

(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

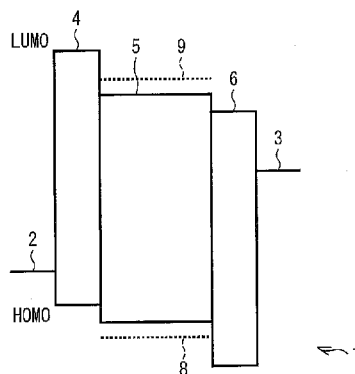
(10) 国際公開番号
WO 2011/065138 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 51/50 (2006.01) *H05B 33/10* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/067885
- (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 2009-270823 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 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, 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).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(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: For a light emitting layer (5) of an organic EL element (1), a host material having the highest occupied level which is less than a highest occupied level (8) of an organic light emitting material of which the light emitting layer (5) is made ($[HOMO \text{ of the host material}] < [HOMO \text{ of the organic light emitting material}]$) or a host material having the lowest unoccupied level which is more than a lowest unoccupied level (9) of the organic light emitting material ($[LUMO \text{ of the host material}] > [LUMO \text{ of the organic light emitting material}]$) is used. With this structure, it is possible to efficiently propagate holes and electrons to the light emitting layer (5) while keeping a hole mobility and an electron mobility of the host material of which the light emitting layer (5) is made to be high. As a result, it is possible to close both the holes and the electrons in the light emitting layer (5), which can increase a probability of recombining of the holes and the electrons with each other. Therefore, the internal quantum yield is increased, the light emitting efficiency is increased, and a drive voltage can be lowered.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2011/065138 A1



本発明に係る有機EL素子（１）の発光層（５）には、発光層（５）を構成する有機発光材料の最高被占準位（８）よりも浅い最高被占準位を有するホスト材料（ $| \text{ホスト材料のHOMO} | < | \text{有機発光材料のHOMO} |$ ）、または有機発光材料の最低空準位（９）よりも深い最低空準位を有するホスト材料（ $| \text{ホスト材料のLUMO} | > | \text{有機発光材料のLUMO} |$ ）を用いている。以上により、発光層（５）を構成するホスト材料の正孔移動度および電子移動度を高く保ち、正孔と電子とを発光層（５）に効率良く伝搬することができる。その結果、発光層（５）において正孔および電子を共に閉じ込めることができるので、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、内部量子収率は向上し、発光効率を向上させ、さらには駆動電圧を下げることもできる。

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、なおかつ低駆動電圧、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または正孔輸送層、あるいは正孔注入層と正孔輸送層との積層膜等が設けている。また、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または電子輸送層、あるいは電子輸送層と電子注入層との積層膜等を設けている。

[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９に示す。図９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 はワイドギャップであり、電子移動度および正孔移動度が低いため、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、図 10 を参照して説明する。図 10 は、二層構造の発光層 25 を有する有機 EL 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。図 10 に示すように、一対の電極の間に正孔注入層 23、第一発光層 25a、第二発光層 25b、および電子注入層 27 を順に形成した有機層を備えた有機 EL 素子 21 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 23 では DTASi (HOMO 準位 = 5.6 eV, LUMO 準位 = 2.2 eV) を用い、電子注入層 27 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 25a 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 25 b 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 25 a および第二発光層 25 b 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。この構成によれば、第一発光層 25 a および第二発光層 25 b 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 21 が得られる。したがって、有機 EL 素子 21 の発光層 25 を π 共役が比較的広がった分子構造にすることができ、発光層 25 において正孔および電子の移動度が向上させることができる。これより、1000 cd/m² における有機 EL 素子 21 の駆動電圧が 4.6 V と低く、発光効率が 22 cd/A と高い有機 EL 素子 21 が得られる。

先行技術文献

非特許文献

[0011] 非特許文献1: Applied Physics Letters 94, 083506, 2009

非特許文献2: 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

[0012] 上記した非特許文献 1 に開示されている有機 EL 素子 21 では、電子注入層 27 から第二発光層 25 b 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 21 では、発光ドーパントから第一発光層 25 a 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 25 a および第二発光層 25 b 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。

[0013] また、上記非特許文献 1 に開示されている有機 EL 素子 21 では、第一発光層 25a および第二発光層 25b の燐光発光材料として、スカイブルーに発光する Firpic を用いている。当該 Firpic の HOMO 準位 28 と LUMO 準位 29 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 HOMO 準位と LUMO 準位とのギャップは大きいいため、HOMO 準位と LUMO 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うという問題は依然残されたままである。

[0014] 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

[0015] 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ており、ホスト材料によって構成され、当該ホスト材料に有機発光材料がドーピングされている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であって、上記有機層は、上記陽極と上記発光層との間に、当該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と、上記陰極と上記発光層との間に、当該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とを備え、上記ホスト材料は、正孔輸送性材料であり、上記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している。

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

$$(2) \quad | \text{ホスト材料の LUMO} | < | \text{有機発光材料の LUMO} |$$

上記構成によれば、発光層を構成するホスト材料には、有機発光材料の最高被占準位よりも浅い最高被占準位を有する材料を用いている。これによれば、正孔輸送層から伝搬された正孔が電子輸送層に移動するのをブロックすることができる。その結果、正孔は発光層内に閉じ込められるので、発光層において正孔および電子が再結合する確率が高まり、有機エレクトロルミネッセンス素子（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。

[0016] 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、本発明によれば、青色燐光発光材料を用いた場合でも、正孔および電子を発光層内に閉じ込めることができる。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。

[0017] また、本発明に係る有機EL素子では、正孔輸送層、発光層、および電子輸送層の三層を少なくとも有していれば良いので、その層構成は単純である。したがって、本発明に係る有機EL素子の製造工程は複雑ではなく、簡易的に製造することができる。また、有機EL素子の層構成が単純なことから、正孔輸送層および電子輸送層等にドーパントを使用した構成等が適用しやすい。

[0018] 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ており、ホスト材料によって構成され、当該ホスト材料に有機発光材料がドーピングされている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であって、上記有機層は、上記陽極と上記発光層との間に、当該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と、上記陰極と上記発光層との間に、当該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とを備え、上記ホスト材料は、電

子輸送性材料であり、上記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（6）および（7）を満たすことを特徴としている。

$$(6) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{ホスト材料の LUMO} | - | \text{有機発光材料の LUMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

$$(7) \quad | \text{ホスト材料の HOMO} | > | \text{有機発光材料の HOMO} |$$

上記構成によれば、有機発光材料の最高被占準位よりも浅い最高被占準位を有し、かつ有機発光材料の最低空準位よりも深い最低空準位を有するホスト材料を必ずしも用いなくても良い。したがって、必ずしも両条件を満たしている必要はなく、少なくともいずれか一方の条件を満たしていれば良い。例えば、有機発光材料の最高被占準位よりも浅い最高被占準位を有しているが、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ているホスト材料を用いた発光層でも良い。逆に、有機発光材料の最低空準位よりも深い最低空準位を有しているが、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ホスト材料を用いた発光層も可能である。このように、いずれか一方の条件を満たしているだけでも、正孔および電子の再結合確率を十分に高めることができる。ただし、両方を満たしている方がより好ましい。

[0019] 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、上述したいずれか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ていることを特徴としている。

[0020] 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。

[0021] 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ており、ホスト材料によって構成され、当該ホスト材料に有機発光材料がドーピングされている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であって、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、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、上記発光層を形成する発光層形成工程と、上記発光層上に、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、上記陰極を形成する陰極形成工程とを備え、上記発光層形成工程において、上記ホスト材料として、正孔輸送性材料を用い、なおかつ下記の関係式（１１）および（１２）を満たす最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）をそれぞれ有する上記ホスト材料および上記有機発光材料を用いて上記発光層を形成することを特徴としている。

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

$$(12) \quad | \text{ホスト材料のLUMO} | < | \text{有機発光材料のLUMO} |$$

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ており、ホスト材料によって構成され、当該ホスト材料に有機発光材料がドーピングされている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であって、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、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、上記発光層を形成する発光層形成工程と、上記発光層上に、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、上記陰極を形成する陰極形成工程とを備え、上記発光層形成工程において、上記ホスト材料として、電子輸送性材料を用い、なおかつ下記の関係式（１３）および（１４）を満たす最高被占準位（HOMO）および最低空準位（LUMO）をそれぞれ有する上記ホスト材料および上記有機発光材料を用いて、上記発光

