、電極材料として可能な材料(例えば、金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物、その他、元素周期表の第1族または第2族に属する元素も含む)であれば、あらゆる公知の材料を用いることができる。40

【0033】

これらの材料は、通常スパッタリング法により成膜される。例えば、酸化インジウム-酸化亜鉛(IZO)は、酸化インジウムに対し1~20wt%の酸化亜鉛を加えたターゲットや、酸化タンゲステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウム(IWZO)は、酸化インジウムに対し酸化タンゲステンを0.5~5wt%、酸化亜鉛を0.1~1wt%含有したターゲットを用いることにより、スパッタリング法で形成することができる。その他、真空蒸着法、塗布法、インクジェット法、スピンドルコート法などにより作製してもよい。

【0034】

第1の電極102上に形成されるEL層103には、公知の物質を用いることができ、低分子系化合物および高分子系化合物のいずれを用いることもできる。なお、EL層103を形成する物質には、有機化合物のみから成るものだけでなく、無機化合物を一部に含む構成も含めるものとする。

【0035】

EL層103は、正孔注入性の高い物質を含んでなる正孔注入層、正孔輸送性の高い物質を含んでなる正孔輸送層、発光性物質からなる発光層、電子輸送性の高い物質を含んでなる電子輸送層、電子注入性の高い物質を含んでなる電子注入層などを適宜組み合わせて積層することにより形成される。

【0036】

ただし、本実施の形態1において、EL層103は、少なくとも第1の電極102側から順次積層された正孔注入層、正孔輸送層、及び発光層を有し、正孔注入層は、複合材料を用いて形成され、かつ正孔輸送層の最高被占有軌道準位(HOMO準位)が、正孔注入層のHOMO準位よりも深く(絶対値が大きい)なるように設ける必要がある。

【0037】

図2では、図1と同様にEL層103が、第1の電極102側から第1の層(正孔注入層)111、第2の層(正孔輸送層)112、第3の層(発光層)113、第4の層(電子輸送層)114、および第5の層(電子注入層)115の順に積層されてなる場合について説明する。

【0038】

第1の層(正孔注入層)111には、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を用いる。なお、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させたものを用いることにより、電極の仕事関数に依らず電極を形成する材料を選ぶことができる。つまり、第1の電極102として仕事関数の大きい材料だけでなく、仕事関数の小さい材料を用いることができる。これらの複合材料は、正孔輸送性の高い物質とアクセプター物質とを共蒸着することにより形成することができる。なお、本明細書中において、複合とは、単に2つの材料を混合させるだけでなく、複数の材料を混合することによって材料間での電荷の授受が行われ得る状態になることを言う。

【0039】

複合材料に用いる有機化合物としては、芳香族アミン化合物、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、高分子化合物(オリゴマー、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、複合材料に用いる有機化合物としては、正孔輸送性の高い有機化合物であることが好ましい。具体的には、 $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質であることが好ましい。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、これら以外のものを用いてもよい。以下では、複合材料に用いることのできる有機化合物を具体的に列挙する。

【0040】

複合材料に用いることのできる有機化合物としては、例えば、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'',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''-ビス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-

10

20

30

40

50

N - フェニルアミノ] ピフェニル(略称:D P A B)、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)、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:D P A 3 B)、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:P C z P C A 1)、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)、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:P C z P C N 1)、4, 4' - ビス[N - (1 - ナフチル) - N - フェニルアミノ] ピフェニル(略称:N P B または - N P D)、N, N' - ビス(3 - メチルフェニル) - N, N' - ジフェニル - [1, 1' - ピフェニル] - 4, 4' - ジアミン(略称:T P D)等の芳香族アミン化合物や、4, 4' - ジ(N - カルバゾリル) ピフェニル(略称:C B P)、1, 3, 5 - トリス[4 - (N - カルバゾリル) フェニル] ベンゼン(略称:T C P B)、9 - [4 - (N - カルバゾリル)] フェニル - 10 - フェニルアントラセン(略称:C z P A)、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のカルバゾール誘導体を挙げることができる。

【0041】

また、2 - t e r t - プチル - 9, 10 - ジ(2 - ナフチル) アントラセン(略称:t - B u D N A)、2 - t e r t - プチル - 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:D P P A)、2 - t e r t - プチル - 9, 10 - ビス(4 - フェニルフェニル) アントラセン(略称:t - B u D B A)、9, 10 - ジ(2 - ナフチル) アントラセン(略称:D N A)、9, 10 - ジフェニルアントラセン(略称:D P A n t h)、2 - t e r t - プチルアントラセン(略称:t - B u A n t h)、9, 10 - ビス(4 - メチル - 1 - ナフチル) アントラセン(略称:D M N A)、9, 10 - ビス[2 - (1 - ナフチル) フェニル] - 2 - t e r t - プチル - 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) アントラセン等の芳香族炭化水素化合物を挙げることができる。

【0042】

さらに、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(t e r t - プチル) ペリレン、ペンタセン、コロネン、4, 4' - ビス(2, 2 - ジフェニルビニル) ピフェニル(略称:D P V B i)、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:D P V P A)等の芳香族炭化水素化合物も挙げることができる。

【0043】

また、アクセプター性物質としては、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 - T C N Q)、クロラニル等の有機化合物や、遷移金属酸化物を挙げることができる。また、元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物を挙げることができる。具体的には、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タンゲステン、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。

【0044】

なお、ポリ(N - ビニルカルバゾール)(略称:P V K)、ポリ(4 - ビニルトリフェニルアミン)(略称:P V T P A)、ポリ[N - (4 - {N' - [4 - (4 - ジフェニル

10

20

30

40

50

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:P T P D M A)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:P o l y - T P D)等の高分子化合物と、上述したアクセプター性物質を用いて複合材料を形成し、第1の層111に用いてもよい。

【0045】

正孔輸送層である第2の層112は、正孔輸送性の高い物質を含む層である。正孔輸送性の高い物質としては、例えば低分子の有機化合物であるN P B(または-N P D)、T P D、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:D F L D P B i)、4,4'-ビス[N-(スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-イル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称:B S P B)などの芳香族アミン化合物、4,4'-ジ(N-カルバゾリル)ビフェニル(略称:C B P)、2,7-ジ(N-カルバゾリル)-スピロ-9,9'-ビフルオレン(略称:S F D C z)、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:m-M T D A T A)、N-[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N-フェニル-スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-アミン(略称:Y G A S F)、N,N'-ビス[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル-N,N'-ジフェニルビフェニル-4,4'-ジアミン(略称:Y G A B P)、4-(9H-カルバゾール-9-イル)-2'-フェニルトリフェニルアミン(略称:o-Y G A 1 B P)、4-(9H-カルバゾール-9-イル)-3'-フェニルトリフェニルアミン(略称:m-Y G A 1 B P)、4-(9H-カルバゾール-9-イル)-4'-フェニルトリフェニルアミン(略称:p-Y G A 1 B P)、1,3,5-トリ(N-カルバゾリル)ベンゼン(略称:T C z B)、4,4',4'''-トリス(N-カルバゾリル)トリフェニルアミン(略称:T C T A)や、高分子化合物であるP V K、P V T P A、P T P D M A、P o l y - T P Dを用いることができる。

【0046】

なお、上述した物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{V s}$ 以上の正孔移動度を有する物質である。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、前記以外の公知の物質を用いることができる。

【0047】

本実施の形態1において、第1の層111、及び第2の層112には上述した物質を用いることができるが、第2の層112に用いる物質の最高被占有軌道準位(HOMO準位)が、第1の層111に用いる物質のHOMO準位よりも深く(絶対値が大きく)なるように用いる物質を選択する必要がある。

【0048】

なお、上述した材料のうち、N P BのHOMO準位は-5.27[eV]、Y G A S FのHOMO準位は-5.44[eV]、Y G A B PのHOMO準位は-5.40[eV]、o-Y G A 1 B PのHOMO準位は-5.43[eV]、m-Y G A 1 B PのHOMO準位は-5.50[eV]である。従って、図1(A)に示す構造とする場合には、例えば、第1の層111にHOMO準位が-5.27であるN P Bと酸化モリブデンの複合材料を用い、第2の層112にHOMO準位が-5.44であるY G A S Fを用いる組み合せが可能である。

【0049】

なお、上述した構造とすることにより、発光素子の第1の層(正孔注入層)111から第2の層(正孔輸送層)112への正孔(ホール)の注入量を抑制し、さらに第3の層(発光層)113への正孔(ホール)の注入量を抑制することができるため、素子効率の向上を図ることができる。

【0050】

第3の層113は、発光性の高い物質を含む発光層である。第3の層113には、次に挙げる低分子の有機化合物を用いることができる。

【0051】

10

20

30

40

50

青色系の発光物質としては、N, N' - ビス[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N, N' - ジフェニルスチルベン-4, 4' - ジアミン(略称: YGA2S)、4-(9H-カルバゾール-9-イル)-4'-(10-フェニル-9-アントリル)トリフェニルアミン(略称: YGAPA)などが挙げられる。

【0052】

緑色系の発光物質としては、N-(9, 10-ジフェニル-2-アントリル)-N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称: 2PCAPA)、N-[9, 10-ビス(1, 1'-ビフェニル-2-イル)-2-アントリル]-N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称: 2PCABPhA)、N-(9, 10-ジフェニル-2-アントリル)-N, N', N' - トリフェニル-1, 4-フェニレンジアミン(略称: 2DPPAPA)、N-[9, 10-ビス(1, 1'-ビフェニル-2-イル)-2-アントリル]-N, N', N' - トリフェニル-1, 4-フェニレンジアミン(略称: 2DPPABPhA)、9, 10-ビス(1, 1'-ビフェニル-2-イル)-N-[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N-フェニルアントラセン-2-アミン(略称: 2YGA B Ph A)、N, N, 9 - トリフェニルアントラセン-9-アミン(略称: DPPhAPhA)などが挙げられる。

【0053】

黄色系の発光物質としては、ルブレン、5, 12-ビス(1, 1'-ビフェニル-4-イル)-6, 11-ジフェニルテトラセン(略称: BPT)などが挙げられる。さらに、赤色系の発光物質として、N, N, N', N' - テトラキス(4-メチルフェニル)テトラセン-5, 11-ジアミン(略称: p-mPhTD)、7, 13-ジフェニル-N, N, N', N' - テトラキス(4-メチルフェニル)アセナフト[1, 2-a]フルオランテン-3, 10-ジアミン(略称: p-mPhAFD)などが挙げられる。

【0054】

また、第3の層113は、上述した発光性の高い物質を他の物質に分散させる構成としてもよい。なお、分散させる場合には、分散させる物質の濃度が、質量比で全体の20%以下になるようにするのが好ましい。また、発光性の物質を分散させる物質としては、公知の物質を用いることができるが、発光性の物質よりも最低空軌道準位(LUMO準位)が深く(絶対値が大きく)、最高被占有軌道準位(HOMO準位)が浅い(絶対値が小さい)物質を用いることが好ましい。

【0055】

具体的には、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称: Alq)、トリス(4-メチル-8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称: Almq₃)、ビス(10-ヒドロキシベンゾ[h]キノリナト)ベリリウム(II)(略称: BeBq₂)、ビス(2-メチル-8-キノリノラト)(4-フェニルフェノラト)アルミニウム(III)(略称: BALq)、ビス(8-キノリノラト)亜鉛(II)(略称: Znq)、ビス[2-(2-ベンゾオキサゾリル)フェノラト]亜鉛(II)(略称: ZnPBO)、ビス[2-(2-ベンゾチアゾリル)フェノラト]亜鉛(II)(略称: ZnBTZ)などの金属錯体を用いることができる。

【0056】

また、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)、1, 3-ビス[5-(p-tert-ブチルフェニル)-1, 3, 4-オキサジアゾール-2-イル]ベンゼン(略称: OXD-7)、3-(4-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)、2, 2', 2''-(1, 3, 5-ベンゼントリイル)トリス(1-フェニル-1H-ベンゾイミダゾール)(略称: TPBI)、バソフェナントロリン(略称: BPhen)、バソキュプロイン(略称: BCP)などの複素環化合物を用いることができる。

【0057】

その他、9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾ

10

20

30

40

50

ール(略称: CzPA)、3,6-ジフェニル-9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール(略称: DPCzPA)、9,10-ビス(3,5-ジフェニルフェニル)アントラセン(略称: DPRA)、9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン(略称: DNA)、2-tert-ブチル-9,10-ジ(2-ナフチル)アントラセン(略称: t-BuDNA)、9,9'-ビアントリル(略称: BANT)、9,9'--(スチルベン-3,3'-ジイル)ジフェナントレン(略称: DPNS)、9,9'--(スチルベン-4,4'-ジイル)ジフェナントレン(略称: DPNS2)、3,3',3''-(ベンゼン-1,3,5-トリイル)トリピレン(略称: TPPB3)などの縮合芳香族化合物を用いることもできる。

【0058】

10

また、発光性の物質を分散させるための物質は複数種用いることができる。例えば、結晶化を抑制するためにルブレン等の結晶化を抑制する物質をさらに添加してもよい。さらに、発光性の物質へのエネルギー移動をより効率良く行うためにNPB、あるいはAlq等を添加してもよい。このように、発光性の高い物質を他の物質に分散させた構成とすることで、第3の層113の結晶化を抑制することができる。さらに、発光性の高い物質の濃度が高いことによる濃度消光を抑制することができる。

【0059】

また、上述した物質のうち、特に電子輸送性の物質を用いて発光性の物質を分散させて第3の層113を形成することがより好ましい。具体的には、上述した金属錯体、複素環化合物、縮合芳香族化合物のうちのCzPA、DNA、t-BuDNA、さらには、のちに示す第4の層114に用いることのできる物質として挙げられる高分子化合物を用いることもできる。

20

【0060】

また、第3の層113には、次に挙げる高分子化合物を用いることもできる。

【0061】

青色系の発光物質としては、ポリ(9,9-ジオクチルフルオレン-2,7-ジイル)(略称: PFO)、ポリ[(9,9-ジオクチルフルオレン-2,7-ジイル)-co-(2,5-ジメトキシベンゼン-1,4-ジイル)](略称: PF-DMOP)、ポリ{(9,9-ジオクチルフルオレン-2,7-ジイル)-co-[N,N'-ジ-(p-ブチルフェニル)-1,4-ジアミノベンゼン]}(略称: TAB-PFH)などが挙げられる。

30

【0062】

緑色系の発光物質としては、ポリ(p-フェニレンビニレン)(略称: PPV)、ポリ[(9,9-ジヘキシルフルオレン-2,7-ジイル)-alt-co-(ベンゾ[2,1,3]チアジアゾール-4,7-ジイル)](略称: PFBT)、ポリ[(9,9-ジオクチル-2,7-ジビニレンフルオレニレン)-alt-co-(2-メトキシ-5-(2-エチルヘキシロキシ)-1,4-フェニレン)]などが挙げられる。

【0063】

橙色～赤色系の発光物質としては、ポリ[2-メトキシ-5-(2'-エチルヘキソキシ)-1,4-フェニレンビニレン](略称: MEH-PPV)、ポリ(3-ブチルチオフェン-2,5-ジイル)(略称: R4-PAT)、ポリ{[9,9-ジヘキシル-2,7-ビス(1-シアノビニレン)フルオレニレン]-alt-co-[2,5-ビス(N,N'-ジフェニルアミノ)-1,4-フェニレン]}、ポリ{[2-メトキシ-5-(2-エチルヘキシロキシ)-1,4-ビス(1-シアノビニレンフェニレン)]-alt-co-[2,5-ビス(N,N'-ジフェニルアミノ)-1,4-フェニレン]}(略称: CN-PPV-DPD)などが挙げられる。

40

【0064】

第4の層114は、電子輸送性の高い物質を含む電子輸送層である。第4の層114には、例えば、低分子の有機化合物として、Alq、Almq₃、BeBq₂、BA1q、Znq、ZnPBO、ZnBTZなどの金属錯体等を用いることができる。また、金属錯

50

体以外にも、PBD、OXD-7、TAZ、TPBI、BPhen、BCPなどの複素環化合物を用いることができる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する物質である。なお、正孔よりも電子の輸送性の高い物質であれば、上記以外の物質を電子輸送層として用いてもよい。また、電子輸送層は、単層のものだけでなく、上記物質からなる層が二層以上積層したものとしてもよい。

【0065】

第4の層114には、高分子化合物を用いることもできる。例えば、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)などを用いることができる。10

