

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6742983号  
(P6742983)

(45) 発行日 令和2年8月19日(2020.8.19)

(24) 登録日 令和2年7月31日(2020.7.31)

(51) Int.Cl.	F 1		
H01L 51/50	(2006.01)	H05B 33/22	D
H05B 33/22	(2006.01)	H05B 33/22	B
H05B 33/26	(2006.01)	H05B 33/14	B
H01L 27/32	(2006.01)	H05B 33/22	Z
G09F 9/30	(2006.01)	H05B 33/26	Z

請求項の数 15 (全 37 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-503880 (P2017-503880)	(73) 特許権者	516388997 フレックスステッラ・インコーポレイテッド
(86) (22) 出願日	平成27年7月24日 (2015.7.24)		アメリカ合衆国・イリノイ・60077・ スコーキー・ラモン・アヴェニュー・80 25・スイート・043
(65) 公表番号	特表2017-529688 (P2017-529688A)	(74) 代理人	100108453 弁理士 村山 靖彦
(43) 公表日	平成29年10月5日 (2017.10.5)	(74) 代理人	100110364 弁理士 実広 信哉
(86) 國際出願番号	PCT/US2015/042063	(74) 代理人	100133400 弁理士 阿部 達彦
(87) 國際公開番号	W02016/014980	(72) 発明者	ヴィヴィアナ・ビオンド イタリア・ウディーネ・33028・イッ レジョ・トルメッジ・ヴィア・デラ・フォ ンターナ・1
(87) 國際公開日	平成28年1月28日 (2016.1.28)		
審査請求日	平成30年6月26日 (2018.6.26)		
(31) 優先権主張番号	62/028,397		
(32) 優先日	平成26年7月24日 (2014.7.24)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31) 優先権主張番号	62/028,401		
(32) 優先日	平成26年7月24日 (2014.7.24)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

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トランジスタ

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

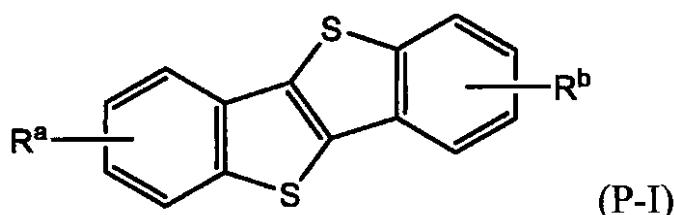
少なくとも1つの誘電体層;少なくとも1つの制御電極;少なくとも1つの正孔電極;少なくとも1つの電子電極;及び放出性両極性チャネルを含むアセンブリを含む、有機エレクトロルミネッセンストランジスタであって、

前記誘電体層は、前記制御電極及び前記アセンブリの間に配置され、

前記放出性両極性チャネルは、n型半導体材料の少なくとも1つの層、p型半導体材料の少なくとも1つの層、並びにp型及びn型半導体材料の前記層の間に配置されている放出性材料の少なくとも1つの層を含み、

前記p型半導体材料は、式(P-I)

## 【化 1】

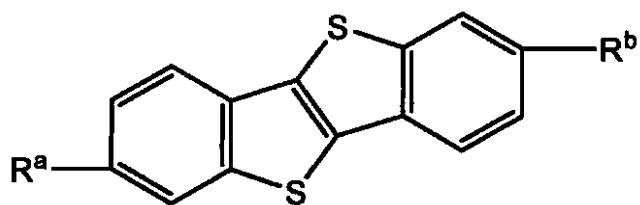


のベンゾチエノ-ベンゾチオフェン化合物を含み、式中、R<sup>a</sup>及びR<sup>b</sup>は、H、C<sub>1</sub> ~ <sub>18</sub>アルキル基、及びC<sub>6</sub> ~ <sub>14</sub>アリール基からなる群から独立に選択される、有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

## 【請求項 2】

前記p型半導体材料が、式

## 【化 2】

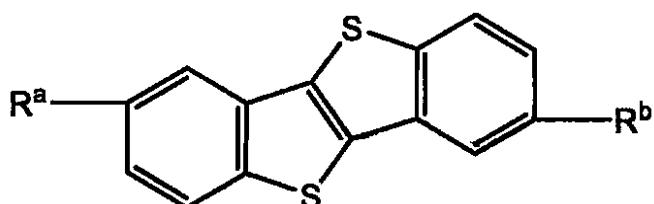


のベンゾチエノ-ベンゾチオフェン化合物を含む、請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。 10

## 【請求項 3】

前記p型半導体材料が、式

## 【化 3】



20

のベンゾチエノ-ベンゾチオフェン化合物を含む、請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

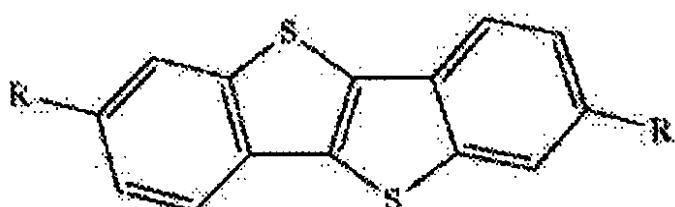
## 【請求項 4】

R<sup>a</sup>及びR<sup>b</sup>が、同一の直鎖状C<sub>3</sub> ~ 12アルキル基である、請求項2に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

## 【請求項 5】

前記p型半導体材料が、式

## 【化 4】



30

の化合物を含み、式中、各Rは、フェニル基である、請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

## 【請求項 6】

前記n型半導体材料が、ビス(p-フルオロアルキル)フェニル-置換オリゴマーチオフェン化合物を含み、前記オリゴマーチオフェン化合物が、2、3、4、5又は6つのチオフェン部分を有し、任意選択でチオフェン部分の2つ以上が縮合されている、請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。 40

## 【請求項 7】

前記ビス(p-フルオロアルキル)フェニル-置換オリゴマーチオフェン化合物が、ジチオフェン、クアテルチオフェン、及びチエノチオフェンからなる群から選択される、請求項6に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

## 【請求項 8】

p型半導体材料の前記層の厚さが、5 ~ 50nmである、請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

## 【請求項 9】

p型半導体材料の前記層の厚さが、15 ~ 45nmである、請求項8に記載の有機エレクトロル 50

ミネッセンストランジスタ。

【請求項 10】

n型半導体材料の前記層の厚さが、30nm～60nm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トランジスタ。

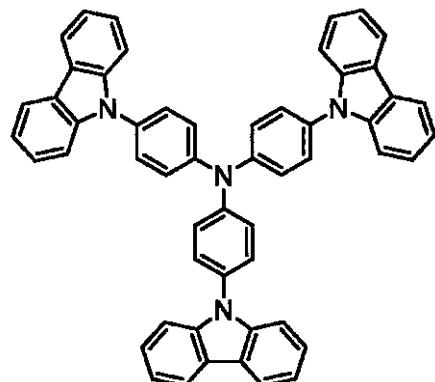
【請求項 11】

放出性材料の前記層が、30nm～60nmの厚さを有す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トランジスタ。

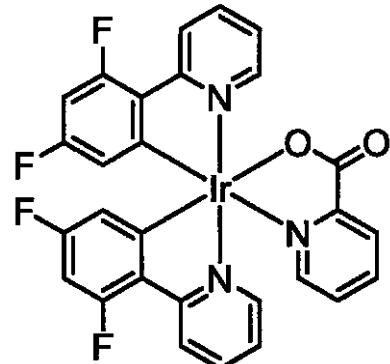
【請求項 12】

前記放出性材料が、ホストマトリックス化合物として有機カルバゾール誘導体、及びゲストエミッタとしてイリジウム錯体を含むブレンド材料を含み、任意選択で前記有機カルバゾール誘導体と前記イリジウム錯体が、

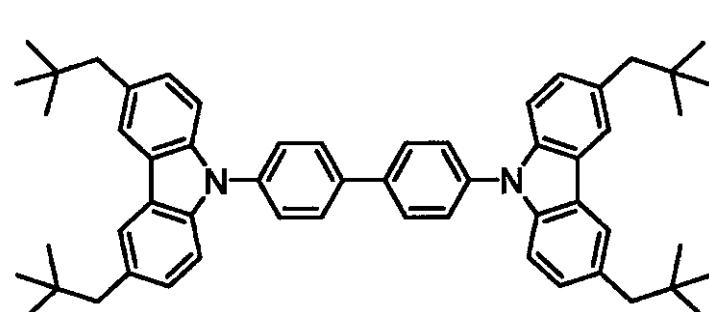
【化 5】



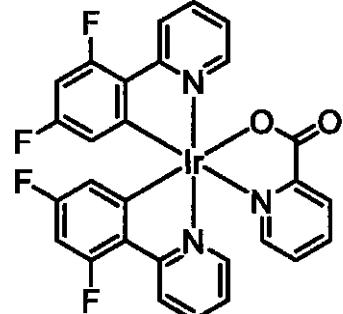
(H-1) と



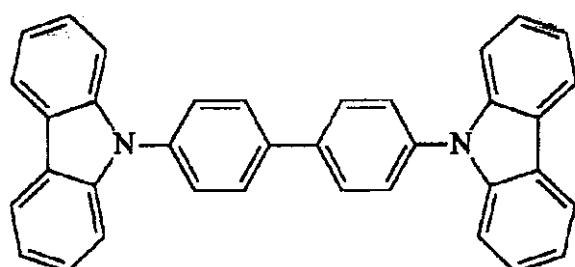
(G-1)



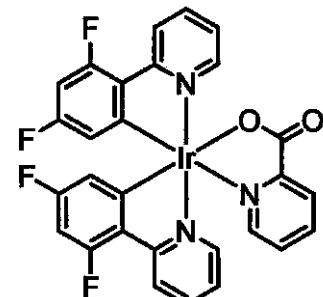
(H-2)



(G-1).



(H-3)



と (G-1).

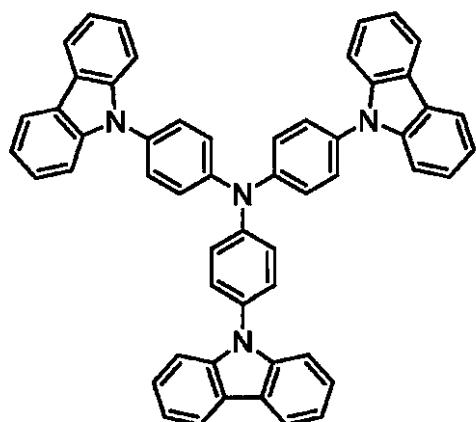
10

20

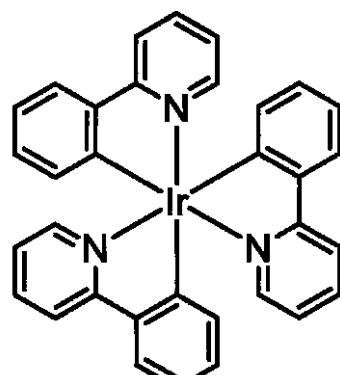
30

40

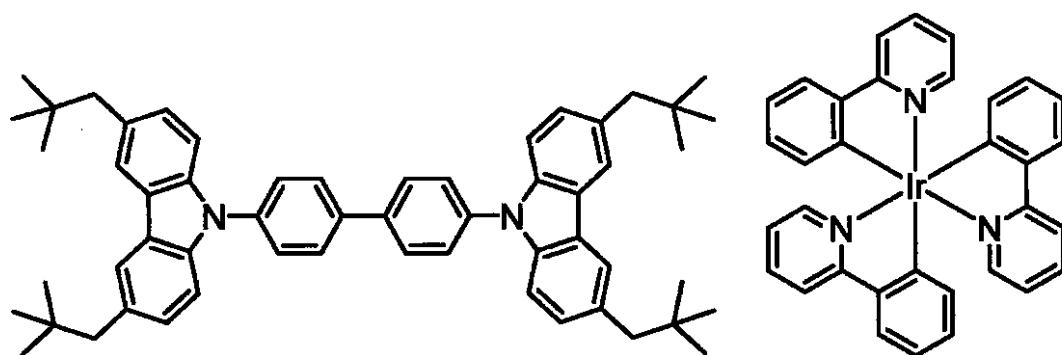
【化 6】



(H-1) と

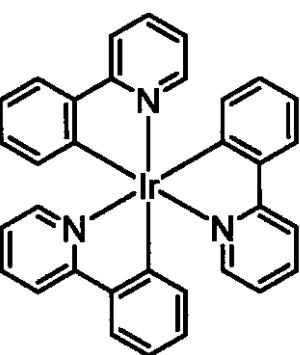


10

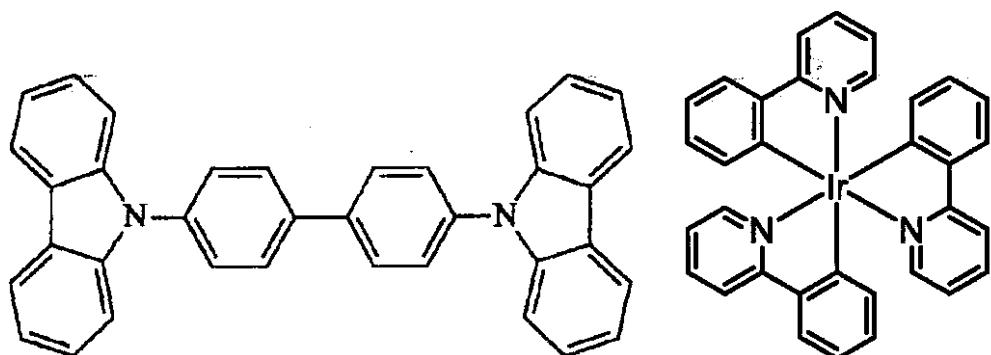


(H-2)

と



20



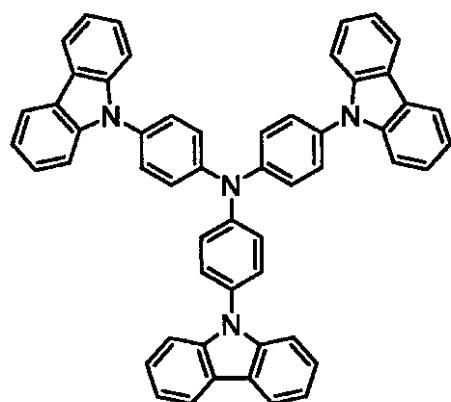
(H-3)

と

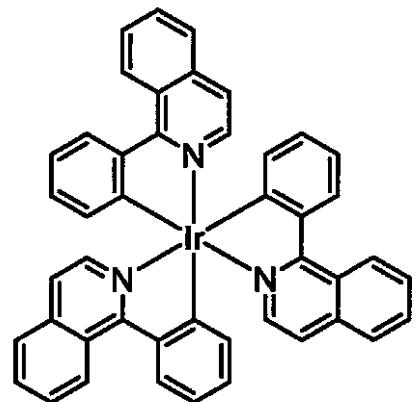
(G-2).