層を形成することを特徴としている。

$$(13) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{ホスト材料のLUMO} | - | \text{有機発光材料のLUMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

$$(14) \quad | \text{ホスト材料のHOMO} | > | \text{有機発光材料のHOMO} |$$

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。

[0022] 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

[0023] 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電子輸送層に移動する正孔を減らし、正孔と再結合しないで正孔輸送層に移動する電子を減らすことが可能となる。その結果、発光層において正孔および電子を共に閉じ込めることができるので、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、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

[0024] [図1]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3]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の断面を示す図である。

[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

えた携帯電話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8]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9]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。

[図10]二層構造の発光層を有する有機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。

発明を実施するための形態

[0025] (有機EL素子1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4を参照して以下に説明する。図4は、有機EL素子1の断面を示す図である。

[0026] 図4に示すように、有機EL素子1は、絶縁性基板1上に、ゲート電極15、ドレイン電極16、ソース電極17、およびゲート絶縁膜18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11からTFTにかけて、接続配線19が形成されている。

[0027] 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40が形成されている。TFTのドレイン電極15は、該コンタクトホール40を介して陽極2と電氣的に接続されている。隣り合う陽極2の間には、エッジカバー41が設けられており、陽極2のTFTとは反対側の位置には、正孔注入層12、正孔輸送層4、発光層5、正孔ブロッキング層13、電子輸送層6、および電子注入層14からなる有機層、および陰極3が形成されている。陰極3の上は、無機封止膜46によって覆われており、該無機封止膜46によって陽極2、有機層、および陰極3は封止される

。

[0028] 一方、TFTが形成された絶縁性基板11に対向する絶縁性基板11には、光吸収層42、蛍光体層43、および散乱体層44が形成されている。そして、2つの絶縁性基板11の間には、樹脂封止膜45が形成されている。

[0029] なお、本実施形態に係る有機EL素子1は、発光層5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。また、発光層5内に正孔および電子を確実に閉じ込められ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5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。

[0030] （有機層の構成）

有機EL素子1の有機層の構成について、図1～図3を参照して説明する。図1は、有機EL素子1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は、有機EL素子1a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3は、有機EL素子1b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。

[0031] 上述したように、有機EL素子1の有機層は正孔輸送層4、発光層5、および電子輸送層6を順に形成したものである。発光層5には、燐光発光材料（有機発光材料）がドーピングされている。陽極2から注入された正孔を正孔輸送層4が発光層5にまで伝搬する。一方、陰極3から注入された電子を電子輸送層6が発光層5にまで伝搬する。発光層5において、正孔輸送層4から伝搬された正孔、および電子輸送層6から伝搬された電子が再結合をすることによって、有機EL素子1は発光する。

[0032] この際、本実施形態に係る有機EL素子1では、正孔および電子が発光層5に確実に伝搬されるようにしている。具体的には、図1に示すように、発光層5を構成するホスト材料には、燐光発光材料のHOMO準位8よりも浅いHOMO準位を有し、かつ燐光発光材料のLUMO準位9よりも深いLUMO準位を有している。

MO準位を有する材料を用いている。これによれば、正孔輸送層4から伝搬された正孔が電子輸送層6に移動するのをブロックすることができる。同様に、電子輸送層6から伝搬された電子が正孔輸送層4に移動するのをブロックすることができる。その結果、正孔および電子は発光層5内に閉じ込められるので、発光層5において正孔および電子が再結合する確率が高まり、有機EL素子1の駆動電圧を低下することができる。また、発光層5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。

[0033] なお、発光層5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8との差は0.5 eV以内であることが好ましい。これは、有機EL素子1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、発光層5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8との差を0.5 eVよりも大きくすると、発光層5において正孔が熱的に励起できる確率が低くなってしまう。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、正孔が発光層5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、発光層5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8との差が0.5 eV以内であると、発光層5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。

[0034] また、発光層5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8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。

[0035] 同様に、発光層5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9との差は0.5 eV以内であることが好ましい。この値は

、先ほど、発光層 5 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 8 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、電子が発光層 5 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、発光層 5 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 9 との差が 0.5 eV 以内であると、発光層 5 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。

[0036] また、発光層 5 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 9 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。

[0037] しかし、必ずしも両条件を満たしている必要はなく、少なくともいずれか一方の条件を満たしていれば良い。例えば、図 2 に示すような、燐光発光材料の HOMO 準位 8 よりも浅い HOMO 準位を有しているが、燐光発光材料の LUMO 準位 9 よりも浅い LUMO 準位を有しているホスト材料を用いた発光層 5 を有する有機 EL 素子 1 a でも良い。逆に、図 3 に示すような、燐光発光材料の LUMO 準位 9 よりも深い LUMO 準位を有しているが、燐光発光材料の HOMO 準位 8 よりも深い HOMO 準位を有しているホスト材料を用いた発光層 5 を有する有機 EL 素子 1 b も可能である。このように、いずれか一方の条件を満たしているだけでも、正孔および電子の再結合確率を十分に高めることができる。

[0038] なお、正孔輸送層 4 を構成する正孔輸送性材料には、発光層 5 を構成するホスト材料の LUMO 準位、および燐光発光材料の LUMO 準位 9 よりも、浅い LUMO 準位を有する材料を用いることが好ましい。これによれば、発光層 5 に伝搬された電子が正孔輸送層 4 に移動するのをブロックすることができる。さらには、正孔輸送層 4 を構成する材料の LUMO 準位と、燐光発光材料の LUMO 準位 9 との差、および正孔輸送層 4 を構成する材料の LUMO 準位と、発光層 5 のホスト材料の LUMO 準位との差は 0.5 eV より

大きくすることが好ましい。これによれば、上述したように、正孔輸送層 4 を構成する材料の LUMO と、燐光発光材料の LUMO 準位 9 との差を 0.5 eV より大きくすると、発光層 5 と正孔輸送層 4 との境界において、電子が熱的に励起することができる確率を低く抑えることができる。

正孔輸送層 4 を構成する材料の LUMO 準位と、発光層 5 のホスト材料の LUMO 準位との差は 0.5 eV より大きくした場合にも同様である。したがって、以上より、電子が正孔輸送 4 側に移動するのを防ぐことができる。

[0039] 同様に、電子輸送層 6 を構成する電子輸送性材料には、発光層 5 を構成するホスト材料の HOMO 準位、および燐光発光材料の HOMO 準位 8 よりも、深い HOMO 準位を有する材料を用いることが好ましい。これによれば、発光層 5 に伝搬された正孔が電子輸送層 6 に移動するのをブロックすることができる。さらには、電子輸送層 6 を構成する材料の HOMO 準位と、燐光発光材料の HOMO 準位 8 との差、および電子輸送層 6 を構成する材料の HOMO 準位と、発光層 5 のホスト材料の HOMO 準位との差は 0.5 eV より大きいことが好ましい。これによれば、上述したように、電子輸送層 6 を構成する材料の HOMO と、燐光発光材料の HOMO 準位 8 との差を 0.5 eV より大きくすると、発光層 5 と電子輸送層 6 との境界において、正孔が熱的に励起することができる確率を低く抑えることができる。電子輸送層 6 を構成する材料の HOMO 準位と、発光層 5 のホスト材料の HOMO 準位との差は 0.5 eV より大きくした場合にも同様である。したがって、以上より、正孔が電子輸送 6 側に移動するのを防ぐことができる。

[0040] 以上では、正孔輸送層 4 を構成する材料、および電子輸送層 6 を構成する材料として好ましい材料について述べた。しかし、正孔輸送層 4 および電子輸送層 6 共にそれぞれ上記条件を満たす材料を必ずしも用いなくても良い。例えば、発光層 5 において正孔および電子が再結合する位置（発光する位置）が、正孔輸送層 4 側および電子輸送層 6 側のいずれに偏っているかに応じて、キャリア（正孔または電子）の移動をブロックさせる輸送層を適宜決定すれば良い。このように、いずれか一方の輸送層にキャリアをブロックする

