

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-108318

(P2021-108318A)

(43) 公開日 令和3年7月29日(2021.7.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 51/50 (2006.01)	H O 5 B 33/22 A	3 K 1 0 7
H O 5 B 33/26 (2006.01)	H O 5 B 33/14 B	5 C 0 9 4
H O 5 B 33/10 (2006.01)	H O 5 B 33/22 C	5 G 4 3 5
H O 5 B 33/12 (2006.01)	H O 5 B 33/26 Z	
H O 5 B 33/22 (2006.01)	H O 5 B 33/10	
審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 33 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2019-238723 (P2019-238723)	(71) 出願人	514188173
(22) 出願日	令和1年12月27日 (2019. 12. 27)		株式会社 J O L E D
			東京都千代田区神田錦町三丁目2 3 番地
		(74) 代理人	110001900
			特許業務法人 ナカジマ知的財産総合事務所
		(72) 発明者	三島 孝介
			東京都千代田区神田錦町三丁目2 3 番地
			株式会社 J O L E D 内
		F ターム (参考)	3K107 AA01 BB01 CC04 CC21 DD27
			DD53 DD54 DD71 DD74 DD75
			DD86 DD89 FF00 FF14 FF15
			GG06
		最終頁に続く	

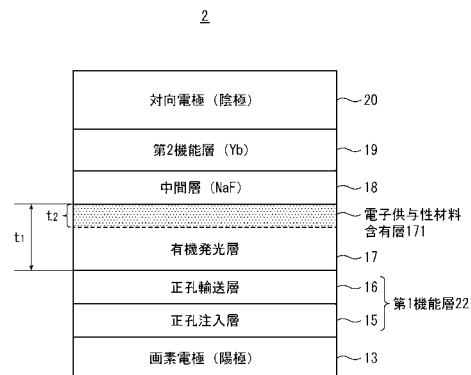
(54) 【発明の名称】 有機E L素子、有機E L表示パネルおよび有機E L素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】低電圧駆動が可能で発光効率が向上すると共に、長寿命化が可能な有機E L素子を提供する。

【解決手段】有機E L素子2において、画素電極13と、画素電極13の上方に配され正孔注入性および正孔輸送性のうち少なくとも一方の性質を有する第1機能層22と、第1機能層22の上方に配され有機発光材料に電子供与性材料がドーピングされてなる電子供与性材料含有層171を含む有機発光層17と、有機発光層17の上方に配され、希土類金属に属する金属を含む第2機能層19と、前記第2機能層の上方に配された対向電極20とを有する。

【選択図】図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

陽極と、

前記陽極の上方に配され正孔注入性および正孔輸送性のうち少なくとも一方の性質を有する第 1 機能層と、

前記第 1 機能層の上方に配され有機発光材料に電子供与性材料がドーブされてなる発光層と、

前記発光層の上方に配され、希土類金属に属する金属を含む第 2 機能層と、

前記第 2 機能層の上方に配された陰極と

を備えることを特徴とする有機 E L 素子。

10

【請求項 2】

前記希土類金属に属する金属は、Y b である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の有機 E L 素子。

【請求項 3】

前記電子供与性材料は、アルカリ金属、アルカリ土類金属および希土類金属から選択された、1 または 2 以上の金属である

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の有機 E L 素子。

【請求項 4】

前記電子供与性材料は、N a を含む

ことを特徴とする請求項 3 に記載の有機 E L 素子。

20

【請求項 5】

前記電子供与性材料は、Y b を含む

ことを特徴とする請求項 3 に記載の有機 E L 素子。

【請求項 6】

前記第 2 機能層は、前記発光層に接して形成される

ことを特徴とする請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項に記載の有機 E L 素子。

【請求項 7】

前記発光層と前記第 2 機能層との間に、アルカリ金属およびアルカリ土類金属から選択された金属の化合物からなる中間層が介在する

ことを特徴とする請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項に記載の有機 E L 素子。

30

【請求項 8】

前記発光層の膜厚方向において、前記第 1 機能層側の界面に隣接する第 1 の領域に含まれる前記電子供与性材料の割合よりも、前記第 2 機能層側の界面に隣接する第 2 の領域に含まれる前記電子供与性材料の割合の方が高い

ことを特徴とする請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項に記載の有機 E L 素子。

【請求項 9】

前記発光層の前記第 2 領域中のキャリア密度が、 $1.0 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ 以上、 $1.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である

ことを特徴とする請求項 8 に記載の有機 E L 素子。

40

【請求項 10】

前記発光層で発生する励起子の密度は、前記第 2 領域よりも前記第 1 領域の方が高い

ことを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の有機 E L 素子。

【請求項 11】

前記陰極は、半透光性である

ことを特徴とする請求項 1 から 10 までのいずれか 1 項に記載の有機 E L 素子。

【請求項 12】

前記発光層の膜厚は、30 nm 以上、150 nm 以下である

ことを特徴とする請求項 1 から 11 までのいずれか 1 項に記載の有機 E L 素子。

【請求項 13】

前記発光層および前記第 1 機能層のうち少なくとも 1 層が塗布膜である

50

ことを特徴とする請求項 1 から 1 2 までのいずれか 1 項に記載の有機 E L 素子。

【請求項 1 4】

前記第 1 機能層は、酸化タングステンを含む

ことを特徴とする請求項 1 から 1 3 までのいずれか 1 項に記載の有機 E L 素子。

【請求項 1 5】

基板上方に、請求項 1 から 1 4 までのいずれか 1 項に記載の有機 E L 素子を複数、行列状に配列し、行方向に隣接する有機 E L 素子における発光層は、列方向に延在する隔壁によって仕切られている

ことを特徴とする有機 E L 表示パネル。

【請求項 1 6】

10

陽極を形成し、

前記陽極の上方に配され正孔注入性および正孔輸送性のうち少なくとも一方の性質を有する第 1 機能層を形成し、

前記第 1 機能層上に有機発光材料からなる有機発光材料層を形成し、

前記有機発光材料層上に、アルカリ金属およびアルカリ土類金属から選択された第 1 金属の化合物を含む中間層を形成し、

前記中間層上に、希土類金属から選択された第 2 金属を含む第 2 機能層を形成し、

前記第 2 機能層の上方に、陰極を形成する工程を含み、

前記第 1 金属と第 2 金属のうち少なくとも第 1 金属が前記有機発光材料層中に拡散することにより、前記有機発光材料層内にキャリア密度が $10^{12} / \text{cm}^3$ 以上、 $10^{19} / \text{cm}^3$ 以下となる部分を含む電子供与性材料含有層が形成されてなる

20

ことを特徴とする有機 E L 素子の製造方法。

【請求項 1 7】

前記第 1 金属の化合物は、NaF である

ことを特徴とする請求項 1 6 に記載の有機 E L 素子の製造方法。

【請求項 1 8】

前記第 2 金属は、Yb である

ことを特徴とする請求項 1 6 に記載の有機 E L 素子の製造方法。

【請求項 1 9】

30

陽極を形成し、

前記陽極の上方に配され正孔注入性および正孔輸送性のうち少なくとも一方の性質を有する第 1 機能層を形成し、

前記第 1 機能層上に有機発光材料からなる有機発光材料層を形成し、

前記有機発光材料層上に、希土類金属から選択された金属を含む第 2 機能層を形成し、

前記第 2 機能層の上方に、陰極を形成する工程を含み、

前記第 2 機能層中の前記希土類金属から選択された金属が、前記有機発光材料層中に拡散することにより、前記有機発光材料層内にキャリア密度が $10^{12} / \text{cm}^3$ 以上、 $10^{19} / \text{cm}^3$ 以下となる部分を含む電子供与性材料含有層が形成されてなる

ことを特徴とする有機 E L 素子の製造方法。

【請求項 2 0】

40

前記第 2 機能層中の前記希土類金属から選択された金属は、Yb である

ことを特徴とする請求項 1 9 に記載の有機 E L 素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、有機材料の電界発光現象を利用した有機 E L (Electro Luminescence) 素子、有機 E L 表示パネルおよび有機 E L 素子の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、発光型のディスプレイとして、基板上行列方向に沿って有機 E L 素子を複数配

50

列した有機ＥＬ表示パネルが、電子機器のディスプレイとして実用化されている。各有機ＥＬ素子は、陽極と陰極の一对の電極対の間に有機発光材料を含む有機発光層が配設された基本構造を有し、駆動時に一对の電極対間に電圧を印加し、陽極から有機発光層に注入される正孔と、陰極から有機発光層に注入される電子との再結合に伴って発生する電流駆動型の発光素子である。

【０００３】

このような有機ＥＬ素子にあっては、発光効率の向上と長寿命化が常に求められている。

【０００４】

有機発光層を構成する有機材料（特に、高分子有機材料）の最低空軌道（ＬＵＭＯ：Lowest Unoccupied Molecular Orbital）のエネルギー準位は、多くの場合、陰極材料のフェルミ準位との差が大きいため、陰極から有機発光層への電子の注入が円滑に行われず、良好な発光効率を得るのが難しい。

【０００５】

そのため、有機発光層に電子を供給するための電子輸送性を有する有機材料に仕事関数の低いアルカリ金属またはアルカリ土類金属をドーブして、電子注入性を高める構成が提案されている（例えば、特許文献１）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００６】

【特許文献１】特開２０１６－１１５７４８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

しかしながら、上記のようにアルカリ金属やアルカリ土類金属をドーブした電子輸送層を採用しても、有機発光層の材質によっては、なお電子注入における有機発光層と電子輸送層とのエネルギー障壁が大きく、そのため有機発光層内に注入される電子とホールとの量的な均衡（キャリアバランス）が崩れた状態となり、十分な発光効率を得られないおそれがある。

【０００８】

また、アルカリ金属やアルカリ土類金属は、化学的な活性が高く、有機ＥＬ素子の内部に残留する不純物もしくは外部から侵入してきた水分等の不純物と反応して電子注入特性が劣化し、寿命が短くなるおそれもある。

【０００９】

本開示は、上記事情に鑑み、発光効率をより改善すると共に、さらなる長寿命化が可能な有機ＥＬ素子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

上記課題を解決するために、本開示の一態様における有機ＥＬ素子は、陽極と、前記陽極の上方に配され正孔注入性および正孔輸送性のうち少なくとも一方の性質を有する第１機能層と、前記第１機能層の上方に配され有機発光材料に電子供与性材料がドーブされる発光層と、前記発光層の上方に配され、希土類金属に属する金属を含む第２機能層と、前記第２機能層の上方に配された陰極とを備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【００１１】

本開示の一態様に係る有機ＥＬ素子では、発光層に電子供与性材料がドーブされているので、第２機能層と発光層間のエネルギー障壁が小さくなり、発光層内に注入するホールと電子の量との均衡化を図ることができる。これにより、発光効率が改善される。また、第２機能層に含まれる希土類金属は仕事関数が小さいので電子注入特性を有すると共に、アルカリ金属やアルカリ土類金属に比べて化学的に安定しており、有機ＥＬ素子の長寿命

化に資する。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本開示の態様に係る有機EL表示装置の全体構成を示すブロック図である。

【図2】上記有機EL表示装置における有機ELパネルの画像表示面の一部を拡大した模式平面図である。

【図3】図2のA-A線に沿った模式断面図である。

【図4】本開示の一態様に係る有機EL素子の積層構造を模式的に示す図である。

【図5】有機EL素子における正孔輸送層、発光層、電子輸送層のエネルギー準位が適切にバランスされている状態を示す概略図である。

10

【図6】有機EL素子における正孔輸送層、発光層、電子輸送層のエネルギー準位が適切にバランスされていない状態の一例を示す概略図である。

【図7】(a)、(b)、(c)は、それぞれ有機EL素子2における正孔輸送層、有機発光層、第2機能層のエネルギー準位を説明するための概略図である。

【図8】有機EL素子における、発光層のエネルギーレベルのシフト量と最大エキシトン効率との関係を示すシミュレーション結果の図である。

【図9】有機EL素子2における、発光層のエネルギーレベルのシフト量と単位電流当たりの必要印加電圧との関係を示すシミュレーション結果を示す図である。

【図10】有機EL素子における、発光層のエネルギーレベルのシフト量と発光層のn型キャリア密度との関係を示す計算結果を示した図である。

20

【図11】有機EL素子における、発光層のエネルギーレベルのシフト量と、真性半導体のキャリア密度 n_i に対する発光層のn型キャリア密度の比との関係を示す計算結果を示した図である。

【図12】(a)は、有機EL素子における、発光層の電流密度と最大エキシトン効率との関係を示す実験結果を示す図、(b)は、印加電圧と電流密度との関係を示す実験結果を示す図である。

【図13】本開示の一態様に係る有機EL表示パネルの製造工程を示すフローチャートである。

【図14】(a)～(d)は、有機EL素子の製造過程を模式的に示す部分断面図である。

30

【図15】(a)～(d)は、図14に続く有機EL素子の製造過程を模式的に示す部分断面図である。

【図16】(a)、(b)は、図15に続く有機EL素子の製造過程を模式的に示す部分断面図である。

【図17】(a)～(d)は、図16に続く有機EL素子の製造過程を模式的に示す部分断面図である。

【図18】本開示の変形例に係る有機EL素子の積層構造を模式的に示す図である。

【図19】本開示の別の変形例に係る有機EL素子の積層構造を模式的に示す図である。

【図20】本開示のさらに別の変形例に係る有機EL素子の積層構造を模式的に示す図である。

40

【図21】本開示のさらに別の変形例に係る有機EL素子の積層構造を模式的に示す図である。

【図22】本開示のさらに別の変形例に係る有機EL素子の積層構造を模式的に示す図である。

【図23】本開示のさらに別の変形例に係る有機EL素子の積層構造を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

