

(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2010-80979
(P2010-80979A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01L 51/50 (2006.01)	H05B 33/14 B	3K107
C09K 11/06 (2006.01)	H05B 33/22 B	
	H05B 33/22 D	
	C09K 11/06 690	
	C09K 11/06 660	

審査請求 有 請求項の数 17 O L 外国語出願 (全 64 頁)

(21) 出願番号 特願2009-286813 (P2009-286813)
 (22) 出願日 平成21年12月17日 (2009.12.17)
 (62) 分割の表示 特願2002-571749 (P2002-571749)
 の分割
 原出願日 平成14年3月13日 (2002.3.13)
 (31) 優先権主張番号 60/275,481
 (32) 優先日 平成13年3月14日 (2001.3.14)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 591003552
 ザ、トラスティーズ オブ プリンストン
 ユニバーシティ
 アメリカ合衆国、ニュー・ジャージー州
 08544、プリンストン、ピー・オー・
 ボックス 36
 (71) 出願人 502023332
 ザ ユニバーシティ オブ サザン カリ
 フォルニア
 アメリカ合衆国・カリフォルニア・900
 89・ロサンゼルス・マッククリントック
 ・アヴェニュー・3740・ヒューズ・セ
 ンター・スイート・イーイーピー・131
 ・ユーエスシー・スティーヴンズ

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 青色リン光に基づく有機発光ダイオード類のための材料及びデバイス

(57) 【要約】

【課題】 高効率の有機発光素子 (O L E D) に関し、特に不活性ホスト物質中にドーブしたリン光発光ドーパント材料および電荷輸送ドーパント材料を含んでいる発光層を有する O L E D を提供する。

【解決手段】 O L E D は、2種のドーパントでドーブされたワイドギャップ不活性ホスト材料を含む。ドーパントのうち一つは、電子または正孔のどちらかを輸送できるリン光発光材料である。他方のドーパントは電荷輸送材料であり、これは、リン光発光ドーパントによっては輸送されない電子および正孔のどちらかを輸送できる。材料は、ホスト材料の最低三重項エネルギーレベルおよび電荷輸送ドーパント材料の最低三重項エネルギーレベルがそれぞれ、リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルより高いエネルギーレベルであるように選択される。この素子は、特に、可視スペクトルの青色領域で効果的に発光することができる。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワイドギャップホスト材料；前記ワイドギャップホスト材料中にドーパントとして存在する電荷輸送ドーパント材料；および前記ワイドギャップホスト材料中にドーパントとして存在するリン光発光ドーパント材料を含む発光層；を含み、前記電荷輸送ドーパント材料が正孔輸送材料を含み、且つ前記リン光発光ドーパント材料が電子輸送材料を含む、有機発光素子の発光層。

【請求項 2】

前記ワイドギャップホスト材料の最低三重項状態エネルギーレベルおよび前記電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルがそれぞれ前記リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項 1 記載の発光層。

10

【請求項 3】

前記ワイドギャップホスト材料の最低三重項状態エネルギーレベルが、前記電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項 2 記載の発光層。

【請求項 4】

前記ワイドギャップホスト材料が、少なくとも約 3 . 5 e V のエネルギーギャップを HOMO および LUMO のエネルギーレベル間に有する、請求項 3 に記載の発光層。

【請求項 5】

前記ワイドギャップホスト材料が、少なくとも約 3 . 5 e V のエネルギーギャップを HOMO および LUMO エネルギーレベル間に有する、請求項 1 記載の発光層。

20

【請求項 6】

前記発光層が可視スペクトルの青色領域において放射を発する、請求項 1 記載の発光層。

【請求項 7】

前記放射が約 430 から約 470 nm の範囲に発光ピークを有する、請求項 6 記載の発光層。

【請求項 8】

前記発光ピークが約 450 nm である、請求項 7 記載の発光層。

【請求項 9】

前記ワイドギャップホスト材料が、ジフェニレン、置換ジフェニレン、トリフェニレン、置換トリフェニレン、ナフタレン、置換ナフタレン、テトラフェニルプタジエンおよび置換トリフェニルプタジエンからなる群より選択された材料を含む、請求項 2 記載の発光層。

30

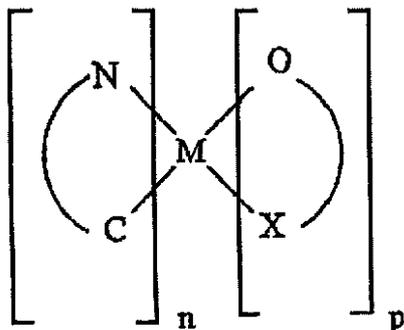
【請求項 10】

前記電荷輸送ドーパント材料が、トリアリールアミン、金属配位錯体および供与体置換ナフタレンからなる群より選択された材料を含む、請求項 2 記載の発光層。

【請求項 11】

前記リン光発光ドーパント材料が、下記一般式：

【化 1】



40

50

(式中、Mは重遷移金属；C Nはシクロ金属化配位子；O Xは配位した配位子であって、Xは酸素、窒素および硫黄からなる群から選択され；nは1または2に等しく、pは0または1に等しい。)

の構造を有する化合物を含む、請求項2記載の発光層。

【請求項12】

Mが、イリジウム、プラチナ、オスミウム、および金からなる群より選択される、請求項11記載の発光層。

【請求項13】

ワイドギャップホスト材料；

前記ワイドギャップホスト材料中にドーパントとして存在する電荷輸送ドーパント材料；
および

前記ワイドギャップホスト材料中にドーパントとして存在するリン光発光ドーパント材料を含み、さらに、前記電荷輸送ドーパント材料が電子輸送材料を含み、且つ前記リン光発光ドーパント材料が正孔輸送材料を含む、有機発光素子の発光層。

【請求項14】

前記ワイドギャップホスト材料の最低三重項状態エネルギーレベルおよび前記電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルがそれぞれ、前記リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項13記載の発光層。

【請求項15】

前記ワイドギャップホスト材料の最低三重項状態エネルギーレベルが、前記電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項14記載の発光層。

【請求項16】

前記ワイドギャップホスト材料が、少なくとも約3.5 eVのエネルギーギャップをHOMOとLUMOの間に有する、請求項15記載の発光層。

【請求項17】

前記ワイドギャップホスト材料が、少なくとも約3.5 eVのエネルギー差をHOMOとLUMOの間に有する、請求項13記載の発光層。

【請求項18】

前記発光層が、可視スペクトルの青色領域において放射を発する、請求項13記載の発光層。

【請求項19】

前記放射が約430 nmから約470 nmの範囲に発光ピークを有する、請求項18記載の発光層。

【請求項20】

前記発光ピークが約450 nmである、請求項19記載の発光層。

【請求項21】

前記ワイドギャップホスト材料が、ジフェニレン、置換ジフェニレン、トリフェニレン、置換トリフェニレン、ナフタレン、置換ナフタレン、テトラフェニルプタジエンおよび置換テトラフェニルプタジエンからなる群より選択された材料を含む、請求項14記載の発光層。

【請求項22】

前記電荷輸送ドーパント材料が、オキシジアゾール、トリアゾールおよびシクロオクタテトラエンからなる群より選択した材料を含む、請求項14記載の発光層。

【請求項23】

前記リン光発光ドーパント材料が、下記一般式：

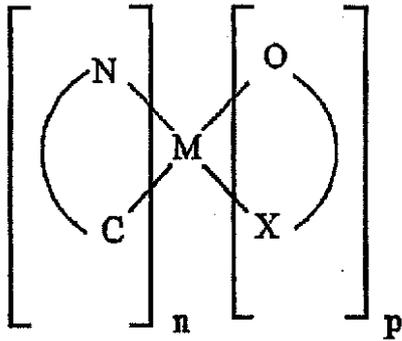
10

20

30

40

【化 2】



10

(式中、Mは重遷移金属；C Nはシクロ金属化配位子；O Xは配位した配位子であり、Xは酸素、窒素および硫黄からなる群より選択され、nは1または2に等しく、且つpは0または1に等しい。)

の構造を有する化合物を有する、請求項14記載の発光層。

【請求項24】

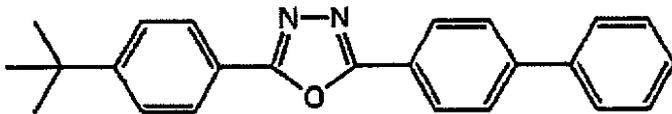
Mがイリジウム、プラチナ、オスミウムおよび金からなる群より選択される、請求項23記載の発光層。

【請求項25】

前記ワイドギャップホスト材料がポリスチレンを含み、前記電荷輸送ドーパント材料が下記の化学構造

20

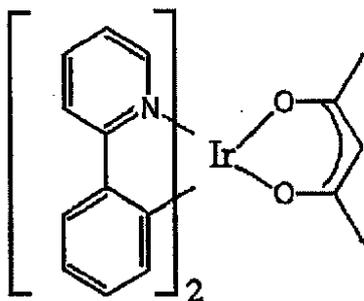
【化 3】



を有する(4-ビフェニル)(4-tert-ブチルフェニル)オキシジアゾール(PDB)を含み、且つ前記リン光発光ドーパント材料が下記の化学構造

30

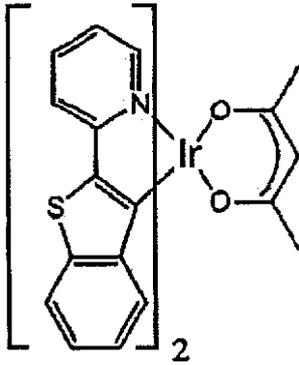
【化 4】



40

を有するビス(フェニルピリジン)イリジウムアセチルアセトナート(PPIr)、および下記の化学構造

【化 5】



10

を有するビス(2-フェニルベンゾチアゾール)イリジウムアセチルアセトナート(BT Ir)を含む、請求項14記載の発光層。

【請求項26】

アノード層；

ワイドギャップ宿主材料、電荷輸送ドーパント材料、およびリン光発光ドーパント材料を含み、ここで前記電荷輸送ドーパント材料および前記リン光発光ドーパント材料が前記ワイドギャップ宿主材料中にドーパントとして存在する、前記アノード層上の発光層；および

20

前記発光層上のカソード層；を含み、

ここで、前記電荷輸送ドーパント材料が正孔輸送材料を含み、前記リン光発光ドーパント材料が電子輸送材料を含む、有機発光素子。

【請求項27】

前記ワイドギャップ宿主材料の最低三重項状態エネルギーレベルおよび前記電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルがそれぞれ、各前記リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項26記載の素子。

【請求項28】

前記ワイドギャップ宿主材料の最低三重項状態エネルギーレベルが、前記電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項27記載の素子。

30

【請求項29】

前記ワイドギャップ宿主材料が、少なくとも3.5 eVのエネルギーギャップをHOMOおよびLUMOのエネルギーレベル間に有する、請求項28記載の素子。

【請求項30】

前記ワイドギャップ宿主材料が少なくとも3.5 eVのエネルギーギャップをHOMOおよびLUMOのエネルギーレベル間に有する、請求項26記載の素子。

【請求項31】

前記発光層が、可視スペクトルの青色領域において放射を発する、請求項26記載の素子。

【請求項32】

前記放射が約430 nmから約470 nmの範囲に発光ピークを有する、請求項31記載の素子。

40

【請求項33】

前記発光ピークが約450 nmである、請求項32記載の素子。

【請求項34】

前記ワイドギャップ宿主材料が、ジフェニレン、置換ジフェニレン、トリフェニレン、置換トリフェニレン、ナフタレン、置換ナフタレン、テトラフェニルプタジエン、および置換テトラフェニルプタジエンからなる群より選択される材料を含む、請求項27記載の素子。

【請求項35】

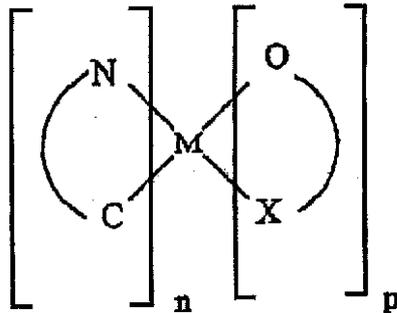
50

前記電荷輸送ドーパント材料が、トリアリールアミン、金属配位錯体および供与体置換ナフタレンからなる群より選択した材料を含む、請求項 27 記載の素子。

【請求項 36】

前記リン光発光材料が、下記の一般式：

【化 6】



10

(式中、Mは重遷移金属；C Nはシクロ金属化配位子；O Xは配位した配位子であり、Xは酸素、窒素および硫黄からなる群より選択され；nは1または2に等しく、pは0または1に等しい。)

の構造を有する化合物を含む、請求項 27 記載の素子。

【請求項 37】

20

Mが、イリジウム、プラチナ、オスミウム、および金からなる群より選択される、請求項 36 記載の素子。

【請求項 38】

前記アノード層および前記発光層の間に正孔注入層をさらに含む、請求項 26 記載の素子。

【請求項 39】

前記発光層および前記カソード層の間に電子注入層をさらに含む、請求項 38 記載の素子。

【請求項 40】

前記発光層および前記電子注入層の間に正孔阻止層をさらに含む、請求項 39 記載の素子。

30

【請求項 41】

前記発光層および前記電子注入層の間に励起子阻止層をさらに含む、請求項 39 記載の素子。

【請求項 42】

前記発光層および前記正孔注入層の間に電子阻止層をさらに含む、請求項 40 記載の素子。

【請求項 43】

前記発光層および前記正孔注入層の間に励起子阻止層をさらに含む、請求項 40 記載の素子。

40

【請求項 44】

前記発光層および前記カソード層の間に電子注入層をさらに含む、請求項 26 記載の素子。

【請求項 45】

前記ワイドギャップ宿主材料が、前記アノード層と接触しているワイドギャップ宿主材料の非ドーブ領域を含む電子注入領域と、前記カソード層と接触しているワイドギャップ宿主材料の非ドーブ領域を含む正孔注入領域とを含む、請求項 26 記載の素子。

【請求項 46】

アノード層；

ワイドギャップ宿主材料、電荷輸送ドーパント材料、およびリン光発光材料を含み、こ

50

ここで前記電荷輸送ドーパント材料および前記リン光発光ドーパント材料が前記ワイドギャップ宿主材料中にドーパントとして存在する、前記アノード層上の発光層；および前記発光層上のカソード層；を含み、

