

(19) 日本国特許庁(JP)

再 公 表 特 許(A1)

(11) 国際公開番号
WO2004/060028

発行日 平成18年5月11日 (2006.5.11)

(43) 国際公開日 平成16年7月15日 (2004.7.15)

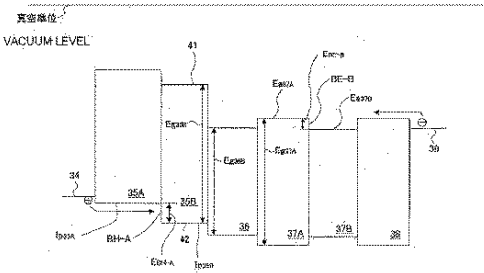
(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 51/50 (2006.01)	H O 5 B 33/22 D	3 K O O 7
	H O 5 B 33/22 B	
	H O 5 B 33/14 A	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 34 頁)

出願番号 特願2004-562854 (P2004-562854)	(71) 出願人 000005201
(21) 国際出願番号 PCT/JP2002/013548	富士写真フイルム株式会社
(22) 国際出願日 平成14年12月25日 (2002.12.25)	神奈川県南足柄市中沼2 1 〇番地
(81) 指定国 EP (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), JP, KR, US	(74) 代理人 100079049
	弁理士 中島 淳
	(74) 代理人 100084995
	弁理士 加藤 和詳
	(74) 代理人 100085279
	弁理士 西元 勝一
	(74) 代理人 100099025
	弁理士 福田 浩志
	(72) 発明者 板井 雄一郎
	神奈川県川崎市中原区上小田中4 丁目1 番
	1 号 富士通株式会社内
	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ

(57) 【要約】
本発明は、ガラス基板上に、陽極と、第1のキャリア輸送層と、第2のキャリア輸送層と、発光層と、第3のキャリア輸送層と、第4のキャリア輸送層と、電子輸送層と、陰極とを順次形成し、第1のキャリア輸送層には、第2のキャリア輸送層よりもイオン化ポテンシャル I_p が小さい層を用い、第3のキャリア輸送層には、第4のキャリア輸送層よりも電子親和力 E_a が小さい層を用いて、発光層の発光効率を向上させる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、
 前記発光層の陽極側に形成された第 1 のキャリア輸送層と、
 前記第 1 のキャリア輸送層の陰極側に前記第 1 のキャリア輸送層と接するように形成された第 2 のキャリア輸送層とを備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、
 前記第 1 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第 2 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であ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。

【請求項 2】

10

前記第 1 のキャリア輸送層は、 α NPДを用い、前記第 2 のキャリア輸送層には、2-TNATAを用い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 3】

前記発光層のエネルギーギャップ $E_{g_{EML}}$ と前記第 2 のキャリア輸送層のエネルギーギャップ $E_{g_{P2}}$ との関係が、 $E_{g_{EML}} < E_{g_{P2}}$ 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 4】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、
 前記発光層の陰極側に形成された第 1 のキャリア輸送層と、
 前記第 1 のキャリア輸送層の陰極側に接するように形成された第 2 のキャリア輸送層とを備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、
 前記第 1 のキャリア輸送層の電子親和力 $E_{a_{P1}}$ と、前記第 2 のキャリア輸送層の電子親和力 $E_{a_{P2}}$ との関係が、 $E_{a_{P1}} < E_{a_{P2}}$ であ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。

20

【請求項 5】

前記第 1 のキャリア輸送層には、TYE704を用い、前記第 2 のキャリア輸送層には、TYG-201を用いることを特徴とする請求項 4 に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

【請求項 6】

30

前記発光層のエネルギーギャップ $E_{g_{EML}}$ と前記第 1 のキャリア輸送層のエネルギーギャップ $E_{g_{P1}}$ との関係が、 $E_{g_{EML}} < E_{g_{P1}}$ であることを特徴とする請求項 4 に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

【請求項 7】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第 1 のキャリア輸送層と、
 前記第 1 のキャリア輸送層の陰極側に前記第 1 のキャリア輸送層と接するように形成された第 2 のキャリア輸送層と、
 前記発光層の陰極側に形成された第 3 のキャリア輸送層と、
 前記第 3 のキャリア輸送層の陰極側に前記第 3 のキャリア輸送層と接するように形成された第 4 のキャリア輸送層とを備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、
 前記第 1 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第 2 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であり、かつ前記第 3 のキャリア輸送層の電子親和力 $E_{a_{P3}}$ と、前記第 4 のキャリア輸送層の電子親和力 $E_{a_{P4}}$ との関係が、 $E_{a_{P3}} < E_{a_{P4}}$ であ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。

40

【請求項 8】

前記発光層のエネルギーギャップ $E_{g_{EML}}$ と、前記第 2 のキャリア輸送層のエネルギーギャップ $E_{g_{P2}}$ と、前記第 3 のキャリア輸送層のエネルギーギャップ $E_{g_{P3}}$ との関係が、 $E_{g_{EML}} < E_{g_{P2}}$, $E_{g_{EML}} < E_{g_{P3}}$ であることを特徴とする請求項 7 に記

50

載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

【請求項 9】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、

前記発光層の陽極側に形成された第 1 のキャリア輸送層と、

前記第 1 のキャリア輸送層の陰極側に前記第 1 のキャリア輸送層と接するように形成された第 2 のキャリア輸送層とを有す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ディスプレイであって、

前記第 1 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{p1} と、前記第 2 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{p2} との関係が、 $I_{p1} < I_{p2}$ であることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ。

10

【請求項 10】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、

前記発光層の陰極側に形成された第 1 のキャリア輸送層と、

前記第 1 のキャリア輸送層の陰極側に接するように形成された第 2 のキャリア輸送層とを備えた有機エレクトロルミネッセンス素子を有する有機エレクトロルミネッセンスディスプレイであって、

前記第 1 のキャリア輸送層の電子親和力 E_{a1} と、前記第 2 のキャリア輸送層の電子親和力 E_{a2} との関係が、 $E_{a1} < E_{a2}$ であることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ。

20

【請求項 11】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第 1 のキャリア輸送層と、

前記第 1 のキャリア輸送層の陰極側に前記第 1 のキャリア輸送層と接するように形成された第 2 のキャリア輸送層と、

前記発光層の陰極側に形成された第 3 のキャリア輸送層と、

前記第 3 のキャリア輸送層の陰極側に前記第 3 のキャリア輸送層と接するように形成された第 4 のキャリア輸送層とを有す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ディスプレイであって、

前記第 1 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{p1} と、前記第 2 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{p2} との関係が、 $I_{p1} < I_{p2}$ であり、かつ前記第 3 のキャリア輸送層の電子親和力 E_{a3} と、前記第 4 のキャリア輸送層の電子親和力 E_{a4} との関係が、 $E_{a3} < E_{a4}$ であることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

本発明は有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンスディスプレイに係り、特に陽極と陰極の間に複数のキャリア輸送層を形成した有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンスディスプレイに関する。

【背景技術】

有機エレクトロルミネッセンス素子（以下、有機エレクトロルミネッセンス素子を「有機 EL 素子」と称する。）は、小型化が容易であって、消費電力が小さく、面発光が可能であり、液晶素子と比較して印加電圧を大幅に低減できるためフラットディスプレイ等の各種表示装置での利用が注目されており、次世代の発光素子として研究開発が行われている。

40

図 1 は、従来の有機 EL 素子の断面図を示したものである。図 1 に示すように、従来の有機 EL 素子 10 は、透明なガラス基板 11 上に、透明な ITO (Indium Tin Oxide) 等からなる陽極 12 と、正孔輸送層 13 と、発光層 14 と、電子輸送層 15 と、陰極 16 が順次積層された構成となっている。正孔輸送層 13 は、発光層 14 に正孔を効率良く輸送し、正孔密度を増加させ、一方電子輸送層 15 は、発光層 14 に電子を効率良く輸送し、空間電子密度を増加させ、発光効率を高めている。また、発光層と発光

50

層の間に電子をせき止めるための層を設けて、発光層での発光効率の向上を図る技術が提案されている。

図2は、図1に示す有機EL素子のエネルギーダイアグラムを示した図である。有機EL素子10に電圧が印加されると、正孔22は陽極12から発光層14へ向かって移動し、正孔22の移動により正孔電流量が発生し、電子21は陰極16から発光層14へ向かって移動し、電子21の移動により電子電流量が発生する。電子21と正孔22が発光層14に到達すると、電子21と正孔22が再結合して放出されたエネルギーによって、発光層14に含まれる有機蛍光体が励起され発光する。

ところで、発光効率は、単位電流当りの発光輝度で表される。したがって、発光層14での発光効率は有機EL素子10に流れる正孔電流量及び電子電流量の大きさに決まり、
10
いずれかの電流量が大きい場合には発光層14の発光効率は低下する。正孔電流量と電子電流量の大きさは、有機EL素子を構成する膜の種類や積層する膜厚により変わるが、例えば正孔電流量が電子電流量と比較して過度に大きい場合、発光に寄与せずに消費されてしまう正孔電流量が増加し、発光層14での発光効率は低下し、消費電力が増大してしまうという問題がある。

【発明の開示】

そこで本発明は、上記問題点に鑑みなされたもので、発光層に流れ込む正孔電流量及び電子電流量を調整し、発光層での電子と正孔の再結合を効率良く行い、発光効率に優れた有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンスディスプレイを提供することを概括的課題とする。
20

本発明のより具体的な課題は、互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層とを備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ である有機エレクトロルミネッセンス素子を提供することにある。

ここで、イオン化ポテンシャルは、発光層やキャリア輸送層の価電子レベルと真空準位のエネルギーの差であり、正の値で示される。

本発明によれば、発光層の陽極側に第1のキャリア輸送層と、第1のキャリア輸送層の陰極側に第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} より小さなイオン化ポテンシャル I_{pP2} を有する第2のキャリア輸送層とが形成されている。したがって、正孔が陽極から発光層へ向かう手前の第1のキャリア輸送層と第2のキャリア輸送層との界面にエネルギー障壁が形成され、第1のキャリア輸送層に正孔が蓄積されて発光層に流れる正孔電流量が低下する。その結果、正孔電流量が調節されて、発光効率を向上させることができる。
30

本発明の他の課題は、前記発光層のエネルギーギャップ E_{gEL} と、前記第2のキャリア輸送層のエネルギーギャップ E_{gP2} との関係が、 $E_{gEL} < E_{gP2}$ である有機エレクトロルミネッセンス素子を提供することにある。

ここで、エネルギーギャップは、伝導レベルと価電子レベル（価電子帯の上端のエネルギー）のエネルギー差であり、正の値で示される。
40

本発明によれば、発光層の陽極側に発光層のエネルギーギャップ E_{gEL} より大きなエネルギーギャップ E_{gP2} を有する第2のキャリア輸送層が形成されている場合には、第2のキャリア輸送層での電子と正孔の再結合が抑制され、発光層での発光効率を向上させることができる。

本発明のその他の課題は、互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層と、前記発光層の陰極側に形成された第3のキャリア輸送層と、前記第3のキャリア輸送層の陰極側に前記第3のキャリア輸送層と接するように形成された第4のキャリア輸送層とを備
50

えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であり、かつ前記第3のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP3} と、前記第4のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP4} との関係が、 $E_{aP3} < E_{aP4}$ である有機エレクトロルミネッセンス素子を提供することにある。