発明を実施するための形態の概要

本開示の一態様に係る有機EL素子は、陽極と、前記陽極の上方に配され正孔注入性お

50

よび正孔輸送性のうち少なくとも一方の性質を有する第1機能層と、前記第1機能層の上方に配され有機発光材料に電子供与性材料がドープされてなる発光層と、前記発光層の上方に配され、希土類金属に属する金属を含む第2機能層と、前記第2機能層の上方に配された陰極とを備える。なお、「希土類金属に属する金属を含む第2機能層」には、第2機能層が希土類金属に属する金属の単層からなる場合を含む。

【0014】

係る態様により、有機EL素子における発光効率の向上と、長寿命化が可能となる。

【0015】

本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記希土類金属に属する金属が、Ybである。

【0016】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記電子供与性材料は、アルカリ金属、アルカリ土類金属および希土類金属から選択された、1または2以上の金属である。

【0017】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記電子供与性材料が、Naを含む。

【0018】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記電子供与性材料は、Ybを含む。

【0019】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記第2機能層が、前記発光層に接して形成される。

【0020】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記発光層と前記第2機能層との間に、アルカリ金属およびアルカリ土類金属から選択された金属の化合物からなる中間層が介在する。

【0021】

これにより、アルカリ金属およびアルカリ土類金属から選択された金属の化合物が第2機能層に含まれる希土類金属に還元されて解離し、解離されたアルカリ金属またはアルカリ土類金属が、電子注入性を向上させると共に、有機発光層の発光有機材料に効果的に拡散することができる。

【0022】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記発光層の膜厚方向において、前記第1機能層側の界面に隣接する第1の領域に含まれる前記電子供与性材料の割合よりも、前記第2機能層側の界面に隣接する第2の領域に含まれる前記電子供与性材料の割合の方が高い。

【0023】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記発光層の前記第2領域中のキャリア密度が、 $10^{12}/\text{cm}^3$ 以上、 $10^{19}/\text{cm}^3$ 以下である。

【0024】

発光層中の前記第2領域中のキャリア密度をこのような範囲に設定することにより良好なキャリアバランスを得ることができ、発光効率がさらに向上する。

【0025】

ここで、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記発光層で発生する励起子の密度は、前記第2領域よりも前記第1領域の方が高い

これにより、ホールと電子の再結合により生じた励起子のエネルギーが有機発光層中に拡散された電子供与性材料に吸収されることが抑制されるので、発光効率のさらなる向上が可能となる。

【0026】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記陰極は、半透光性である。ここで、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記発光層の膜厚は、30nm以上、150nm以下であることが望ましい。

【0027】

10

20

30

40

50

係る態様により、光共振器構造を構築が容易となり、発光効率のさらなる向上が望める。

【0028】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記発光層および前記第1機能層のうち少なくとも1層が塗布膜である。

【0029】

塗布膜の形成のため、ウェットプロセスを採用することができ、製造コストを低減化できる。ウェットプロセスで成膜する場合には、水分等の不純物の残存量がドライプロセスの場合よりも増えるが、第2機能層に含まれる希土類金属は、比較的化学的に安定しているので、従来のアルカリ金属等を使用する場合よりも長寿命化が可能である。

10

【0030】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子は、前記第1機能層は、酸化タンゲステンを含む。

【0031】

また、本開示の一態様に係る有機EL表示パネルは、基板上方に、上記の有機EL素子を複数、行列状に配列し、行方向に隣接する有機EL素子における発光層は、列方向に延在する隔壁によって仕切られている。

【0032】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子の製造方法は、陽極を形成し、前記陽極の上方に配され正孔注入性および正孔輸送性のうち少なくとも一方の性質を有する第1機能層を形成し、前記第1機能層上に有機発光材料からなる有機発光材料層を形成し、前記有機発光材料層上に、アルカリ金属およびアルカリ土類金属から選択された第1金属の化合物を含む中間層を形成し、前記中間層上に、希土類金属から選択された第2金属を含む第2機能層を形成し、前記第2機能層の上方に、陰極を形成する工程を含み、前記第1金属と第2金属のうち少なくとも第1金属が前記有機発光材料層中に拡散することにより、前記有機発光材料層内にキャリア密度が $10^{12}/\text{cm}^3$ 以上、 $10^{19}/\text{cm}^3$ 以下となる部分を含む電子供与性材料含有層が形成されてなる。

20

【0033】

ここで、前記第1金属の化合物は、NaFである。また、前記第2金属は、Ybである。

30

【0034】

また、本開示の一態様に係る有機EL素子の製造方法は、陽極を形成し、前記陽極の上方に配され正孔注入性および正孔輸送性のうち少なくとも一方の性質を有する第1機能層を形成し、前記第1機能層上に有機発光材料からなる有機発光材料層を形成し、前記有機発光材料層上に、希土類金属から選択された金属を含む第2機能層を形成し、前記第2機能層の上方に、陰極を形成する工程を含み、前記第2機能層中の前記希土類金属から選択された金属が、前記有機発光材料層中に拡散することにより、前記有機発光材料層内にキャリア密度が $10^{12}/\text{cm}^3$ 以上、 $10^{19}/\text{cm}^3$ 以下となる部分を含む電子供与性材料含有層が形成されてなる。

40

【0035】

ここで、前記第2機能層中の前記希土類金属から選択された金属は、Ybである。

【0036】

これにより、発光効率が改善されると共に長寿命の有機EL素子を製造できる。

【0037】

実施の形態

以下、本開示の一態様に係る有機EL素子および有機EL表示パネル、有機EL表示装置について、図面を参照しながら説明する。なお、図面は、模式的なものを含んでおり、各部材の縮尺や縦横の比率などが実際とは異なる場合がある。

【0038】

1. 有機EL表示装置1の全体構成

50

図 1 は、有機 E L 表示装置 1 の全体構成を示すブロック図である。有機 E L 表示装置 1 は、例えば、テレビ、パーソナルコンピュータ、携帯端末、業務用ディスプレイ（電子看板、商業施設用大型スクリーン）などに用いられる表示装置である。

【 0 0 3 9 】

有機 E L 表示装置 1 は、有機 E L 表示パネル 1 0 と、これに電氣的に接続された駆動制御部 2 0 0 とを備える。

【 0 0 4 0 】

有機 E L 表示パネル 1 0 は、本実施の形態では、上面が長方形の画像表示面であるトップエミッション型の表示パネルである。有機 E L 表示パネル 1 0 では、画像表示面に沿って複数の有機 E L 素子（不図示）が配列され、各有機 E L 素子の発光を組み合わせることで画像を表示する。なお、有機 E L 表示パネル 1 0 は、一例として、アクティブマトリクス方式を採用している。

【 0 0 4 1 】

駆動制御部 2 0 0 は、有機 E L 表示パネル 1 0 に接続された駆動回路 2 1 0 と、計算機などの外部装置又はアンテナなどの受信装置に接続された制御回路 2 2 0 とを有する。駆動回路 2 1 0 は、各有機 E L 素子に電力を供給する電源回路、各有機 E L 素子への供給電力を制御する電圧信号を印加する信号回路、一定の間隔ごとに電圧信号を印加する箇所を切り替える走査回路などを有する。

【 0 0 4 2 】

制御回路 2 2 0 は、外部装置や受信装置から入力された画像情報を含むデータに応じて、駆動回路 2 1 0 の動作を制御する。

【 0 0 4 3 】

なお、図 1 では、一例として、駆動回路 2 1 0 が有機 E L 表示パネル 1 0 の周囲に 4 つ配置されているが、駆動制御部 2 0 0 の構成はこれに限定されるものではなく、駆動回路 2 1 0 の数や位置は適宜変更可能である。また、以下では説明のため、図 1 に示すように、有機 E L 表示パネル 1 0 上面の長辺に沿った方向を X 方向、有機 E L 表示パネル 1 0 上面の短辺に沿った方向を Y 方向とする。

【 0 0 4 4 】

2 . 有機 E L 表示パネル 1 0 の構成

(A) 平面構成

図 2 は、有機 E L 表示パネル 1 0 の画像表示面の一部を拡大した模式平面図である。有機 E L 表示パネル 1 0 では、一例として、R（赤色）、G（緑色）、B（青色）（以下、単に R、G、B ともいう。）にそれぞれ発光する副画素 1 0 0 R、1 0 0 G、1 0 0 B が行列状に配列されている。副画素 1 0 0 R、1 0 0 G、1 0 0 B は、X 方向に交互に並び、X 方向に並ぶ一組の副画素 1 0 0 R、1 0 0 G、1 0 0 B が、一つの画素 P を構成している。画素 P では、階調制御された副画素 1 0 0 R、1 0 0 G、1 0 0 B の発光輝度を組み合わせることにより、フルカラーを表現することが可能である。

【 0 0 4 5 】

また、Y 方向においては、副画素 1 0 0 R、副画素 1 0 0 G、副画素 1 0 0 B のいずれかのみが並ぶことでそれぞれ副画素列 C R、副画素列 C G、副画素列 C B が構成されている。これにより、有機 E L 表示パネル 1 0 全体として画素 P が、X 方向及び Y 方向に沿った行列状に並び、この行列状に並ぶ画素 P の発色を組み合わせることにより、画像表示面に画像が表示される。

【 0 0 4 6 】

副画素 1 0 0 R、1 0 0 G、1 0 0 B には、それぞれ R、G、B の色に発光する有機 E L 素子 2（R）、2（G）、2（B）（図 3 参照）が配置されている。

【 0 0 4 7 】

また、本実施の形態に係る有機 E L 表示パネル 1 0 では、いわゆるラインバンク方式を採用している。すなわち、副画素列 C R、C G、C B を 1 列ごとに仕切る隔壁（バンク）1 4 が X 方向に間隔をおいて複数配置され、各副画素列 C R、C G、C B では、副画素 1

10

20

30

40

50

00R、100G、100Bが、有機発光層を共有している。

【0048】

ただし、各副画素列CR、CG、CBでは、副画素100R、100G、100B同士を絶縁する画素規制層141がY方向に間隔をおいて複数配置され、各副画素100R、100G、100Bは、独立して発光することができるようになっている。

【0049】

なお、画素規制層141の高さは、有機発光層のインク塗布時における液面の高さよりも低い。図2では、隔壁14及び画素規制層141は点線で表されているが、これは、画素規制層141及び隔壁14が、画像表示面の表面に露出しておらず、画像表示面の内部に配置されているからである。

【0050】

(B) 断面構成

図3は、図2のA-A線に沿った模式断面図である。有機EL表示パネル10において、一つの画素は、R、G、Bをそれぞれ発光する3つの副画素からなり、各副画素は、対応する色を発光する有機EL素子2(R)、2(G)、2(B)で構成される。

【0051】

各発光色の有機EL素子2(R)、2(G)、2(B)は、基本的には、ほぼ同様の構成を有するので、区別しないときは、有機EL素子2として説明する。

【0052】

図3に示すように、有機EL素子2は、基板11、層間絶縁層12、画素電極(陽極)13、隔壁14、正孔注入層15、正孔輸送層16、有機発光層17、中間層18、第2機能層19、対向電極(陰極)20、および、封止層21とからなる。

【0053】

基板11、層間絶縁層12、中間層18、第2機能層19、対向電極20、および、封止層21は、画素ごとに形成されているのではなく、有機EL表示パネル10が備える複数の有機EL素子2に共通して形成されている。

【0054】

(1) 基板

基板11は、絶縁材料である基材111と、TFT(Thin Film Transistor)層112とを含む。TFT層112には、副画素ごとに駆動回路が形成されている。基材111は、例えば、ガラス基板、石英基板、シリコン基板、硫化モリブデン、銅、亜鉛、アルミニウム、ステンレス、マグネシウム、鉄、ニッケル、金、銀などの金属基板、ガリウム砒素などの半導体基板、プラスチック基板等を採用することができる。

【0055】

プラスチック材料としては、熱可塑性樹脂、熱硬化樹脂いずれの樹脂を用いてもよい。例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリアミド、ポリイミド(PI)、ポリカーボネート、アクリル系樹脂、ポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリブチレンテレフタレート、ポリアセタール、その他フッ素系樹脂、スチレン系、ポリオレフィン系、ポリ塩化ビニル系、ポリウレタン系、フッ素ゴム系、塩素化ポリエチレン系等の各種熱可塑性エラストマー、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル、シリコーン樹脂、ポリウレタン等、またはこれらを主とする共重合体、ブレンド体、ポリマーアロイ等が挙げられ、これらのうち1種、または2種以上を積層した積層体を用いることができる。

【0056】

(2) 層間絶縁層

層間絶縁層12は、基板11上に形成されている。層間絶縁層12は、樹脂材料からなり、TFT層112の上面の段差を平坦化するためのものである。樹脂材料としては、例えば、ポジ型の感光性材料が挙げられる。また、このような感光性材料として、アクリル系樹脂、ポリイミド系樹脂、シロキサン系樹脂、フェノール系樹脂が挙げられる。また、図3の断面図には示されていないが、層間絶縁層12には、副画素ごとにコンタクトホールが形成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

