

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年6月3日(03.06.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/065137 A1

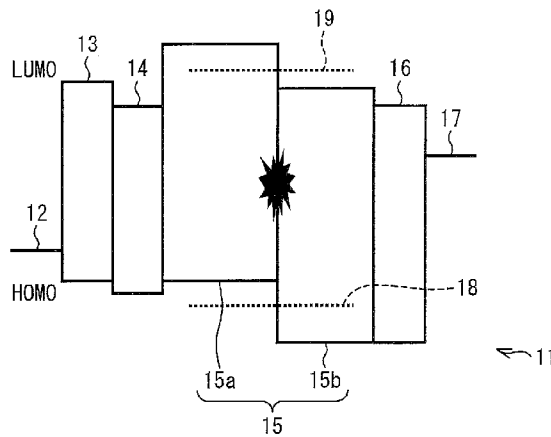
- (51) 国際特許分類:
H01L 51/50 (2006.01) H05B 33/12 (2006.01)
H05B 33/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/067883
- (22) 国際出願日: 2010年10月12日(12.10.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-270822 2009年11月27日(27.11.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について):
シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA)
[JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町
2番22号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 岡本 健
(OKAMOTO, Ken).
- (74) 代理人: 特許業務法人原謙三国際特許事務所
(HARAKENZO WORLD PATENT & TRADE-
MARK); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋2
丁目北2番6号 大和南森町ビル Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH,
PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: ORGANIC ELECTROLUMINESCENCE ELEMENT, MANUFACTURING METHOD THEREOF, AND ORGANIC ELECTROLUMINESCENCE DISPLAY DEVICE

(54) 発明の名称: 有機エレクトロルミネッセンス素子、およびその製造方法、ならびに有機エレクトロルミネッセンス表示装置

[図1]



(57) Abstract: Provided is an organic EL element (11) having a light emitting layer (15) of a two-layer structure. A first light emitting layer (15a) is made of a host material having a LUMO level which is less than a LUMO level (19) of a phosphorescence light emitting material and an LUMO level of a host material of which a second light emitting layer (15b) is made ($|\text{LUMO}(\text{host material of the first light emitting layer})| < |\text{LUMO}(\text{host material of the second light emitting layer})|$ and $|\text{LUMO}(\text{host material of the first light emitting layer})| < |\text{LUMO}(\text{phosphorescence light emitting material})|$). A second light emitting layer (15b) is made of a host material having an HOMO level which is more than an HOMO level (18) of the phosphorescence light emitting material and an HOMO level of the host material of which the first light emitting layer (15a) is made ($|\text{HOMO}(\text{host material of the second light emitting layer})| > |\text{HOMO}(\text{host material of the first light emitting layer})|$ and $|\text{HOMO}(\text{host material of the second light emitting layer})| > |\text{HOMO}(\text{phosphorescence light emitting material})|$). With this structure, it is possible to block the movement of holes to the second light emitting layer (15b) and block the movement of the holes to the first light emitting layer (15a). As a result, a probability of recombining of the holes and the electrons with each other is increased, and a drive voltage of the organic EL element (11) is lowered, thereby making it possible to improve the light emitting efficiency.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/065137 A1



(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, 添付公開書類:

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

有機EL素子(11)は、二層構造の発光層(15)を有しており、第一発光層(15a)は、燐光発光材料のLUMO準位(19)および第二発光層(15b)を構成するホスト材料のLUMO準位よりも浅いLUMO準位を有するホスト材料(|LUMO(第一発光層のホスト材料)|<|LUMO(第二発光層のホスト材料)|かつ|LUMO(第一発光層のホスト材料)|<|LUMO(燐光発光材料)|)によって構成されている。また、第二発光層(15b)は、燐光発光材料のHOMO準位(18)および第一発光層(15a)を構成するホスト材料よりも深いHOMO準位を有するホスト材料(|HOMO(第二発光層のホスト材料)|>|HOMO(第一発光層のホスト材料)|かつ|HOMO(第二発光層のホスト材料)|>|HOMO(燐光発光材料)|)によって構成されている。これによれば、正孔が第二発光層(15b)にまで移動するのをブロックすることができ、第一発光層(15a)にまで移動するのをブロックすることができる。その結果、正孔および電子が再結合する確率が上がり、有機EL素子(11)の駆動電圧を低下させ、発光効率を向上させることができる。

明 細 書

発明の名称：

有機エレクトロルミネッセンス素子、およびその製造方法、ならびに有機エレクトロルミネッセンス表示装置

技術分野

[0001] 本発明は、高輝度、高効率および長寿命を実現する有機エレクトロルミネッセンス素子、およびその製造方法、ならびに有機エレクトロルミネッセンス表示装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、従来主流であったブラウン管を使用した表示装置から、薄型のフラットパネルディスプレイ（FPD）の表示装置のニーズが高まりつつある。FPDには各種のものがあり、例えば、非自発光型の液晶ディスプレイ（LCD）、自発光型のプラズマディスプレイパネル（PDP）、無機エレクトロルミネッセンス（無機EL）ディスプレイ、または有機エレクトロルミネッセンス（有機EL）ディスプレイ等が知られている。

[0003] 中でも、有機ELディスプレイは、表示に使用する素子（有機EL素子）が薄型かつ軽量であり、なおかつ低電圧駆動、高輝度および自発光等の特性を有していることから、その研究開発が盛んに行われている。

[0004] 有機EL素子は、基板上に一对の電極（陽極および陰極）を有しており、当該一对の電極の間に発光層を少なくとも備えた有機層を有している。当該発光層は、ホスト材料に有機発光材料をドーピングして形成されている。一般的には、発光層と陽極との間に、ホスト材料にアクセプターをドーピングした正孔注入層等を設け、発光層と陰極との間に、ホスト材料にドナーをドーピングした電子注入層等を設けている。

[0005] 有機EL素子では、陽極および陰極に電圧を印加することによって、当該陽極から有機層に正孔が注入され、当該陰極から有機層に電子が注入される。両電極から注入された正孔および電子は、発光層において再結合すること

によって励起子を生成する。有機ＥＬ素子は、当該励起子が失活する際に放出する光を利用して発光している。

[0006] 発光層には、燐光発光材料、または蛍光発光材料等の有機発光材料を用いるのが一般的である。燐光発光材料を利用した有機ＥＬ素子は、発光効率が高く、発光寿命が長いという利点があるため、特に最近では発光層に燐光発光材料を用いた有機ＥＬ素子が普及しつつある。また、有機ＥＬ素子の低消費電力化を目指して、内部量子収率が最大１００％の燐光発光材料を導入した有機ＥＬ素子の開発が進んでいる。

[0007] 赤色発光する有機ＥＬ素子と、緑色発光する有機ＥＬ素子とには、内部量子収率が最大１００％の燐光発光材料が導入されている。しかしながら、青色発光する有機ＥＬ素子については、内部量子収率が最大１００％の燐光発光材料を導入するには至っておらず、内部量子収率が最大２５％の蛍光発光材料が用いられている。

[0008] 有機ＥＬ素子において、青色発光するには、赤色発光および緑色発光と比較して高エネルギーを必要とする。さらに、当該エネルギーを励起三重項準位（ T_1 ）から得ようとする、 T_1 、電子、および正孔のすべてを発光層中の燐光発光材料に閉じ込める必要がある。そのため、発光層を構成する材料だけでなく、発光層の周辺材料も含めて、最高被占準位（ $HOMO$ 準位）と最低空準位（ $LUMO$ 準位）とのギャップを非常に大きくする必要がある。しかしながら、発光層の $HOMO$ 準位と $LUMO$ 準位とのギャップを大きくするため、発光層を構成するホスト材料として、分子間で共役し、相互作用を示し、キャリアの移動度が高い材料を用いるのが困難である。それ故、青色燐光発光材料を用いた場合、駆動には高電圧を必要とするが、その割に発光効率は低いという問題がある。

[0009] 青色燐光発光材料を用いた従来の有機ＥＬ素子３１の具体的な例を図８に示す。図８は、青色燐光発光材料を用いた従来の有機ＥＬ素子３１を構成する各層のエネルギーダイアグラムを示す図である。本図では、ホスト材料として、正孔注入層３３では NPB （ $HOMO$ 準位＝５．５ eV， $LUMO$ 準

位 = 2.4 eV) を用い、正孔輸送層 34 では mCP (HOMO 準位 = 5.9 eV, LUMO 準位 = 2.4 eV) を用い、電子輸送層 36 では 3TPYMB (HOMO 準位 = 6.8 eV, LUMO 準位 = 3.3 eV) を用いている。発光層 35 においては、燐光発光材料として Fir6 (HOMO 準位 = 6.1 eV, LUMO 準位 = 3.1 eV) を用いている。当該 Fir6 に正孔および電子を閉じ込めるために、発光層 35 ではホスト材料として、HOMO 準位と LUMO 準位とのギャップが大きい UGH2 (HOMO 準位 = 7.2 eV, LUMO 準位 = 2.8 eV) を用いている。しかしながら、UGH2 がワイドギャップであるため、正孔輸送層 34 から発光層 35 に効率良く正孔を伝搬することができない。同様に、電子輸送層 36 から発光層 35 に効率良く電子を伝搬することができない。そのため、このように青色燐光発光材料を用いた有機 EL 素子 31 では、上述したように、駆動には高電圧を必要とするが、その割に発光効率は低いという問題がある。

[0010] そこで、青色燐光発光材料を用いた有機 EL 素子の発光効率を向上させるために工夫がなされている。例えば、非特許文献 1 には、発光層を二層設けた有機 EL 素子が開示されている。具体的には、一対の電極の間に正孔注入層、第一発光層、第二発光層、および電子注入層を順に形成した有機層を備えた有機 EL 素子が開示されている。本文献では、ホスト材料として正孔注入層では DTASi (HOMO 準位 = 5.6 eV, LUMO 準位 = 2.2 eV) を用い、電子注入層では Bphen (HOMO 準位 = 6.4 eV, LUMO 準位 = 3.0 eV) を用いている。また、第一発光層では 4CzPBP (HOMO 準位 = 6.0 eV, LUMO 準位 = 2.5 eV) をホスト材料として用い、第二発光層では PPT (HOMO 準位 = 6.6 eV, LUMO 準位 = 2.9 eV) をホスト材料として用いている。第一発光層および第二発光層には、青色燐光発光材料として Firpic (HOMO 準位 = 5.8 eV, LUMO 準位 = 2.9 eV) がドーピングされている。

[0011] この構成によれば、第一発光層および第二発光層における HOMO 準位と LUMO 準位とのギャップが小さい有機 EL 素子が得られる。したがって、

発光層において正孔および電子の移動度が向上するホスト材料を用いても良い。これは、有機蒸着膜では、正孔および電子の輸送はホッピング伝導によって行われているためである（非特許文献2）。電子が分子間をホッピングして伝導するためには、中性状態とラジカルアニオン状態との電子状態間における波動関数の重なりが大きいことが必要である。一方、正孔においては、分子間をホッピングして伝導するためには中性状態とラジカルカチオン状態との電子状態間における波動関数の重なりが大きい必要がある。つまり、中性状態およびラジカルアニオン状態、または中性状態およびラジカルカチオン状態のスタッキング（ $\pi-\pi$ 相互作用）が強いほど、正孔および電子の移動度が高い。また、スタッキングが強いと、HOMO準位およびLUMO準位のギャップが小さくなる。したがって、本構成を用いれば、 1000 cd/m^2 における有機EL素子の駆動電圧が4.6Vと低く、発光効率が 22 cd/A と高い有機EL素子が得られる。

先行技術文献

非特許文献

[0012] 非特許文献1: Applied Physics Letters 94, 083506, 2009

非特許文献2: 時任静士、安達千波矢、村田英幸共著「有機ELディスプレイ」株式会社オーム社、2004年8月

非特許文献3: 渡辺正、中林誠一郎著「電子移動の化学—電気化学入門」日本化学会編、朝倉書店、2005年9月

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] 上記した非特許文献1に開示されている有機EL素子では、電子注入層から第二発光層へ電子が伝搬されると、発光ドーパント（Firpic）に電子が伝搬される。しかしながら、本文献に開示されている有機EL素子では、発光ドーパントから第一発光層に電子が伝搬されやすい構成になっている

。したがって、この構成によれば、第一発光層および第二発光層の界面において正孔および電子が再結合せず、再結合をする確率が低下してしまう。すなわち、内部量子収率が低下してしまう。