ことができる材料を用いるだけでも、十分にその効果を発揮することができる。

[0041] さらに、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5に用いる燐光発光材料の励起三重項準位 (T_1) よりも大きい T_1 を有する材料を正孔輸送層4に用いるのが好ましい。同様に、発光層5に用いる燐光発光材料の T_1 よりも大きい T_1 を有する材料を電子輸送層6に用いるのが好ましい。ただし、正孔輸送層4を構成する材料、および電子輸送層6を構成する材料が、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。これは、正孔輸送層4を構成する材料、および電子輸送層6を構成する材料の T_1 と、燐光発光材料の T_1 との差が0.1 eV以内であれば、励起エネルギーの移動過程が電子交換的に起こるためである。その結果、燐光発光材料と、当該燐光発光材料の周辺材料（正孔輸送性材料、電子輸送性材料、またはホスト材料等）との間で電子交換をして元の状態に戻り得る。したがって、正孔輸送層を構成する材料、および電子輸送層6を構成する材料として、燐光発光材料の T_1 よりも0.1 eV程度小さい T_1 を有している材料も、適用可能である。

[0042] 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、上記正孔輸送層は、上記有機発光材料の励起三重項準位よりも大きい励起三重項準位を有する材料、または上記有機発光材料の励起三重項準位よりも小さく、当該有機発光材料の励起三重項準位との差が0.1 eV以内である励起三重項準位を有する材料によって構成されていることを特徴としている。

[0043] 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、上記電子輸送層は、上記有機発光材料の励起三重項準位よりも大きい励起三重項準位を有する材料、または上記有機発光材料の励起三重項準位よりも小さく、当該有機発光材料の励起三重項準位との差が0.1 eV以内である励起三重項準位を有する材料によって構成されていることを特徴としている。

[0044] 以上より、本実施形態に係る有機EL素子1では、燐光発光材料のHOM

○準位 8 と LUMO 準位 9 とを考慮して発光層 5 に用いるホスト材料を決定している。これによって、当該発光層 5 に伝搬された正孔が電子輸送層 6 に移動するのを防ぐことができる。同様に、当該発光層 5 に伝搬された電子が正孔輸送層 4 に移動するのを防ぐことができる。その結果、正孔および電子を発光層 5 内に閉じ込めることができるので、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 1 では、正孔および電子の再結合確率が高まることから、有機 EL 素子 1 の駆動電圧を低下することができる。また、発光層 5 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。

[0045] 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、正孔および電子を発光層 5 内に閉じ込めることができる。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 1 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。

[0046] (有機 EL 素子 1 の基板)

以下では、有機 EL 素子 1 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 1 は、基板（図示せず）上に形成された陽極 2 と陰極 3 との間に、正孔輸送層 4、発光層 5、および電子輸送層 6 からなる有機層を備えている。

[0047] まず、基板について説明する。有機 EL 素子 1 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 1 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。

[0048] 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。

[0049] なお、有機EL素子1の発光層5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1の発光層5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。

[0050] (有機EL素子1の電極)

次に電極について説明する。有機EL素子1を構成する電極は、陽極2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1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。

[0051] 陽極2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。

[0052] 一方、陰極3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。

[0053] なお、有機EL素子1の発光層5から発した光を、陽極2および陰極3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。

[0054] (有機EL素子1の有機層)

続いて有機層について説明する。当該有機層は、正孔輸送層4、発光層5、および電子輸送層6を有している。

[0055] まず発光層5について述べる。上述したように、発光層5には燐光発光材料がドーピングされている。発光層5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。

[0056] 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, T_1 =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)、イリジウム(III)トリス[N-(4'-シアノフェニル)-N'-メチルイミダゾール-2-イリデン-C2, C2']($\text{Ir}(\text{cn-pmic})_3$)、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 $\text{Ir}(\text{cnbic})_3$ 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。

[0057] 上述したように、正孔輸送層4から伝搬された正孔が電子輸送層6に移動するのを防ぐために、発光層5を構成するホスト材料には、発光層5の燐光発光材料のHOMO準位8よりも浅いHOMO準位を有する材料を用いる。また、電子輸送層6から伝搬された電子が正孔輸送層4に移動するのを防ぐために、発光層5を構成するホスト材料には、発光層5の燐光発光材料のLUMO準位9よりも深いLUMO準位を有する材料を用いる。このようなホスト材料としては、例えば、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)、4, 4', 4"-トリス(カルバゾルー9-イル)トリフェニルアミン(TCTA)(HOMO準位=5.8 eV, LUMO準位=2.7 eV, $T_1=2.85$ eV)等を用いることができるが、必ずしもこれらに限定されるわけではない。例えば、有機EL素子1に用いるホスト材料は、当該有機EL素子1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用いれば良い。したがって、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。

[0058] 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5に用いる燐光発光材料の T_1 よりも大きい T_1 を有しているホスト材料を用いることが好ましい。ただし、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。

[0059] なお、上述したように、有機EL素子1に用いるホスト材料は、発光層5の燐光発光材料のHOMO準位8よりも浅いHOMO準位を有し、かつ燐光発光材料のLUMO準位9よりも深いLUMO準位を有するという両条件を満たしている必要はない。少なくともいずれか一方の条件を満たしていれば良い。したがって、図2に示した有機EL素子1aのように、発光層5の燐光発光材料のHOMO準位8よりも浅いHOMO準位を有しているが、燐光発光材料のLUMO準位9よりも浅いLUMO準位を有しているホスト材料を用いても良い。この場合には、発光層5を構成するホスト材料として、従来正孔輸送性材料として用いているホスト材料のHOMO準位およびLUMO準位と類似したHOMO準位およびLUMO準位を有する材料を用いることが好ましい。これによって、電子を発光層5内に閉じ込めることができる。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5に

用いる燐光発光材料の T_1 よりも大きい T_1 を有している材料を用いることが好ましい。ただし、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も、適用可能である。

[0060] 例えば、発光層5を構成するホスト材料として、CzSi、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Ad-Cz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。例えば、有機EL素子1aに用いるホスト材料は、当該有機EL素子1a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用いれば良い。したがって、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。

[0061] 一方、図3に示した有機EL素子1bのように、発光層5の燐光発光材料のLUMO準位9よりも深いLUMO準位を有しているが、燐光発光材料のHOMO準位8よりも深いHOMO準位を有しているホスト材料を用いても良い。この場合には、発光層5を構成するホスト材料として、従来電子輸送性材料として用いているホスト材料のHOMO準位およびLUMO準位と類似したHOMO準位およびLUMO準位を有する材料を用いることが好ましい。これによって、正孔を発光層5内に閉じ込めることができる。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5に用いる燐光発光材料の T_1 よりも大きい T_1 を有している材料を用いることが好ましい。ただし、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も、適用可能である。

[0062] 例えば、発光層5を構成するホスト材料として、トリス（2,4,6-トリメチル-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。例えば、有機EL素子1bに用いるホスト材料は、当該有機EL素子1b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用いれば良い。したがって、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。

[0063] 次に、正孔輸送層4について説明する。正孔輸送層4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、ジ-[4-(N,N-ジトリルアミノ)-フェニル]シクロヘキサン(TAPC)(HOMO準位=5.5 eV, LUMO準位=1.8 eV, $T_1=2.87$ eV)、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ル-2-イリデン-C2,C2']($\text{Ir}(\text{dpbic})_3$)、4,4',4''-トリス-(N-カルバゾリル)-トリフェニルアミン(TCTA)、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)、mCP、またはAd-Cz等が適用可能である。なお、本実施形態では、正孔輸送層4を構成する材料として、発光層5のホスト材料と同一のものを用いても、異なるものを用いても良い。ただし、正孔輸送層4を構成する材料として、発光層5のホスト材料と同一のものを用いる場合には、発光層5のホスト材料のHOMO準位が、当該発光層5の燐光発光材料のHOMO準位8よりも浅い必要がある。これによれば、有機EL素子1に使用する材料を削減すること

ができ、製造コストを低減することができる。

[0064] また、正孔輸送層 4 の正孔輸送を促進させる目的で当該正孔輸送層 4 に、テトラフルオロテトラシアノキノジメタン (TCNQF_4) 等の p-ドーパントをドーピングしても良い。これによれば、有機 EL 素子 1 の駆動電圧をより一層抑えることができる。