(3) 画素電極

画素電極 1 3 は、光反射性の金属材料からなる金属層を含み、層間絶縁層 1 2 上に形成されている。画素電極 1 3 は、副画素ごとに設けられ、コンタクトホール（不図示）を通じて T F T 層 1 1 2 と電氣的に接続されている。本実施の形態においては、画素電極 1 3 は、陽極として機能する。

【 0 0 5 8 】

光反射性を具備する金属材料の具体例としては、A g（銀）、A l（アルミニウム）、アルミニウム合金、M o（モリブデン）、A P C（銀、パラジウム、銅の合金）、A R A（銀、ルビジウム、金の合金）、M o C r（モリブデンとクロムの合金）、M o W（モリブデンとタングステンの合金）、N i C r（ニッケルとクロムの合金）などが挙げられる。

10

【 0 0 5 9 】

画素電極 1 3 は、金属層単独で構成してもよいが、金属層の上に、I T O（酸化インジウム錫）や I Z O（酸化インジウム亜鉛）のような金属酸化物からなる層を積層した積層構造としてもよい。

【 0 0 6 0 】

(4) 隔壁・画素規制層

隔壁 1 4 は、基板 1 1 の上方に副画素ごとに配置された複数の画素電極 1 3 を、X 方向（図 2 参照）において列毎に仕切るものであって、X 方向に並ぶ副画素列 C R、C G、C B の間において Y 方向に延伸するラインバンク形状である。

20

【 0 0 6 1 】

この隔壁 1 4 には、電気絶縁性材料が用いられる。電気絶縁性材料の具体例として、例えば、絶縁性の有機材料（例えば、アクリル系樹脂、ポリイミド系樹脂、ノボラック樹脂、フェノール樹脂等）が用いられる。

【 0 0 6 2 】

隔壁 1 4 は、有機発光層 1 7 を塗布法で形成する場合に塗布された各色のインクが溢れて混色しないようにするための構造物として機能する。

【 0 0 6 3 】

なお、樹脂材料を用いる際は、加工性の点から感光性を有することが好ましい。当該感光性は、ポジ型、ネガ型のいずれであってもよい。

30

【 0 0 6 4 】

隔壁 1 4 は、有機溶媒や熱に対する耐性を有することが好ましい。また、インクの流出を抑制するために、隔壁 1 4 の表面は所定の撥液性を有することが好ましい。

【 0 0 6 5 】

画素電極 1 3 が形成されていない部分において、隔壁 1 4 の底面が層間絶縁層 1 2 の上面と接している。

【 0 0 6 6 】

画素規制層 1 4 1 は、電気絶縁性材料からなり、各副画素列において Y 方向（図 2）に隣接する画素電極 1 3 の端部を覆い、当該 Y 方向に隣接する画素電極 1 3 同士を仕切っている。

40

【 0 0 6 7 】

画素規制層 1 4 1 の膜厚は、画素電極 1 3 の膜厚よりも若干大きい、有機発光層 1 7 の上面までの厚みよりも小さくなるように設定されている。これにより、各副画素列 C R、C G、C B における有機発光層 1 7 は、画素規制層 1 4 1 によっては仕切られず、有機発光層 1 7 を形成する際のインクの流動が妨げられない。そのため、各副画素列における有機発光層 1 7 の厚みを均一に揃えることを容易にする。

【 0 0 6 8 】

画素規制層 1 4 1 は、上記構造により、Y 方向に隣接する画素電極 1 3 の電気絶縁性を向上しつつ、各副画素列 C R、C G、C B における有機発光層 1 7 の段切れ抑制、画素電

50

極 1 3 と対向電極 2 0 との間の電気絶縁性の向上などの役割を有する。

【 0 0 6 9 】

画素規制層 1 4 1 に用いられる電気絶縁性材料の具体例としては、上記隔壁 1 4 の材料として例示した樹脂材料や無機材料などが挙げられる。また、上層となる有機発光層 1 7 を形成する際、インクが濡れ広がりやすいように、画素規制層 1 4 1 の表面はインクに対する親液性を有することが好ましい。

【 0 0 7 0 】

(5) 正孔注入層

正孔注入層 1 5 は、画素電極 1 3 から有機発光層 1 7 へのホール（正孔）の注入を促進させる目的で、画素電極 1 3 上の開口部 1 4 a 内に設けられている。正孔注入層 1 5 は、例えば、銀（ A g ）、モリブデン（ M o ）、クロム（ C r ）、バナジウム（ V ）、タングステン（ W ）、ニッケル（ N i ）、イリジウム（ I r ）などの酸化物、あるいは、P E D O T（ポリチオフェンとポリスチレンスルホン酸との混合物）などの導電性ポリマー材料からなる層である。上記の内、酸化金属からなる正孔注入層 1 5 は、ホールを安定的に、またはホールの生成を補助して、有機発光層 1 7 に対しホールを注入する機能を有する。

10

【 0 0 7 1 】

本実施の形態においては、正孔注入層 1 5 は、P E D O T（ポリチオフェンとポリスチレンスルホン酸との混合物）などの導電性ポリマー材料で印刷法などのウェットプロセスにより形成する。

20

【 0 0 7 2 】

(6) 正孔輸送層

正孔輸送層 1 6 は、正孔注入層 1 5 から注入された正孔を有機発光層 1 7 へ輸送する機能を有する。正孔輸送層 1 6 は、例えば、ポリフルオレンやその誘導体、あるいは、ポリアリールアミンやその誘導体などの高分子化合物であって、親水基を備えないものなどを用いて印刷法などのウェットプロセスにより形成される。

【 0 0 7 3 】

本実施の形態では、上記正孔注入層 1 5 と正孔輸送層 1 6 が第 1 機能層 2 2（後述の図 4 参照）を構成する。なお、第 1 機能層 2 2 は、正孔注入性および正孔輸送性のうち少なくとも一方の特性を有していればよい。

30

【 0 0 7 4 】

(7) 有機発光層

有機発光層 1 7 は、開口部 1 4 a 内に形成されており、正孔と電子の再結合により、R、G、Bの各色の光を発光する機能を有する。なお、特に、発光色を特定して説明する必要があるときには、有機発光層 1 7（R）、1 7（G）、1 7（B）と記す。

【 0 0 7 5 】

有機発光層 1 7 は、有機発光材料からなる有機発光材料層に、電子供与性材料としての金属をドーピングして電子供与性材料含有層 1 7 1（図 4 参照）を形成してなる。本実施の形態では、電子供与性材料含有層 1 7 1 は、中間層 1 8 や第 2 機能層 1 9 に含まれる金属が有機発光層 1 7 中に拡散して形成されるようになっている。これにより、有機発光層 1 7 と第 2 機能層 1 9 のエネルギー障壁が小さくなり、対向電極 2 0 から有機発光層 1 7 への電子注入量が増大し、有機発光層 1 7 における良好なキャリアバランスを得ることができ、発光効率を改善することが可能となる。詳しくは、後述する。

40

【 0 0 7 6 】

なお、有機発光層 1 7 に用いられる有機発光材料としては公知の材料を利用することができる。例えば、オキシノイド化合物、ペリレン化合物、クマリン化合物、アザクマリン化合物、オキサゾール化合物、オキサジアゾール化合物、ペリノン化合物、ピロロピロール化合物、ナフタレン化合物、アントラセン化合物、フルオレン化合物、フルオランテン化合物、テトラセン化合物、ピレン化合物、コロネン化合物、キノロン化合物及びアザキノロン化合物、ピラゾリン誘導体及びピラゾロン誘導体、ローダミン化合物、クリセン化合物、フェナントレン化合物、シクロペンタジエン化合物、スチルベン化合物、ジフェニ

50

ルキノン化合物、スチリル化合物、ブタジエン化合物、ジシアノメチレンピラン化合物、ジシアノメチレンチオピラン化合物、フルオレセイン化合物、ピリリウム化合物、チアピリリウム化合物、セナピリリウム化合物、テルロピリリウム化合物、芳香族アルダジエン化合物、オリゴフェニレン化合物、チオキサンテン化合物、アンスラセン化合物、シアニン化合物、アクリジン化合物、8-ヒドロキシキノリン化合物の金属鎖体、2-ビビリジン化合物の金属鎖体、シッフ塩とI I I族金属との鎖体、オキシ金属鎖体、希土類鎖体等の蛍光物質や、トリス(2-フェニルピリジン)イリジウムなどの燐光を発光する金属錯体等の公知の燐光物質を用いることができる。

【0077】

(8) 中間層

中間層18は、下部の有機層からの水分の第2機能層19への移動を抑止すると共に、対向電極20からの電子を有機発光層17へ輸送する機能を有する。中間層18は、NaF(フッ化ナトリウム)からなる。NaFは、上層に還元性を有する材料を蒸着することで電子注入性に優れると共に水分の透過性が低く防水性を有するからである。

【0078】

また、還元されて解離したNa原子の一部が有機発光層17に拡散して、有機発光層17中のキャリア密度を増加させ、第2機能層19とのエネルギー障壁を小さくするように機能する。

【0079】

中間層18の膜厚は1nm以上10nm以下とすることが望ましい。

【0080】

(9) 第2機能層

第2機能層19は、中間層18上に形成されており、対向電極20から注入された電子を有機発光層17へと輸送する機能を有する。

【0081】

本実施の形態では、第2機能層19は、Yb(イッテルビウム)の単層からなり、蒸着法もしくはスパッタ法により中間層18上にYb膜を成膜することにより形成される。

【0082】

Ybは、還元性を有すると共に、仕事関数が低いため電子注入特性に優れる。また、アルカリ金属やアルカリ土類金属(以下では、「アルカリ金属等」と総称する。)に比べて化学的に安定しており、水分等の不純物と反応しにくく、劣化しにくいという優れた特性を有する。

【0083】

これにより、従来の有機材料にアルカリ金属等をドーブする場合に比べて、より耐液性が増すと共に、中間層18のNaFとのYbの有効な接触面積も大きくなるので、YbによるNaFへの還元作用が促進される。解離したNaが、電子注入特性をより向上させると共に、有機発光層17へ拡散し、電子供与性材料含有層171を形成する。

【0084】

Yb単層膜の膜厚は、0.1nm以上、10nm以下とすることが望ましい。0.1nm未満であると十分な電子注入性を得られないおそれがあるからであり、10nmを超えると光透過性に問題があり、発光効率が低下するおそれがあるからである。

【0085】

なお、中間層18の膜厚が小さい場合には、Yb自身も有機発光層17の有機発光材料に拡散する。Ybは3価のプラスイオンなのでNaだけが拡散する場合よりも有機発光層17中のキャリア密度を高くする効果が高い。

【0086】

(10) 対向電極

対向電極20は、透光性の導電性材料からなり、第2機能層19上に形成されている。対向電極20は、陰極として機能する。

【0087】

10

20

30

40

50

対向電極 20 としては、例えば、金属薄膜または、ITO や IZO などの透明導電膜を用いることができる。光共振器構造をより効果的に得るためには、対向電極 20 の材料として、アルミニウム、マグネシウム、銀、アルミニウム - リチウム合金、マグネシウム - 銀合金等のうち少なくとも 1 つの材料からなる金属薄膜を形成するのが望ましい。この場合において、金属薄膜の膜厚は、5 nm 以上 30 nm 以下とすることが望ましい。これにより、対向電極 20 が半透光性となり、画素電極 13 と対向電極 20 の各反射面との間で光共振器構造を構築することができるため、発光効率をさらに向上できる。

【0088】

なお、上記のような光共振器構造を採用する場合には、第 2 機能層 19 と対向電極 20 の間に ITO や IZO などの透明導電膜を所望の膜厚で形成して、有機発光層 17 と対向電極 20 間の光学的距離を適切な大きさに調整するのが望ましい。

10

【0089】

また、対向電極 20 上に同じく ITO や IZO などの透明導電膜を形成して、これにより、色度や視野角を調整するようにしてもよい。

【0090】

(11) 封止層

封止層 21 は、正孔輸送層 16、有機発光層 17、第 2 機能層 19 などの有機層が水分に晒されたり、空気に晒されたりして劣化するのを防止するために設けられるものである。

【0091】

封止層 21 は、例えば、窒化シリコン (SiN)、酸窒化シリコン (SiON) などの透光性材料を用いて形成される。

20

【0092】

(12) その他

図 3 には示されていないが、封止層 21 上に透明な接着剤を介して防眩用の偏光板や上部基板を貼り合せてもよい。また、各有機 EL 素子 2 により発光される光の色度を補正するためのカラーフィルターを貼り合わせてもよい。これらにより、正孔輸送層 16、有機発光層 17、第 2 機能層 19 などを外部の水分および空気などからさらに保護できる。

【0093】

3. 発光層と隣接層との間のキャリア移動の適正化について

30

以下、有機 EL 素子における発光層中のキャリア移動を適正化するための方法について図面を参照しながら説明する。

【0094】

(1) 有機 EL 素子の主要部における積層構造

図 4 は、本開示の態様に係る有機 EL 素子における主要部 (陽極から陰極に至るまでの部分: 以下、「発光部」ともいう。) の積層構造を示す模式図である。

【0095】

同図に示すように画素電極 13 上に第 1 機能層 22 (正孔注入層 15、正孔輸送層 16)、有機発光層 17、中間層 18、第 2 機能層 19 および対向電極 20 を積層して発光部が形成されている。