[0014] また、上記非特許文献 1 に開示されている有機 EL 素子では、第一発光層および第二発光層の燐光発光材料として、スカイブルーに発光する F I r p i c を用いている。当該 F I r p i c の H O M O 準位と L U M O 準位とのギャップは小さいため、低駆動電圧であり、高発光効率の有機 EL 素子が得られる。したがって、深い青色に発光する燐光発光材料を用いる場合には、このような燐光発光材料の H O M O 準位と L U M O 準位とのギャップは大きいため、H O M O 準位と L U M O 準位とのギャップが大きいホスト材料が必要となる。したがって、駆動には高電圧を必要とするが、その割には発光効率が低くなってしまいう問題は依然残されたままである。

[0015] そこで、本発明は上記の問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、低電圧で駆動することができ、なおかつ発光効率が高い有機 EL 素子、およびその製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0016] 本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子は、上記課題を解決するために、陽極および陰極と、上記陽極および上記陰極の間に形成され、発光層を少なくとも有している有機層とを基板上に備えた有機エレクトロルミネッセンス素子において、上記発光層は、上記陽極側に位置し、正孔輸送性ホストである第一ホスト材料からなる第一発光層と、上記陰極側に位置し、電子輸送性ホストである第二ホスト材料からなる第二発光層とを備え、上記第一ホスト材料および上記第二ホスト材料には、同一の有機発光材料がドーピングされており、上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（H O M O）および最低空準位（L U M O）は、下記の関係式（1）および（2）を満たすことを特徴としている。

$$(1) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{有機発光材料の H O M O} | - | \text{第一ホスト材料の H O M O} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

$$(2) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{第二ホスト材料のLUMO} | - | \text{有機発光材料のLUMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

上記構成によれば、第一発光層を構成するホスト材料の最高被占準位は、有機発光材料の最高被占準位よりも浅い。しかし、その最高被占準位の差を小さく（0.5 eV以内に）することによって、正孔と電子とが再結合する確率を高めることができる。

[0017] 同様に、第二発光層を構成するホスト材料の最低空準位は、有機発光材料の最低空準位よりも深い。しかし、その最低空準位の差を小さく（0.5 eV以内に）することによって、正孔と電子とが再結合する確率を高めることができる。

[0018] また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス表示装置においては、上記の課題を解決するために、上述した有機エレクトロルミネッセンス素子を薄膜トランジスタ基板上に形成した表示手段を備えていることを特徴としている。

[0019] 上記構成によれば、低駆動電圧であり、発光効率が高い有機EL素子を備えているため、高輝度、高効率かつ長寿命の表示装置を提供できる。

[0020] また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子の製造方法は、上記課題を解決するために、陽極および陰極と、上記陽極および上記陰極の間に形成された発光層を少なくとも有している有機層とを基板上に備えた有機エレクトロルミネッセンス素子の製造方法において、上記基板上に、上記陽極を形成する陽極形成工程と、上記陽極上に、当該陽極から正孔が注入される正孔注入層を形成する正孔注入層形成工程と、上記正孔注入層上に、上記陽極から上記有機層に注入される正孔を輸送する正孔輸送層を形成する正孔輸送層形成工程と、上記正孔輸送層上に、上記発光層として、正孔輸送性ホストである第一ホスト材料からなる第一発光層を形成する第一発光層形成工程と、上記第一発光層上に、上記発光層として、電子輸送性ホストである第二ホスト材料からなる第二発光層を形成する第二発光層形成工程と、上記第二発光層上に、上記陰極から上記有機層に注入される電子を輸送する電子輸

送層を形成する電子輸送層形成工程と、上記電子輸送層上に、上記陰極から電子が注入される電子注入層を形成する電子注入層形成工程と、上記電子注入層上に、上記陰極を形成する陰極形成工程とを備え、上記第一発光層形成工程および上記第二発光層形成工程において、上記第一ホスト材料および上記第二ホスト材料に同一の有機発光材料をドーピングし、なおかつ下記の関係式（１１）～（１６）を満たす最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）をそれぞれ有している上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料を用いて、上記第一発光層および上記第二発光層を形成することを特徴としている。

$$(11) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{有機発光材料のHOMO} | - | \text{第一ホスト材料のHOMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

$$(12) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{第二ホスト材料のLUMO} | - | \text{有機発光材料のLUMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

$$(13) \quad | \text{第一ホスト材料のLUMO} | < | \text{第二ホスト材料のLUMO} |$$

$$(14) \quad | \text{第一ホスト材料のLUMO} | < | \text{有機発光材料のLUMO} |$$

$$(15) \quad | \text{第二ホスト材料のHOMO} | > | \text{第一ホスト材料のHOMO} |$$

$$(16) \quad | \text{第二ホスト材料のHOMO} | > | \text{有機発光材料のHOMO} |$$

上記方法によれば、低駆動電圧であり、発光効率が高い有機EL素子を提供することができる。

[0021] 本発明の他の目的、特徴、および優れた点は、以下に示す記載によって十分分かるであろう。また、本発明の利点は、添付図面を参照した次の説明で明白になるであろう。

発明の効果

[0022] 本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子では、電子と再結合しないで第二発光層に移動する正孔を減らし、正孔と再結合しないで第一発光層に移動する電子を減らすことが可能となる。その結果、正孔および電子が再結合する確率を上げることができるので、有機EL素子の駆動電圧を低下させることができる。また、発光層において正孔および電子が再結合する確率が

上がるので、内部量子収率は向上し、発光効率を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]本発明の一実施形態に係る有機EL素子を構成する各層のエネルギーダイアグラムを示す図である。

[図2]本発明の一実施形態に係る有機エレクトロルミネッセンス素子の断面を示す図である。

[図3]本発明の一実施形態に係る有機EL素子を構成する各層のエネルギーダイアグラムを示す図である。

[図4]本発明の一実施形態に係る有機エレクトロルミネッセンス素子を備えた有機エレクトロルミネッセンス表示装置の概略を示す図である。

[図5]本発明の一実施形態に係る有機エレクトロルミネッセンス表示装置を備えた携帯電話の概略を示す図である。

[図6]本発明の一実施形態に係る有機エレクトロルミネッセンス表示装置を備えたテレビジョン受像機の概略を示す図である。

[図7]本発明の一実施形態に係る有機エレクトロルミネッセンス素子を備えた照明装置の概略を示す図である。

[図8]青色燐光発光材料を用いた従来の有機EL素子を構成する各層のエネルギーダイアグラムを示す図である。

発明を実施するための形態

[0024] 〔第一の実施形態〕

（有機EL素子11の概要）

本実施形態に係る有機エレクトロルミネッセンス素子（有機EL素子）は、一対の電極（陽極および陰極）と、一対の電極の間に位置し、発光層を含む有機層とが基板上に積層されて構成される。より具体的な構成については、図2を参照して以下に説明する。図2は、有機EL素子11の断面を示す図である。

[0025] 図2に示すように、有機EL素子11は、絶縁性基板41上に、ゲート電極43、ドレイン電極44、ソース電極45、およびゲート絶縁膜46から

なる薄膜トランジスタ（ＴＦＴ）が所定の間隔で複数形成されている。また、絶縁性基板４１からＴＦＴにかけて、接続配線４７が形成されている。

[0026] 各ＴＦＴ上には、平坦化膜８１が配設されており、平坦化膜８１にはコンタクトホール４８が形成されている。ＴＦＴのドレイン電極４４は、該コンタクトホール４８を介して陽極１２と電氣的に接続されている。隣り合う陽極１２の間には、エッジカバー４９が設けられており、陽極１２のＴＦＴとは反対側の位置には、正孔注入層１３、正孔輸送層１４、発光層１５、正孔ブロッキング層８、電子輸送層１６、および電子注入層１７からなる有機層、および陰極９が形成されている。陰極９の上は、無機封止膜５４によって覆われており、該無機封止膜５４によって陽極１２、有機層、および陰極９は封止される。

[0027] 一方、ＴＦＴが形成された絶縁性基板４１に対向する絶縁性基板４１には、光吸収層５０、蛍光体層５１、および散乱体層５２が形成されている。そして、２つの絶縁性基板４１の間には、樹脂封止膜５３が形成されている。

[0028] なお、本実施形態に係る有機ＥＬ素子１１の発光層１５は、二層構造をしており、第一発光層、および第二発光層からなる。本実施形態に係る有機ＥＬ素子１１は、発光層１５を構成するホスト材料の最高被占準位（ＨＯＭＯ準位）と最低空準位（ＬＵＭＯ準位）とのギャップが小さくなるように構成されている。これにより、有機層での正孔および電子の移動度を高く保ちつつ、発光層１５での正孔と電子とが再結合する確率を高くすることができる。これについては、以下で詳しく説明する。

[0029] （有機層の構成）

有機ＥＬ素子１１の有機層の構成について、図１を参照して説明する。図１は、有機ＥＬ素子１１を構成する各層のエネルギーダイアグラムを示す図である。

[0030] 上述したように、有機ＥＬ素子１１の有機層は正孔注入層１３、正孔輸送層１４、発光層１５、電子輸送層１６、および電子注入層１７を順に形成したものである。発光層１５は二層構造をしており、第一発光層１５ａ、およ

び第二発光層 15 b からなる。第一発光層 15 a、および第二発光層 15 b には、単一の燐光発光材料がドーピングされている。第一発光層 15 a は陽極 12 側に位置しており、陽極 12 から注入された正孔を正孔輸送層 13 から受け取り、第二発光層 15 b との界面近傍にまで伝搬する。一方、第二発光層 15 b は陰極（図示せず）側に位置しており、陰極から注入された電子を電子輸送層 16 から受け取り、第一発光層 15 a の界面近傍にまで伝搬する。これより、第一発光層 15 a および第二発光層 15 b の界面において、第一発光層 15 a から伝搬された正孔と、第二発光層 15 b から伝搬された電子とが再結合をすることによって、発光する。

[0031] この際、本実施形態に係る有機 EL 素子 11 では、正孔輸送層 13 から伝搬された正孔が第二発光層 15 b に移動しないように構成され、電子輸送層 16 から伝搬された電子が第一発光層 15 a に移動しないように構成されている。具体的には、図 1 に示すように、第一発光層 15 a を構成するホスト材料（第一ホスト材料；正孔輸送性ホスト材料）には、燐光発光材料の LUMO 準位 19 および第二発光層 15 b を構成するホスト材料（第二ホスト材料；電子輸送性ホスト材料）の LUMO 準位よりも浅い LUMO 準位を有する材料（ $|LUMO(\text{第一ホスト材料})| < |LUMO(\text{第二ホスト材料})|$ かつ $|LUMO(\text{第一ホスト材料})| < |LUMO(\text{燐光発光材料})|$ ）を用いている。一方、第二発光層 15 b を構成するホスト材料には、燐光発光材料の HOMO 準位 18 および第一発光層 15 a を構成するホスト材料よりも深い HOMO 準位を有する（ $|HOMO(\text{第二ホスト材料})| > |HOMO(\text{第一ホスト材料})|$ かつ $|HOMO(\text{第二ホスト材料})| > |HOMO(\text{燐光発光材料})|$ ）材料を用いている。

[0032] 以上によれば、第二発光層 15 b を構成するホスト材料の HOMO 準位は、第一発光層 15 a を構成するホスト材料および燐光発光材料の HOMO 準位よりも深いため（ $|HOMO(\text{第二ホスト材料})| > |HOMO(\text{第一ホスト材料})|$ かつ $|HOMO(\text{第二ホスト材料})| > |HOMO(\text{燐光発光材料})|$ ）、第一発光層 15 a に伝搬された正孔が第二発光層 15 b に移動

するのをブロックすることができる。同様に、第一発光層 15 a を構成するホスト材料の LUMO 準位は、第二発光層 15 b を構成するホスト材料および燐光発光材料の LUMO 準位よりも浅いため（ $|LUMO(\text{第一ホスト材料})| < |LUMO(\text{第二ホスト材料})|$ かつ $|LUMO(\text{第一ホスト材料})| < |LUMO(\text{燐光発光材料})|$ ）、第二発光層 15 b に伝搬された電子が第一発光層 15 a に移動するのをブロックすることができる。これによって、第一発光層 15 a および第二発光層 15 b の界面において、燐光発光材料に伝搬された正孔と電子とが再結合することによって発光する。

[0033] したがって、本実施形態に係る有機 EL 素子 11 では、発光層 15 が二層構造をしており、燐光発光材料およびホスト材料の HOMO 準位と LUMO 準位とを考慮して当該発光層 15 に用いるホスト材料を決定している。これによって、陽極 12 から注入された正孔が第二発光層 15 b に移動するのを防ぐことができる。同様に、陰極から注入された電子が第一発光層 15 a に移動するのを防ぐことができる。これによって、電子と再結合しないで第二発光層 15 b に移動する正孔を減らし、正孔と再結合しないで第一発光層 15 a に移動する電子を減らすことが可能となる。その結果、正孔および電子が再結合する確率を上げることができる。したがって、本実施形態に係る有機 EL 素子 11 では、発光層 15 において正孔および電子が再結合する確率を上げることができるので、内部量子収率は向上し、発光効率を向上させることができる。