ここで前記電荷輸送ドーパント材料が電子輸送材料を含み、且つ前記リン光発光ドーパント材料が正孔輸送材料を含む、有機発光素子。

【請求項 47】

前記ワイドギャップ宿主材料の最低三重項状態エネルギーレベルおよび前記電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルがそれぞれ前記リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項 46 記載の素子。

【請求項 48】

前記ワイドギャップ宿主材料の最低三重項状態エネルギーレベルが、前記電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項 47 記載の素子。

【請求項 49】

前記ワイドギャップ宿主材料が少なくとも約 3.5 eV のエネルギーギャップを HOMO および LUMO エネルギーレベルの間に有する、請求項 48 記載の素子。

【請求項 50】

前記ワイドギャップ宿主材料が少なくとも約 3.5 eV のエネルギーギャップを HOMO および LUMO エネルギーレベルの間に有する、請求項 46 記載の素子。

【請求項 51】

前記発光層が可視スペクトルの青色領域に放射を発する、請求項 46 記載の素子。

【請求項 52】

前記放射が約 430 nm から約 470 nm の範囲に発光ピークを有する、請求項 51 記載の素子。

【請求項 53】

前記発光ピークが約 450 nm である、請求項 52 記載の素子。

【請求項 54】

前記ワイドギャップ宿主材料が、ジフェニレン、置換ジフェニレン、トリフェニレン、置換トリフェニレン、ナフタレン、置換ナフタレン、テトラフェニルプタジエンおよび置換テトラフェニルプタジエンからなる群より選択される材料を含む、請求項 47 記載の素子。

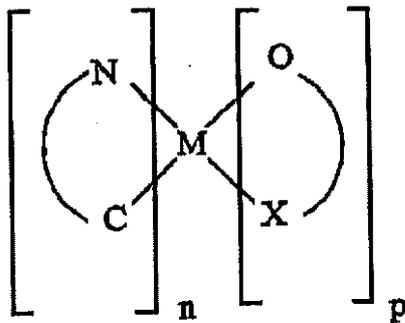
【請求項 55】

前記電荷輸送ドーパント材料が、オキシジアゾール、トライゾールおよびシクロオクタテトラエンからなる群より選択される材料を含む、請求項 47 記載の素子。

【請求項 56】

前記リン光発光ドーパント材料が、下記の一般式：

【化 7】



(式中、M は重遷移金属；C N はシクロ金属化配位子；O X は配位した配位子であり、X は酸素、窒素および硫黄からなる群より選択され；n は 1 または 2 に等しく、p は 0 または 1 に等しい。)

の構造を有する化合物を含む、請求項 47 記載の素子。

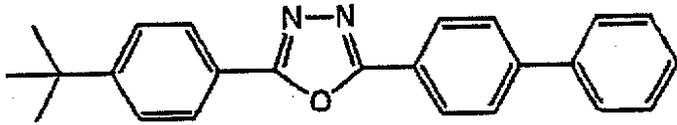
【請求項 57】

Mが、イリジウム、プラチナ、オスミウムおよび金からなる群より選択される、請求項56記載の素子。

【請求項 58】

前記ワイドギャップホスト材料がポリスチレンを含み、前記電荷輸送ドーパント材料が下記の化学構造

【化 8】

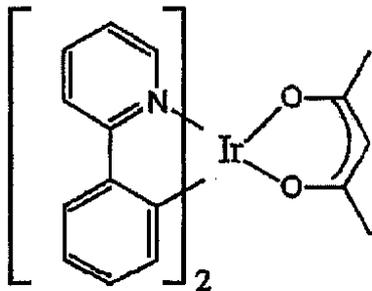


10

を有する(4-ピフェニル)(4-tert-ブチルフェニル)オキシジアゾール(PDB)を含み、

そして前記リン光発光ドーパント材料が下記の化学構造

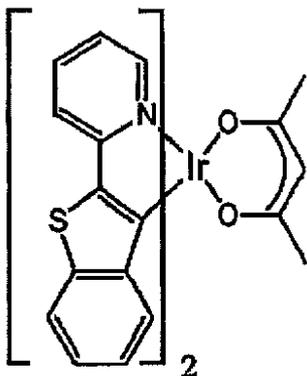
【化 9】



20

を有するビス(フェニルピリジン)イリジウムアセチルアセトナート(PPIr)、および下記の化学構造

【化 10】



30

を有するビス(2-フェニルベンゾチアゾール)イリジウムアセチルアセトナート(BT Ir)を含む、請求項47記載の素子。

40

【請求項 59】

前記アノード層および前記発光層の間に正孔注入層をさらに含む、請求項46記載の素子。

【請求項 60】

前記発光層および前記カソード層の間に電子注入層をさらに含む、請求項59記載の素子。

【請求項 61】

前記発光層および前記電子注入層の間に正孔阻止層をさらに含む、請求項60記載の素子。

50

【請求項 6 2】

前記発光層および前記電子注入層の間に励起子阻止層をさらに含む、請求項 6 0 記載の素子。

【請求項 6 3】

前記発光層および前記正孔注入層の間に電子阻止層をさらに含む、請求項 6 1 記載の素子。

【請求項 6 4】

前記発光層および前記正孔注入層の間に励起子阻止層をさらに含む、請求項 6 1 記載の素子。

【請求項 6 5】

前記発光層および前記カソード層の間に電子注入層をさらに含む、請求項 4 6 記載の素子。

【請求項 6 6】

前記ワイドギャップホスト材料が、前記アノード層に接触しているワイドギャップホスト材料の非ドープ領域を含んでいる電子注入領域と、前記カソード層に接触しているワイドギャップホスト材料の非ドープ領域を含んでいる正孔注入領域とを含む、請求項 4 6 記載の素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

〔本発明の分野〕

本発明は、例えば青色を発光できる高効率の有機発光素子（OLED）に関し、特に不活性ホスト物質中にドープしたリン光発光ドーパント材料および電荷輸送ドーパント材料を含んでいる発光層を有する OLED に関する。

【背景技術】

【0002】

〔本発明の背景〕

電流で励起されると発光する薄膜材料を利用する有機発光素子（OLED）は平面パネルディスプレイ技術のますます一般的な様式になることが期待されている。これは、OLED は携帯電話、携帯情報端末（PDA）、コンピュータディスプレイ、自動車内の情報ディスプレイ、テレビジョンモニター類と共に光源または一般的照明用光源を含んだ幅広い種類の潜在的応用性を有しているからである。それらの鮮明な色彩、広い視野角、フルモーションビデオの適応可能性、広範囲温度、薄型と適合性あるフォームファクター、低電力要求性および低価格での製造工程に関する可能性により、OLED は最近年に 400 億ドルまで成長するまでになった電子ディスプレイ市場にて優位を占めるブラウン管（CRT）および液晶ディスプレイ（LCD）の将来的後継技術として考えられている。それらの高照明効率により、エレクトロホスホレスセンスの OLED はある種の型の応用面では白熱灯および多分蛍光灯に取って代わる可能性を有していると思われる。

【0003】

リン光の上手な利用は、有機エレクトロルミネッセンス素子に関して大きな期待が持たれている。例えば、リン光の利点は一重項または三重項励起状態のいずれとして形成した全ての励起子（ELにおいて正孔と電子の再結合で形成した）がルミネッセンスに関与することである。これは有機分子の最低一重項状態は典型的に最低三重項状態より僅かに高いエネルギーであるからである。これは、典型的リン光発光有機金属化合物につき、当該最低一重項励起状態は最低三重項励起状態に速やかに減衰し、そこから当該リン光が生成することを意味する。対照的に、蛍光素子での励起子の少ない割合（約 25%）だけが一重項励起状態から得られる蛍光性ルミネッセンスを生成することができると信じられている。有機分子の最低三重項励起状態で生じる蛍光性素子中の残りの励起子は、典型的に蛍光を生じるエネルギー的に不利なより高い一重項励起状態に転換することができない。そこで、このエネルギーは素子の加熱に役立つに過ぎない無放射減衰プロセスに消費される

10

20

30

40

50

ことになる。

【0004】

結局、リン光発光材料が高効率OLEDにおける発光材料として使用できるという発見以来、更により効率の良いエレクトロホスホレスセンスの材料およびそのような材料を含むOLED構造を見出すのに現在大きな関心が向けられている。

【0005】

リン光発光ドーパントであるfac体トリス(2-フェニルピリジン)イリジウム(Ir(pppy)₃)を用いた高効率有機発光素子類(OLED)が数種の異なる伝導性ホスト材料を使用して提起された。M. A. Baldoら, Nature, vol. 395, 151 (1998); D. F. O'Brienら, Appl. Phys. Lett., vol. 74, 442 (1999); M. A. Baldoら, Appl. Phys. Lett., vol. 75, 4 (1999); T. Tsutsuiら, Japanese J. Appl. Phys., Part 2, vol. 38, L1502 (1999); C. Adachiら, Appl. Phys. Lett., vol. 77, 904 (2000); M. J. Yangら, Japanese J. Appl. Phys., Part 2, vol. 39, L828 (2000); および C. L. Leeら, Appl. Phys. Lett., vol. 77, 2280 (2000)。緑色発光Ir(pppy)₃の金属配位子電荷移動状態の三重項レベルは2.5 eVと3.0 eVの間であるので、4, 4'-N, N'-ジカルバゾール-ピフェニル(CBP)のような約400 nmのピーク波長を有する深青色蛍光発色団が三重項エネルギー転移および励起子閉じ込め媒質としての候補でありうる。CBP中に6%~10%のIr(pppy)₃を用いると効率的Ir(pppy)₃リン光を導く。当該ドーパントおよび当該ホストの間のエネルギー共鳴に加えて、当該ホスト層での電荷キャリア注入および輸送の調節が、発光する励起子の効果的生成の達成に必要と考えられている。高エレクトロホスホレスセンス効率が、CBP中にドーブしたIr(pppy)₃と共に2, 9-ジメチル-4, 7-ジフェニル-フェナントロリン(BCP)電子輸送および励起子阻止層を用いることで実現された。M. A. Baldoら, Appl. Phys. Lett., vol. 75, 4 (1999)。その素子では、当該ドーブしたCBP層は正孔を容易に輸送することが見出された。

【0006】

リン光発光OLEDに用いられる最近の材料は、内部量子効率が100%に近い素子を形成するように使用することができる。しかしながら、これらの従来素子類において正孔輸送、再結合および阻止の層を形成するのに用いられる材料は可視スペクトルの緑部分における発光に相当する三重項エネルギーを有す傾向がある。青色リン光を生じることができるドーパントを現時点の材料および構造を利用したそのような素子に挿入すれば、発光があったとしてもマトリックス材料から非効率的に出るのみで、当該リン光発光ドーパント材料からではない。従って、可視電磁気スペクトルの青色領域に発光できる効率的OLED構造を発見することは大きな関心事である。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】M. A. Baldoら, Nature, vol. 395, 151 (1998)

【非特許文献2】D. F. O'Brienら, Appl. Phys. Lett., vol. 74, 442 (1999)

【非特許文献3】M. A. Baldoら, Appl. Phys. Lett., vol. 75, 4 (1999)

【非特許文献4】T. Tsutsuiら, Japanese J. Appl. Phys., Part 2, vol. 38, L1502 (1999)

【非特許文献5】C. Adachiら, Appl. Phys. Lett., vol. 77, 904 (2000)

10

20

30

40

50

【非特許文献6】M. J. Yangら, Japanese J. Appl. Phys., Part 2, vol. 39, L828 (2000)

【非特許文献7】C. L. Leeら, Appl. Phys. Lett., vol. 77, 2280 (2000)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

〔本発明の概要〕

本発明は効率的に発光するOLED素子、特に好ましくは可視スペクトルの青色範囲に発光するOLED素子、及びそのような素子類を形成する方法に関する。本発明に従って作成したOLEDには、好ましくは現行の緑色から赤色リン光発光OLEDと同程度の効率レベルをもつ青色リン光OLEDが含まれることが好ましい。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明はOLED、およびそれを調製する方法を目的としており、発光層は電荷輸送ドーパント材料およびリン光発光ドーパント材料の両方をドープしたワイドギャップホスト材料を含んでいる。電荷輸送ドーパント材料は正孔または電子を輸送でき、リン光発光ドーパント材料は電荷輸送ドーパント材料で運ばれる電荷と逆の電荷を輸送することができる。各ドーパント材料はかくして逆の極性である電荷を各々輸送する。電荷輸送リン光発光材料は同じようにリン光性放射を発光する機能を果たす。かくして、用語“電荷輸送ドーパント材料”は本明細書では電荷を単に輸送する材料をいうのに当て、一方、リン光発光ドーパント材料は本明細書では相互入れ替え可能で単なる“リン光発光ドーパント材料”、またはその代わりに“電荷輸送リン光発光ドーパント材料”と称してもよい。

20

【0010】

例えば、1つの実施態様では電荷輸送ドーパント材料は正孔輸送材料で、リン光発光ドーパント材料は電子輸送材料である。リン光発光ドーパント材料はこれに加え、電圧をOLEDに横断してかけるとリン光放射を生じる発光材料である。他の実施態様では、電荷輸送ドーパント材料は電子輸送材料で、リン光発光ドーパント材料は発光材料であると共に、正孔輸送材料である。

【0011】

各実施態様では、ワイドギャップホスト材料の最低三重項状態エネルギーレベルおよび電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルは、それぞれ、リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルより高い。好ましくは、ワイドギャップホスト材料の最低三重項状態エネルギーレベルも同じように、電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い。典型的にはリン光放射を生じることができるそれらの材料に関しては、放射はその材料の最低三重項状態エネルギーレベルのみから殆ど独占的に発光する。

30

【0012】

本発明は更に発光層、および発光層を調製する方法を目的とし、発光層は、それぞれがホスト材料中に分散した電荷輸送ドーパント材料およびリン光発光ドーパント材料を伴うワイドギャップホスト材料を含んでおり、ここで、ワイドギャップホスト材料の最低三重項状態エネルギーレベルおよびドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルはそれぞれ、リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い。この実施態様では、ワイドギャップホスト材料の最低三重項状態エネルギーレベルも同じように電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高いことが好ましい。