40

【0096】

有機発光層 17 の対向電極 20 側の界面 (本例では中間層 18 との界面) 側には、電子供与性材料含有層 171 が形成される。

【0097】

この電子供与性材料含有層 171 は、有機発光層 17 の母体となる有機発光材料に電子供与性材料をドーブして形成されている。ドーブされる金属としては、アルカリ金属、アルカリ土類金属および希土類金属のうち少なくとも 1 つの金属を用いることができる。

【0098】

本実施の形態では、中間層 18 の形成材料である NaF に含まれる Na と第 2 機能層 19 の Yb が、拡散により、有機発光層 17 の有機発光材料に拡散して電子供与性材料含有

50

層 171 を形成している。もっとも、中間層 18 の膜厚が厚い場合には、第 2 機能層 19 の Yb が、有機発光層 17 に浸透しない場合もあり得るが、少なくとも直接接触する中間層 18 中の Na は有機発光層 17 に浸透・拡散して電子供与性材料含有層 171 を形成する。

【0099】

電子供与性材料としての上記金属は、有機発光材料からなる膜厚 t_1 の有機発光材料層に対し、その膜厚方向に拡散して分布し、厚み t_2 ($t_2 < t_1$) の電子供与性材料含有層 171 を形成する。ただし、有機発光層 17 における電子供与性材料含有層 171 と電子供与性材料含有層 171 以外の部分の境界面は、必ずしも明確ではなく、図 4 はあくまでも模式的に表している。

10

【0100】

これらの電子供与性材料の金属をドーブすることにより有機発光層 17 のキャリア密度が増加し、第 2 機能層 19 とのエネルギー障壁を小さくすることができる。

【0101】

なお、有機発光層 17 中でホールと電子が再結合して発光する箇所（発生する励起子の密度が高いところ）ができるだけ有機発光層 17 の画素電極 13 側の界面（以下、「陽極側界面」という。）に近い部分であることが望ましい。電子供与性材料含有層 171 は、中間層 18 中のアルカリ金属等の拡散により形成されるので、有機発光層 17 の対向電極 20 側の界面（以下、「陰極側界面」という。）付近の濃度が一番高く、陽極側界面に向かって連れて少なくなる。

20

【0102】

発光中心をできるだけ陽極側界面に近くすることにより、ホールと電子の再結合により生じる励起子のエネルギーが電子供与性材料である金属に吸収されて発光に寄与する励起子の量が減少するのを可及的に阻止できる。

【0103】

したがって、有機発光層 17 にドーブされた電子供与性材料の濃度は、陽極側界面よりも陰極側界面の方が高いことが望ましく、また、前記発光層で発生する励起子の密度は、陰極側界面よりも陽極側界面の方が高いことが望ましい。

【0104】

そのためには、有機発光層 17 の膜厚および必要な電子移動度を有する有機材料、中間層 18 の膜厚（第 2 機能層 19 により還元されて有機発光材料に拡散され得る Na の量）などが、予め実験などにより決定される。

30

【0105】

本実施の形態では、中間層 18 は、NaF からなるが、他のアルカリ金属もしくはアルカリ土類金属のうち選択された金属のフッ化物であっても構わない。同様に水分等のブロック性を有し、また、Yb により一部が還元された場合に、それらの類に属する金属は電子注入特性を発揮するからである。もっとも、水分等の不純物のブロック性を特に重視せず、電子供与性材料含有層 171 に上記金属を拡散することのみに着目すれば、特にフッ化物に限定されず、当該金属と他の元素の化合物であっても構わない。

【0106】

第 2 機能層 19 の Yb は還元性を有するので、中間層 18 の NaF が一部還元されて解離し、解離した Na が電子供与性材料として、主に有機発光層 17 の中間層 18 側に浸透・拡散して、電子供与性材料含有層 171 を形成する。

40

【0107】

なお、第 2 機能層 19 を形成する金属は、Yb だけでなく他の希土類金属であっても構わない。Yb の有する低仕事関数、還元性、化学安定性の各特性は、希土類金属に共通する特性であるからである。もっとも、Yb は、他の希土類金属に比べて、融点が低く、透明性も高いなどの優れた特徴を有する。

【0108】

以上のようにして、有機発光層 17 中に電子供与性材料含有層 171 を形成することに

50

より、画素電極 13 と対向電極 20 に電圧を印加したときにおける有機発光層 17 中のキャリアバランスが改善され、駆動電圧を低くでき発光効率が向上する。

【0109】

(2) キャリアバランスの改善について

図5は、有機EL素子における正孔輸送層、発光層、電子輸送層のエネルギー準位が適切に設定されている状態を示す模式図である。

【0110】

同図に示すように、画素電極（陽極）と対向電極（陰極）との間に電圧が印加された状態において、画素電極から正孔輸送層を介して発光層の最高被占軌道（HOMO）に正孔（ホール）が供給されると共に、対向電極から電子輸送層を介して発光層の最低空軌道（LUMO）に電子が供給される。そして、発光層に対し正孔輸送層側から供給されたホールと電子輸送層側から供給された電子とが発光層内で再結合し励起状態を生成して発光する。

10

【0111】

この再結合において、良好なキャリアバランスが保たれて発光層に注入される電子とホールとが量的に均衡していると、電子とホールとが過不足なく再結合される。そのため、残余のホール又は電子が発生することなく、全てのホール及び電子を発光に寄与させることができ有機EL素子の発光効率を最適化することができる。

【0112】

これに対し、正孔輸送層、発光層、電子輸送層のエネルギー準位が適切でない場合には、発光層へのキャリア移動が適切に行われない。

20

【0113】

図6は、有機EL素子における正孔輸送層、発光層、電子輸送層のエネルギー準位が適切でない場合の一例を示す概略図である。同図では、発光層のエネルギー準位の正孔輸送層及び電子輸送層のエネルギー準位に対する相対位置が、図5に示す状態と比べて上方に位置する。

【0114】

そのため、電子輸送層のエネルギー準位に対する発光層のLUMO準位の相対位置が上方にシフトし、両エネルギー準位の差Aが図5に示す状態と比べて増加している。その結果、画素電極と対向電極との間に電圧が付勢された状態における、対向電極から電子輸送層を介した発光層のLUMOへの電子供給に対するエネルギー障壁が増し、発光層へ流入する電子の量が減少する。

30

【0115】

また、正孔輸送層のエネルギー準位と発光層のLUMO準位との差Bが図5に示す状態と比べて減少している。その結果、発光層のLUMOから正孔輸送層への電子流出に対するエネルギー障壁が減少し、発光層から正孔輸送層への流出する電子の量が増加する。また、正孔輸送層から発光層へ流入するホールの量は増加する。

【0116】

他方、正孔輸送層のエネルギー準位に対する発光層のHOMO準位の相対位置が下方にシフトし、両エネルギー準位の差Cが図5に示す状態と比べて減少する。その結果、画素電極と対向電極との間に電圧が印加された状態において、画素電極から正孔輸送層を介して発光層のHOMOへ流入するホールの量は増加する。

40

【0117】

その結果、発光層内における電子とホールに量的な不均衡が生じることになり、発光層内でホールと再結合して発光に寄与する電子の量が、発光層内に供給されるホールの量に対して少なくなり、有機EL素子の発光効率が低下するという問題が生じる。

【0118】

図7(a)～(c)は、有機EL素子2における正孔輸送層16、有機発光層17、中間層18のエネルギー準位の改善を説明するための模式図である。図7(a)は、有機発光層17に電子供与性材料をドーピングする前の各層のエネルギー準位、図7(b)は有機発

50

光層 17 に電子供与性材料をドーブしたときの有機発光層 17 のフェルミレベルの変化、図 7 (c) は、有機発光層 17 に電子供与性材料をドーブしたときの各層のエネルギー準位を示す。

【0119】

図 7 (a) に示すように、正孔輸送層 16、有機発光層 17、中間層 18 のエネルギー準位は、各層のフェルミレベル 16a、17a、18a が一致するようなエネルギー準位に位置している。有機 EL 素子 2 の有機発光層 17 に電子供与性材料を含まない場合 (図 7 (a)) には、中間層 18 のエネルギー準位と有機発光層 17 の LUMO 準位との差 D は相対的に大きく、正孔輸送層 16 のエネルギー準位と有機発光層 17 の LUMO 準位との差 E は相対的に小さい。その結果、図 6 に示した場合と同様、有機発光層 17 内でホールと再結合して発光に寄与する電子の量が、有機発光層 17 内に供給されるホールの量に対して少なくなり、発光効率が低いという課題が生じる。

10

【0120】

そこで、有機発光層 17 に電子供与性材料が添加されている状態とすることにより、有機発光層 17 のフェルミレベルを 17a から 17b に LUMO 側にシフトする (図 7 (b))。

【0121】

そうすると、図 7 (c) に示すように、各層のエネルギー準位は、各層のフェルミレベル 16a、17a、18a が一致するようなエネルギー準位に再配置され、図 7 (a) に比べて、中間層 18 のエネルギー準位と有機発光層 17 の LUMO 準位との差 F は減少する。

20

【0122】

そのため、中間層 18 から有機発光層 17 へ流入する電子の量が増加する。その結果、発光層内でホールと再結合して発光に寄与する電子の量が増加し、有機 EL 素子 2 の発光効率は向上する。

【0123】

したがって、有機発光層 17 の少なくとも陰極側の界面に近い側の部分のフェルミレベルを LUMO 側にシフトすることにより、有機発光層 17 内に存在しホールとの再結合に寄与する電子の量を、正孔輸送層 16 から有機発光層 17 内に供給されるホールの量と均衡させることができ、電子とホールとが過不足なく再結合して、発光に寄与させることができ有機 EL 素子の発光効率を向上することができる。

30

【0124】

すなわち、有機発光層 17 の HOMO 準位と LUMO 準位を有機発光層 17 に電子供与性材料を含ませることにより制御し、有機発光層 17 に隣接する中間層 18 との注入エネルギー障壁を最適化する。これにより有機発光層 17 に注入される電子とホールの量的バランス (キャリアバランス) が最適化し発光効率を改善することができる。

【0125】

(3) 有機発光層のエネルギー準位シフト量と発光効率及び印加電圧との関係について有機 EL 素子 2 における有機発光層 17 のエネルギー準位シフト量と発光効率及び印加電圧について図面を参照しながら説明する。

40

【0126】

有機発光層 17 の HOMO 準位及び LUMO 準位を示すエネルギーレベルを変化させた計算実験をデバイスシミュレータを用いて行った。シミュレータでは、図 5 に示したモデルにおける有機発光層の HOMO・LUMO 準位をともに変化させ、電流特性、効率特性を評価した。

【0127】

図 8 は、有機 EL 素子 2 における、発光層のエネルギーレベルのシフト量と最大エキシトン (励起子) 生成効率との関係を示すシミュレーション結果の図である。図 9 は、発光層のエネルギーレベルのシフト量と単位電流値当たりの必要印加電圧 ($10 \text{ mA} / \text{cm}^2$ を流すための印加電圧) との関係を示すシミュレーション結果の図である。

50

【 0 1 2 8 】

図 8 及び図 9 において、発光層のエネルギーレベルのシフト量は、有機発光層 17 中に電子供与性材料を含まない状態（後述の有機発光材料層 170 を形成した状態）を基準値（0 eV）とした。

【 0 1 2 9 】

図 8 に示すように、発光効率をあらわす指標であるエキシトン生成効率は、有機発光層 17 のエネルギーレベルを基準値（0 eV）から正方向にシフトすることで増加する。そして、基準値から約 0.05 eV シフトすることで、エキシトン生成効率は最大値（約 0.3 eV 時）からの損失量がほぼ半減し、基準値から約 0.1 eV 以上シフトすることでエキシトン生成効率はほぼ飽和する。

10

【 0 1 3 0 】

一方、図 9 に示すように、単位電流（10 mA / cm²）を流すための印加電圧は、有機発光層 17 のエネルギーレベルを基準値（0 eV）から正方向にシフトすることで漸減し、基準値から約 0.15 eV シフトすることで最小値を示す。さらに、有機発光層 17 のエネルギーレベルを正方向にシフトすることで印加電圧は漸増し、約 0.3 eV において基準値（0 eV）における印加電圧を超えない値を示す。

【 0 1 3 1 】

これらの結果から、有機発光層 17 のエネルギーレベルを、電子供与性材料を含まない状態を基準（0 eV）として、0.05 eV 以上 0.3 eV 以下の範囲で正方向にシフトすることで、有機 EL 素子 2 の発光効率を向上するとともに駆動電圧が低減することが可能であることがわかる。

20

【 0 1 3 2 】

（4）有機発光層 17 のエネルギーレベルのシフト量とキャリア密度との関係について
有機発光層 17 のエネルギーレベルを、電子供与性材料を含まない状態を基準として 0.05 eV 以上 0.3 eV 以下の範囲で正方向にシフトするための電子供与性材料のドーピング濃度について計算を行った。

【 0 1 3 3 】

一般に半導体に不純物を n 型ドーピングした際のエネルギーレベル（フェルミレベル：フェルミ準位）を E_f 、真性半導体のフェルミレベルを E_i としたとき、エネルギーシフト量（ $E_f - E_i$ ）は、次式により計算することができる。