30

【化7】

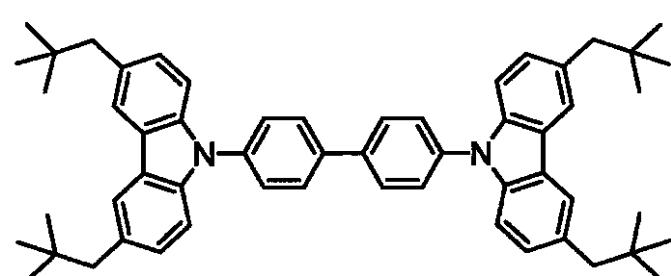


(H-1) と

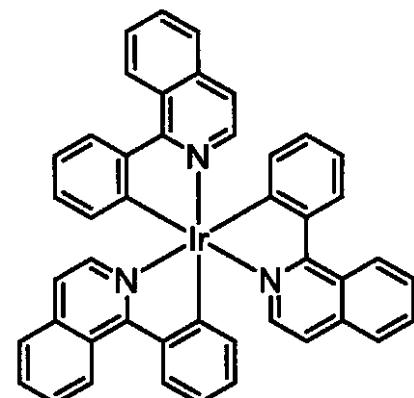


(G-3)

10



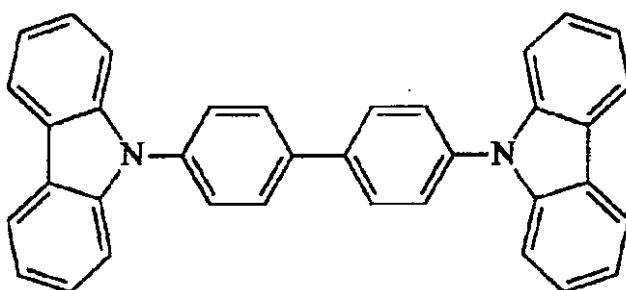
(H-2)



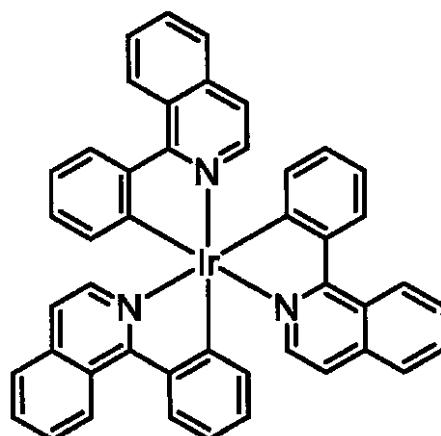
(G-3)

20

及び



(H-3)



(G-3).

30

からなる群から選択される、請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

【請求項13】

制御電極、正孔電極、及び電子電極のそれぞれが、独立に、金、銀、モリブデン、銅、チタン、クロム、スズをドープした酸化インジウム及びこれらの組合せからなる群から選択される金属又は透明導電酸化物を含む、請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

50

## 【請求項 1 4】

前記誘電体層が、無機酸化物又は窒化物、分子誘電体、ポリマー誘電体、及びこれらの組合せからなる群から選択される電気絶縁材料を含む、請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタ。

## 【請求項 1 5】

互いに相互接続しており、基板上に蒸着されている、複数の同一若しくは異なる請求項1に記載の有機エレクトロルミネッセンストランジスタを含む、画像を生成するためのオプトエレクトロニックデバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

10

## 【0 0 0 1】

本教示は、改善された発光特徴を有する有機エレクトロルミネッセンストランジスタに関する。更に具体的には、本発明のエレクトロルミネッセンストランジスタは、多層放出性両極性チャネルを含み、機能層の1つ又は複数として特定の材料を組み込むことによって、本発明のエレクトロルミネッセンストランジスタは、最大の輝度及び効率を同時に達成することができる。

## 【背景技術】

## 【0 0 0 2】

OLET(有機発光トランジスタ)としてもまた公知である有機エレクトロルミネッセンス電界効果トランジスタは、これらを特に興味深いものとする特徴及び用途を有する相対的に最近のタイプのデバイスである。例えば、OLED(有機発光ダイオード)と比較して、両極性OLETは、増進された効率及び光度を有し、またこれらが一旦最適化されると、低コストの生産プロセスを使用する可能性を可能とすることができます。

20

## 【0 0 0 3】

両極性OLETデバイスの構造についてのさらなる詳細は、欧州特許第1609195号において見い出しえる。更に具体的には、EP1609195は、n型半導体材料の少なくとも1つの層、p型半導体材料の少なくとも1つの層、並びにp型及びn型半導体材料の前記層の間に配置されている放出性材料の少なくとも1つの層を含む放出性両極性チャネルを有する3層の有機発光トランジスタを開示している。これらのデバイスの用途及び機能的特性についてのさらなる詳細は、R. Capelliら、「Organic light-emitting transistors with an efficiency that outperforms the equivalent light-emitting diodes」、Nature Materials、第9巻、496～503頁(2010)において見出しえる。Capelliらにおいて開示されている3層の有機発光トランジスタは、5,5'-ビス((5-ペルフルオロヘキシル)チオフェン-2-イル)-2,2'-ビチオフェン(DFH4T)から構成されるn型半導体材料の層、5,5'-ビス(3-ヘキシル-2-チエニル)-2,2'-ビチオフェン(DH4T)から構成されるp型半導体材料の層、及びトリス(8-ヒドロキシキノリナト)アルミニウム:4-(ジシアノメチレン)-2-メチル-6-(p-ジメチルアミノスチリル)-4H-ピラン( $\text{Alq}_3$ :DCM)から構成される放出性材料の層を有する。

30

## 【0 0 0 4】

文献において報告してきた異なるp型半導体材料の中で、ジアセン-縮合チエノチオフェン、具体的には、[1]ベンゾ-チエノ[3,2-b][1]ベンゾチオフェン(BTBT)及びジナフト[2,3-b:2',3'-f]チエノ[3,2-b]チオフェン(DNTT)は、高い移動度、空気安定性、及び良好な再現性を示してきた。例えば、M.J. Kangら、「Two Isomeric Didecyl-dinaphtho[2,3-b:2',3'-f]thieno[3,2-b]thiophenes:Impact of Alkylation Positions on Packing Structures and Organic Field Effect Transistor Characteristics」、Jpn. J. Appl. Phys.、第51巻、11PD04頁(2012);及びH. Ebataら、「Highly Soluble [1]Benzothieno[3,2-b]benzothiophene (BTBT) Derivatives for High-Performance, Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors」、J. Am. Chem. Soc.、第129巻、15732～15733頁(2007)を参照されたい。Ebataらにおいて、BTBTの一連の2,7-ジアルキル誘導体( $\text{C}_n$ -BTBT)を合成し、有機電界効果トランジスタ(OFET)を製作するために使用した。OFETを周囲条件下で評価し、 $\text{C}_n$ -BTBT誘導体の薄膜は $10^{-1}\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ より高い移動度を実現することを示した。K

40

50

angらにおいて、2種の異性体のドデシル-ジナフト[2,3-b:2',3'-f]チエノ[3,2-b]チオフェン(2,9-及び3,10-C<sub>10</sub>DNTT)は、2,9-C<sub>10</sub>-DNTTについて6.8cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>の平均移動度、及び3,10-C<sub>10</sub>-DNTTについて4cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>の平均移動度を伴って、高性能のOFETを可能とすることが示された。

【0005】

欧州特許出願公開第2402348号は、ジアルキル-置換DNTT及び関連するセレン類似体を記載している。記載された化合物と共に製作されたOTFTは、4cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>に近い移動度を示した。BTBT化合物については記載されていない。

【0006】

国際公開第W02013/039842号は、分枝状アルキルで一置換又は二置換されている様々なアセン-縮合チエノチオフェン及び関連するカルコゲン類似体を記載している。記載されている化合物と共に製作されたOTFTは、2.3cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>に近い移動度を示した。BTBT化合物については記載されていない。

【0007】

上記で確認した文書のそれぞれは、3層放出性両極性チャネルを有するOLETデバイスにおいてBTBT化合物を使用する可能性について、及びこのようなOLETデバイスの性能を、DNTT化合物を使用した同様のOLETデバイスとどのように比較し得るかについて言及していない。

【0008】

今までのところ、両極性OLETデバイスは、発光への電荷電流変換の効率が非常に低いバイアス条件で得られる(ほぼ1×10<sup>-1</sup>%程度の)が、増進された光度を有することを全ての研究及び特性決定は示してきた。逆に、デバイス効率は、そのバイアス条件を修正することによって通常最大化することができるが、光度に対する有害な効果を伴う。高輝度及び高効率が同時に必要とされるとき、例えば、発光ディスプレイ、ポイントオブケア生物医学的用途、及びフォトニクスチップ上に組み込んだ光子源の分野において、これらの放出特徴によって可能な応用分野が限定される。エレクトロルミネッセンス強度(一定のデバイスの幾可学的形状を伴ってナノワット(nW)からマイクロワット(μW)程度)におけるさらなる改善がまた望ましい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】欧州特許第1609195号

【特許文献2】欧州特許出願公開第2402348号

【特許文献3】国際公開第W02013/039842号

【特許文献4】国際公開第W02014/035841号

【特許文献5】国際公開第W02013/018002号

【特許文献6】国際公開第W02013/017999号

【特許文献7】国際公開第W02014/035842号

【特許文献8】国際公開第W02013/018000号

【特許文献9】米国特許第5,747,183号

【特許文献10】米国特許第5,683,823号

【特許文献11】米国特許第6,626,722号

【特許文献12】米国特許第7,074,502号

【特許文献13】米国特許第7,671,241号

【特許文献14】米国特許第7,772,762号

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】R. Capelliら、「Organic light-emitting transistors with an efficiency that outperforms the equivalent light-emitting diodes」、Nature Materials、第9巻、496～503頁(2010)

10

20

30

40

50

【非特許文献 2】M.J. Kangら、「Two Isomeric Didecyl-dinaphtho[2,3-b:2',3'-f]thiophenes:Impact of Alkylation Positions on Packing Structures and Organic Field Effect Transistor Characteristics」、Jpn. J. Appl. Phys.、第51巻、11P D04頁(2012)

【非特許文献 3】H. Ebataら、「Highly Soluble [1] Benzothieno[3,2-b]benzothiophene (BTBT) Derivatives for High-Performance, Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors」、J. Am. Chem. Soc.、第129巻、15732～15733頁(2007)

【非特許文献 4】Chaskarら、「Bipolar Host Materials:A Chemical Approach for Highly Efficient Electrophosphorescent Devices」、Adv. Mater.、23(34):3876～3895頁(2011)

10

【非特許文献 5】Taoら、「Organic host materials for phosphorescent organic light-emitting diodes」、Chem. Soc. Rev.、40(5):2943～2970頁(2011)

【非特許文献 6】Sasabeら、「Multifunctional Materials in High-Performance OLEDs: Challenges for Solid-State Lighting」、Chem. Mater.、23(3):621～630頁(2011)

【非特許文献 7】Tsuboi、「Recent advances in white organic light emitting diodes with a single emissive dopant」、J. Non-Cryst. Solids、356(37～40):1919～1927頁(2011)

【非特許文献 8】Singhら、「Bio-organic optoelectronic devices using DNA」、Adv. Polym. Sci.、223(Organic Electronics):189～212頁(2010)Kappaunら、「Phosphorescent organic light-emitting devices:working principle and iridium based emitter materials」、Int. J. Mol. Sci.、9(8):1527～1547頁(2008)

20

【非特許文献 9】Tokitoら、「Phosphorescent organic light-emitting devices:triple energy management」、Electrochemistry、76(1):24～31頁(2008)

【非特許文献 10】Chen、「Evolution of Red Organic Light-Emitting Diodes:Materials and Devices」、Chem. Mater.、16(23):4389～4400頁(2004)

【非特許文献 11】Liuら、「Polyfluorenes with on-chain metal centers」、Adv. Polym. Sci.、212(Polyfluorenes):125～144頁(2008)

【非特許文献 12】Danevら、「Vacuum deposited polyimide - a perfect matrix for nanocomposite materials」、J. Opto electron. Adv. Mater.、7(3):1179～1190頁(2005)

【非特許文献 13】Liら、「Low operating-voltage and high power-efficiency OLED employing MoO<sub>3</sub>-doped CuPc as hole injection layer」、Displays、33(1):17～20頁(2012)

30

【非特許文献 14】Wenら、「Self-assembled of conducting polymeric nanoparticles and its application for OLED hole injection layer」、Energy Procedia、12:609～614頁(2011)

【非特許文献 15】Zhangら、「Role of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> as a p-dopant in improving the hole injection and transport of organic light-emitting devices」、IEEE Journal of Quantum Electronics、47(5):591～596頁(2011)

【非特許文献 16】Chooら、「Luminance and charge transport mechanisms for phosphorescent organic light-emitting devices fabricated utilizing a tris(2-phenylpyridine)iridium-doped N,N'-dicarbazolyl-3, 5 -benzene emitting layer」、Thin Solid Films、519(15):5253～5256頁(2011)

40

【非特許文献 17】Taoら、「Odd-even modulation of electrode work function with self-assembled layer:Interplay of energy barrier and tunneling distance on charge injection in organic light-emitting diodes」、Organic Electronics、12(4):602～608頁(2011)

【非特許文献 18】Sungら、「AC Field-Induced Polymer Electroluminescence with Single Wall Carbon Nanotubes」、Nano Letters、11(3):966～972頁(2011)

【非特許文献 19】Qiaoら、「Controlling charge balance and exciton recombination by bipolar host in single-layer organic light-emitting diodes」、Journal of App

50

Lied Physics、108(3):034508/1 ~ 034508/8頁(2011)

【非特許文献 2 0】Khizar-ul-Haqら、「Blue organic light-emitting diodes with low driving voltage and enhanced power efficiency based on MoO<sub>3</sub> as hole injection layer and optimized charge balance」、Journal of Non-Crystalline Solids、356(20 ~ 22):1012 ~ 1015頁(2010)

【非特許文献 2 1】Qiら、「Analysis of metal-oxide -based charge generation layers used in stacked organic light-emitting diodes」、Journal of Applied Physics、107(1):014514/1-014514/8頁(201)

【非特許文献 2 2】Huangら、「Materials and interface engineering in organic light-emitting diodes」、Organic Electronics、243 ~ 261頁(2010)

10

【非特許文献 2 3】Helanderら、「Comparison of Alq<sub>3</sub>/alkali-metal fluoride/ Al cathodes for organic electroluminescent devices」、Journal of Applied Physics、104(9):094510/1 ~ 094510/6頁(2008)

【非特許文献 2 4】Roy Choudhuryら、「LiF as an n-dopant in tris(8-hydroxyquinoline) aluminum thin films」、Advanced Materials、20(8):1456 ~ 1461頁(2008)

【非特許文献 2 5】Vaccaら、「Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(4-styrenesulfonate) ratio:Structural, physical and hole injection properties in organic light emitting diodes」、Thin Solid Films、516(12):4232 ~ 4237頁(2008)

【非特許文献 2 6】Yangら、「Improved fabrication process for enhancing light emission in single-layer organic light-emitting devices doped with organic salt」、Japanese Journal of Applied Physics、47(2, Pt. 1):1101 ~ 1103頁(2008)

20

【非特許文献 2 7】Kimら、「UV-ozone surface treatment of indium-tin-oxide in organic light emitting diodes」、Journal of the Korean Physical Society、50(6):1858 ~ 1861頁(2007)

【非特許文献 2 8】Pratら、「Stable, highly efficient and temperature resistant organic light-emitting devices」、Japanese Journal of Applied Physics, Part 1:Regular Papers, Brief Communications & Review Papers、46(4A):1727 ~ 1730頁(2007)