【0066】

また、第5の層115は、電子注入性の高い物質を含む電子注入層である。第5の層115には、フッ化リチウム(LiF)、フッ化セシウム(CsF)、フッ化カルシウム(CaF₂)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。その他、電子輸送性を有する物質にアルカリ金属、アルカリ土類金属、またはそれらの化合物を含有させたもの、具体的にはAlq中にマグネシウム(Mg)を含有させたもの等を用いてもよい。なお、この場合には、第2の電極104からの電子注入をより効率良く行うことができる。20

【0067】

第2の電極104には、仕事関数の小さい(具体的には3.8eV以下)金属、合金、電気伝導性化合物、及びこれらの混合物などを用いることができる。このような陰極材料の具体例としては、元素周期表の第1族または第2族に属する元素、すなわちリチウム(Li)やセシウム(Cs)等のアルカリ金属、およびマグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、ストロンチウム(Sr)等のアルカリ土類金属、およびこれらを含む合金(MgAg、AlLi)、ユーロピウム(Eu)、イッテルビウム(Yb)等の希土類金属およびこれらを含む合金等が挙げられる。20

【0068】

なお、アルカリ金属、アルカリ土類金属、これらを含む合金を用いて第2の電極104を形成する場合には、真空蒸着法やスパッタリング法を用いることができる。また、銀ペーストなどを用いる場合には、塗布法やインクジェット法などを用いることができる。30

【0069】

なお、第5の層115を設けることにより、仕事関数の大小に関わらず、Al、Ag、ITO、珪素若しくは酸化珪素を含有した酸化インジウム-酸化スズ等様々な導電性材料を用いて第2の電極104を形成することができる。これらの導電性材料は、スパッタリング法やインクジェット法、スピンドル法等を用いて成膜することができる。

【0070】

また、第1の層111、第2の層112、第3の層113、第4の層114、及び第5の層115が順次積層して形成されるEL層103の作製方法としては、乾式法、湿式法を問わず、種々の方法を用いることができる。例えば、真空蒸着法、インクジェット法またはスピンドル法など用いることができる。なお、各層ごとに異なる成膜方法を用いて形成してもよい。40

【0071】

第2の電極104についても、スパッタリング法や真空蒸着法などの乾式法だけでなく、金属材料のペーストを用いてゾル-ゲル法等の湿式法により形成することができる。

【0072】

上述した発光素子は、第1の電極102と第2の電極104との間に生じた電位差により電流が流れ、EL層103において正孔と電子とが再結合することにより発光する。そして、この発光は、第1の電極102または第2の電極104のいずれか一方または両方を通って外部に取り出される。従って、第1の電極102または第2の電極104のいず50

れか一方、または両方が透光性を有する電極となる。

【0073】

なお、第1の電極102のみが透光性を有する電極である場合には、図3(A)に示すように、EL層103で生じた発光は第1の電極102を通って基板101側から取り出される。また、第2の電極104のみが透光性を有する電極である場合には、図3(B)に示すように、EL層103で生じた発光は第2の電極104を通って基板101と逆側から取り出される。さらに、第1の電極102および第2の電極104がいずれも透光性を有する電極である場合には、図3(C)に示すように、EL層103で生じた発光は第1の電極102および第2の電極104を通って、基板101側および基板101と逆側の両方から取り出される。

10

【0074】

なお、第1の電極102と第2の電極104との間に設けられる層の構成は、上記のものには限定されない。ただし、少なくとも正孔注入層である第1の層111、正孔輸送層である第2の層112、および発光層である第3の層113を有し、第1の層111が複合材料で形成され、かつ第2の層112に用いる物質の最高被占有軌道準位(HOMO準位)が第1の層111に用いる物質のHOMO準位よりも深い(絶対値が大きい)物質が選択された構成であれば、上記以外のものでもよい。

【0075】

また、図2(B)に示すように、基板101上に陰極として機能する第2の電極104、EL層103、陽極として機能する第1の電極102が順次積層された構造としてもよい。なお、この場合のEL層103は、第2の電極104上に第5の層115、第4の層114、第3の層113、第2の層112、第1の層111、第1の電極102が順次積層された構造となる。

20

【0076】

なお、上述した発光素子を用いることで、パッシブマトリクス型の発光装置や、薄膜トランジスタ(TFT)によって発光素子の駆動が制御されたアクティブマトリクス型の発光装置を作製することができる。

【0077】

なお、アクティブマトリクス型の発光装置を作製する場合におけるTFTの構造は、特に限定されない。例えば、スタガ型や逆スタガ型のTFTを適宜用いることができる。また、TFT基板に形成される駆動用回路についても、N型およびP型のTFTからなるものでもよいし、N型のTFTまたはP型のTFTのいずれか一方のみからなるものであってもよい。さらに、TFTに用いられる半導体膜の結晶性についても特に限定されない。非晶質半導体膜を用いてもよいし、結晶性半導体膜を用いてもよい。

30

【0078】

本実施の形態1で示した発光素子では、第2の層(正孔輸送層)112の最高被占有軌道準位(HOMO準位)が、第1の層(正孔注入層)111のHOMO準位よりも深く(絶対値が大きく)なるように設けることで、第1の層(正孔注入層)111から第2の層(正孔輸送層)112へ注入される正孔(ホール)の注入量を抑制することができる。これにより、第3の層(発光層)113への正孔(ホール)の注入量を抑制することができるため、素子効率の向上を図ることができる。また、第1の層(正孔注入層)111は、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を用いて形成されることから、素子効率の向上だけでなく、駆動電圧の上昇を最小限に抑えることができる。

40

【0079】

(実施の形態2)

本実施の形態2では、実施の形態1で示した正孔(ホール)の注入量を抑制する構造に加えて電子の移動速度を小さくする構造を有する発光素子について説明する。

【0080】

本実施の形態2における発光素子は、第1の電極、第2の電極、および第1の電極と第2の電極との間に設けられたEL層とから構成されており、EL層は、少なくとも第1の

50

電極側から順次積層された正孔注入層、正孔輸送層、発光層、及びキャリア制御層を有し、正孔注入層が複合材料で形成され、かつ正孔輸送層の最高被占有軌道準位（HOMO準位）が、正孔注入層のHOMO準位よりも深く（絶対値が大きく）なるように設けられていれば良く、その他の層については、特に限定されない。

【0081】

そこで、図4に示すようにEL層103の構成が、第1の電極102側から第1の層（正孔注入層）111、第2の層（正孔輸送層）112、第3の層（発光層）113、第6の層（キャリア制御層）116、第4の層（電子輸送層）114、第5の層（電子注入層）115である場合について説明する。

【0082】

図4に示す発光素子のEL層103において、第1の層（正孔注入層）111は、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を用いて形成されるため、フェルミ準位のシフトが起こり、第1の層（正孔注入層）111の第1の電極102との界面付近においてバンドベンディングが生じる。これにより、第1の電極102と第1の層（正孔注入層）111との界面付近における注入障壁が小さくなる（又は、実質的になくなる）ため、オーム接触しているかのように第1の電極102から第1の層（正孔注入層）111への正孔（ホール）のトンネル注入が可能となる。

【0083】

また、第2の層（正孔輸送層）112の最高被占有軌道準位（HOMO準位）は、第1の層（正孔注入層）111のHOMO準位よりも深く（絶対値が大きく）なるように設けられている。このような構造とすることで、第1の層（正孔注入層）111に注入された正孔（ホール）が第2の層（正孔輸送層）112へ注入される量（注入量）を抑制することができる。従って、第2の層（正孔輸送層）112によるエネルギーギャップを設けない構造に比べて、第3の層（発光層）113への正孔（ホール）の注入量を抑制することができる。なお、具体的には、第2の層112のHOMO準位の絶対値は、第1の層111のHOMO準位の絶対値よりも0.1eV以上大きいことが好ましい。

【0084】

なお、図4に示す構造とすることで、第3の層（発光層）113に注入される正孔（ホール）の注入量を抑制することができる。また、第2の電極104と第3の層（発光層）113との間に第6の層（キャリア制御層）116を設けることにより、第2の電極104から第3の層（発光層）113に到達するまでの電子の移動速度を小さくすることができるため、第3の層（発光層）113において再結合するキャリア（電子と正孔）のバランスが向上し、素子の高効率化を図ることが可能になる。

【0085】

また、特に第3の層（発光層）113が電子輸送性の物質を含む場合に、図4の様な構成は効果的である。第3の層（発光層）113が電子輸送性の物質を含む場合、発光領域は、第3の層（発光層）113と第2の層（正孔輸送層）112との界面付近になる。そして、もしこの界面近傍に過剰の正孔によってカチオンが生成してしまうとカチオンは消光剤として働く為、発光効率が顕著に低下してしまう。しかしながら、本構成は、正孔の注入量を抑制している為、第3の層（発光層）113周辺におけるカチオンの生成を抑制することができ発光効率の低下を抑制することができる。従って、発光効率の高い発光素子を形成することができる。

【0086】

本実施の形態2において、第1の電極102は陽極として機能し、第2の電極104は陰極として機能するものとする。つまり、第1の電極102の方が第2の電極104よりも電位が高くなるように、それぞれに電圧を印加したときに、発光が得られるものとする。

【0087】

次に、本実施の形態2における発光素子の構造を図5を用いて説明する。基板101は、発光素子の支持体として用いられる。なお、基板101としては、実施の形態1と同様

なものを用いることができる。

【0088】

基板101上に形成される第1の電極102には、仕事関数の大きい(具体的には4.0eV以上)金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることが好ましく、実施の形態1で示したものと同様なものを用いることができる。

【0089】

また、第1の電極102上に形成されるEL層103のうち、第1の電極側から順次積層される第1の層(正孔注入層)111、第2の層(正孔輸送層)112、第3の層(発光層)113までの構造、作製方法及び各層に用いることができる材料は実施の形態1と同様であるので、本実施の形態2における説明は省略することとする。

10

【0090】

本実施の形態2では、実施の形態1で説明した構成に加えて、第3の層(発光層)113と第2の電極104との間にキャリア(電子)の移動を小さくする第6の層(以下、キャリア制御層とよぶ)116を設けることを特徴とするが、キャリア制御層の構成として、2種類の方法(速度論的にキャリア(電子)の移動速度を小さくする方法、熱力学的にキャリア(電子)の移動速度を小さくする方法)を用いることができる。

【0091】

1つめとして、第6の層(キャリア制御層)116により速度論的にキャリア(電子)の移動速度を小さくする場合について説明する。図6にその概念図を示す。

【0092】

第1の電極102と第2の電極104の間にEL層103を有し、EL層103を構成する複数の層は、第1の電極102側から第1の層(正孔注入層)111、第2の層(正孔輸送層)112、第3の層(発光層)113、第6の層(キャリア制御層)116、第4の層(電子輸送層)114、第5の層(電子注入層)115の順に形成されている。

20

【0093】

第6の層(キャリア制御層)116は、2種類以上の有機化合物で構成される。ここでは、図6(B)に示すように第6の層(キャリア制御層)116が、第1の有機化合物201と第2の有機化合物202の2種類で構成される場合について説明する。なお、第1の有機化合物201として用いるのは、電子輸送性の高い有機化合物(電子輸送性の有機化合物)であり、第2の有機化合物202として用いるのは、正孔輸送性の高い有機化合物(正孔輸送性の有機化合物)とする。

30

【0094】

また、第2の有機化合物202と第1の有機化合物201に用いる有機化合物は、近いLUMO準位を有することとする。具体的には、第2の有機化合物202の最低空軌道準位(LUMO準位)の絶対値は、第1の有機化合物201のLUMO準位の絶対値との差が0.3eV以下であることが好ましく、より好ましくは0.2eV以下とする。つまり、第1の有機化合物201と第2の有機化合物202との間でキャリアである電子の移動が容易であることが好ましい。

【0095】

この場合、第2の有機化合物202は、第1の有機化合物201と近いLUMO準位を有するため、電子が注入されうるが、電子輸送性の第1の有機化合物201から正孔輸送性の第2の有機化合物202に電子が注入される速度(v_1)、もしくは、第2の有機化合物202から第1の有機化合物201へ電子が注入される速度(v_2)は、第1の有機化合物201間で電子が注入される速度(v)よりも小さくなる。

40

【0096】

従って、電子輸送性の第1の有機化合物201と正孔輸送性の第2の有機化合物202により第6の層116を形成することにより、第1の有機化合物201のみで形成する場合に比べて第6の層116における電子輸送速度を小さくすることができる。つまり、第1の有機化合物201と第2の有機化合物202により第6の層116を形成することにより、第6の層116におけるキャリア(電子)の移動速度を小さくすることができる。

50

【0097】

なお、第1の有機化合物201と第2の有機化合物202により第6の層116を形成する場合において、第2の有機化合物202の含有量が質量比で全体の50%未満となるように濃度を制御することが好ましい。さらに好ましくは、第2の有機化合物202の含有量が全体の1~20重量%となるように濃度を制御する。

【0098】

なお、第6の層116に含まれる第1の有機化合物201としては、具体的には、Alq、Almq₃、BeBq₂、BA1q、Znq、ZnPBO、ZnBTZなどの金属錯体、PBD、OXD-7、TAZ、TPBI、BPhen、BCPなどの複素環化合物、CzPA、DPCzPA、DPAA、DNA、t-BuDNA、BANT、DPNS、DPNS₂、TPB₃などの縮合芳香族化合物が挙げられる。また、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)などの高分子化合物を用いることができる。

【0099】

また、第6の層116に含まれる第2の有機化合物202としては、具体的には、9,10-ジフェニルアントラセン(略称:DPAnth)、6,12-ジメトキシ-5,11-ジフェニルクリセンのような縮合芳香族炭化水素や、N,N-ジフェニル-9-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:CzA1PA)、4-(10-フェニル-9-アントリル)トリフェニルアミン(略称:DPhPA)、N,9-ジフェニル-N-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:PCAPA)、N,9-ジフェニル-N-{4-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]フェニル}-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:PCAPBA)、N-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:2PCAPA)、NPB(または-NPD)、TPD、DFLDPBi、BSPBなどの芳香族アミン化合物、クマリン7、クマリン30などのアミノ基を有する化合物を用いることができる。また、PVK、PVTPA、PTPDMA、Poly-TPDなどの高分子化合物を用いることもできる。

【0100】

上述した材料を組み合わせて第6の層116を形成することにより、第1の有機化合物201から第2の有機化合物202、または第2の有機化合物202から第1の有機化合物201への電子移動が抑制され、第6の層116の電子移動速度を抑制することができる。また、第6の層116では、第1の有機化合物201中に第2の有機化合物202が分散された構成を有するため、経時的な結晶化や凝集が生じにくい。したがって、先に述べた電子移動の抑制効果も経時変化しにくくなり、その結果キャリアバランスも経時変化しにくくなる。このことが、発光素子の寿命の向上、つまり、信頼性の向上に繋がる。

【0101】

なお、上述した組み合わせの中でも、第1の有機化合物201として金属錯体を、第2の有機化合物202として芳香族アミン化合物を組み合わせることが好ましい。金属錯体は電子輸送性が高い上に双極子モーメントが大きく、一方で芳香族アミン化合物は正孔輸送性が高い上に比較的双極子モーメントが小さい。このように、双極子モーメントが大きく異なる物質を組み合わせることで、上述した電子移動の抑制効果はより顕著となる。具体的には、第1の有機化合物201の双極子モーメントをP₁、第2の有機化合物202の双極子モーメントをP₂とすると、P₁/P₂ 3となる組み合わせが好ましい。

【0102】

例えば、金属錯体であるAlqの双極子モーメントは9.40デバイであり、芳香族アミン化合物である2PCAPAの双極子モーメントは1.15デバイである。したがって、第1の有機化合物201として金属錯体のような電子輸送性の有機化合物を用い、第2

の有機化合物 202 として芳香族アミン化合物のような正孔輸送性の有機化合物を用いる場合には、P₁ / P₂ 3 であることが好ましい。

【0103】

また、第6の層 116 に含まれる第2の有機化合物 202 の発光色と、第3の層（発光層）113 に含まれる発光性の高い物質の発光色とは、同系色の発光色であることが好ましい。具体的には、第2の有機化合物 202 の発光スペクトルのピーク値と発光性の高い物質の発光スペクトルのピーク値との差は、30 nm 以内であることが好ましい。30 nm 以内であることにより、第2の有機化合物 202 の発光色と発光性の高い物質の発光色は、同系色の発光色となる。よって、電圧等の変化により、もし仮に第2の有機化合物 202 が発光したとしても、発光色の変化を抑制することができる。