30

【 0 1 3 4 】

$$E_f - E_i = k * T * \ln(N_d / n_i)$$

ここで、 E_f ：フェルミレベル、 E_i ：真性半導体のフェルミレベル、 k ：ボルツマン定数、 T ：絶対温度、 N_d ：n 型キャリア濃度（cm⁻³）、 n_i ：真性半導体のキャリア密度（cm⁻³）

上式を用いて、有機発光層のエネルギーシフト量（ $E_f - E_i$ ）と n 型不純物のキャリア濃度との関係を計算することができる。

【 0 1 3 5 】

図 10 は、有機 EL 素子 2 への適用を目的として、発光層のエネルギーレベルのシフト量と発光層の n 型キャリア密度との関係を示す計算結果を示した図である。

40

【 0 1 3 6 】

本計算では、真性半導体のキャリア密度 n_i に替えて、電子供与性材料を含まない状態での有機発光層 17（有機発光材料層 170）のキャリア密度を用いて計算を行った。具体的には、電子供与性材料を含まない状態での有機発光層 17 のキャリア密度は、発明者の検討により算出した現実的に取り得る数値 $5 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 以上、 $5 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ 以下として計算を行った。

【 0 1 3 7 】

図 10 より、有機発光層 17 のエネルギーレベルを 0.05 eV 以上 0.3 eV 以下の範囲で正方向にシフトしたときの、有機発光層 17 の n 型キャリア濃度は、 $3.5 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ 以上、 $5.5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは、 $10^{12} / \text{cm}^3$ 以上、 10^{19}

50

$/\text{cm}^3$ 以下の範囲に存在することがわかる。

【0138】

電子供与性材料を一価のイオンとなるアルカリ金属で構成すると、 n 型キャリア濃度 N_d が電子供与性材料を混入させる濃度になる。電子供与性材料が多価イオンとなる場合には、その価数に応じて型キャリア濃度 N_d から電子供与性材料を混入させる密度を換算する。例えば、電子供与性材料が二価のイオンとなるアルカリ土類金属で構成される場合には、電子供与性材料を混入させる濃度は n 型キャリア濃度 N_d の $1/2$ となる。

【0139】

また、図10の結果を用いて、有機EL素子2における、発光層のエネルギーレベルのシフト量と発光層の電子供与性材料の添加に伴う n 型キャリア密度の変化率との関係を求めることができる。

10

【0140】

図11は、有機EL素子2への適用を目的として行った、発光層のエネルギーレベルのシフト量と、真性半導体のキャリア密度 n_i に対する発光層の n 型キャリア密度の比との関係を示す計算結果を示した図である。図11に示すように、有機発光層17のエネルギーレベルを 0.05 eV 以上 0.3 eV 以下の範囲で正方向にシフトするためには、有機発光層17には、電子供与性材料を含まない状態での有機発光材料のキャリア密度の7倍以上 1×10^5 倍以下となるように、好ましくは、 1×10^1 倍以上 1×10^5 倍以下となるように電子供与性材料が添加されていることが必要となる。

【0141】

20

4．有機EL素子2を用いた発光効率及び印加電圧の実験結果について

有機EL素子2に係るサンプルを用いて発光効率及び印加電圧の実測を行った。図12(a)は、有機EL素子2における、発光層の電流密度と最大エキシトン効率との関係を示す実験結果を示す図であり、図12(b)は、印加電圧と電流密度との関係を示す実験結果を示す図である。

【0142】

有機EL素子2に係るサンプルでは、有機発光層17のエネルギーレベルを 0.05 eV 以上 0.3 eV 以下の範囲で正方向にシフトするように有機発光層17に電子供与性材料を添加している。比較例として発光層に電子供与性材料を含まないサンプルを用いた。

【0143】

30

図12(a)に示すように、有機EL素子2に係るサンプルによる発光効率の実験結果I(実線)は、比較例に係るサンプルによる発光効率の実験結果X(破線)と比較して、各電流密度において発光効率が大きいことがわかる。

【0144】

また、図12(b)に示すように、有機EL素子2に係るサンプルによる電流密度の実験結果J(実線)は、比較例に係るサンプルによる電流密度の実験結果Y(破線)に対して、各印加電圧において電流密度が大きいことがわかる。

【0145】

上記の結果から、有機発光層17のエネルギーレベルを、電子供与性材料を含まない状態を基準として、 0.05 eV 以上 0.3 eV 以下の範囲で正方向にシフトした有機EL素子2に係るサンプルでは、発光層に電子供与性材料を含まないサンプルと比較して、発光効率が向上するとともに駆動電圧を低減できることがわかる。

40

【0146】

5．有機EL素子の製造方法

実施の形態に係る有機EL素子2の製造方法について、図13～図17を用いて以下に説明する。なお、図13は、有機EL素子2の製造過程を示すフローチャートであり、図14～図17は、有機EL素子2の製造過程を模式的に示す断面図である。

【0147】

(1) 基板準備工程

まず、図14(a)に示すように、基材111上にTF層112を形成して基板11

50

を準備する（図１３のステップＳ１）。ＴＦＴ層１１２は、公知のＴＦＴの製造方法により形成することができる。

【０１４８】

（２）層間絶縁層形成工程

次に、図１４（ｂ）に示すように、基板１１上に、層間絶縁層１２を形成する。（図１３のステップＳ２）。

【０１４９】

具体的には、一定の流動性を有する樹脂材料を、例えば、ダイコート法により、基板１１の上面に沿って、ＴＦＴ層１１２による基板１１上の凹凸を埋めるように塗布する。これにより、層間絶縁層１２の上面は、基材１１１の上面に沿って平坦化した形状となる。

10

【０１５０】

また、層間絶縁層１２における、ＴＦＴ素子の例えばソース電極上の個所にドライエッチング法を行い、コンタクトホール（不図示）を形成する。コンタクトホールは、その底部にソース電極の表面が露出するようにパターニングなどを用いて形成される。

【０１５１】

次に、コンタクトホールの内壁に沿って接続電極層を形成する。接続電極層の上部は、その一部が層間絶縁層１２上に配される。接続電極層の形成は、例えば、スパッタリング法を用いることができ、金属膜を成膜した後、フォトリソグラフィ法およびウエットエッチング法を用いてパターニングすればよい。

20

【０１５２】

（３）画素電極形成工程

次に、図１４（ｃ）に示すように、層間絶縁層１２上に画素電極材料層１３０を形成する。画素電極材料層１３０は、例えば、真空蒸着法、スパッタリング法などを用いて形成することができる。

【０１５３】

そして、図１４（ｄ）に示すように、画素電極材料層１３０をエッチングによりパターニングして、副画素ごとに区画された複数の画素電極１３を形成する（図１３のステップＳ３）。

【０１５４】

（４）隔壁・画素規制層形成工程

30

次に、隔壁１４および画素規制層１４１を形成する（図１３のステップＳ４）。

【０１５５】

本実施の形態では、画素規制層１４１と隔壁１４を別工程で形成するようにしている。

【０１５６】

（４－１）画素規制層形成

まず、Ｙ方向（図２）における画素電極列を副画素毎に仕切るため、Ｘ方向に伸びる画素規制層１４１を形成する。

【０１５７】

図１５（ａ）に示すように、画素電極１３が形成された層間絶縁層１２上に、画素規制層１４１の材料となる感光性の樹脂材料を一様に塗布して、画素規制層材料層１４１０を形成する。このときの樹脂材料の塗布量は、乾燥後に狙いの画素規制層１４１の膜厚となるように予め求められている。

40

【０１５８】

具体的な塗布方法として、例えばダイコート法やスリットコート法、スピンコート法などのウエットプロセスを用いることができる。塗布後には、例えば、真空乾燥及び６０～１２０程度の低温加熱乾燥（プリバーク）などを行って不要な溶媒を除去するとともに、画素規制層材料層１４１０を層間絶縁層１２に定着させることが好ましい。

【０１５９】

そして、フォトリソグラフィ法を用いて、画素規制層材料層１４１０をパターニングする。

50

【 0 1 6 0 】

例えば、画素規制層材料層 1 4 1 0 がポジ型の感光性を有する場合は、画素規制層 1 4 1 として残す箇所を遮光し、除去する部分が透明なフォトリソマスク（不図示）を介して画素規制層材料層 1 4 1 0 を露光する。

【 0 1 6 1 】

次に、現像を行い、画素規制層材料層 1 4 1 0 の露光領域を除去することにより、画素規制層 1 4 1 を形成することができる。具体的な現像方法としては、例えば、基板 1 1 全体を、画素規制層材料層 1 4 1 0 の露光により感光した部分を溶解させる有機溶媒やアルカリ液などの現像液に浸した後、純水などのリンス液で基板 1 1 を洗浄すればよい。

【 0 1 6 2 】

その後、所定温度で焼成（ポストバーク）することにより、層間絶縁層 1 2 上に、X 方向に延伸する画素規制層 1 4 1 を形成することができる（図 1 5（b））。

【 0 1 6 3 】

（ 4 - 2 ）隔壁形成

次に、Y 方向に伸びる隔壁 1 4 を上記画素規制層 1 4 1 と同様に形成する。

【 0 1 6 4 】

すなわち、上記画素電極 1 3、画素規制層 1 4 1 が形成された層間絶縁層 1 2 上に、隔壁用の樹脂材料を、ダイコート法などを用いて塗布して、隔壁材料層 1 4 0 を形成する（図 1 5（c））。このときの樹脂材料の塗布量は、乾燥後に狙いの隔壁 1 4 の高さとなるように予め求められている。

【 0 1 6 5 】

そして、フォトリソグラフィ法により隔壁材料層 1 4 0 に Y 方向に延在する隔壁 1 4 をパターニングした後、所定の温度で焼成して隔壁 1 4 を形成する（図 1 5（d））。

【 0 1 6 6 】

なお、上記では、画素規制層 1 4 1 と隔壁 1 4 のそれぞれの材料層をウエットプロセスで形成した後にパターニングするようにしたが、いずれか一方または双方の材料層をドライプロセスで形成して、フォトリソグラフィ法とエッチング法により、パターニングするようにしてもよい。

【 0 1 6 7 】

（ 5 ）第 1 機能層形成工程

第 1 機能層形成工程は、正孔注入層 1 5 の形成と正孔輸送層 1 6 の形成を含む（図 1 3 のステップ S 5）。

【 0 1 6 8 】

まず、正孔注入層 1 5 は、PEDOT：PSS（ポリチオフェンとポリスチレンスルホン酸との混合物）などの導電性ポリマー材料を含むインクを印刷装置の塗布ヘッド 3 0 1 のノズル 3 0 1 1 から吐出して、開口部 1 4 a 内に塗布し、溶媒を揮発除去させ、および／または焼成することにより形成される。

【 0 1 6 9 】

正孔輸送層 1 6 は、上記正孔注入層 1 5 上に、正孔輸送層 1 6 の構成材料を含むインクを塗布した後、溶媒を揮発除去させ、および／または、焼成することにより形成される。正孔輸送層 1 6 の構成材料として、例えば、ポリフルオレンやその誘導体、あるいは、ポリアリールアミンやその誘導体などの高分子化合物であって、親水基を備えないものなどである。塗布方法は、正孔注入層 1 5 の場合と同じである。

【 0 1 7 0 】

なお、図 1 6（a）は、正孔注入層 1 5 形成後に正孔輸送層 1 6 を形成している際における有機 EL 表示パネル 1 0 の模式断面図を示している。

【 0 1 7 1 】

（ 6 ）有機発光材料層形成工程

次に、上記正孔輸送層 1 6 の上方に、有機発光層 1 7 の前駆体として有機発光材料層 1 7 0（R）、1 7 0（G）、1 7 0（B）（以下、各発光色を区別しないで、単に「有機

10

20

30

40

50

発光材料層 170」という。)を形成する(図13のステップS6)。

【0172】

具体的には、図16(b)に示すように、各開口部14aに対応する発光色の有機発光層の構成材料である有機発光材料を含むインクを、印刷装置の塗布ヘッド301のノズル3011から順次吐出して開口部14a内の正孔輸送層16上に塗布し、インク塗布後の基板11を真空乾燥室内に搬入して真空環境下で加熱することにより、インク中の有機溶媒を蒸発させる。これにより、有機発光材料層170を形成できる。

【0173】

(7) 中間層形成工程

次に、図17(a)に示すように、有機発光材料層170および隔壁14の上に、真空蒸着法などにより、中間層18を、例えば膜厚4[nm]で成膜する(図13のステップS7)。

【0174】

上述したように中間層18は、NaFからなり、有機発光材料層170、正孔輸送層16、正孔注入層15、隔壁14の内部や表面に存在する不純物が、第2機能層19や対向電極20へと侵入するのを防止すると共に、第2機能層19のYbにより還元されて解離したNaが電子供与性材料として機能し、有機発光材料層170内に拡散される。

【0175】

(8) 第2機能層形成工程

続いて、図17(b)に示すように、中間層18上に、真空蒸着法などにより、第2機能層19を、0.1nm以上1nm以下の膜厚、例えば膜厚1[nm]で成膜する(図13のステップS8)。

【0176】

既述のように第2機能層19は、Ybからなり、中間層18に含まれるNaFを還元してNaとFとを解離させる。

【0177】

中間層18と第2機能層19の膜厚は上述のとおり薄く、中間層18を形成するNaと、第2機能層19を形成するYbは、製造の過程で有機発光材料層170内にその膜厚方向に拡散し、有機発光材料と少なくともNaとが混ざり合って電子供与性材料含有層171が形成され最終的に有機発光層17が形成される。