ここで、電子親和力は、発光層やキャリア輸送層の伝導レベル（伝導帯の下端のエネルギー）と真空準位のエネルギー差であり、正の値で示される。

本発明によれば、発光層の陽極側に、第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} より大きなイオン化ポテンシャル I_{pP2} を有する第2のキャリア輸送層が第1のキャリア輸送層の陰極側に接するように形成されているため、正孔が陽極から発光層へ向かう手前の第1のキャリア輸送層と第2のキャリア輸送層との界面にエネルギー障壁が形成される。また、発光層の陰極側には、第3のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP3} より大きな電子親和力 E_{aP4} を有する第4のキャリア輸送層が第3のキャリア輸送層の陰極側に接するように形成されているため、電子が陰極から発光層へ向かう手前の第4のキャリア輸送層と第3のキャリア輸送層に対してエネルギー障壁が形成されるため、正孔電流量と電子電流量が調整されて、発光効率を向上することができる。

本発明のその他の課題は、前記発光層のエネルギーギャップ E_{gEL} と、前記第2のキャリア輸送層のエネルギーギャップ E_{gP2} と、前記第3のキャリア輸送層のエネルギーギャップ E_{gP3} との関係が、 $E_{gEL} < E_{gP2}$ 、 $E_{gEL} < E_{gP3}$ である有機エレクトロルミネッセンス素子を提供することにある。

本発明によれば、発光層の陽極側には発光層のエネルギーギャップ E_{gEL} よりも大きなエネルギーギャップを有する第2のキャリア輸送層が形成され、発光層の陰極側には発光層のエネルギーギャップ E_{gEL} よりも大きなエネルギーギャップを有する第3のキャリア輸送層が形成されている場合には、第2のキャリア輸送層及び第3のキャリア輸送層での電子と正孔の再結合が抑制され、発光層の発光効率を向上させることができる。

本発明のその他の課題は、互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層とを有す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ディスプレイであって、前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンスディスプレイを提供することにある。

本発明によれば、発光層の陽極側に第1のキャリア輸送層と、第1のキャリア輸送層の陰極側に第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} より小さなイオン化ポテンシャル I_{pP2} を有する第2のキャリア輸送層とが形成されている。したがって、正孔が陽極から発光層へ向かう手前の第1のキャリア輸送層と第2のキャリア輸送層との界面にエネルギー障壁が形成され、第1のキャリア輸送層に正孔が蓄積されて発光層に流れる正孔電流量が低下するため、正孔電流量が調節されて、有機エレクトロルミネッセンス素子の発光効率を向上させることができ、上記有機エレクトロルミネッセンス素子を有機エレクトロルミネッセンスディスプレイに形成することで、有機エレクトロルミネッセンスディスプレイの視認性の向上及び低消費電力化が可能である。

【図面の簡単な説明】

図1は、従来の有機EL素子の断面図を示した図である。

図2は、図1に示す有機EL素子のエネルギーダイアグラムを示した図である。

図3は、本発明の第1の実施の形態の有機EL素子の断面図である。

図4は、第1の実施の形態の有機EL素子のエネルギーダイアグラムを示した図である。

。

図5は、光吸収スペクトルの波長依存性を示した図である。

図6は、紫外線のエネルギーと光電子の放出数の平方根との関係を示した図である。

図7は、第1実施例に用いた層の電子親和力 E_a 、イオン化ポテンシャル I_p 及びエネ

ルギーギャップ E_g を示した図である。

図 8 は、第 2 実施例の有機 EL 素子の層構成を示した図である。

図 9 は、比較例 2 及び 3 の有機 EL 素子の膜構成を示した図である。

図 10 は、第 1 実施例の有機 EL 素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図である。

図 11 は、第 2 実施例の有機 EL 素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図である。

図 12 は、比較例 1 の有機 EL 素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図である。

図 13 は、第 1 実施例の有機 EL 素子の電子電流量の電圧依存性を示した図である。

図 14 は、有機 EL 素子の発光効率の電圧依存性を示した図である。

図 15 は、本発明の第 2 の実施の形態の有機エレクトロルミネッセンスディスプレイの概要構成を示した斜視図である。

10

【発明を実施するための最良の形態】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。

(第 1 の実施の形態)

図 3 は、本発明の第 1 の実施の形態の有機 EL 素子の断面図である。図 3 に示すように、有機 EL 素子 30 は、ガラス基板 33 上に、陽極 34 と、第 1 のキャリア輸送層 35 A と、第 2 のキャリア輸送層 35 B と、発光層 36 と、第 3 のキャリア輸送層 37 A と、第 4 のキャリア輸送層 37 B と、電子輸送層 38 と、陰極 39 とが順次形成された構成となっている。第 1 のキャリア輸送層 35 A には、第 2 のキャリア輸送層 35 B よりもイオン化ポテンシャル I_p が小さく、第 3 のキャリア輸送層 37 A には、第 4 のキャリア輸送層 37 B よりも電子親和力 E_a が小さい材料が用いられている。

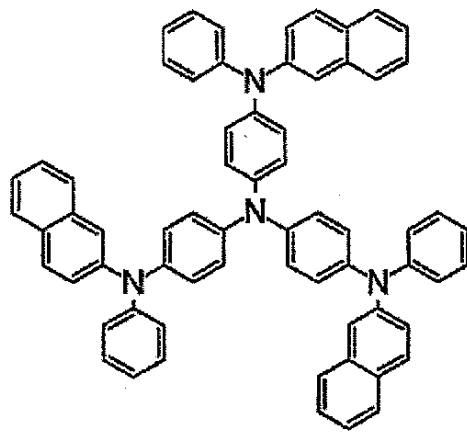
20

有機 EL 素子 30 は、10 nm ~ 1000 nm 程度の膜厚を有している。1000 nm よりも厚いと、抵抗が上がり電流が流れにくくなってしまい 10 nm より薄いと発光層 36 自体の厚さが過度に薄くなり、発光輝度が不足してしまう。

陽極 34 と陰極 39 は、有機 EL 素子 30 の所望の位置に電圧を印加するための電極であり、陽極 34 は、例えば、ITO や IZO (Indium Zinc Oxide) などを用いることができ、陰極 39 は、例えば、Al/LiF 電極や Ag/Mg 電極などを用いることができる。

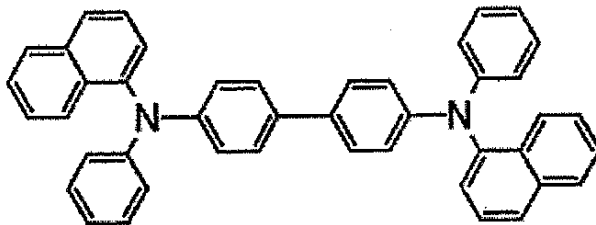
第 1、第 2 のキャリア輸送層 35 A、35 B は、電子、正孔の輸送能力の高い材料により構成され、第 1 のキャリア輸送層 35 A には下記式 (1) に示される 2-TNATA (東洋インキ社製) を用いることができ、第 2 のキャリア輸送層 35 B には、下記式 (2) に示される α -NPD (東洋インキ社製) や EL002 (保土ヶ谷化学社製) などを用いることができる。第 1、第 2 のキャリア輸送層 35 A、35 B の膜厚は、10 nm ~ 50 nm の範囲に設定され、有機 EL 素子を構成する層の数と有機 EL 素子全体の厚さに応じて適宜選択される。

30



(1)

10

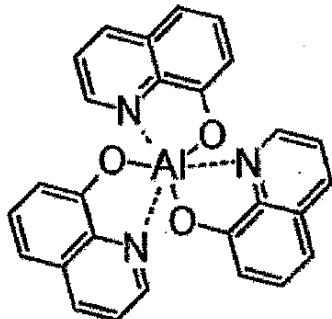


(2)

20

第3, 第4のキャリア輸送層37A, 37Bは、電子、正孔の輸送能力の高い材料により構成され、第3のキャリア輸送層37AにはTYE-704 (東洋インキ社製) を用いることができ、第4のキャリア輸送層37Bには、TYG-201 (東洋インキ社製) やCBP (同人化学研究所社製) などを用いることができる。第3, 第4のキャリア輸送層37A, 37Bの膜厚は、10 nm~50 nmの範囲に設定され、有機EL素子を構成する層の数と有機EL素子全体の厚さに応じて適宜選択される。

発光層36は、所望の発光色を発光するための材料、例えば有機蛍光体が含まれ、金属錯体等の材料により構成されており、例えば、TYG-201 (東洋インキ社製) や下記式(3)に示したAlq₃ (tris(8-hydroxyquinolino)aluminum) (東洋インキ社製) 等を用いることができる。発光層36の膜厚は、10 nm~50 nmの範囲に設定され、前記キャリア輸送層と同様に適宜厚さが選択される。



(3)

40

電子輸送層38は、電子の輸送能力の高い材料により構成され、例えば、TYE-704 (東洋インキ社製) やTYE-703 (東洋インキ社製) 等を用いることができる。

上記有機EL素子30の各層は、例えば、真空蒸着法により圧力を 1.33×10^{-4} Pa、ガラス基板33の温度を室温にして形成される。

図4は、第1の実施の形態の有機EL素子のエネルギーダイアグラムを示した図である

50

。図4中の E_a 、 E_g 、 I_p は、それぞれ有機EL素子の各層の電子親和力 E_a 、エネルギーギャップ E_g 、イオン化ポテンシャル I_p を示しており、電子親和力 E_a は伝導レベル41（伝導帯の下端のエネルギー）と真空準位のエネルギーとの差であり、エネルギーギャップ E_g は伝導レベル41と価電子レベル42（価電子帯の上端のエネルギー）のエネルギーとの差であり、イオン化ポテンシャル I_p は価電子レベル42と真空準位とのエネルギーの差である。

図4に示すように、発光層36の陽極34側に第2のキャリア輸送層35Bが形成され、第2のキャリア輸送層35Bの陽極34側には第1のキャリア輸送層35Aが形成され、発光層36の陰極39側には第3のキャリア輸送層37Aが形成され、第3のキャリア輸送層37Aの陰極39側には第4のキャリア輸送層37Bが形成されている。

第1のキャリア輸送層35A、第2のキャリア輸送層35Bのイオン化ポテンシャルをそれぞれ、 $I_{p_{35A}}$ 、 $I_{p_{35B}}$ とすると、第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bとの関係は、 $I_{p_{35A}} < I_{p_{35B}}$ に設定されている。また、第3のキャリア輸送層37A、第4のキャリア輸送層37Bの電子親和力をそれぞれ、 $E_{a_{37A}}$ 、 $E_{a_{37B}}$ とすると、第3のキャリア輸送層37Aと第4のキャリア輸送層37Bとの関係は、 $E_{a_{37A}} < E_{a_{37B}}$ に設定されている。さらに、発光層36、第2のキャリア輸送層35B、第3のキャリア輸送層37Aのエネルギーギャップをそれぞれ、 $E_{g_{36}}$ 、 $E_{g_{35B}}$ 、 $E_{g_{37A}}$ とすると、発光層36、第2のキャリア輸送層35B、第3のキャリア輸送層37Aとの関係は、 $E_{g_{36}} < E_{g_{35B}}$ 、 $E_{g_{36}} < E_{g_{37A}}$ に設定されている。