40

【0013】

本発明は、効率の良いOLEDに用いることができる材料の選択の方法、特に本明細書で説明するような相対的特性の組合せを有する材料群を選択する方法をさらに目的としている。

【0014】

50

これまでの一般的説明および以下の詳細な説明の両方とも例示的および注釈的なものであり、請求項に記載した発明のさらなる説明を提供することを意図していることを理解されたい。

【0015】

添付した図面は、本発明の更なる理解をもたらす含め、本明細書の構成部分に組み込まれ、本発明のいくつかの態様を図示し、発明の詳細な説明とともに本発明を説明するために役立つ。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】図1は、本発明によるOLED構造の概略の断面図を示す。

10

【図2】図2は、本発明によるOLED構造の二番目の実施態様の概略の断面図を示し、この場合宿主材料は電子注入層を形成している。

【図3】図3は、本発明によるOLED構造の三番目の実施態様の概略の断面図を示し、阻止層を含む。

【図4】図4は、本発明によるOLED構造におけるエネルギーレベルを示す略図である。

【図5】図5は、本発明による別のOLED構造におけるエネルギーレベルを示す略図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

20

〔本発明の実施態様の詳細な説明〕

本発明の実施態様を、図面を参照して説明する。これらの実施態様は本発明の説明的な例を意図し、本発明を制限するものではないことを理解されたい。

【0018】

本発明に従って製造したOLEDには、好ましくは100%に達する内部量子効率を達成できるリン光発光ドーパントが、素子の発光層に分散されて含まれる。これらの素子中にある発光ドーパントは、典型的には例えばイリジウムまたはプラチナのような三重項励起子の効率的放射緩和を誘起する重遷移金属原子を含有する。イリジウムおよびプラチナは高い量子効率をもたらすが、オスmiumまたは金などの他の重金属も使用できる。これらのリン光発光ドーパントはそれゆえ素子の発光層内部にある実質的に全ての励起子を利用することができ、ルミネッセンスを誘起するのに一重項励起のみを用いる素子に比べて相当高い効率となる。

30

【0019】

OLEDからのルミネッセント発光は典型的には蛍光またはリン光によってである。本明細書で用いたように、用語“リン光”は有機分子の三重項励起状態からの発光をいい、用語“蛍光”は有機分子の一重項励起状態からの発光をいう。

【0020】

色素をドーブしたOLEDからのエレクトロルミネッセンスの原因と当初信じられていた機構には、宿主マトリックス中における励起子形成に次いでその宿主からFosterまたはDexterのエネルギー転移プロセスによるドーパントへのエネルギー転移が含まれていた。このプロセスは未だにリン光に基づくOLEDにおいて生じると信じられているが、これらのエレクトロルミネッセンス素子の効率を向上するのを助ける際に重要であると考えられる二番目のプロセスが存在する。リン光発光ドーパントのHOMOエネルギーレベルは、典型的には、それらがそのなかにドーブされているマトリックス材料のHOMOエネルギーレベルよりもエネルギーが高い。このことは、そのドーピングレベルが十分に高い場合には、ドーパントが正孔を捕捉し且つマトリックスを通して正孔を輸送することができることを意味する。最終的結果は、ドーパント自身が正孔-電子再結合の部位として作用することができることである。このことは、励起子がドーパント部位において優先的に形成されることができれば、Fosterおよび/またはDexter型宿主-ドーパントのエネルギー移動プロセスは、不活性な非電荷輸送宿主材

40

50

料においては不必要でありうることを意味している。

【0021】

このタイプの捕捉/再結合プロセスは、本発明の青色リン光発光OLEDの形成に有効に使用でき、なぜなら、そのようなプロセスは、青色リン光発光体よりもエネルギーの高いホストマトリクス中での励起子の形成を必要としないからである（即ち、スペクトルの紫色から紫外領域における非常に高いエネルギーレベルで）。簡単な構造を用いることができ、そこでは素子の発光領域は、正孔を輸送できるリン光発光ドーパントと電子輸送体とでドーパされたワイドギャップホストマトリクスである。あるいは、リン光発光体が電子を輸送でき、発光層は正孔輸送体で共ドーパされる。本発明はそのような簡単な構造を有するOLEDを目的としている。

10

【0022】

したがって、本発明に特有な特徴の1つは、従来のOLED中の正孔輸送層または電子輸送層のために、唯一の成分でない場合には主要な成分として典型的に用いられる電荷輸送材料が、本発明では不活性マトリクス中の電荷輸送ドーパント材料として使用できることである。本発明の追加の特徴は、その電荷輸送ドーパント材料によって輸送される電荷と反対の電荷を輸送できる発光材料の使用であり、その発光材料は電荷輸送ドーパント材料と共にホストマトリクス中に分散されている。

【0023】

そのような電荷輸送性発光材料の選択によって、不活性マトリクス中の発光材料上で直接的に電子/正孔再結合が起こることを可能にすると考えられる。更に、本明細書で説明した材料の組合せを選択することによって、エレクトロホスホレスセンス放射を生み出すのに典型的に利用できるものよりもずっと高いエネルギーに発光性三重項状態のエネルギーレベルを有する材料から、エレクトルミネッセンスルミネッセンス放射をより容易に得ることができると考えられる。典型的には、先行技術のOLEDにおいては、これらの高い三重項状態エネルギーレベルから他のOLED材料に存在するさらに低い三重項状態エネルギーレベルへと起こる傾向があるエネルギー移動が、より高いエネルギー三重項状態から得られる如何なる放射発光も実質的に防止することが予測される。それ故、本発明のエレクトロホスホレスセンス素子は、可視スペクトルのより高いエネルギー領域、特に可視スペクトルの青色領域に好ましく放射を生み出すことができる。

20

【0024】

前述の電荷輸送ドーパント材料および前述の電荷輸送リン光発光ドーパント材料と組合せて不活性ホストマトリクスを用いることにより、そのような材料の組合せがOLED材料のかなり広い範囲からの選択を可能にすることがさらに考えられる。このことは、順次、正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、電子注入層、およびその正孔輸送層または電子輸送層のどちらか中に存在するリン光発光ドーパント材料を有しうる典型的OLEDとは対照的である。電子輸送層または更に別の電子輸送層を、単に、正孔または励起子阻止層として機能させるために用いることもできる。これらの層の各々において用いる材料は、素子効率を低下させる傾向がある無放射のエネルギー移動経路を制限するように組み合わせられて選択しなければならない。

30

【0025】

本発明は、放射なしの損失経路を抑えるように整合する必要がある材料を極度に少ない数含有できるOLEDを目的としている。好ましくは、本発明の好ましい実施態様において使用される必要のある有機OLED材料は3種類だけで、不活性ホスト材料、電荷輸送ドーパント材料および電荷輸送リン光発光ドーパント材料である。更に、発光層が不活性ホスト材料を含み、その不活性ホスト材料はその材料のHOMO及びLUMO準位の間に大きなエネルギーギャップを有するので、その不活性マトリクスは正孔輸送又は電子輸送に関与せず、なぜなら、OLED中で生じる正孔及び電子はそれぞれそのホスト材料のHOMO又はLUMO準位を通して輸送されるための十分なエネルギーをもたないからである。加えて、これらの不活性ホスト材料はHOMOおよびLUMOレベルの間に広いエネルギーギャップを有するので、そのような材料は、リン光発光材料の最低三重項状態レベ

40

50

ルより高く、且つ場合によっては電荷輸送ドーパント材料の最低三重項状態レベルよりも高い最低三重項励起状態レベルを有するように容易に選択できる。

【0026】

このことは、それらの発光三重項状態エネルギーレベルの相対位置に基づいて且つそれに加えて不活性ホストマトリックスを通過しての電荷輸送におけるそれらの効率に基づいて電荷輸送ドーパント材料を選択することによって、ホスト材料が正孔または電子輸送に関与できる場合に可能であるよりもさらに広い範囲のOLED材料から当業者は選択をすることができると考えられることを意味する。

【0027】

同様に、上述の相対的三重項状態エネルギーレベルを有する電荷輸送発光材料を選択することによって、かなり広い範囲の電荷輸送発光材料から当業者が選択できると考えられ、これはその電荷輸送発光材料と適切に適合させなければならない材料がOLED中に遙かにわずかしが存在しないからである。この場合、限られた数のエネルギー緩和経路を通過してしかエネルギー移動がされないことを可能にし、それによって高い電界リン光発光効率を達成する電界輸送発光材料を選択することができる。

10

【0028】

本発明の好ましい態様の1つでは、より高いエネルギーである、可視スペクトルの青色領域に発光ピークをもつ放射を生じるように発光材料を選択してもよい。これは約430nmから約470nmの範囲、より好ましくは約450nmの発光ピークをもつ範囲に相当する。本発明の材料および方法は、その他のより低いエネルギー領域、例えば、可視スペクトルの緑色または赤色領域に放射を生じるように用いてもよく、これはなお本発明の精神および範囲内にあることが理解されるべきである。

20

【0029】

本発明の好ましい態様は、電荷輸送ドーパント材料および電荷輸送リン光発光ドーパント材料をドーブしたホスト材料のみを含み、1つの界面はアノードと直接接触して反対の界面はカソードに直接接触した単一の発光性有機層、を有するOLEDを目的としている。しかしながら、本発明には、例えば正孔注入層、電子注入層および正孔阻止層および/または励起子阻止層を含めた追加の層が存在する態様も含まれる。それ故、これらの追加の層を含まないのが好ましいが、これらの追加の層の1つ以上と組合せて、単一の発光性有機層を用いてもよいと考えられる。

30

【0030】

本発明にしたがうOLED構造の態様を、図1を参照して説明する。この素子は、例えば基材10の上にさまざまな層を真空蒸着法または有機気相蒸着法(OVPD)により形成させることによって製造できる。真空蒸着は典型的には約 10^{-1} から 10^{-5} トール(torr)の間の高真空が必要である。OVPDはより弱い真空、例えば約 10^{-5} から50 トールの間が必要である。その他の製造法も素子を形成するのに同様に使用できる。例えば、重合体層はスピンコーティング法で形成できる。

【0031】

基材10を最初に形成し、その上に正の電源(positive power supply)に接続されるアノード層60を形成する。アノード60に隣接して正孔注入層50を場合により形成させてもよい。例えば、正孔層50はアノード60の上に形成させた被膜であることができる。ワイドギャップホスト材料層40は、任意選択による正孔注入層50の上に、従来の製造法を用いて形成させる。したがって、ワイドギャップホスト材料層40は、電荷輸送ドーパント材料およびリン光発光ドーパント材料を含有するドーブ化層を含むOLED発光領域を画定する。電子注入層30を任意選択で次に形成してもよく、次いで負の電源(negative power supply)に接続される従来のカソード層20を形成する。アノード層60及びカソード層20の一方または両方は、素子が発した電磁気放射を通すことができる。

40

【0032】

1つの態様では、ワイドギャップホスト材料層40(マトリックス材料とも称する)が、その素子に使用される全てのドーパント類のエネルギーレベルより充分高い三重項状態

50

エネルギーレベルを有する。ワイドギャップホスト材料層 40 は、不活性であり、即ちこれは好ましくは O L E D の構造内で電荷を輸送しないことが好ましい。従って、電荷はドーパントのみによって輸送されることが好ましく、ワイドギャップホスト材料層 40 によっては輸送されないことが好ましい。

【0033】

図 2 に示した異なる態様では、本発明による O L E D 構造は、異なる材料（複数）の分離した層ではなくて不活性ホスト材料の一部から形成された電子および正孔の注入領域を含む。領域 90 は、ワイドギャップ材料層 40 の非ドーブ部分によって形成された電子注入接点である。領域 95 はワイドギャップ材料層 40 の非ドーブ部分によって同様に形成された正孔注入接点である。これらの構造は、電荷キャリア類または励起子が素子の活性領域外に漏出すること並びに電極および有機材料層の間の界面にて消光することを防止するために用いられる。図 5 は、この態様と関連するエネルギーレベルを示す。

10

【0034】

任意選択による非ドーブ領域 90, 95 は正孔および/または励起子の阻止層として機能するのに充分厚く、必要であれば電子の有効な注入を可能にするために十分に薄い層でありえる。

【0035】

本発明による O L E D の別の態様では、発光層および電極類の間に別個の阻止層が使用され、そこでは阻止層は、不活性の非電荷輸送材料ではなく電荷輸送材料を含む。図 3 に示すように、一番目および二番目の阻止層 100, 110 は、ドーブした層および電極類の間に、ワイドギャップホスト材料層 40 に隣接して形成される。これらの層を形成する材料は、キャリア再結合および発光を、ワイドギャップホスト材料層 40 のドーブした層に閉じ込めるように選択する。阻止層 100, 110 は、例えば、図 2 に示した注入領域 90, 95 のような、ワイドギャップホスト材料層 40 の非ドーブ領域が充分な閉じ込めおよびキャリア注入をもたらさないときに使用される。いくつかの場合では、1つの阻止層のみ、例えば、発光層およびカソード層の間の正孔および/または励起子阻止層、を用いてもよい。

20

【0036】

図 4 は、本発明にしたがい且つ電子注入層 75 と正孔注入層 50 を含む O L E D 素子を形成する材料のエネルギーレベルを示す。ワイドギャップホスト材料層 40 中に分散しているリン光発光ドーパント材料が電子輸送体である場合、 $T_{HT} > T_{ET}$ および $T_W > T_{ET}$ であり、ここで T は三重項エネルギーを示し、下付き添字はワイドギャップ材料 (W)、電子輸送体 (ET) および正孔輸送体 (HT) を示す。リン光発光ドーパント材料が正孔輸送体である場合は、 $T_{ET} > T_{HT}$ および $T_W > T_{HT}$ である。

30

【0037】

これらの関係から、ホスト材料層 40 の三重項状態エネルギーレベルは、発光ドーパントの三重項状態エネルギーレベルより大きいことになるが、非発光ドーパントの三重項エネルギーレベルより大きい必要はない。不活性ホスト材料層 40 の H O M O - L U M O エネルギーギャップは、三重項レベルとは対照的に、正孔および電子の輸送体のエネルギーギャップより大きい。好ましくは、不活性ホスト材料の H O M O レベルは、いかなるドーパント材料並びにその不活性ホスト材料と直接物理的に接触しているいかなる隣接層の H O M O レベルよりも低い。加えて、不活性ホスト材料の L U M O レベルは、いかなるドーパント材料並びにその不活性ホスト材料に直接物理的に接触しているいかなる隣接層の L U M O レベルよりも高い。当業者であれば理解するように、別の材料と比較してより低い H O M O レベルを有する材料は、その別の材料のイオン化電位（イオン化ポテンシャル、 IP ）と比較して、より高いイオン化電位を有する。同じように、また、当業者であれば理解するように、別の材料と比較してより高い L U M O レベルを有する材料は、その別の材料の電子親和力と比較してより低い電子親和力を有する材料である。