[0034] 従来の青色燐光発光材料を用いた有機 EL 素子では、高駆動電圧を必要とする割には発光効率が低いという問題があった。しかしながら、本実施形態によれば、青色燐光発光材料を用いた場合でも、正孔が第二発光層 15 b に移動するのを防ぐことができ、電子が第一発光層 15 a に移動するのを防ぐことができる。すなわち、正孔および電子が再結合する確率を上げることができるので、有機 EL 素子 11 の内部量子収率は向上し、発光効率を向上させることができる。

[0035] (有機 EL 素子 11 の基板)

以下では、有機ＥＬ素子１１を構成する各部材について説明する。上述したように、有機ＥＬ素子１１は、基板（図示せず）上に形成された陽極１２と陰極との間に、正孔注入層１３、正孔輸送層１４、発光層１５、電子輸送層１６、および電子注入層１７からなる有機層を備えている。

[0036] まず、基板について説明する。有機ＥＬ素子１１を構成する基板は、絶縁性を有している基板であれば良い。有機ＥＬ素子１１の基板として用いることが可能な材料としては、特に限定されるものではなく、例えば公知の絶縁性の基板材料を用いることができる。

[0037] 例えば、ガラス、または石英等からなる無機材料基板、あるいは、ポリエチレンテレフタレート、またはポリイミド樹脂等からなるプラスチック基板等を利用できる。他には、アルミニウム（Ａｌ）または鉄（Ｆｅ）等からなる金属基板に、酸化シリコンまたは有機絶縁材料等からなる絶縁物を表面にコーティングした基板等を利用できる。あるいは、Ａｌ等からなる金属基板の表面を陽極酸化等の方法によって絶縁化処理した基板等も利用できる。

[0038] なお、有機ＥＬ素子１１の発光層１５から発した光を、基板とは反対側から取り出す場合、すなわちトップエミッション型の場合には、基板には光透過性を有しない材料を用いるのが良い。例えば、シリコンウェハー等の半導体基板を用いても良い。逆に、有機ＥＬ素子１１の発光層１５から発した光を、基板側から取り出す場合、すなわちボトムエミッション型の場合には、基板には光透過性を有する材料を用いるのが良い。例えば、ガラス基板、またはプラスチック基板等を用いても良い。

[0039] （有機ＥＬ素子１１の電極）

次に電極について説明する。有機ＥＬ素子１１を構成する電極は、陽極１２および陰極のように対として機能すれば良い。各電極は１つの電極材料からなる単層構造であっても良いし、複数の電極材料からなる積層構造であっても良い。有機ＥＬ素子１１の電極として用いることが可能な電極材料としては、特に限定されるものではなく、例えば公知の電極材料を用いることができる。

[0040] 陽極 12 としては、例えば、金 (Au)、白金 (Pt)、およびニッケル (Ni) 等の金属、ならびに酸化インジウムスズ (ITO)、酸化スズ (SnO₂)、酸化インジウム亜鉛 (IZO) 等の透明電極材料等が利用できる。

[0041] 一方、陰極としては、リチウム (Li)、カルシウム (Ca)、セリウム (Ce)、バリウム (Ba)、アルミニウム (Al) 等の金属、またはこれらの金属を含有するマグネシウム (Mg) : 銀 (Ag) 合金、Li : Al 合金等の合金等が利用できる。

[0042] なお、有機 EL 素子 11 の発光層 15 から発した光を、陽極 12 および陰極のいずれか一方の電極側から取り出す必要がある。この場合には、一方の電極には光を透過する電極材料を用い、他方の電極には光を透過しない電極材料を用いることが好ましい。光を透過しない電極材料としては、タンタルまたは炭素等の黒色電極、Al、Ag、Au、Al : Li 合金、Al : ネオジウム (Nd) 合金、または Al : シリコン (Si) 合金等の反射性金属電極等が挙げられる。

[0043] (有機 EL 素子 11 の有機層)

続いて有機層について説明する。当該有機層は、正孔注入層 13、正孔輸送層 14、発光層 15、電子輸送層 16、および電子注入層 17 を有している。

[0044] まず発光層 15 について述べる。上述したように、当該発光層 15 は二層構造をしており、第一発光層 15a、および第二発光層 15b からなり、各層には単一の燐光発光材料がドーピングされている。発光層 15 に用いることが可能な燐光発光材料としては、特に限定されるものではなく、例えば公知の燐光発光材料を用いることができる。

[0045] 例えば、青色燐光発光材料としては、イリジウム (III) ビス (4', 6'-ジフルオロフェニルピリジナト) テトラキス (1-ピラゾリル) ボレート (FIr6) (HOMO 準位 = 6.1 eV, LUMO 準位 = 3.1 eV, T₁ = 2.71 eV)、イリジウム (III) ビス [4, 6-(ジフルオロフェニル)-ピリジナト-N, C2'] ピコリネート (FIrpic)、Ir(c

$n-pmic)_3$ 、トリス（（3，5-ジフルオロ-4-シアノフェニル）ピリジン）イリジウム（ $FCNIr$ ）、または $Ir(cnbic)_3$ 等の Ir 錯体、白金（ Pt ）、レテニウム（ Re ）、ルテニウム（ Ru ）、銅（ Cu ）、またはオスミウム（ Os ）等の重原子金属の錯体等が挙げられる。

電子が第二発光層 15b から第一発光層 15a に移動しないように、第一発光層 15a を構成するホスト材料には、燐光発光材料および第二発光層 15b を構成するホスト材料よりも浅い LUMO 準位を有する材料を用いている。そのため、第一発光層 15a を構成するホスト材料として、第一の実施形態において第二発光層 15b に用いたホスト材料を使用することができる。これによって、電子が第一発光層 15a に移動するのを防ぐことができる。

[0046] なお、第一発光層 15a を構成するホスト材料の HOMO 準位は、燐光発光材料の HOMO 準位 18 よりも浅いことが好ましい。さらには、第一発光層 15a を構成するホスト材料の HOMO 準位と、燐光発光材料の HOMO 準位 18 との差が 0.5 eV 以内であることが好ましい。これは、有機 EL 素子の正孔および電子の輸送はホッピング伝導によって行われていることに関係している。ホッピング伝導の際、正孔がトラップされている準位と、正孔がホッピングする準位との差を ΔE とすると、正孔の移動度は $\exp(-\Delta E/RT)$ で下がっていく（ R ：気体定数， T ：絶対温度 [K]）。したがって、第一発光層 15a を構成するホスト材料の HOMO 準位と、燐光発光材料の HOMO 準位 18 との差を 0.5 eV 以内にすると、正孔が熱的に励起する確率が高くなり、正孔および電子が再結合する確率を高めることができる。この値は、アレニウスの式で説明することができる。電場をかけていることにより、正孔が第一発光層 15a を構成するホスト材料から陽極側材料への移動が起こりにくい。つまり、第一発光層 15a を構成するホスト材料の HOMO 準位と、燐光発光材料の HOMO 準位 18 との差が 0.5 eV 以内であると、第一発光層 15a を構成するホスト材料から燐光発光材料への正孔移動が起こる。

[0047] また、第一発光層 15a を構成するホスト材料の HOMO 準位と、燐光発

光材料のHOMO準位18との差が0 eVよりも大きいと、ホスト材料自体のHOMO準位とLUMO準位とのギャップを狭くすることが可能となり、デバイス自体の低電圧化も可能となる。

[0048] また、励起エネルギーを燐光発光材料中に閉じ込めるために、発光層15に用いる燐光発光材料の T_1 よりも大きい T_1 を有するホスト材料を、第一発光層15aに用いるのが好ましい。ホスト材料が燐光発光材料の T_1 よりも小さい T_1 を有している場合でも、その差が0.1 eV程度であれば、燐光発光材料からの励起エネルギーの移動は起こりにくい。したがって、燐光発光材料の T_1 よりも0.1 eV程度小さい T_1 を有しているホスト材料であれば、適用可能である。

[0049] 例えば、第一発光層15aを構成するホスト材料として、2,2-ビス(4-カルバゾイルフェニル)-1,1-ビフェニル(4CzBPB)(HOMO準位=6.0 eV, LUMO準位=2.5 eV, T_1 =3.0 eV)、1,3-ビス(カルバゾール-9-イル)ベンゼン(mCP)(HOMO準位=5.9 eV, LUMO準位=2.4 eV, T_1 =2.9 eV)、またはアダマンタンカルバゾール(Ad-Cz)(HOMO準位=5.8 eV, LUMO準位=2.6 eV, T_1 =2.88 eV)等を用いることができるが、特にこれらに限定されるわけではない。また、第一発光層15aを構成するホスト材料には、正孔輸送性が求められるため、従来の青色燐光発光材料を用いた有機EL素子の正孔輸送層に用いている正孔輸送性材料を用いても問題ない。

[0050] 次に第二発光層15bについて説明する。上述したように、正孔が第一発光層15aから第二発光層15bに移動しないように、第二発光層15bを構成するホスト材料には、燐光発光材料および第一発光層15aを構成するホスト材料よりも深いHOMO準位を有する材料を用いている。そのため、第二発光層15bを構成するホスト材料として、第一の実施形態において第一発光層15aに用いたホスト材料を使用することができる。これによって、正孔が第二発光層15bに移動するのを防ぐことができる。

- [0051] なお、第二発光層 15 b を構成するホスト材料の LUMO 準位は、燐光発光材料の LUMO 準位 19 よりも深いことが好ましい。さらには、第二発光層 15 b を構成するホスト材料の LUMO 準位と、燐光発光材料の LUMO 準位 19 との差が 0.5 eV 以内であることが好ましい。
- [0052] この値は、先ほど、第一発光層 15 a を構成するホスト材料の HOMO 準位と、燐光発光材料の HOMO 準位 18 との差において示したエネルギー差と同じように、電場をかけていることにより、電子が第二発光層 15 b を構成するホスト材料から陰極側材料への移動が起こりにくい。つまり、第二発光層 15 b を構成するホスト材料の LUMO 準位と、燐光発光材料の LUMO 準位 19 との差が 0.5 eV 以内であると、第二発光層 15 b を構成するホスト材料から燐光発光材料への電子移動が起こる。
- [0053] また、第二発光層 15 b を構成するホスト材料の LUMO 準位と、燐光発光材料の LUMO 準位 19 との差が 0 eV よりも大きいと、ホスト材料自体の HOMO 準位と LUMO 準位とのギャップを狭くすることが可能となり、デバイス自体の低電圧化も可能となる。
- [0054] また、励起エネルギーを燐光発光材料中に閉じ込めるために、発光層 15 に用いる燐光発光材料の T_1 よりも大きい T_1 を有するホスト材料を、第二発光層 15 b に用いるのが好ましい。ホスト材料が燐光発光材料の T_1 よりも小さい T_1 を有している場合でも、その差が 0.1 eV 程度であれば、燐光発光材料からの励起エネルギーの移動は起こりにくい。したがって、燐光発光材料の T_1 よりも 0.1 eV 程度小さい T_1 を有しているホスト材料であれば、適用可能である。
- [0055] 例えば、第一発光層 15 a を構成するホスト材料として、トリス (2, 4, 6-トリメチルー3-(ピリジン-3-イル)フェニル) ボラン (3TPYMB) (HOMO 準位 = 6.8 eV, LUMO 準位 = 3.3 eV, T_1 = 2.98 eV)、または 1, 3, 5-トリ (m-ピリジ-3-イル-フェニル) ベンゼン (TmTyPB) (HOMO 準位 = 6.68 eV, LUMO 準位 = 2.73 eV, T_1 = 2.78 eV) 等を用いることができるが、特にこれ

らに限定されるわけではない。また、第二発光層 15 b を構成するホスト材料には、電子輸送性が求められるため、従来の青色燐光発光材料を用いた有機 EL 素子の電子輸送層に用いている電子輸送性材料を用いても問題ない。