【非特許文献 2 9】Luoら、「Improving the stability of organic light-emitting devices by using a hole-injection-tunable-anode-buffer-layer」、Journal of Applied Physics、101(5):054512/1 ~ 054512/4頁(2007)

30

【非特許文献 3 0】Matsushimaら、「Charge-carrier injection characteristics at organic/organic heterojunction interfaces in organic light-emitting diodes」、Chemical Physics Letters、435(4 ~ 6):327 ~ 330頁(2007)

【非特許文献 3 1】Kimら、「Controllable work function of Li-Al alloy nanolayers for organic light-emitting devices」、Advanced Engineering Materials、7(11):1023 ~ 1027頁(2005)

【非特許文献 3 2】Kato、「Designing Interfaces That Function to Facilitate Charge Injection in Organic Light-Emitting Diodes」、Journal of the American Chemical Society、127(33):11538 ~ 11539頁(2005)

【非特許文献 3 3】Veinotら、「Toward the Ideal Organic Light-Emitting Diode. The Versatility and Utility of Interfacial Tailoring by Cross-Linked Siloxane Interlayers」、Accounts of Chemical Research、38(8):632 ~ 643頁(2005)

40

【非特許文献 3 4】Oyamadaら、「Extremely low- voltage driving of organic light-emitting diodes with a Cs-doped phenyldipyrenylphosphine oxide layer as an electron-injection layer」、Applied Physics Letters、86(3):033503/1 ~ 033503/3頁(2005)

【非特許文献 3 5】Hughesら、「Electron-transporting materials for organic electroluminescent and electrophosphorescent devices」、Journal of Materials Chemistry、15(1):94 ~ 107頁(2005)

【非特許文献 3 6】D'Andradeら、「Efficient organic electrophosphorescent white-light-emitting device with a triple doped emissive layer」、Advanced Materials、1

50

6(7):624 ~ 628頁(2004)

【非特許文献 3 7】Kannoら、「Development of OLED with high stability and luminance efficiency by co-doping methods for full color displays」、IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics、10(1):30 ~ 36頁(2004)

【非特許文献 3 8】Hanら、「Transparent-cathode for top-emission organic light-emitting diodes」、Applied Physics Letters、82(16):2715 ~ 2717頁(2003)

【非特許文献 3 9】Tutisら、「Internal electric field and charge distribution in multilayer organic light-emitting diodes」、Journal of Applied Physics、93(8):4594 ~ 4602頁(2003)

【非特許文献 4 0】Mathaiら、「Controlled injection of holes into AlQ<sub>3</sub> based OLEDs by means of an oxidized transport layer」、Materials Research Society Symposium Proceedings、708(Organic Optoelectronic Materials, Processing and Devices):101 ~ 106頁(2002)

【非特許文献 4 1】Croneら、「Charge injection and transport in single-layer organic light-emitting diodes」、Applied Physics Letters、73(21):3162 ~ 3164頁(1998)

【非特許文献 4 2】Parkら、「Charge injection and photooxidation of single conjugated polymer molecules」、Journal of the American Chemical Society、126(13):4116 ~ 7頁(2004)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

【0011】

本教示の目的は、上記の当技術分野において公知の欠点を克服することができる有機エレクトロルミネッセンストランジスタを提供することであり、特に、最大の発光効率及び輝度を同時に達成することができる有機エレクトロルミネッセンストランジスタを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

一態様では、本教示による有機エレクトロルミネッセンストランジスタは、少なくとも1つの誘電体層、少なくとも1つの制御電極、放出性両極性チャネルを含むアセンブリ、少なくとも1つのソース電極及び少なくとも1つのドレイン電極を含み、

30

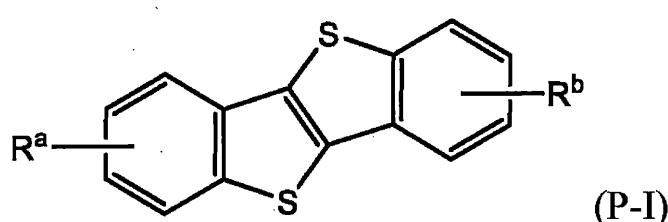
誘電体層は、制御電極及びアセンブリの間に配置されており、

両極性チャネルは、n型半導体材料の少なくとも1つの層、p型半導体材料の少なくとも1つの層、並びにp型及びn型半導体材料の層の間に配置されている放出性材料の少なくとも1つの層を含み、

p型半導体材料は、トランジスタの両極性チャネルを横切って正孔を輸送するのに適しており、一般式(P-I)

【0013】

【化1】



【0014】

を有するベンゾチエノ-ベンゾチオフェン(BTBT)化合物を含み、式中、R<sup>a</sup>及びR<sup>b</sup>は、H、C<sub>1</sub> ~ <sub>18</sub>アルキル基、及びC<sub>6</sub> ~ <sub>14</sub>アリール基からなる群から独立に選択される。

40

50

## 【0015】

ある特定の実施形態では、n型半導体材料は、ビス(p-フルオロアルキル)フェニル-置換チエノ[3,2-b]チオフェンであり、この非限定的例は、2,5-ビス(4-(ペルフルオロオクチル)フェニル)チエノ[3,2-b]チオフェン(NF2-6)及び2,5-ビス(4-(トリフルオロメチル)フェニル)チエノ[3,2-b]チオフェン(NF2-6-CF3)を含む。

## 【0016】

ある特定の実施形態では、放出性層は、4,4',4''-トリス(カルバゾール-9-イル)トリフェニルアミン:トリス(1-フェニルイソキノリン)イリジウム(III)(TCTA:Ir(piq)<sub>3</sub>)、4,4'-ビス(3,6-ジネオペンチル-9H-カルバゾール-9-イル)-1, '-ビフェニル:トリス(1-フェニルイソキノリン)イリジウム(III)(NP4-CBP:Ir(piq)<sub>3</sub>)、4,4'-ビス(3,6-ジネオペンチル-9H-カルバゾール-9-イル)-1, '-ビフェニル:トリス(2-フェニルピリジン)イリジウム(III)(NP4-CBP:Ir(ppy))、4,4'-ビス(3,6-ジネオペンチル-9H-カルバゾール-9-イル)-1, '-ビフェニル:ビス(4,6-ジフルオロフェニル-ピリジン)(ピコリネート)イリジウム(III)(NP4-CBP:Flrpic)からなる群から選択される。

10

## 【0017】

別の態様では、本教示による有機エレクトロルミネッセンストランジスタは、少なくとも1つの誘電体層、少なくとも1つの制御電極、放出性両極性チャネルを含むアセンブリ、少なくとも1つのソース電極及び少なくとも1つのドレイン電極を含み、

誘電体層は、制御電極及びアセンブリの間に配置されており、

20

両極性チャネルは、n型半導体材料の少なくとも1つの層、p型半導体材料の少なくとも1つの層、並びにp型及びn型半導体材料の層の間に配置されている少なくとも1つの放出性材料の放出性層を含み、

放出性層は、ホストマトリックス化合物としてカルバゾール誘導体、及びゲストエミッタとしてイリジウム錯体を含むブレンド材料を含む。

## 【0018】

様々な実施形態では、有機エレクトロルミネッセンストランジスタは、正孔注入副層、電子注入副層、及びパシベーション層からなる群から選択される1つ又は複数のさらなる層を含むことができる。一実施形態では、例として、ソース電極は、p型半導体材料の層と接触しており、ドレイン電極は、n型半導体材料の層と接触している。別の実施形態では、注入副層は、ソース電極及びp型若しくはn型半導体材料の層の間に介在することができ、かつ/又は注入副層は、ドレイン電極及びp型又はn型半導体材料の層の間に介在する。

30

## 【0019】

本教示の上記及び他のフィーチャ及び利点は、下記の図、記載、実施例、及び特許請求の範囲からより明らかに理解される。出願時の特許請求の範囲は、本明細書の不可欠な部分であり、参照により本明細書に組み込まれている。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0020】

【図1】基板(1)、制御電極(2)、誘電体層(3);第1のタイプの半導体材料の層(4)、放出性材料の層(5)、第2のタイプの半導体材料の層(6)を含む放出性両極性チャネルを含むアセンブリ、並びに電子電極及び正孔電極(7及び7')を含む本教示の一実施形態による有機発光トランジスタ(OLET)の断面図である。

40

【図2】図1において示すアーキテクチャを有し、かつp型半導体材料として式(P-1)によって表されるBTBT化合物を組み込んでいる第1の例示的なOLETから得られるように、異なる値のゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ でのドレイン-ソース電圧 $V_{DS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図3】第1の例示的なOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセン

50

ス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図4】第1の例示的なOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率EQE(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図5】図1において示すアーキテクチャを有し、かつp型半導体材料として式(P-1)によって表される異なるBTBT化合物を組み込んでいる第2の例示的なOLETから得られるように、異なる値のゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ でのドレイン-ソース電圧 $V_{DS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

10

【図6】第2の例示的なOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図7】第2の例示的なOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率EQE(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図8】図1において示すアーキテクチャを有し、かつBTBT化合物と構造的に同様であるが式(P-1)内ではない比較上の正孔輸送化合物(DNTT)をp型半導体材料として組み込んでいる第1の比較上のOLETから得られるように、異なる値のゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ でのドレイン-ソース電圧 $V_{DS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

20

【図9】第1の比較上のOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図10】第1の比較上のOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率EQE(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

30

【図11】図1において示すアーキテクチャを有し、かつ式(P-1)内ではない文献において従前に報告されている比較上の正孔輸送化合物をp型半導体材料として組み込んでいる第2の比較上のOLETから得られるように、異なる値のゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ でのドレイン-ソース電圧 $V_{DS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図12】第2の比較上のOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

40

【図13】第2の比較上のOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率EQE(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図14】図1において示すアーキテクチャを有し、かつ放出性層として有機カルバゾールをベースとするホストマトリックス化合物及びイリジウム錯体ゲストエミッタを含むブレンド材料を組み込んでいる第3の例示的なOLETから得られるように、異なる値のゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ でのドレイン-ソース電圧 $V_{DS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

50

【図15】第3の例示的なOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図16】第3の例示的なOLETから得られるように、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率EQE(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)をプロットする図である。

【図17】本教示によらない第3の比較上のエレクトロルミネンストランジスタについての、異なる値のゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ でのドレイン-ソース電圧 $V_{DS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフである。具体的には、放出性層は、金属錯体ホストマトリックス化合物及び白金をベースとするゲストエミッタを含むブレンド材料から構成される。  
10

【図18】第3の比較上のエレクトロルミネンストランジスタについての、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、ドレイン-ソース電流 $I_{DS}$ (左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフである。

【図19】第3の比較上のエレクトロルミネンストランジスタについての、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフである。  
20

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0021】

図1は、本教示の一実施形態による有機エレクトロルミネンストランジスタ(OLET)の構造を示す。この特定の実施形態では、OLETは、支持層として作用する基板1を含み、この上に制御(又はゲート)電極として作用し、かつ透明電極であり得る電極2、及び誘電材料の層3が存在し、この上に発光アセンブリが存在する。発光アセンブリは一般に、第1のタイプの電荷キャリア輸送層4、放出性材料の層5、及び第2のタイプの電荷キャリア輸送層6を含む。第1のタイプの電荷キャリア輸送層4は、例えば、p型半導体材料でできた正孔輸送層でよく、第2のタイプの電荷キャリア輸送層6は、n型半導体材料でできた電子輸送層でよいが、逆のアセンブリ(層4は、n型半導体材料でできた電子輸送層であり、層6は、p型半導体材料でできた正孔輸送層である)をまた使用することができる。発光アセンブリ中に電荷キャリアを注入するために、正孔電極及び電子電極7及び7'を提供する。示した実施形態では、正孔電極及び電子電極は、第2のタイプの電荷キャリア輸送層6と直接接觸している。特定の実施形態(図示せず)によれば、注入副層(すなわち、正孔注入副層)は、層6がp型半導体材料の層である実施形態において正孔電極及び層6の間に介在させることができる。層6がn型半導体材料の層である実施形態では、注入副層(すなわち、電子注入副層)を、電子電極及び層6の間に介在させることができる。  
30

##### 【0022】

当業者が理解するように、ゲート電圧の極性によって、正孔電極及び電子電極は、それぞれ、ソース電極及びドレイン電極として機能することができる(又は逆もまた同様)。手短に言えば、ソース電極は典型的には接地している(0V)ため、ゲート電圧が-100Vであり、ドレイン電圧が-80Vである場合、ソース電極は正孔電極であり(負バイアスされている)、ドレイン電極は電子電極である(正バイアスされている)。他方、ゲート電圧が+100Vである場合、ソース電極は、電子電極であり、ドレイン電極は、正孔電極である。OLETは典型的には、ゲート電極へ第1の適当なバイアス電圧を印加し、電子電極からの電子及び正孔電極からの正孔を注入することによって操作し、その間、後者の2つの電極の間の第2のバイアス電圧を維持する。一部の実施形態では、第1及び第2のバイアス電圧は、連続的電圧であり得る。他の実施形態では、第1及び第2のバイアス電圧は、パルス電圧であり得る  
40  
50

。

## 【0023】

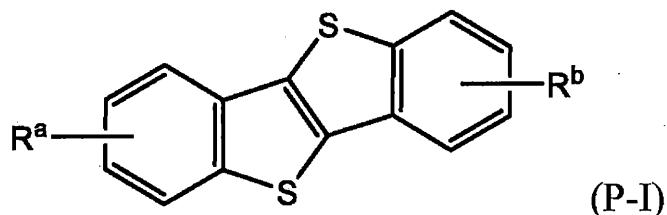
図1において示す底部ゲートアーキテクチャの代わりに、OLETは、トップ-ゲートアーキテクチャを有することができる。更に、正孔電極及び電子電極並びに/又は制御電極は、国際公開第W02014/035841号に記載されているように代替の配置を有することができる。具体的には、正孔電極及び電子電極は、発光アセンブリの異なる層と接触することができる。例えば、正孔電極は、p型半導体材料の層と接触することができ、一方、電子電極は、n型半導体材料の層と接触することができる。更に、国際公開第W02013/018002号、同第W02013/017999号、同第W02014/035842号、及び同第W02013/018000号に記載されているように、さらなる制御電極並びに/又は誘電材料、放出性材料、及び/若しくは電荷キャリア輸送材料のさらなる層を、OLET中に組み込むことができる。任意選択で、放出性両極性チャネルの上面を覆うパシベーション層が存在することができる。 10

## 【0024】

これらに限定されないが、図1において示す実施形態によって構成したもの等の上記の有機エレクトロルミネッセンストランジスタは、p型半導体材料が、式(P-I)

## 【0025】

## 【化2】



10

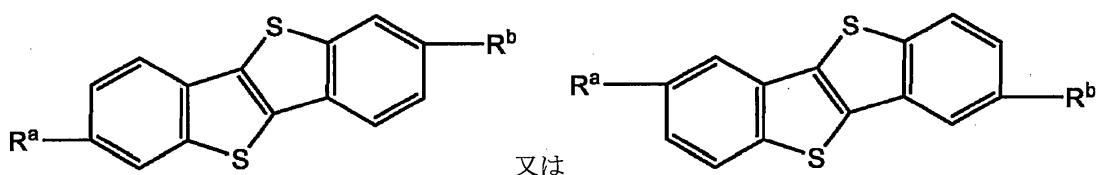
20

## 【0026】

のベンゾチエノ-ベンゾチオフェン(BTBT)化合物を含む場合、増進された発光を有することができる。これを本発明者らは見出したが、式中、R<sup>a</sup>及びR<sup>b</sup>は、H、C<sub>1</sub>～<sub>18</sub>アルキル基、及びC<sub>6</sub>～<sub>14</sub>アリール基からなる群から独立に選択される。好ましい実施形態では、ベンゾチエノ-ベンゾチオフェン化合物は、式 30