10

【0104】

2つめとして、第6の層（キャリア制御層）116 により熱力学的にキャリア（電子）の移動速度を小さくする場合について説明する。図7にその概念図（バンド図）を示す。

【0105】

第1の電極 102 と第2の電極 104 の間にEL層 103 を有し、EL層 103 を構成する複数の層は、第1の電極 102 側から第1の層（正孔注入層）111、第2の層（正孔輸送層）112、第3の層（発光層）113、第6の層（キャリア制御層）116、第4の層（電子輸送層）114、第5の層（電子注入層）115 の順に形成されている。

【0106】

第6の層（キャリア制御層）116 は、2種類以上の有機化合物で構成される。ここでは、第6の層（キャリア制御層）116 が、第1の有機化合物 203 と第2の有機化合物 204 の2種類で構成される場合について説明する。なお、第1の有機化合物 203 として用いるのは、電子輸送性の高い有機化合物（電子輸送性の有機化合物）であり、第2の有機化合物 204 として用いるのは電子をトラップする機能を有する有機化合物（電子トラップ性の有機化合物）とする。

20

【0107】

また、第2の有機化合物 204 と第1の有機化合物 203 に用いる有機化合物は、離れたLUMO準位を有することとする。具体的には、第2の有機化合物 204 の最低空軌道準位（LUMO準位）の絶対値は、第1の有機化合物 203 のLUMO準位の絶対値よりも0.3 eV以上大きいことが好ましい。

30

【0108】

図7に示すように、第1の電極 102 から注入された正孔は、第1の層 111、第2の層 112 を通り、第3の層（発光層）113 に注入される。一方、第2の電極 104 から注入された電子は、第5の層 115、第4の層 114 を通り、第6の層（キャリア制御層）116 に注入される。第6の層 116 は、電子輸送性の第1の有機化合物 203 と電子トラップ性を有する第2の有機化合物 204 により形成されるため、第6の層 116 に注入された電子は、第1の有機化合物 203 ではなく第2の有機化合物 204 のLUMO準位に入るため、電子の移動速度を小さくすることができる。

【0109】

従って、電子輸送性の第1の有機化合物 203 と電子トラップ性の第2の有機化合物 204 により第6の層 116 を形成することにより、第1の有機化合物 203 のみで形成する場合に比べて第6の層 116 における電子輸送速度を小さくすることができる。つまり、第1の有機化合物 203 と第2の有機化合物 204 により第6の層 116 を形成することにより、第6の層 116 におけるキャリア（電子）の移動速度を小さくすることができる。

40

【0110】

なお、第1の有機化合物 203 と第2の有機化合物 204 により第6の層 116 を形成する場合において、第2の有機化合物 204 の含有量が質量比で全体の50%未満となることが好ましく、さらに好ましくは、第2の有機化合物 204 の含有量が全体の0.1~5重量%となるように濃度を制御する。

50

【0111】

なお、第6の層116に含まれる第1の有機化合物203としては、具体的には、Alq、Almq₃、BeBq₂、BA1q、Znq、BA1q、ZnPBO、ZnBTZなどの金属錯体、PBD、OXD-7、TAZ、TPBI、BPhen、BCPなどの複素環化合物、CzPA、DPCzPA、DPAA、DNA、t-BuDNA、BANT、DPNS、DPNS2、TPB3などの縮合芳香族化合物を用いることができる。

【0112】

また、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)などの高分子化合物を用いることができる。中でも電子に対して安定な金属錯体であることが好ましい。
10

【0113】

また、第6の層116に含まれる第2の有機化合物204としては、以下に示す物質を用いることができる。なお、第2の有機化合物204は、それ自身が発光してもよいが、その場合には、発光素子の色純度を保つため、第3の層(発光層)113の発光色と第2の有機化合物204の発光色とが同系色の発光色であることが好ましい。

【0114】

例えば、第3の層113に含まれる有機化合物がYGA2SやYGAPAのような青色系の発光を示す有機化合物である場合、第2の有機化合物204はアクリドン、クマリン102、クマリン6H、クマリン480D、クマリン30などの青色～青緑色の発光を示す物質であることが好ましい。
20

【0115】

また、第3の層(発光層)113に含まれる有機化合物が2PCAPA、2PCABPhA、2DPAPA、2DPABPhA、2YGA BPhA、DPPhAPhAのような緑色系の発光色を示す有機化合物である場合、第2の有機化合物204はN,N'-ジメチルキナクリドン(略称:D MQd)、N,N'-ジフェニルキナクリドン(略称:D PQd)、9,18-ジヒドロベンゾ[h]ベンゾ[7,8]キノ[2,3-b]アクリジン-7,16-ジオン(略称:DMNQd-1)、9,18-ジメチル-9,18-ジヒドロベンゾ[h]ベンゾ[7,8]キノ[2,3-b]アクリジン-7,16-ジオン(略称:DMNQd-2)、クマリン30、クマリン6、クマリン545T、クマリン153などの青緑色～黄緑色の発光を示す物質であることが好ましい。
30

【0116】

また、第3の層(発光層)113に含まれる有機化合物がルブレン、BPTのような黄色系の発光を示す有機化合物である場合、第2の有機化合物204はDMQd、{2-[2-[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]エテニル}-6-メチル-4H-ピラン-4-イリデン)プロパンジニトリル(略称:DCMCz)などの黄緑色～黄橙色の発光を示す物質であることが好ましい。

【0117】

また、第3の層(発光層)113に含まれる有機化合物がp-mPhTD、p-mPhAFDのような赤色系の発光を示す有機化合物である場合、第2の有機化合物204は({2-[2-[4-(ジメチルアミノ)フェニル]エテニル}-6-メチル-4H-ピラン-4-イリデン)プロパンジニトリル(略称:DCM1)、{2-メチル-6-[2-(2,3,6,7-テトラヒドロ-1H,5H-ベンゾ[ij]キノリジン-9-イル)エテニル]-4H-ピラン-4-イリデン}プロパンジニトリル(略称:DCM2)、{2-[(1,1-ジメチルエチル)-6-[2-(2,3,6,7-テトラヒドロ-1,1,7,7-テトラメチル-1H,5H-ベンゾ[ij]キノリジン-9-イル)エテニル]-4H-ピラン-4-イリデン}プロパンジニトリル(略称:DCJTB)、ナイルレッドなどの橙色～赤色の発光を示す物質であることが好ましい。
40

【0118】

また、第3の層(発光層)113の発光材料が燐光材料である場合、第2の有機化合物204も燐光材料であることが好ましい。例えば、発光材料が上述したIr(bt p)₂(acac)である場合、Ir(bt p)₂(acac)は赤色発光を示すため、第2の有機化合物として赤色の燐光材料である(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(Fd pq)₂(acac))などを用いればよい。なお、これらの化合物は、発光素子に用いられる化合物の中でもLUMO準位が低い化合物であり、上述した第1の有機化合物203に添加することで良好な電子トラップ性を示す。

【0119】

第2の有機化合物204としては、上記に列挙した物質の中でも、DMQd、DPQd、DMNQd-1、DMNQd-2のようなキナクリドン誘導体が化学的に安定であるため好ましい。すなわち、キナクリドン誘導体を適用することにより、特に発光素子を長寿命化させることができる。また、キナクリドン誘導体は緑色系の発光を示すため、ここで示す発光素子の素子構造は、緑色系の発光素子に対して特に有効である。緑色は、フルカラーディスプレイを作製する際には最も輝度が必要な色であるため、劣化が他の色に比して大きくなってしまう場合があるが、本構造を適用することによりそれを改善することができる。

【0120】

なお、上述したように、第2の有機化合物204のLUMO準位の絶対値は、第1の有機化合物203のLUMO準位の絶対値よりも0.3eV以上大きいことが好ましい。したがって、用いる第2の有機化合物204の種類に応じて、上記条件を満たすように第1の有機化合物203を適宜選択すればよい。

【0121】

さらに、第3の層113に含まれる発光性の高い物質の発光色と、第6の層116に含まれる第2の有機化合物204の発光色は同系色の発光色であることが好ましい。そのため、発光性の高い物質の発光スペクトルのピーク値と第2の有機化合物204の発光スペクトルのピーク値との差は、30nm以内であることが好ましい。30nm以内であることにより、発光性の高い物質の発光色と第2の有機化合物204の発光色は、同系色の発光色となる。よって、電圧等の変化により、もし仮に第2の有機化合物204が発光したとしても、発光色の変化を抑制することができる。

【0122】

ただし、必ずしも第2の有機化合物204が発光する必要はない。例えば、発光性の高い物質の方が発光効率が高い場合は、実質的に発光性の高い物質の発光のみが得られるよう、第6の層116における第2の有機化合物204の濃度を調節する(第2の有機化合物204の発光が抑制されるように、その濃度を若干低くする)ことが好ましい。この場合、発光性の高い物質の発光色と第2の有機化合物204の発光色は同系統の発光色である(すなわち、同程度のエネルギー・ギャップを持つ)ため、発光性の高い物質から第2の有機化合物204へのエネルギー移動は生じにくく、高い発光効率が得られる。

【0123】

なお、この場合には、第2の有機化合物204は、クマリン102、クマリン6H、クマリン480D、クマリン30、クマリン6、クマリン545T、クマリン153などのクマリン誘導体であることが好ましい。クマリン誘導体は、電子トラップ性が比較的弱いため、第1の有機化合物203に添加する濃度が比較的高くてよい。つまり、濃度の調節がしやすく、所望の性質を有するキャリアの移動を制御する層を得ることができる。また、クマリン誘導体は発光効率が高いため、もし仮に第2の有機化合物204が発光したとしても、発光素子全体の効率の低下を抑制することができる。

【0124】

なお、第6の層116は、上述した2種類の方法(速度論的にキャリアの移動を制御する方法、熱力学的にキャリアの移動を制御する方法)により形成することができるが、いずれの構成においても第6の層116の膜厚は、5nm以上20nm以下であることが好

10

20

30

40

50

ましい。膜厚が厚くなると、キャリアの移動速度が過度の低下に伴い駆動電圧が高くなり、膜厚が薄くなると、キャリアの移動を制御する機能を損なう可能性があるためである。

【0125】

また、第6の層116は、電子の移動速度を制御するものであるため、第2の電極104と第3の層(発光層)113との間に形成されればよいが、第3の層(発光層)113と接して形成されるのがより好ましい。第3の層(発光層)113と接するように設けることにより、第3の層(発光層)113への電子注入を直接制御できるため、第3の層(発光層)113内におけるキャリアバランスの経時変化をより抑制することができ、素子寿命向上に関してより大きな効果が得られる。

【0126】

なお、第6の層116を第3の層(発光層)113と接して形成する場合には、第6の層116に含まれる第1の有機化合物(201、203)と、第3の層(発光層)113に多く含まれる有機化合物とは、異なる有機化合物であることが好ましい。特に、第3の層(発光層)113の構成が、発光性の高い物質を分散させる物質(第3の有機化合物)と、発光性の高い物質(第4の有機化合物)とを含む場合、第3の有機化合物と、第1の有機化合物(201、203)とは、異なる有機化合物であることが好ましい。このような構成により、第6の層116から第3の層(発光層)113へのキャリア(電子)の移動が、第1の有機化合物(201、203)と第3の有機化合物との間においても抑制され、第6の層116を設ける効果をより高めることができる。

【0127】

また、第6の層116は、2種類以上の物質を含むため、物質の組み合わせや混合比、膜厚などを制御することにより、キャリアバランスを精密に制御することが可能である。従って、従来よりも容易にキャリアバランスの制御が可能となる。さらに、第6の層116における混合比の少ない有機化合物を用いてキャリアの移動を制御するため、単一物質による制御に比べて、キャリアバランスの変化が起きにくい。従って、経時変化に強く、発光素子の長寿命化を実現することができる。

【0128】

EL層103のうち、上述した第6の層(キャリア制御層)116上には、第4の層(電子輸送層)114、第5の層(電子注入層)115が順次積層されるが、これらの構造、作製方法及び各層に用いることができる材料は、実施の形態1と同様であるので、本実施の形態2における説明は省略することとする。

【0129】

次に第5の層(電子注入層)115上に第2の電極104が形成される。なお、第2の電極104についても作製方法および用いることのできる材料は、実施の形態1と同様であるので、本実施の形態2における説明は省略することとする。

【0130】

本実施の形態2の場合においても、第1の電極102のみが透光性を有する電極である場合には、図3(A)に示すように、EL層103で生じた発光は第1の電極102を通じて基板101側から取り出される。また、第2の電極104のみが透光性を有する電極である場合には、図3(B)に示すように、EL層103で生じた発光は第2の電極104を通じて基板101と逆側から取り出される。さらに、第1の電極102および第2の電極104がいずれも透光性を有する電極である場合には、図3(C)に示すように、EL層103で生じた発光は第1の電極102および第2の電極104を通じて、基板101側および基板101と逆側の両方から取り出される。

【0131】

なお、第1の電極102と第2の電極104との間に設けられる層の構成は、上記のものには限定されない。ただし、少なくとも正孔注入層である第1の層111、正孔輸送層である第2の層112、発光層である第3の層113、およびキャリア制御層である第6の層116を有し、第1の層111は、複合材料で形成され、かつ第2の層112に用いる物質の最高被占有軌道準位(HOMO準位)が第1の層111に用いる物質のHOMO

10

20

30

40

50

準位よりも深い（絶対値が大きい）物質が選択された構成であれば、上記以外のものでもよい。

【0132】

また、図5(B)に示すように、基板101上に陰極として機能する第2の電極104、EL層103、陽極として機能する第1の電極102が順次積層された構造としてもよい。なお、この場合のEL層103は、第2の電極104上に第5の層115、第4の層114、第6の層116、第3の層113、第2の層112、第1の層111、および第1の電極102が順次積層された構造となる。

【0133】

なお、上述した発光素子を用いることで、パッシブマトリクス型の発光装置や、薄膜トランジスタ(TFT)によって発光素子の駆動が制御されたアクティブマトリクス型の発光装置を作製することができる。10

【0134】

なお、アクティブマトリクス型の発光装置を作製する場合におけるTFTの構造は、特に限定されない。例えば、スタガ型や逆スタガ型のTFTを適宜用いることができる。また、TFT基板に形成される駆動用回路についても、N型およびP型のTFTからなるものでもよいし、N型のTFTまたはP型のTFTのいずれか一方のみからなるものであってもよい。さらに、TFTに用いられる半導体膜の結晶性についても特に限定されない。非晶質半導体膜を用いてもよいし、結晶性半導体膜を用いてもよい。

【0135】

本実施の形態2で示した発光素子では、第2の層（正孔輸送層）112の最高被占有軌道準位（HOMO準位）が、第1の層（正孔注入層）111のHOMO準位よりも深く（絶対値が大きく）なるように設けることで、第1の層（正孔注入層）111から第2の層（正孔輸送層）112へ注入される正孔（ホール）の注入量を抑制することができる。これにより、第3の層（発光層）113への正孔（ホール）の注入量を抑制することができるため、素子効率の向上を図ることができる。また、第1の層（正孔注入層）111は、正孔輸送性の高い物質にアクセプター性物質を含有させた複合材料を用いて形成されることから、素子効率の向上だけでなく、駆動電圧の上昇を最小限に抑えることができる。20

【0136】

一方、第2の電極104と第3の層（発光層）113との間に第6の層116を設けて、キャリア（電子）の移動速度を小さくすることにより、これまで移動速度が速いために、第3の層（発光層）113と第2の層（正孔輸送層）112との界面近傍に形成されていた発光領域を従来よりも第3の層（発光層）113の中央側に形成させることができる。30

【0137】

また、第6の層116を設けてキャリア（電子）の移動速度を小さくすることで、発光に寄与することなく第3の層（発光層）113から第2の層（正孔輸送層）112に到達するキャリア（電子）による第2の層（正孔輸送層）112の劣化も防ぐことができる。さらに、キャリア（電子）の移動速度を小さくすることで、第3の層（発光層）113へのキャリア（電子）注入量を制御するだけではなく、その制御されたキャリア（電子）注入量が経時的に変化するのを抑制することができる。従って、経時的なバランス悪化に伴う再結合確率の低下を防ぐことができるため、素子寿命の向上（輝度の経時劣化の抑制）を図ることもできる。40

【0138】

本実施の形態で示す構成の場合には、第3の層113に注入されるキャリア（正孔および電子）が制御されているため、第3の層113におけるキャリアバランスが向上すると共に再結合確率が高くなり、発光効率を向上させることができる。

【0139】

なお、本実施の形態2においては、実施の形態1に示した構成を適宜組み合わせて用いることとすることとする。50

【0140】

(実施の形態3)