- [0056] 以上では、第一発光層 15 a、および第二発光層 15 b に適用可能なホスト材料について述べたが、必ずしも上記ホスト材料に限定されるわけではない。例えば、有機 EL 素子 11 に用いる燐光発光材料を決定した上で上述した条件を満たすような適当なホスト材料を選択して各発光層に用いれば良い。すなわち、上述した条件を満たすようなホスト材料であれば、以上に列記したホスト材料に限定されない。したがって、有機 EL 素子 11 の各層に用いるホスト材料の組み合わせ、および有機 EL 素子 11 に用いる燐光発光材料等を考慮して、用いるホスト材料をそれぞれ決定すれば良い。また、使用するホスト材料は二種類に限定されるわけではなく、少なくとも二種類、すなわち複数のホスト材料を用いれば良い。
- [0057] 次に正孔注入層 13 について説明する。正孔注入層 13 に用いることが可能な正孔注入性材料としては、特に限定されるものではなく、例えば公知の正孔注入性材料を用いることができる。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 (α -NPD)、ジー [4-(N, N-ジトリル-アミノ)-フェニル] シクロヘキサン (TAPC)、9, 10-ジフェニルアントラセン-2-スルフォネート (DPAS)、N, N'-ジフェニル-N, N'-(4-(ジ(3-トリル)アミノ)フェニル)-1, 1'-ビフェニル-4, 4'-ジアミン (DNTPD)、イリジウム (III) トリス [N, N'-ジフェニルベンズイミダゾール-2-イリデン-C2, C2'] ($\text{Ir}(\text{dppic})_3$)、4, 4', 4"-トリス-(N-カルバゾリル)-トリフェニルアミン (CTTA)、2, 2-ビス(p-トリメリットオキシフェニル)プロパン酸無水物 (BTPD)、ビス [4-(p, p-ジトリルアミノ)フェニル] ジフェニルシラン (DTASi)、または上記第一発光層 15 a に用いるホスト材料等が適用可能である。

- [0058] 続いて正孔輸送層 14 について説明する。正孔輸送層 14 に用いることが

可能な正孔輸送性材料としては、特に限定されるものではなく、例えば公知の正孔輸送性材料を用いることができる。例えば、TAPC、DPAS、DNTPD、Ir(dpbic)₃、TCTA、BTPD、DTASi、または上記第一発光層15aに用いるホスト材料等が適用可能である。

[0059] 次に電子輸送層16について説明する。電子輸送層16に用いることが可能な電子輸送性材料としては、特に限定されるものではなく、例えば公知の電子輸送性材料を用いることができる。例えば、2,9-ジメチル-4,7-ジフェニル-1,10-フェナントロリン(BCP)、1,3,5-トリリス(N-フェニルベンズイミダゾール-2-イル)ベンゼン(TPBI)、3-フェニル-4(1'-ナフチル)-5-フェニル-1,2,4-トリアゾール(TAZ)、4,7-ジフェニル-1,10-フェナントロリン(Bphen)、Ad-Cz、ジパルミトイルホスファチジルセリン(DPPS)、1,3,5-トリ(m-ピリド-3-イル-フェニル)ベンゼン(TmPyPB)、1,3,5-トリ(p-ピリド-3-イル-フェニル)ベンゼン(TpPyPB)、または上記第二発光層15bに用いるホスト材料等が適用可能である。

[0060] 最後に、電子注入層17について説明する。電子注入層17に用いることが可能な電子注入性材料としては、特に限定されるものではなく、例えば公知の電子注入性材料を用いることができる。例えば、LiF、BCP、TPBI、TAZ、Bphen、Ad-Cz、DPPS、TmPyPB、TpPyPB、または上記第二発光層15bに用いるホスト材料等が適用可能である。

[0061] (有機EL素子11の製造工程)

有機EL素子11の製造工程について、簡単に説明する。上述したように、通常有機EL素子は、スイッチング素子としてトランジスタを有しているが、本実施形態ではその製造工程については言及しない。

[0062] 以下では、複数のトランジスタが島状に形成された基板上に、陽極12、有機層、および陰極を形成する工程を説明する。まず、各トランジスタの上

に陽極 1 2 をパターン形成する（陽極形成工程）。そして、形成した陽極 1 2 上に有機層の各層を形成していく。なお、陽極 1 2 周辺の絶縁性を確保するために、陽極 1 2 周辺に有機絶縁膜（図示せず）を設けても良い。有機絶縁膜として、ポリイミド系等の樹脂材料等を用いるのが好ましいが、特にこれらに限定されるものではなく、例えば公知の有機絶縁材料を用いることができる。

[0063] そして、正孔注入層 1 3 を形成する（正孔注入層形成工程）。陽極 1 2 上に正孔注入性材料を蒸着させる。この際、当該正孔注入層 1 3 の膜厚は、45 nm 程度であることが好ましい。このようにして、正孔注入層 1 3 を形成する。

[0064] 続いて正孔輸送層 1 4 を形成する（正孔輸送層形成工程）。正孔注入層 1 3 上に正孔輸送性材料を蒸着させる。この際、当該正孔輸送層 1 4 の膜厚は、15 nm 程度であることが好ましい。このようにして、正孔輸送層 1 4 を形成する。

[0065] まず発光層 1 5 を形成する。具体的には、正孔輸送層 1 4 上に第一発光層 1 5 a 用のホスト材料と、燐光発光材料とを共蒸着させる（第一発光層形成工程）。この際、ホスト材料中に燐光発光材料を 7.5% 程度ドーピングさせることが好ましい。このようにして、第一発光層 1 5 a を形成する。なお、層の厚さは 10 nm 程度であることが好ましい。

[0066] そして、第一発光層 1 5 a 上に第二発光層 1 5 b 用のホスト材料と、燐光発光材料とを共蒸着させる（第二発光層形成工程）。この際、ホスト材料中に燐光発光材料を 7.5% 程度ドーピングさせることが好ましい。このようにして、第二発光層 1 5 b を形成する。なお、層の厚さは 10 nm 程度であることが好ましい。

[0067] 続いて電子輸送層 1 6 を形成する（電子輸送層形成工程）。発光層 1 5 上に電子輸送性材料を蒸着させる。この際、当該電子輸送層 1 6 の膜厚は、30 nm 程度であることが好ましい。このようにして、電子輸送層 1 6 を形成する。

[0068] 次に電子注入層 17 を形成する（電子注入層形成工程）。電子輸送層 16 上に電子注入性材料を蒸着させる。このようにして、電子注入層 17 を形成する。

[0069] 最後に、陰極を形成する（陰極形成工程）。電子注入層 17 上に陰極をパターン形成し、有機 EL 素子 11 は完成する。

[0070] 〔第二の実施形態〕

（有機 EL 素子 21 の概要）

上述したように、第一発光層 15a を構成するホスト材料には、正孔輸送性が求められるため、従来の青色燐光発光材料を用いた有機 EL 素子の正孔輸送層に用いている正孔輸送性材料を用いても問題ない。したがって、第一発光層 15a のホスト材料として正孔輸送性材料を用いて、当該第一発光層 15a が正孔輸送層 14 を兼ねても良い。同様に、第二発光層 15b を構成するホスト材料には、電子輸送性が求められるため、従来の青色燐光発光材料を用いた有機 EL 素子の電子輸送層に用いている電子輸送性材料を用いても問題ない。したがって、第二発光層 15b のホスト材料として電子輸送性材料を用いて、当該第二発光層 15b が電子輸送層 16 を兼ねても良い。以下では、第一発光層が正孔輸送層を兼ね、第二発光層が電子輸送層を兼ねている有機 EL 素子の概要を説明する。第一発光層が正孔輸送層を兼ね、第二発光層が電子輸送層を兼ねている点以外は第一の実施形態と同様である。

[0071] 本実施形態に係る有機 EL 素子は、基板上に形成された陽極と陰極との間に有機層を有している。当該有機層とは、正孔注入層、発光層、および電子注入層を順に形成したものである。当該発光層は二層構造をしており、第一発光層、および第二発光層からなる。本実施形態に係る有機 EL 素子は、発光層を構成するホスト材料の最高被占準位（HOMO 準位）と最低空準位（LUMO 準位）とのギャップが小さくなるように構成されている。これにより、有機層での正孔および電子の移動度を高く保ちつつ、発光層での正孔と電子とが再結合する確率を高くすることができる。これについては、以下で詳しく説明する。

[0072] なお、通常有機ＥＬ素子はスイッチング素子として有機薄膜トランジスタ基板等のトランジスタ（図示せず）を有しているが、本実施形態ではその詳しい説明は言及しない。

[0073] （有機層の構成）

有機ＥＬ素子２１の有機層の構成について、図３を参照して説明する。図３は、有機ＥＬ素子２１を構成する各層のエネルギーダイアグラムを示す図である。

[0074] 上述したように、有機ＥＬ素子２１の有機層は正孔注入層２３、発光層２５、および電子注入層２７を順に形成したものである。発光層２５は二層構造をしており、第一発光層２５ａ、および第二発光層２５ｂからなる。第一発光層２５ａ、および第二発光層２５ｂには、単一の燐光発光材料がドーピングされている。第一発光層２５ａでは、陽極２２から注入された正孔を正孔注入層２３から受け取り、第二発光層２５ｂとの界面近傍にまで伝搬する。一方、第二発光層２５ｂでは、陰極３０から注入された電子を電子注入層２７から受け取り、第一発光層２５ａとの界面近傍にまで伝搬する。これより、第一発光層２５ａおよび第二発光層２５ｂの界面において、第一発光層２５ａから伝搬された正孔と第二発光層２５ｂから伝搬された電子とが再結合をすることによって、発光する。

[0075] この際、有機ＥＬ素子２１では、第一の実施形態と同様にして有機層のホスト材料を選択している。具体的には、図３に示すように、第一発光層２５ａを構成するホスト材料には、燐光発光材料のＬUMO準位２９および第二発光層２５ｂを構成するホスト材料のＬUMO準位よりも浅いＬUMO準位を有する材料（ $|LUMO(\text{第一ホスト材料})| < |LUMO(\text{第二ホスト材料})|$ かつ $|LUMO(\text{第一ホスト材料})| < |LUMO(\text{燐光発光材料})|$ ）を用いている。一方、第二発光層２５ｂを構成するホスト材料には、燐光発光材料のHOMO準位２８および第一発光層２５ａを構成するホスト材料のHOMO準位よりも深いHOMO準位を有する材料（ $|HOMO(\text{第二ホスト材料})| > |HOMO(\text{第一ホスト材料})|$ かつ $|HOMO(\text{第二$

ホスト材料) | > | HOMO (燐光発光材料) | を用いている。

[0076] 以上によれば、第一発光層 25 a に伝搬された正孔が第二発光層 25 b に移動するのをブロックすることができ、第二発光層 25 b に伝搬された電子が第一発光層 25 a に移動するのをブロックすることができる。これによって、電子と再結合しないで第二発光層 25 b に移動する正孔を減らし、正孔と再結合しないで第一発光層 25 a に移動する電子を減らすことが可能となる。その結果、正孔および電子が再結合する確率を上げることができる。したがって、本実施形態に係る有機 EL 素子 21 では、発光層 25 において正孔および電子が再結合する確率を上げることができるので、内部量子収率は向上し、発光効率を向上させることができる。

[0077] また、第一発光層 25 a が正孔輸送層を兼ね、第二発光層 25 b が電子輸送層を兼ねているので、本実施形態によれば、有機 EL 素子 21 の層構造を単純化することができる。そのため、有機 EL 素子 21 の製造プロセスを簡易にすることができる。また、各注入層および各輸送層をそれぞれ省略することができるため、有機 EL 素子 21 の製造コストを低く抑えることができる。

[0078] (有機 EL 素子 21 の正孔注入層 23 および電子注入層 27)

上述したように、本実施形態に係る有機 EL 素子 21 では、第一発光層 25 a が正孔輸送層を兼ね、第二発光層 25 b が電子輸送層を兼ねている。そこで、正孔注入層 23 において正孔の注入を向上させるために、正孔注入層 23 に p-ドーパントをドーピングしても良い。同様に、電子注入層 27 において電子の注入を向上させるために、電子注入層 27 に n-ドーパントをドーピングしても良い。これによれば、正孔注入層における正孔の注入が促進され、電子注入層における電子の注入が促進される。これより、発光層に正孔および電子を十分に伝搬することができる。

[0079] また、この場合には、発光層 25 と正孔注入層 23 との間にホスト材料のみで形成した領域を設けても良い。当該領域は、電子ブロッキング層として働き、発光層 25 と正孔注入層 23 との界面においてエクサイプレックスに

よるエネルギー失活を起こしてしまうのを防ぐことができる。すなわち、発光層 25 から正孔注入層 23 へのエネルギーのロスを防ぐことができる。同様に、発光層 25 と電子注入層 27 との間にも、正孔ブロッキング層としてホスト材料のみで形成した領域を設けても良い。なお、電子ブロッキング層および正孔ブロッキング層を設ける場合は、それぞれの層の厚さは 10 nm 程度であることが好ましい。