[0065] 上述したように、正孔輸送層 4 を構成する正孔輸送性材料は、発光層 5 に用いる燐光発光材料の T_1 よりも大きい T_1 を有していることが好ましい。発光層 5 に用いる燐光発光材料の T_1 よりも小さい T_1 を有する正孔輸送性材料を用いる場合には、燐光発光材料中に励起エネルギーを閉じ込める構造にすることが好ましい。具体的には、正孔輸送層 4 と発光層 5 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 5 と正孔輸送層 4 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 5 から正孔輸送層 4 へのエネルギーのロスを防ぐことができる。

[0066] 続いて、電子輸送層 6 について説明する。電子輸送層 6 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-フェニルベンジミダゾール-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)、3TPYMB、またはTmTyPB等が適用可能である。なお、本実施形態では、電子輸送層 6 を構成する材料として、発光層 5 のホスト材料と同一のものを用いても、異なるものを用いても良い。ただし、電子輸送層 6 を構成する材料として、発光層 5 のホスト材料と同一のものを

用いる場合には、発光層 5 のホスト材料の LUMO 準位が、当該発光層 5 の燐光発光材料の LUMO 準位 9 よりも深い必要がある。これによれば、有機 EL 素子 1 に使用する材料を削減することができ、製造コストを低減することができる。

[0067] また、電子輸送層 6 の電子輸送を促進させる目的で当該電子輸送層 6 に、炭酸セシウム (Cs_2CO_3) 等の n-ドーパントをドーピングしても良い。これによれば、有機 EL 素子 1 の駆動電圧をより一層抑えることができる。

[0068] 上述したように、電子輸送層 6 を構成する電子輸送性材料は、発光層 5 に用いる燐光発光材料の T_1 よりも大きい T_1 を有していることが好ましい。発光層 5 に用いる燐光発光材料の T_1 よりも小さい T_1 を有する電子輸送性材料を用いる場合には、燐光発光材料中に励起エネルギーを閉じ込める構造にすることが好ましい。具体的には、電子輸送層 6 と発光層 5 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、正孔ブロッキング層として働き、発光層 5 と電子輸送層 6 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 5 から電子輸送層 6 へのエネルギーのロスを防ぐことができる。

[0069] (有機 EL 素子 1 の製造工程)

有機 EL 素子 1 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。

[0070] 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 2、有機層、および陰極 3 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 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 2 上に有機層の各層を形成していく。なお、陽極 2 周辺の絶縁性を確保するために、陽極 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。

[0071] そして、正孔輸送層 4 を形成する（正孔輸送層形成工程）。陽極 2 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 4 の膜厚は、50 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 4 を形成する。

[0072] 次に発光層 5 を形成する。具体的には、正孔輸送層 4 上に発光層 5 用のホスト材料と、燐光発光材料とを共蒸着させる（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、発光層 5 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。

[0073] 続いて電子輸送層 6 を形成する（電子輸送層形成工程）。発光層 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 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 6 を形成する。

[0074] 最後に、陰極を形成する（陰極形成工程）。電子輸送層 6 上に陰極をパターン形成し、有機 EL 素子 1 は完成する。このようにして、本実施形態に係る有機 EL 素子 1 は形成される。なお、本実施形態に係る有機 EL 素子 1 では、正孔輸送層 4、発光層 5、および電子輸送層 6 の三層を少なくとも有していれば良いので、その層構成は単純である。したがって、有機 EL 素子 1 の製造工程は複雑ではなく、簡易的に製造することができる。また、有機 EL 素子 1 の層構成が単純なことから、正孔輸送層 4 および電子輸送層 6 等にドーパントを使用した構成等が適用しやすい。

[0075] 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。

[0076] 例えば、上記実施形態では、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 1 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。

[0077] また、本実施形態に係る有機 EL 素子 1 を備えた表示手段を有する有機 EL

Ｌ表示装置を実現することも可能である。その具体例を、図５に示す。図５は、有機ＥＬ素子１を備えた有機ＥＬ表示装置２０の概略を示す図である。

[0078] 図５に示すように、有機ＥＬ素子１を備えた有機ＥＬ表示装置２０は、基板７２上に、画素部５３、ゲート信号側駆動回路５０、データ信号側駆動回路４９、配線５１、電流供給線５２、封止基板５４、ＦＰＣ（Flexible Printed Circuits）４７、および外部駆動回路４８を有している。

[0079] 外部駆動回路４８は、画素部５３の走査ライン（走査線）をゲート信号側駆動回路５０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４９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５０が走査線を順次駆動し、データ信号側駆動回路４９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。

[0080] 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６および図７に示す。図６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７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。

[0081] 図６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１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。

[0082] また、図７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。

[0083] 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。

[0084] なお、以上では、本実施形態に係る有機 EL 素子 1 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 1 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 8 に示す。図 8 は、有機 EL 素子 1 を備えた照明装置 90 の概略を示す図である。

[0085] 図 8 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 3、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。

[0086] 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。

[0087] 〔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、上記電子輸送層を構成する材料、上記ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位 (HOMO) 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) $0.5 \text{ eV} < (| \text{電子輸送層を構成する材料の HOMO} | - | \text{ホスト材料の HOMO} |)$

(4) $0.5 \text{ eV} < (| \text{電子輸送層を構成する材料の HOMO} | - | \text{有機発光材料の HOMO} |)$

上記構成によれば、ホスト材料および有機発光材料には、電子輸送層を構成する材料よりも、 0.5 eV 深い最高被占準位を有する材料を用いている

$[0.5 \text{ eV} < (| \text{電子輸送層を構成する材料の HOMO} | - | \text{ホスト材料の HOMO} |)]$ かつ $0.5 \text{ eV} < (| \text{電子輸送層を構成する材料の HOMO}$

| - | 有機発光材料のHOMO |)] 。これによれば、正孔輸送層から伝搬された正孔が電子輸送層に移動するのをブロックすることができる。また、電子輸送層を構成する材料の正孔移動度が $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下であると、電子輸送層内に正孔が入り込まず、発光層の電子輸送層側で発光させることができる。その結果、正孔は発光層内に閉じ込められるので、発光層において正孔および電子が再結合する確率が高まり、有機エレクトロルミネッセンス素子（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。

[0088] 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、上記電子輸送層は、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する材料、または上記有機発光材料の励起三重項準位よりも小さく、当該有機発光材料の励起三重項準位との差が 0.1 eV 以内である励起三重項準位を有する材料によって構成されていることを特徴している。

[0089] 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。

[0090] 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、上記電子輸送層を構成する材料の正孔移動度 (μ_{H}) は、下記の関係式 (5) を満たすことを特徴としている。

$$(5) \mu_{\text{H}} \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

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、上記正孔輸送層を構成する材料、上記ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最低空準位 (LUMO) は、下記の関係式 (8) および (9) を満たすことを特徴としている。

$$(8) 0.5 \text{ eV} < (| \text{ホスト材料のLUMO} | - | \text{正孔輸送層を構成する材料のLUMO} |$$

$$(9) 0.5 \text{ eV} < (| \text{有機発光材料のLUMO} | - | \text{正孔輸送層を構成す}$$

る材料のLUMO |

上記構成によれば、発光層に伝搬された電子が正孔輸送層に移動するのをブロックすることができる。また、正孔輸送材料の電子移動度が $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下であると、正孔輸送層内に電子が入り込まず、発光層の正孔輸送層側で発光させることができる。

[0091] 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、上記正孔輸送層は、上記有機発光材料の励起三重項準位よりも大きい励起三重項準位を有する材料、または上記有機発光材料の励起三重項準位よりも小さく、当該有機発光材料の励起三重項準位との差が 0.1 eV 以内である励起三重項準位を有する材料によって構成されていることを特徴としている。

[0092] 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。

[0093] 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、上記正孔輸送層を構成する材料の電子移動度 (μ_E) は、下記の関係式 (10) を満たすことを特徴としている。

$$(10) \mu_E \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

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、上記正孔輸送層と上記発光層との間には、上記有機発光材料がドーパされていない領域があることを特徴としている。

[0094] 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、上記電子輸送層と上記発光層との間には、上記有機発光材料がドーパされていない領域があることを特徴としている。