## 【0027】

## 【化3】



## 【0028】

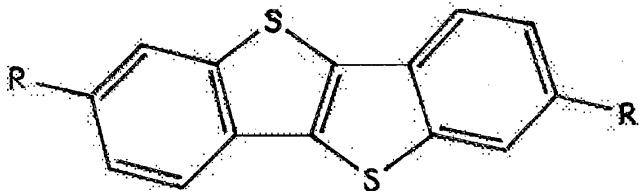
を有することができ、式中、R<sup>a</sup>及びR<sup>b</sup>は、同一のC<sub>1</sub>～<sub>18</sub>アルキル基、好ましくは、同一のC<sub>3</sub>～<sub>12</sub>アルキル基、最も好ましくは、同一の直鎖状C<sub>3</sub>～<sub>12</sub>アルキル基である。特定の非限定的例は、2,7-ジオクチル[1]ベンゾ-チエノ[3,2-b][1]ベンゾチオフェン(C8-BTBT)及び2,7-ジペンチル[1]ベンゾ-チエノ[3,2-b][1]ベンゾチオフェン(C5-BTBT)を含む。 40

## 【0029】

代わりの実施形態では、ベンゾチエノ-ベンゾチオフェン化合物は、式

## 【0030】

## 【化4】



## 【0031】

を有することができ、式中、各Rは、フェニル基でよい。

10

## 【0032】

様々なp型有機半導体化合物は当技術分野において公知である(例えば、R. Capelliら、「Organic light-emitting transistors with an efficiency that outperforms the equivalent light-emitting diodes」、Nature Materials、第9巻、496～503頁(2010)において報告されている5,5'-ビス(3-ヘキシル-2-チエニル)-2,2'-ビチオフェン(DH4T))が、3層放出性両極性チャネルを有するOLETデバイスにおけるp型半導体材料としてのBTBT化合物の使用は、高いエレクトロルミネセンス及び効率の同時の達成をもたらすことができることを本発明者らは驚いたことに見出した。一方で、従前に報告されたデバイスにおいて、他のp型半導体材料、例えば、DH4Tの使用は、必然的に低効率を代償にしてエレクトロルミネセンスを最適化するか、又は低エレクトロルミネセンスを代償にして効率を最適化することができたのみであったが、下記の実施例において示すような同じ操作条件下で、エレクトロルミネセンス及び効率の両方を最適化することができなかった。

20

## 【0033】

ジナフト[2,3-b:2',3'-f]チエノ[3,2-b]チオフェン(DNTT)は、文献において報告されてきたようにこれらの構造的な類似性及び匹敵する正孔移動度を考えると、BTBT化合物と非常に同様であると考えられることが多いが、3層放出性両極性チャネルにおいてp型半導体材料としてDNTT化合物を組み込んだOLETデバイスは、本教示によるOLETデバイスと比較して有意により低いエレクトロルミネセンスを有することを本発明者らはまた予想外に見出した。

30

## 【0034】

放出性材料が有機カルバゾールをベースとするホストマトリックス化合物及びイリジウム錯体ゲストエミッタのブレンドを含む場合、更に増進された放出性特性をまた得ることができる。更に具体的には、有機カルバゾールをベースとするホストマトリックス化合物は、式(H-1)(TCTA)、式(H-2)(NP4-CBP)、又は式(H-3)(CBP又は4,4'-ビス(N-カルバゾリル)-1,1'-ビフェニル)によって表すことができ、ゲストエミッタは、下記に提供するような式(G-1)(Flrpic)、式(G-2)(Ir(ppy))、又は式(G-3)(Ir(piq)<sub>3</sub>)によって表される。様々な実施形態では、放出性材料の層は、5%～22%のゲストエミッタのその総質量を含むことができる。

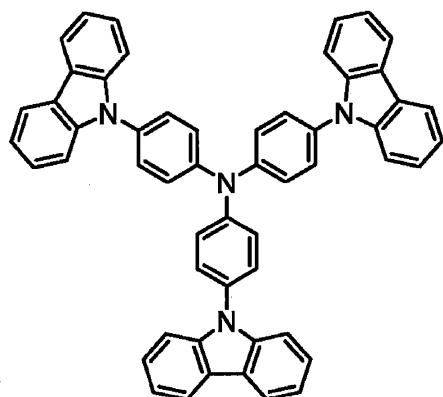
## 【0035】

例えば、放出性材料が青色発光性である実施形態では、放出性材料は、(H-1)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-1)の青色エミッタのブレンド：

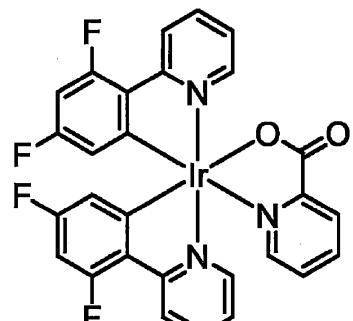
40

## 【0036】

【化5】



(H-1)



(G-1)

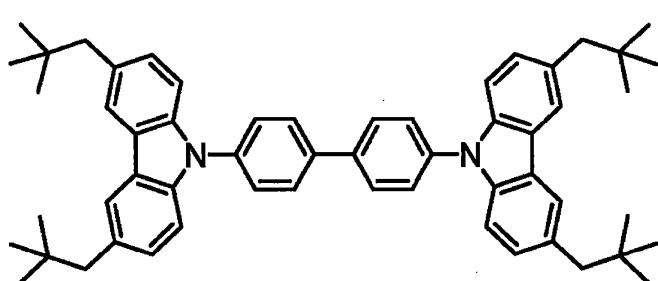
10

【0037】

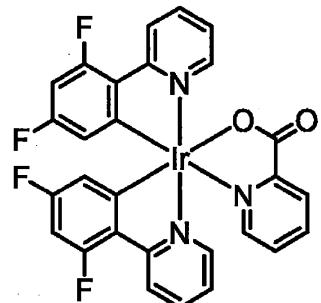
又は式(H-2)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-1)の青色エミッタのブレンド

【0038】

【化6】



(H-2)



(G-1)

20

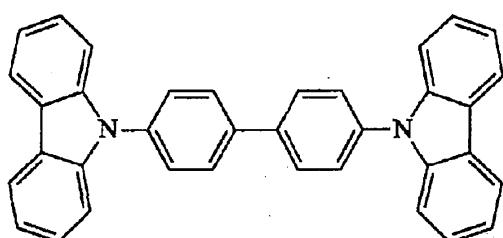
30

【0039】

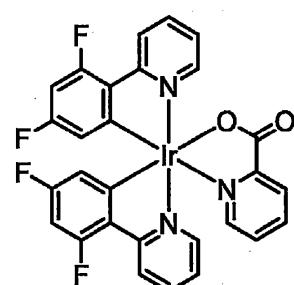
又は式(H-3)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-1)の青色エミッタのブレンドを含むことができる。

【0040】

【化7】



(H-3)



(G-1).

40

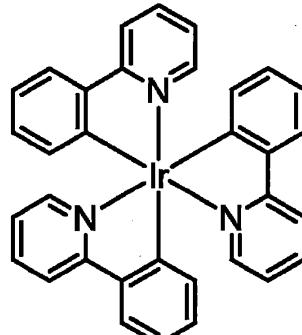
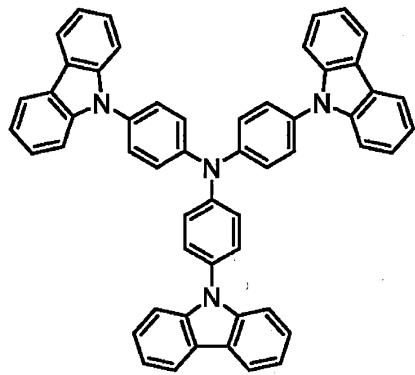
50

## 【0041】

放出性材料が緑色発光性である実施形態では、放出性材料は、式(H-1)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-2)の緑色エミッタのブレンド：

## 【0042】

## 【化8】



10

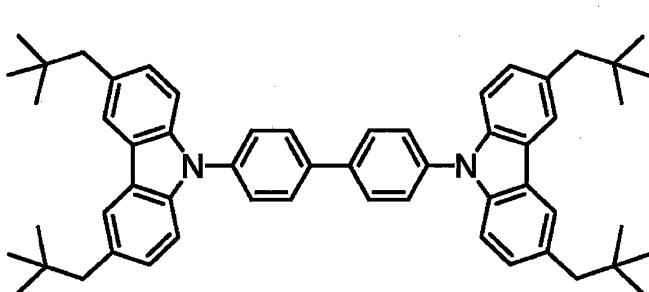
## 【0043】

又は式(H-2)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-2)の緑色エミッタのブレンド

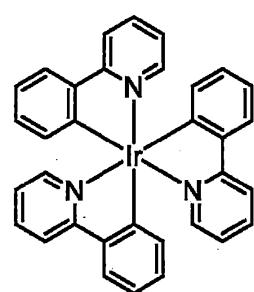
20

## 【0044】

## 【化9】



(H-2)



(G-2)

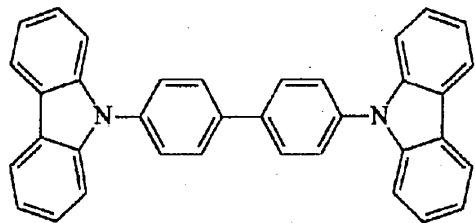
30

## 【0045】

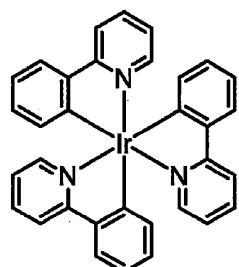
又は式(H-3)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-2)の緑色エミッタのブレンドを含むことができる。

## 【0046】

【化10】



(H-3)



(G-2)

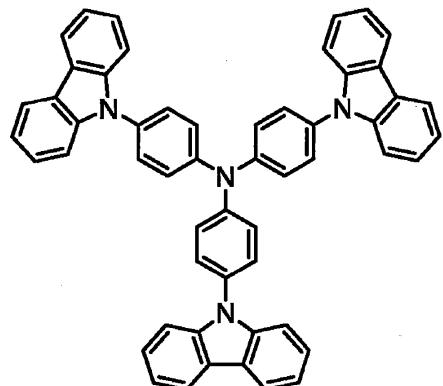
10

【0047】

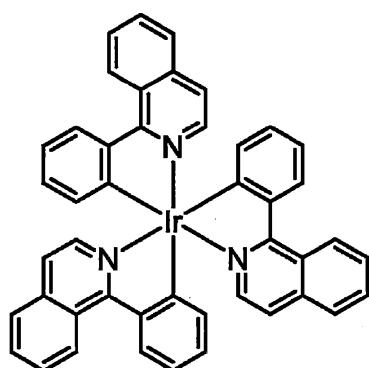
放出性材料が赤色発光性である実施形態では、放出性材料は、式(H-1)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-3)の赤色エミッタのブレンド：

【0048】

【化11】



(H-1)



(G-3)

20

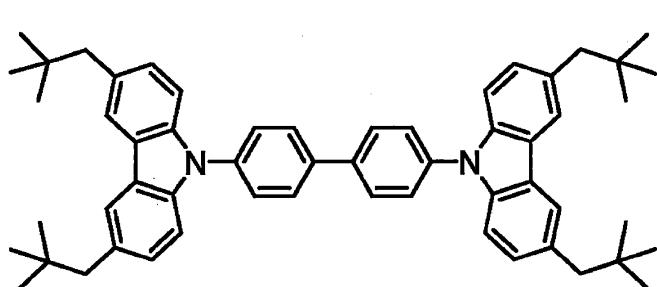
30

【0049】

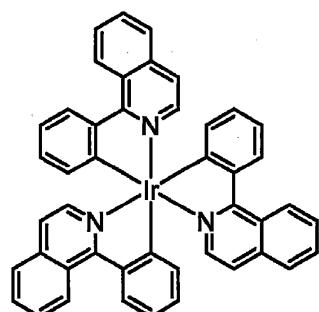
又は式(H-2)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-3)の赤色エミッタのブレンド

【0050】

【化12】



(H-2)



(G-3)

40

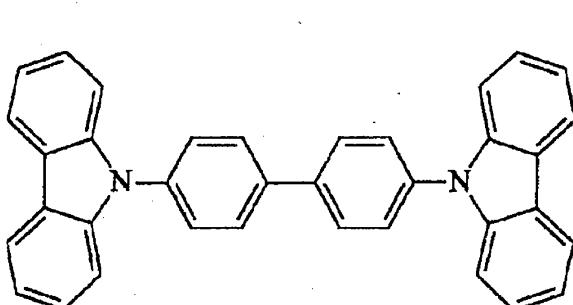
【0051】

50

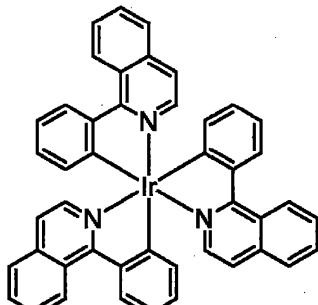
又は式(H-3)のアリールアミンマトリックス化合物及び式(G-3)の赤色エミッタのブレンドを含むことができる。

【 0 0 5 2 】

【化 1 3】



(H-3)



(G-3).