[0080] さらに、正孔注入層 23 を構成する材料として、第一発光層 25 a を構成するホスト材料を用いても良い。同様に、電子注入層 27 を構成する材料として、第二発光層 25 b を構成するホスト材料を用いても良い。これによれば、有機 EL 素子 21 の製造プロセスをより単純化することができる。また、有機 EL 素子 21 に用いる材料を削減することができるため、有機 EL 素子 21 の製造コストをより一層低く抑えることができる。

[0081] (有機 EL 素子 21 の製造工程)

有機 EL 素子 21 の製造工程について、簡単に説明する。上述したように、通常有機 EL 素子は、スイッチング素子としてトランジスタを有しているが、本実施形態ではその製造工程については言及しない。

[0082] 基板上に陽極 22 を形成するまでの工程は、第一の実施形態の工程と同様であるため、ここでは省略する。以下では、陽極 22 上に有機を形成する工程から説明する。

[0083] まず正孔注入層 23 を形成する。具体的には、陽極 22 に正孔注入性材料と、p-ドーパントとを共蒸着させる。この際、正孔注入性材料中に p-ドーパントを 10% 程度ドーピングさせることが好ましい。このようにして、正孔注入層 23 を形成する。なお、層の厚さは 50 nm 程度であることが好ましい。

[0084] そして、正孔注入層 23 上に第一発光層 25 a 用のホスト材料と、燐光発光材料とを共蒸着させる（第一発光層形成工程）。この際、ホスト材料中に燐光発光材料を 7.5% 程度ドーピングさせることが好ましい。このようにして、第一発光層 25 a を形成する。なお、層の厚さは 10 nm 程度であること

が好ましい。

[0085] 次に第一発光層 25 a 上に第二発光層 25 b 用のホスト材料と、燐光発光材料とを共蒸着させる（第二発光層形成工程）。この際、ホスト材料中に燐光発光材料を 7.5%程度ドーピングさせることが好ましい。このようにして、第一発光層 25 b を形成する。なお、層の厚さは 10 nm 程度であることが好ましい。

[0086] 続いて電子注入層 27 を形成する（電子注入層形成工程）。発光層 25 上に電子注入性材料と、n-ドーパントとを蒸着させる。この際、電子注入性材料中にn-ドーパントを50%程度ドーピングさせることが好ましい。このようにして、電子注入層 27 を形成する。なお、層の厚さは 30 nm 程度であることが好ましい。

[0087] 最後に、陰極 30 を形成する（陰極形成工程）。電子注入層 27 上に陰極 30 をパターン形成し、有機EL素子 21 は完成する。

[0088] 本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能である。すなわち、請求項に示した範囲で適宜変更した技術的手段を組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

[0089] 例えば、上記 2 つの実施形態では、燐光発光材料として青色の燐光発光材料を用いる場合を説明したが、青色以外の燐光発光材料、または蛍光発光材料等、他の有機発光材料も適用可能である。本実施形態に係る有機EL素子 11, 21 に、青色燐光発光材料以外の有機発光材料を用いた場合でも、さらなる駆動電圧の低下を実現することができる。

[0090] また、第二の実施形態では、正孔注入層 23 および電子注入層 27 にそれぞれドーパントをドーピングする例を示したが、第一の実施形態において、正孔注入層 13 および電子注入層 17 にそれぞれドーパントをドーピングしても良い。さらに、正孔および電子の輸送を促進する目的で正孔輸送層 14 および電子輸送層 16 にそれぞれドーパントをドーピングしても問題ない。

[0091] さらに、本実施形態に係る有機EL素子 11, 21 を備えた表示手段を有

する有機ＥＬ表示装置を実現することも可能である。その具体例を、図４に示す。図４は、有機ＥＬ素子１１，２１を備えた有機ＥＬ表示装置４０の概略を示す図である。

[0092] 図４に示すように、有機ＥＬ素子１１，２１を備えた有機ＥＬ表示装置４０は、基板２０上に、画素部７、ゲート信号側駆動回路５、データ信号側駆動回路６、配線３、電流供給線４、封止基板４２、ＦＰＣ（Flexible Printed Circuits）２、および外部駆動回路１を有している。

[0093] 外部駆動回路２７は、画素部７の走査ライン（走査線）をゲート信号側駆動回路５により順次選択し、選択されている走査線に沿って配置されている各画素素子に対し、データ信号側駆動回路６におり画素データを書き込む。すなわち、ゲート信号側駆動回路５が走査線を順次駆動し、データ信号側駆動回路６がデータ線に画素データを出力することによって、駆動された走査線とデータが出力されたデータ線とが交差する位置に配置された画素素子が駆動される。

[0094] また、上述した有機ＥＬ表示装置を備えた電子機器を実現することも可能である。その具体例を、図５および図６に示す。図５は、有機ＥＬ表示装置を備えた携帯電話７０の概略を示す図である。図６は、有機ＥＬ表示装置を備えたテレビジョン受像機８０の概略を示す図である。

[0095] 図５に示すように、携帯電話７０の表示部５９に、本実施形態に係る有機ＥＬ素子１１，２１を備えた有機ＥＬ表示装置を搭載することができる。なお、図に示す５５は音声入力部であり、５６は音声出力部であり、５７は本体部分であり、５８はアンテナであり、６０は操作スイッチである。これらの部材は、従来の携帯電話と同様の機能を有しているため、ここではその説明は省略する。また、携帯電話７０の具体的な構成についても、ここでは言及しない。

[0096] また、図６に示すように、テレビジョン受像機８０の表示部６１に、本実施形態に係る有機ＥＬ素子１を備えた有機ＥＬ表示装置を搭載することもできる。なお、図に示す６２はスピーカである。テレビジョン受像機８０は、

表示部 61 に本実施形態に係る有機 EL 表示装置を備えている点以外は、従来のテレビジョン受像機 80 と同様の構成を有しているため、具体的な構成については、ここでは言及しない。

[0097] 以上のように、本実施形態に係る有機 EL 素子 11, 21 を備えることによって、発光効率が高い有機 EL 表示装置が実現でき、該有機 EL 表示装置は、表示部を備えた各種の電子機器に搭載することが可能である。

[0098] なお、以上では、本実施形態に係る有機 EL 素子 11, 21 を備えた表示手段を有する有機 EL 表示装置について説明したが、有機 EL 素子 11, 21 は、照明装置の光源として利用することも可能である。その具体例を、図 7 に示す。図 7 は、有機 EL 素子 11, 21 を備えた照明装置 90 の概略を示す図である。

[0099] 図 7 に示すように、有機 EL 素子 1 を備えた照明装置 90 は、光学フィルム 71、基板 11、陽極 2、有機 EL 層 10、陰極 9、熱拡散シート 64、封止基板 65、封止樹脂 63、放熱材 66、駆動用回路 67、配線 68、および引掛シーリング 69 を有している。

[0100] 以上のように、本実施形態に係る有機 EL 素子 1 を備えることによって、発光効率が高い照明装置を提供することができる。

[0101] 〔実施形態の総括〕

以上のように、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、さらに、上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）は、下記の関係式（3）および（4）を満たすことを特徴としている。

$$(3) \quad 0.1 \text{ eV} \leq (| \text{有機発光材料の HOMO} | - | \text{第一ホスト材料の HOMO} |) \leq 0.3 \text{ eV}$$

$$(4) \quad 0.1 \text{ eV} \leq (| \text{第二ホスト材料の LUMO} | - | \text{有機発光材料の LUMO} |) \leq 0.3 \text{ eV}$$

また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、さらに、上記発光層は、上記陽極側に形成された第一発光層と、上記陰極側に形

成された第二発光層とを有し、上記第一発光層を構成するホスト材料は、上記第二発光層を構成するホスト材料の最低空準位、および上記有機発光材料の最低空準位よりも浅い最低空準位を有し、上記第二発光層を構成するホスト材料は、上記第一発光層を構成するホスト材料の最高被占準位、および上記有機発光材料の最高被占準位よりも深い最高被占準位を有していることを特徴としている。

[0102] 上記構成によれば、第一発光層を構成するホスト材料には、有機発光材料および第二発光層を構成するホスト材料の最低空準位よりも浅い最低空準位（ $|LUMO(\text{第一発光層のホスト材料})| < |LUMO(\text{第二発光層のホスト材料})|$ かつ $|LUMO(\text{第一発光層のホスト材料})| < |LUMO(\text{有機発光材料})|$ ）を有する材料を用いている。一方、第二発光層を構成するホスト材料には、有機発光材料および第一発光層を構成するホスト材料よりも深い最高被占準位（ $|HOMO(\text{第二発光層のホスト材料})| > |HOMO(\text{第一発光層のホスト材料})|$ かつ $|HOMO(\text{第二発光層のホスト材料})| > |HOMO(\text{有機発光材料})|$ ）を有する材料を用いている。これによれば、第二発光層を構成するホスト材料の最高被占準位は、第一発光層を構成するホスト材料および有機発光材料の最高被占準位よりも深いため、第一発光層に伝搬された正孔が第二発光層に移動するのをブロックすることができる。同様に、第一発光層を構成するホスト材料の最低空準位は、第二発光層を構成するホスト材料および有機発光材料の最低空準位よりも浅いため、第二発光層に伝搬された電子が第一発光層に移動するのをブロックすることができる。これによって、第一発光層および第二発光層の界面において、有機発光材料に伝搬された正孔と電子とが再結合することによって発光する。

[0103] 以上より、本発明に係る有機EL素子では、電子と再結合しないで第二発光層に移動する正孔を減らし、正孔と再結合しないで第一発光層に移動する電子を減らすことが可能となる。その結果、正孔および電子が再結合する確率を上げることができるので、有機EL素子の駆動電圧を低下することがで

きる。また、発光層において正孔および電子が再結合する確率が上がるので、内部量子収率は向上し、発光効率を向上させることができる。

[0104] また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、さらに、上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）は、下記の関係式（5）～（8）を満たすことを特徴としている。

$$(5) \quad | \text{第一ホスト材料のLUMO} | < | \text{第二ホスト材料のLUMO} |$$

$$(6) \quad | \text{第一ホスト材料のLUMO} | < | \text{有機発光材料のLUMO} |$$

$$(7) \quad | \text{第二ホスト材料のHOMO} | > | \text{第一ホスト材料のHOMO} |$$

$$(8) \quad | \text{第二ホスト材料のHOMO} | > | \text{有機発光材料のHOMO} |$$

また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、さらに、上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）は、下記の関係式（9）および（10）の少なくともいずれか一方を満たすことを特徴としている。

$$(9) \quad 0.5 \text{ eV} < (| \text{有機発光材料のLUMO} | - | \text{第一ホスト材料のHOMO} |) \leq 0.7 \text{ eV}$$

$$(10) \quad 0.5 \text{ eV} < (| \text{第二ホスト材料のHOMO} | - | \text{有機発光材料のHOMO} |) \leq 0.7 \text{ eV}$$

上記構成によれば、第一発光層中では、電子が有機発光材料中に存在することにより、電子が正孔輸送材料等の陽極側材料へ移動するのを防ぐことが可能となる。同様に、第二発光層中では、正孔が有機発光材料中に存在することにより、正孔が電子輸送材料等の陰極側材料へ移動するのを防ぐことが可能となる。

[0105] また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、上記第一発光層を構成するホスト材料、および上記第二発光層を構成するホスト材料は、上記有機発光材料の励起三重項準位よりも高い励起三重項準位を有していることを特徴としている。

- [0106] 上記構成によれば、励起エネルギーを発光層中の有機発光材料中に閉じ込めることができ、有機発光材料からの励起エネルギーの移動を防ぐことができる。
- [0107] また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、上記有機層は、上記陽極から上記有機層への正孔の注入を促進するドーパントがドーピングされた正孔注入層と、上記陰極から上記有機層への電子の注入を促進するドーパントがドーピングされた電子注入層とを有していることを特徴としている。
- [0108] 上記構成によれば、第一電極から注入されるキャリアの有機層への注入が促進され、第二電極から注入されるキャリアの有機層への注入が促進される。これより、発光層に正孔および電子を十分に伝搬することができる。
- [0109] また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、上記正孔注入層と上記発光層との間には、上記ドーパントおよび上記有機発光材料がドーピングされていない領域があることを特徴としている。
- [0110] また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、上記電子注入層と上記発光層との間には、上記ドーパントおよび上記有機発光材料がドーピングされていない領域があることを特徴としている。
- [0111] 上記構成によれば、発光層と第一キャリア注入層との間の有機発光材料およびドーパントがドーピングされていない領域は、キャリアのブロッキング層として働く。これより、発光層と第一キャリア注入層との界面においてエクサイプレックスによるエネルギー失活を起こしてしまうのを防ぐことができる。すなわち、発光層から第一キャリア注入層へのエネルギーのロスを防ぐことができる。同様に、発光層と第二キャリア注入層との間の有機発光材料およびドーパントがドーピングされていない領域も、発光層から第二キャリア注入層へのエネルギーのロスを防ぐことができる。
- [0112] また、本発明に係る有機エレクトロルミネッセンス素子においては、上記有機発光材料は、燐光発光材料であることを特徴としている。
- [0113] 上記構成によれば、発光効率が高く、発光寿命が長い有機EL素子を得る