[0095] 上記構成によれば、発光層と正孔輸送層との間の有機発光材料がドーパされていない領域は、電子のブロッキング層として働く。これより、発光層と正孔輸送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、発光層から正孔輸送層への

エネルギーのロスを防ぐことができる。同様に、発光層と電子輸送層との間の有機発光材料がドーピングされていない領域も、発光層から電子輸送層へのエネルギーのロスを防ぐことができる。

[0096] 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、上記正孔輸送層には、正孔の輸送を促進するドーパントがドーピングされていることを特徴としている。

[0097] 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、上記電子輸送層には、電子の輸送を促進するドーパントがドーピングされていることを特徴としている。

[0098] 上記構成によれば、陽極から注入される正孔の発光層への輸送が促進され、陰極から注入される電子の発光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。

[0099] 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、上記ホスト材料は、上記正孔輸送層を構成する材料と同一種類の材料であることを特徴としている。

[0100] 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、上記ホスト材料は、上記電子輸送層を構成する材料と同一種類の材料であることを特徴としている。

[0101] 上記構成によれば、有機EL素子に使用する材料を削減することができ、製造コストを低減することができる。

[0102] 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。

[0103] 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。

[0104] 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

[0105] 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。

[0106] (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製作した。

[0107] 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。

[0108] 続いて、陽極上にジ－[4－（N，N－ジトリル－アミノ）－フェニル]シクロヘキサン（TAPC）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 50 nm の正孔輸送層を形成した。

[0109] その後、正孔輸送層上に、9－（4－テルト－ブチルフェニル）－3，6－ビス（トリフェニルシリル）－9H－カルバゾール（CzSi）と、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）とを真空蒸着法によって共蒸着した。この際、CzSi 中に FIr6 が 7.5% 程度含まれるようにドーパ

した。このようにして、正孔輸送層上に膜厚 30 nm の発光層を形成した。

[0110] そして、発光層上に、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）を真空蒸着法によって蒸着した。このようにして、発光層上に膜厚 30 nm の電子輸送層を形成した。

[0111] 次に、電子輸送層上にフッ化リチウム（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 膜上にアルミニウム（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。

[0112] 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 $10 \text{ cd} / \text{A}$ となり、寿命 T_{50} は 1000 h と良好な値を示した。

[0113] （実施例 2）

有機層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、正孔輸送層を形成する工程から説明する。

[0114] 本実施例では、陽極上に、TAPC を真空蒸着法によって蒸着した。このようにして、陽極上に膜厚 20 nm の正孔注入層を形成した。

[0115] 次に、正孔注入層上に、1，3-ビス（カルバゾール-9-イル）ベンゼン（mCP）を真空蒸着法によって蒸着した。このようにして、正孔注入層上に膜厚 30 nm の正孔輸送層を形成した。

[0116] 続いて、正孔輸送層上に、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）と、FIr6 とを真空蒸着法によって共蒸着した。この際、PPT 中に FIr6 が 7.5% 程度含まれるようにドープした。このようにして、正孔輸送層上に膜厚 30 nm の発光層を形成した。

[0117] そして、発光層上に、3TPYMB を真空蒸着法によって蒸着した。このようにして、発光層上に膜厚 10 nm の電子輸送層を形成した。

[0118] その後、電子輸送層上に、3TPYMB と、炭酸セシウム（ Cs_2CO_3 ）

とを真空蒸着法によって光蒸着した。この際、3TPYMB中に Cs_2CO_3 が30%程度含まれるようにドーブした。このようにして、電子輸送層上に膜厚20nmの電子注入層を形成した。

[0119] 次に、電子注入層上に、Alを用いて膜厚100nmのAl膜を形成した。このようにして、Al膜を陰極として形成し、有機EL素子を作製した。

[0120] 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 $8\text{cd}/\text{A}$ となり、寿命 T_{50} は800hと良好な値を示した。

[0121] 上術した2つの実施例では、発光層のホスト材料には、当該発光層に用いる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の最高被占準位（HOMO準位）よりも浅いHOMO準位を有するCzSiを発光層のホスト材料として用いている。また、正孔輸送層を構成するTAPCは、FIr6およびCzSiのLUMO準位よりも浅いLUMO準位を有している。これより、正孔輸送層から伝搬された正孔が電子輸送層に移動するのをより一層抑えることができる。同様に、電子輸送層を構成する3TPYMBは、FIr6およびCzSiのHOMO準位よりも深いHOMO準位を有している。これより、電子輸送層から伝搬された電子が正孔輸送層に移動するのを抑えることができる。以上の結果、電子と再結合しないで電子輸送層に移動する正孔を減らし、正孔と再結合しないで正孔輸送層に移動する電子を減らすことが可能となる。その結果、発光層において正孔および電子を閉じ込めることができるので、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、実施例1に係る有機EL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。

[0122] ここで、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。

[0123] $k_{ET} = A \exp(-\Delta E/RT) \quad \dots (1)$

A は、非特許文献2に記載されているように、分子間の反応の場合では、

$1.0 \times 10^{11} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 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。

- [0124] $\Delta E = 0.1 \text{ eV}$ 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、 $k_{ET} = 7.1 \text{ s}^{-1}$

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

- [0125] 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。

[0126] $f(x) = -qVx \quad \dots (2)$

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。

- [0127] 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。

[0128] 一方、実施例2では、正孔注入層を構成する材料として、実施例1と同じTAPCを用いた。さらに、正孔輸送層にはTAPCおよびFIr6、またTAPCおよび3TPYMBの中間のHOMO準位を有する材料としてmCPを用いた。これより、正孔を効率良く発光層に伝搬することができる。また、発光層を構成するホスト材料として、FIr6のLUMO準位よりも深いLUMO準位を有する3TPYMBを用いた。さらに、電子注入層には、nドーパントとしてCs₂CO₃をドーブした。これより、陰極からの電子注入性を上げることができる。また、nドーパントがドーブされている電子注入層と、発光層との間には、3TPYMBによって構成された電子輸送層を形成することによって、nドーパントが発光層に接することによる有機EL素子の劣化を防ぐことができる。以上より、電子を効率よく発光層に伝搬することができるので、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、実施例2に係る有機EL素子では、電流効率および寿命T₅₀共に良好な値を示した。なお、実施例2では、発光層を構成するホスト材料と同一の材料を用いて電子輸送層を形成した。ここで、発光層を構成するホスト材料と異なる材料を用いて電子輸送層を形成しても、実施例2と同様の効果が得られる。

産業上の利用可能性

[0129] 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

[0130] 1, 1a, 1b, 21, 31 有機EL素子
2, 22, 32 陽極
3, 30 陰極
4, 34 正孔輸送層

- 5, 2 5, 3 5 発光層
- 6, 3 6 電子輸送層
- 8, 2 8, 3 8 燐光発光材料の最高被占準位
- 9, 2 9, 3 9 燐光発光材料の最低空準位
- 2 5 a 第一発光層
- 2 5 b 第二発光層
- 2 3, 3 3 正孔注入層
- 2 7, 3 7 電子注入層

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ており、ホスト材料によって構成され、当該ホスト材料に有機発光材料がドーピングされている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であって、

上記有機層は、

上記陽極と上記発光層との間に、当該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と、

上記陰極と上記発光層との間に、当該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とを備え、

上記ホスト材料は、正孔輸送性材料であり、

上記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。

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

$$(2) \ | \text{ホスト材料のLUMO} | < | \text{有機発光材料のLUMO} |$$

[請求項2]

上記電子輸送層を構成する材料、上記ホスト材料、および上記有機発光材料のそれぞれの最高被占準位（HOMO）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。

$$(3) \ 0.5 \text{ eV} < (| \text{電子輸送層を構成する材料のHOMO} | - | \text{ホスト材料のHOMO} |)$$

$$(4) \ 0.5 \text{ eV} < (| \text{電子輸送層を構成する材料のHOMO} | - | \text{有機発光材料のHOMO} |)$$

[請求項3]

上記電子輸送層は、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する材料、または上記有機発光材料の励起三重項準位よりも小さく、当該有機発光材料の励起三重項準位との差が0.