【 0 0 5 3 】

しかし、放出性材料は、当技術分野において公知の様々な単一成分のホスト-放出材料、並びにホストマトリックス化合物、及びゲスト蛍光又はリン光エミッタを含むブレンド材料から選択することができる。適切な有機エレクトロルミネッセンス発光材料は、OLED用途において使用してきたものを含む。例えば、代替の放出性材料は、ホストマトリックス化合物としてトリス(8-ヒドロキシキノリナト)アルミニウム( $Alq_3$ )、及びゲストエミッタとして4-(ジシアノメチレン)-2-メチル-6-(p-ジメチルアミノスチリル)-4H-ピラン(DCM)のブレンドであり得る。

【 0 0 5 4 】

ホスト材料、ゲストエミッタ、及び单一成分のホスト-放出材料の様々な例は、Chaskarら、「Bipolar Host Materials:A Chemical Approach for Highly Efficient Electrophosphorescent Devices」、Adv. Mater.、23(34):3876 ~ 3895頁(2011);Taoら、「Organic host materials for phosphorescent organic light-emitting diodes」、Chem. Soc. Rev.、40(5):2943 ~ 2970頁(2011);Sasabeら、「Multifunctional Materials in High-Performance OLEDs:Challenges for Solid-State Lighting」、Chem. Mater.、23(3):621 ~ 630頁(2011);Tsuboi、「Recent advances in white organic light emitting diodes with a single emissive dopant」、J. Non-Cryst. Solids、356(37 ~ 40):1919 ~ 1927頁(2011);Singhら、「Bio-organic optoelectronic devices using DNA」、Adv. Polym. Sci.、223(Organic Electronics):189 ~ 212頁(2010);Kappaunら、「Phosphorescent organic light-emitting devices:working principle and iridium based emitter materials」、Int. J. Mol. Sci.、9(8):1527 ~ 1547頁(2008);Tokitoら、「Phosphorescent organic light-emitting devices:triplet energy management」、Electrochemistry、76(1):24 ~ 31頁(2008);Chen、「Evolution of Red Organic Light-Emitting Diodes:Materials and Devices」、Chem. Mater.、16(23):4389 ~ 4400頁(2004);Liuら、「Polyfluorenes with on-chain metal centers」、Adv. Poly. Sci.、212(Polyfluorenes):125 ~ 144頁(2008);Danevら、「Vacuum deposited polyimide - a perfect matrix for nanocomposite materials」、J. Opto electron. Adv. Mater.、7(3):1179 ~ 1190頁(2005);米国特許第5,747,183号;米国特許第5,683,823号;米国特許第6,626,722号;米国特許第7,074,502号;米国特許第7,671,241号;及び米国特許第7,772,762号に記載されている。例示するために、いくつかの例示的なホスト-放出材料は、カルバゾール誘導体、フルオレン誘導体、又は9-ナフチルアントラセン誘導体をベースとするリン光ホスト-放出化合物、及び有機金属キレートをベースとする蛍光ホスト-放出化合物、例えば、トリス(8-キノリノール)アルミニウム錯体を含む。いくつかの例示的なホスト材料は、ポリマー、例えば、ポリ(p-フェニレンビニレン)

10

20

30

40

50

、ポリ(アルキルフェニルフェニルビニレン)、ポリ(アルキルフェニルフェニルビニレン-co-アルコキシフェニルビニレン)、ポリフルオレン、ポリ(n-ビニルカルバゾール)、及びそのコポリマーを含む。オキサジアゾール又はベンゾイミダゾールとのハイブリッドを含む様々なカルバゾール化合物、トリフェニルアミン化合物はまた、ホスト材料として使用されてきた。

## 【0055】

いくつかの例示的なゲストエミッタ(発光染料又はドーパント)は、蛍光染料、例えば、様々なペリレン誘導体、アントラセン誘導体、ルブレン誘導体、カルバゾール誘導体、フルオレン誘導体、及びキナクリドン誘導体、及びリン光エミッタ、例えば、Ir、Os、又はPtを含めた様々な遷移金属錯体を含む。出願人によって行われた試験は、放出性層がTCTA:Ir(piq)<sub>3</sub>、NP4-CBP:Ir(piq)<sub>3</sub>、NP4-CBP:Ir(ppy)、NP4-CBP:Flrpicから選択されるとき、発光フィギュアが更に増進されることを示した。一実施形態によれば、放出性材料の層は、放出性層の総質量に対して5~22%を構成するある濃度のドーピング材料(例えば、上記の遷移金属錯体の1つ)を含有する。

10

## 【0056】

ある特定の実施形態では、n型半導体材料は、ビス(p-フルオロアルキル)フェニル-置換オリゴマーチオフェン化合物を有することができ、オリゴマーチオフェン化合物は、2、3、4、5又は6のチオフェン部分を有することができ、任意選択で、チオフェン部分の2つ以上は、縮合することができる。例えば、ビス(p-フルオロアルキル)フェニル-置換オリゴマーチオフェン化合物は、ジチオフェン、クアテルチオフェン、及びチエノチオフェンからなる群から選択することができる。

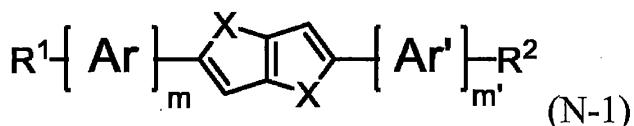
20

## 【0057】

上記の有機エレクトロルミネッセンストランジスタは、n型半導体材料が、式(N-1)

## 【0058】

## 【化14】



30

## 【0059】

によって表される電子輸送化合物を含む場合、増進された放出性特性を有することができるることを本発明者らは見出したが、式中、

Xは、S、O、及びSeからなる群から選択され、

Ar及びAr'は、出現する毎に独立に、同一若しくは異なる単環式アリール基又はヘテロアリール基であり、

R<sup>1</sup>及びR<sup>2</sup>は、独立に、-CN、R<sup>3</sup>、-C(O)R<sup>4</sup>、及び-C(O)OR<sup>4</sup>からなる群から選択される同一若しくは異なる電子吸引基であり、R<sup>3</sup>は、1個又は複数のF又はCN基で置換されているアルキル基、アルケニル基、又はアルキニル基であり、R<sup>4</sup>は、1個又は複数のF又はCN基で任意選択で置換されているアルキル基、アルケニル基、又はアルキニル基であり、

40

m及びm'は、独立に、1又は2である。

## 【0060】

例えば、R<sup>1</sup>及びR<sup>2</sup>は、R<sup>3</sup>でよく、これは、(i)一般式C<sub>x</sub>F<sub>y</sub>H<sub>2x+1-y</sub>又はC<sub>x</sub>CN<sub>y</sub>H<sub>2x+1-y</sub>を有する1個又は複数のF又はCN基(ただし、xは、1~20の範囲の整数であり、yは、1~41の範囲の整数であり、y=2x+1である)で置換されているC<sub>1~20</sub>アルキル基;(ii)一般式C<sub>x</sub>F<sub>y</sub>H<sub>2x-1-y</sub>又はC<sub>x</sub>CN<sub>y</sub>H<sub>2x-1-y</sub>を有する1個又は複数のF又はCN基(ただし、xは、2~20の範囲の整数であり、yは、1~39の範囲の整数であり、y=2x-1である)で置換されているC<sub>2~20</sub>アルケニル基;(iii)一般式C<sub>x</sub>F<sub>y</sub>H<sub>2x-3-y</sub>又はC<sub>x</sub>CN<sub>y</sub>H<sub>2x-3-y</sub>を有する1個又は複数のF又はCN基(ただし、xは、2~20の範囲の整数であり、yは、1~37の範囲の整数であり、y=2x-3である)

50

で置換されているC<sub>2</sub> ~ 20アルキニル基からなる群から選択される。ある特定の実施形態では、R<sup>1</sup>及びR<sup>2</sup>は、一般式C<sub>x</sub>F<sub>y</sub>H<sub>2x+1-y</sub>を有する1個又は複数のF基で置換されているC<sub>1</sub> ~ 20アルキル基でよく、ただし、xは、1 ~ 20の範囲の整数であり、yは、1 ~ 41の範囲の整数であり、y = 2x+1である。特定の実施形態では、R<sup>1</sup>及びR<sup>2</sup>は、一般式C<sub>n</sub>F<sub>2n+1</sub>を有するC<sub>1</sub> ~ 18ペルフルオロアルキル基でよく、ただし、nは、1 ~ 20の範囲の整数である。

## 【0061】

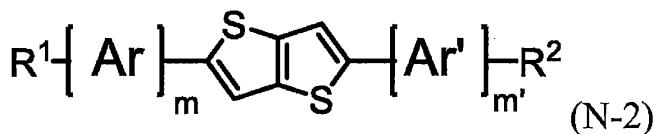
他の実施形態では、R<sup>1</sup>及びR<sup>2</sup>は、-C(O)R<sup>4</sup>又は-C(O)OR<sup>4</sup>でよく、式中、R<sup>4</sup>は、(i)H、(ii)一般式C<sub>x</sub>F<sub>y</sub>H<sub>2x+1-y</sub>又はC<sub>x</sub>CN<sub>y</sub>H<sub>2x+1-y</sub>を有する1個又は複数のF又はCN基(ただし、xは、1 ~ 20の範囲の整数であり、yは、0 ~ 41の範囲の整数であり、y = 2x+1である)で任意選択で置換されているC<sub>1</sub> ~ 18アルキル基、(iii)一般式C<sub>x</sub>F<sub>y</sub>H<sub>2x-1-y</sub>又はC<sub>x</sub>CN<sub>y</sub>H<sub>2x-1-y</sub>を有する1個又は複数のF又はCN基(ただし、xは、2 ~ 20の範囲の整数であり、yは、0 ~ 39の範囲の整数であり、y = 2x-1である)で任意選択で置換されているC<sub>2</sub> ~ 18アルケニル基、(iv)一般式C<sub>x</sub>F<sub>y</sub>H<sub>2x-3-y</sub>又はC<sub>x</sub>CN<sub>y</sub>H<sub>2x-3-y</sub>を有する1個又は複数のF又はCN基(ただし、xは、2 ~ 20の範囲の整数であり、yは、0 ~ 37の範囲の整数であり、y = 2x-3である)で置換されているC<sub>2</sub> ~ 18アルキニル基からなる群から選択される。

## 【0062】

好ましい実施形態では、電子輸送化合物は、式(N-2)

## 【0063】

## 【化15】



## 【0064】

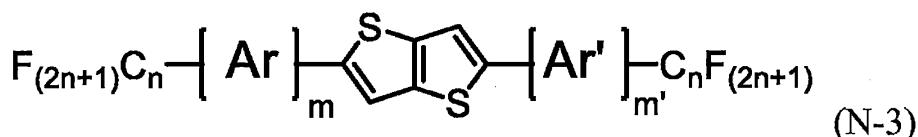
によって表すことができ、式中、Ar、Ar'、R<sup>1</sup>、R<sup>2</sup>、m及びm'は、本明細書に定義されている通りである。

## 【0065】

より好ましい実施形態では、電子輸送化合物は、式(N-3)

## 【0066】

## 【化16】



## 【0067】

によって表すことができ、式中、nは、1 ~ 12(両端を含む)、好ましくは、4 ~ 12(両端を含む)の範囲の整数であり、Ar、Ar'、m及びm'は、本明細書に定義されている通りである。

## 【0068】

上記の実施形態のいずれかにおいて、Ar及びAr'は、出現する毎に独立に、フェニル基、チエニル基、チアゾリル基、イソチアゾリル基、チアジアゾリル基、フリル基、オキサゾリル基、イソオキサゾリル基、オキサジアゾリル基、ピロリル基、トリアゾリル基、テトラゾリル基、ピラゾリル基、イミダゾリル基、ピリジル基、ピリミジル基、ピリダジニル基、及びピラジニル基からなる群から選択することができる。

## 【0069】

特定の実施形態では、電子輸送化合物は、式(N-4)

## 【0070】

10

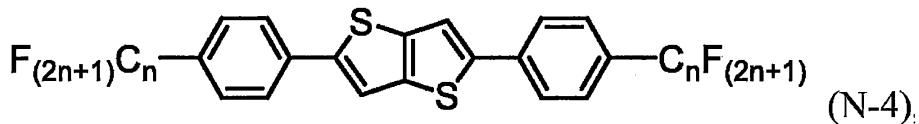
20

30

40

50

【化17】



【0071】

によって表すことができ、式中、nは、1~12(両端を含む)、好ましくは、4~12(両端を含む)の範囲の整数である。

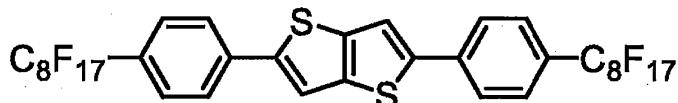
10

【0072】

1つの特定の実施形態では、電子輸送化合物は、2,5-ビス(4-(ペルフルオロオクチル)フェニル)チエノ[3,2-b]チオフェン(N-F2-6)でよい。

【0073】

【化18】



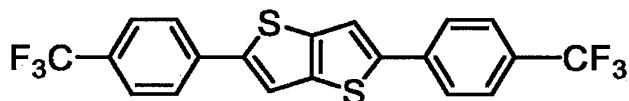
20

【0074】

別の特定の実施形態では、電子輸送化合物は、2,5-ビス(4-(トリフルオロメチル)フェニル)チエノ[3,2-b]チオフェン(NF2-6-CF3)でよい。

【0075】

【化19】



30

【0076】

誘電体層は、無機酸化物又は窒化物、分子誘電体、ポリマー誘電体、及びこれらの組合せからなる群から選択される電気絶縁材料でよい。誘電体層が金属酸化物又は窒化物である実施形態では、このような誘電材料は、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_x$ 、 $\text{Al}$ をドープした $\text{ZrO}_x$ 、及び $\text{HfO}_x$ からなる群から選択することができる。誘電体層が分子誘電体である実施形態では、このような誘電体は、自己組織化ナノ誘電体でよい。誘電体層がポリマー誘電体である実施形態では、このような誘電材料は、ポリオレフィン、ポリアクリレート、ポリイミド、ポリエステル、及びフルオロポリマーからなる群から選択することができる。ハイブリッドの有機/無機材料をまた使用し得る。好ましい実施形態では、誘電体層は、有機誘電体、特に、ポリマー誘電体を含む。

40

【0077】

本教示の別の態様は、少なくとも1つの誘電体層、少なくとも1つの制御電極、放出性両極性チャネルを含むアセンブリ、少なくとも1つのソース電極及び少なくとも1つのドレイン電極を含む有機エレクトロルミネッセンストランジスタを対象とし、

誘電体層は、制御電極及びアセンブリの間に配置されており、

両極性チャネルは、n型半導体材料の少なくとも1つの層、p型半導体材料の少なくとも1つの層、並びにp型及びn型半導体材料の層の間に配置されている少なくとも1つの放出性材料の放出性層を含み、

50

放出性層は、ホストマトリックス化合物として有機カルバゾール誘導体、及びゲストエミッタとしてイリジウム錯体を含むブレンド材料から構成される。

【0078】

例えば、上記のように、有機カルバゾールをベースとするホストマトリックス化合物は、式(H-1)(TCTA)、式(H-2)(NP4-CBP)、又は式(H-3)(CBP又は4,4'-ビス(N-カルバゾリル)-1,1'-ビフェニル)によって表すことができ、ゲストエミッタは、式(G-1)(Flrpic)、式(G-2)(Ir(ppy))、又は式(G-3)(Ir(piq)<sub>3</sub>)によって表すことができる。

【0079】

様々なホスト-ゲストエミッタ系は当技術分野において公知ではあるが、3層放出性両極性チャネルを有するOLETデバイスにおいて放出性材料として有機カルバゾールをベースとするホストマトリックス化合物及びイリジウム錯体ゲストエミッタを含むブレンド材料の使用は、高いエレクトロルミネセンス及び効率を同時に達成することができることを本発明者らは驚いたことに見出した。一方で、従前に報告されたデバイスにおいて、イリジウムをベースとしない金属錯体ゲストエミッタと組み合わせた金属錯体ホストマトリックス化合物(例えば、Alq<sub>3</sub>)の使用は、必然的に低効率を代償にしてエレクトロルミネセンスを最適化するか、又は低エレクトロルミネセンスを代償にして効率を最適化することができたのみであったが、下記の実施例において示すような同じ操作条件下でエレクトロルミネセンス及び効率の両方は可能でなかった。

10

【0080】

本教示によるOLETは、当技術分野において公知のプロセスを使用して製作することができる。例えば、有機層(例えば、特定の実施形態の放出性材料の層、p型及びn型半導体材料の層、並びに有機誘電体層)は、気相プロセス、例えば、化学蒸着又は物理蒸着、及び液相プロセス、例えば、印刷(例えば、アニリン印刷、平版印刷、グラビア印刷、インクジェット、パッド印刷等)、ドロップキャスティング、スロットコーティング、ディップコーティング、ドクターブレーディング、ロール塗布、又はスピンドルコーティングによって形成することができる。