40

【0038】

上記の必要条件および好ましさを本発明にしたがって用いる材料に適用する場合、電子

50

および正孔輸送ドーパント類のレベルに対しての不活性ホスト材料層40のHOMOおよびLUMOレベルに対する制約条件は、HOMOおよびLUMOエネルギーレベルの間にワイドエネルギーギャップを有する不活性ホスト材料層に典型的には帰結する。ホスト材料層40が不活性であることを確実にするには、ホスト材料は、少なくとも約3.5 eVのエネルギーギャップ、およびリン光発光ドーブ層を形成する両ドーパント材料のエネルギーレベルよりも十分に上の三重項エネルギーレベルを有するように選択してよい。このことは、リン光発光ドーブ層が、青色光を発するリン光体を含むときに特に重要である。

【0039】

この3.5 eVエネルギーの必要条件は、有効な不活性ホストとして機能する最大の見込みを有するホスト材料を選択する際に便利に利用できる一方、本明細書で説明したその他の制約事項を満たすことを条件として、わずかに小さいエネルギーギャップをもつホスト材料の使用を可能とし、それでもなお高効率の青色リン光発光をもたらすOLED材料の特定の組合せもありうるということが理解されなければならない。それ故、用語“ワイドギャップ”材料とは、少なくとも3.5 eVのHOMO-LUMOエネルギーギャップを有する材料を典型的にはいう一方で、本明細書で使用するように、用語“ワイドギャップ”材料とは、OLEDにおいてホストマトリックスとして使用した場合に、電荷輸送材料として機能しない充分大きなHOMO-LUMOエネルギーギャップを有する全ての材料をいうことができる。いわゆる非電荷輸送材料(non-charge carrying material)とは、少なくとも僅かな程度の電荷は輸送することができるので、非電荷輸送材料は、本明細書では、電荷輸送ドーパントの何れよりも少なくとも10分の1より少ない電流しか輸送しない材料として特徴づけることができる。

10

20

【0040】

本発明によれば、ワイドギャップホスト材料層40は、2種の異なる材料、電荷輸送ドーパント材料、および電荷輸送リン光発光ドーパント材料でドーブされ、それらはそのホスト材料内に分散されて発光層を形成する。その2種のドーパント材料は、典型的にはそのホストマトリックス全体に均一に分散され、それぞれの濃度は、望ましい結果を生じるように独立に選択される。

【0041】

電荷輸送ドーパント材料は、例えば、正孔輸送材料であることができ、その場合、リン光発光ドーパント材料はまた電子を輸送できる。別の態様では、その役割は入れ替わり、電荷輸送ドーパント材料は電子を輸送する一方、リン光発光ドーパント材料は正孔を輸送する。

30

【0042】

1つの態様では、ワイドギャップホスト材料層40は、例えば、ジフェニレン類、トリフェニレン類、ナフタレン類、テトラフェニルブタジエン類(それぞれの場合に、置換体又は非置換体であってよい)、並びにその他の有機材料類及び金属有機材料類から形成できる。リン光発光ドーパント材料が正孔輸送体である別の態様の例では、電荷輸送ドーパント材料は、オキシジアゾール類、トライゾール類、シクロオクタテトラエン類、およびその他のワイドギャップ電子輸送体類などの電子輸送材料を含むことができる。電子輸送がリン光発光ドーパント材料によって行われる場合、電荷輸送ドーパント材料は、トリアリールアミン類、金属配位錯体、供与体置換ナフタレン類、および適した高エネルギーHOMOレベルをもつその他のワイドギャップ材料などの正孔輸送材料を含むことができる。

40

【0043】

電荷輸送ドーパント材料は、リン光発光ドーパント材料のものよりも高い三重項エネルギーレベルを有しなければならない。この点が、ワイドギャップホスト材料層40はリン光発光ドーパント材料のものよりも高い三重項エネルギーレベルを持たねばならないという、上で説明した必要条件に付け加わる。電荷輸送ドーパント材料として使用されるものと同じ材料を、OLEDの構造中に含むことができる正孔および/または励起子阻止層と

50

しても使用することができる。

【0044】

一般に、これらの材料は、可視スペクトルのUV～青色領域に相当し、それによってリン光発光ドーパントのより低い三重項状態レベルから青色の発光を生じるOLEDをもたらす三重項エネルギーレベルを持たねばならない。

【0045】

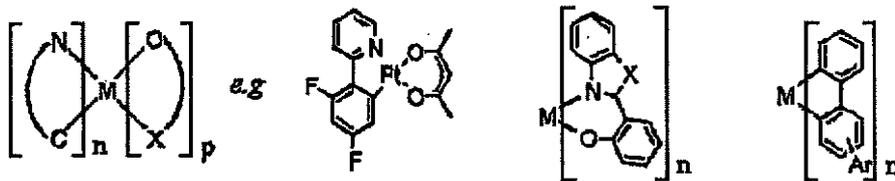
リン光発光ドーパント材料は、望ましい波長範囲に電磁的放射を発するリン光体を提供すること、およびまた、電荷輸送材料を提供することの二重の機能を有する。上で説明したように、電荷輸送ドーパント材料が電子輸送体であれば、リン光発光ドーパント材料は正孔輸送体でなければならず、逆の場合も同様である。

10

【0046】

例えば、リン光発光ドーパント材料は重金属原子を含むことができ、以下に示す構造を有することができる。

【化1】



20

【0047】

図の中で、Mは重遷移金属を表し、C Nはシクロ金属化配位子およびO Xは配位する配位子を表し、そのXはO, NまたはSであることができ、n = 1または2、そしてp = 0または1である。これらの材料は、金属から配位子への電荷移動のエネルギー及び配位子内(3 - *)励起状態のエネルギーを調節することができるその能力によって、ドーピングリン光体を形成するために選択できる。一例では、前述の化合物を形成する重金属類は、好ましくはIrまたはPt原子である。

【実施例】

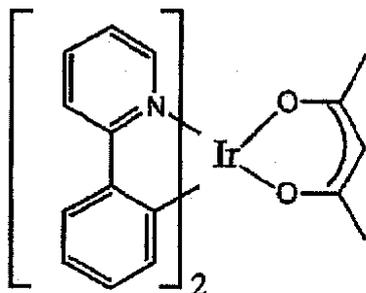
【0048】

30

〔本発明の実施例〕

OLEDを作製するために当技術分野で公知の材料および方法を用い、1つの例示態様においては、本発明によるOLEDを、不活性ホスト材料としてポリスチレンの薄膜を用いて製造した。ドーパント層は、不活性ホスト材料を15%の正孔輸送性リン光発光ドーパントおよび40%の電子輸送性オキシジアゾールでドーピングして形成した。より具体的には、リン光発光ドーパント類は以下の化学構造を有するビス(フェニルピリジン)イリジウムアセチルアセトナート(PPIr)：

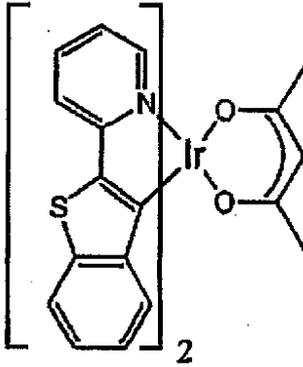
【化2】



40

および以下の化学構造を有するビス(2-フェニルベンゾチアゾール)イリジウムアセチルアセトナート(BTIr)：

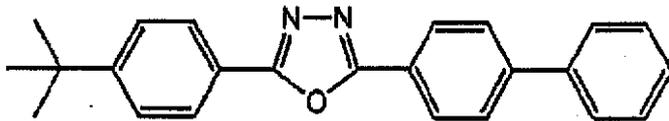
【化3】



10

であり、オキシジアゾールは以下の化学構造を有する（4 - ピフェニル）（4 - tert-ブチルフェニル）オキシジアゾール（PDB）：

【化4】



20

であった。この素子は、約7と9ボルトの間のターンオン電圧をかけるとドーパントのみから発光した。ポリスチレンは、ドーパントが担持されている不活性マトリックスとして働いた。この素子は可視スペクトルの緑色領域の光を生じるが、これと同じ構成（the same configuration）において異なるリン光体ドーパントを用いて、スペクトルの青色領域の光を生じさせることができる。

【0049】

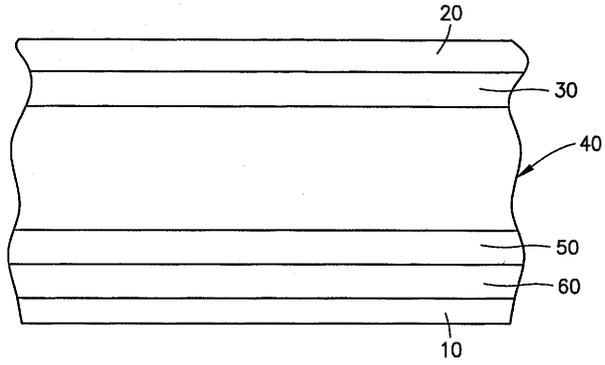
本発明によるOLEDの構築に追加の層が使用できることに注意すべきである。これらの追加の層は当技術分野では公知であり、したがって詳細に議論はしない。

【0050】

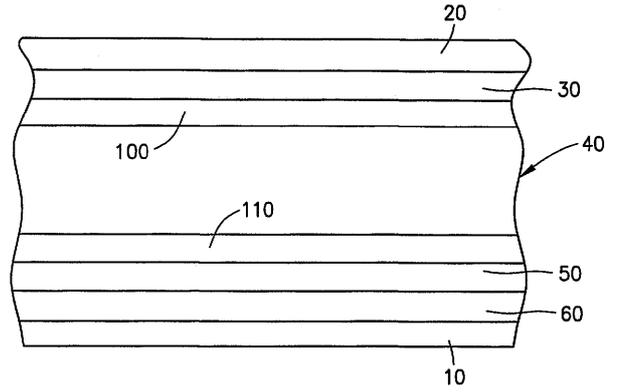
当業者には、本発明の精神または範囲から離れることなく、本発明の構成および方法論において種々の修正および変更ができることが明らかである。それ故、添付した特許請求の範囲およびそれと均等の範囲内にあることを条件として、本発明は本発明の修正及び変更 に及ぶことを意図している。

30

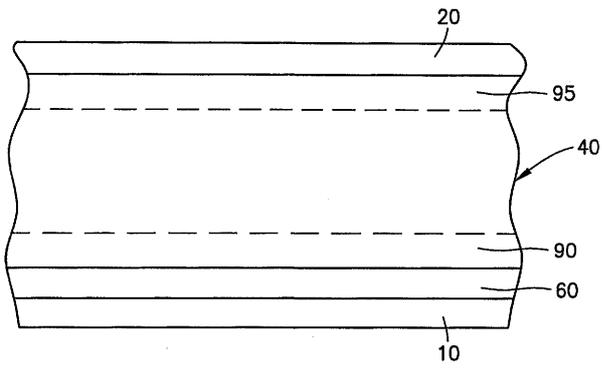
【 図 1 】



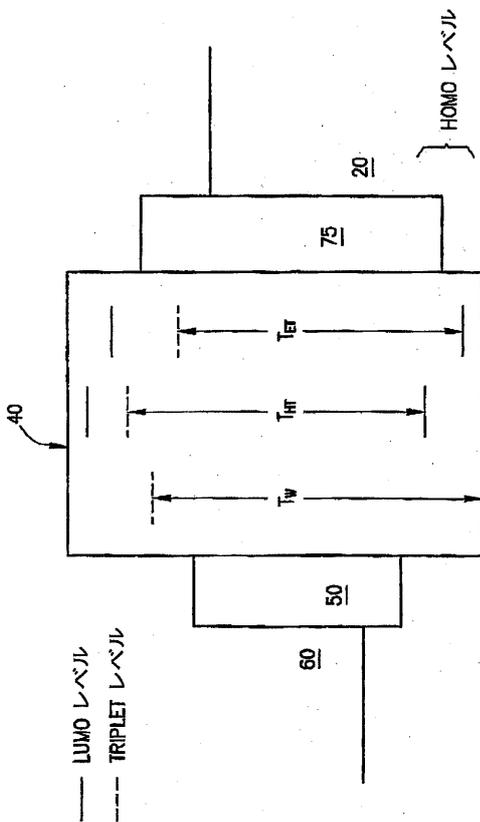
【 図 3 】



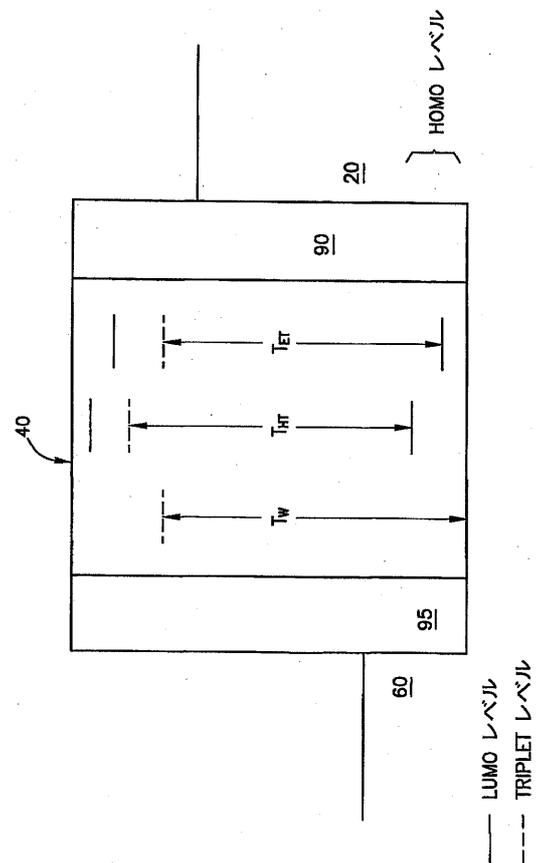
【 図 2 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【手続補正書】