本実施の形態3では、実施の形態1および実施の形態2で示した発光素子のEL層を複数有する発光素子（以下、積層型発光素子という）について、図8を用いて説明する。この発光素子は、第1の電極801と第2の電極802との間に、複数のEL層（第1のEL層803、第2のEL層804）を有する積層型発光素子である。なお、本実施の形態3では、EL層が2層の場合について示すが、3層以上としても良い。

【0141】

本実施の形態3において、第1の電極801は、陽極として機能する電極であり、第2の電極802は陰極として機能する電極である。なお、第1の電極801および第2の電極802は、実施の形態1と同様な構成を用いることができる。また、複数のEL層（第1のEL層803、第2のEL層804）としては、実施の形態1および実施の形態2で示したEL層と同様な構成を用いることができる。なお、第1のEL層803と第2のEL層804は、同じ構成であっても異なる構成であってもよく、その構成は実施の形態1または実施の形態2と同様なものを適用することができる。

10

【0142】

また、複数のEL層（第1のEL層803、第2のEL層804）の間には、電荷発生層805が設けられている。電荷発生層805は、第1の電極801と第2の電極802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3の場合には、第1の電極801に第2の電極802よりも電位が高くなるように電圧を印加すると、電荷発生層805から第1のEL層803に電子が注入され、第2のEL層804に正孔が注入される。

20

【0143】

なお、電荷発生層805は、光の取り出し効率の点から、透光性を有することが好ましい。また、電荷発生層805は、第1の電極801や第2の電極802よりも低い導電率であっても機能する。

【0144】

電荷発生層805は、正孔輸送性の高い物質にアクセプター物質が添加された構成であっても、電子輸送性の高い物質に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。

30

【0145】

正孔輸送性の高い物質にアクセプター物質が添加された構成とする場合において、正孔輸送性の高い物質としては、例えば、4,4'-ビス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル（略称：NPBまたは-NPD）やN,N'-ビス(3-メチルフェニル)-N,N'-ジフェニル-[1,1'-ビフェニル]-4,4'-ジアミン（略称：TPD）、4,4',4'''-トリス(N,N-ジフェニルアミノ)トリフェニルアミン（略称：TDATA）、4,4',4'''-トリス[N-(3-メチルフェニル)-N-フェニルアミノ]トリフェニルアミン（略称：MTDATA）、4,4'-ビス[N-(スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-イル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル（略称：BSPB）などの芳香族アミン化合物等を用いることができる。ここに述べた物質は、主に10-6 cm²/Vs以上の正孔移動度を有する物質である。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、上記以外の物質を用いても構わない。

40

【0146】

また、アクセプター性物質としては、7,7,8,8-テトラシアノ-2,3,5,6-テトラフルオロキノジメタン（略称：F4-TCNQ）、クロラニル等を挙げることができる。また、遷移金属酸化物を挙げることができる。また元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物を挙げることができる。具体的には、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タンゲステン、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。

50

【0147】

一方、電子輸送性の高い物質にドナー性物質が添加された構成とする場合において、電子輸送性の高い物質としては、例えば、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(略称: Alq)、トリス(4-メチル-8-キノリノラト)アルミニウム(略称: Almq₃)、ビス(10-ヒドロキシベンゾ[h]キノリナト)ベリリウム(略称: BeBq₂)、ビス(2-メチル-8-キノリノラト)(4-フェニルフェノラト)アルミニウム(略称: BALq)など、キノリン骨格またはベンゾキノリン骨格を有する金属錯体等を用いることができる。また、この他ビス[2-(2-ヒドロキシフェニル)ベンズオキサゾラト]亜鉛(略称: Zn(BOX)₂)、ビス[2-(2-ヒドロキシフェニル)ベンゾチアゾラト]亜鉛(略称: Zn(BTZ)₂)などのオキサゾール系、チアゾール系配位子を有する金属錯体なども用いることができる。さらに、金属錯体以外にも、2-(4-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)、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)、パソフェナントロリン(略称: BPhen)、パソキュプロイン(略称: BCp)なども用いることができる。ここに述べた物質は、主に10⁻⁶ cm²/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。

【0148】

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

【0149】

なお、上述した材料を用いて電荷発生層805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。

【0150】

本実施の形態3では、2つのEL層を有する発光素子について説明したが、3つ以上のEL層を積層した発光素子についても、同様に適用することが可能である。本実施の形態3に係る発光素子のように、一対の電極間に複数のEL層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、高輝度領域での長寿命素子を実現できる。また、照明を応用例とした場合は、電極材料の抵抗による電圧降下を小さくできるので、大面積での均一発光が可能となる。また、低電圧駆動が可能で消費電力が低い発光装置を実現することができる。

【0151】

また、それぞれのEL層の発光色を異なるものにすることで、発光素子全体として、所望の色の発光を得ることができる。例えば、2つのEL層を有する発光素子において、第1のEL層の発光色と第2のEL層の発光色を補色の関係になるようにすることで、発光素子全体として白色発光する発光素子を得ることも可能である。なお、補色とは、混合すると無彩色になる色同士の関係をいう。つまり、補色の関係にある色を発光する物質から得られた光を混合すると、白色発光を得ることができる。

【0152】

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

【0153】

なお、本実施の形態3においては、実施の形態1や実施の形態2に示した構成を適宜組

10

20

30

40

50

み合わせて用いることができることする。

【0154】

(実施の形態4)

本実施の形態4では、画素部に発光素子を有する発光装置について図9を用いて説明する。なお、図9(A)は、発光装置を示す上面図、図9(B)は図9(A)をA-A'およびB-B'で切断した断面図である。

【0155】

図9(A)において、点線で示された901は駆動回路部(ソース側駆動回路)、902は画素部、903は駆動回路部(ゲート側駆動回路)である。また、904は封止基板、905はシール材であり、シール材905で囲まれた内側は、空間907になっている。
10。

【0156】

なお、引き回し配線908はソース側駆動回路901及びゲート側駆動回路903に入力される信号を伝送するための配線であり、外部入力端子となるFPC(フレキシブルプリントサーキット)909からビデオ信号、クロック信号、スタート信号、リセット信号等を受け取る。なお、ここではFPCしか図示されていないが、このFPCにはプリント配線基板(PWB)が取り付けられていても良い。また、本明細書における発光装置には、発光装置本体だけでなく、それにFPCもしくはPWBが取り付けられた状態をも含むものとする。

【0157】

次に、断面構造について図9(B)を用いて説明する。素子基板910上には駆動回路部及び画素部が形成されているが、ここでは、駆動回路部であるソース側駆動回路901と、画素部902中の一つの画素が示されている。なお、ソース側駆動回路901はNチャネル型TFT923とPチャネル型TFT924とを組み合わせたCMOS回路が形成される。また、駆動回路は、種々のCMOS回路、PMOS回路もしくはNMOS回路で形成しても良い。本実施の形態では、基板上に駆動回路を形成したドライバ一体型を示すが、必ずしもその必要はなく、駆動回路を基板上ではなく外部に形成することもできる。

【0158】

また、画素部902はスイッチング用TFT911と、電流制御用TFT912とそのドレインに電気的に接続された第1の電極913とを含む複数の画素により形成される。
30なお、第1の電極913の端部を覆って絶縁物914が形成される。

【0159】

また、被覆性を良好なものとするため、絶縁物914の上端部または下端部に曲率を有する曲面が形成されるようにするのが好ましい。例えば、絶縁物914の材料としてポジ型の感光性アクリルを用いることで、絶縁物914の上端部のみに曲率半径(0.2μm~3μm)を有する曲面を持たせることができる。また、絶縁物914として、光の照射によってエッチャントに不溶解性となるネガ型、或いは光の照射によってエッチャントに溶解性となるポジ型の感光性材料を用いることができる。

【0160】

第1の電極913上には、EL層916、および第2の電極917がそれぞれ形成される。ここで、第1の電極913に用いる材料としては、さまざまな金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物を用いることができる。なお、具体的な材料としては、実施の形態1において第1の電極に用いることができるとして示した材料を用いることができるものとする。

【0161】

また、EL層916は、蒸着マスクを用いた蒸着法、インクジェット法、スピンドル法等の種々の方法によって形成される。EL層916は、実施の形態1または実施の形態2で示した構成を有している。また、EL層916を構成する他の材料としては、低分子化合物、または高分子化合物(オリゴマー、デンドリマーを含む)であっても良い。また、EL層に用いる材料としては、有機化合物だけでなく、無機化合物を用いてもよい。

10

20

30

40

50

【0162】

また、第2の電極917に用いる材料としては、さまざまな金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物を用いることができる。第2の電極917を陰極として用いる場合には、その中でも、仕事関数の小さい（仕事関数3.8eV以下）金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることが好ましい。例えば、元素周期表の第1族または第2族に属する元素、すなわちリチウム（Li）やセシウム（Cs）等のアルカリ金属、およびマグネシウム（Mg）、カルシウム（Ca）、ストロンチウム（Sr）等のアルカリ土類金属、およびこれらを含む合金（MgAg、AlLi）等が挙げられる。

【0163】

なお、EL層916で生じた光が第2の電極917を透過する構成とする場合には、第2の電極917として、膜厚を薄くした金属薄膜と、透明導電膜（酸化インジウム・酸化スズ（ITO）、珪素若しくは酸化珪素を含有した酸化インジウム・酸化スズ、酸化インジウム・酸化亜鉛（IZO）、酸化タンゲステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウム（IWZO）等）との積層を用いることも可能である。

【0164】

さらに、シール材905で封止基板904を素子基板910と貼り合わせることにより、素子基板910、封止基板904、およびシール材905で囲まれた空間907に発光素子918が備えられた構造になっている。なお、空間907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905で充填される場合もある。

【0165】

なお、シール材905にはエポキシ系樹脂を用いるのが好ましい。また、これらの材料はできるだけ水分や酸素を透過しない材料であることが望ましい。また、封止基板904に用いる材料としてガラス基板や石英基板の他、FRP（Fiberglass-Reinforced Plastics）、PVF（ポリビニルフロライド）、ポリエステルまたはアクリル等からなるプラスチック基板を用いることができる。

【0166】

以上のようにして、発光素子を有するアクティブマトリクス型の発光装置を得ることができる。

【0167】

また、上述した発光素子は、上述したアクティブマトリクス型の発光装置のみならずパッシブマトリクス型の発光装置に用いることもできる。図10にパッシブマトリクス型の発光装置の斜視図および断面図を示す。なお、図10（A）は、発光装置を示す斜視図、図10（B）は図10（A）をX-Yで切断した断面図である。

【0168】

図10において、基板1001上の第1の電極1002と第2の電極1003との間にEL層1004が設けられている。第1の電極1002の端部は絶縁層1005で覆われている。そして、絶縁層1005上には隔壁層1006が設けられている。隔壁層1006の側壁は、基板面に近くなるに伴って、一方の側壁と他方の側壁との間隔が狭くなるような傾斜を有する。つまり、隔壁層1006の短辺方向の断面は、台形状であり、底辺（絶縁層1005の面方向と同様の方向を向き、絶縁層1005と接する辺）の方が上辺（絶縁層1005の面方向と同様の方向を向き、絶縁層1005と接しない辺）よりも短い。このように、隔壁層1006を設けることで、静電気等に起因した発光素子の不良を防ぐことができる。

【0169】

以上により、パッシブマトリクス型の発光装置を得ることができる。

【0170】

なお、本実施の形態で示した発光装置（アクティブマトリクス型、パッシブマトリクス型）は、いずれも発光効率の高い発光素子を用いて形成されることから、消費電力が低減

10

20

30

40

50

された発光装置を得ることができる。

【0171】

なお、本実施の形態4においては、実施の形態1～3に示した構成を適宜組み合わせて用いることができるところとする。

【0172】

(実施の形態5)

本実施の形態5では、実施の形態4に示す発光装置をその一部に含む電子機器について説明する。電子機器としては、ビデオカメラ、デジタルカメラ等のカメラ、ゴーグル型ディスプレイ、ナビゲーションシステム、音響再生装置（カーオーディオ、オーディオコンポ等）、コンピュータ、ゲーム機器、携帯情報端末（モバイルコンピュータ、携帯電話、携帯型ゲーム機または電子書籍等）、記録媒体を備えた画像再生装置（具体的には、Digital Versatile Disc (DVD) 等の記録媒体を再生し、その画像を表示しうる表示装置を備えた装置）などが挙げられる。これらの電子機器の具体例を図11に示す。

10

【0173】

図11(A)は本発明に係るテレビ装置であり、筐体9101、支持台9102、表示部9103、スピーカー部9104、ビデオ入力端子9105等を含む。このテレビ装置において、表示部9103には、実施の形態4で例示した発光装置を適用することができる。この発光装置は、高い発光効率が得られるという特徴を有していることから、一部に適用することで消費電力の低減されたテレビ装置を得ることができる。

20

【0174】

図11(B)は本発明に係るコンピュータであり、本体9201、筐体9202、表示部9203、キーボード9204、外部接続ポート9205、ポインティングデバイス9206等を含む。このコンピュータにおいて、表示部9203には、実施の形態4で例示した発光装置を適用することができる。この発光装置は、高い発光効率が得られるという特徴を有していることから、一部に適用することで消費電力の低減されたコンピュータを得ることができる。

【0175】

図11(C)は本発明に係る携帯電話であり、本体9401、筐体9402、表示部9403、音声入力部9404、音声出力部9405、操作キー9406、外部接続ポート9407、アンテナ9408等を含む。この携帯電話において、表示部9403には、実施の形態4で例示した発光装置を適用することができる。この発光装置は、高い発光効率が得られるという特徴を有していることから、一部に適用することで消費電力の低減された携帯電話を得ることができる。

30

【0176】

図11(D)は本発明に係るカメラであり、本体9501、表示部9502、筐体9503、外部接続ポート9504、リモコン受信部9505、受像部9506、バッテリー9507、音声入力部9508、操作キー9509、接眼部9510等を含む。このカメラにおいて、表示部9502には、実施の形態4で例示した発光装置を適用することができる。この発光装置は、高い発光効率が得られるという特徴を有していることから、一部に適用することで消費電力の低減されたカメラを得ることができる。

40

【0177】

以上の様に、実施の形態4で例示した発光装置の適用範囲は極めて広く、この発光装置をあらゆる分野の電子機器に適用することが可能である。この発光装置を用いることにより、消費電力の低減された電子機器を得ることができる。

【0178】

また、実施の形態4で例示した発光装置は、照明装置として用いることもできる。図12は、発光装置をバックライトとして用いた液晶表示装置の一例である。図12に示した液晶表示装置は、筐体1201、液晶層1202、バックライト1203、筐体1204を有し、液晶層1202は、ドライバIC1205と接続されている。また、バックライ

50

ト 1 2 0 3 には、発光装置が用いられており、端子 1 2 0 6 により、電流が供給されている。

【 0 1 7 9 】

このように発光装置を液晶表示装置のバックライトとして用いることにより、低消費電力のバックライトが得られる。また、発光装置は、面発光の照明装置であり大面積化も可能であるため、バックライトの大面積化も可能である。従って、低消費電力であり、大面積化された液晶表示装置を得ることができる。

【 0 1 8 0 】

図 1 3 は、実施の形態 4 で例示した発光装置を、照明装置である電気スタンドとして用いた例である。図 1 3 に示す電気スタンドは、筐体 1 3 0 1 と、光源 1 3 0 2 を有し、光源 1 3 0 2 として、発光装置が用いられている。ここで用いる発光装置は発光効率の高い発光素子を有しているため、低消費電力の電気スタンドとして用いることが可能となる。

10

【 0 1 8 1 】

図 1 4 は、実施の形態 4 で例示した発光装置を、室内の照明装置 1 4 0 1 として用いた例である。ここで用いる発光装置は大面積化も可能であるため、大面積の照明装置として用いることができる。また、ここで用いる発光装置は、発光効率の高い発光素子を有しているため、低消費電力の照明装置として用いることが可能となる。このように、室内の照明装置 1 4 0 1 として発光装置を用いた部屋において、図 1 1 (A) で説明したような、本発明に係るテレビ装置 1 4 0 2 を設置して公共放送や映画を鑑賞することができる。