正孔の流れについて説明する。正孔は、陽極34から陰極39に向かって第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bを通り発光層36に達する。しかし、第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bとの界面には、エネルギー障壁BH-Aが形成されている。エネルギー障壁BH-Aの高さ E_{BH-A} は、第1のキャリア輸送層35Aのイオン化ポテンシャル $I_{p_{35A}}$ と第2のキャリア輸送層35Bのイオン化ポテンシャル $I_{p_{35B}}$ との差、すなわち $E_{BH-A} = I_{p_{35B}} - I_{p_{35A}}$ である。 $I_{p_{35B}} > I_{p_{35A}}$ に設定されているので $E_{BH-A} > 0$ である。したがって、正孔はエネルギー障壁BH-Aにより第1のキャリア輸送層35Aに蓄積され、発光層36に流れる正孔電流量が低下する。その結果、発光層36に流れ込む正孔電流量が調整され、電子と正孔が再結合するので発光効率を向上させることができる。

また、第2のキャリア輸送層35Bのエネルギーギャップ $E_{g_{35B}}$ は、発光層36のエネルギーギャップ $E_{g_{36}}$ よりも大きいので、第2のキャリア輸送層35Bでの再結合が抑制され、発光層36での発光効率を向上させることができる。

次に、電子の流れについて説明する。電子は、陰極39から陽極34に向かって、電子輸送層38、第4のキャリア輸送層37B及び第3のキャリア輸送層37Aを通り発光層36に達する。しかし、第4のキャリア輸送層37Bと第3のキャリア輸送層37Aとの界面には、エネルギー障壁BE-Bが形成されている。エネルギー障壁BE-Bの高さ E_{BE-B} は、第4のキャリア輸送層37Bの電子親和力 $E_{a_{37B}}$ と第3のキャリア輸送層37Aの電子親和力 $E_{a_{37A}}$ との差、すなわち $E_{BE-B} = E_{a_{37B}} - E_{a_{37A}}$ である。 $E_{a_{37B}} > E_{a_{37A}}$ に設定されているので $E_{BE-B} > 0$ である。したがって、電子は第4のキャリア輸送層37Bに蓄積されて電子電流量が低下し、発光層36に流れ込む電子電流量の調整ができる。よって、正孔にとってのエネルギー障壁BH-Aを複数形成し、かつ電子にとってのエネルギー障壁BE-Aを設けることで正孔電流量と電子電流量を調整し、発光層36での発光効率を向上させることができる。

また、第3のキャリア輸送層37Aのエネルギーギャップ $E_{g_{37A}}$ は、発光層36のエネルギーギャップ $E_{g_{36}}$ よりも大きいので、第3のキャリア輸送層37Aでの再結合が抑制され、発光層36での発光効率を向上させることができる。

本実施の形態によれば、上述したように、発光層36の陽極側に形成された第2のキャリア輸送層35Bと、発光層36の陰極側に形成された第3のキャリア輸送層37Aとでの発光を防ぐと共に、正孔電流量と電子電流量を調整して、発光層36での発光効率を向

10

20

30

40

50

上することができる。

〔第1実施例〕

第1実施例の有機EL素子を以下のように形成した。ガラス基板33上に、真空蒸着法により、陽極34にITO電極と、第1のキャリア輸送層35A／第2のキャリア輸送層35Bに2-TNATA層（膜厚30nm）／ α -NPD層（膜厚10nm）、2-TNATA層（膜厚10nm）／ α -NPD層（膜厚10nm）及び2-TNATA層（膜厚10nm）／ α -NPD層（膜厚30nm）と、発光層36にノンドープ型の緑色発光するTYG-201層を膜厚20nmと、第3のキャリア輸送層37A／第4のキャリア輸送層37BにTYE-704層（膜厚10nm）／TYG-201層（膜厚10nm）及びTYE-704層（膜厚10nm）／TYG-201層（膜厚10nm）と、電子輸送層38にTYE-704層を膜厚20nmと、陰極39にフッ化リチウム膜が膜厚0.5nmとAl膜が膜厚100nmからなるAl/LiF積層膜を順次形成した。

第1の実施の形態では、発光層の陽極側に第1のキャリア輸送層35A／第2のキャリア輸送層35Bからなる積層構造を1層のみ形成したが、第1実施例で3層形成した。また、第1の実施の形態では、発光層の陽極側に第3のキャリア輸送層37A／第4のキャリア輸送層37Bからなる積層構造を1層のみ形成したが、第1実施例では2層形成した。

ここで、本発明を実施する上で重要なエネルギーギャップ E_g とイオン化ポテンシャル I_p の測定方法について説明する。

エネルギーギャップ E_g は、上記有機EL素子30の形成方法と同様な方法を用いて有機EL素子30の各層を単独に形成した薄膜を、光吸収スペクトルが測定できる分光光度計装置、例えば、日立社製スペクトロフォトメーターU-4100を用いて大気中で紫外から可視領域の光を薄膜に対して照射して測定した。

図5は、光吸収スペクトルの波長依存性を示した図である。図5中の曲線Jは、測定結果である光吸収スペクトルを示している。なお、範囲Tは、光吸収スペクトルの強度が立ち上がり部のうち、曲線Jが直線になっている部分を示している。範囲Uは、光吸収スペクトルの未吸収波長領域において、曲線Jが直線になっている部分を示している。直線Kは、範囲Tに示した曲線Jと重なるように引いた直線である。直線Lは、範囲Uに示した曲線Jと重なるように引いた直線である。エネルギーギャップ E_g は、直線Kと直線Lとの交点Mから求められる。

イオン化ポテンシャル I_p は、エネルギーギャップ E_g の測定に用いた薄膜と同様に形成された薄膜を用いて、大気雰囲気型紫外線光電子分析装置、例えば、理研計器製AC-1を用いて大気中で紫外線を薄膜に対して照射して、放出される光電子の数を測定して、紫外線のエネルギーと光電子の放出数の平方根との関係から求められる。理研計器製AC-1の測定条件は、紫外線のエネルギー範囲が3.8～6.2eV、紫外線の強度が20nWである。薄膜の膜厚は、50nmを用いた。

図6は、紫外線のエネルギーと光電子の放出数の平方根との関係を示した図である。放出される光電子の数は紫外線のエネルギーの大きさに依存し、図6中に示した範囲Nにおいては、紫外線のエネルギーが小さいため光電子は放出されないが、範囲Oにおいては、紫外線のエネルギーが十分に大きいため、光電子は真空準位よりも高いエネルギーの準位へ励起され、光電子が放出される。図6中に示した直線Pは、紫外線のエネルギーが4.2eV～5.3eVの間について最小2乗法により引かれた近似直線を示している。直線Qは、紫外線のエネルギーが5.6eV～5.9eVの間について最小2乗法により引かれた近似直線を示している。

直線Pと直線Qの交点Rは、光電子放出のしきい値エネルギーを示しており、この光電子放出のしきい値エネルギーがイオン化ポテンシャル I_p である。電子親和力 E_a は、イオン化ポテンシャル I_p とエネルギーギャップ E_g との差（ $E_a = I_p - E_g$ ）により求められる。

図7は、第1実施例に用いた層の電子親和力 E_a 、イオン化ポテンシャル I_p 及びエネルギーギャップ E_g を示した図である。図7に示すように、第1のキャリア輸送層35A

に用いた2-TNATA層のイオン化ポテンシャル I_p は5.19 eVであり、第2のキャリア輸送層35Bに用いた α -NPD層のイオン化ポテンシャル I_p は5.46 eVである。よって、2-TNATA層と α -NPD層のイオン化ポテンシャル I_p との差により、第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bの界面に、0.27 eVの大きさのエネルギー障壁が3つ形成される。また、第4のキャリア輸送層37Bに用いたTYG-201層の電子親和力 E_a は3.20 eVであり、第3のキャリア輸送層37Aに用いたTYE-704層の電子親和力 E_a は2.97 eVである。

したがって、TYG-201層とTYE-704層の電子親和力 E_a の差により、第4のキャリア輸送層37Bと第3のキャリア輸送層37Aの界面に、0.23 eVの大きさのエネルギー障壁が2つ形成される。その結果、第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bの界面に形成された3つのエネルギー障壁により、第1のキャリア輸送層に用いた2-TNATA層にそれぞれ正孔が蓄積されて、正孔電流量は低下する。また、第4のキャリア輸送層37Bと第3のキャリア輸送層37Aの界面に形成された2つのエネルギー障壁により、第4のキャリア輸送層に用いたTYG-201層にそれぞれ電子が蓄積されて、電子電流量が低下する。その結果、発光層36に流れる電子電流量と正孔電流量とが調節されて、電子と正孔が再結合するため、発光効率を向上させることができる。

また、第2のキャリア輸送層35Bに用いた α -NPD層のエネルギーギャップ E_g は3.04 eVであり、第3のキャリア輸送層37Aに用いたTYE-704層のエネルギーギャップ E_g は2.76 eVであり、発光層36のエネルギーギャップ E_g は2.40 eVである。よって、第2のキャリア輸送層35Bのエネルギーギャップ E_g は、発光層36のエネルギーギャップ E_g よりも0.64 eV大きく、第3のキャリア輸送層37Aのエネルギーギャップ E_g は、発光層36のエネルギーギャップ E_g よりも0.36 eV大きい。そのため、発光層36での電子と正孔の再結合する確率が増加し、発光層36に用いたTYG-201層の発光効率を向上させることができる。

[第2実施例]

図8は、第2実施例の有機EL素子の層構成を示した図である。

第2の実施例は、第1実施例において、発光層36と陽極との間に第1のキャリア輸送層35A/第2のキャリア輸送層35Bからなる積層構造を1組少なくとも形成したものである。なお、有機EL素子の全体の厚さにより各層の膜厚が決定されている。

第2実施例によれば、第1実施例よりも第1のキャリア輸送層35A/第2のキャリア輸送層35Bが1組少なくとも形成されている。先の発明が解決しようとする課題で述べたように正孔電流量と電子電流量の大きさは、有機EL素子を構成する膜の種類や積層する膜厚により変わる。したがって、有機EL素子の正孔電流量が電子電流量と比較してあまり大きくない場合には、第1実施例のように3つのエネルギー障壁を形成すると、正孔電流量が小さくなりすぎて発光効率が低下してしまう。したがって、正孔にとってのエネルギー障壁を1つ少なく形成して、第1実施例よりも正孔電流量の低下を抑制することで、より多くの電子が正孔との再結合に寄与し、有機EL素子全体の発光効率を高めることができる。

[発光効率の評価]

次に、第1及び第2実施例の有機EL素子の発光輝度の評価を行なった。本発明によらない比較例1～3の有機EL素子を作成して評価した。

比較例1の有機EL素子は、ガラス基板上に、真空蒸着法を用いて、陽極にITO電極と、正孔注入層に2-TNATA層を膜厚30 nmと、正孔輸送層に α -NPD層を膜厚50 nmと、発光層にノンドープ型の緑色発光するTYG-201層を膜厚40 nmと、電子輸送層にTYE-704層を膜厚40 nmと、フッ化リチウム膜が膜厚0.5 nmとAl膜が膜厚100 nmからなるAl/LiF積層膜とが順次形成された構成とした。真空蒸着装置内の圧力とガラス基板の温度は、圧力が 1.33×10^{-4} Pa、ガラス基板の温度は室温とした。次に、比較例2～3の有機EL素子を比較例1と同様な方法により形成した。