【提出日】平成22年1月12日(2010.1.12)

【手続補正1】

【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】

アノード層；

非電荷輸送材料、電荷輸送ドーパント材料としての正孔輸送材料、およびリン光発光ドーパント材料を含む、前記アノード層上の発光層；および

前記発光層上のカソード層；を含む有機発光素子であって、

前記非電荷輸送材料のHOMOレベルが前記正孔輸送材料のHOMOレベルより低く、かつ前記非電荷輸送材料のLUMOレベルが前記リン光発光ドーパント材料のLUMOレベルよりも高い、有機発光素子。

【請求項2】

前記非電荷輸送材料の最低三重項状態エネルギーレベルおよび前記電荷輸送ドーパント材料として正孔輸送材料の最低三重項状態エネルギーレベルがそれぞれ、各前記リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項1に記載の有機発光素子。

【請求項3】

前記非電荷輸送材料の最低三重項状態エネルギーレベルが、前記電荷輸送ドーパント材料としての正孔輸送材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項2に記載の有機発光素子。

【請求項4】

前記非電荷輸送材料が、少なくとも3.5 eVのエネルギーギャップをHOMOおよびLUMOのエネルギーレベル間に有する、請求項1～3のいずれか一項に記載の有機発光素子。

【請求項5】

前記非電荷輸送材料が、ジフェニレン、置換ジフェニレン、トリフェニレン、置換トリフェニレン、ナフタレン、置換ナフタレン、テトラフェニルプタジエンおよび置換テトラフェニルプタジエンからなる群より選択した材料を含む、請求項1～4のいずれか一項に記載の有機発光素子。

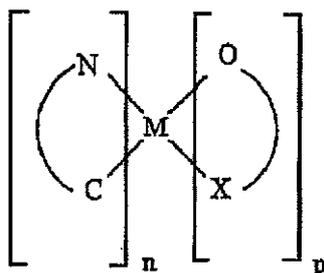
【請求項6】

前記電荷輸送ドーパント材料としての正孔輸送材料が、トリアリールアミン、金属配位錯体および供与体置換ナフタレンからなる群より選択した材料を含む、請求項1～5のいずれか一項に記載の有機発光素子。

【請求項7】

前記リン光発光ドーパント材料が、以下の一般式：

【化1】



(式中Mは重遷移金属；C Nはシクロ金属化配位子；O Xは配位した配位子で、Xは酸素、窒素および硫黄からなる群より選択され；nは1または2に等しく、pは0または1に等しい。)の構造を有する化合物を含む、請求項1～6のいずれか一項に記載の有機発光素子。

【請求項8】

Mが、イリジウム、プラチナ、オスミウムおよび金からなる群より選択される、請求項7に記載の有機発光素子。

【請求項9】

前記発光層が、可視スペクトルの青色領域において放射を発する、請求項1～8のいずれか一項に記載の有機発光素子。

【請求項10】

アノード層；

非電荷輸送材料、電荷輸送ドーパント材料としての電子輸送材料、およびリン光発光ドーパント材料を含む、前記アノード層上の発光層；および前記発光層上のカソード層；を含む有機発光素子であって、前記非電荷輸送材料のHOMOレベルが前記リン光発光ドーパント材料のHOMOレベルよりも低く、かつ前記非電荷輸送材料のLUMOレベルが前記電子輸送材料のLUMOレベルよりも高い、有機発光素子。

【請求項11】

前記非電荷輸送材料の最低三重項状態エネルギーレベルおよび前記電荷輸送ドーパント材料として電子輸送材料の最低三重項状態エネルギーレベルがそれぞれ前記リン光発光ドーパント材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項10に記載の有機発光素子。

【請求項12】

前記非電荷輸送材料の最低三重項状態エネルギーレベルが、前記電荷輸送ドーパント材料としての電子輸送材料の最低三重項状態エネルギーレベルよりも高い、請求項11に記載の有機発光素子。

【請求項13】

前記非電荷輸送材料が少なくとも3.5 eVのエネルギーギャップをHOMOおよびLUMOのエネルギーレベルの間に有する、請求項11又は12に記載の有機発光素子。

【請求項14】

前記非電荷輸送材料が、ジフェニレン、置換ジフェニレン、トリフェニレン、置換トリフェニレン、ナフタレン、置換ナフタレン、テトラフェニルプタジエンおよび置換テトラフェニルプタジエンからなる群より選択される材料を含む、請求項10～13のいずれか一項に記載の有機発光素子。

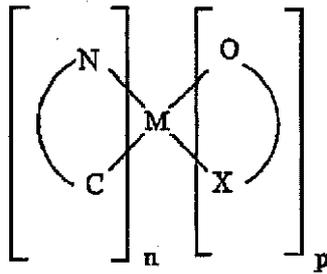
【請求項15】

前記電子輸送材料が、オキシジアゾール、トライゾールおよびシクロオクタテトラエンからなる群より選択される材料を含む、請求項10～14のいずれか一項に記載の有機発光素子。

【請求項16】

前記リン光発光ドーパント材料が、以下の一般式：

【化 2】



(式中、Mは重遷移金属；C Nはシクロ金属化配位子；O Xは配位した配位子であり、Xは酸素、窒素および硫黄からなる群より選択され；nは1または2に等しく、pは0または1に等しい。)を有する化合物を含む、請求項10～15のいずれか一項に記載の有機発光素子。

【請求項17】

Mが、イリジウム、プラチナ、オスミウムおよび金からなる群より選択される、請求項16に記載の有機発光素子。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

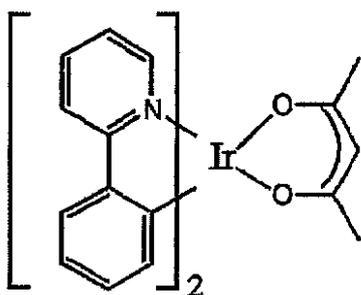
【補正の内容】

【0048】

〔本発明の実施例〕

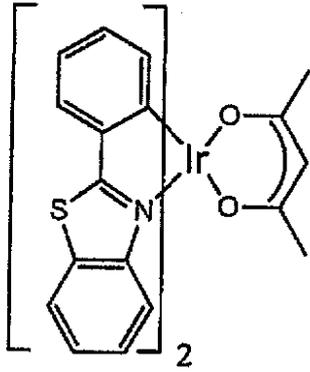
OLEDを作製するために当技術分野で公知の材料および方法を用い、1つの例示態様においては、本発明によるOLEDを、不活性ホスト材料としてポリスチレンの薄膜を用いて製造した。ドーパント層は、不活性ホスト材料を15%の正孔輸送性リン光発光ドーパントおよび40%の電子輸送性オキシジアゾールでドーピングして形成した。より具体的には、リン光発光ドーパント類は以下の化学構造を有するビス(フェニルピリジン)イリジウムアセチルアセトナート(PPIr)：

【化 2】



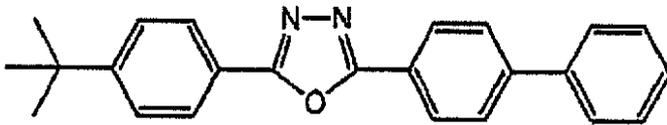
および以下の化学構造を有するビス(2-フェニルベンゾチアゾール)イリジウムアセチルアセトナート(BTIr)：

【化3】



であり、オキシジアゾールは以下の化学構造を有する（4 - ビフェニル）（4 - tert-ブチルフェニル）オキシジアゾール（PDB）：

【化4】



であった。この素子は、約7と9ボルトの間のターンオン電圧をかけるとドーパントのみから発光した。ポリスチレンは、ドーパントが担持されている不活性マトリックスとして働いた。この素子は可視スペクトルの緑色領域の光を生じるが、これと同じ構成（the same configuration）において異なるリン光体ドーパントを用いて、スペクトルの青色領域の光を生じさせることができる。

フロントページの続き

(74)代理人 100108453

弁理士 村山 靖彦

(74)代理人 100064908

弁理士 志賀 正武

(74)代理人 100089037

弁理士 渡邊 隆

(74)代理人 100110364

弁理士 実広 信哉

(72)発明者 トンプソン、マーク、イー

アメリカ合衆国 カリフォルニア、アナハイム、 ベッパー クリーク ウェイ 4 4 4 7

(72)発明者 フォレスト、スティーブン、アール

アメリカ合衆国 ニュージャージー、プリンストン、ハント ドライブ 1 4 8

Fターム(参考) 3K107 AA01 CC04 CC07 DD53 DD59 DD64 DD67 DD68 DD69 DD72

DD75 DD76 FF13 FF19 FF20

【外国語明細書】

MATERIALS AND DEVICES FOR BLUE PHOSPHORESCENCE BASED ORGANIC LIGHT EMITTING DIODES

Field of the Invention

The present invention relates to highly efficient organic light emitting devices (OLEDs) that are, for example, capable of emitting blue light, and in particular to OLEDs that have an emitting layer comprising a phosphorescent dopant material and a charge carrying dopant material that are doped in an inert host material.

Background of the Invention

Organic light emitting devices (OLEDs), which make use of thin film materials that emit light when excited by electric current, are expected to become an increasingly popular form of flat panel display technology. This is because OLEDs have a wide variety of potential applications, including cell phones, personal digital assistants (PDAs), computer displays, informational displays in vehicles, television monitors, as well as light sources for general illumination. Due to their bright colors, wide viewing angle, compatibility with full motion video, broad temperature ranges, thin and conformable form factor, low power requirements and the potential for low cost manufacturing processes, OLEDs are seen as a future replacement technology for cathode ray tubes (CRTs) and liquid crystal displays (LCDs), which currently dominate the growing \$40 billion annual

electronic display market. Due to their high luminous efficiencies, electrophosphorescent OLEDs are seen as having the potential to replace incandescent, and perhaps even fluorescent, lamps for certain types of applications.

Successful utilization of phosphorescence holds enormous promise for organic electroluminescent devices. For example, an advantage of phosphorescence is that all excitons (formed by the recombination of holes and electrons in an EL), which are formed either as a singlet or triplet excited state, may participate in luminescence. This is because the lowest singlet excited state of an organic molecule is typically at a slightly higher energy than the lowest triplet excited state. This means that, for typical phosphorescent organometallic compounds, the lowest singlet excited state may rapidly decay to the lowest triplet excited state from which the phosphorescence is produced. In contrast, only a small percentage (about 25%) of excitons in fluorescent devices are believed to be capable of producing the fluorescent luminescence that is obtained from a singlet excited state. The remaining excitons in a fluorescent device, which are produced in the lowest triplet excited state of an organic molecule, are typically not capable of being converted into the energetically unfavorable higher singlet excited states from which the fluorescence is produced. This energy, thus, becomes lost to radiationless decay processes that only tend to heat-up the device.

As a consequence, since the discovery that phosphorescent materials can be used as the emissive material in highly efficient OLEDs, there is now much interest in finding still more efficient electrophosphorescent materials and OLED structures containing such materials.

High efficiency organic light emitting devices (OLEDs) using the phosphorescent dopant, *fac* tris(2-phenylpyridine)iridium ($\text{Ir}(\text{ppy})_3$), have been demonstrated using several different conducting host materials. M. A. Baldo et al., *Nature*, vol. 395, 151 (1998); D. F. O'Brien et al., *Appl. Phys. Lett.*, vol. 74, 442 (1999); M. A. Baldo et al., *Appl. Phys. Lett.*, vol. 75, 4 (1999); T. Tsutsui et al., *Japanese J. Appl. Phys., Part 2*, vol. 38, L1502 (1999); C. Adachi et al., *Appl. Phys. Lett.*, vol. 77, 904 (2000); M. J. Yang et al., *Japanese J. Appl. Phys., Part 2*, vol. 39, L828 (2000); and C. L. Lee et al., *Appl. Phys. Lett.*, vol. 77, 2280 (2000). Since the triplet level of the metal-ligand charge transfer state of the green-emitting $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ is between 2.5 eV and 3.0 eV, deep blue fluorophores with a peak wavelength at about 400 nm, such as 4,4'-*N,N'*-dicarbazole-biphenyl (CBP), are likely candidates as triplet energy transfer and exciton confining media. Using 6% to 10% $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ in CBP leads to efficient $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ phosphorescence. In addition to the energetic resonance between the dopant and the host, the control of charge carrier injection and transport in the host layers is believed to be necessary for achieving efficient formation of radiative excitons. High electrophosphorescence efficiency has been achieved using $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ doped into CBP along with a 2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-phenanthroline (BCP) electron transport and exciton blocking layer. M. A. Baldo et al., *Appl. Phys. Lett.*, vol. 75,

4 (1999). In that device, the doped CBP layer was found to readily transport holes.

Current materials used in phosphorescent OLEDs may be used to form devices with internal quantum efficiencies of near 100%. However, the materials used to form the hole transporting, recombination and blocking layers in these conventional devices tend to have triplet energies corresponding to emission in the green part of the visible spectrum. If a dopant capable of producing blue phosphorescence is inserted in such a device utilizing the existing materials and structures, the emission will only come, if at all, inefficiently from the matrix material, and not from the phosphorescent dopant material. Accordingly, there is great interest in finding efficient OLED structures that can emit in the blue region of the visible electro-magnetic spectrum.

Summary of the Invention

The present invention relates to OLED devices that efficiently emit light, in particular that preferably emit light in the blue range of the visible spectrum, and to a method for forming such devices. The OLEDs made according to the invention preferably include blue phosphorescent OLEDs with efficiency levels comparable to those of current green to red phosphorescent OLEDs.

The present invention is directed to an OLED, and to methods of preparing the same, in which the emissive layer comprises a wide gap host material doped with both a charge carrying dopant material and a phosphorescent dopant

material. The charge carrying dopant material is capable of transporting a hole or an electron, and the phosphorescent dopant material is capable of transporting a charge opposite to the charge carried by the charge carrying dopant material. Each dopant material, thus, carries charge, though of opposite polarity. The charge carrying phosphorescent material also performs the function of emitting the phosphorescent radiation. Thus, the term "charge carrying dopant material" is reserved herein to refer to the material that only carries charge, whereas the phosphorescent dopant material may be referred to, interchangeably herein, simply as the "phosphorescent dopant material" or, alternatively, as the "charge carrying phosphorescent dopant material".