【 0 1 8 2 】

20

なお、本実施の形態 5 においては、実施の形態 1 ~ 4 に示した構成を適宜組み合わせて用いることができるここととする。

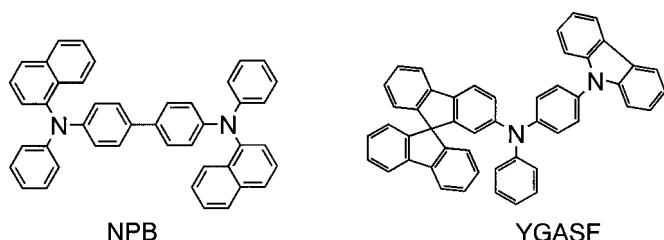
【 実施例 1 】

【 0 1 8 3 】

本実施例 1 では、発光素子として、実施の形態 1 で説明した構造を有する発光素子の作製方法および素子特性の測定結果を示す。なお、本実施例で示す発光素子（発光素子 1 ~ 発光素子 4 ）、およびこれらの比較となる発光素子 5 の素子構造を図 1 5 に示す。また、本実施例 1 で用いる有機化合物の構造式を以下に示す。

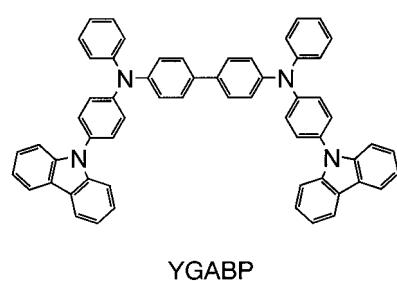
【 0 1 8 4 】

【化1】



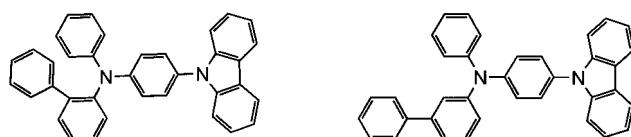
NPB

YGASF



YGABP

10



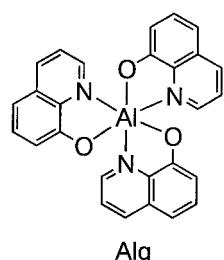
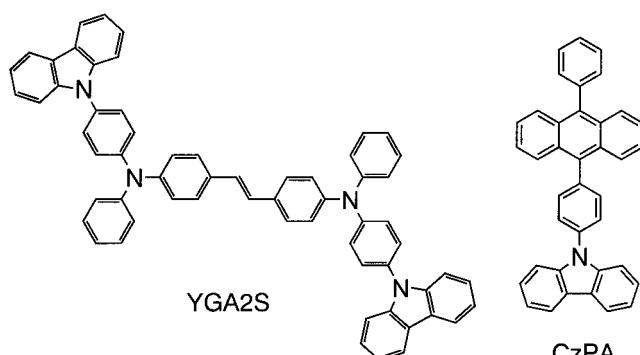
o-YGA1BP

m-YGA1BP

20

【0185】

【化2】



30

40

【0186】

(発光素子1の作製)

発光素子1は、実施の形態1において図1を用いて説明した構造を有する発光素子である。具体的には図15における第2の層1512のHOMO準位が、第1の層1511および第3の層1513のHOMO準位よりも深い（絶対値が大きい）場合の発光素子である。

50

【0187】

まず、ガラス基板である基板1501上に、酸化珪素を含む酸化インジウム・酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第1の電極1502を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0188】

次に、第1の電極1502上に複数の層が積層されたEL層1503を形成する。本実施例において、EL層1503は、正孔注入層である第1の層1511、正孔輸送層である第2の層1512、発光層である第3の層1513、電子輸送層である第4の層1514、電子注入層である第5の層1515が順次積層された構造を有する。

【0189】

第1の電極1502が形成された面が下方となるように、第1の電極1502が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極1502上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、正孔注入層である第1の層1511を形成した。その膜厚は50nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で4:1=(NPB:酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0190】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、第1の層1511上にN-[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N-フェニル-スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-アミン(略称:YGA SF)を10nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層である第2の層1512を形成した。

【0191】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、第2の層1512上に、発光層である第3の層1513を形成した。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)とN,N'-ビス[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N,N'-ジフェニルスチルベン-4,4'-ジアミン(略称:YGA2S)とを共蒸着することにより、第3の層1513を30nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAとYGA2Sとの重量比は、1:0.04(=CzPA:YGA2S)となるように蒸着レートを調節した。

【0192】

さらに、第3の層1513上に抵抗加熱による蒸着法を用いて、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)を20nm、その上にパソフェナントロリン(略称:BPhen)を10nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層である第4の層1514を形成した。

【0193】

第4の層1514上に、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚となるように成膜することにより、電子注入層である第5の層1515を形成した。

【0194】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極1504を形成し、発光素子1を作製した。

【0195】

以上により得られた発光素子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ように封止する作業を行った後、この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。

【0196】

発光素子1の電流密度・輝度特性を図17に示す。また、電圧・輝度特性を図18に示す。また、輝度・電流効率特性を図19に示す。また、1mAの電流を流したときの発光スペクトルを図20に示す。

10

20

30

40

50

【0197】

発光素子1は、輝度 1000 cd/m^2 のときのCIE色度座標が($x = 0.16$ 、 $y = 0.16$)であり、YGA2Sに由来する青色の発光を示した。また、輝度 1000 cd/m^2 のときの電流効率は 5.6 cd/A であり、高い効率を示した。輝度 1000 cd/m^2 のときの駆動電圧は 5.2 V であった。

【0198】

(発光素子2の作製)

発光素子2は、発光素子1と同様に実施の形態1において図1を用いて説明した構造を有する発光素子である。具体的には、図15における第2の層1512のHOMO準位が、第1の層1511のHOMO準位よりも深い(絶対値が大きい)場合の発光素子である。

10

【0199】

発光素子2は、発光素子1の第2の層1512に用いたYGFの代わりに4-(9H-カルバゾール-9-イル)-2'-フェニルトリフェニルアミン(略称:o-YGA1BP)を用いた以外は、発光素子1と同様に作製した。

【0200】

得られた発光素子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、この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。

【0201】

発光素子2の電流密度-輝度特性を図17に示す。また、電圧-輝度特性を図18に示す。また、輝度-電流効率特性を図19に示す。また、 1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図20に示す。

20

【0202】

発光素子2は、輝度 1000 cd/m^2 のときのCIE色度座標が($x = 0.16$ 、 $y = 0.16$)であり、YGA2Sに由来する青色の発光を示した。また、輝度 1000 cd/m^2 のときの電流効率は 6.6 cd/A であり、高い効率を示した。輝度 1000 cd/m^2 のときの駆動電圧は 5.2 V であった。

【0203】

(発光素子3の作製)

30

発光素子3は、発光素子1や発光素子2と同様に実施の形態1において図1を用いて説明した構造を有する発光素子である。具体的には、図15における第2の層1512のHOMO準位が、第1の層1511のHOMO準位よりも深い(絶対値が大きい)場合の発光素子である。

【0204】

発光素子3は、発光素子1の第2の層1512に用いたYGFの代わりに4-(9H-カルバゾール-9-イル)-3'-フェニルトリフェニルアミン(略称:m-YGA1BP)を用いて、発光素子1と同様に作製した。

【0205】

得られた発光素子3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、この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。

40

【0206】

発光素子3の電流密度-輝度特性を図17に示す。また、電圧-輝度特性を図18に示す。また、輝度-電流効率特性を図19に示す。また、 1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図20に示す。

【0207】

発光素子3は、輝度 1000 cd/m^2 のときのCIE色度座標が($x = 0.16$ 、 $y = 0.16$)であり、YGA2Sに由来する青色の発光を示した。また、輝度 1000 cd/m^2 のときの電流効率は 6.2 cd/A であり、高い効率を示した。輝度 1000 cd/m^2 のときの駆動電圧は 5.2 V であった。

50

d / m^2 のときの駆動電圧は 5 . 4 V であった。

【 0 2 0 8 】

(発光素子 4 の作製)

発光素子 4 は、発光素子 1 ~ 発光素子 3 と同様に実施の形態 1 において図 1 を用いて説明した構造を有する発光素子である。具体的には、図 15 における第 2 の層 1512 の HOMO 準位が、第 1 の層 1511 の HOMO 準位よりも深い（絶対値が大きい）場合の発光素子である。

【 0 2 0 9 】

発光素子 4 は、発光素子 1 の第 2 の層 1512 に用いた YGASF の代わりに N , N' - ビス [4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル - N , N' - ジフェニルビフェニル - 4 , 4' - ジアミン（略称： YGABP ）を用いて、発光素子 1 と同様に作製した。
。

【 0 2 1 0 】

得られた発光素子 4 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、この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。

【 0 2 1 1 】

発光素子 4 の電流密度 - 輝度特性を図 17 に示す。また、電圧 - 載度特性を図 18 に示す。また、輝度 - 電流効率特性を図 19 に示す。また、 1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図 20 に示す。
20

【 0 2 1 2 】

発光素子 4 は、輝度 1000 cd / m² のときの CIE 色度座標が (x = 0 . 16 , y = 0 . 16) であり、 YGAS に由来する青色の発光を示した。また、輝度 1000 cd / m² のときの電流効率は 4 . 9 cd / A であり、高い効率を示した。輝度 1000 cd / m² のときの駆動電圧は 5 . 2 V であった。

【 0 2 1 3 】

(発光素子 5 の作製)

次に、比較のための発光素子として発光素子 5 （上述した発光素子 1 ~ 発光素子 4 における第 2 の層 1512 を NPB を用いて形成する構造）を作製した。具体的には、図 15 における第 2 の層 1512 の HOMO 準位と第 1 の層 1511 の HOMO 準位が同じ場合の発光素子である。作製方法を以下に示す。
30

【 0 2 1 4 】

まず、ガラス基板 1501 上に、酸化珪素を含む酸化インジウム - 酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極 1502 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。

【 0 2 1 5 】

次に、第 1 の電極 1502 が形成された面が下方となるように、第 1 の電極 1502 が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第 1 の電極 1502 上に、 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 ）と酸化モリブデン（ VI ）とを共蒸着することにより、正孔注入層である第 1 の層 1511 を形成した。その膜厚は 30 nm とし、 NPB と酸化モリブデン（ VI ）の比率は、重量比で 4 : 1 = (NPB : 酸化モリブデン) となるように蒸着レートを調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。
40

【 0 2 1 6 】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、 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 ）を 10 nm の膜厚となるように成膜し、正孔輸送層である第 2 の層 1512 を形成した。

【 0 2 1 7 】

次に、第 2 の層 1512 上に、発光層である第 3 の層 1513 を形成した。
9 - [4 - 50

(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)とN,N'-ビス[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N,N'-ジフェニルスチルベン-4,4'-ジアミン(略称: YGA2S)とを共蒸着することにより、第4の層1514を30nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAとYGA2Sとの重量比は、1:0.04(=CzPA:YGA2S)となるように蒸着レートを調節した。

【0218】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、第3の層1513上にトリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称: Alq)を20nm、その上にパソフェナントロリン(略称: BPhen)を10nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層である第4の層1514を形成した。
10

【0219】

次に、第4の層1514上に、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚となるように成膜することにより、電子注入層である第5の層1515を形成した。

【0220】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極1504を形成し、発光素子5を作製した。

【0221】

以上により得られた発光素子5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5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。
20

【0222】

発光素子5の電流密度-輝度特性を図17に示す。また、電圧-輝度特性を図18に示す。また、輝度-電流効率特性を図19に示す。

【0223】

発光素子5は、輝度1000cd/m²のときのCIE色度座標は(x=0.16, y=0.16)であり、発光素子1～発光素子4と同様、YGA2Sに由来する青色の発光を示した。また、発光素子5の電流効率は、3.0cd/Aであり、発光素子1～発光素子4の電流効率と比較すると、発光素子1～発光素子4よりも電流効率が低いことがわかった。
30

【0224】

以上より、発光素子1～発光素子4は発光素子5に比べ高効率であることがわかった。よって、本発明を適用することにより、高効率な発光素子が得られることがわかった。

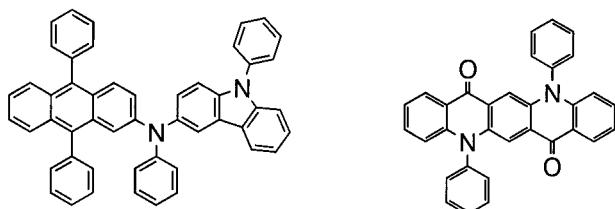
【実施例2】

【0225】

本実施例2では、本発明の発光素子として、実施の形態2で説明した構造を有する発光素子の作製方法および素子特性の測定結果を示す。なお、本実施例で示す発光素子(発光素子6～発光素子8)の素子構造を図16(A)に示し、これらの比較となる発光素子9の素子構造を図16(B)に示す。また、本実施例2で用いる有機化合物の構造式を以下に示す。なお、実施例1で示した有機化合物については、実施例1を参照することとし、ここでの説明は省略する。
40

【0226】

【化3】



2PCAPA

DPQd

【0227】

10

(発光素子6の作製)

発光素子6は、実施の形態2において図4を用いて説明した構造を有する発光素子である。具体的には、図16(A)における第2の層1612のHOMO準位が、第1の層1611のHOMO準位よりも深い(絶対値が大きい)場合の発光素子である。さらに、発光素子6は、図6の概念図で説明したように、第6の層がキャリア(電子)を速度論的に制御する場合の発光素子である。

【0228】

まず、ガラス基板である基板1601上に、酸化珪素を含む酸化インジウム-酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第1の電極1602を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

20

【0229】

次に、第1の電極1602上に複数の層が積層されたEL層1603を形成する。本実施例において、EL層1603は、正孔注入層である第1の層1611、正孔輸送層である第2の層1612、発光層である第3の層1613、電子キャリアの移動を制御するためのキャリア制御層である第6の層1616、電子輸送層である第4の層1614、電子注入層である第5の層1615が順次積層された構造を有する。

【0230】

次に、第1の電極1602が形成された面が下方となるように、第1の電極1602が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極1602上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、正孔注入層である第1の層1611を形成した。その膜厚は50nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で4:1=(NPB:酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

30

【0231】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、第1の層1611上にN-[4-(9H-カルバゾール-9-イル)フェニル]-N-フェニル-スピロ-9,9'-ビフルオレン-2-アミン(略称:YGFASF)を10nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層である第2の層1612を形成した。

40

【0232】

次に、第2の層1612上に、発光層である第3の層1613を形成した。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)とN-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:2PCAPA)とを共蒸着することにより、第3の層1613を30nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAと2PCAPAとの重量比は、1:0.05(=CzPA:2PCAPA)となるように蒸着レートを調節した。

【0233】

さらに、第3の層1613上に、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:Alq)とN-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニ

50

ル - 9 H - カルバゾール - 3 - アミン（略称：2 P C A P A）とを共蒸着することにより、電子キャリアの移動を制御するためのキャリア制御層である第6の層1616を10 nmの膜厚で形成した。ここで、Alqと2 P C A P Aとの重量比は、1 : 0 . 1 (= Alq : 2 P C A P A)となるように蒸着レートを調節した。

【0234】

その後、抵抗加熱による蒸着法を用いて、第6の層1616上にパソフェナントロリン（略称：B Ph en）を30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層である第4の層1614を形成した。

【0235】

第4の層1614上に、フッ化リチウム（LiF）を1 nmの膜厚となるように成膜することにより、電子注入層である第5の層1615を形成した。 10

【0236】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極1604を形成し、発光素子6を作製した。

【0237】

以上により得られた発光素子6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、これらの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。

【0238】

発光素子6の電流密度 - 輝度特性を図21に示す。また、電圧 - 載度特性を図22に示す。また、輝度 - 電流効率特性を図23に示す。また、1 mAの電流を流したときの発光スペクトルを図24に示す。また、発光素子6に関し、初期輝度を5000 cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図25に示す（縦軸は、5000 cd/m²を100%とした時の相対輝度である）。 20

【0239】

発光素子6は、輝度5000 cd/m²のときのCIE色度座標が(x = 0.30, y = 0.61)であり、2 P C A P Aに由来する緑色の発光を示した。また、輝度5000 cd/m²のときの電流効率は19 cd/Aであり、高い効率を示した。輝度5000 cd/m²のときの駆動電圧は4.8 Vであった。

【0240】

さらに、発光素子6に関し、初期輝度を5000 cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、100時間後でも初期輝度の79%の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。 30

【0241】

（発光素子7の作製）

発光素子7は、実施の形態2において図4を用いて説明した構造を有する発光素子である。具体的には、図16(A)における第2の層1612のHOMO準位が、第1の層1611のHOMO準位よりも深い（絶対値が大きい）場合の発光素子である。さらに、発光素子7は、図7の概念図で説明したように、第6の層がキャリア（電子）を熱力学的に制御する場合の発光素子である。 40

【0242】

発光素子7は、発光素子6の第6の層1616に用いたAlqと2 P C A P Aとの共蒸着膜を、AlqとN,N'-ジフェニルキナクリドン（略称：DPQd）との共蒸着膜とした以外は、発光素子6と同様に作製した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1 : 0 . 0 0 5 (= Alq : DPQd)となるように蒸着レートを調節した。