ことができる。

- [0114] 発明の詳細な説明の項においてなされた具体的な実施形態または実施例は、あくまでも、本発明の技術内容を明らかにするものであって、そのような具体例にのみ限定して狭義に解釈されるべきものではなく、本発明の精神と次に記載する請求の範囲内で、いろいろと変更して実施することができるものである。

実施例

- [0115] 以下では、実施例を挙げて本発明をさらに詳しく説明するが、本発明はその要旨を超えない限り、これら実施例に限定されるものではない。

- [0116] (実施例 1)

ガラス基板上にプラズマ化学蒸着（プラズマ CVD）法によってシリコン半導体膜を形成し、結晶化処理を施した後、多結晶半導体膜を形成した。続いて多結晶シリコン薄膜をエッチング処理し、複数の島状パターンを形成した。次に多結晶シリコン薄膜の各島の上に窒化ケイ素（SiN）をゲート絶縁膜として形成した。その後、チタン（Ti）－アルミニウム（Al）－チタン（Ti）の積層膜をゲート電極として順次形成し、エッチング処理によってパターニングを行った。当該ゲート電極の上に、Ti－Al－Tiを用いてソース電極およびドレイン電極を形成し、複数の薄膜トランジスタを作製した。

- [0117] 形成した薄膜トランジスタ上にスルーホールを有する層間絶縁膜を形成して平坦化した。そして、当該スルーホールを介して酸化インジウムスズ（ITO）電極を陽極として形成した。ポリイミド系樹脂の単層で ITO 電極の周辺を取り囲むようにしてパターニングした後、ITO 電極を形成した基板を超音波洗浄し、200℃の減圧下で3時間ベークした。

- [0118] 続いて、陽極上に 4, 4'－ビス [N－(1－ナフチル)－N－フェニル－アミノ] ビフェニル（ α -NPD）を真空蒸着法によって蒸着速度 1 Å/sec で蒸着した。このようにして、陽極上に膜厚 45 nm の正孔注入層を形成した。

- [0119] その後、正孔注入層上にN, N-ジカルバゾイル-3, 5-ベンゼン(mCP)を真空蒸着法によって蒸着速度 $1 \text{ \AA}/\text{sec}$ で蒸着した。このようにして、正孔注入層上に膜厚 15 nm の正孔輸送層を形成した。
- [0120] そして、正孔輸送層上に2, 2-ビス(4-カルバゾイルフェニル)-1, 1-ビフェニル(4CzPBP)と、FIr6とを真空蒸着法によって共蒸着した。この際、4CzPBP中にFIr6が7.5%程度含まれるようにドーピングした。このようにして、正孔輸送層上に膜厚 10 nm の第一発光層を形成した。
- [0121] 次に、第一発光層上に(トリス(2, 4, 6-トリメチル-3-イル)-3-(ピリジン-3-イル)フェニル)ボラン(3TPYMB)と、FIr6とを真空蒸着法によって共蒸着した。この際、3TPYMB中にFIr6が7.5%程度含まれるようにドーピングした。このようにして、第一発光層上に膜厚 10 nm の第二発光層を形成した。
- [0122] そして、第二発光層上に1, 3, 5-トリス(N-フェニルベンゾイミダゾール-2-イル)ベンゼン(TPBI)を真空蒸着法によって蒸着した。このようにして、第二発光層上に膜厚 30 nm の電子輸送層を形成した。
- [0123] 次に、電子輸送層上にLiFを真空蒸着法によって蒸着速度 $1 \text{ \AA}/\text{sec}$ で蒸着し、膜厚 0.5 nm のLiF膜を形成した。その後、LiF膜上にAlを用いて膜厚 100 nm のAl膜を形成した。このようにして、LiFとAlとの積層膜を陰極として形成し、有機EL素子を作製した。
- [0124] 得られた有機EL素子の $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ における電流効率および寿命 T_{50} を測定した。その結果、電流効率は $28 \text{ cd}/\text{A}$ となり、寿命 T_{50} は 5000 h と良好な値を示した。
- [0125] (実施例2)
- 陽極を形成するまでの工程は、実施例1と同様であるため、ここでは省略する。以下では、正孔注入層を形成する工程から説明する。
- [0126] 本実施例では、4CzPBPと、テトラフルオロテトラシアノキノジメタン(TCNQF₄)とを真空蒸着法によって蒸着速度 $1 \text{ \AA}/\text{sec}$ で共蒸着し

た。この際、4 Cz PBP中にTCNQF₄が10%程度含まれるようにドーピングした。このようにして、陽極上に膜厚50 nmの正孔注入層を形成した。

[0127] 次に、正孔注入層上に4 Cz PBPを10 nm蒸着させた後、4 Cz PBPとFIr6とを真空蒸着法によって共蒸着した。この際、4 Cz PBP中にFIr6が7.5%程度含まれるようにドーピングした。このようにして、膜厚10 nmの第一発光層を形成した。

[0128] そして、第一発光層上に3 TPYMBとFIr6とを真空蒸着法によって共蒸着した。この際、3 TPYMB中にFIr6が7.5%程度含まれるようにドーピングした。このようにして、第一発光層上に膜厚10 nmの第二発光層を形成した。

[0129] 次に、第二発光層上に3 TPYMBと炭酸セシウム(Cs₂CO₃)とを真空蒸着法によって共蒸着した。この際、3 TPYMB中にCs₂CO₃が50%程度含まれるようにドーピングした。このようにして、第二発光層上に膜厚30 nmの電子注入層を形成した。

[0130] 次に、電子注入層上にLiFを真空蒸着法によって蒸着速度1 Å/secで蒸着し、膜厚0.5 nmのLiF膜を形成した。その後、LiF膜上にAlを用いて膜厚100 nmのAl膜を形成した。このようにして、LiFとAlとの積層膜を陰極として形成し、有機EL素子を作製した。

[0131] 得られた有機EL素子の1000 cd/m²における電流効率および寿命T₅₀を測定した。その結果、電流効率は25 cd/Aとなり、寿命T₅₀は4000 hと良好な値を示した。

[0132] 上記2つの実施例では、発光層が多層構造をしており、当該発光層のホスト材料には、燐光発光材料を考慮した材料を用いている。具体的には、実施例1では、FIr6および第二発光層のホスト材料(3 TPYMB)のLUMO準位よりも浅いLUMO準位を有する4 Cz PBPを第一発光層のホスト材料として用いている。また、FIr6および第一発光層のホスト材料(4 Cz PBP)のHOMO準位よりも深いHOMO準位を有する3 TPYMBを第二発光層のホスト材料として用いている。さらに、3 TPYMBはF

I r 6 よりも深い LUMO 準位を有し、4 C z P B P は F I r 6 よりも浅い HOMO 準位を有している。これより、陽極から注入された正孔が第二発光層に移動するのを防ぐことができる。同様に、陰極から注入された電子が第一発光層に移動するのを防ぐことができる。これによって、電子と再結合しないで第二発光層に移動する正孔を減らし、正孔と再結合しないで第一発光層に移動する電子を減らすことが可能となる。その結果、正孔および電子が再結合する確率を上げることができる。それ故、本実施例 1 に係る有機 E L 素子では、電流効率および寿命 T_{50} 共に良好な値を示した。

[0133] また、実施例 2 では、第一発光層が正孔輸送層を兼ねており、第二発光層が電子輸送層を兼ねているが、正孔注入層および電子注入層にはそれぞれドーパントがドーピングされている。そのため、正孔注入層における正孔の注入が促進され、電子注入層における電子の注入が促進される。これより、発光層に正孔および電子を十分に伝搬することができる。また、実施例 2 では、実施例 1 と同様のホスト材料を用いているため、電子と再結合しないで第二発光層に移動する正孔を減らし、正孔と再結合しないで第一発光層に移動する電子を減らすことが可能となる。その結果、正孔および電子が再結合する確率を上げることができる。それ故、本実施例 2 に係る有機 E L 素子では、電流効率および寿命 T_{50} 共に良好な値を示した。

[0134] (実施例 3)

実施例 1 の第一発光層のホスト材料 4 C z C B P (HOMO 準位 = 6.0 eV, LUMO 準位 = 2.5 eV) の代わりに、アダマンタン カルバゾール (A d - C z) (HOMO 準位 = 5.8 eV, LUMO 準位 = 2.6 eV) を用い、発光材料は実施例 1 と同じように、F I r 6 (HOMO 準位 = 6.1 eV, LUMO 準位 = 3.1 eV) を用いた第一発光層を持つ有機 E L 素子を作製した。上記の第一発光層のホスト材料として 4 C z C B P を用いる点以外は、実施例 1 と同じ膜厚構成で作製した。

[0135] 得られた有機 E L 素子の 1000 cd/m^2 における電流効率および駆動電圧を測定した。その結果、電流効率は 24 cd/A となり、電圧は実施例 1

の約8割となり、良好な値を示した。したがって、第一発光層のホスト材料のHOMO準位と燐光発光材料とのHOMO準位との差は、0.1～0.3 eVの間であれば、高効率が見込めることが実験的に分かった。

[0136] これは、有機EL素子の正孔および電子の輸送は、ホッピング伝導によって行われていることに関係している。ホッピング伝導の際、正孔がトラップされている準位と、正孔がホッピングする準位との差を ΔE とすると、正孔の移動度は、 $\exp(-\Delta E/RT)$ で下がっていく（R：気体定数、T：絶対温度[K]）。以上の点から、第一発光層を構成するホスト材料のHOMO準位は、燐光発光材料のHOMO準位よりも浅いことが好ましい。

[0137] ここで、第一発光層を構成するホスト材料のHOMO準位と、燐光発光材料のHOMO準位との差を0.5 eVよりも大きくすると、正孔が熱的に励起できる確率が低くなってしまう。したがって、第一発光層を構成するホスト材料のHOMO準位と、燐光発光材料のHOMO準位との差が0.5 eV以内であることがより好ましいと言える。具体的な例で示すと、電子（正孔）移動速度は、下記式（1）のように、一般的なアレニウス式で表すことができる。 k_{ET} は電子（正孔）移動速度定数であり、Aは頻度因子（温度に無関係な定数）である。

$$[0138] \quad k_{ET} = A \exp(-\Delta E/RT) \quad \cdots (1)$$

Aは、非特許文献3に記載されているように、分子間の反応の場合では、 $1.0^{11} \text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$ とされている。この際、 ΔE の数値による速度定数の値を式（1）から算出した結果を下記に示す。

$$[0139] \quad \begin{aligned} \Delta E = 0.1 \text{ eV の場合、} & k_{ET} = 2.0 \times 10^9 \text{ s}^{-1} \\ \Delta E = 0.2 \text{ eV の場合、} & k_{ET} = 4.1 \times 10^7 \text{ s}^{-1} \\ \Delta E = 0.3 \text{ eV の場合、} & k_{ET} = 8.4 \times 10^5 \text{ s}^{-1} \\ \Delta E = 0.4 \text{ eV の場合、} & k_{ET} = 1.7 \times 10^4 \text{ s}^{-1} \\ \Delta E = 0.5 \text{ eV の場合、} & k_{ET} = 3.5 \times 10^2 \text{ s}^{-1} \\ \Delta E = 0.6 \text{ eV の場合、} & k_{ET} = 7.1 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

以上から、 ΔE が0.5 eV以内では、サブms（0.5 eV時、29 ms）

s) 以内で電子移動が第一発光層を構成するホスト材料から燐光発光材料へと分子間で進行するが、0.6 eVを超えると秒単位でしか電子移動が進行しないことが分かる。つまり、電子が0.5 eV以内の差であれば、アップヒルのエネルギー差であろうとも、電子移動が起こり得ると言える。

[0140] また、電場によって安定化されるエネルギー $[f(x)]$ は、下記式(2)のように表すことができる。具体的には、 V という電場をかけた際における距離 x の位置で電子が安定化するエネルギーである。なお、 q は素電荷(電子の電荷の絶対値)である。