For example, in one embodiment, the charge carrying dopant material is a hole transporting material and the phosphorescent dopant material is an electron transporting material. The phosphorescent dopant material is, in addition, the emissive material that produces phosphorescent radiation when a voltage is applied across the OLED. In another embodiment, the charge carrying dopant material is an electron transporting material and the phosphorescent dopant material is a hole transporting material, in addition to being the emissive material.

In each embodiment, the lowest triplet state energy level of the wide gap host material and the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material are each higher than the lowest triplet state energy level of the phosphorescent dopant material. Preferably, the lowest triplet state energy level of the wide gap host material is also higher than the lowest triplet state energy

level of the charge carrying dopant material. Typically, for those materials that are capable of producing phosphorescent radiation, such radiation is emitted almost exclusively only from the lowest triplet state energy level of that material.

The present invention is further directed to the emissive layer, and methods of preparing the same, comprising the wide gap host material with the charge carrying dopant material and the phosphorescent dopant material that are each dispersed in the host material, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material and the lowest triplet state energy level of the dopant material are each higher than the lowest triplet state energy level of the phosphorescent dopant material. In this embodiment, the lowest triplet state energy level of the wide gap host material is also preferably higher than the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material.

The present invention is further directed to a method of selecting the materials that may be used in an efficient OLED, in particular, selecting materials having the combination of relative properties as prescribed herein.

It is to be understood that both the foregoing general description and the following detailed description are exemplary and explanatory and are intended to provide further explanation of the invention as claimed.

Brief Description of the Drawings

The accompanying drawings are included to provide a further understanding of the invention and are incorporated in an constituent part of this specification, illustrate several embodiments of the invention and together with a description serve to explain the present invention. In the drawings:

Figure 1 shows a schematic cross section of an OLED structure according to the present invention;

Figure 2 shows a schematic cross section of a second embodiment of an OLED structure according to the present invention, where the host material forms the electron injection layer;

Figure 3 shows a schematic cross section of a third embodiment of an OLED structure according to the present invention, including blocking layers;

Figure 4 is a diagram showing the energy levels in an OLED structure according to the invention; and

Figure 5 is a diagram showing the energy levels in another OLED structure according to the invention.

Detailed Description of Embodiments of the Invention

Embodiments of the present invention will be described with reference to the drawings. It is understood that these embodiments are intended as illustrative examples of the invention, and do not limit the invention.

The OLEDs made according to the present invention include phosphorescent dopants dispersed in the device's emissive layer, preferably capable of achieving internal quantum efficiencies approaching 100%. The emissive dopants in these devices typically contain heavy transition metal atoms, such as, for example, iridium or platinum, that induce efficient radiative relaxation of triplet excitons. Although iridium and platinum have provided high quantum efficiencies, other heavy metals such as osmium or gold may also be used. These phosphorescent dopants thus can take advantage of substantially all the excitons available within the emissive layer of the device, resulting in much higher efficiencies compared to devices using only singlet excitation to induce luminescence.

The luminescent emission from OLEDs is typically via fluorescence or phosphorescence. As used herein, the term "phosphorescence" refers to emission from a triplet excited state of an organic molecule and the term "fluorescence" refers to emission from a singlet excited state of an organic molecule.

The mechanism that was originally believed to be responsible for electroluminescence from dye-doped OLEDs involved exciton formation in the

host matrix followed by energy transfer from the host to the dopant via a Förster or Dexter energy transfer process. While this process is still also believed to occur in phosphorescence-based OLEDs, there is a second process that is believed to be important for helping to increase the efficiency of these electrophosphorescent devices. The HOMO energy levels of the phosphorescent dopants are typically higher in energy than those of the matrix materials into which they are doped. This means that the dopants are capable of trapping holes and transporting them through the matrix if the doping level is high enough. The end result is that the dopant itself may act as the site of hole-electron recombination. This means that a Förster and/or a Dexter-type host-dopant energy transfer process may be unnecessary in an inert, non-charge-carrying host material, if the exciton can be preferentially formed at the dopant site.

A trapping/recombination process of this type may be beneficially used for the formation of the blue phosphorescent OLEDs of the present invention, since such a process does not require generation of excitons in the host matrix that are higher in energy than the blue phosphors (*i.e.*, at the very high energy levels in the violet to ultraviolet regions of the spectrum). A simple structure may be used in which the emissive region of the device is a wide gap host matrix, doped with a phosphorescent dopant that is capable of transporting holes and an electron transporter. Alternatively, the phosphor could carry electrons and the emissive layer would be co doped with a hole transporter. The present invention is directed toward OLEDs having such simple structures.

Thus, one of the distinctive features of the present invention is that the charge carrying materials that are typically used as the predominant component, if not sole component, for the hole transporting layer or the electron transporting layer in a conventional OLED, may be used in the present invention as the charge carrying dopant material in an inert matrix. An additional feature of the present invention is the use of an emissive material capable of carrying a charge opposite to the charge carried by the charge carrying dopant material, wherein the emissive material is dispersed in the host matrix together with the charge carrying dopant material.

It is believed that selection of such charge carrying emissive materials permits electron/hole recombination to take place directly on the emissive material in the inert matrix. Furthermore, by selecting such a combination of materials as prescribed herein, it is believed that the electroluminescent radiation may be more readily obtained from materials that have emissive triplet state energy levels at much higher energies than are typically available for producing electrophosphorescent radiation. Typically, in a prior art OLED, energy transfer that tends to take place from these high triplet state energy levels to lower triplet state energy levels that are present in the other OLED materials would be expected to substantially prevent any radiative emission from being obtained from the higher-energy triplet states. Thus, the electrophosphorescent devices of the present invention are preferably capable of producing radiation in the higher energy regions of the visible spectrum, in particular, in the blue region of the visible spectrum.

It is further believed that by using an inert host matrix in combination with the prescribed charge carrying dopant material and the prescribed charge carrying phosphorescent dopant material, such a combination of materials permits selection from a much wider range of OLED materials. This is in contrast to a typical OLED that may have, in sequence, a hole injecting layer, a hole transporting layer, an electron transporting layer, an electron injecting layer, and a phosphorescent dopant material that is present in either the hole transporting layer or the electron transporting layer. The electron transporting layer, or still another electron transporting layer, may be used simply to function as a hole or exciton blocking layer. The materials used in each of these layers must be selected in combination so as to limit the radiationless energy transfer pathways that tend to reduce device efficiency.

The present invention is directed to OLEDs that are capable of containing a significantly smaller number of materials that need to be matched so as to limit the radiationless loss pathways. Preferably, only three organic OLED materials need to be used in the preferred embodiments of the present invention, an inert host material, a charge carrying dopant material and a charge carrying phosphorescent dopant material. Furthermore, the emissive layer includes an inert host material having such a large energy gap between the HOMO and LUMO levels of the material that the inert host matrix does not participate in hole or electron transport, since the hole and electrons that are created in the OLED do not have sufficient energy to be transported respectively through the HOMO or LUMO levels of the host material. In addition, since these inert host materials

have such a wide energy gap between the HOMO and LUMO levels, such materials may be readily selected to have a lowest triplet excited state level that is higher than the lowest triplet state level of the emissive phosphorescent material and, optionally, also higher than the lowest triplet state level of the charge carrying dopant material.

This means that by selecting charge carrying dopant materials based on the relative location of their emissive triplet state energy levels and, in addition, based on their effectiveness in carrying charge through the inert host matrix, it is believed that one skilled in the art may choose from a much wider range of OLED materials than is possible if the host material is capable of participating in hole or electron transport. Thus, both the inert host and the charge carrying dopant materials may be more readily selected, in combination, so as to limit the radiationless energy relaxation pathways that can cause a loss in device efficiency.

Similarly, by selecting a charge carrying emissive material having the prescribed relative triplet state energy level, it is believed that one skilled in the art may also choose from a much wider range of charge carrying emissive materials since there are far fewer additional materials present in the OLED that must be properly matched with the charge carrying emissive material. In this case, one can select those charge carrying emissive materials that permit energy transfer to be channeled through a limited number of energy relaxation pathways so as to achieve a high electrophosphorescent efficiency.

In one of the preferred embodiments of the invention, the emissive material may be selected so as to produce radiation with an emission peak in the higher-energy, blue region of the visible spectrum. This corresponds to a range from about 430 nm to about 470 nm, more preferably with an emission peak at about 450 nm. It is to be understood that the materials and methods of the present invention may also be employed to produce radiation in other lower-energy regions, for example, in the green or red regions of the visible spectrum, while still remaining within the spirit and scope of the present invention.

The preferred embodiments of the present invention are directed toward OLEDs containing a single, emissive, organic layer comprising only the host material doped with the charge carrying dopant material and the charge carrying phosphorescent dopant material, with one interface in direct contact with an anode and the opposite interface in direct contact with a cathode. However, the present invention also includes embodiments in which additional layers are present, for example, including a hole injecting layer, an electron injecting layer, and a hole blocking layer, and/or an exciton blocking layer. Thus, while it is preferred not to include these additional layers, it is believed that the single, emissive, organic layer may be used in combination with one or more of these additional layers.

An embodiment of an OLED structure according to the invention is described with reference to Figure 1. The device can be manufactured, for example, by forming the various layers on a substrate 10 by vacuum deposition or

by organic vapor phase deposition (OVPD). Vacuum deposition typically requires a high vacuum of between about $10E-11$ to $10E-5$ torr. OVPD requires a weaker vacuum, for example of between about $10E-5$ to 50 torr. Other manufacturing techniques may also be used to form the device. For example, polymeric layers may be formed by spin coating.

A substrate 10 is first formed, on which an anode layer 60 connected to a positive power supply is formed. Adjacent to anode layer 60 a hole injecting layer 50 may optionally be formed. For example, hole injecting layer 50 can be a coating formed on anode 60. A wide gap host material layer 40 is formed above the optional hole injecting layer 50, using conventional manufacturing methods. The wide gap host material layer 40 thus defines the emissive region of the OLED, which comprises a doped layer containing the charge carrying dopant material and the phosphorescent dopant material. An electron injecting layer 30 may optionally be formed next, and is followed by a conventional cathode layer 20 connected to a negative power supply. One or both of anode layer 60 and cathode layer 20 can be transparent to the electromagnetic radiation emitted by the device.

In one embodiment, the wide gap host material layer 40, also referred to as matrix material, has triplet state energy levels that are well above the energy levels of all the dopants used in the device. Wide gap host material layer 40 is preferably inert, that is, it preferably does not carry a charge within the structure of the OLED. Accordingly, charge is preferably carried only by the dopants, and not

by the wide gap host material layer 40.

In a different embodiment shown in Figure 2, the OLED structure according to the invention includes electron and hole injection regions that are formed from portions of the inert host material, rather than being separate layers of different materials. Region 90 is an electron injection contact formed by an un-doped portion of the wide gap material layer 40. Region 95 is a hole injection contact also formed by an un-doped portion of wide gap material layer 40. These structures are used to prevent charge carriers or excitons from leaking out of the active region of the device, and from being quenched at the interfaces between the electrodes and the organic material layers. Figure 5 shows the energy levels associated with this embodiment.

The optional non-doped regions 90, 95 can be layers that are sufficiently thick to function as hole and/or exciton blocking layers, if necessary, but are also sufficiently thin to permit effective injection of electrons.

In another embodiment of the OLED according to the invention, separate blocking layers are used between the emissive layer and the electrodes, wherein the blocking layers comprise a charge carrying material rather than an inert, non-charge-carrying material. As shown in Figure 3, first and second blocking layers 100, 110 are formed adjacent to the wide gap host material layer 40, between the doped layer and the electrodes. The materials forming these layers are selected to confine carrier recombination and emission to the doped layer of the wide gap

host material layer 40. Blocking layers 100,110 can be used, for example, when un-doped regions of wide gap host material layer 40, such as injection regions 90,95 shown in Figure 2, do not provide sufficient confinement and carrier injection. In some cases, only one blocking layer may be used, for example, a hole and/or exciton blocking layer between the emission layer and the cathode layer.

Figure 4 shows the energy levels of the materials forming an OLED device according to the invention, and including an electron injection layer 75 and a hole injection layer 50. In the case where the phosphorescent dopant material dispersed in the wide gap host material layer 40 is an electron transporter, then $T_{HT} > T_{ET}$, and $T_W > T_{ET}$, where T indicates triplet energy, and the subscripts indicate the wide gap material (W), the electron transporter (ET) and hole transporter (HT). In the case where the phosphorescent dopant material is a hole transporter, then $T_{ET} > T_{HT}$ and $T_W > T_{HT}$.

From these relations it follows that the triplet state energy level of the host material layer 40 is greater than the triplet state energy level of the emitter dopant, but does not have to be greater than that of the non-emitting dopant. The HOMO-LUMO energy gap of the inert host material layer 40, in contrast to the triplet level, is greater than the energy gap of both the hole and electron transporters. Preferably, the HOMO level of the inert host material is lower than

the HOMO level of any of the dopant materials as well as any adjacent layers that are in direct physical contact with the inert host material. In addition, the LUMO level of the inert host material is higher than the LUMO level of any of the dopant materials as well as any adjacent layers that are in direct physical contact with the inert host material. As would be understood by one skilled in the art, a material that has a lower HOMO level as compared with another material is one that has a higher ionization potential (IP) as compared with the IP of the other material. Similarly, also as would be understood by one skilled in the art, a material that has a higher LUMO level as compared with another material is one that has a lower electron affinity as compared with the electron affinity of the other material.

When the above requirements and preferences are applied to the materials used according to the invention, the constraints on the HOMO and LUMO levels of the inert host material layer 40 relative to the levels of the electron and hole transporter dopants typically result in an inert host material layer having a wide energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels. To ensure that the host material layer 40 is inert, the host material may be selected to have an energy gap of at least about 3.5 eV, and a triplet energy level well above the energy levels of both dopant materials forming the phosphorescent doped layer. This is especially important when the phosphorescent doped layer includes phosphors that emit blue light.