図9は、比較例2及び3の有機EL素子の膜構成を示した図である。

次に、第1実施例及び第2実施例の有機EL素子に電圧を印加し、陽極から発光層の陽極側に接する第2のキャリア輸送層の間に流れる電流量と、陰極から発光層の陰極側に接する第3のキャリア輸送層の間に流れる電流量とを別々に測定した。また、比較例1の有機EL素子に電圧を印加し、陽極から正孔輸送層の間の電流量と、陰極から電子輸送層の間の電流量とを別々に測定した。

なお、第1実施例及び第2実施例の発光層の陽極側に接する第2のキャリア輸送層から陽極の間に流れる電流量と、比較例1の陽極から正孔輸送層の間の電流量は、正孔が陽極から陰極側へ移動することで発生する電流量と考えることができ、本評価ではこの電流量を正孔電流量と定義する。また、第1実施例及び第2実施例の発光層の陰極側に接する第3のキャリア輸送層から陰極の間に流れる電流量と、比較例1の陰極から電子輸送層の間の電流量は、電子が陰極から陽極側へ移動することで発生する電流量と考えることができ、本評価ではこの電流量を電子電流量と定義する。

10

図10は、第1実施例の有機EL素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図であり、図11は、第2実施例の有機EL素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図であり、図12は、比較例1の有機EL素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図である。

図10に示した第1実施例の有機EL素子には、発光層の陽極側にエネルギー障壁が3つ形成されており、図11に示した第2実施例の有機EL素子には、発光層の陽極側にエネルギー障壁が2つ形成されている。また、図12に示した比較例1にはエネルギー障壁が1つ形成されている。図10～図12に示すように、発光層の陽極側にエネルギー障壁が多く形成されると、正孔電流量が低下することが分かる。

20

図13は、第1実施例の有機EL素子の電子電流量と電圧の関係を示した図である。図13に示した有機EL素子は、発光層の陰極側にエネルギー障壁が2つ形成されている。図13の電子電流量と図11に示した発光層の陽極側に2つのエネルギー障壁が形成した場合の正孔電流量とを比較すると、正孔電流量は電子電流量よりも大きいことが分かる。このことから、エネルギー障壁を形成しない場合には、正孔電流量は電子電流量よりも大きいことが分かる。

図14は、有機EL素子の発光効率の電圧依存性を示した図である。図14に示すように、第2実施例の有機EL素子の発光効率が最も高いことが分かる。

ここで、正孔にとってのエネルギー障壁を多く設けた第1実施例よりも、第2実施例の有機EL素子の発光効率が高くなった原因についての考察を行う。有機EL素子の発光効率を向上させるためには、正孔電流量を小さくすることと、発光層36において再結合に寄与する電子の数と正孔の数との差を小さくすることが必要である。電子電流量は、電子の数と電子の移動度により決まり、正孔電流量は、正孔の数と正孔の移動度により決まる。また、一般的に電子の移動度は、正孔の移動度よりも小さいため、電子の数と正孔の数とが同じ場合でも電子電流量と正孔電流量とは同じにはならない。エネルギー障壁を形成しない場合には、正孔電流量は電子電流量よりも大きく、正孔にとってのエネルギー障壁を設けることで、正孔電流量が減少すると共に、正孔の数も減少する。実施例1においては、正孔にとってのエネルギー障壁が3つ形成されており、電子と再結合する正孔の数を必要以上に減少させてしまったと考えられる。実施例2では、実施例1よりも少ない2つのエネルギー障壁を設けたため、電子の数と正孔の数との差を小さくできたため、発光効率が向上して実施例1よりも良い結果になったと考えられる。

30

40

(第2の実施の形態)

図15は、本発明の第2の実施の形態の有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ（有機ELディスプレイ）の概要構成を示した斜視図である。図15に示すように、有機ELディスプレイ50は、ガラス基板33上に陰極39であるA1/LiF電極と、陽極34であるITO電極とが直交するように形成され、その間に第1の実施の形態の有機EL素子を構成する積層体45が形成された構成となっている。有機ELディスプレイ50の発光は、発光させたい発光層の領域のITO電極とA1/LiF電極をそれぞれ指定して電圧を印加して行なう。有機ELディスプレイ50を上記構成としたことで、発光効率を

50

向上することができる。

以上、本発明の好ましい実施の形態について詳述したが、本発明はかかる特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲内に記載された本発明の記載範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

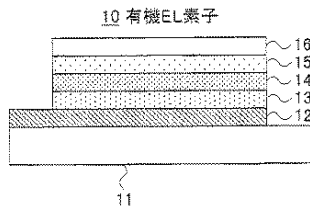
例えば、第1の実施の形態に示した有機EL素子に設ける正孔のエネルギー障壁と電子のエネルギー障壁の個数は各有機EL素子に応じて適宜に選択して良い。

産業上利用可能性

本発明によれば、発光層の陽極側に第1のキャリア輸送層と、第1のキャリア輸送層の陰極側に第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} より小さなイオン化ポテンシャル I_{pP2} を有する第2のキャリア輸送層とを形成することにより、正孔が陽極から発光層へ向かう手前の第1のキャリア輸送層と第2のキャリア輸送層との界面にエネルギー障壁が形成され、第1のキャリア輸送層に正孔が蓄積されて発光層に流れる正孔電流量が低下して、正孔電流量が調節されるため、発光効率を向上させることができる。

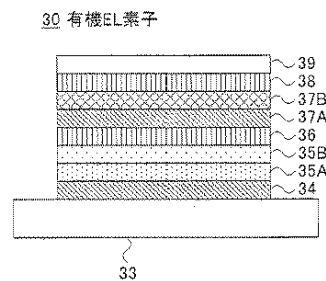
【図1】

FIG.1



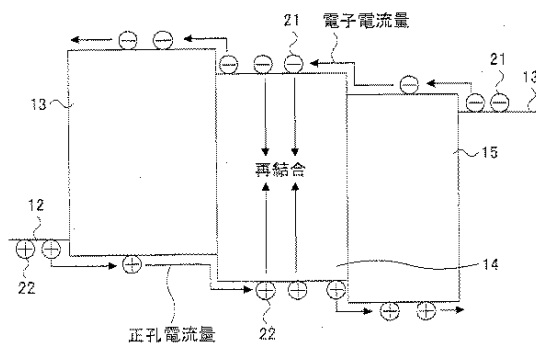
【図3】

FIG.3

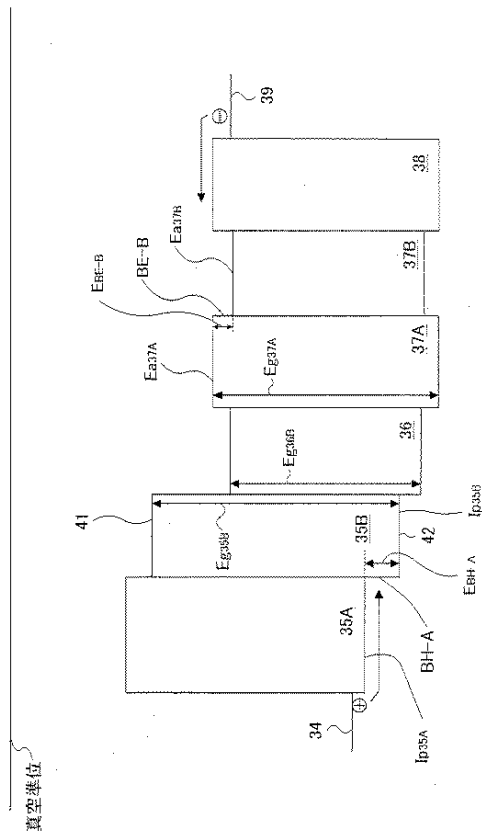


【図2】

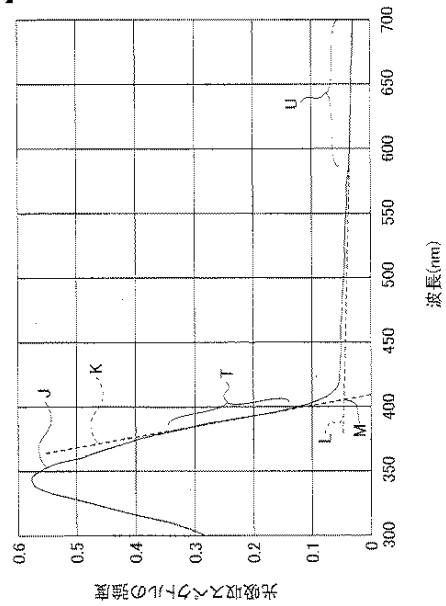
FIG.2



【图 4】

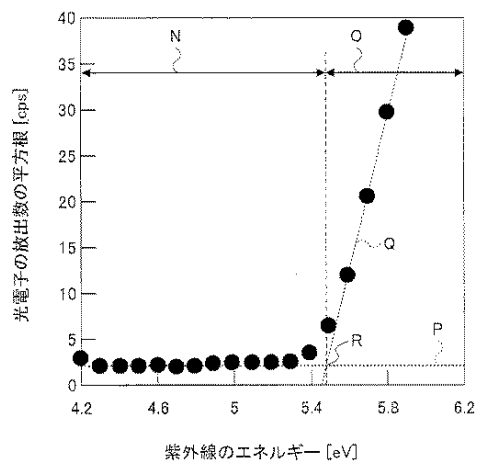


【図 5】



【図 6】

FIG.6



【図 7】

FIG.7

層の材料	電子親和力 Ea(eV)	エネルギーギャップ Eg(eV)	イオン化ポテンシャル Ip(eV)
2-TNATA層	2.19	3.00	5.19
α -NPD層	2.42	3.04	5.46
TYG-201層	3.20	2.40	5.60
TYE-704層	2.97	2.76	5.73

【图 8】

FIG. 8

膜厚	第2実施例	
	材料	粘着数
150nm	ITO	
50nm	2-TNATA	1層目
10nm	α -NPD	
10nm	2-TNATA	2層目
10nm	α -NPD	
20nm	TYG-201	
発光層		
第30のキヤリ輸送層	TYE-704	1層目
第40のキヤリ輸送層	TYG-201	
第30のキヤリ輸送層	TYE-704	2層目
第40のキヤリ輸送層	TYG-201	
第40のキヤリ輸送層	TYE-704	
電子輸送層	7-7化ナフム	0.5nm
	Al	100nm
陰極		

【図 9】

FIG.9

材料	膜厚 比較例2	膜厚 比較例3
ITO	130nm	150nm
2-TNATA	20nm	50nm
α-NPD	10nm	10nm
2-TNATA	10nm	
α-NPD	10nm	
2-TNATA	10nm	
α-NPD	30nm	
2-TNATA	40nm	
TYG-201		20nm
TYE-704		10nm
TYG-201		10nm
TYE-704		10nm
TYG-201		10nm
TYE-704		20nm
フッ化ポリイミド	40nm	0.5nm
Al	100nm	100nm