1 e V以内である励起三重項準位を有する材料によって構成されている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。

[請求項4] 上記電子輸送層を構成する材料の正孔移動度 (μ_H) は、下記の関係式 (5) 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。

$$(5) \mu_H \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 / \text{V s}$$

[請求項5] 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ており、ホスト材料によって構成され、当該ホスト材料に有機発光材料がドーピングされている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であって、

上記有機層は、

上記陽極と上記発光層との間に、当該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と、

上記陰極と上記発光層との間に、当該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とを備え、

上記ホスト材料は、電子輸送性材料であり、

上記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 (6) および (7) 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。

$$(6) 0 \text{ e V} < (| \text{ホスト材料の LUMO} | - | \text{有機発光材料の LUMO} |) \leq 0.5 \text{ e V}$$

$$(7) | \text{ホスト材料の HOMO} | > | \text{有機発光材料の HOMO} |$$

[請求項6] 上記正孔輸送層を構成する材料、上記ホスト材料、および上記有機

発光材料のそれぞれの最低空準位（LUMO）は、下記の関係式（8）および（9）を満たすことを特徴とする請求項5に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

（8） $0.5 \text{ eV} < (| \text{ホスト材料のLUMO} | - | \text{正孔輸送層を構成する材料のLUMO} |$

（9） $0.5 \text{ eV} < (| \text{有機発光材料のLUMO} | - | \text{正孔輸送層を構成する材料のLUMO} |$

[請求項7] 上記正孔輸送層は、上記有機発光材料の励起三重項準位よりも大きい励起三重項準位を有する材料、または上記有機発光材料の励起三重項準位よりも小さく、当該有機発光材料の励起三重項準位との差が 0.1 eV 以内である励起三重項準位を有する材料によって構成されていることを特徴とする請求項5または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] 上記正孔輸送層を構成する材料の電子移動度（ μ_E ）は、下記の関係式（10）を満たすことを特徴とする請求項5～7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。

$$(10) \mu_E \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

[請求項9] 上記正孔輸送層と上記発光層との間には、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] 上記電子輸送層と上記発光層との間には、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。

[請求項11] 上記正孔輸送層には、正孔の輸送を促進するドーパントがドーピングされていることを特徴とする請求項1～10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12] 上記電子輸送層には、電子の輸送を促進するドーパントがドーピングされていることを特徴とする請求項1～11のいずれか1項に記載の有機

機エレクトロルミネッセンス素子。

[請求項13] 上記ホスト材料は、上記正孔輸送層を構成する材料と同一種類の材料である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。

[請求項14] 上記ホスト材料は、上記電子輸送層を構成する材料と同一種類の材料である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。

[請求項15] 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1～14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16] 請求項1～15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17] 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ており、ホスト材料によって構成され、当該ホスト材料に有機発光材料がドーピングされている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であって、

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、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、上記発光層を形成する発光層形成工程と、

上記発光層上に、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、上記陰極を形成する陰極形成工程とを備え、

上記発光層形成工程において、上記ホスト材料として、正孔輸送性材料を用い、なおかつ下記の関係式(11)および(12)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

有する上記ホスト材料および上記有機発光材料を用いて、上記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。

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

$$(12) \quad | \text{ホスト材料のLUMO} | < | \text{有機発光材料のLUMO} |$$

[請求項18]

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ており、ホスト材料によって構成され、当該ホスト材料に有機発光材料がドーピングされている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であって、

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、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、上記発光層を形成する発光層形成工程と、

上記発光層上に、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、

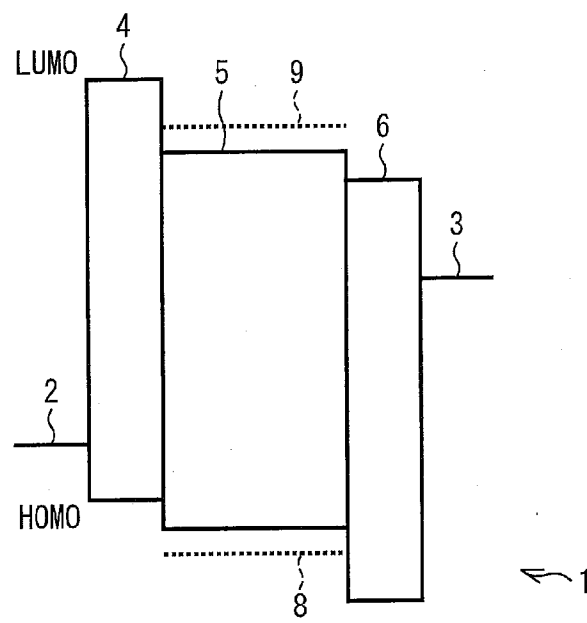
上記電子輸送層上に、上記陰極を形成する陰極形成工程とを備え、

上記発光層形成工程において、上記ホスト材料として、電子輸送性材料を用い、なおかつ下記の関係式(13)および(14)を満たす最高被占準位(HOMO)および最低空準位(LUMO)をそれぞれ有する上記ホスト材料および上記有機発光材料を用いて、上記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。

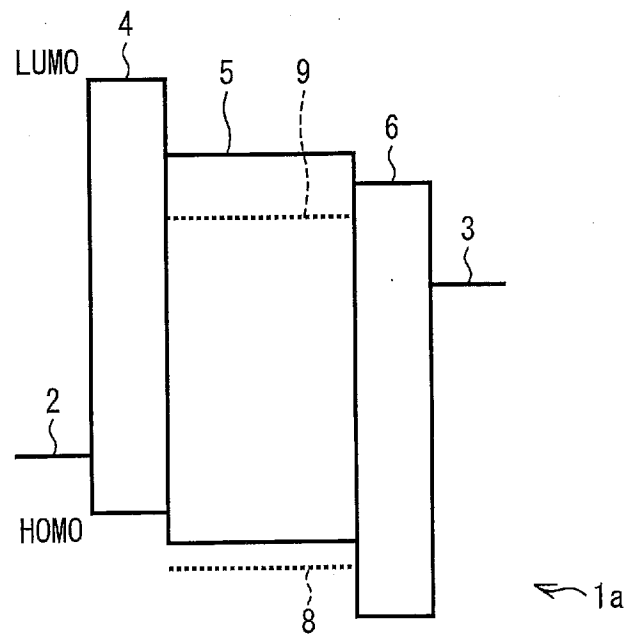
$$(13) \quad 0 \text{ eV} < (| \text{ホスト材料のLUMO} | - | \text{有機発光材料のLUMO} |) \leq 0.5 \text{ eV}$$

$$(14) \quad | \text{ホスト材料のHOMO} | > | \text{有機発光材料のHOMO} |$$

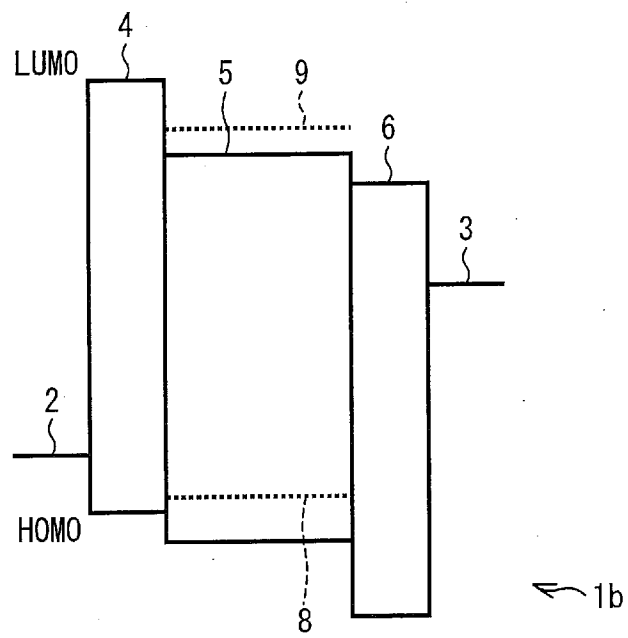
[図1]