It is to be understood that while this 3.5 eV energy requirement may be used for convenience in selecting host materials that hold the greatest promise of

functioning as effective inert hosts, there may be certain combinations of OLED materials that permit use of a host material with a slightly smaller energy gap and yet still provide highly efficient blue phosphorescence, provided that the other constraints as described herein are met. Thus, while the term "wide gap" material may typically refer to materials having a HOMO-LUMO energy gap of at least 3.5 eV, the term "wide gap" material, as used herein, may refer to any material that has a HOMO-LUMO energy gap large enough that it does not function as a charge carrying material when used as a host matrix in an OLED. Since a so-called non-charge-carrying material may be able to carry charge at least to some small degree, a non-charge-carrying material may be characterized herein as one which carries at least ten times less current than either of the charge carrying dopants.

According to the invention, the wide gap host material layer 40 is doped with two different materials, a charge carrying dopant material and a charge carrying phosphorescent dopant material, that are dispersed within the host material to form the emissive layer. The two dopant materials are typically dispersed uniformly throughout the host matrix, with the concentrations of each being independently selected to produce the desired results.

The charge carrying dopant material can be, for example, a hole transporting material, in which case the phosphorescent dopant material is also capable of transporting electrons. In an alternate embodiment, the roles are reversed, and the charge carrying dopant material transports electrons while the

phosphorescent dopant material transports holes.

In one embodiment, the wide gap host material layer 40 can be formed, for example, by di-phenylenes, tri-phenylenes, naphthalenes, tetraphenylbutadienes, which may, in each case, be substituted or unsubstituted, and other organic and metal organic materials. In another exemplary embodiment in which the phosphorescent dopant material is a hole transporter, the charge carrying dopant material can include electron transporting materials such as oxidiazoles, triazoles, cyclooctatetraenes and other wide gap electron transporters. When the electron transporting is carried out by the phosphorescent dopant material, the charge carrying dopant material can include hole transporting materials such as triarylaminines, metal coordination complexes, donor substituted naphthalenes and other wide gap materials with suitably high energy HOMO levels.

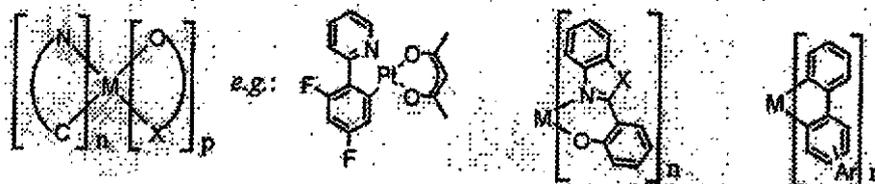
The charge carrying dopant material must have triplet energy levels above those of the phosphorescent dopant material. This is in addition to the requirement described above that the wide gap host material layer 40 must also have triplet energy levels above those of the phosphorescent dopant material. The same materials that are used as the charge carrying dopant material can also be used as the hole and/or exciton blocking layers that may be included in the structure of the OLED.

In general, these materials must have triplet energy levels corresponding to the UV-blue region of the visible spectrum so as to result in OLEDs that produce

blue emission from the lower triplet state levels of the phosphorescent dopant.

The phosphorescent dopant material has a dual function of providing a phosphor that emits electromagnetic radiation in the desired wavelength range, and also providing a charge transporting material. As described above, when the charge carrying dopant material is an electron transporter, the phosphorescent dopant material must be a hole transporter, and vice versa.

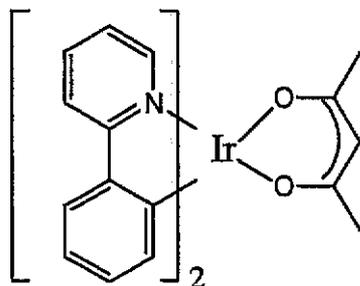
For example, the phosphorescent dopant material can contain a heavy metal atom, and can have a structure as shown below.



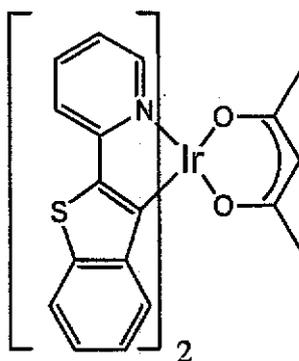
In the diagram, M represents a heavy transition metal, C--N a cyclometallated ligand and O--X a coordination ligand wherein X can be O, N or S, and wherein $n=1$ or 2 , and $p=0$ or 1 . These materials may be selected to form the doping phosphors because of their ability to tune the energies of the metal to ligand charge transfer and of the intraligand ($3\pi-\pi^*$) excited states. In one example, the heavy metals forming the described compounds are preferably Ir or Pt atoms.

EXAMPLE OF THE INVENTION

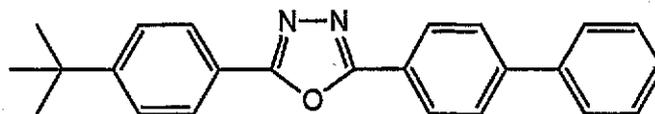
Using materials and methods known in the art for fabricating OLED's, in one exemplary embodiment, an OLED according to the invention was produced using a film of polystyrene as the inert host material. The dopant layers were formed by doping the inert host material with 15% of a hole transporting phosphorescent dopant and 40% of an electron transporting oxidiazole. More specifically, the phosphorescent dopants were bis(phenylpyridine) iridium acetylacetonate (PPIr), having the chemical structure:



and bis(2-phenylbenzothiazole) iridium acetylacetonate (BTIr), having the chemical structure:



and the oxidiazole was (4-biphenyl)(4-tertbutylphenyl)oxidiazole (PDB), having the chemical structure:



The device emitted light solely from the dopant with turn-on voltages of between about 7 and 9 Volts. The polystyrene acted as an inert matrix in which the dopants were supported. Although this device produced light in the green region of the visible spectrum, a different phosphor dopant in the same configuration may be used to produce light in the blue region of the spectrum.

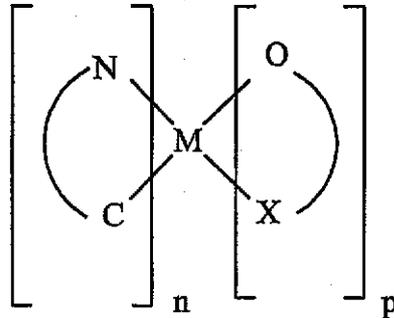
It should be noted that additional layers can be used in the construction of OLEDs according to the present invention. These additional layers are known in the art, and thus will not be discussed in detail.

It will be apparent to those skilled in the art that various modifications and variations can be made in the structure and methodology of the present invention, without departing from the spirit or scope of the invention. Thus, it is intended that the present invention covers the modifications and variations of this invention provided they come within the scope of the appended claims and their equivalents.

1. An emissive layer of an organic light emitting device, said emissive layer comprising:
a wide gap host material;
a charge carrying dopant material, present as a dopant in the wide gap host material; and
a phosphorescent dopant material, present as a dopant in the wide gap host material;
wherein the charge carrying dopant material comprises a hole transporting material and the phosphorescent dopant material comprises an electron transporting material.
2. The emissive layer of claim 1, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material and the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material are each higher than the lowest triplet state energy level of the phosphorescent dopant material.
3. The emissive layer of claim 2, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material is higher than the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material.
4. The emissive layer of claim 3, wherein the wide gap host material has an energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels of at least about 3.5 eV.

5. The emissive layer of claim 1, wherein the wide gap host material has an energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels of at least about 3.5 eV.
6. The emissive layer of claim 1, wherein the emissive layer emits radiation in the blue region of the visible spectrum.
7. The emissive layer of claim 6, wherein the radiation has an emission peak in the range of from about 430 nm to about 470 nm.
8. The emissive layer of claim 7, wherein the emission peak is at about 450 nm.
9. The emissive layer of claim 2, wherein the wide gap host material comprises a material selected from the group consisting of a di-phenylene, a substituted di-phenylene, a tri-phenylene, a substituted tri-phenylene, a naphthalene, a substituted naphthalene, a tetraphenylbutadiene, and a substituted tetraphenylbutadiene.
10. The emissive layer of claim 2, wherein the charge carrying dopant material comprises a material selected from the group consisting of a triarylamine, a metal coordination complex, and a donor substituted naphthalene.

11. The emissive layer of claim 2, wherein the phosphorescent dopant material comprises a compound having a structure of general formula:



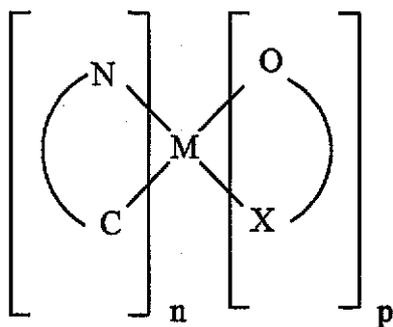
- wherein M is a heavy transition metal; C--N is a cyclometallated ligand; O--X is a coordination ligand wherein X is selected from the group consisting of oxygen, nitrogen, and sulfur; and wherein n equals 1 or 2, and p equals 0 or 1.
12. The emissive layer of claim 11, wherein M is selected from the group consisting of iridium, platinum, osmium, and gold.
13. An emissive layer of an organic light emitting device, said emissive layer comprising:
- a wide gap host material;
 - a charge carrying dopant material, present as a dopant in the wide gap host material; and
 - a phosphorescent dopant material, present as a dopant in the wide gap host material;
- wherein the charge carrying dopant material comprises an electron

transporting material and the phosphorescent dopant material comprises a hole transporting material.

14. The emissive layer of claim 13, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material and the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material are each higher than the lowest triplet state energy level of the phosphorescent dopant material.
15. The emissive layer of claim 14, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material is higher than the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material.
16. The emissive layer of claim 15, wherein the wide gap host material has an energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels of at least about 3.5 eV.
17. The emissive layer of claim 13, wherein the wide gap host material has an energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels of at least about 3.5 eV.
18. The emissive layer of claim 13, wherein the emissive layer emits radiation in the blue region of the visible spectrum.
19. The emissive layer of claim 18, wherein the radiation has an emission peak

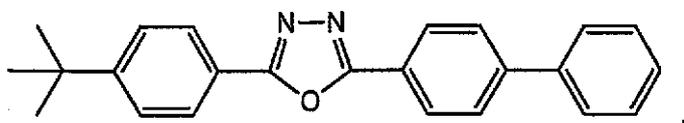
in the range of from about 430 nm to about 470 nm.

20. The emissive layer of claim 19, wherein the emission peak is at about 450 nm.
21. The emissive layer of claim 14, wherein the wide gap host material comprises a material selected from the group consisting of a di-phenylene, a substituted di-phenylene, a tri-phenylene, a substituted tri-phenylene, a naphthalene, a substituted naphthalene, a tetraphenylbutadiene, and a substituted tetraphenylbutadiene.
22. The emissive layer of claim 14, wherein the charge carrying dopant material comprises a material selected from the group consisting of an oxidiazole, a triazole, and a cyclooctatetraene.
23. The emissive layer of claim 14, wherein the phosphorescent dopant material comprises a compound having a structure of general formula:

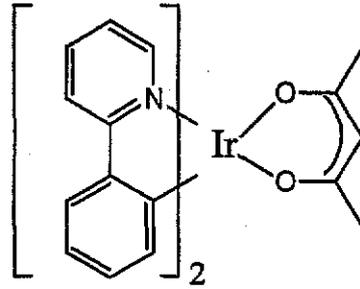


wherein M is a heavy transition metal; C--N is a cyclometallated ligand; O--X is a coordination ligand wherein X is selected from the group consisting of oxygen, nitrogen, and sulfur; and wherein n equals 1 or 2, and p equals 0 or 1.

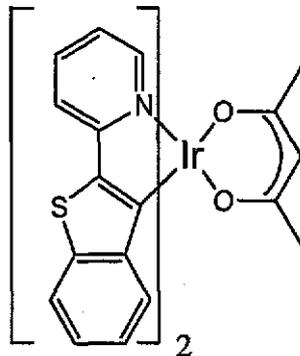
24. The emissive layer of claim 23, wherein M is selected from the group consisting of iridium, platinum, osmium, and gold.
25. The emissive layer of claim 14, wherein the wide gap host material comprises polystyrene, the charge carrying dopant material comprises (4-biphenyl)(4-tertbutylphenyl)oxidiazole (PDB), having the chemical structure



and the phosphorescent dopant material comprises bis(phenylpyridine) iridium acetylacetonate (PPIr), having the chemical structure



and bis(2-phenylbenzothiazole) iridium acetylacetonate (BTIr), having the chemical structure

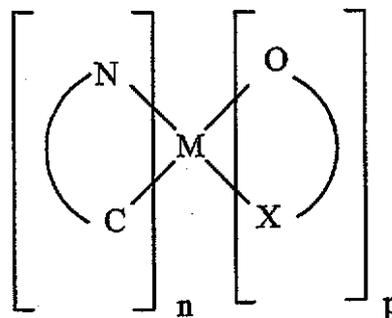


26. An organic light emitting device comprising:
- an anode layer;
 - an emissive layer over the anode layer, the emissive layer comprising a wide gap host material, a charge carrying dopant material, and a phosphorescent dopant material, wherein the charge carrying dopant material and the phosphorescent dopant material are present as dopants in the wide gap host material; and
 - a cathode layer over the emissive layer;
- wherein the charge carrying dopant material comprises a hole transporting material and the phosphorescent dopant material comprises an electron

transporting material.

27. The device of claim 26, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material and the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material are each higher than the lowest triplet state energy level of the phosphorescent dopant material.
28. The device of claim 27, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material is higher than the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material.
29. The device of claim 28, wherein the wide gap host material has an energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels of at least about 3.5 eV.
30. The device of claim 26, wherein the wide gap host material has an energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels of at least about 3.5 eV.
31. The device of claim 26, wherein the emissive layer emits radiation in the blue region of the visible spectrum.
32. The device of claim 31, wherein the radiation has an emission peak in the range of from about 430 nm to about 470 nm.