[0141]
$$f(x) = -qVx \quad \dots (2)$$

つまり、式(2)から分かるように、電場をかけることで逆方向への電子(正孔)の移動は起こりにくくなり、あくまで電場の勾配に沿って電子(正孔)移動が起こりやすいと言える。すなわち、電場の影響で一度正孔が移されると、正孔は第一発光層から正孔輸送材料等の陽極側材料へ戻りにくく、第一発光層を構成するホスト材料から燐光発光材料へに移る方が優勢となる。

[0142] したがって、第一発光層を構成するホスト材料のHOMO準位と、燐光発光材料のHOMO準位との差を0.5 eV以内にすると、正孔が熱的に励起する確率が高くなり、正孔および電子が再結合する確率を高めることができる。また、第一発光層を構成するホスト材料のHOMO準位と、燐光発光材料のHOMO準位との差が0 eVよりも大きくすると、ホスト材料自体のHOMO準位とLUMO準位とのギャップを狭くすることが可能となり、デバイス自体の低電圧化も可能となる。

[0143] これと同様の理由により、第二発光層を構成するホスト材料のLUMO準位は、燐光発光材料のLUMO準位よりも浅いことが好ましく、その差は0 eVよりも大きく、0.5 eV以内であることが好ましい。

[0144] さらに、第一発光層のホスト材料のLUMO準位は、燐光発光材料のLUMO準位よりも浅く、その差が0.5 eVよりも大きく、0.7 eV以内であれば低電圧で駆動できることも実験的に確認できた。すなわち、0.5 e

$V < (|LUMO(\text{燐光発光材料})| - |LUMO(\text{第一発光層のホスト材料})|) \leq 0.7 \text{ eV}$ が好ましい。それにより、電子が第一発光層を構成するホスト材料から陽極側材料に移動し、低効率になることを防ぐことができる。

- [0145] 同様に、第二発光層を構成するホスト材料のHOMO準位は、燐光発光材料のHOMO準位よりも深く、その差が 0.5 eV よりも大きく、 0.7 eV 以内であれば低電圧で駆動できることが実験的に確認できた。すなわち、 $0.5 \text{ eV} < (|HOMO(\text{第二発光層のホスト材料})| - |HOMO(\text{燐光発光材料})|) \leq 0.7 \text{ eV}$ が好ましい。それにより、正孔が第二発光層を構成するホスト材料から陰極側材料に移動し、低効率になることを防ぐことができる。

産業上の利用可能性

- [0146] 本発明は、有機EL素子を用いた各種デバイスに利用することが可能であり、例えばテレビ等の表示装置等に利用することができる。

符号の説明

- [0147] 11, 21, 31 有機EL素子
 12, 22, 32 陽極
 13, 23, 33 正孔注入層
 14, 34 正孔輸送層
 15, 25, 35 発光層
 15a, 25a 第一発光層
 15b, 25b 第二発光層
 16, 36 電子輸送層
 17, 27, 37 電子注入層
 18, 28, 38 燐光発光材料の最高被占準位
 19, 29, 39 燐光発光材料の最低空準位
 30 陰極

請求の範囲

[請求項1]

陽極および陰極と、

上記陽極および上記陰極の間に形成され、発光層を少なくとも有している有機層とを基板上に備えた有機エレクトロルミネッセンス素子において、

上記発光層は、

上記陽極側に位置し、正孔輸送性ホストである第一ホスト材料からなる第一発光層と、

上記陰極側に位置し、電子輸送性ホストである第二ホスト材料からなる第二発光層とを備え、

上記第一ホスト材料および上記第二ホスト材料には、同一の有機発光材料がドーピングされており、

上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）は、下記の関係式（1）および（2）を満たすことを特徴とする有機エレクトロルミネッセンス素子。

(1) $0 \text{ eV} < (| \text{有機発光材料のHOMO} | - | \text{第一ホスト材料のHOMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$

(2) $0 \text{ eV} < (| \text{第二ホスト材料のLUMO} | - | \text{有機発光材料のLUMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$

[請求項2]

上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）は、下記の関係式（3）および（4）を満たすことを特徴とする請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

(3) $0.1 \text{ eV} \leq (| \text{有機発光材料のHOMO} | - | \text{第一ホスト材料のHOMO} |) \leq 0.3 \text{ eV}$

(4) $0.1 \text{ eV} \leq (| \text{第二ホスト材料のLUMO} | - | \text{有機発光材料のLUMO} |) \leq 0.3 \text{ eV}$

[請求項3] 上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）は、下記の関係式（5）～（8）を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

$$(5) \quad | \text{第一ホスト材料のLUMO} | < | \text{第二ホスト材料のLUMO} |$$

$$(6) \quad | \text{第一ホスト材料のLUMO} | < | \text{有機発光材料のLUMO} |$$

$$(7) \quad | \text{第二ホスト材料のHOMO} | > | \text{第一ホスト材料のHOMO} |$$

$$(8) \quad | \text{第二ホスト材料のHOMO} | > | \text{有機発光材料のHOMO} |$$

[請求項4] 上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）は、下記の関係式（9）および（10）の少なくともいずれか一方を満たすことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

$$(9) \quad 0.5 \text{ eV} < (| \text{有機発光材料のLUMO} | - | \text{第一ホスト材料のLUMO} |) \leq 0.7 \text{ eV}$$

$$(10) \quad 0.5 \text{ eV} < (| \text{第二ホスト材料のHOMO} | - | \text{有機発光材料のHOMO} |) \leq 0.7 \text{ eV}$$

[請求項5] 上記第一発光層を構成するホスト材料、および上記第二発光層を構成するホスト材料は、上記有機発光材料の励起三重項準位よりも高い励起三重項準位を有していることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

[請求項6] 上記有機層は、

上記陽極から上記有機層への正孔の注入を促進するドーパントがドーピングされた正孔注入層と、

上記陰極から上記有機層への電子の注入を促進するドーパントがドーピングされた電子注入層とを有していることを特徴とする請求項1～

5のいずれか1項に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

[請求項7] 上記正孔注入層と上記発光層との間には、上記ドーパントおよび上記有機発光材料がドーピングされていない領域があることを特徴とする請求項6に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

[請求項8] 上記電子注入層と上記発光層との間には、上記ドーパントおよび上記有機発光材料がドーピングされていない領域があることを特徴とする請求項7に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

[請求項9] 上記有機発光材料は、燐光発光材料であることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

[請求項10] 請求項1～9のいずれか1項に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子を薄膜トランジスタ基板上に形成した表示手段を備えることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンス表示装置。

[請求項11] 陽極および陰極と、

上記陽極および上記陰極の間に形成された発光層を少なくとも有している有機層とを基板上に備えた有機エレクトロルミネッセンス素子の製造方法において、

上記基板上に、上記陽極を形成する陽極形成工程と、

上記陽極上に、当該陽極から正孔が注入される正孔注入層を形成する正孔注入層形成工程と、

上記正孔注入層上に、上記陽極から上記有機層に注入される正孔を輸送する正孔輸送層を形成する正孔輸送層形成工程と、

上記正孔輸送層上に、上記発光層として、正孔輸送性ホストである第一ホスト材料からなる第一発光層を形成する第一発光層形成工程と、

上記第一発光層上に、上記発光層として、電子輸送性ホストである第二ホスト材料からなる第二発光層を形成する第二発光層形成工程と、

上記第二発光層上に、上記陰極から上記有機層に注入される電子を

輸送する電子輸送層を形成する電子輸送層形成工程と、

上記電子輸送層上に、上記陰極から電子が注入される電子注入層を形成する電子注入層形成工程と、

上記電子注入層上に、上記陰極を形成する陰極形成工程とを備え、

上記第一発光層形成工程および上記第二発光層形成工程において、上記第一ホスト材料および上記第二ホスト材料に同一の有機発光材料をドーピングし、なおかつ下記の関係式(11)～(16)を満たす最高被占準位(HOMO)および最低空準位(LUMO)をそれぞれ有している上記第一ホスト材料、上記第二ホスト材料、および上記有機発光材料を用いて、上記第一発光層および上記第二発光層を形成することを特徴とする有機エレクトロルミネッセンス素子の製造方法。

$$(11) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{有機発光材料のHOMO} | - | \text{第一ホスト材料のHOMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

$$(12) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{第二ホスト材料のLUMO} | - | \text{有機発光材料のLUMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

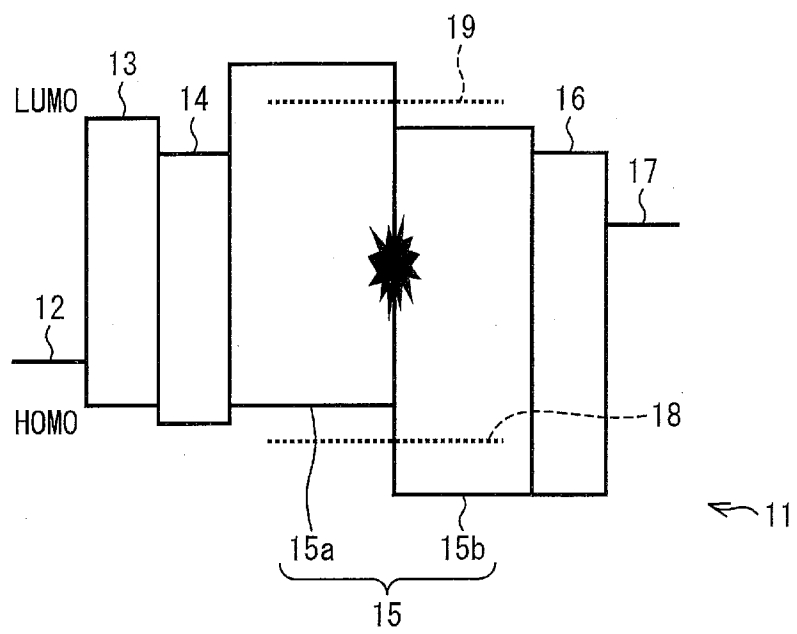
$$(13) \quad | \text{第一ホスト材料のLUMO} | < | \text{第二ホスト材料のLUMO} |$$

$$(14) \quad | \text{第一ホスト材料のLUMO} | < | \text{有機発光材料のLUMO} |$$

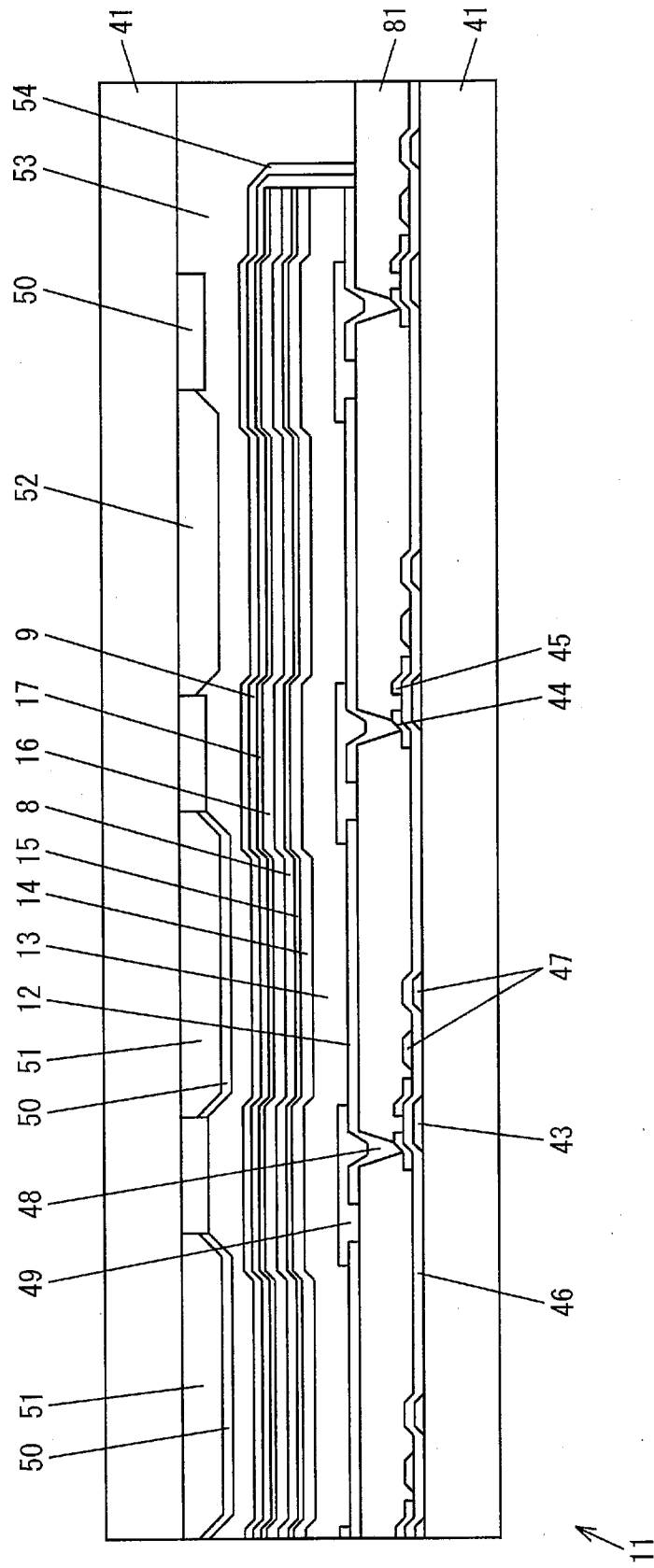
$$(15) \quad | \text{第二ホスト材料のHOMO} | > | \text{第一ホスト材料のHOMO} |$$