【0243】

得られた発光素子7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、これらの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。

【0244】

10

20

30

40

50

発光素子 7 の電流密度 - 輝度特性を図 2 1 に示す。また、電圧 - 輝度特性を図 2 2 に示す。また、輝度 - 電流効率特性を図 2 3 に示す。また、1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図 2 4 に示す。また、発光素子 7 に関し、初期輝度を 5 0 0 0 c d / m² として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図 2 5 に示す（縦軸は、5 0 0 0 c d / m² を 1 0 0 % とした時の相対輝度である）。

【 0 2 4 5 】

発光素子 7 は、輝度 5 0 0 0 c d / m² のときの CIE 色度座標が (x = 0.30, y = 0.61) であり、2 P C A P A に由来する緑色の発光を示した。また、輝度 5 0 0 0 c d / m² のときの電流効率は 17 c d / A であり、非常に高い効率を示した。輝度 5 0 0 0 c d / m² のときの駆動電圧は 6.1 V であった。

10

【 0 2 4 6 】

さらに、発光素子 7 に関し、初期輝度を 5 0 0 0 c d / m² として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、100 時間後でも初期輝度の 82 % の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。

【 0 2 4 7 】

(発光素子 8 の作製)

発光素子 8 は、実施の形態 2 において図 4 を用いて説明した構造を有する発光素子である。具体的には、図 16 (A) における第 2 の層 1612 の HOMO 準位が、第 1 の層 1611 の HOMO 準位よりも深い（絶対値が大きい）場合の発光素子である。さらに、発光素子 8 は、図 6 の概念図で説明したように、第 6 の層がキャリア（電子）を速度論的に制御する場合の発光素子である。

20

【 0 2 4 8 】

発光素子 8 は、発光素子 5 の第 2 の層 1612 に用いた YGASF の代わりに N, N'-ビス [4 - (9H-カルバゾール - 9 - イル) フェニル - N, N' - ジフェニルビフェニル - 4, 4' - ジアミン（略称：Y G A B P）とした以外は、発光素子 6 と同様に作製した。

【 0 2 4 9 】

得られた発光素子 8 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、これらの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。

30

【 0 2 5 0 】

発光素子 8 の電流密度 - 輝度特性を図 2 1 に示す。また、電圧 - 輝度特性を図 2 2 に示す。また、輝度 - 電流効率特性を図 2 3 に示す。また、1 mA の電流を流したときの発光スペクトルを図 2 4 に示す。また、発光素子 8 に関し、初期輝度を 5 0 0 0 c d / m² として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図 2 5 に示す（縦軸は、5 0 0 0 c d / m² を 1 0 0 % とした時の相対輝度である）。

【 0 2 5 1 】

発光素子 8 は、輝度 5 0 0 0 c d / m² のときの CIE 色度座標が (x = 0.29, y = 0.63) であり、2 P C A P A に由来する緑色の発光を示した。また、輝度 5 0 0 0 c d / m² のときの電流効率は 20 c d / A であり、高い効率を示した。輝度 5 0 0 0 c d / m² のときの駆動電圧は 4.6 V であった。

40

【 0 2 5 2 】

さらに、発光素子 8 に関し、初期輝度を 5 0 0 0 c d / m² として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果、100 時間後でも初期輝度の 87 % の輝度を保っており、長寿命な発光素子であることがわかった。

【 0 2 5 3 】

(発光素子 9 の作製)

次に、比較のための発光素子として図 16 (B) に示す構造を有する発光素子 9（上述した発光素子 6 ~ 発光素子 8 における第 2 の層 1612 を NPB を用いて形成し、第 6 の層 1616 は設けない構造）を作製した。作製方法を以下に示す。

50

【0254】

まず、ガラス基板1601上に、酸化珪素を含む酸化インジウム - 酸化スズをスパッタリング法にて成膜し、第1の電極1602を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm × 2mmとした。

【0255】

次に、第1の電極1602が形成された面が下方となるように、第1の電極1602が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極1602上に、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)と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、正孔注入層である第1の層1611を形成した。その膜厚は50nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)の比率は、重量比で4:1=(NPB:酸化モリブデン)となるように蒸着レートを調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。10

【0256】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、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)を10nmの膜厚となるように成膜し、正孔輸送層である第2の層1612を形成した。

【0257】

次に、第2の層1612上に、発光層である第3の層1613を形成した。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)とN-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:2PCAPA)とを共蒸着することにより、第3の層1613を40nmの膜厚で形成した。ここで、CzPAと2PCAPAとの重量比は、1:0.05(=CzPA:2PCAPA)となるように蒸着レートを調節した。20

【0258】

その後、抵抗加熱による蒸着法を用いて、第3の層1613上にパソフェナントロリン(略称:BPhen)を30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層である第4の層1614を形成した。

【0259】

次に、第4の層1614上に、フッ化リチウム(LiF)を1nmの膜厚となるように成膜することにより、電子注入層である第5の層1615を形成した。30

【0260】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、アルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極1604を形成し、発光素子9を作製した。

【0261】

以上により得られた発光素子9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9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。

【0262】

発光素子9の電流密度 - 輝度特性を図21に示す。また、電圧 - 載度特性を図22に示す。また、輝度 - 電流効率特性を図23に示す。また、発光素子9に関し、初期輝度を5000cd/m²として、定電流駆動による連続点灯試験を行った結果を図25に示す(縦軸は、5000cd/m²を100%とした時の相対輝度である)。40

【0263】

発光素子9は、輝度5000cd/m²のときのCIE色度座標は(x=0.30,y=0.62)、電流効率が16cd/Aであり、発光素子6～発光素子8と同様、2PCAPAに由来する緑色の発光を示した。発光素子9の電流効率を発光素子6～発光素子8の電流効率と比較すると、発光素子6～発光素子8よりも電流効率が低いことがわかった。また、初期輝度を5000cd/m²とした連続点灯試験を行った結果、図25に示す通り、100時間後には初期輝度の76%にまで輝度が低下しており、発光素子6～発光50

素子 8 よりも低い寿命を示した。

【0264】

以上より、発光素子 6 ~ 発光素子 8 は発光素子 9 に比べ高効率を示すことがわかった。よって、本発明を適用することにより、高効率、長寿命な発光素子が得られることがわかった。

【実施例 3】

【0265】

本実施例では、実施例 1 および実施例 2 で作製した発光素子（発光素子 1 ~ 発光素子 4 、発光素子 6 ~ 発光素子 8 ）における正孔輸送層である第 2 の層（図 15 の 1512 、図 16 の 1612 ）に用いた N - [4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル] - N - フェニル - スピロ - 9 , 9' - ビフルオレン - 2 - アミン（略称： YGASF ）、 4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) - 2' - フェニルトリフェニルアミン（略称： o - YGA1BP ）、 4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) - 3' - フェニルトリフェニルアミン（略称： m - YGA1BP ）、 N , N' - ビス [4 - (9 H - カルバゾール - 9 - イル) フェニル - N , N' - ジフェニルビフェニル - 4 , 4' - ジアミン（略称： YGABP ）、および 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 ）の酸化反応特性について、サイクリックボルタントリ（ CV ）測定によって調べた。

【0266】

また、その測定から、 YGASF 、 YGABP 、 o - YGA1BP 、 m - YGA1BP 、 NPB の HOMO 準位を求めた。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。

【0267】

CV 測定における溶液は、溶媒として脱水ジメチルホルムアミド（DMF ）（（株）アルドリッヂ製、 99.8% 、カタログ番号； 22705 - 6 ）を用い、支持電解質である過塩素酸テトラ - n - プチルアンモニウム（ n - Bu₄NClO₄ ）（（株）東京化成製、カタログ番号； T0836 ）を 100 mmol / L の濃度となるように溶解させ、さらに測定対象を 1 mmol / L の濃度となるように溶解させて調製した。また、作用電極としては白金電極（ビー・エー・エス（株）製、 PTE 白金電極）を、補助電極としては白金電極（ビー・エー・エス（株）製、 VC - 3 用 Pt カウンター電極（ 5 cm ））を、参照電極としては Ag / Ag⁺ 電極（ビー・エー・エス（株）製、 RE5 非水溶媒系参照電極）をそれぞれ用いた。なお、測定は室温（ 20 ~ 25 ）で行った。

【0268】

（参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーの算出）

まず、本実施例 3 で用いる参照電極（ Ag / Ag⁺ 電極）の真空準位に対するポテンシャルエネルギー（ eV ）を算出した。つまり、 Ag / Ag⁺ 電極のフェルミ準位を算出した。メタノール中におけるフェロセンの酸化還元電位は、標準水素電極に対して +0.610 [V vs. SHE] であることが知られている（参考文献； Christian R. Goldsmith et al. , J. Am. Chem. Soc. , Vol. 124 , No. 1 , 83 - 96 , 2002 ）。一方、本実施例 3 で用いる参照電極を用いて、メタノール中におけるフェロセンの酸化還元電位を求めたところ、 +0.20 V [vs. Ag / Ag⁺] であった。したがって、本実施例 3 で用いる参照電極のポテンシャルエネルギーは、標準水素電極に対して 0.41 [eV] 低くなっていることがわかった。

【0269】

ここで、標準水素電極の真空準位からのポテンシャルエネルギーは -4.44 eV であることが知られている（参考文献；大西敏博・小山珠美著、高分子 EL 材料（共立出版）、 p. 64 - 67 ）。以上のことから、本実施例 3 で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、 -4.44 - 0.41 = -4.85 [eV] であると算出できた。

10

20

30

40

50

【0270】

(測定例1：Y G A S F)

本測定例1では、Y G A S Fの酸化反応特性について、サイクリックボルタノメトリ(CV)測定によって調べた。スキャン速度は0.1V/secとした。測定結果を図26に示す。なお、酸化反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-0.18Vから+0.80Vまで走査した後、+0.80Vから-0.18Vまで走査することにより行った。

【0271】

図26に示すように、酸化ピーク電位 E_{pa} は+0.63V、還元ピーク電位 E_{pc} は+0.55Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{pc} と E_{pa} の中間の電位)は+0.59Vと算出できる。このことは、Y G A S Fは+0.59[V vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより酸化されることを示しており、このエネルギーはHOMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例3で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85[eV]であるため、Y G A S FのHOMO準位は、-4.85-(+0.59)=-5.44[eV]であることがわかった。

10

【0272】

(測定例2：Y G A B P)

本測定例2では、Y G A B Pの酸化反応特性について、サイクリックボルタノメトリ(CV)測定によって調べた。スキャン速度は0.1V/secとした。測定結果を図27に示す。なお、酸化反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-0.20Vから+1.00Vまで走査した後、+1.00Vから-0.20Vまで走査することにより行った。

20

【0273】

図27に示すように、酸化ピーク電位 E_{pa} は+0.66V、還元ピーク電位 E_{pc} は+0.50Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{pc} と E_{pa} の中間の電位)は+0.58Vと算出できる。このことは、Y G A B Pは+0.58[V vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより酸化されることを示しており、このエネルギーはHOMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例3で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85[eV]であるため、Y G A B PのHOMO準位は、-4.85-(+0.58)=-5.43[eV]であることがわかった。

30

【0274】

(測定例3：o-Y G A 1 B P)

本測定例3では、o-Y G A 1 B Pの酸化反応特性について、サイクリックボルタノメトリ(CV)測定によって調べた。スキャン速度は0.1V/secとした。測定結果を図28に示す。なお、酸化反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-1.00Vから+1.00Vまで走査した後、+1.00Vから-1.00Vまで走査することにより行った。

40

【0275】

図28に示すように、酸化ピーク電位 E_{pa} は+0.67V、還元ピーク電位 E_{pc} は+0.51Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{pc} と E_{pa} の中間の電位)は+0.58Vと算出できる。このことは、o-Y G A 1 B Pは+0.58[V vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより酸化されることを示しており、このエネルギーはHOMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例3で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85[eV]であるため、o-Y G A 1 B PのHOMO準位は、-4.85-(+0.58)=-5.43[eV]であることがわかった。

【0276】

(測定例4：m-Y G A 1 B P)

50

本測定例4では、DNTPDの酸化反応特性について、サイクリックボルタントリ(CV)測定によって調べた。スキャン速度は0.1V/secとした。測定結果を図29に示す。なお、酸化反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-0.50Vから+1.00Vまで走査した後、+1.00Vから-0.50Vまで走査することにより行った。

【0277】

図29に示すように、酸化ピーク電位 E_{p_a} は+0.86V、還元ピーク電位 E_{p_c} は+0.44Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{p_c} と E_{p_a} の中間の電位)は+0.65Vと算出できる。このことは、m-YGA1BPは+0.65[V vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより酸化されることを示しており、このエネルギーはHOMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例3で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85[eV]であるため、m-YGA1BPのHOMO準位は、-4.85-(+0.65)=-5.50[eV]であることがわかった。
10

【0278】

(測定例5：NPB)

本測定例5では、NPBの酸化反応特性について、サイクリックボルタントリ(CV)測定によって調べた。スキャン速度は0.1V/secとした。測定結果を図30に示す。なお、酸化反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-0.20Vから+0.80Vまで走査した後、+0.80Vから-0.20Vまで走査することにより行った。
20

【0279】

図30に示すように、酸化ピーク電位 E_{p_a} は+0.45V、還元ピーク電位 E_{p_c} は+0.39Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{p_c} と E_{p_a} の中間の電位)は+0.42Vと算出できる。このことは、NPBは+0.42[V vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより酸化されることを示しており、このエネルギーはHOMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例3で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85[eV]であるため、NPBのHOMO準位は、-4.85-(+0.42)=-5.27[eV]であることがわかった。
30

【0280】

なお、上述のようにして求めたYGA SF、YGA BP、o-YGA1BP、m-YGA1BP、NPBのHOMO準位を比較すると、YGA SFのHOMO準位はNPBよりも0.17[eV]低く、YGA BPのHOMO準位はNPBよりも0.16[eV]低く、o-YGA1BPのHOMO準位はNPBよりも0.16[eV]低く、m-YGA1BPのHOMO準位はNPBよりも0.23[eV]低いことがわかる。
40

【0281】

すなわち、正孔輸送層である第2の層(図15の1512、図16の1612)にYGA SF、YGA BP、o-YGA1BP、またはm-YGA1BPを用いて形成することにより、正孔注入層である第1の層(図15の1511、図16の1611)から正孔輸送層である第2の層(図15の1512、図16の1612)へ注入される正孔(ホール)の注入量を抑制することができる。これにより、発光層である第3の層(図15の1513、図16の1613)への正孔(ホール)の注入量を抑制することができるため、素子効率の向上を図ることができる。

【0282】

したがって、発光素子の正孔輸送層である第2の層において、YGA SF、YGA BP、o-YGA1BP、またはm-YGA1BPを用いた実施例1～実施例2の素子構造は、本発明に適した構造であるといえる。

【実施例4】

【0283】

本実施例では、実施例2で作製した発光素子(発光素子6～発光素子8)において、電
50

子キャリアの移動を制御するためのキャリア制御層である第6の層(図16(A)の1616)に用いたトリス(8-キノリノラト)アルミニウム(III)(略称:A1q)と、N,N'-ジフェニルキナクリドン(略称:D PQd)、N-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)-N,9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン(略称:2PCA PA)の還元反応特性について、サイクリックボルタントリ(CV)測定によって調べた。また、その測定から、A1q、D PQd、2PCA PAのLUMO準位を求めた。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。

【0284】

CV測定における溶液は、溶媒として脱水ジメチルホルムアミド(DMF)((株)アルドリッヂ製、99.8%、カタログ番号;22705-6)を用い、支持電解質である過塩素酸テトラ-n-ブチルアンモニウム(n-Bu₄NClO₄)((株)東京化成製、カタログ番号;T0836)を100mmol/Lの濃度となるように溶解させ、さらに測定対象を1mmol/Lの濃度となるように溶解させて調製した。また、作用電極としては白金電極(ビー・エー・エス(株)製、PTE白金電極)を、補助電極としては白金電極(ビー・エー・エス(株)製、VC-3用Ptカウンター電極(5cm))を、参照電極としてはAg/Ag⁺電極(ビー・エー・エス(株)製、RE5非水溶媒系参照電極)をそれぞれ用いた。なお、測定は室温(20~25)で行った。

【0285】

(参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーの算出)