20

【0081】

正孔/電子及びゲート電極は、通常の加工技術を使用して形成させることができる。例えば、電気接点のいずれかは、マスクを通して蒸着させることができるか、又は蒸着させ、次いで、エッチング若しくはリフトオフすることができる(光リソグラフィ)。適切な蒸着技術は、同じ又は異なる金属又は金属合金、例えば、銅、アルミニウム、金、銀、モリブデン、白金、パラジウム、銅、チタン、クロム、及び/又はニッケル、透明導電酸化物、例えば、スズをドープした酸化インジウム(ITO)、又は電気伝導性ポリマー、例えば、ポリエチレンチオキシチオフェン(PEDOT)からの電着、気化、スパッタリング、電気メッキ、コーティング、レーザーアブレーション及びオフセット印刷を含む。電荷キャリア注入は、それぞれ、正孔輸送副層及び電子輸送副層への電荷キャリア型の注入に対する低障壁を有する注入電極(正孔電極又は電子電極)のための材料の使用によって促進することができる。例えば、電子電極は、Au、Ca、Mg、Al、In、及びペロブスカイト型マンガン酸化物( $RE_{1-x}A_xMnO_3$ 、RE=希土類元素、例えば、La、Nd、Pr等、A=アルカリ金属)からなる群から選択される1つ又は複数の素子を含むことができる。正孔電極は、Au、酸化インジウムスズ、Cr、Cu、Fe、Ag、ポリ(スチレンスルホネート)と組み合わせたポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)(PEDOT:PSS)、及びペロブスカイト型マンガン酸化物( $RE_{1-x}A_xMnO_3$ )からなる群から選択される少なくとも1種の材料を含むことができる。ある特定の実施形態では、正孔電極及び電子電極は、正孔注入及び電子注入の両方に有利に働く異なる仕事関数を有する伝導体でできてもよい。

30

【0082】

存在する場合、正孔注入及び電子注入副層は、チオラート、ホスホネート、又は脂肪族若しくは芳香族カルボキシレートの自己組織化によって;様々な電荷移動錯体及び他の複素環式芳香族又は有機金属錯体の熱による蒸発によって;或いは様々な金属酸化物、フッ化物、又はカーボネートの熱による蒸発又はスパッタリングによって調製することができ

40

50

る。正孔注入副層及び電子注入副層は、正孔電極及び電子電極のエネルギー準位、並びにそれぞれ、正孔輸送副層及び電子輸送副層中への注入のために必要とされるエネルギー準位の間の電子準位の階段を提供する材料でできてもよい。例えば、Liら、「Low operating-voltage and high power-efficiency OLED employing Mo<sub>3</sub>-doped CuPc as hole injection layer」、Displays、33(1):17 ~ 20頁(2012);Wenら、「Self-assembled of conducting polymeric nanoparticles and its application for OLED hole injection layer」、Energy Procedia、12:609 ~ 614頁(2011);Zhangら、「Role of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> as a p-dopant in improving the hole injection and transport of organic light-emitting devices」、IEEE Journal of Quantum Electronics、47(5):591 ~ 596頁(2011);Chooら、「Luminescence and charge transport mechanisms for phosphorescent organic light-emitting devices fabricated utilizing a tris(2-phenylpyridine)iridium-doped N,N'-dicarbazolyl-3, 5 -benzene emitting layer」、Thin Solid Films、519(15):5253 ~ 5256頁(2011);Taoら、「Odd-even modulation of electrode work function with self-assembled layer:Interplay of energy barrier and tunneling distance on charge injection in organic light-emitting diodes」、Organic Electronics、12(4):602 ~ 608頁(2011);Sungら、「AC Field-Induced Polymer Electroluminescence with Single Wall Carbon Nanotubes」、Nano Letters、11(3):966 ~ 972頁(2011);Qiaoら、「Controlling charge balance and exciton recombination by bipolar host in single-layer organic light-emitting diodes」、Journal of Applied Physics、108(3):034508/1 ~ 034508/8頁(2011);Khizar-ul-Haqら、「Blue organic light-emitting diodes with low driving voltage and enhanced power efficiency based on Mo<sub>3</sub> as hole injection layer and optimized charge balance」、Journal of Non-Crystalline Solids、356(20 ~ 22):1012 ~ 1015頁(2010);Qiら、「Analysis of metal-oxide-based charge generation layers used in stacked organic light-emitting diodes」、Journal of Applied Physics、107(1):014514/1-014514/8頁(2011);Huangら、「Materials and interface engineering in organic light-emitting diodes」、Organic Electronics、243 ~ 261頁(2010);Helanderら、「Comparison of Alq<sub>3</sub>/alkali-metal fluoride/Al cathodes for organic electroluminescent devices」、Journal of Applied Physics、104(9):094510/1 ~ 094510/6頁(2008);Roy Choudhuryら、「LiF as an n-dopant in tris(8-hydroxyquinoline) aluminum thin films」、Advanced Materials、20(8):1456 ~ 1461頁(2008);Vaccaら、「Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(4-styrenesulfonate) ratio:Structural, physical and hole injection properties in organic light emitting diodes」、Thin Solid Films、516(12):4232 ~ 4237頁(2008);Yangら、「Improved fabrication process for enhancing light emission in single-layer organic light-emitting devices doped with organic salt」、Japanese Journal of Applied Physics、47(2, Pt. 1):1101 ~ 1103頁(2008);Kimら、「UV-ozone surface treatment of indium-tin-oxide in organic light emitting diodes」、Journal of the Korean Physical Society、50(6):1858 ~ 1861頁(2007);Pratら、「Stable, highly efficient and temperature resistant organic light-emitting devices」、Japanese Journal of Applied Physics, Part 1:Regular Papers, Brief Communications & Review Papers、46(4A):1727 ~ 1730頁(2007);Luoら、「Improving the stability of organic light-emitting devices by using a hole-injection-tunable-anode-buffer-layer」、Journal of Applied Physics、101(5):054512/1 ~ 054512/4頁(2007);Matsushimaら、「Charge-carrier injection characteristics at organic/organic heterojunction interfaces in organic light-emitting diodes」、Chemical Physics Letters、435(4 ~ 6):327 ~ 330頁(2007);Kimら、「Controllable work function of Li-Al alloy nanolayers for organic light-emitting devices」、Advanced Engineering Materials、7(11):1023 ~ 1027頁(2005);Kato、「Designing Interfaces That Function to Facilitate Charge Injection in Organic Light-Emitting Diodes」、Journal of the American Chemical Society、127(33):11538 ~ 11539頁(2005);Veinotら、「Toward the Ideal Organic Light-Emitting Diode. The Versatility and U 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950 960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430 1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390 2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870 2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 2999 3000 3001 3002 3003 3004 3005 3006 3007 3008 3009 3010 3011 3012 3013 3014 3015 3016 3017 3018 3019 3020 3021 3022 3023 3024 3025 3026 3027 3028 3029 3030 3031 3032 3033 3034 3035 3036 3037 3038 3039 3040 3041 3042 3043 3044 3045 3046 3047 3048 3049 3050 3051 3052 3053 3054 3055 3056 3057 3058 3059 3060 3061 3062 3063 3064 3065 3066 3067 3068 3069 3070 3071 3072 3073 3074 3075 3076 3077 3078 3079 3080 3081 3082 3083 3084 3085 3086 3087 3088 3089 3090 3091 3092 3093 3094 3095 3096 3097 3098 3099 30999 31000 31001 31002 31003 31004 31005 31006 31007 31008 31009 310010 310011 310012 310013 310014 310015 310016 310017 310018 310019 310020 310021 310022 310023 310024 310025 310026 310027 310028 310029 3100210 3100211 3100212 3100213 3100214 3100215 3100216 3100217 3100218 3100219 3100220 3100221 3100222 3100223 3100224 3100225 3100226 3100227 3100228 3100229 31002210 31002211 31002212 31002213 31002214 31002215 31002216 31002217 31002218 31002219 31002220 31002221 31002222 31002223 31002224 31002225 31002226 31002227 31002228 31002229 310022210 310022211 310022212 310022213 310022214 310022215 310022216 310022217 310022218 310022219 310022220 310022221 310022222 310022223 310022224 310022225 310022226 310022227 310022228 310022229 3100222210 3100222211 3100222212 3100222213 3100222214 3100222215 3100222216 3100222217 3100222218 3100222219 3100222220 3100222221 3100222222 3100222223 3100222224 3100222225 3100222226 3100222227 3100222228 3100222229 31002222210 31002222211 31002222212 31002222213 31002222214 31002222215 31002222216 31002222217 31002222218 31002222219 31002222220 31002222221 31002222222 31002222223 31002222224 31002222225 31002222226 31002222227 31002222228 31002222229 310022222210 310022222211 310022222212 310022222213 310022222214 310022222215 310022222216 310022222217 310022222218 310022222219 310022222220 310022222221 310022222222 310022222223 310022222224 310022222225 310022222226 310022222227 310022222228 310022222229 3100222222210 3100222222211 3100222222212 3100222222213 3100222222214 3100222222215 3100222222216 3100222222217 3100222222218 3100222222219 3100222222220 3100222222221 3100222222222 3100222222223 3100222222224 3100222222225 3100222222226 3100222222227 3100222222228 3100222222229 31002222222210 31002222222211 31002222222212 31002222222213 31002222222214 31002222222215 31002222222216 31002222222217 31002222222218 31002222222219 31002222222220 31002222222221 31002222222222 31002222222223 31002222222224 31002222222225 31002222222226 31002222222227 31002222222228 31002222222229 310022222222210 310022222222211 310022222222212 310022222222213 310022222222214 310022222222215 310022222222216 310022222222217 310022222222218 310022222222219 310022222222220 310022222222221 310022222222222 310022222222223 310022222222224 310022222222225 310022222222226 310022222222227 310022222222228 310022222222229 3100222222222210 3100222222222211 3100222222222212 3100222222222213 3100222222222214 3100222222222215 3100222222222216 3100222222222217 3100222222222218 3100222222222219 3100222222222220 3100222222222221 3100222222222222 3100222222222223 3100222222222224 3100222222222225 3100222222222226 3100222222222227 3100222222222228 3100222222222229 31002222222222210 31002222222222211 31002222222222212 31002222222222213 31002222222222214 31002222222222215 31002222222222216 31002222222222217 31002222222222218 31002222222222219 31002222222222220 31002222222222221 31002222222222222 31002222222222223 31002222222222224 31002222222222225 31002222222222226 31002222222222227 31002222222222228 31002222222222229 310022222222222210 310022222222222211 310022222222222212 310022222222222213 310022222222222214 310022222222222215 310022222222222216 310022222222222217 310022222222222218 310022222222222219 310022222222222220 310022222222222221 310022222222222222 310022222222222223 310022222222222224 310022222222222225 310022222222222226 310022222222222227 310022222222222228 310022222222222229 3100222222222222210 3100222222222222211 3100222222222222212 3100222222222222213 3100222222222222214 3100222222222222215 3100222222222222216 3100222222222222217 3100222222222222218 3100222222222222219 3100222222222222220 3100222222222222221 3100222222222222222 3100222222222222223 3100222222222222224 3100222222222222225 3100222222222222226 3100222222222222227 3100222222222222228 3100222222222222229 31002222222222222210 31002222222222222211 31002222222222222212 31002222222222222213 31002222222222222214 31002222222222222215 31002222222222222216 31002222222222222217 31002222222222222218 31002222222222222219 31002222222222222220 31002222222222222221 31002222222222222222 31002222222222222223 31002222222222222224 31002222222222222225 31002222222222222226 31002222222222222227 31002222222222222228 31002222222222222229 310022222222222222210 310022222222222222211 310022222222222222212 310022222222222222213 310022222222222222214 310022222222222222215 310022222222222222216 310022222222222222217 310022222222222222218 310022222222222222219 310022222222222222220 310022222222222222221 310022222222222222222 310022222222222222223 310022222222222222224 310022222222222222225 310022222222222222226 310022222222222222227 310022222222222222228 310022222222222222229 3100222222222222222210 3100222222222222222211 3100222222222222222212 3100222222222222222213 3100222222222222222214 3100222222222222222215 3100222222222222222216 3100222222222222222217 3100222222222222222218 3100222222222222222219 3100222222222222222220 3100222222222222222221 3100222222222222222222 3100222222222222222223 3100222222222222222224 3100222222222222222225 3100222222222222222226 3100222222222222222227 3100222222222222222228 3100222222222222222229 31002222222222222222210 31002222222222222222211 31002222222222222222212 31002222222222222222213 31002222222222222222214 31002222222222222222215 31002222222222222222216 31002222222222222222217 31002222222222222222218 31002222222222222222219 31002222222222222222220 31002222222222222222221 31002222222222222222222 31002222222222222222223 31002222222222222222224 31002222222222222222225 31002222222222222222226 31002222222222222222227 31002222222222222222228 31002222222222222222229 310022222222222222222210 310022222222222222222211 310022222222222222222212 310022222222222222222213 310022222222222222222214 310022222222222222222215 310022222222222222222216 310022222222222222222217 310022222222222222222218 310022222222222222222219 310022222222222222222220 310022222222222222222221 310022222222222222222222 310022222222222222222223 310022222222222222222224 310022222222222222222225 310022222222222222222226 310022222222222222222227 310022222222222222222228 310022222222222222222229 3100222222222222222222210 3100222222222222222222211 3100222222222222222222212 3100222222222222222222213 3100222222222222222222214 3100222222222222222222215 3100222222222222222222216 3100222222222222222222217 3100222222222222222222218 3100222222222222222222219 3100222222222222222222220 3100222222222222222222221 3100222222222222222222222 3100222222222222222222223 3100222222222222222222224 3100222222222222222222225 3100222222222222222222226 3100222222222222222222227 3100222222222222222222228 3100222222222222222222229 31002222222222222222222210 31002222222222222222222211 31002222222222222222222212 31002222222222222222222213 31002222222222222222222214 31002222222222222222222215 31002222222222222222222216 31002222222222222222222217 31002222222222222222222218 31002222222222222222222219 31002222222222222222222220 31002222222222222222222221 31002222222222222222222222 31002222222222222222222223 31002222222222222222222224 31002222222222222222222225 31002222222222222222222226 31002222222222222222222227 31002222222222222222222228 31002222222222222222222229 310022222222222222222222210 310022222222222222222222211 310022222222222222222222212 310022222222222222222222213 310022222222222222222222214 310022222222222222222222215 310022222222222222222222216 310022222222222222222222217 310022222222222222222222218 310022222222222222222222219 310022222222222222222222220 310022222222222222222222221 310022222222222222222222222 310022222222222222222222223 310022222222222222222222224 310022222222222222222222225 310022222222222222222222226 310022222222222222222222227 310022222222222222222222228 310022222222222222222222229 3100222222222222222222222210 3100222222222222222222222211 3100222222222222222222222212 3100222222222222222222222213 3

tility of Interfacial Tailoring by Cross-Linked Siloxane Interlayers」、Accounts of Chemical Research、38(8):632～643頁(2005);Oyamadaら、「Extremely low-voltage driving of organic light-emitting diodes with a Cs-doped phenyldiphenylphosphine oxide layer as an electron-injection layer」、Applied Physics Letters、86(3):033503/1～033503/3頁(2005);Hughesら、「Electron-transporting materials for organic electroluminescent and electrophosphorescent devices」、Journal of Materials Chemistry、15(1):94～107頁(2005);D'Andradeら、「Efficient organic electrophosphorescent white-light-emitting device with a triple doped emissive layer」、Advanced Materials、16(7):624～628頁(2004);Kannoら、「Development of OLED with high stability and luminance efficiency by co-doping methods for full color displays」、IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics、10(1):30～36頁(2004);Hanら、「Transparent-cathode for top-emission organic light-emitting diodes」、Applied Physics Letters、82(16):2715～2717頁(2003);Tutisら、「Internal electric field and charge distribution in multilayer organic light-emitting diodes」、Journal of Applied Physics、93(8):4594～4602頁(2003);Mathaiら、「Controlled injection of holes into AlQ<sub>3</sub> based OLEDs by means of an oxidized transport layer」、Materials Research Society Symposium Proceedings、708(Organic Optoelectronic Materials, Processing and Devices):101～106頁(2002);Croneら、「Charge injection and transport in single-layer organic light-emitting diodes」、Applied Physics Letters、73(21):3162～3164頁(1998);及びParkら、「Charge injection and photooxidation of single conjugated polymer molecules」、Journal of the American Chemical Society、126(13):4116～7頁(2004)を参照されたい。  
 10  
 20