【0178】

電子供与性材料となる金属のドーピング量は、中間層18の膜厚により制御することができ、少なくとも一番ドーピング濃度の高い有機発光層17の陰極側界面におけるキャリア密度が、上記シミュレーションで求めた最適範囲($10^{12}/\text{cm}^3$ 以上、 $10^{19}/\text{cm}^3$ 以下)となるように、当該中間層18の膜厚が予め実験などにより求められている。

【0179】

(9) 対向電極形成工程

次に、第2機能層19上に対向電極20を形成する(図13のステップS9)

対向電極形成工程は、まず、第2機能層19上に銀、アルミニウム等を、スパッタリング法、真空蒸着法により成膜して形成する(図17(c))。

【0180】

(10) 封止層形成工程

次に、図17(d)に示すように、対向電極20上に、封止層21を形成する(図13のステップS10)。封止層21は、SiON、SiN等を、スパッタリング法、CVD法などにより成膜することにより形成することができる。

【0181】

以上により図3に示す有機EL表示パネル10が製造される。なお、上記の製造方法は、あくまで例示であり、趣旨に応じて適宜変更可能である。

【0182】

変形例

10

20

30

40

50

以上、実施の形態に係る有機ＥＬ素子２等を説明したが、本発明は、その本質的な特徴的構成要素を除き、以上の実施の形態に何ら限定を受けるものではない。例えば、各実施の形態に対して当業者が思いつく各種変形を施して得られる形態や、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で各実施の形態における構成要素及び機能を任意に組み合わせることで実現される形態も本発明に含まれる。以下では、そのような形態の一例として、有機ＥＬ素子、有機ＥＬ表示パネルの変形例を説明する。

【０１８３】

(１) 上記実施の形態に係る有機ＥＬ素子２においては、第１機能層上に有機発光材料からなる有機発光材料層を形成した後、有機発光材料層上に、アルカリ金属またはアルカリ土類金属から選択された金属(第１金属)と他の元素との化合物を含む中間層１８を形成し、中間層１８上に、第１金属の化合物における第１金属と他の元素との結合を切るため還元性を有する希土類金属(第２金属)を含む第２機能層１９を形成することにより、電子供与性材料としての第１金属と第２金属のうち少なくとも第１金属が有機発光層１７中に拡散されてドーピングされる構成とした。

10

【０１８４】

しかし、第１金属および/または第２金属が有機発光層１７中に混在して電子供与性材料含有層１７１を形成するためのドーピング方法は上記構成に限られない。例えば、第１機能層上に有機発光材料からなる有機発光材料層を形成した後、有機発光材料層にアルカリ金属、アルカリ土類金属および希土類金属から選択された金属(以下、「電子供与性金属」という。)を、例えばイオン注入等の方法によりキャリア密度が $10^{12}/\text{cm}^3$ 以上、 $10^{19}/\text{cm}^3$ 以下となるようにドーピングする構成としてもよい。

20

【０１８５】

または、第１機能層上に有機発光材料のみで厚み($t_1 - t_2$)の有機発光材料層１７０で形成し、その後有機発光材料及び上記電子供与性金属をキャリア密度が $10^{12}/\text{cm}^3$ 以上、 $10^{19}/\text{cm}^3$ 以下となるように共蒸着することによりドーピングさせて前記有機発光層を形成する構成としてもよい。

【０１８６】

または、有機発光材料と上記電子供与性金属の化合物を含むインクを塗布することにより有機発光層を形成することによりドーピングさせてもよい。

【０１８７】

30

(２) 中間層と第２機能層の変形例

さらに、中間層１８と第２機能層１９の積層構造において、以下に示すような変形例を実施することもできる。なお、図１８以降の有機ＥＬ素子の主要部を示す図面においては、簡略化のため、有機発光層１７における電子供与性材料含有層１７１の図示を省略している。

【０１８８】

(２-１) 図１８に示すように、中間層１８を廃して、第２機能層１９をNaFとYbの混在物から形成するようにしてもよい。

【０１８９】

このような第２機能層１９は、例えば、有機発光層１７上にNaFとYbを共蒸着することにより形成される。

40

【０１９０】

係る構成により、第２機能層１９自身が、Ybによる電子注入特性と、本来中間層１８の機能であった水分等のブロック性を共有することになるが、NaFとYbの原子が一つの層の中に分散して混在することにより、次のような効果も得られる。

【０１９１】

すなわち、図４の実施の形態のように中間層１８(NaF)の上に第２機能層１９(Yb単層)を積層する場合に、YbによるNaFの還元作用は、中間層１８の第２機能層１９と接する一部にしか及ばないので、中間層１８の膜厚を大きくすると、駆動電圧の増加が一層大きくなり、発光効率の向上の目的が十分達成できないことがある。

50

【0192】

しかし、本変形例によれば、同一の第2機能層19の中にNaFとYbが共蒸着によって混在しているため、YbによるNaFの還元が内部まで進み、ある程度厚みを大きくしても電子注入性が低下しにくく、光共振器構造における光学的距離の調整層としての役割を果たすことができる。これにより他に特別な膜厚調整層を設ける必要性がなくなるので、製造プロセスが簡易化され(図13における中間層形成工程(ステップS7)を省略できる。)、生産コストを低減しつつ、光共振器構造を構築して発光効率の向上化を図ることが可能となる。

【0193】

また、Yb原子も有機発光層17との界面近くまで分布することになるので、有機発光層17への拡散がよりしやすいという利点がある。

10

【0194】

また、本変形例では、さらに第2機能層19の上に接してIZO膜やITO膜などの金属酸化物を含む透明導電膜を形成することが望ましい。

【0195】

本変形例では、IZO膜23をスパッタ法により形成している。一般に、Ybなどの希土類金属は、酸化すると透明性が向上するという特性を有するが、その一方で希土類金属単体を酸化させても希土類金属単体の表面のみに酸化物(不動態)が形成され、希土類金属の表面に緻密に形成された酸化物によりブロックされて、それ以上内層のYb原子を酸化するまでは至らない。しかし、本変形例のようにNaFとYbが共蒸着され、Yb原子とNaF分子が、混合物として互いに分散されて存在するため、Yb原子(もしくはYbのクラスター)同士に隙間が存在する。ここにIZOをスパッタリングすると、表面にあるYb原子を酸化するだけでなく、Yb原子同士の隙間からIZOが浸入して内部のYb原子を次々に酸化していくことができる。これにより膜厚方向においてかなり深くにあるYb原子まで酸化をすることができ、透過率が格段に向上する。

20

【0196】

(2-2)また、上記実施の形態では、中間層18を介して第2機能層19を形成していたが、Ybの化学的安定性が高いため、図19に示すように中間層18を廃してYb単層の第2機能層19を形成するようにしてもよい。

【0197】

Yb原子が全面で対向電極20および有機発光層17に接触することになるので、電子注入特性の安定性と有機発光層17へのYbの拡散性が増すと考えられる。本例の場合、電子供与性材料はYbのみとなる。

30

【0198】

このときの第2機能層19の膜厚の範囲は、0.1nm以上、10nm以下が望ましい。この場合においてもYb層が0.1nm未満であると水分等のブロック性が不足し、また十分な電子注入性を得られない恐れがある。また10nmを超えると光透過性に問題があり、発光効率が低下するおそれがあるからである。

【0199】

この変形例によっても、中間層18を省略できるので、製造工程を簡易化できる。

40

【0200】

(2-3)有機材料にYbをドーブして第2機能層を形成

(ア)第2機能層におけるYbのドーブ濃度が均一な例

上記実施の形態では、第2機能層19は、Ybの単層であったが、図20に示すように、有機材料にYbをドーブさせて形成してもよい。

【0201】

この場合、第2機能層19は、例えば、電子輸送性の有機材料とドーブ金属であるYbを共蒸着法によって各副画素に共通して成膜することにより形成される。

【0202】

第2機能層19のホストとなる有機材料としては、例えば、オキサジアゾール誘導体(

50

OXD)、トリアゾール誘導体(TAZ)、フェナンスロリン誘導体(BCP、Bphen)などの電子系低分子有機材料が挙げられる。有機材料にドーブされる金属としては、アルカリ金属またはアルカリ土類金属が用いられる。より具体的には、例えば、リチウム、バリウム、カルシウム、カリウム、セシウム、ナトリウム、ルビジウム等の低仕事関数金属、フッ化リチウム等の低仕事関数金属塩、酸化バリウム等の低仕事関数金属酸化物、リチウムキノリノール等の低仕事関数金属有機錯体などが用いられる。

【0203】

この場合には、第2機能層19の膜厚をYb単層の場合よりも厚くとれるので、光共振器構造を構築する場合に、キャピティ調整用の透明導電膜などを特に形成する必要がなくなり、製造工程を簡略化することができる。

10

【0204】

Ybのドーブ濃度は、1wt%以上90wt%以下の範囲内であればよい。Ybは上述のように、Baなどと比較して、化学的に安定し水分等と反応しにくい物質なので、ドーブ濃度が1wt%でも十分その電子注入性の機能を発揮できる。また、90wt%を超えると、蒸着時などにYbの塊が生じやすく、ホスト材料である有機層中に均等に分散させるのが難しくなるからである。

【0205】

また、YbはBaなどと比較して光透過性に優れているので、第2機能層19の透光率にそれほど影響を与えず、良好な発光効率を維持できる。

【0206】

このようにYbは高濃度でドーブできるので、電子注入性をさらに安定して長期間維持でき、さらなる長寿命化に貢献することができる。また、ドーブ濃度の範囲が広いことから、第2機能層19のホスト材料である有機材料の膜厚の範囲も大きくとれ、光共振器構造の設計の自由度も増す。

20

【0207】

(イ)第2機能層の膜厚方向にYbの濃度勾配を設ける例

図21に示すように、第2機能層19のYbのドーブ濃度が対向電極20に接する側は、D2wt%で、中間層18に近づくにつれてドーブ濃度が少なくなり、中間層18と接する部分では、D1wt%($D1 < D2$)となるように構成されている。

【0208】

このように第2機能層19のYb含有量を連続して変化させることで、中間層のNaFの防水性を発揮しつつ、中間層には弱い還元性を作用させ、電子注入性は制限しつつも不純物の機能層への侵入をより抑制でき、Ybドーブ量の増加によって光透過性が必要以上に低下しないようにすることもできる。また、陰極側の濃度を高くすることで陰極側からの機能層への電子注入性を向上するとともに外部からの不純物の浸入を阻止して、有機EL素子の寿命を更に延ばせることができる。

30

【0209】

これにより、より発光効率に優れ、長寿命化が可能な有機EL素子を提供できる。

【0210】

なお、Ybのドーブ濃度を徐々に変化させる方法として、例えば、共蒸着法において、Ybを加熱する電気炉の温度と有機材料を加熱する電気炉の温度をそれぞれ制御して、Ybの蒸着速度を、有機材料の蒸着速度に対して相対的に遅くさせていくことにより達成できる。

40

【0211】

(ウ)第2機能層が2層構造の例

また、図22に示すように、第2機能層19を、第1層部分191と第2層部分192の2層構造とし、第2層部分192のYbのドーブ濃度(D2wt%)を第1層部分191のYbのドーブ濃度(D1wt%)より高くしている($D1 < D2$)。

【0212】

(エ)第2機能層が3層構造の例

50

さらに、図 23 に示すように、第 2 機能層 19 を、第 1 層部分 191、第 2 層部分 192、第 3 層部分 193 の 3 層構造とし、第 1 ~ 第 3 層部分 191 ~ 193 の Yb のドーブ濃度を、それぞれ $D1wt\%$ 、 $D2wt\%$ 、 $D3wt\%$ としたときに、 $D2 < D1 = D3$ の関係を満たすように形成されている。

【0213】

本変形例によれば、対向電極 20 側の第 3 層部分 193 のドーブ濃度が、中間層 18 側の第 1 層部分 191 よりも大きいので、この部分で第 2 変形例と同じような効果を得られると共に、第 1、第 3 層部分 191、193 の間にある第 2 層部分 192 のドーブ濃度が一番低くなるようにしているので Yb ドーブ量の増加によって光透過性が必要以上に低下しないようにすることができる。第 1 層部分 191 により、中間層の NaF の防水性を発揮しつつ、発光層への電子注入性を向上させることができる。

10

【0214】

また、第 3 層部分 193 の濃度を高くすることでより陰極側からの第 2 機能層への電子注入性を向上するとともに外部からの不純物の浸入を阻止して、有機 EL 素子の寿命を更に延ばせることができるという効果を得ることができる。

【0215】

(3) 上記実施の形態に係る有機 EL 表示パネル 10 では、図 2 に示すように、画素規制層 141 の延伸方向が有機 EL 表示パネル 10 の長軸 X 方向、隔壁 14 の延伸方向が有機 EL 表示パネル 10 の短軸 Y 方向であったが、画素規制層 141 と隔壁 14 の延伸方向は、逆であってもよい。また、画素絶縁層及び隔壁の延伸方向は、有機 EL 表示パネル 10 の形状とは無関係な方向であってもよい。