$$(16) \quad | \text{第二ホスト材料のHOMO} | > | \text{有機発光材料のHOMO} |$$

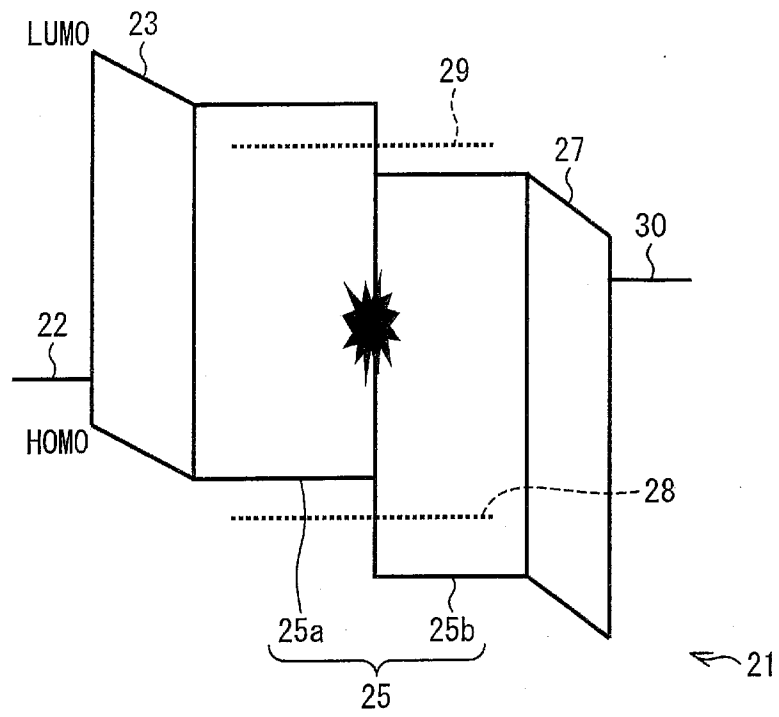
[図1]



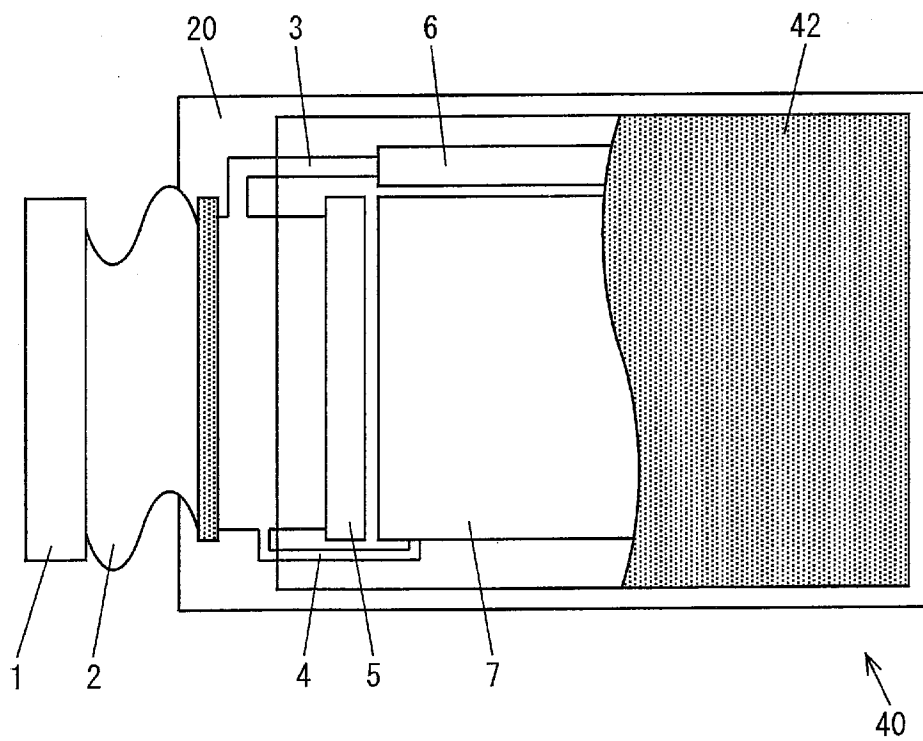
[図2]



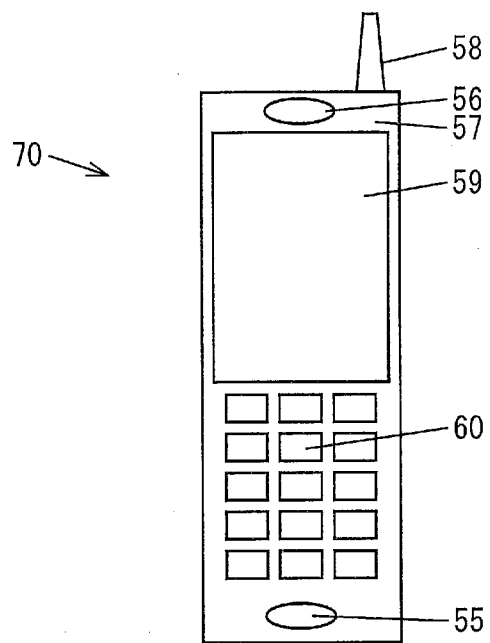
[図3]



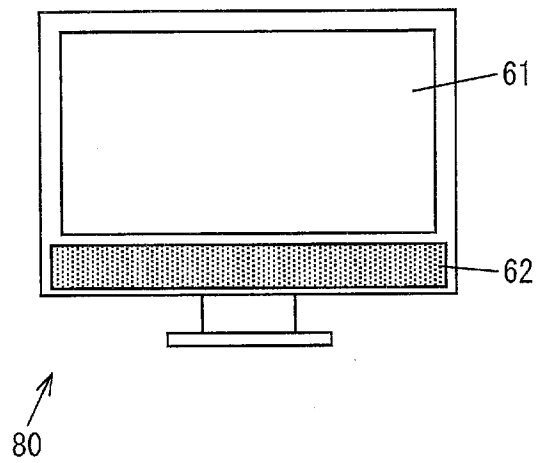
[図4]



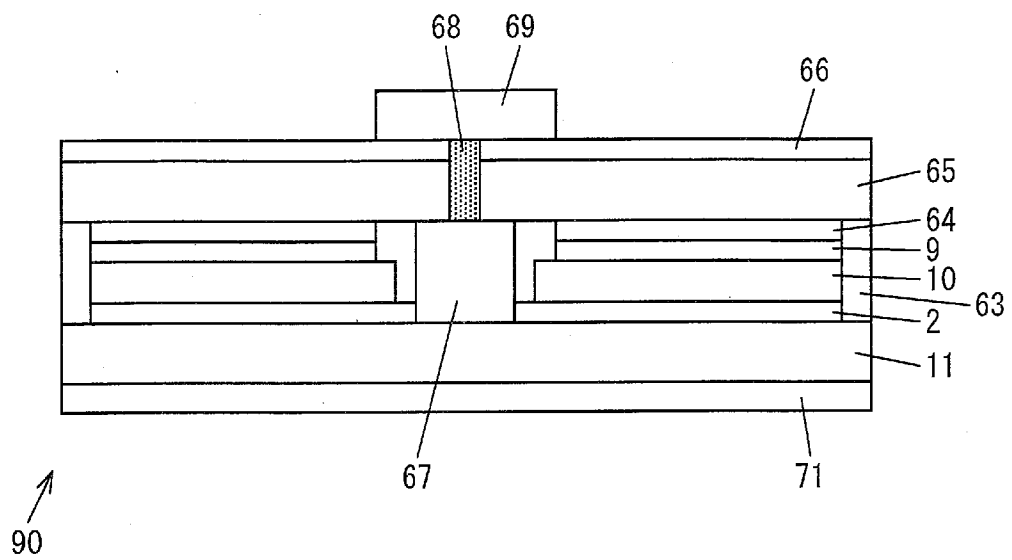
[図5]



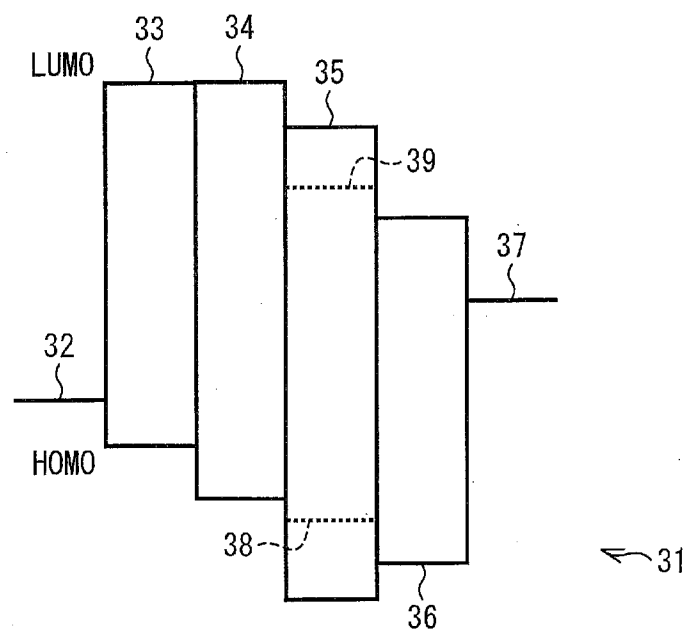
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/067883

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L51/50(2006.01)i, H05B33/10(2006.01)i, H05B33/12(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L51/50, H05B33/10, H05B33/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2007-251097 A (Konica Minolta Holdings, Inc.), 27 September 2007 (27.09.2007), paragraphs [0055] to [0066], [0084], [0118], [0135], [0167] to [0175], [0185] to [0191], [0212] to [0214]; fig. 3, 8 (Family: none)	1-4, 9-11 5-8
Y	WO 2006/070619 A1 (Konica Minolta Holdings, Inc.), 06 July 2006 (06.07.2006), paragraphs [0223] to [0274] (Family: none)	5-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 January, 2011 (07.01.11)Date of mailing of the international search report
25 January, 2011 (25.01.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/067883

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-147276 A (Canon Inc.), 02 July 2009 (02.07.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2008-277494 A (Canon Inc.), 13 November 2008 (13.11.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2006-100806 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 13 April 2006 (13.04.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2005-108572 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 21 April 2005 (21.04.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2005-203293 A (Mitsubishi Chemical Corp.), 28 July 2005 (28.07.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L51/50(2006.01)i, H05B33/10(2006.01)i, H05B33/12(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L51/50, H05B33/10, H05B33/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2007-251097 A（コニカミノルタホールディングス株式会社） 2007.09.27, 段落【0055】 - 【0066】 , 【0084】 , 【0118】 , 【0135】 , 【0167】 - 【0175】 , 【0185】 - 【0191】 , 【0212】 - 【0214】 , 【図 3】 , 【図 8】（ファミリーなし）	1-4, 9-11 5-8
Y	WO 2006/070619 A1（コニカミノルタホールディングス株式会社） 2006.07.06, 段落【0223】 - 【0274】（ファミリーなし）	5-8

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 1 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

2 5 . 0 1 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

濱野 隆

2 0

9 1 0 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 1

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-147276 A (キヤノン株式会社) 2009. 07. 02, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2008-277494 A (キヤノン株式会社) 2008. 11. 13, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2006-100806 A (三洋電機株式会社) 2006. 04. 13, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2005-108572 A (三洋電機株式会社) 2005. 04. 21, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2005-203293 A (三菱化学株式会社) 2005. 07. 28, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11