まず、本実施例4で用いる参照電極(Ag/Ag⁺電極)の真空準位に対するポテンシャルエネルギー(eV)を算出した。つまり、Ag/Ag⁺電極のフェルミ準位を算出した。メタノール中におけるフェロセンの酸化還元電位は、標準水素電極に対して+0.610[V vs. SHE]であることが知られている(参考文献;Christian R. Goldsmith et al., J. Am. Chem. Soc., Vol. 124, No. 1, 83-96, 2002)。一方、本実施例4で用いる参照電極を用いて、メタノール中におけるフェロセンの酸化還元電位を求めたところ、+0.20V[v s. Ag/Ag⁺]であった。したがって、本実施例4で用いる参照電極のポテンシャルエネルギーは、標準水素電極に対して0.41[eV]低くなっていることがわかった。

【0286】

ここで、標準水素電極の真空準位からのポテンシャルエネルギーは-4.44eVであることが知られている(参考文献;大西敏博・小山珠美著、高分子EL材料(共立出版)、p.64-67)。以上のことから、本実施例4で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.44-0.41=-4.85[eV]であると算出できた。

【0287】

(測定例6:A1q)

本測定例6では、A1qの還元反応特性について、サイクリックボルタントリ(CV)測定によって調べた。スキヤン速度は0.1V/secとした。測定結果を図31に示す。なお、還元反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-0.69Vから-2.40Vまで走査した後、-2.40Vから-0.69Vまで走査することにより行った。

【0288】

図31に示すように、酸化ピーク電位E_{p,a}は-2.12V、還元ピーク電位E_{p,c}は-2.20Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{p,c}とE_{p,a}の中間の電位)は-2.16Vと算出できる。このことは、A1qは-2.16[V vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより還元されることを示しており、このエネルギーはLUMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例4で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85[eV]であるため、A1qのLUMO準

10

20

30

40

50

位は、 $-4.85 - (-2.16) = -2.69$ [eV] であることがわかった。

【0289】

(測定例7:D P Q d)

本測定例7では、D P Q dの還元反応特性について、サイクリックボルタントリ(CV)測定によって調べた。スキャン速度は0.1V/secとした。測定結果を図32に示す。なお、還元反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-0.40Vから-2.10Vまで走査した後、-2.10Vから-0.40Vまで走査することにより行った。また、D P Q dは溶解性が悪く、1mmol/Lの濃度となるように溶液を調製しようとしても溶け残りが生じたため、溶け残りが沈殿した状態で上澄み液を採取し、測定に使用した。

10

【0290】

図32に示すように、酸化ピーク電位 E_{p_a} は-1.63V、還元ピーク電位 E_{p_c} は-1.69Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{p_c} と E_{p_a} の中間の電位)は-1.66Vと算出できる。このことは、D P Q dは-1.66[V vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより還元されることを示しており、このエネルギーはLUMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例4で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85[eV]であるため、D P Q dのLUMO準位は、 $-4.85 - (-1.66) = -3.19$ [eV]であることがわかった。

【0291】

(測定例8:2 P C A P A)

20

本測定例8では、2 P C A P Aの還元反応特性について、サイクリックボルタントリ(CV)測定によって調べた。スキャン速度は0.1V/secとした。測定結果を図33に示す。なお、還元反応特性の測定は、参照電極に対する作用電極の電位を-0.41Vから-2.50Vまで走査した後、-2.50Vから-0.41Vまで走査することにより行った。

【0292】

図33に示すように、酸化ピーク電位 E_{p_a} は-2.14V、還元ピーク電位 E_{p_c} は-2.21Vと読み取ることができる。したがって、半波電位(E_{p_c} と E_{p_a} の中間の電位)は-2.18Vと算出できる。このことは、2 P C A P Aは-2.18[V vs. Ag/Ag⁺]の電気エネルギーにより還元されることを示しており、このエネルギーはLUMO準位に相当する。ここで、上述した通り、本実施例4で用いる参照電極の真空準位に対するポテンシャルエネルギーは、-4.85[eV]であるため、2 P C A P AのLUMO準位は、 $-4.85 - (-2.18) = -2.67$ [eV]であることがわかった。

30

【0293】

なお、上述のようにして求めたAlqとD P Q dのLUMO準位を比較すると、D P Q dのLUMO準位はAlqよりも0.50[eV]も低いことがわかる。このことは、D P Q dをAlq中に添加することにより、D P Q dが電子トラップとして作用することを意味する。これは、実施の形態2において説明した、第6の層が熱力学的にキャリア(電子)の移動を制御する場合であり、電子輸送性の材料である金属錯体(Alq)と電子トラップ性のキナクリドン誘導体(D P Q d)により第6の層が形成される場合を示すものである。

40

【0294】

また、上述のようにして求めたAlqと2 P C A P AのLUMO準位を比較すると、2 P C A P AのLUMO準位はAlqと0.02[eV]しか違わないことが分かる。このことは、2 P C A P AをAlq中に添加することで、2 P C A P Aにも電子が移動しやすくなり、層全体としての電子の移動速度が小さくなることを意味する。これは、実施の形態2において説明した、第6の層が速度論的にキャリア(電子)の移動を制御する場合であり、電子輸送性の材料である金属錯体(Alq)と正孔輸送性の芳香族アミン化合物(2 P C A P A)により第6の層が形成される場合を示すものである。

50

【0295】

よって Alq と DPQd や、 Alq と 2PCA PA を組み合わせてなるキャリア制御層を含む素子構造は、本発明に好適な構造であることが分かる。

【図面の簡単な説明】

【0296】

【図 1】実施の形態 1 における発光素子のバンド構造を示す図。

【図 2】実施の形態 1 における発光素子の積層構造を示す図。

【図 3】実施の形態 1 における発光素子の発光の様子を示す図。

【図 4】実施の形態 2 における発光素子のバンド構造を示す図。

【図 5】実施の形態 2 における発光素子の積層構造を示す図。

10

【図 6】実施の形態 2 における発光素子の発光の様子を示す図。

【図 7】実施の形態 2 における発光素子のバンド構造を示す図。

【図 8】実施の形態 3 における発光素子の積層構造を示す図。

【図 9】実施の形態 4 におけるアクティブマトリクス型の発光装置を示す図。

【図 10】実施の形態 4 におけるパッシブマトリクス型の発光装置を示す図。

【図 11】実施の形態 5 における電子機器を示す図。

【図 12】発光装置をバックライトとして用いた液晶表示装置を示す図。

【図 13】発光装置を用いた電気スタンドを示す図。

【図 14】発光装置を用いた室内照明装置を示す図。

20

【図 15】実施例 1 における発光素子の素子構造を示す図。

【図 16】実施例 2 における発光素子の素子構造を示す図。

【図 17】発光素子 1 ~ 5 の電流密度 - 輝度特性を示す図。

【図 18】発光素子 1 ~ 5 の電圧 - 輝度特性を示す図。

【図 19】発光素子 1 ~ 5 の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図 20】発光素子 1 ~ 4 の発光スペクトルを示す図。

【図 21】発光素子 6 ~ 9 の電流密度 - 輝度特性を示す図。

【図 22】発光素子 6 ~ 9 の電圧 - 輝度特性を示す図。

【図 23】発光素子 6 ~ 9 の輝度 - 電流効率特性を示す図。

【図 24】発光素子 6 ~ 8 の発光スペクトルを示す図。

【図 25】発光素子 6 ~ 9 の定電流駆動による連続点灯試験結果を示す図。

30

【図 26】Y GAS F の C V 特性を示すグラフ。

【図 27】Y GABP の C V 特性を示すグラフ。

【図 28】o - YGA1BP の C V 特性を示すグラフ。

【図 29】m - YGA1BP の C V 特性を示すグラフ。

【図 30】NPB の C V 特性を示すグラフ。

【図 31】Alq の C V 特性を示すグラフ。

【図 32】DPQd の C V 特性を示すグラフ。

【図 33】2PCA PA の C V 特性を示すグラフ。

【符号の説明】

【0297】

40

101 基板

102 第 1 の電極

103 E L 層

104 第 2 の電極

111 第 1 の層（正孔注入層）

112 第 2 の層（正孔輸送層）

113 第 3 の層（発光層）

114 第 4 の層（電子輸送層）

115 第 5 の層（電子注入層）

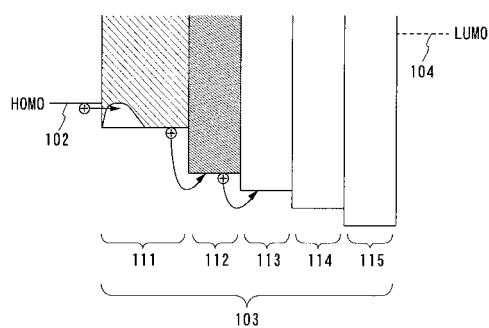
116 第 6 の層（キャリア制御層）

50

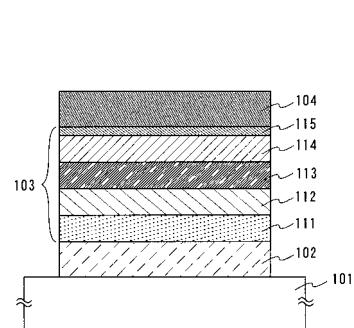
2 0 1	第 1 の有機化合物	
2 0 2	第 2 の有機化合物	
2 0 3	第 1 の有機化合物	
2 0 4	第 2 の有機化合物	
8 0 1	第 1 の電極	
8 0 2	第 2 の電極	
8 0 3	第 1 の E L 層	
8 0 4	第 2 の E L 層	
8 0 5	電荷発生層	
9 0 1	ソース側駆動回路	10
9 0 2	画素部	
9 0 3	ゲート側駆動回路	
9 0 4	封止基板	
9 0 5	シール材	
9 0 7	空間	
9 0 8	配線	
9 0 9	F P C (フレキシブルプリントサーキット)	
9 1 0	素子基板	
9 1 1	スイッチング用 T F T	
9 1 2	電流制御用 T F T	20
9 1 3	第 1 の電極	
9 1 4	絶縁物	
9 1 6	E L 層	
9 1 7	第 2 の電極	
9 1 8	発光素子	
9 2 3	N チャネル型 T F T	
9 2 4	P チャネル型 T F T	
1 0 0 1	基板	
1 0 0 2	第 1 の電極	
1 0 0 3	第 2 の電極	30
1 0 0 4	E L 層	
1 0 0 5	絶縁層	
1 0 0 6	隔壁層	
1 2 0 1	筐体	
1 2 0 2	液晶層	
1 2 0 3	バックライト	
1 2 0 4	筐体	
1 2 0 5	ドライバ I C	
1 2 0 6	端子	
1 3 0 1	筐体	40
1 3 0 2	光源	
1 4 0 1	照明装置	
1 4 0 2	テレビ装置	
1 5 0 1	基板	
1 5 0 2	第 1 の電極	
1 5 0 3	E L 層	
1 5 0 4	第 2 の電極	
1 5 1 1	第 1 の層 (正孔注入層)	
1 5 1 2	第 2 の層 (正孔輸送層)	
1 5 1 3	第 3 の層 (発光層)	50

1 5 1 4	第 4 の層（電子輸送層）	
1 5 1 5	第 5 の層（電子注入層）	
1 6 0 1	基板	
1 6 0 2	第 1 の電極	
1 6 0 3	E L 層	
1 6 0 4	第 2 の電極	
1 6 1 1	第 1 の層（正孔注入層）	10
1 6 1 2	第 2 の層（正孔輸送層）	
1 6 1 3	第 3 の層（発光層）	
1 6 1 4	第 4 の層（電子輸送層）	
1 6 1 5	第 5 の層（電子注入層）	
1 6 1 6	第 6 の層（キャリア制御層）	
9 1 0 1	筐体	
9 1 0 2	支持台	
9 1 0 3	表示部	
9 1 0 4	スピーカー部	
9 1 0 5	ビデオ入力端子	
9 2 0 1	本体	
9 2 0 2	筐体	
9 2 0 3	表示部	20
9 2 0 4	キー ボード	
9 2 0 5	外部接続ポート	
9 2 0 6	ポインティングデバイス	
9 4 0 1	本体	
9 4 0 2	筐体	
9 4 0 3	表示部	
9 4 0 4	音声入力部	
9 4 0 5	音声出力部	
9 4 0 6	操作キー	
9 4 0 7	外部接続ポート	30
9 4 0 8	アンテナ	
9 5 0 1	本体	
9 5 0 2	表示部	
9 5 0 3	筐体	
9 5 0 4	外部接続ポート	
9 5 0 5	リモコン受信部	
9 5 0 6	受像部	
9 5 0 7	バッテリー	
9 5 0 8	音声入力部	
9 5 0 9	操作キー	40
9 5 1 0	接眼部	

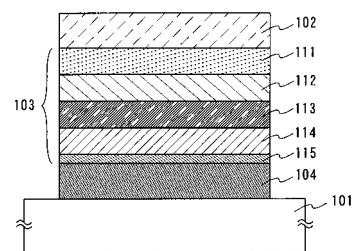
【図1】



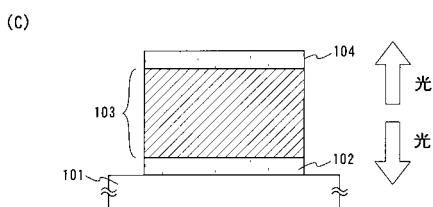
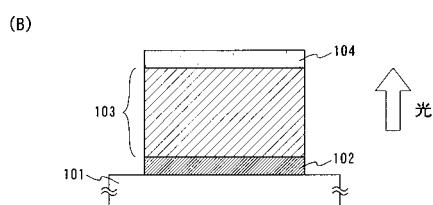
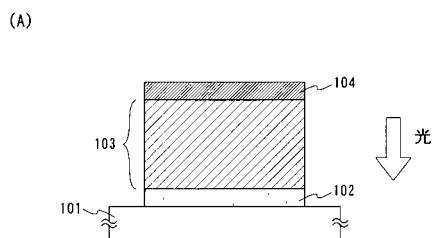
【図2】



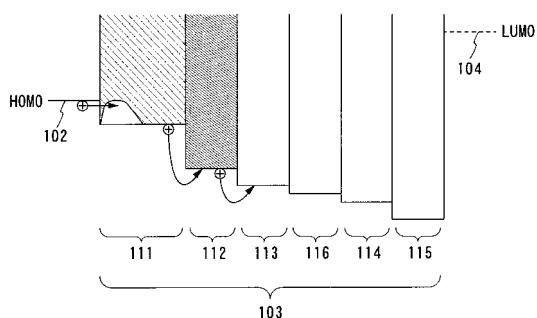
(B)



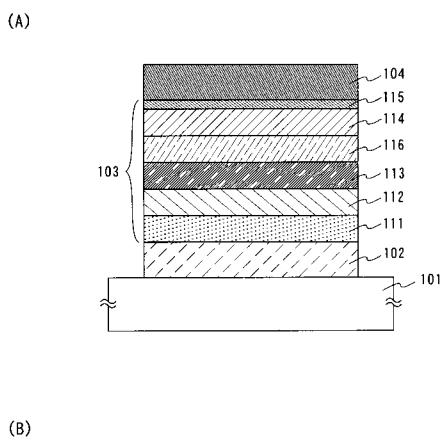
【図3】



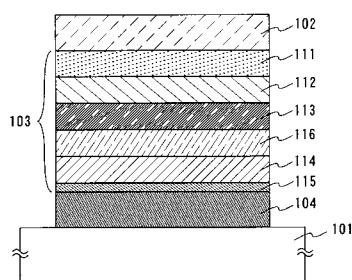
【図4】



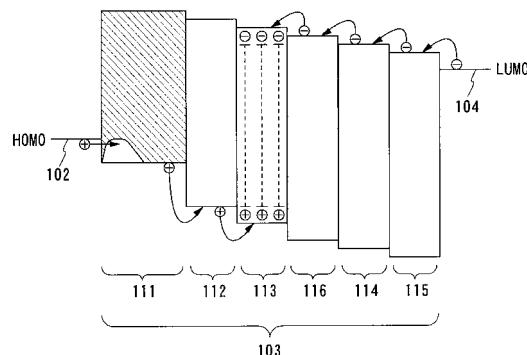
【 四 5 】



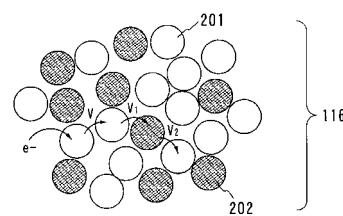
(B)