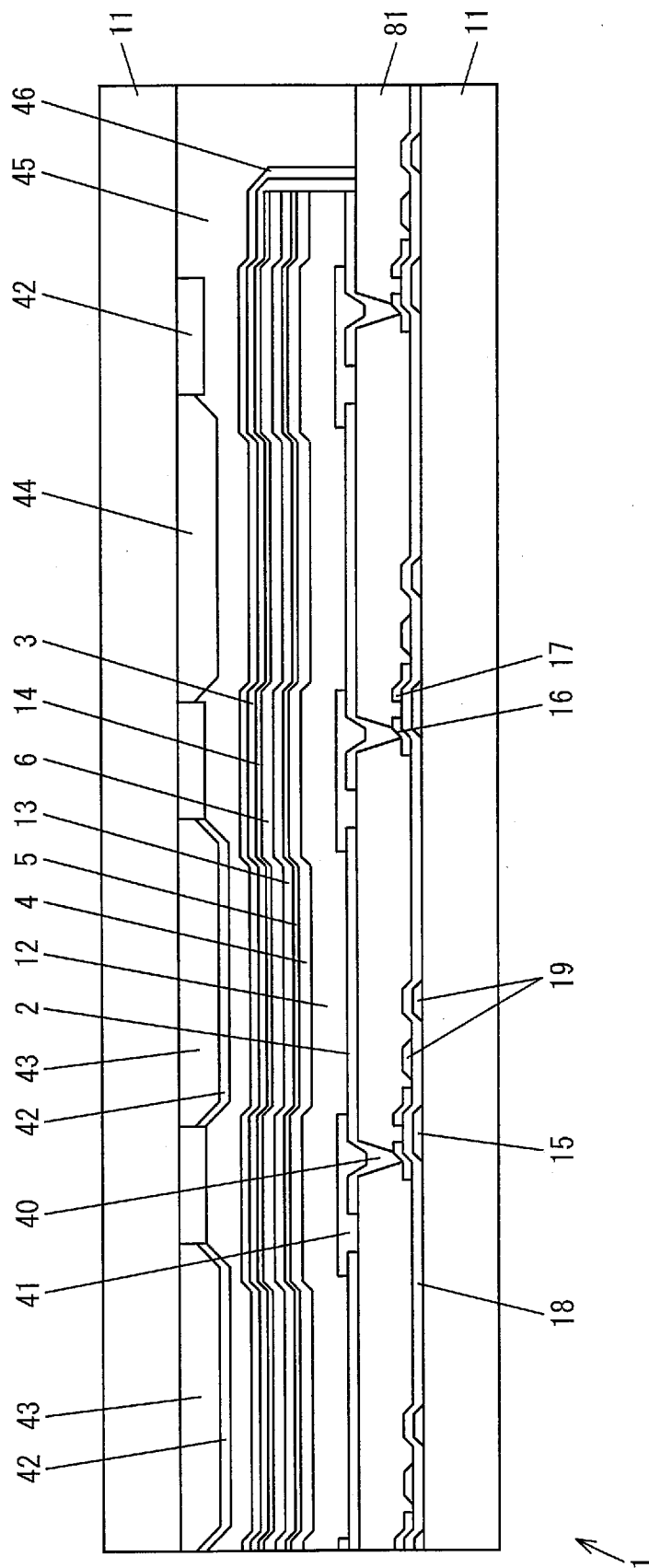
[図2]



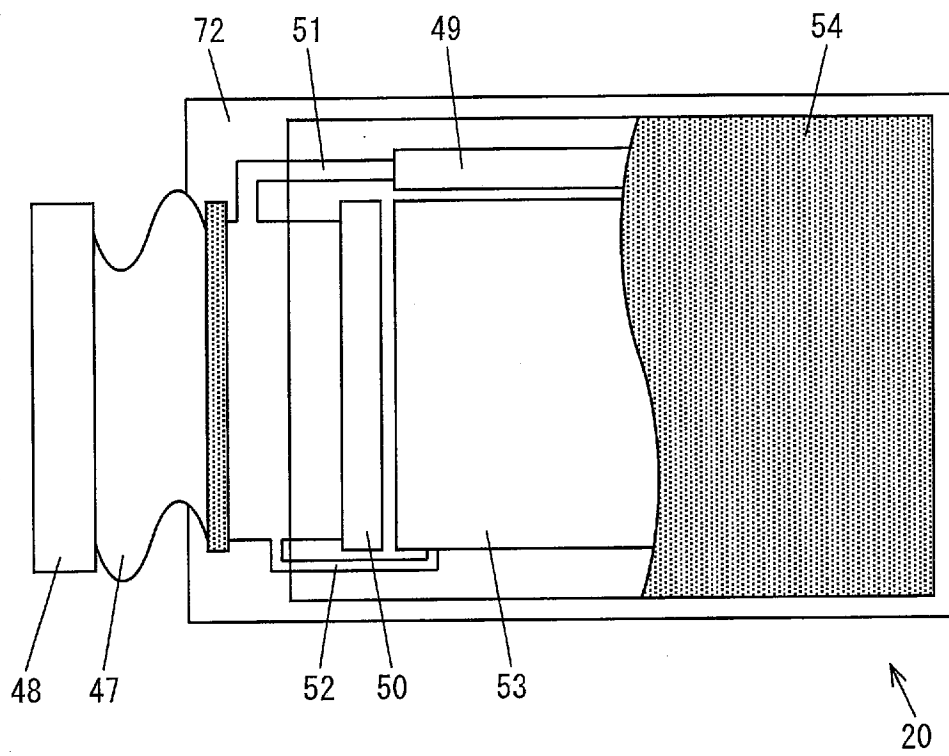
[図3]



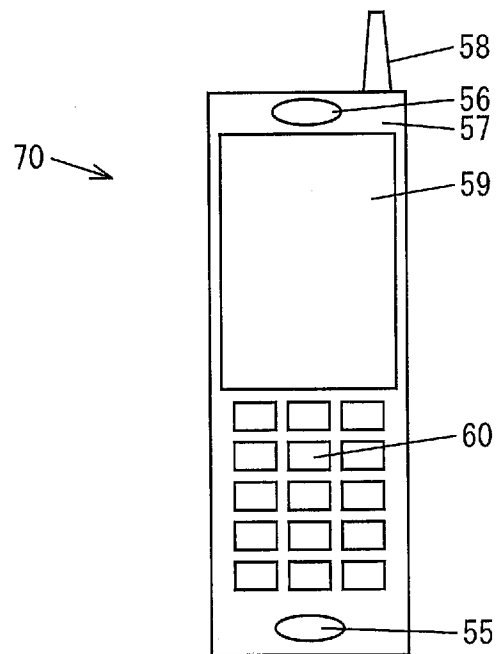
[図4]



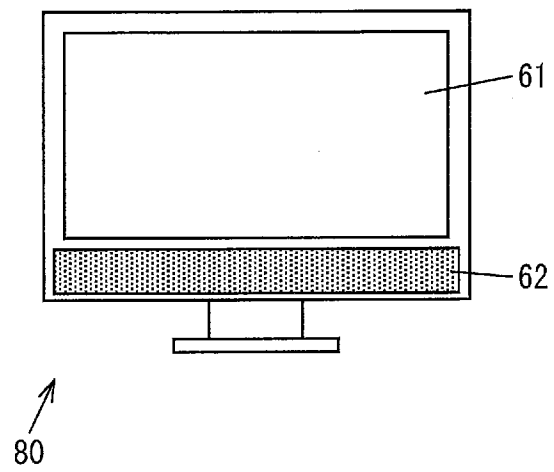
[図5]



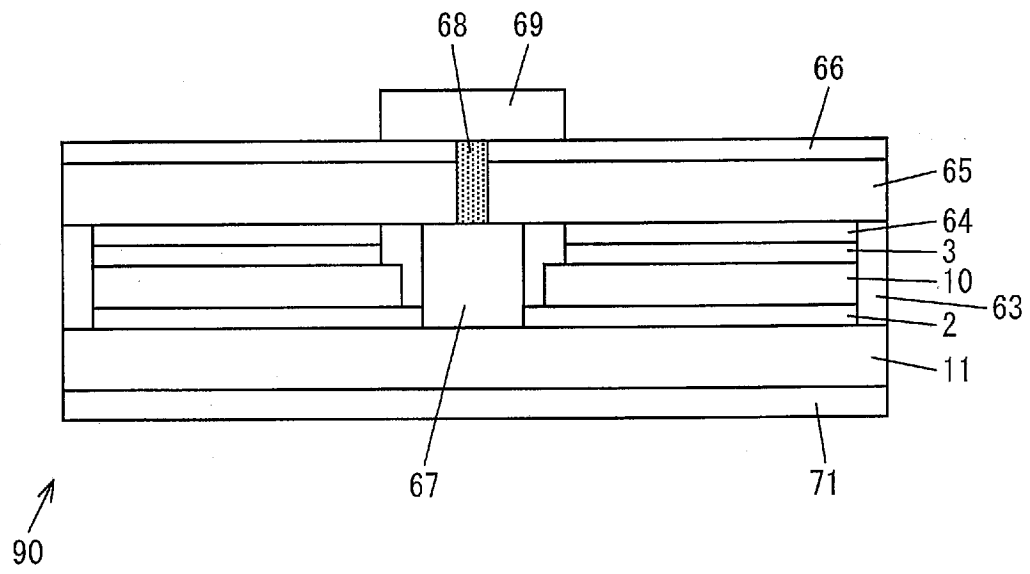
[図6]