20

【0216】

また、上記実施の形態に係る有機 EL 表示パネル 10 では、一例として画像表示面を長方形形状としたが、画像表示面の形状に限定はなく、適宜変更可能である。

【0217】

また、上記実施の形態に係る有機 EL 表示パネル 10 では、画素電極 13 を長方形平板状の部材としたが、これに限られない。

【0218】

さらに、上記実施の形態においてはラインバンク方式の有機 EL 表示パネルについて説明したが、一つの副画素ごとにその四方を隔壁で囲むようにした、いわゆるピクセルバンク方式の表示パネルであっても構わない。

30

【0219】

もっとも、ラインバンク方式の方が、画素規制層 141 上にも発光層が残るので、ピクセルバンク方式の場合よりもインクの滴下量が多くなり、それだけ乾燥後に残留する水分等が多いので、第 2 機能層 19 のドーブ金属として耐液性の Yb を採用する効果はより大きくなる。

【0220】

(4) 上記実施の形態では、正孔注入層 15、正孔輸送層 16、有機発光層 17 の全てについて印刷法（塗布法）により形成したが、そのうち 1 層のみを印刷法で形成された塗布膜としてもよい。なお、有機 EL 表示パネル 10 の完成品において、ある特定の層が塗布膜であるか否かは、その膜に残存する水分や溶媒を検出することにより容易に判別できる。

40

【0221】

(5) 上記実施の形態では、正孔注入層 15 を、導電性ポリマー材料を含むインクを用いて、印刷法により形成したが、遷移金属の酸化物を蒸着法もしくはスパッタ法により成膜してもよい。遷移金属の酸化物は、複数の酸化数をとるためこれにより複数の準位をとることができ、その結果、ホールの注入が容易になり駆動電圧を低減することができる。このような酸化金属として、酸化タングステンが好適である。

【0222】

これにより、電子供与性材料含有層 171 による電子注入量の増加に合わせてホール注

50

入量も増加することができ、より励起子量の多い状態でのキャリアバランスを達成でき、発光効率のさらなる向上が望める。

【 0 2 2 3 】

この場合には、画素電極の金属材料層と酸化タングステンの層を先に積層してから、フォトリソグラフィ法およびウエットエッチング法を用いてバターニングして画素電極 1 3 と正孔注入層 1 5 を同時に形成し、その後、隔壁 1 4 や画素規制層 1 4 1 を形成することにより製造工程が簡易化できる。

【 0 2 2 4 】

(6) 上記実施の形態に係る有機 E L 表示パネル 1 0 では、R、G、B 色にそれぞれ発光する副画素 1 0 0 R、1 0 0 G、1 0 0 B が配列されていたが、副画素の発光色はこれに限られず、例えば、R、G、B に加えて黄色 (Y) の 4 色であってもよい。また、一つの画素 P において、副画素は 1 色あたり 1 個に限られず、複数配置されてもよい。また、画素 P における副画素の配列は、図 2 に示すような、赤色、緑色、青色の順番に限られず、これらを入れ替えた順番であってもよい。

10

【 0 2 2 5 】

(7) また、上記実施の形態に係る有機 E L 表示パネル 1 0 は、アクティブマトリクス方式を採用したが、これに限られず、パッシブマトリクス方式を採用してもよい。

【 0 2 2 6 】

また、トップエミッション型の有機 E L 表示パネルだけでなくボトムエミッション型の有機 E L 表示パネルにも適用可能である。

20

【 0 2 2 7 】

なお、ボトムエミッション型の場合には、対向電極 2 0 を光反射性の陽極とし、画素電極 1 3 を光透過性 (半光透過性を含む) の材料で構成して陰極とする。これに合せて他の第 1 機能層 2 2、中間層 1 8、第 2 機能層 1 9 等の積層順も異なる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 2 2 8 】

本開示に係る有機 E L 素子等は、例えば、家庭用もしくは公共施設、あるいは業務用の各種表示装置、テレビジョン装置、携帯型電子機器用ディスプレイ等として用いられる有機 E L 素子および有機 E L 表示パネルの製造等に好適に利用可能である。

30

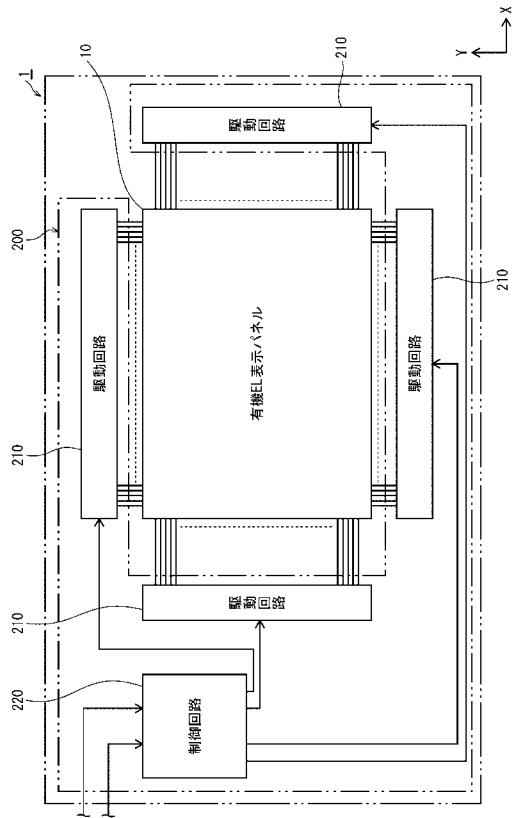
【 符号の説明 】

【 0 2 2 9 】

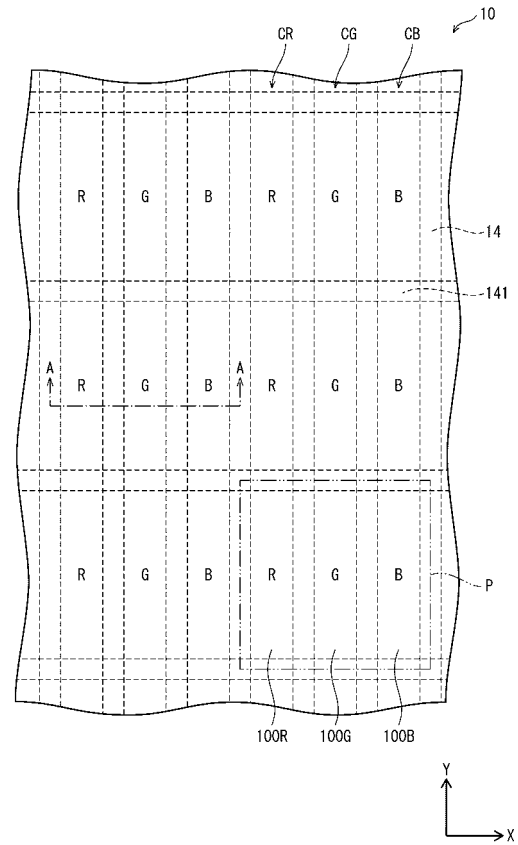
- 1 有機 E L 表示装置
- 2 有機 E L 素子
- 1 0 有機 E L 表示パネル
- 1 1 基板
- 1 2 層間絶縁層
- 1 3 画素電極 (陽極)
- 1 5 正孔注入層 (第 1 機能層)
- 1 6 正孔輸送層 (第 1 機能層)
- 1 7 有機発光層
- 1 7 0 有機発光材料層
- 1 7 1 電子供与性材料含有層
- 1 8 中間層
- 1 9 第 2 機能層
- 2 0 対向電極 (陰極)
- 2 1 封止層
- 2 2 第 1 機能層
- 2 3 I Z O 膜