陽極

第1の正孔輸送層

第1の正孔注入層

第2の正孔輸送層

第2の正孔注入層

第3の正孔輸送層

第3の正孔注入層

発光層

第1の電子輸送層

第1の電子注入層

第2の電子輸送層

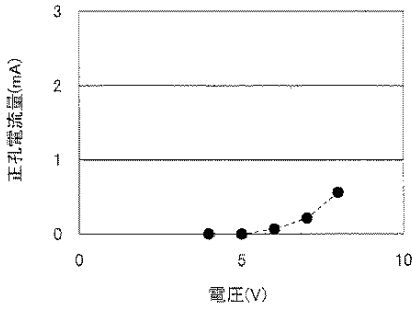
第2の電子注入層

電子輸送層

陰極

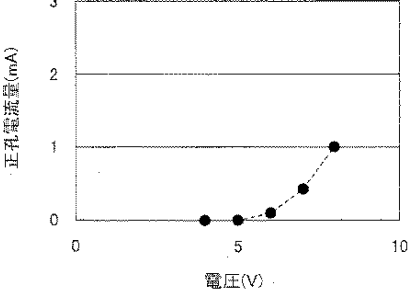
【図 1 0】

FIG.10



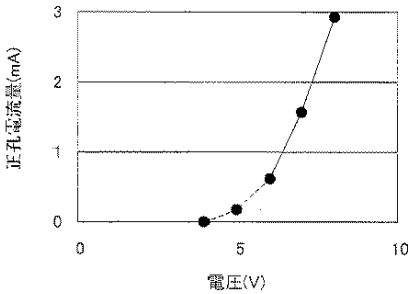
【図 1 1】

FIG.11



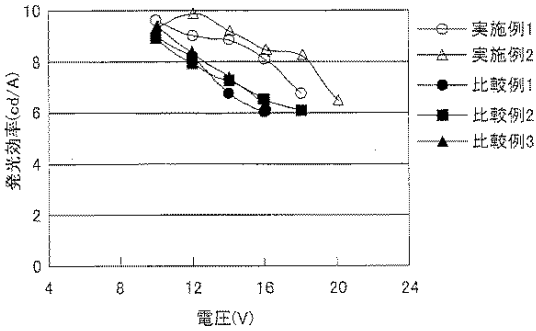
【図 1 2】

FIG.12



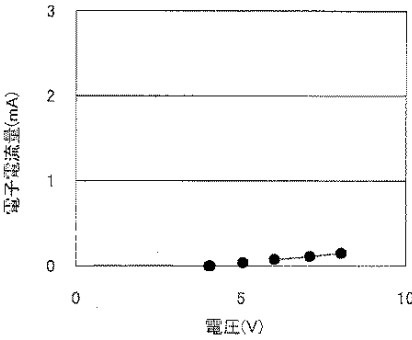
【図 1 4】

FIG.14



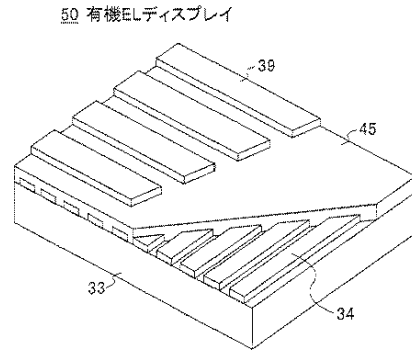
【図 1 3】

FIG.13



【図 1 5】

FIG.15



【手続補正書】

【提出日】平成17年1月26日(2005.1.26)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【技術分野】

【0001】

本発明は有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンスディスプレイに係り、特に陽極と陰極の間に複数のキャリア輸送層を形成した有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンスディスプレイに関する。

【背景技術】

【0002】

有機エレクトロルミネッセンス素子（以下、有機エレクトロルミネッセンス素子を「有機EL素子」と称する。）は、小型化が容易であって、消費電力が小さく、面発光が可能であり、液晶素子と比較して印加電圧を大幅に低減できるためフラットディスプレイ等の各種表示装置での利用が注目されており、次世代の発光素子として研究開発が行われている。

【0003】

図1は、従来の有機EL素子の断面図を示したものである。図1に示すように、従来の有機EL素子10は、透明なガラス基板11上に、透明なITO（Indium Tin Oxide）等からなる陽極12と、正孔輸送層13と、発光層14と、電子輸送層15と、陰極16が順次積層された構成となっている。正孔輸送層13は、発光層14に正孔を効率良く輸送し、正孔密度を増加させ、一方電子輸送層15は、発光層14に電子を効率良く輸送し、空間電子密度を増加させ、発光効率を高めている。また、発光層と発光層の間に電子をせき止めるための層を設けて、発光層での発光効率の向上を図る技術が提案されている。

【0004】

図2は、図1に示す有機EL素子のエネルギーダイアグラムを示した図である。有機EL素子10に電圧が印加されると、正孔22は陽極12から発光層14へ向かって移動し、正孔22の移動により正孔電流量が発生し、電子21は陰極16から発光層14へ向かって移動し、電子21の移動により電子電流量が発生する。電子21と正孔22が発光層14に到達すると、電子21と正孔22が再結合して放出されたエネルギーによって、発光層14に含まれる有機蛍光体が励起され発光する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、発光効率は、単位電流当りの発光輝度で表される。したがって、発光層14での発光効率は有機EL素子10に流れる正孔電流量及び電子電流量の大きさに決まり、いずれかの電流量が大きい場合には発光層14の発光効率は低下する。正孔電流量と電子電流量の大きさは、有機EL素子を構成する膜の種類や積層する膜厚により変わるが、例えば正孔電流量が電子電流量と比較して過度に大きい場合、発光に寄与せずに消費されてしまう正孔電流量が増加し、発光層14での発光効率は低下し、消費電力が増大してしまうという問題がある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

そこで本発明は、上記問題点に鑑みなされたもので、発光層に流れ込む正孔電流量及び電子電流量を調整し、発光層での電子と正孔の再結合を効率良く行い、発光効率に優れた

有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンスディスプレイを提供することを概括的課題とする。

【0007】

本発明のより具体的な課題は、互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層と前記第2のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造とを備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ である有機エレクトロルミネッセンス素子を提供することにある。

【0008】

ここで、イオン化ポテンシャルは、発光層やキャリア輸送層の価電子レベルと真空準位のエネルギーの差であり、正の値で示される。

【0009】

本発明によれば、発光層の陽極側に第1のキャリア輸送層と、第1のキャリア輸送層の陰極側に第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} より小さなイオン化ポテンシャル I_{pP2} を有する第2のキャリア輸送層とが形成されている。したがって、正孔が陽極から発光層へ向かう手前の第1のキャリア輸送層と第2のキャリア輸送層との界面にエネルギー障壁が形成され、第1のキャリア輸送層に正孔が蓄積されて発光層に流れる正孔電流量が低下する。その結果、正孔電流量が調節されて、発光効率を向上させることができる。

【0010】

本発明の他の課題は、前記発光層のエネルギーギャップ E_{gEL} と、前記第2のキャリア輸送層のエネルギーギャップ E_{gP2} との関係が、 $E_{gEL} < E_{gP2}$ である有機エレクトロルミネッセンス素子を提供することにある。

【0011】

ここで、エネルギーギャップは、伝導レベルと価電子レベル（価電子帯の上端のエネルギー）のエネルギー差であり、正の値で示される。

【0012】

本発明によれば、発光層の陽極側に発光層のエネルギーギャップ E_{gEL} より大きなエネルギーギャップ E_{gP2} を有する第2のキャリア輸送層が形成されている場合には、第2のキャリア輸送層での電子と正孔の再結合が抑制され、発光層での発光効率を向上させることができる。

【0013】

本発明のその他の課題は、互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層と前記第2のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造と、前記発光層の陰極側に形成された第3のキャリア輸送層と、前記第3のキャリア輸送層の陰極側に前記第3のキャリア輸送層と接するように形成された第4のキャリア輸送層と、前記第3のキャリア輸送層と前記第4のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造とを備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であり、かつ前記第3のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP3} と、前記第4のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP4} との関係が、 $E_{aP3} < E_{aP4}$ である有機エレクトロルミネッセンス素子を提供することにある。

【0014】

ここで、電子親和力は、発光層やキャリア輸送層の伝導レベル（伝導帯の下端のエネルギー）

ギー)と真空準位のエネルギー差であり、正の値で示される。

【0015】

本発明によれば、発光層の陽極側に、第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル $I_{p_{P1}}$ より大きなイオン化ポテンシャル $I_{p_{P2}}$ を有する第2のキャリア輸送層が第1のキャリア輸送層の陰極側に接するように形成されているため、正孔が陽極から発光層へ向かう手前の第1のキャリア輸送層と第2のキャリア輸送層との界面にエネルギー障壁が形成される。また、発光層の陰極側には、第3のキャリア輸送層の電子親和力 $E_{a_{P3}}$ より大きな電子親和力 $E_{a_{P4}}$ を有する第4のキャリア輸送層が第3のキャリア輸送層の陰極側に接するように形成されているため、電子が陰極から発光層へ向かう手前の第4のキャリア輸送層と第3のキャリア輸送層に対してエネルギー障壁が形成されるため、正孔電流量と電子電流量が調整されて、発光効率を向上することができる。

【0016】

本発明のその他の課題は、前記発光層のエネルギーギャップ $E_{g_{EML}}$ と、前記第2のキャリア輸送層のエネルギーギャップ $E_{g_{P2}}$ と、前記第3のキャリア輸送層のエネルギーギャップ $E_{g_{P3}}$ との関係が、 $E_{g_{EML}} < E_{g_{P2}}$ 、 $E_{g_{EML}} < E_{g_{P3}}$ である有機エレクトロルミネッセンス素子を提供することにある。

【0017】

本発明によれば、発光層の陽極側には発光層のエネルギーギャップ $E_{g_{EML}}$ よりも大きなエネルギーギャップを有する第2のキャリア輸送層が形成され、発光層の陰極側には発光層のエネルギーギャップ $E_{g_{EML}}$ よりも大きなエネルギーギャップを有する第3のキャリア輸送層が形成されている場合には、第2のキャリア輸送層及び第3のキャリア輸送層での電子と正孔の再結合が抑制され、発光層の発光効率を向上させることができる。

【0018】

本発明のその他の課題は、互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層と、前記第1のキャリア輸送層と前記第2のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造とを有す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ディスプレイであって、前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル $I_{p_{P1}}$ と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル $I_{p_{P2}}$ との関係が、 $I_{p_{P1}} < I_{p_{P2}}$ であることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンスディスプレイを提供することにある。

【0019】

本発明によれば、発光層の陽極側に第1のキャリア輸送層と、第1のキャリア輸送層の陰極側に第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル $I_{p_{P1}}$ より小さなイオン化ポテンシャル $I_{p_{P2}}$ を有する第2のキャリア輸送層とが形成されている。したがって、正孔が陽極から発光層へ向かう手前の第1のキャリア輸送層と第2のキャリア輸送層との界面にエネルギー障壁が形成され、第1のキャリア輸送層に正孔が蓄積されて発光層に流れる正孔電流量が低下するため、正孔電流量が調節されて、有機エレクトロルミネッセンス素子の発光効率を向上させることができ、上記有機エレクトロルミネッセンス素子を有機エレクトロルミネッセンスディスプレイに形成することで、有機エレクトロルミネッセンスディスプレイの視認性の向上及び低消費電力化が可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。

【0021】

(第1の実施の形態)

図3は、本発明の第1の実施の形態の有機EL素子の断面図である。図3に示すように、有機EL素子30は、ガラス基板33上に、陽極34と、第1のキャリア輸送層35Aと、第2のキャリア輸送層35Bと、発光層36と、第3のキャリア輸送層37Aと、第