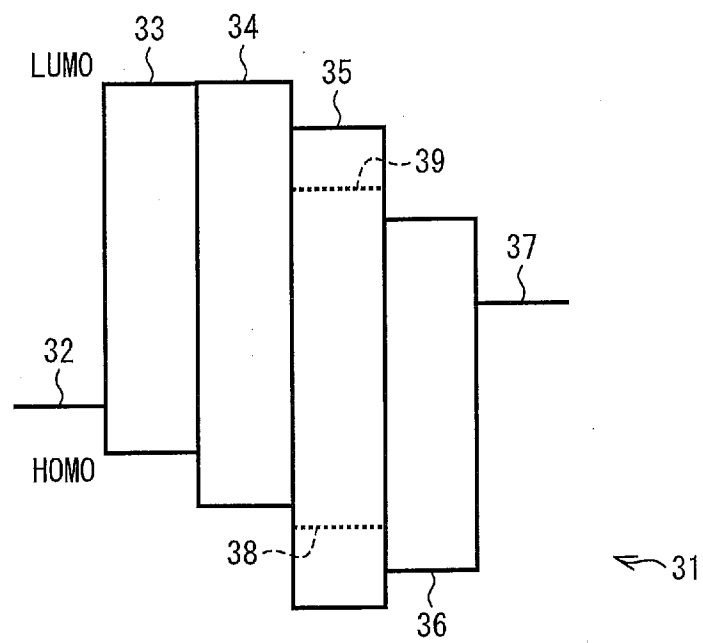
[図7]



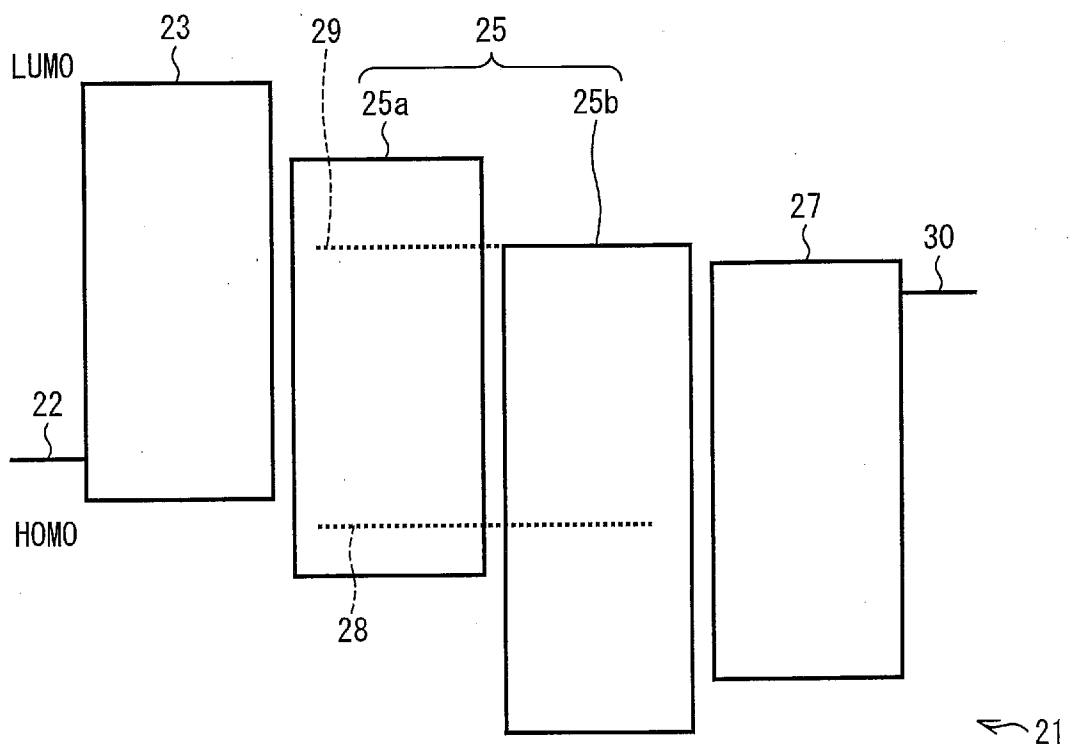
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/067885

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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

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 [0061], [0062], [0084], [0118], [0135], [0167] to [0175], [0185] to [0191], [0212] to [0214]; fig. 3, 8 (Family: none)	1, 5, 15-18 2-4, 6-14
Y	JP 2009-147276 A (Canon Inc.), 02 July 2009 (02.07.2009), paragraphs [0088] to [0099], [0115]; fig. 3 (Family: none)	2-4, 6-14

☒ 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
06 January, 2011 (06.01.11)

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/JP2010/067885

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2006/070619 A1 (Konica Minolta Holdings, Inc.), 06 July 2006 (06.07.2006), paragraphs [0223] to [0274] (Family: none)	2-4, 6-14
A	JP 2008-277494 A (Canon Inc.), 13 November 2008 (13.11.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-18
A	JP 2006-100806 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 13 April 2006 (13.04.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-18
A	JP 2005-108572 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 21 April 2005 (21.04.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-18
A	JP 2005-203293 A (Mitsubishi Chemical Corp.), 28 July 2005 (28.07.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-18

特許協力条約

P C T

国際調査報告

(法 8 条、法施行規則第 40、41 条)
〔P C T 18 条、P C T 規則 43、44〕

出願人又は代理人 の書類記号 10R01268	今後の手続きについては、様式 P C T / I S A / 2 2 0 及び下記 5 を参照すること。	
国際出願番号 P C T / J P 2 0 1 0 / 0 6 7 8 8 5	国際出願日 (日.月.年) 1 2 . 1 0 . 2 0 1 0	優先日 (日.月.年) 2 7 . 1 1 . 2 0 0 9
出願人 (氏名又は名称) シャープ株式会社		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条 (P C T 18条) の規定に従い出願人に送付する。
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 3 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

1. 国際調査報告の基礎

a. 言語に関し、この国際調査は以下のものに基づき行った。

☒ 出願時の言語による国際出願

☐ 出願時の言語から国際調査のための言語である _____ 語に翻訳された、
この国際出願の翻訳文 (P C T 規則12.3(a)及び23.1(b))

b. ☐ この国際調査報告は、P C T 規則91の規定により国際調査機関が認めた又は国際調査機関に通知された明らかな誤りの訂正を考慮して作成した (P C T 規則43.6の2(a))。

c. ☐ この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでいる (第 I 欄参照)。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない (第 II 欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している (第 III 欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第 IV 欄に示されているように、法施行規則第47条第 1 項 (P C T 規則38.2) の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から 1 月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 図面に関して

a. 要約書とともに公表される図は、

第 1 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ 出願人は図を示さなかったため、国際調査機関が選択した。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表しているため、国際調査機関が選択した。

b. ☐ 要約とともに公表される図はない。

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

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

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【0061】、【0062】、【0084】、【0118】、【0135】、 【0167】 - 【0175】、【0185】 - 【0191】、【0212】 - 【0214】、【図3】、 【図8】 (ファミリーなし)	1, 5, 15-18 2-4, 6-14
Y	JP 2009-147276 A (キヤノン株式会社) 2009.07.02, 段落【0088】 - 【0099】、【0115】、【図3】 (ファミリーなし)	2-4, 6-14

☒ 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 6 . 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
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)	2-4, 6-14
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)	1-18
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)	1-18
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)	1-18
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)	1-18