#### 【0083】

本教示によるOLETは、低温耐性を有するプラスチックの可撓性基板を含めた様々な基板上で制作することができる。このような可撓性の基板の例は、ポリエステル、例えば、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレート、ポリカーボネート;ポリオレフィン、例えば、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、及びポリスチレン;ポリフェニレンスルフィド類、例えば、ポリフェニレンスルフィド;ポリアミド;芳香族ポリアミド;ポリエーテルケトン;ポリイミド;アクリル樹脂;ポリメチルメタクリレート、並びにそのブレンド及び/又はコポリマーを含む。一部の実施形態では、基板は、剛性の透明基板、例えば、ガラス、石英及びVYCOR(登録商標)でよい。薄膜トランジスタ中で一般に使用される基板-ゲート材料をまた使用することができる。例には、ドープしたシリコンウエハー、ガラス上にスズをドープした酸化インジウム(ITO)、ポリイミド上にスズをドープした酸化インジウム又はmylarフィルム、単独又はポリマー上にコーティングされたアルミニウム又は他の金属、例えば、ポリエチレンテレフタレート、ドープしたポリチオフェン等が含まれる。  
 30

#### 【0084】

本開示のエレクトロルミネッセンストランジスタの性能及び縮小を最適化するために、様々な層の厚さを適合し得る。これに関しては、5～50nm、好ましくは、15～45nmを含むp型半導体材料の層の厚さを有することが好ましく、n型半導体材料の層の厚さは、30nm～60nmを含み得、放出性材料の層の厚さは、30nm～60nmを含み得る。  
 40

#### 【0085】

複数のOLETは、マトリックス中に配置され、ディスプレイデバイスを提供することができる。ディスプレイデバイスは、任意選択の駆動及びスイッチング素子、補償トランジスタ素子、コンデンサ、及び/又は発光ダイオードを含むことができる。特に、このような任意選択の駆動及びスイッチング素子、並びに補償トランジスタ素子は、有機電界効果トランジスタであり得る。

#### 【0086】

下記の例は、本開示を更に例示し、本開示の理解を促進するために提供し、本発明を限定することを決して意図しない。

## 【0087】

頭字語は、これらの例において特定の化合物を表すために使用される。下記の表1は、このような化合物のIUPAC名及び頭字語を提供する。

## 【0088】

## 【表1】

表1

C8-BTBT	2,7-ジオクチル[1]ベンゾ-チエノ[3,2-b][1]ベンゾチオフェン
C5-BTBT	2,7-ジペンチル[1]ベンゾ-チエノ[3,2-b][1]ベンゾチオフェン
DNTT	ジナフト[2,3-b:2',3'-f]チエノ[3,2-b]チオフェン
DH4T	5,5'-ビス(3-ヘキシル-2-チエニル)-2,2'-ビチオフェン
N-F2-6	2,5-ビス(4-(ペルフルオロオクチル)フェニル)チエノ[3,2-b]チオフェン
N-F2-6-CF3	2,5-ビス(4-(トリフルオロメチル)フェニル)チエノ[3,2-b]チオフェン
N-F4-1	2,6-ビス(4-ヘプタデカフルオロオクチルフェニル)-ジチエノ[3,2-b:2',3'-d]チオフェン
DFH4T	5,5'-ビス((5-ペルフルオロヘキシル)チオフェン-2-イル)-2,2'-ビチオフェン
TCTA	4,4',4''-トリス(カルバゾール-9-イル)トリフェニルアミン
NP4-CBP	4,4'-ビス(3,6-ジネオペンチル-9H-カルバゾール-9-イル)-1,1'-ビフェニル
Ir(piq) <sub>3</sub>	トリス(1-フェニルイソキノリン)イリジウム(III)
Ir(pp y) <sub>3</sub>	トリス(2-フェニルピリジン)イリジウム(III)
FIrpic	ビス(4,6-ジフルオロフェニル-ピリジン)(ピコリネート)イリジウム(III)
PtOEP	2,3,7,8,12,13,17,18-オクタエチルポルフィリン-22,24-ジイド;白金(2+)
Alq <sub>3</sub>	トリス(8-ヒドロキシキノリナト)アルミニウム
DCM	4-(ジシアノメチレン)-2-メチル-6-(4-ジメチルアミノスチリル)-4H-ピラン

10

20

30

## 【実施例】

## 【0089】

## (例1)

図1に関連して、本教示による有機両極性発光トランジスタ(OLET)をガラス基板(第1の層1)上に製作し、この上にITO(酸化インジウムスズ)でできた透明制御電極2を施した。450nm厚さのポリ(メタクリル酸メチル)(PMMA)から構成される誘電体層3を、スピンコーティングによってITO電極上に製作し、真空中で90°にて硬化させた。有機放出性両極性チャネルを、昇華によって真空中( $10^{-7}$ mbar)で誘電体層上に形成させたが、下記の層を含む。

- 誘電体層3の上に蒸着させたp型半導体材料から構成される正孔輸送層4、具体的には、基板を室温にて維持している間に0.1 /sの速度で昇華させたC8-BTBTでできた15nm厚さの膜;

- 正孔輸送層4と接触している放出性層5、具体的には、ホスト-ゲスト系から構成される60nm厚さの再結合層(20%のゲストエミッタ濃度を有する)。TCTAをホストマトリックスとして使用し、これを、基板を室温にて維持している間に1 /sの速度で昇華させた。Ir(piq)<sub>3</sub>をゲストエミッタとして使用し、これを、基板を室温にて維持している間に0.25 /sの速度で昇華させた;及び

- 放出性層5と接触している電子輸送層6、具体的には、基板を室温にて維持している間に0.1 /sの速度で昇華させた45nm厚さのN-F2-6の膜。

## 【0090】

40

50

銀(Ag)でできた金属ソース及びドレイン電極7及び7'を、真空中( $10^{-6}$ mbar)で蒸着させたが、それぞれは70nmの厚さを有する。

【0091】

デバイスのチャネル長(L)及びチャネル幅(W)は、それぞれ、70  $\mu$ m及び12mmである。

【0092】

上記のOLETは、下記の特徴的なパラメーターを有することが見出された。

p型しきい電圧=-40.1V;

p型移動度= $5.2 \times 10^{-1}$ cm $^2$ /Vs;

n型しきい電圧=38.4V;

n型移動度= $3.6 \times 10^{-3}$ cm $^2$ /Vs。

10

【0093】

試験したOLETの電流-電圧グラフを、図2及び図3において示す。図2は、ソース接点を接地させている間に、異なるゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )でのドレイン-ソース電圧( $V_{DS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。図3は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。

【0094】

20

図4は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )に応じた、外部量子効率(EQE、左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフを示す。

【0095】

図4において示すように、BTBT化合物(この場合、C8-BTBT)から構成される正孔輸送層を含む有機放出性両極性チャネルを有する試験したOLETは、最大の輝度(EL約45  $\mu$ W)及び効率(EQE約2.25%)を同時に予想外に達成した。

【0096】

30

(例2)

異なるBTBT化合物を正孔輸送層4において使用したこと除いては、例1に記載したOLETと同じ様式で、及び同じ材料を使用して第2のOLETを製作した。具体的には、正孔輸送層4は、C8-BTBTの代わりにC5-BTBTでできた15nm厚さの膜から構成された。

【0097】

このように得られたOLETは、下記の特徴的なパラメーターを示した。

p型しきい電圧=-54.5V;

p型-移動度= $1.2 \times 10^{-1}$ cm $^2$ /Vs;

n型しきい電圧=25.9V;

n型移動度= $4.2 \times 10^{-3}$ cm $^2$ /Vs。

【0098】

40

試験したOLETの電流-電圧グラフを、図5及び図6において示す。図5は、ソース接点を接地させている間に、異なるゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )でのドレイン-ソース電圧( $V_{DS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。図6は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。

【0099】

図7は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させて

50

いる( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率(EQE、左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフを示す。

#### 【0100】

図7に示されているように、BTBT化合物(この場合、C5-BTBT)から構成される正孔輸送層を含む有機放出性両極性チャネルを有する試験したOLETは、最大の輝度( $EL>50\mu W$ )及び効率( $EQE>2.5\%$ )を予想外に同時に達成した。

#### 【0101】

(例3(比較例))

本例において試験した比較上のデバイスは、正孔輸送層4中にp型半導体材料としてDNTT化合物を組み込んだ。従前の報告は、DNTT化合物(チエノチオフェン中心のそれぞれの側に縮合させたナフタレン、すなわち、2個のベンゼン環を有する)が、これらの構造的な類似性にも関わらず、BTBT化合物(チエノチオフェン中心のそれぞれの側に縮合させた1個のみのベンゼン環を有する)より高い移動度を達成することができることを示唆してきた。

例えば、M.J. Kangら、「Two Isomeric Didecyl-dinaphtho[2,3-b:2',3'-f]thieno[3,2-b]thiophenes: Impact of Alkylation Positions on Packing Structures and Organic Field Effect Transistor Characteristics」、Jpn. J. Appl. Phys.、第51巻、11PD04頁(2012); 及びH. Ebataら、「Highly Soluble [1]Benzothieno[3,2-b]benzothiophene(BTBT) Derivatives for High-Performance, Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors」、J. Am. Chem. Soc.、第129巻、15732~15733頁(2007)を参照されたい。

#### 【0102】

具体的には、正孔輸送層4がC8-BTBTの代わりにDNTTでできた15nm厚さの膜から構成されたことを除いては、例1に記載したOLETと同じ様式で、及び同じ材料を使用して比較上のOLETを製作した。

#### 【0103】

このように得られたトランジスタは、下記の特徴的なパラメーターを示した。

p型しきい電圧=-40V;

p型-移動度= $5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ;

n型しきい電圧=34V;

n型移動度= $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

#### 【0104】

試験したOLETの電流-電圧グラフを、図8及び図9において示す。図8は、ソース接点を接地させている間に、異なるゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )でのドレイン-ソース電圧( $V_{DS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。図9は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。

#### 【0105】

図10は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率(EQE、左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフを示す。

#### 【0106】

図10に示されているように、試験したDNTTをベースとするOLETは、BTBTをベースとするOLETのように、最大の輝度( $EL\approx20\mu W$ )及び効率( $EQE\approx2.5\%$ )を同時に達成することができたが、DNTTをベースとするOLETによって達成されるエレクトロルミネセンスは、BTBTをベースとするOLETによって達成されるエレクトロルミネセンスの50%未満であった(それぞれ、 $EL\approx45\mu W$ 、及び $EL>50\mu W$ であった)。

10

20

30

40

50

## 【0107】

DNTT化合物が、文献におけるBTBT化合物と比較して、より高くはなくても匹敵する移動度を示すことが示されてきたことを考えれば、BTBTをベースとするOLETで観察される有意により高いEL値は驚くべきことである。

## 【0108】

(例4(比較例))

本例において試験した比較上のOLETデバイスは、R. Capelliら、「Organic light-emitting transistors with an efficiency that outperforms the equivalent light-emitting diodes」、Nature Materials、第9巻、496～503頁(2010)において報告されている有機発光トランジスタにおいて使用されている、p型半導体材料(DH4T)、n型半導体材料(DFH4T)、ビス(フルオロアルキル-置換)オリゴチオフェン)、及び放出性材料( $\text{Alq}_3$ :DCM)を組み込んだ。

10

## 【0109】

具体的には、図1を再び参照すると、ガラス基板(第1の層1)上で比較上のOLETを製作し、その上にITO(酸化インジウムスズ)でできた透明制御電極2を施した。450nm厚さのポリ(メタクリル酸メチル)(PMMA)から構成される誘電体層3を、スピンドルコートによってITO電極上に製作し、真空中で90°にて硬化させた。有機放出性両極性チャネルを、真空中( $10^{-7}\text{mbar}$ )で昇華によって誘電体層上に形成したが、下記の層を含む。

- 誘電体層3上に蒸着させたn型半導体材料の電子輸送層4、具体的には、基板を室温にて維持している間に0.1 /sの速度で昇華させたDFH4Tでできた、15nm厚さの膜の層；
- 正孔輸送層4と接触している放出性層5、具体的には、ホスト-ゲスト系から構成される60nm厚さの再結合層(20%のゲストエミッタ濃度を有する)。 $\text{Alq}_3$ をホストマトリックスとして使用し、これを、基板を室温にて維持している間に1 /sの速度で昇華させた。DCMをゲストエミッタとして使用し、これを、基板を室温にて維持している間に0.25 /sの速度で昇華させた；及び
- 放出性層5と接触している正孔輸送層6、この場合、基板は室温にて維持する一方で0.1 /sの速度で昇華させたDH4Tの45nm厚さの膜。

20

## 【0110】

銀(Ag)でできた金属ソース及びドレイン電極7及び7'は、真空中( $10^{-6}\text{mbar}$ )で蒸着させたが、それぞれは、70nmの厚さを有する。

30

## 【0111】

デバイスのチャネル長(L)及びチャネル幅(W)は、それぞれ、70  $\mu\text{m}$ 及び12mmである。

## 【0112】

このように得られたOLETは、下記の特徴的なパラメーターを有することが見出された。

p型しきい電圧=-60V；

p型移動度= $5.3 \times 10^{-1}\text{cm}^2/\text{Vs}$ ；

n型しきい電圧=23.7V；

n型移動度= $3.6 \times 10^{-3}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。

## 【0113】

試験したOLETの電流-電圧グラフを、図11及び図12において示す。図11は、ソース接点を接地させている間に、異なるゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )でのドレイン-ソース電圧( $V_{DS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。図12は、ドレイン接点を90Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=90\text{V}$ )間に、ゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。

40

## 【0114】

図13は、ドレイン接点を90Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=90\text{V}$ )間に、ゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )に応じた、外部量子効率(EQE、左のスケール-