4のキャリア輸送層37Bと、電子輸送層38と、陰極39とが順次形成された構成となっている。第1のキャリア輸送層35Aには、第2のキャリア輸送層35Bよりもイオン化ポテンシャル I_p が小さく、第3のキャリア輸送層37Aには、第4のキャリア輸送層37Bよりも電子親和力 E_a が小さい材料が用いられている。

【0022】

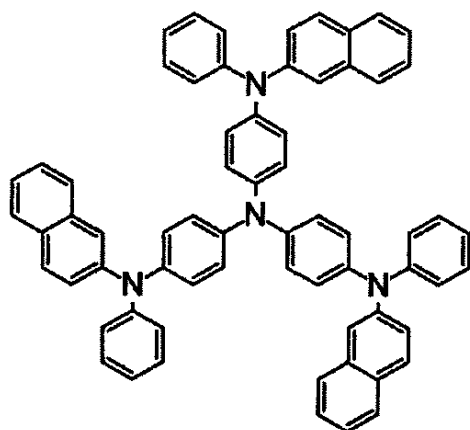
有機EL素子30は、10nm～1000nm程度の膜厚を有している。1000nmよりも厚いと、抵抗が上がり電流が流れにくくなってしまい10nmより薄いと発光層36自体の厚さが過度に薄くなり、発光輝度が不足してしまう。

【0023】

陽極34と陰極39は、有機EL素子30の所望の位置に電圧を印加するための電極であり、陽極34は、例えば、ITOやIZO (Indium Zinc Oxide) などを用いることができ、陰極39は、例えば、Al/LiF電極やAg/Mg電極などを用いることができる。

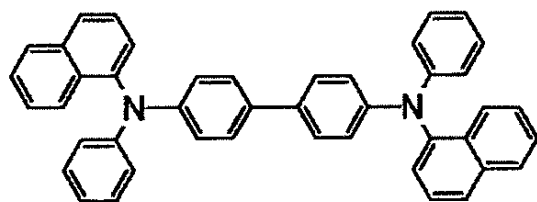
【0024】

第1、第2のキャリア輸送層35A、35Bは、電子、正孔の輸送能力の高い材料により構成され、第1のキャリア輸送層35Aには下記式(1)に示される2-TNATA (東洋インキ社製)を用いることができ、第2のキャリア輸送層35Bには、下記式(2)に示される α -NPD (東洋インキ社製)やEL002 (保土ヶ谷化学社製)などを用いることができる。第1、第2のキャリア輸送層35A、35Bの膜厚は、10nm～50nmの範囲に設定され、有機EL素子を構成する層の数と有機EL素子全体の厚さに応じて適宜選択される。



(1)

4,4',4''-tris(2-naphthylphenylamino)triphenylamine
(2-TNATA)



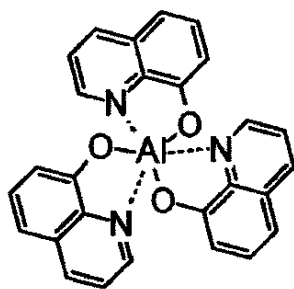
(2)

N,N'-di(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-[1,1'-biphenyl]-4,4'-diamine
(α NPD)

第3, 第4のキャリア輸送層37A, 37Bは、電子、正孔の輸送能力の高い材料により構成され、第3のキャリア輸送層37AにはTYE-704 (東洋インキ社製) を用いることができ、第4のキャリア輸送層37Bには、TYG-201 (東洋インキ社製) やCBP (同人化学研究所社製) などを用いることができる。第3, 第4のキャリア輸送層37A, 37Bの膜厚は、10 nm~50 nmの範囲に設定され、有機EL素子を構成する層の数と有機EL素子全体の厚さに応じて適宜選択される。

【0025】

発光層36は、所望の発光色を発光するための材料、例えば有機蛍光体が含まれ、金属錯体等の材料により構成されており、例えば、TYG-201 (東洋インキ社製) や下記式(3)に示したAlq₃ (tris(8-hydroxyquinolinolato)aluminum) (東洋インキ社製) 等を用いることができる。発光層36の膜厚は、10 nm~50 nmの範囲に設定され、前記キャリア輸送層と同様に適宜厚さが選択される。



(3)

(tris(8-hydroxyquinolinolato) aluminum) (Alq₃)

電子輸送層38は、電子の輸送能力の高い材料により構成され、例えば、TYE-704 (東洋インキ社製) やTYE-703 (東洋インキ社製) 等を用いることができる。

【0026】

上記有機EL素子30の各層は、例えば、真空蒸着法により圧力を 1.33×10^{-4} Pa、ガラス基板33の温度を室温にして形成される。

【0027】

図4は、第1の実施の形態の有機EL素子のエネルギーダイアグラムを示した図である。図4中の E_a 、 E_g 、 I_p は、それぞれ有機EL素子の各層の電子親和力 E_a 、エネルギーギャップ E_g 、イオン化ポテンシャル I_p を示しており、電子親和力 E_a は伝導レベル41（伝導帯の下端のエネルギー）と真空準位のエネルギーとの差であり、エネルギーギャップ E_g は伝導レベル41と価電子レベル42（価電子帯の上端のエネルギー）のエネルギーとの差であり、イオン化ポテンシャル I_p は価電子レベル42と真空準位とのエネルギーの差である。

【0028】

図4に示すように、発光層36の陽極34側に第2のキャリア輸送層35Bが形成され、第2のキャリア輸送層35Bの陽極34側には第1のキャリア輸送層35Aが形成され、発光層36の陰極39側には第3のキャリア輸送層37Aが形成され、第3のキャリア輸送層37Aの陰極39側には第4のキャリア輸送層37Bが形成されている。

【0029】

第1のキャリア輸送層35A、第2のキャリア輸送層35Bのイオン化ポテンシャルをそれぞれ、 $I_{p_{35A}}$ 、 $I_{p_{35B}}$ とすると、第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bとの関係は、 $I_{p_{35A}} < I_{p_{35B}}$ に設定されている。また、第3のキャリア輸送層37A、第4のキャリア輸送層37Bの電子親和力をそれぞれ、 $E_{a_{37A}}$ 、 $E_{a_{37B}}$ とすると、第3のキャリア輸送層37Aと第4のキャリア輸送層37Bとの関係は、 $E_{a_{37A}} < E_{a_{37B}}$ に設定されている。さらに、発光層36、第2のキャリア輸送層35B、第3のキャリア輸送層37Aのエネルギーギャップをそれぞれ、 $E_{g_{36}}$ 、 $E_{g_{35B}}$ 、 $E_{g_{37A}}$ とすると、発光層36、第2のキャリア輸送層35B、第3のキャリア輸送層37Aとの関係は、 $E_{g_{36}} < E_{g_{35B}}$ 、 $E_{g_{36}} < E_{g_{37A}}$ に設定されている。

【0030】

正孔の流れについて説明する。正孔は、陽極34から陰極39に向かって第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bを通り発光層36に達する。しかし、第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bとの界面には、エネルギー障壁 B_{H-A} が形成されている。エネルギー障壁 B_{H-A} の高さ $E_{B_{H-A}}$ は、第1のキャリア輸送層35Aのイオン化ポテンシャル $I_{p_{35A}}$ と第2のキャリア輸送層35Bのイオン化ポテンシャル $I_{p_{35B}}$ との差、すなわち $E_{B_{H-A}} = I_{p_{35B}} - I_{p_{35A}}$ である。 $I_{p_{35B}} > I_{p_{35A}}$ に設定されているので $E_{B_{H-A}} > 0$ である。したがって、正孔はエネルギー障壁 B_{H-A} により第1のキャリア輸送層35Aに蓄積され、発光層36に流れる正孔電流量が低下する。その結果、発光層36に流れ込む正孔電流量が調整され、電子と正孔が再結合するので発光効率を向上させることができる。

【0031】

また、第2のキャリア輸送層35Bのエネルギーギャップ $E_{g_{35B}}$ は、発光層36のエネルギーギャップ $E_{g_{36}}$ よりも大きいので、第2のキャリア輸送層35Bでの再結合が抑制され、発光層36での発光効率を向上させることができる。

【0032】

次に、電子の流れについて説明する。電子は、陰極39から陽極34に向かって、電子輸送層38、第4のキャリア輸送層37B及び第3のキャリア輸送層37Aを通り発光層36に達する。しかし、第4のキャリア輸送層37Bと第3のキャリア輸送層37Aとの界面には、エネルギー障壁 B_{E-B} が形成されている。エネルギー障壁 B_{E-B} の高さ $E_{B_{E-B}}$ は、第4のキャリア輸送層37Bの電子親和力 $E_{a_{37B}}$ と第3のキャリア輸送層37Aの電子親和力 $E_{a_{37A}}$ との差、すなわち $E_{B_{E-B}} = E_{a_{37B}} - E_{a_{37A}}$ である。 $E_{a_{37B}} > E_{a_{37A}}$ に設定されているので $E_{B_{E-B}} > 0$ である。したがって、電子は第4のキャリア輸送層37Bに蓄積されて電子電流量が低下し、発光層36に流れ込む電子電流量の調整ができる。よって、正孔にとってのエネルギー障壁 B_{H-A} を複数形成し、かつ電子にとってのエネルギー障壁 B_{E-B} を設けることで正孔電流量と電

子電流量を調整し、発光層 36 での発光効率を向上させることができる。

【0033】

また、第3のキャリア輸送層 37A のエネルギーギャップ $E_{g_{37A}}$ は、発光層 36 のエネルギーギャップ E_{g_6} よりも大きいので、第3のキャリア輸送層 37A での再結合が抑制され、発光層 36 での発光効率を向上させることができる。

【0034】

本実施の形態によれば、上述したように、発光層 36 の陽極側に形成された第2のキャリア輸送層 35B と、発光層 36 の陰極側に形成された第3のキャリア輸送層 37A とでの発光を防ぐと共に、正孔電流量と電子電流量を調整して、発光層 36 での発光効率を向上させることができる。

【0035】

[第1実施例]

第1実施例の有機EL素子を以下のように形成した。ガラス基板 33 上に、真空蒸着法により、陽極 34 にITO電極と、第1のキャリア輸送層 35A / 第2のキャリア輸送層 35B に2-TNATA層 (膜厚 30 nm) / α -NPD層 (膜厚 10 nm)、2-TNATA層 (膜厚 10 nm) / α -NPD層 (膜厚 10 nm) 及び2-TNATA層 (膜厚 10 nm) / α -NPD層 (膜厚 30 nm) と、発光層 36 にノンドープ型の緑色発光するTYG-201層を膜厚 20 nm と、第3のキャリア輸送層 37A / 第4のキャリア輸送層 37B にTYE-704層 (膜厚 10 nm) / TYG-201層 (膜厚 10 nm) 及びTYE-704層 (膜厚 10 nm) / TYG-201層 (膜厚 10 nm) と、電子輸送層 38 にTYE-704層を膜厚 20 nm と、陰極 39 にフッ化リチウム膜が膜厚 0.5 nm とAl膜が膜厚 100 nm からなるAl/LiF積層膜を順次形成した。

【0036】

第1の実施の形態では、発光層の陽極側に第1のキャリア輸送層 35A / 第2のキャリア輸送層 35B からなる積層構造を1層のみ形成したが、第1実施例で3層形成した。また、第1の実施の形態では、発光層の陽極側に第3のキャリア輸送層 37A / 第4のキャリア輸送層 37B からなる積層構造を1層のみ形成したが、第1実施例では2層形成した。