33. The device of claim 32, wherein the emission peak is at about 450 nm.
34. The device of claim 27, wherein the wide gap host material comprises a material selected from the group consisting of a di-phenylene, a substituted di-phenylene, a tri-phenylene, a substituted tri-phenylene, a naphthalene, a substituted naphthalene, a tetraphenylbutadiene, and a substituted tetraphenylbutadiene.
35. The device of claim 27, wherein the charge carrying dopant material comprises a material selected from the group consisting of a triarylamine, a metal coordination complex, and a donor substituted naphthalene.
36. The device of claim 27, wherein the phosphorescent dopant material comprises a compound having a structure of general formula:



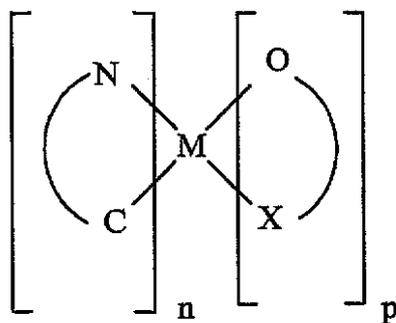
wherein M is a heavy transition metal; C--N is a cyclometallated ligand; O--X is a coordination ligand wherein X is selected from the group consisting of oxygen, nitrogen, and sulfur; and wherein n equals 1 or 2, and p equals 0 or 1.

37. The device of claim 36, wherein M is selected from the group consisting of iridium, platinum, osmium, and gold.
38. The device of claim 26, further comprising a hole injecting layer between the anode layer and the emissive layer.
39. The device of claim 38, further comprising an electron injecting layer between the emissive layer and the cathode layer.
40. The device of claim 39, further comprising a hole blocking layer between the emission layer and the electron injecting layer.
41. The device of claim 39, further comprising an exciton blocking layer between the emission layer and the electron injecting layer.
42. The device of claim 40, further comprising an electron blocking layer between the emission layer and the hole injecting layer.

43. The device of claim 40, further comprising an exciton blocking layer between the emission layer and the hole injecting layer.
44. The device of claim 26, further comprising an electron injecting layer between the emissive layer and the cathode layer.
45. The device of claim 26, wherein the wide gap host material includes an electron injection region comprising an un-doped region of the wide gap host material which is in contact with the anode layer, and a hole injection region comprising an un-doped region of the wide gap host material which is in contact with the cathode layer.
46. An organic light emitting device comprising:
 - an anode layer;
 - an emissive layer over the anode layer, the emissive layer comprising a wide gap host material, a charge carrying dopant material, and a phosphorescent dopant material, wherein the charge carrying dopant material and the phosphorescent dopant material are present as dopants in the wide gap host material; and
 - a cathode layer over the emissive layer;wherein the charge carrying dopant material comprises an electron transporting material and the phosphorescent dopant material comprises a hole transporting material.

47. The device of claim 46, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material and the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material are each higher than the lowest triplet state energy level of the phosphorescent dopant material.
48. The device of claim 47, wherein the lowest triplet state energy level of the wide gap host material is higher than the lowest triplet state energy level of the charge carrying dopant material.
49. The device of claim 48, wherein the wide gap host material has an energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels of at least about 3.5 eV.
50. The device of claim 46, wherein the wide gap host material has an energy gap between the HOMO and the LUMO energy levels of at least about 3.5 eV.
51. The device of claim 46, wherein the emissive layer emits radiation in the blue region of the visible spectrum.
52. The device of claim 51, wherein the radiation has an emission peak in the range of from about 430 nm to about 470 nm.
53. The device of claim 52, wherein the emission peak is at about 450 nm.

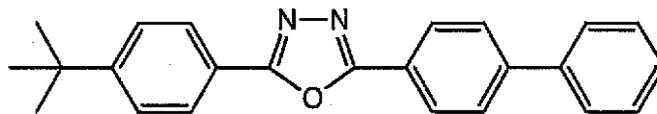
54. The device of claim 47, wherein the wide gap host material comprises a material selected from the group consisting of a di-phenylene, a substituted di-phenylene, a tri-phenylene, a substituted tri-phenylene, a naphthalene, a substituted naphthalene, a tetraphenylbutadiene, and a substituted tetraphenylbutadiene.
55. The device of claim 47, wherein the charge carrying dopant material comprises a material selected from the group consisting of an oxidiazole, a triazole, and a cyclooctatetraene.
56. The device of claim 47, wherein the phosphorescent dopant material comprises a compound having a structure of general formula:



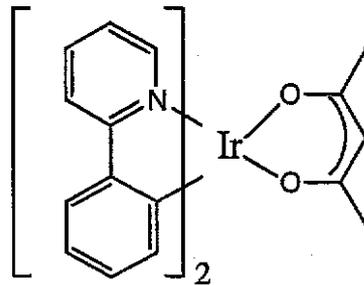
wherein M is a heavy transition metal; C--N is a cyclometallated ligand; O--X is a coordination ligand wherein X is selected from the group consisting of oxygen, nitrogen, and sulfur; and wherein n equals 1 or 2, and p equals 0 or 1.

57. The device of claim 56, wherein M is selected from the group consisting of iridium, platinum, osmium, and gold.

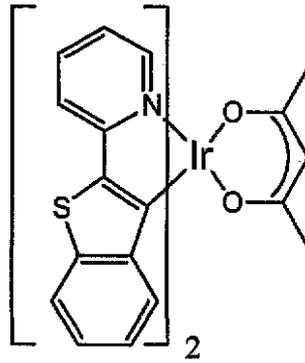
58. The device of claim 47, wherein the wide gap host material comprises polystyrene, the charge carrying dopant material comprises (4-biphenyl)(4-tertbutylphenyl)oxiadiazole (PDB), having the chemical structure



and the phosphorescent dopant material comprises bis(phenylpyridine) iridium acetylacetonate (PPIr), having the chemical structure



and bis(2-phenylbenzothiazole) iridium acetylacetonate (BTIr), having the chemical structure



59. The device of claim 46, further comprising a hole injecting layer between the anode layer and the emissive layer.
60. The device of claim 59, further comprising an electron injecting layer between the emissive layer and the cathode layer.
61. The device of claim 60, further comprising a hole blocking layer between the emission layer and the electron injecting layer.
62. The device of claim 60, further comprising an exciton blocking layer between the emission layer and the electron injecting layer.
63. The device of claim 61, further comprising an electron blocking layer between the emission layer and the hole injecting layer.
64. The device of claim 61, further comprising an exciton blocking layer between the emission layer and the hole injecting layer.

65. The device of claim 46, further comprising an electron injecting layer between the emissive layer and the cathode layer.
66. The device of claim 46, wherein the wide gap host material includes an electron injection region comprising an un-doped region of the wide gap host material which is in contact with the anode layer, and a hole injection region comprising an un-doped region of the wide gap host material which is in contact with the cathode layer.

1 Abstract

An OLED includes a wide gap inert host material doped with two dopants. One of the dopants is an emissive phosphorescent material that can transport either electrons or holes. The other dopant is a charge carrying material that can transport whichever of the electrons and holes that is not transported by the phosphorescent dopant. The materials are selected so that the lowest triplet energy level of the host material and the lowest triplet energy level of the charge carrying dopant material are each at a higher energy level than the lowest triplet state energy level of the phosphorescent dopant material. The device is capable, in particular, of efficiently emitting light in the blue region of the visible spectrum.

2 Representative Drawing

None

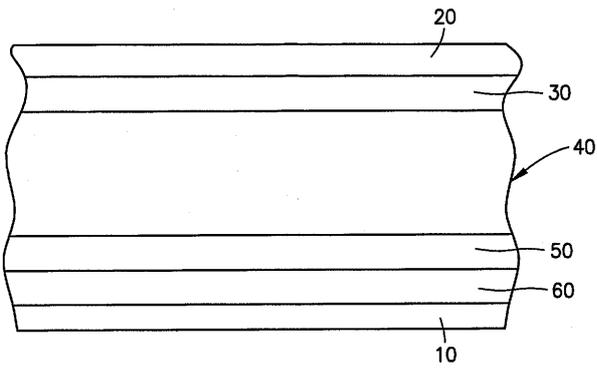


Fig. 1

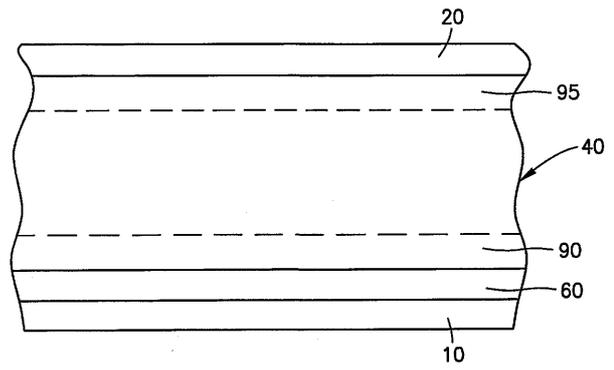


Fig. 2

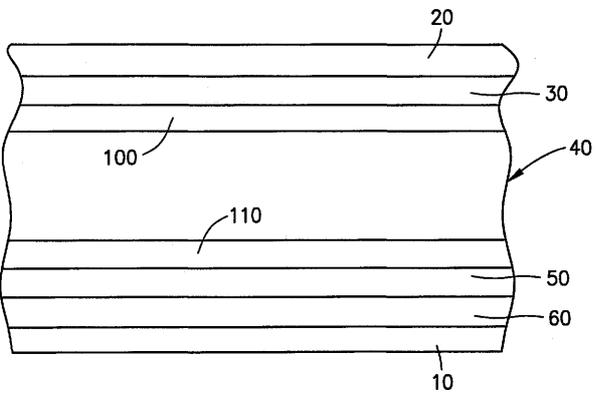


Fig. 3

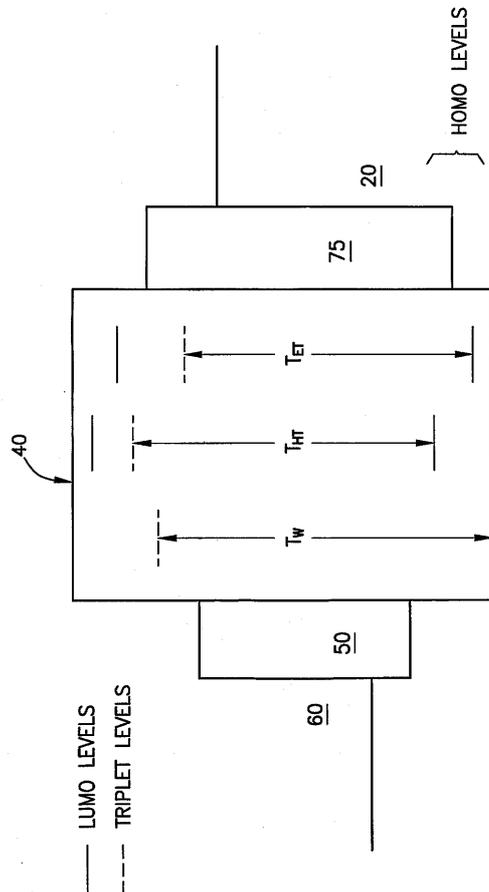


Fig. 4

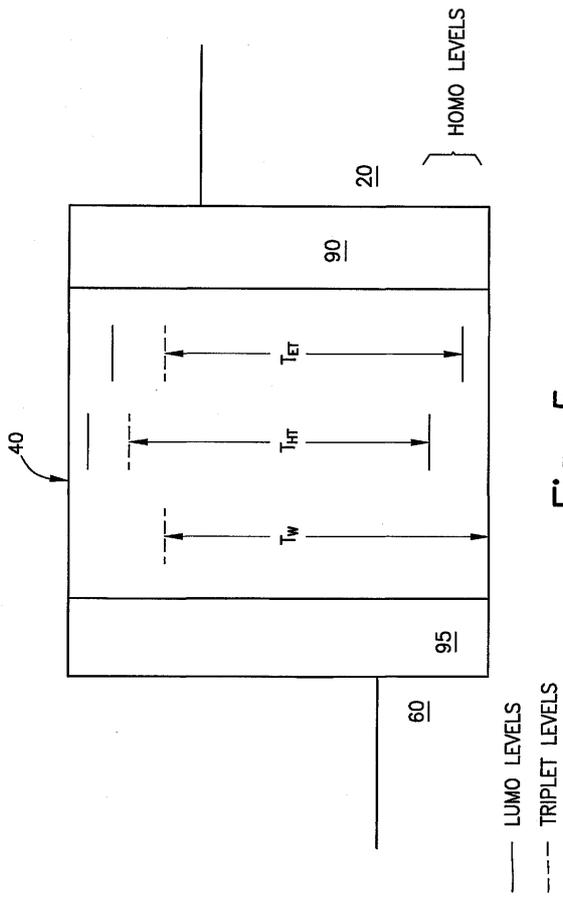


Fig. 5

专利名称(译)	用于基于蓝色磷光的有机发光二极管的材料和器件		
公开(公告)号	JP2010080979A	公开(公告)日	2010-04-08
申请号	JP2009286813	申请日	2009-12-17
[标]申请(专利权)人(译)	普林斯顿大学 南加利福尼亚大学		
申请(专利权)人(译)	普林斯顿大学的，受托人 南加州大学		
[标]发明人	トンプソンマークイー フォレストスティーブンアール		
发明人	トンプソン、マーク、イー フォレスト、スティーブン、アール		
IPC分类号	H01L51/50 C09K11/06 H01L51/00 H01L51/30 H01L51/40		
CPC分类号	H01L51/002 H01L51/005 H01L51/007 H01L51/0085 H01L51/0087 H01L51/5016 H01L2251/552		
FI分类号	H05B33/14.B H05B33/22.B H05B33/22.D C09K11/06.690 C09K11/06.660		
F-TERM分类号	3K107/AA01 3K107/CC04 3K107/CC07 3K107/DD53 3K107/DD59 3K107/DD64 3K107/DD67 3K107/DD68 3K107/DD69 3K107/DD72 3K107/DD75 3K107/DD76 3K107/FF13 3K107/FF19 3K107/FF20		
代理人(译)	村山彦 渡边 隆		
优先权	60/275481 2001-03-14 US		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供高效的有机发光器件（OLED），特别是具有发光层的OLED，所述发光层包括掺杂在惰性主体材料中的磷光掺杂剂材料和电荷携带掺杂剂材料。解决方案：OLED包括掺杂有两种掺杂剂的宽间隙惰性主体材料。其中一种掺杂剂是磷光材料，可以传输电子或空穴。另一种掺杂剂是电荷携带材料，其可以传输未被磷光掺杂剂传输的电子或空穴。选择材料使得主体材料的最低三重态能级和电荷携带掺杂剂材料的最低三重态能级各自处于比磷光掺杂剂材料的最低三重态能级更高的能级。该装置特别能够有效地发射可见光谱的蓝色区域中的光。