40

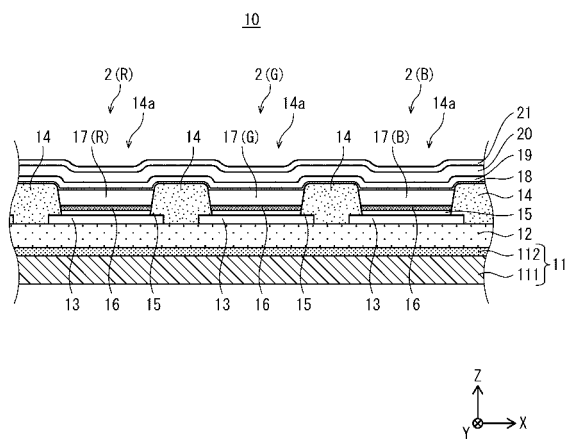
【図 1】



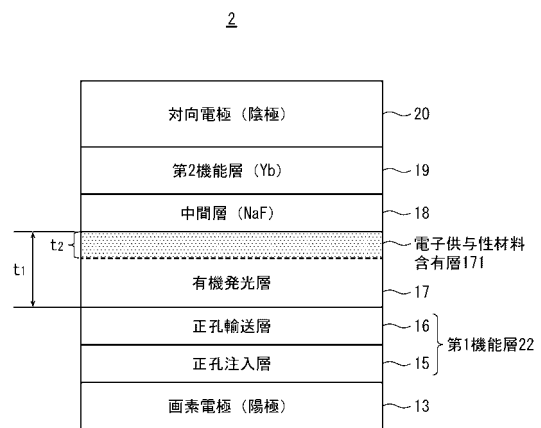
【図 2】



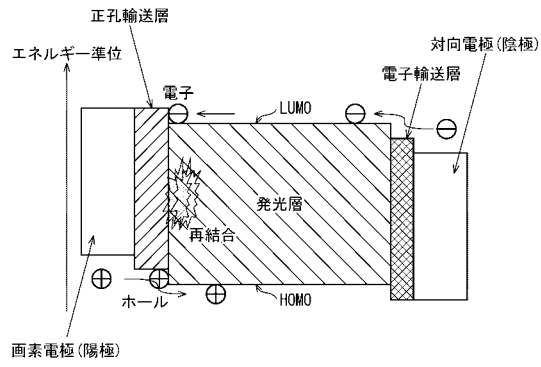
【図 3】



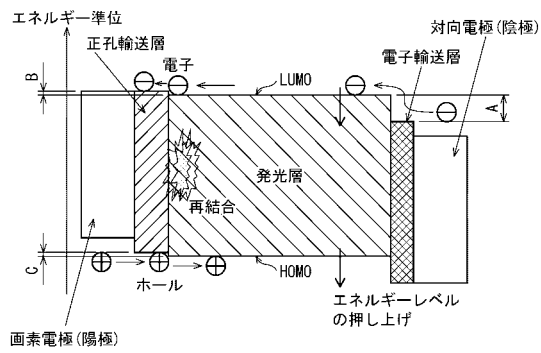
【図 4】



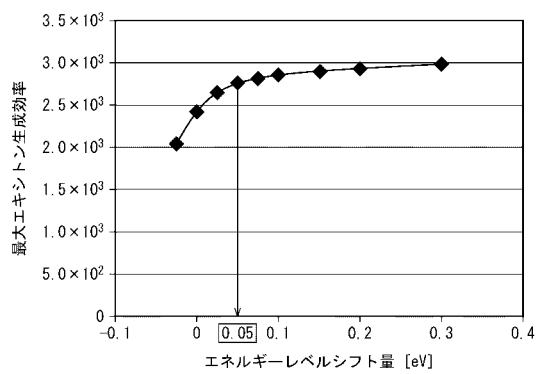
【図 5】



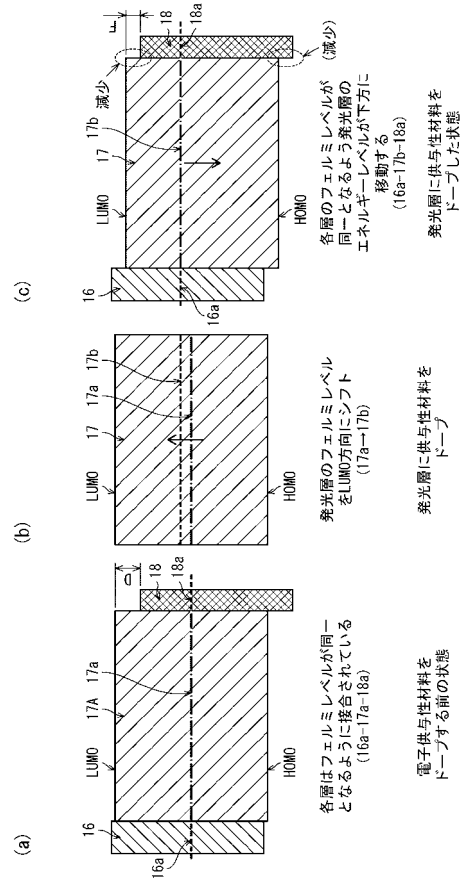
【図 6】



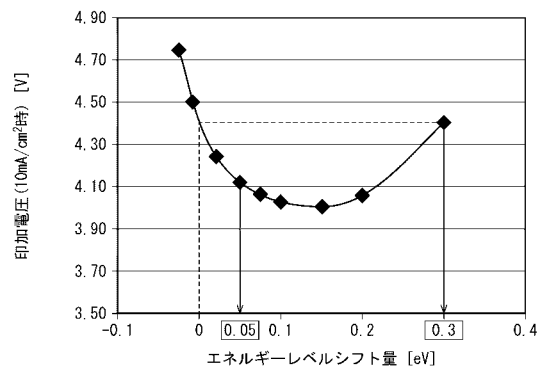
【図 8】



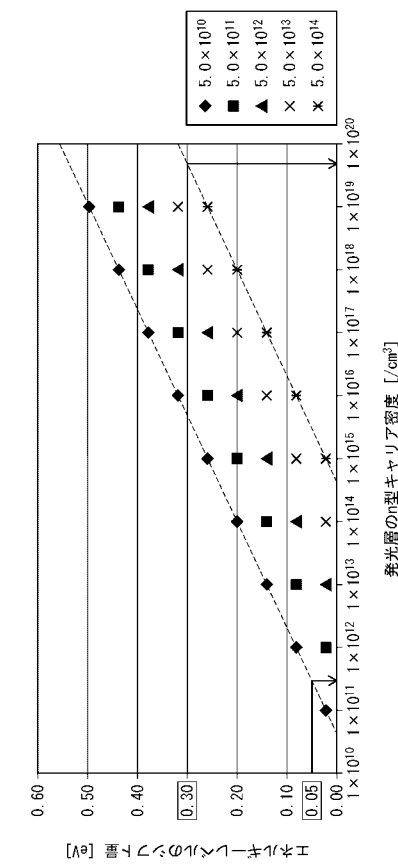
【図 7】



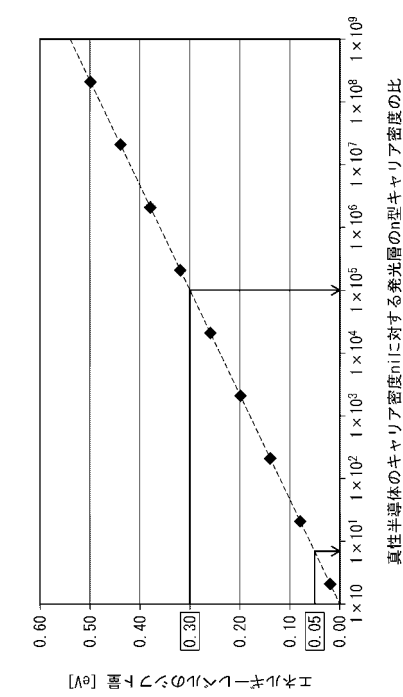
【図 9】



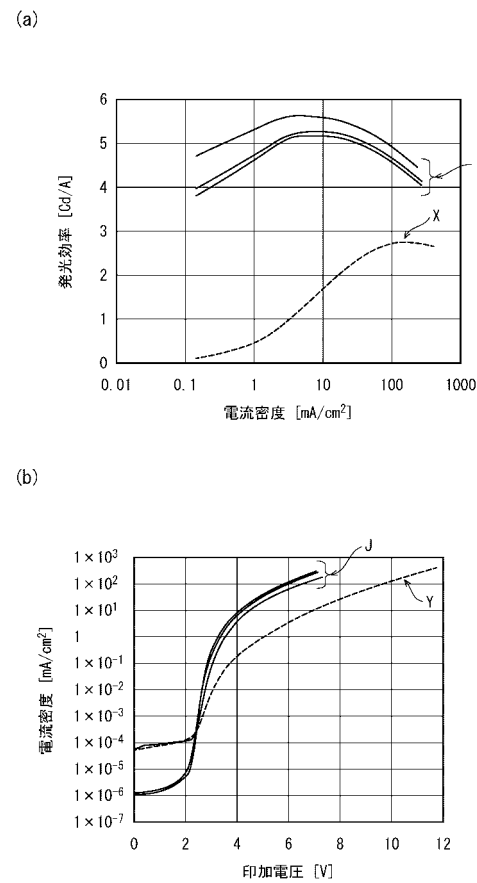
【図 1 0】



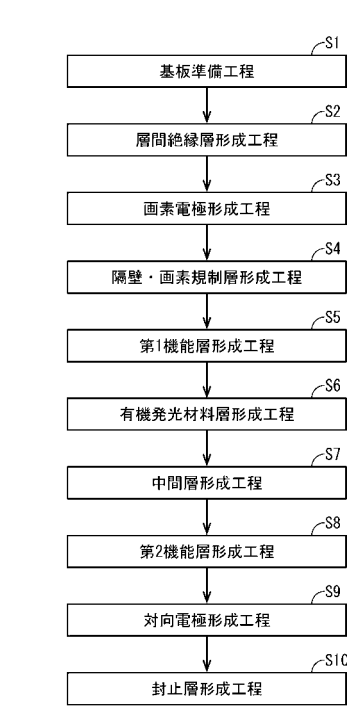
【図 1 1】



【図 1 2】

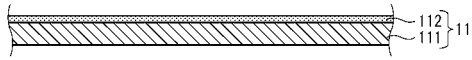


【図 1 3】

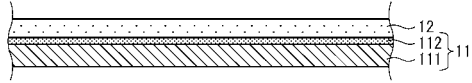


【図 14】

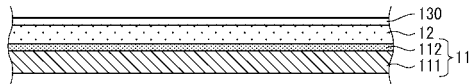
(a)



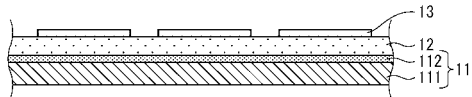
(b)



(c)

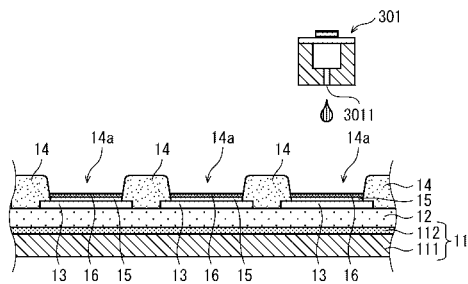


(d)

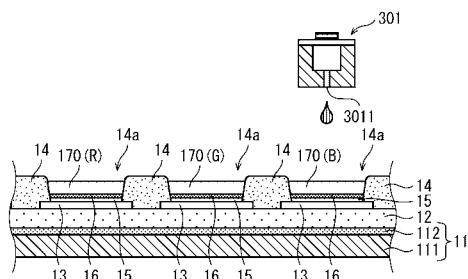


【図 16】

(a)

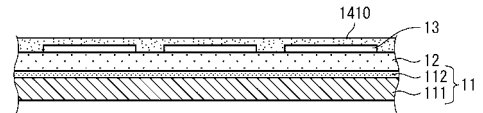


(b)

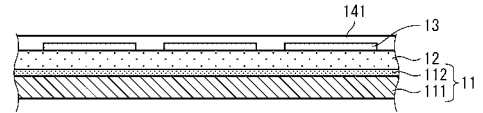


【図 15】

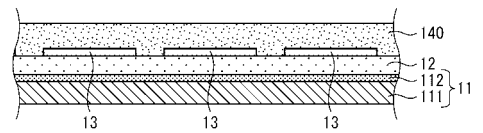
(a)



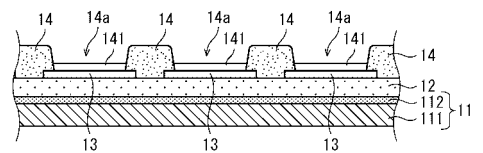
(b)



(c)

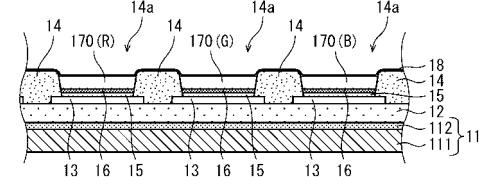


(d)

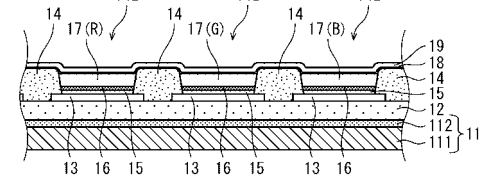


【図 17】

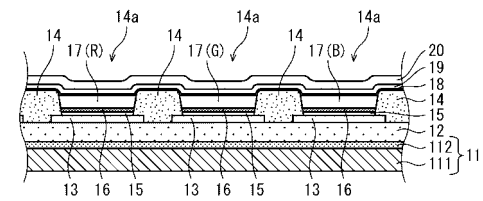
(a)



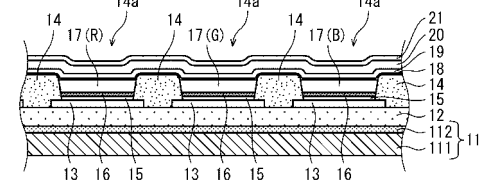
(b)



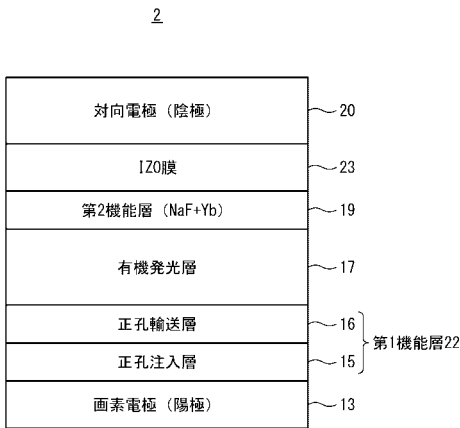
(c)



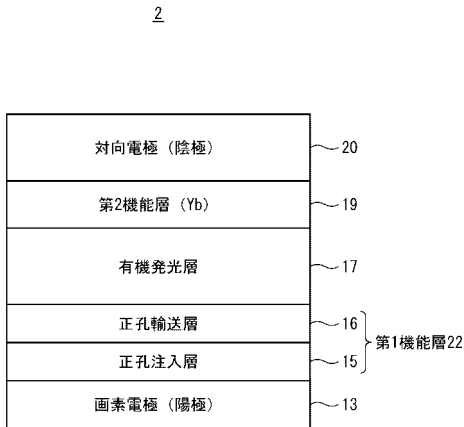
(d)



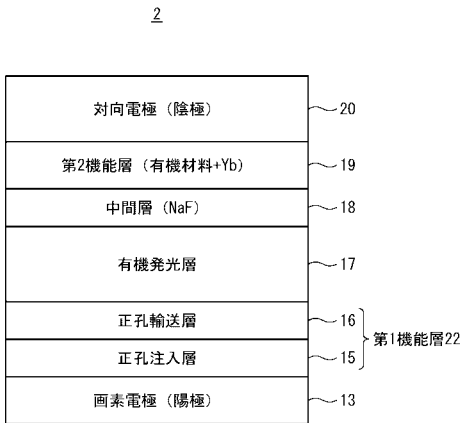
【図 1 8】



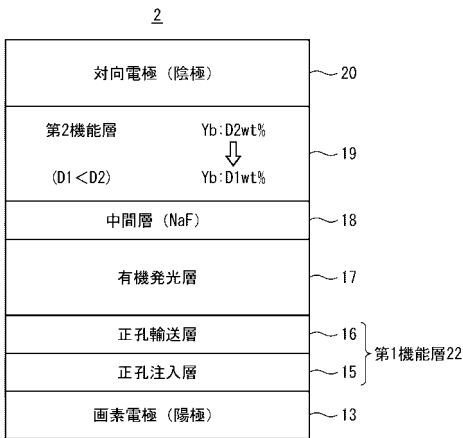
【図 1 9】



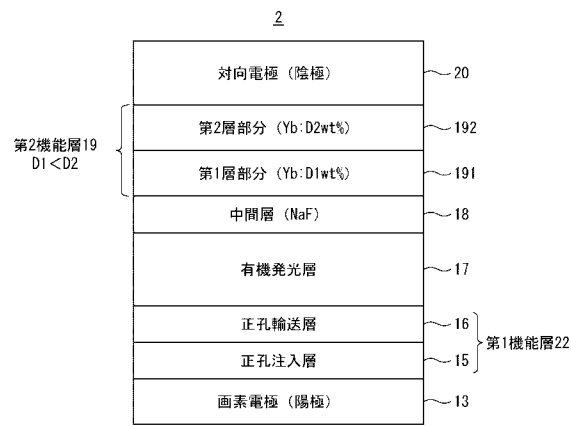
【図 2 0】



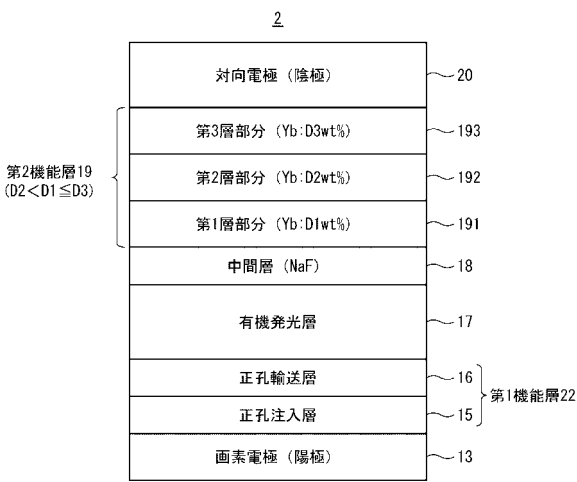
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
H 0 1 L	27/32	(2006.01)	H 0 5 B	33/12		B		
G 0 9 F	9/00	(2006.01)	H 0 5 B	33/22		Z		
G 0 9 F	9/30	(2006.01)	H 0 1 L	27/32				
			G 0 9 F	9/00	3 3 8			
			G 0 9 F	9/30	3 6 5			
			G 0 9 F	9/30	3 3 8			

F ターム (参考) 5C094 AA10 AA37 BA03 BA27 CA19 DA13 EA05 FB01 FB12 FB14
JA08
5G435 AA03 AA14 BB05 CC09 HH12 HH13 HH20