【0037】

ここで、本発明を実施する上で重要なエネルギーギャップ E_g とイオン化ポテンシャル I_p の測定方法について説明する。

【0038】

エネルギーギャップ E_g は、上記有機EL素子 30 の形成方法と同様な方法を用いて有機EL素子 30 の各層を単独に形成した薄膜を、光吸収スペクトルが測定できる分光光度計装置、例えば、日立社製スペクトロフォトメーターU-4100を用いて大気中で紫外から可視領域の光を薄膜に対して照射して測定した。

【0039】

図5は、光吸収スペクトルの波長依存性を示した図である。図5中の曲線Jは、測定結果である光吸収スペクトルを示している。なお、範囲Tは、光吸収スペクトルの強度が立ち上がり部のうち、曲線Jが直線になっている部分を示している。範囲Uは、光吸収スペクトルの未吸収波長領域において、曲線Jが直線になっている部分を示している。直線Kは、範囲Tに示した曲線Jと重なるように引いた直線である。直線Lは、範囲Uに示した曲線Jと重なるように引いた直線である。エネルギーギャップ E_g は、直線Kと直線Lとの交点Mから求められる。

【0040】

イオン化ポテンシャル I_p は、エネルギーギャップ E_g の測定に用いた薄膜と同様に形成された薄膜を用いて、大気雰囲気型紫外線光電子分析装置、例えば、理研計器製AC-1を用いて大気中で紫外線を薄膜に対して照射して、放出される光電子の数を測定して、紫外線のエネルギーと光電子の放出数の平方根との関係から求められる。理研計器製AC-1の測定条件は、紫外線のエネルギー範囲が3.8~6.2 eV、紫外線の強度が20

nWである。薄膜の膜厚は、50 nmを用いた。

【0041】

図6は、紫外線のエネルギーと光電子の放出数の平方根との関係を示した図である。放出される光電子の数は紫外線のエネルギーの大きさに依存し、図6中に示した範囲Nにおいては、紫外線のエネルギーが小さいため光電子は放出されないが、範囲Oにおいては、紫外線のエネルギーが十分に大きいため、光電子は真空準位よりも高いエネルギーの準位へ励起され、光電子が放出される。図6中に示した直線Pは、紫外線のエネルギーが4.2 eV～5.3 eVの間について最小2乗法により引かれた近似直線を示している。直線Qは、紫外線のエネルギーが5.6 eV～5.9 eVの間について最小2乗法により引かれた近似直線を示している。

【0042】

直線Pと直線Qの交点Rは、光電子放出のしきい値エネルギーを示しており、この光電子放出のしきい値エネルギーがイオン化ポテンシャル I_p である。電子親和力 E_a は、イオン化ポテンシャル I_p とエネルギーギャップ E_g との差 ($E_a = I_p - E_g$) により求められる。

【0043】

図7は、第1実施例に用いた層の電子親和力 E_a 、イオン化ポテンシャル I_p 及びエネルギーギャップ E_g を示した図である。図7に示すように、第1のキャリア輸送層35Aに用いた2-TNATA層のイオン化ポテンシャル I_p は5.19 eVであり、第2のキャリア輸送層35Bに用いた α -NPD層のイオン化ポテンシャル I_p は5.46 eVである。よって、2-TNATA層と α -NPD層のイオン化ポテンシャル I_p との差により、第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bの界面に、0.27 eVの大きさのエネルギー障壁が3つ形成される。また、第4のキャリア輸送層37Bに用いたTYG-201層の電子親和力 E_a は3.20 eVであり、第3のキャリア輸送層37Aに用いたTYE-704層の電子親和力 E_a は2.97 eVである。

【0044】

したがって、TYG-201層とTYE-704層の電子親和力 E_a の差により、第4のキャリア輸送層37Bと第3のキャリア輸送層37Aの界面に、0.23 eVの大きさのエネルギー障壁が2つ形成される。その結果、第1のキャリア輸送層35Aと第2のキャリア輸送層35Bの界面に形成された3つのエネルギー障壁により、第1のキャリア輸送層に用いた2-TNATA層にそれぞれ正孔が蓄積されて、正孔電流量は低下する。また、第4のキャリア輸送層37Bと第3のキャリア輸送層37Aの界面に形成された2つのエネルギー障壁により、第4のキャリア輸送層に用いたTYG-201層にそれぞれ電子が蓄積されて、電子電流量が低下する。その結果、発光層36に流れる電子電流量と正孔電流量とが調節されて、電子と正孔が再結合するため、発光効率を向上させることができる。

【0045】

また、第2のキャリア輸送層35Bに用いた α -NPD層のエネルギーギャップ E_g は3.04 eVであり、第3のキャリア輸送層37Aに用いたTYE-704層のエネルギーギャップ E_g は2.76 eVであり、発光層36のエネルギーギャップ E_g は2.40 eVである。よって、第2のキャリア輸送層35Bのエネルギーギャップ E_g は、発光層36のエネルギーギャップ E_g よりも0.64 eV大きく、第3のキャリア輸送層37Aのエネルギーギャップ E_g は、発光層36のエネルギーギャップ E_g よりも0.36 eV大きいため、発光層36での電子と正孔の再結合する確率が増加し、発光層36に用いたTYG-201層の発光効率を向上させることができる。

【0046】

[第2実施例]

図8は、第2実施例の有機EL素子の層構成を示した図である。

【0047】

第2の実施例は、第1実施例において、発光層36と陽極との間に第1のキャリア輸送

層35A／第2のキャリア輸送層35Bからなる積層構造を1組少なく形成したものである。なお、有機EL素子の全体の厚さにより各層の膜厚が決定されている。

【0048】

第2実施例によれば、第1実施例よりも第1のキャリア輸送層35A／第2のキャリア輸送層35Bが1組少なく形成されている。先の発明が解決しようとする課題で述べたように正孔電流量と電子電流量の大きさは、有機EL素子を構成する膜の種類や積層する膜厚により変わる。したがって、有機EL素子の正孔電流量が電子電流量と比較してあまり大きくない場合には、第1実施例のように3つのエネルギー障壁を形成すると、正孔電流量が小さくなりすぎて発光効率が低下してしまう。したがって、正孔にとってのエネルギー障壁を1つ少なく形成して、第1実施例よりも正孔電流量の低下を抑制することで、より多くの電子が正孔との再結合に寄与し、有機EL素子全体の発光効率を高めることができる。

【0049】

[発光効率の評価]

次に、第1及び第2実施例の有機EL素子の発光輝度の評価を行なった。本発明によらない比較例1～3の有機EL素子を作成して評価した。

【0050】

比較例1の有機EL素子は、ガラス基板上に、真空蒸着法を用いて、陽極にITO電極と、正孔注入層に2-TNATA層を膜厚30nmと、正孔輸送層に α -NPD層を膜厚50nmと、発光層にノンドープ型の緑色発光するTYG-201層を膜厚40nmと、電子輸送層にTYE-704層を膜厚40nmと、フッ化リチウム膜が膜厚0.5nmとAl膜が膜厚100nmからなるAl/LiF積層膜とが順次形成された構成とした。真空蒸着装置内の圧力とガラス基板の温度は、圧力が 1.33×10^{-4} Pa、ガラス基板の温度は室温とした。次に、比較例2～3の有機EL素子を比較例1と同様な方法により形成した。

【0051】

図9は、比較例2及び3の有機EL素子の膜構成を示した図である。

【0052】

次に、第1実施例及び第2実施例の有機EL素子に電圧を印加し、陽極から発光層の陽極側に接する第2のキャリア輸送層の間に流れる電流量と、陰極から発光層の陰極側に接する第3のキャリア輸送層の間に流れる電流量とを別々に測定した。また、比較例1の有機EL素子に電圧を印加し、陽極から正孔輸送層の間の電流量と、陰極から電子輸送層の間の電流量とを別々に測定した。

なお、第1実施例及び第2実施例の発光層の陽極側に接する第2のキャリア輸送層から陽極の間に流れる電流量と、比較例1の陽極から正孔輸送層の間の電流量は、正孔が陽極から陰極側へ移動することで発生する電流量と考えることができ、本評価ではこの電流量を正孔電流量と定義する。また、第1実施例及び第2実施例の発光層の陰極側に接する第3のキャリア輸送層から陰極の間に流れる電流量と、比較例1の陰極から電子輸送層の間の電流量は、電子が陰極から陽極側へ移動することで発生する電流量と考えることができ、本評価ではこの電流量を電子電流量と定義する。

【0053】

図10は、第1実施例の有機EL素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図であり、図11は、第2実施例の有機EL素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図であり、図12は、比較例1の有機EL素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図である。

【0054】

図10に示した第1実施例の有機EL素子には、発光層の陽極側にエネルギー障壁が3つ形成されており、図11に示した第2実施例の有機EL素子には、発光層の陽極側にエネルギー障壁が2つ形成されている。また、図12に示した比較例1にはエネルギー障壁が1つ形成されている。図10～図12に示すように、発光層の陽極側にエネルギー障壁が多く形成されると、正孔電流量が低下することが分かる。

【0055】

図13は、第1実施例の有機EL素子の電子電流量と電圧の関係を示した図である。図13に示した有機EL素子は、発光層の陰極側にエネルギー障壁が2つ形成されている。図13の電子電流量と図11に示した発光層の陽極側に2つのエネルギー障壁が形成した場合の正孔電流量とを比較すると、正孔電流量は電子電流量よりも大きいことが分かる。このことから、エネルギー障壁を形成しない場合には、正孔電流量は電子電流量よりも大きいことが分かる。

【0056】

図14は、有機EL素子の発光効率の電圧依存性を示した図である。図14に示すように、第2実施例の有機EL素子の発光効率が最も高いことが分かる。

【0057】

ここで、正孔にとってのエネルギー障壁を多く設けた第1実施例よりも、第2実施例の有機EL素子の発光効率が高くなった原因についての考察を行う。有機EL素子の発光効率を向上させるためには、正孔電流量を小さくすることと、発光層36において再結合に寄与する電子の数と正孔の数との差を小さくすることが必要である。電子電流量は、電子の数と電子の移動度により決まり、正孔電流量は、正孔の数と正孔の移動度により決まる。また、一般的に電子の移動度は、正孔の移動度よりも小さいため、電子の数と正孔の数とが同じ場合でも電子電流量と正孔電流量とは同じにはならない。エネルギー障壁を形成しない場合には、正孔電流量は電子電流量よりも大きく、正孔にとってのエネルギー障壁を設けることで、正孔電流量が減少すると共に、正孔の数も減少する。実施例1においては、正孔にとってのエネルギー障壁が3つ形成されており、電子と再結合する正孔の数を必要以上に減少させてしまったと考えられる。実施例2では、実施例1よりも少ない2つのエネルギー障壁を設けたため、電子の数と正孔の数との差を小さくできたため、発光効率が向上して実施例1よりも良い結果になったと考えられる。

【0058】

(第2の実施の形態)

図15は、本発明の第2の実施の形態の有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ（有機ELディスプレイ）の概要構成を示した斜視図である。図15に示すように、有機ELディスプレイ50は、ガラス基板33上に陰極39であるA1/LiF電極と、陽極34であるITO電極とが直交するように形成され、その間に第1の実施の形態の有機EL素子を構成する積層体45が形成された構成となっている。有機ELディスプレイ50の発光は、発光させたい発光層の領域のITO電極とA1/LiF電極をそれぞれ指定して電圧を印加して行なう。有機ELディスプレイ50を上記構成としたことで、発光効率を向上することができる。