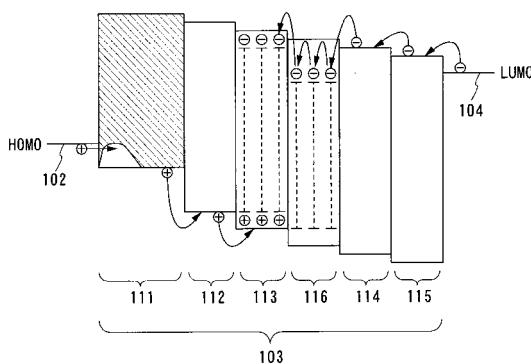
【図6】



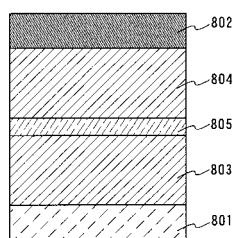
(B)



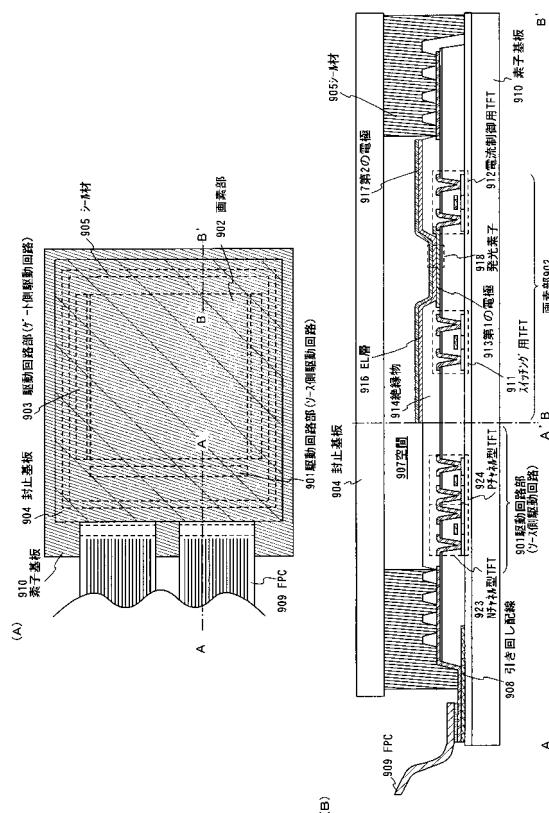
【図7】



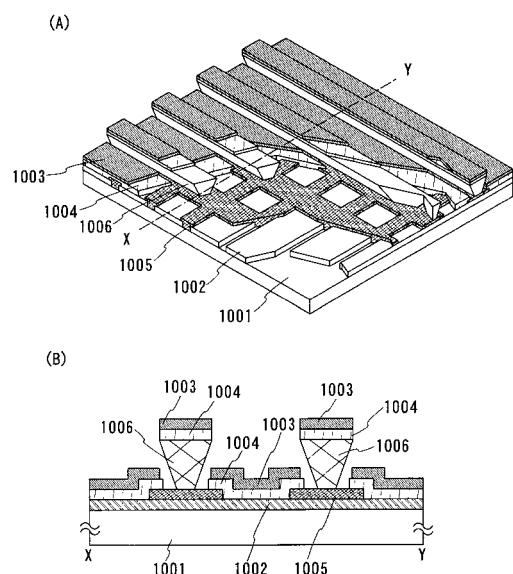
【 四 8 】



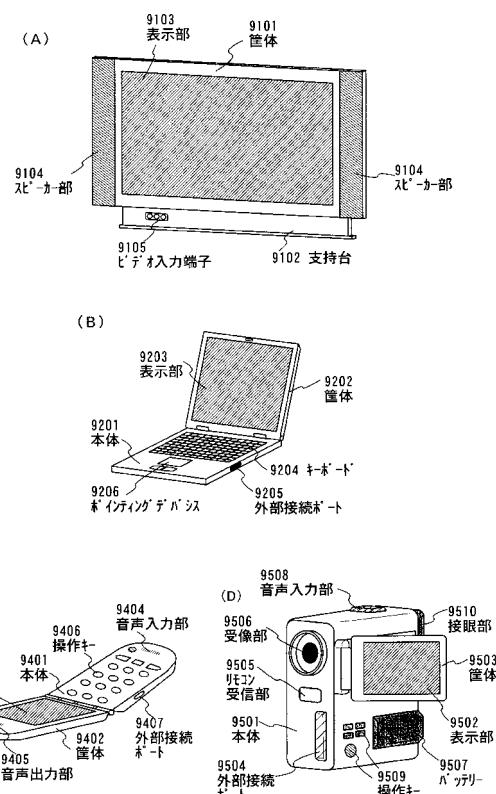
【図9】



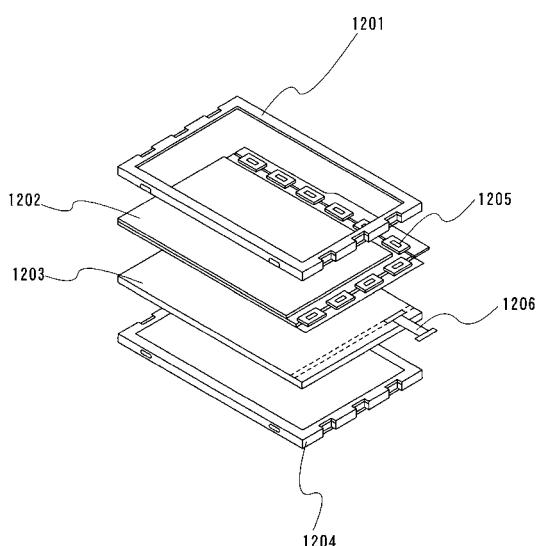
【図 1 0】



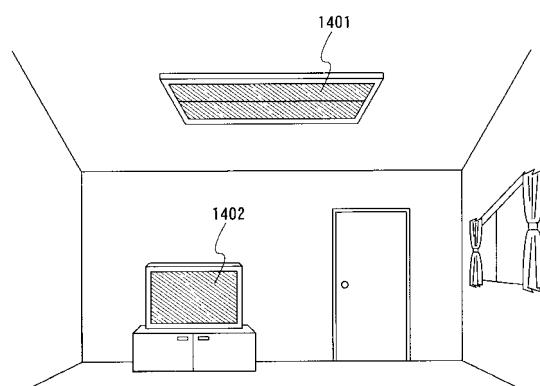
【図 1 1】



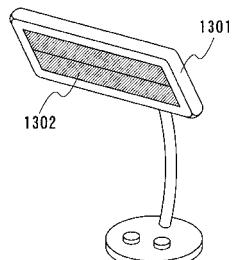
【図 1 2】



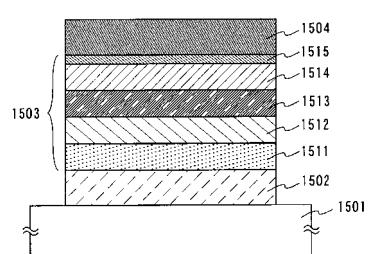
【図 1 4】



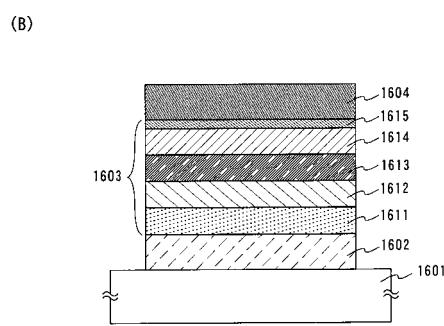
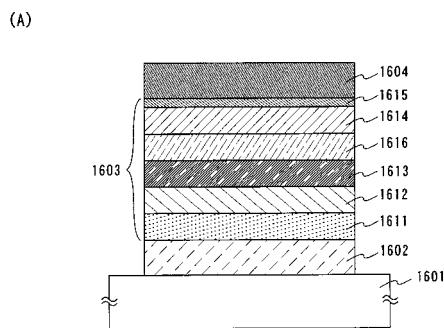
【図 1 3】



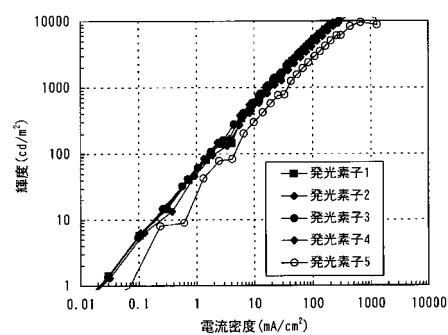
【図 1 5】



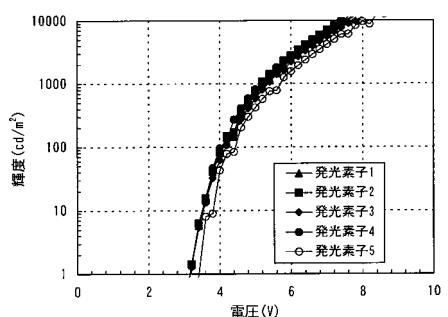
【図16】



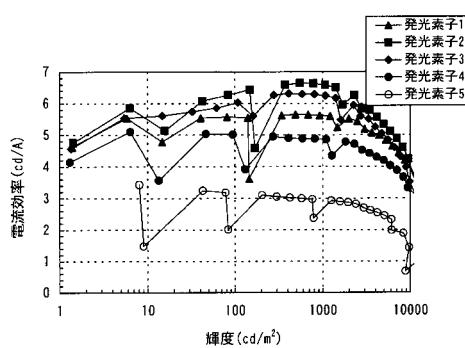
【図17】



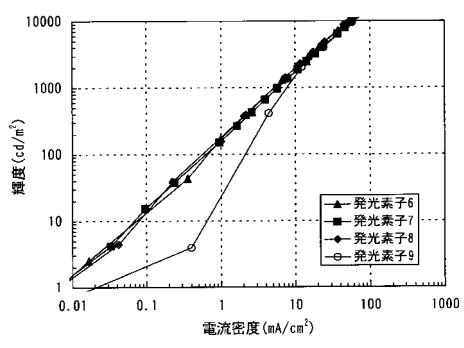
【図18】



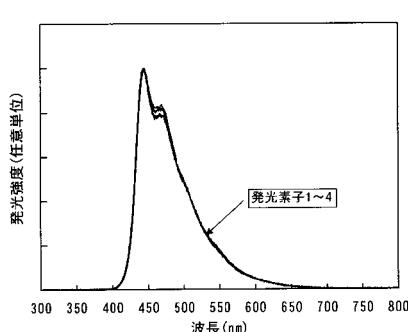
【図19】



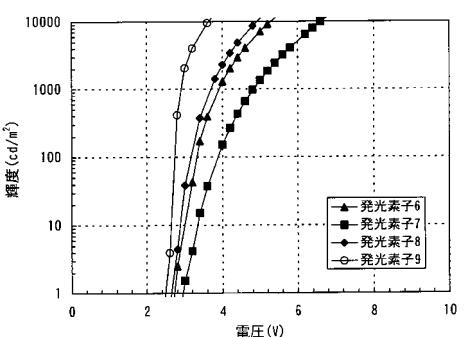
【図21】



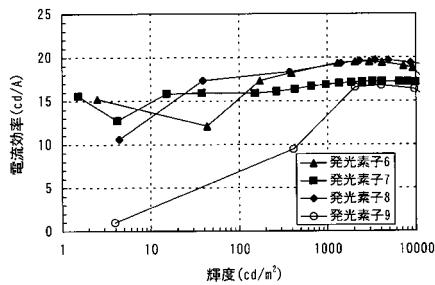
【図20】



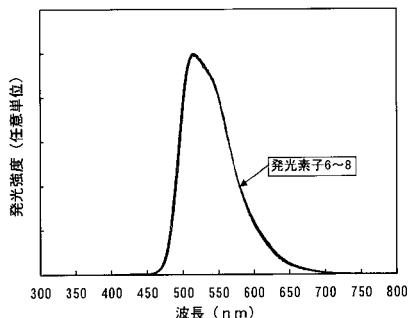
【図22】



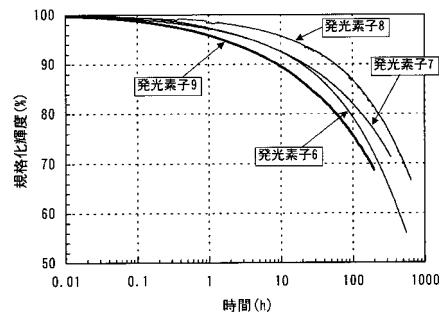
【図23】



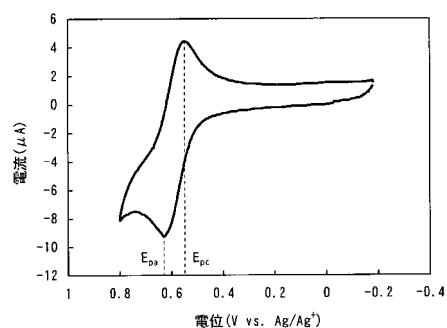
【図24】



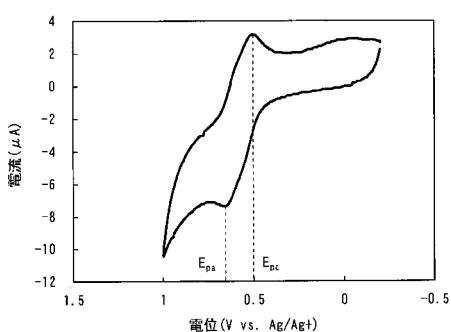
【図25】



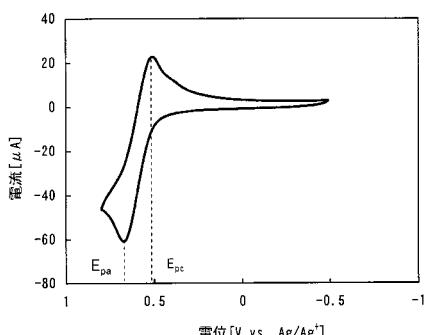
【図26】



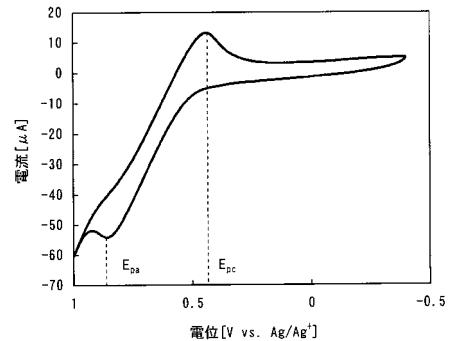
【図27】



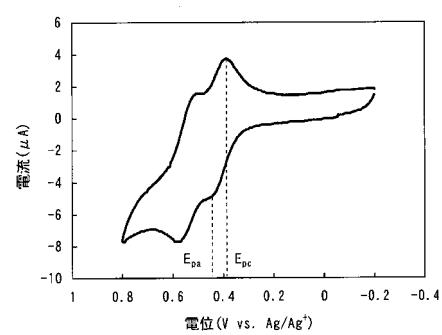
【図28】



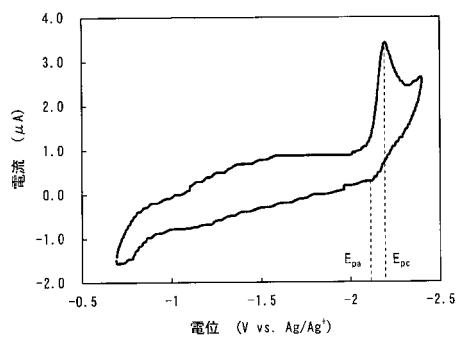
【図29】



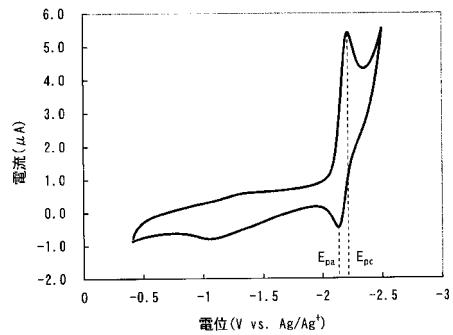
【図30】



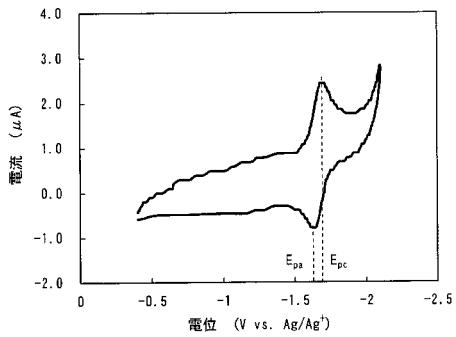
【図3-1】



【図3-3】



【図3-2】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-079413(JP,A)
特開2006-066890(JP,A)
特開2007-042619(JP,A)
国際公開第2007/069741(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 51/50