【0059】

以上、本発明の好ましい実施の形態について詳述したが、本発明はかかる特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲内に記載された本発明の記載範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【0060】

例えば、第1の実施の形態に示した有機EL素子に設ける正孔のエネルギー障壁と電子のエネルギー障壁の個数は各有機EL素子に応じて適宜に選択して良い。

【産業上利用可能性】

【0061】

本発明によれば、発光層の陽極側に第1のキャリア輸送層と、第1のキャリア輸送層の陰極側に第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{p1} より小さなイオン化ポテンシャル I_{p2} を有する第2のキャリア輸送層とを形成することにより、正孔が陽極から発光層へ向かう手前の第1のキャリア輸送層と第2のキャリア輸送層との界面にエネルギー障壁が形成され、第1のキャリア輸送層に正孔が蓄積されて発光層に流れる正孔電流量が低下して、正孔電流量が調節されるため、発光効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

図 1 は、従来の有機 EL 素子の断面図を示した図である。

図 2 は、図 1 に示す有機 EL 素子のエネルギーダイアグラムを示した図である。

図 3 は、本発明の第 1 の実施の形態の有機 EL 素子の断面図である。

図 4 は、第 1 の実施の形態の有機 EL 素子のエネルギーダイアグラムを示した図である。

。

図 5 は、光吸収スペクトルの波長依存性を示した図である。

図 6 は、紫外線のエネルギーと光電子の放出数の平方根との関係を示した図である。

図 7 は、第 1 実施例に用いた層の電子親和力 E_a 、イオン化ポテンシャル I_p 及びエネルギーギャップ E_g を示した図である。

図 8 は、第 2 実施例の有機 EL 素子の層構成を示した図である。

図 9 は、比較例 2 及び 3 の有機 EL 素子の膜構成を示した図である。

図 10 は、第 1 実施例の有機 EL 素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図である。

図 11 は、第 2 実施例の有機 EL 素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図である。

図 12 は、比較例 1 の有機 EL 素子の正孔電流量と電圧の関係を示した図である。

図 13 は、第 1 実施例の有機 EL 素子の電子電流量の電圧依存性を示した図である。

図 14 は、有機 EL 素子の発光効率の電圧依存性を示した図である。

図 15 は、本発明の第 2 の実施の形態の有機エレクトロルミネッセンスディスプレイの概要構成を示した斜視図である。

ディスプレイ。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、
前記発光層の陽極側に形成された第 1 のキャリア輸送層と、
前記第 1 のキャリア輸送層の陰極側に前記第 1 のキャリア輸送層と接するように形成された第 2 のキャリア輸送層と、
前記第 1 のキャリア輸送層と前記第 2 のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造と

を備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、

前記第 1 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第 2 のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であ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。

【請求項 2】

前記第 1 のキャリア輸送層は、 α NPD を用い、前記第 2 のキャリア輸送層には、2-TNATA を用い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 3】

前記発光層のエネルギーギャップ E_{gEL} と前記第 2 のキャリア輸送層のエネルギーギャップ E_{gP2} との関係が、 $E_{gEL} < E_{gP2}$ 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 4】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、
前記発光層の陰極側に形成された第 1 のキャリア輸送層と、
前記第 1 のキャリア輸送層の陰極側に接するように形成された第 2 のキャリア輸送層と、
、
前記第 1 のキャリア輸送層と前記第 2 のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された

少なくとも一つの積層構造と

を備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、

前記第1のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP1} と、前記第2のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP2} との関係が、 $E_{aP1} < E_{aP2}$ であ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。

【請求項5】

前記第1のキャリア輸送層には、T Y E 7 0 4 を用い、前記第2のキャリア輸送層には、T Y G - 2 0 1 を用いることを特徴とする請求項4に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

【請求項6】

前記発光層のエネルギーギャップ $E_{g_{EML}}$ と前記第1のキャリア輸送層のエネルギーギャップ E_{gP1} との関係が、 $E_{g_{EML}} < E_{gP1}$ であることを特徴とする請求項4に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

【請求項7】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、

前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層と、

前記第1のキャリア輸送層と前記第2のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造と、 前記発光層の陰極側に形成された第3のキャリア輸送層と、

前記第3のキャリア輸送層の陰極側に前記第3のキャリア輸送層と接するように形成された第4のキャリア輸送層と、

前記第3のキャリア輸送層と前記第4のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造と

を備えた有機エレクトロルミネッセンス素子であって、

前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であり、かつ前記第3のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP3} と、前記第4のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP4} との関係が、 $E_{aP3} < E_{aP4}$ であ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。

【請求項8】

前記発光層のエネルギーギャップ $E_{g_{EML}}$ と、前記第2のキャリア輸送層のエネルギーギャップ E_{gP2} と、前記第3のキャリア輸送層のエネルギーギャップ E_{gP3} との関係が、 $E_{g_{EML}} < E_{gP2}$, $E_{g_{EML}} < E_{gP3}$ であることを特徴とする請求項7に記載の有機エレクトロルミネッセンス素子。

【請求項9】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、

前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、

前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層と、

前記第1のキャリア輸送層と前記第2のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造と

を有す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ディスプレイであって、

前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ。

【請求項10】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、

前記発光層の陰極側に形成された第1のキャリア輸送層と、
前記第1のキャリア輸送層の陰極側に接するように形成された第2のキャリア輸送層と

、
前記第1のキャリア輸送層と前記第2のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造と

を備えた有機エレクトロルミネッセンス素子を有する有機エレクトロルミネッセンスディスプレイであって、

前記第1のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP1} と、前記第2のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP2} との関係が、 $E_{aP1} < E_{aP2}$ であることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ。

【請求項11】

互いに対向する陽極と陰極との間に形成された発光層と、前記発光層の陽極側に形成された第1のキャリア輸送層と、

前記第1のキャリア輸送層の陰極側に前記第1のキャリア輸送層と接するように形成された第2のキャリア輸送層と、

前記第1のキャリア輸送層と前記第2のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造と 前記発光層の陰極側に形成された第3のキャリア輸送層と

、
前記第3のキャリア輸送層の陰極側に前記第3のキャリア輸送層と接するように形成された第4のキャリア輸送層と、

前記第3のキャリア輸送層と前記第4のキャリア輸送層が交互に積層されて形成された少なくとも一つの積層構造と

を有す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ディスプレイであって、

前記第1のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP1} と、前記第2のキャリア輸送層のイオン化ポテンシャル I_{pP2} との関係が、 $I_{pP1} < I_{pP2}$ であり、かつ前記第3のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP3} と、前記第4のキャリア輸送層の電子親和力 E_{aP4} との関係が、 $E_{aP3} < E_{aP4}$ であることを特徴とする有機エレクトロルミネッセンス

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/13548

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H05B33/22, H05B33/14

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)
Int.Cl⁷ H05B33/00-33/28

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 1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003

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 5-326146 A (Toshiba Corp.), 10 December, 1993 (10.12.93), Claim 5; page 10, column 18, line 27 to page 13, column 23, line 12; page 26, column 50, line 49 to page 28, column 54, line 14; Figs. 30 to 32 & JP 6-36877 A & EP 553950 A & US 5343050 A	1,3-4,6-11 2
X Y	JP 2000-30868 A (Sharp Corp.), 28 January, 2000 (28.01.00), Full text; all drawings (Family: none)	1,3-4,6-11 2
X Y	JP 6-314594 A (Ricoh Co., Ltd.), 08 November, 1994 (08.11.94), Claims; Fig. 1 (Family: none)	1,3-4,6-11 2

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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
"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)	"Z" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
04 February, 2003 (04.02.03)

Date of mailing of the international search report
18 February, 2003 (18.02.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP02/13548

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-176667 A (Toyota Motor Corp.), 29 June 2001 (29.06.01), Page 2, column 2, lines 41 to 45; page 3, column 3, lines 11 to 15 (Family: none)	2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/13548

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☒ Claims Nos.: 5
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
The "TYE704" and "TYG-201" in claim 5 are not specifically explained in Specification, Claims, or Drawings.

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP02/13548	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl. H05B 33/22, H05B 33/14			
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 (IPC))			
Int. Cl. H05B 33/00-33/28			
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 1922-1996年			
日本国公開実用新案公報 1971-2003年			
日本国実用新案登録公報 1996-2003年			
日本国登録実用新案公報 1994-2003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 請求の範囲の番号	
X Y	JP 5-326146 A (株式会社東芝) 1993. 12. 10, 請求項 5, 第10頁18欄27行-第13頁23欄12行, 第26頁50欄49行-第28頁54欄14行, 第30図-第32図 & JP 6-36877 A & EP 553950 A & US 5343050 A	1, 3-4, 6-11 2	
X Y	JP 2000-30868 A (シャープ株式会社) 2000. 01. 28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 3-4, 6-11 2	
☒ 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 04. 02. 03		国際調査報告の発送日 18.02.03	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 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) 今関 雅子 電話番号 03-3581-1101 内線 3371	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP02/13548
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 請求の範囲の番号
X Y	J P 6-314594 A (株式会社リコー) 1994. 11. 08, 特許請求の範囲, 第1図 (ファミリーなし)	1, 3-4, 6-11 2
Y	J P 2001-176667 A (トヨタ自動車株式会社) 2001. 06. 29, 第2頁2欄41行-45行, 第3頁3欄11行-15行 (ファミリーなし)	2

国際調査報告	国際出願番号 PCT/JP02/13548
第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き) 法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。 1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、 2. ☒ 請求の範囲 5 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、 請求の範囲 5 に記載の「TYE 704」及び「TYG-201」が具体的にどのような化合物であるのか、明細書、請求の範囲若しくは図面には何ら記載されていない。 3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。	
第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き) 次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。 1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。 2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。 3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。 4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意 ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。 ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。	

フロントページの続き

(72)発明者 中山 昌哉

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72)発明者 木下 正兒

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72)発明者 児玉 淳

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 3K007 AB03 CB04 DB03

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。

专利名称(译)	有机电致发光器件和有机电致发光显示器		
公开(公告)号	JPWO2004060028A1	公开(公告)日	2006-05-11
申请号	JP2004562854	申请日	2002-12-25
[标]申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
申请(专利权)人(译)	富士胶片有限公司		
[标]发明人	板井雄一郎 中山昌哉 木下正兒 児玉淳		
发明人	板井 雄一郎 中山 昌哉 木下 正兒 児玉 淳		
IPC分类号	H01L51/50 C09K11/06 G09F9/30 H01L21/00 H01L27/32 H01L51/00 H05B33/14		
CPC分类号	C09K11/06 C09K2211/1014 H01L27/3281 H01L51/0059 H01L51/006 H01L51/50 H01L51/5048 H05B33/14		
FI分类号	H05B33/22.D H05B33/22.B H05B33/14.A		
F-TERM分类号	3K007/AB03 3K007/CB04 3K007/DB03		
代理人(译)	中岛敦 福田浩		
其他公开文献	JP4263175B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

在公开的有机EL装置中，在玻璃基板上依次层叠有阳极，第一载流子传输层，第二载流子传输层，发光层，第三载流子传输层，第四载流子传输层，电子传输层 层和阴极。第一载流子传输层由电离势 I_p 低于第二载流子传输层的电离势 I_p 的材料形成，第三载流子传输层由电子亲和势 E_a 小于电子亲和势 E_a 的材料形成 第四载流子传输层。