50

黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフを示す。

【0115】

図13に示されているように、当技術分野で従前に報告された材料の組合せを組み込んだ本例において試験した比較上のOLETは、例1及び2のデバイスと比較して有意により低い輝度( $EL < 0.25 \mu W$ )及び効率( $EQE < 0.8\%$ )を示した。更に、効率が非常に低いときの条件下で、最大の輝度が得られた(逆の場合も同じ)(EQE及びEL曲線の反比例関係、特に、 $V_{GS}=20V$ から $V_{GS}=60V$ によって示されるように)。

【0116】

(例5) 10  
本教示の別の態様は、3層OLETデバイスにおける放出性材料の使用を対象とし、放出性材料は、有機アリールアミンマトリックス化合物(H-1)又は(H-2)、並びに(G-1)、(G-2)、及び(G-3)から選択されるイリジウムをベースとするエミッタを含むブレンドである。

【0117】

図1を参照すると、本教示による有機両極性発光トランジスタ(OLET)をガラス基板(第1の層1)上に製作し、この上にITO(酸化インジウムスズ)でできた透明制御電極2を施した。ポリ(メタクリル酸メチル)(PMMA)から構成される450nm厚さの誘電体層3を、スピンドルコートイングによってITO電極上に製作し、真空中で90°にて硬化させた。有機放出性両極性チャネルを、真空中( $10^{-7} mbar$ )で昇華によって誘電体層上に形成させたが、下記の層を含む。

- 誘電体層3上に蒸着させたp型半導体材料から構成される正孔輸送層4、具体的には、基板を室温にて維持している間に $0.1 \mu A/s$ の速度で昇華させたDH4Tでできた45nm厚さの膜；  
- 正孔輸送層4と接触している放出性層5、具体的には、ホスト-ゲスト系から構成される60nm厚さの再結合層(20%のゲストエミッタ濃度を有する)。TCTAをホストマトリックスとして使用し、これを、基板を室温にて維持している間に $1 \mu A/s$ の速度で昇華させた。 $Ir(piq)_3$ をゲストエミッタとして使用し、これを、基板を室温にて維持している間に $0.25 \mu A/s$ の速度で昇華させた；及び  
- 放出性層5と接触している電子輸送層6、具体的には、基板を室温にて維持している間に $0.1 \mu A/s$ の速度で昇華させたN-F4-1の45nm厚さの膜。

【0118】

30  
銀(Ag)でできている金属ソース及びドレイン電極7及び7'を真空中( $10^{-6} mbar$ )で蒸着させたが、それぞれは70nmの厚さを有する。

【0119】

デバイスのチャネル長(L)及びチャネル幅(W)は、それぞれ、 $70 \mu m$ 及び12mmである。

【0120】

上記のOLETは、下記の特徴的なパラメーターを有することが見出された。

p型しきい電圧=-49V；  
p型移動度= $1.3 \times 10^{-1} cm^2/Vs$ ；  
n型しきい電圧=ゼロ；  
n型移動度=ゼロ。

【0121】

40  
試験したOLETの電流-電圧グラフを、図14及び図15において示す。図14は、ソース接点を接地させている間に、異なるゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )でのドレイン-ソース電圧( $V_{DS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。図15は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100 V$ )間に、ゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。

【0122】

10

20

30

40

50

図16は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率(EQE、左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフを示す。

【0123】

図16において示すように、TCTA:Ir(piq)<sub>3</sub>から構成されるブレンド材料、すなわち、ホストマトリックス化合物としてカルバゾール誘導体TCTA、及びゲストエミッタとしてイリジウム錯体Ir(piq)<sub>3</sub>を含む3層チャネル内に放出性層を有する試験したOLETは、予想外に最大の輝度(EL約2μW)及び効率(EQE>0.4%)を同時に達成した。

【0124】

(例6(比較例))

本例において、異なるブレンド材料を放出性層5において使用したことを除いては、例5に記載したOLETと同じ様式で、及び同じ材料を使用して比較上のOLETデバイスを製作した。具体的には、放出性層5は、Alq<sub>3</sub>:PtOEPから構成されるブレンド材料であった。すなわち、ホストマトリックス及びゲストエミッタの両方は、金属錯体であり、ゲストエミッタは、イリジウムをベースとする錯体の代わりに白金をベースとする錯体である。

【0125】

このように得られたOLETは、下記の特徴的なパラメーターを示した。

p型しきい電圧=-55.2V;

p型-移動度=3.8×10<sup>-2</sup>cm<sup>2</sup>/Vs;

n型しきい電圧=ゼロ;

n型移動度=ゼロ。

【0126】

試験したOLETの電流-電圧グラフを、図17及び図18において示す。図17は、ソース接点を接地させている間に、異なるゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )でのドレイン-ソース電圧( $V_{DS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。図18は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧( $V_{GS}$ )に応じた、ドレイン-ソース電流( $I_{DS}$ )(左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力(EL)(右のスケール-灰色の曲線)のバリエーションを例示する。

【0127】

図19は、ドレイン接点を-100Vの一定のバイアス電圧で維持し、ソース接点を接地させている( $V_{DS}=-100V$ )間に、ゲート-ソース電圧 $V_{GS}$ に応じた、外部量子効率(EQE、左のスケール-黒色の曲線)及びエレクトロルミネセンス光出力EL(右のスケール-灰色の曲線)のグラフを示す。

【0128】

図19に示されているように、本例において試験した比較上のデバイスは、例5のデバイス(EL約2μW)と比較して非常に低い輝度(EL約0.30μW)を示した。更に、効率が最適化されなかったときの条件下で最大の輝度が得られ、逆の場合も同じである(EQE及びEL曲線の間の反比例関係によって示されるように)。具体的には、 $V_{GS}=-100V$ である条件下でELが約0.30μWに最適化されたとき、EQEは約0.15%のみであった。逆に、 $V_{GS}=-20V$ である条件下でEQEが約0.9%に最適化されたとき、ELは約0.05μWのみであった。

【0129】

下記の表2は、例1～6に記載されているOLETデバイスの3層両極性チャネル内の各層において使用されている材料を、これらのそれぞれの最大のEL及びEQE値と一緒に要約する。

【0130】

10

20

30

40

【表2】

表2

例	3層両極性チャネル組成			デバイス性能	
	4	5	6	EL <sub>max</sub> ( $\mu$ W)	EQE <sub>max</sub> (%)
1	C8-BTBT	TCTA/Ir(piq) <sub>3</sub>	N-F2-6	約45	約2.5*
2	C5-BTBT	TCTA/Ir(piq) <sub>3</sub>	N-F2-6	>50	>2.5
3 (比較例)	DNTT	TCTA/Ir(piq) <sub>3</sub>	N-F2-6	約20	約2.5
4 (比較例)	DFH4T (n型)	Alq <sub>3</sub> /DCM	DH4T (p型)	<0.25	約0.8**
5	DH4T	TCTA/Ir(piq) <sub>3</sub>	N-F4-1	2	>0.4
6 (比較例)	DH4T	Alq <sub>3</sub> /PtOEP	N-F4-1	0.3	<0.9***

\*EQEが僅かに低減した2.25%であるとき、約45  $\mu$  Wの最大ELが達成された。

\*\*EQEが<0.05%であるとき( $V_{GS}$ =60Vであるとき)、<0.25  $\mu$  Wの最大ELが達成され、一方、ELが約0.025のみであるとき( $V_{GS}$ =20Vであるとき)、約0.8%の最大EQEが達成された。

\*\*\*EQEが約0.5%であるとき( $V_{GS}$ =-100Vであるとき)、0.3  $\mu$  Wの最大ELが達成され、一方、ELが<0.025であるとき( $V_{GS}$ =-20Vであるとき)約0.9%の最大EQEが達成された。

10

20

## 【符号の説明】

## 【0131】

- 1 基板
- 2 制御電極
- 3 誘電体層
- 4 第1のタイプの半導体材料の層
- 5 放出性材料の層
- 6 第2のタイプの半導体材料の層
- 7 電子電極及び正孔電極

【図1】

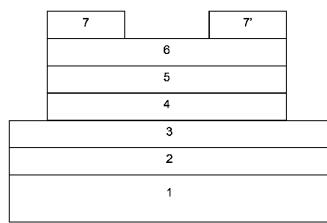


Fig. 1

【図2】

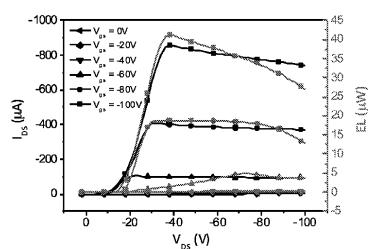


Fig. 2

【図3】

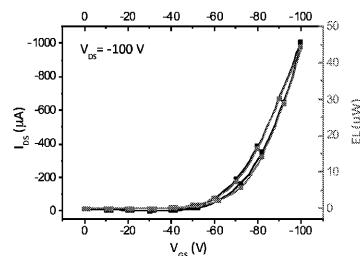


Fig. 3

【図4】

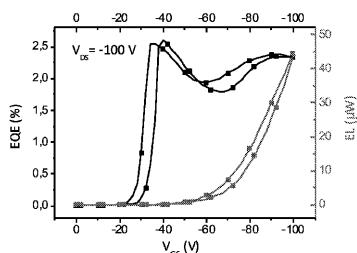


Fig. 4

【図5】

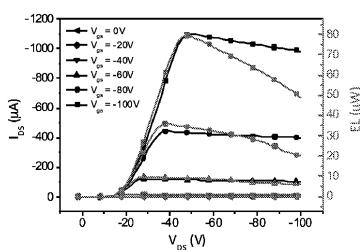


Fig. 5

【図7】

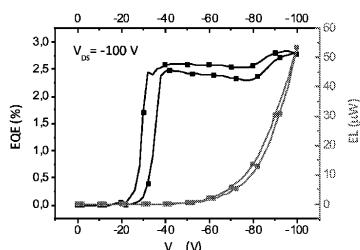


Fig. 7

【図6】

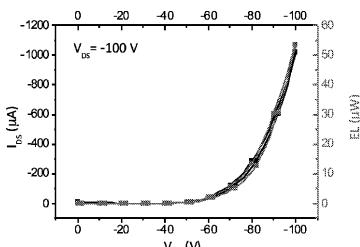


Fig. 6

【図8】

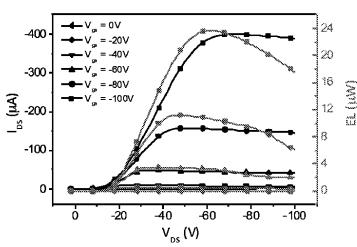


Fig. 8

【図 9】

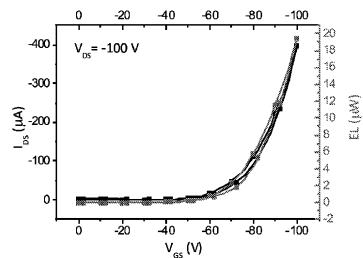


Fig. 9

【図 10】

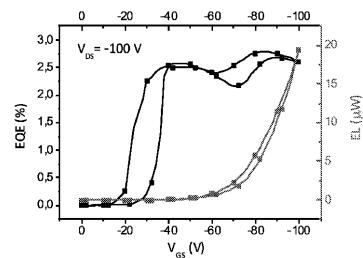


Fig. 10

【図 11】

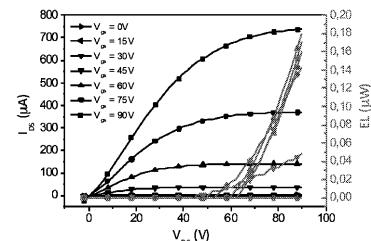


Fig. 11

【図 12】

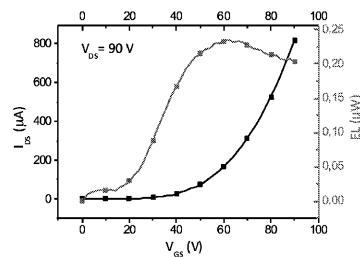


Fig. 12

【図 13】

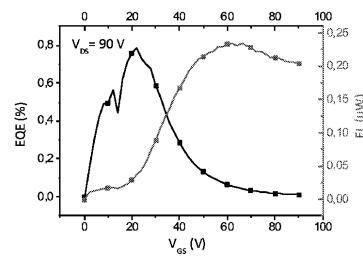


Fig. 13

【図 15】

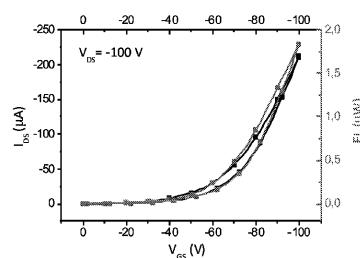


Fig. 15

【図 14】

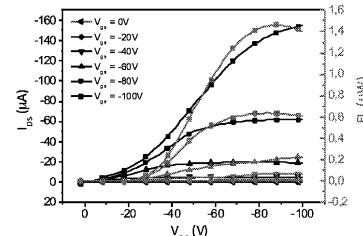


Fig. 14

【図 16】

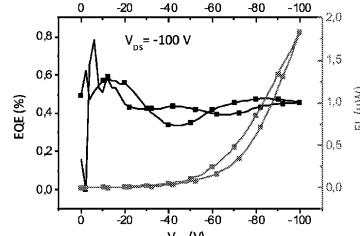


Fig. 16

【図 17】

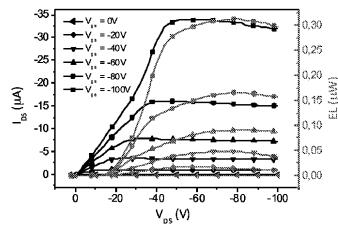


Fig. 17

【図 19】

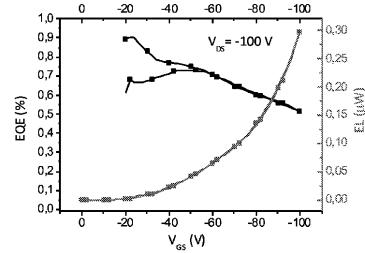


Fig. 19

【図 18】

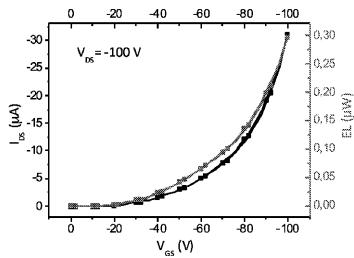


Fig. 18

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I
<b>C 0 9 K 11/06</b>	<b>(2006.01)</b>
	H 0 1 L 27/32
	G 0 9 F 9/30 3 6 5
	C 0 9 K 11/06 6 6 0
	C 0 9 K 11/06 6 9 0

(31)優先権主張番号 14425100.6

(32)優先日 平成26年7月24日(2014.7.24)

(33)優先権主張国・地域又は機関

　　欧州特許庁(EP)

(31)優先権主張番号 14425101.4

(32)優先日 平成26年7月24日(2014.7.24)

(33)優先権主張国・地域又は機関

　　欧州特許庁(EP)

(72)発明者 ジャンルカ・ジェネラーリ

　　イタリア・ボローニヤ・4 0 1 2 7・ボローニヤ・ヴィア・ガレオッティ・1 8

(72)発明者 アンドレア・ステファーニ

　　イタリア・トレント・3 8 1 2 1・トレント・ヴィア・デッラルベーラ・2 5

(72)発明者 ミケーレ・ムッチーニ

　　イタリア・ボローニヤ・4 0 1 2 1・ボローニヤ・ガッレリア・2・アゴスト・1 9 8 0・2

(72)発明者 グイード・トゥラッティ

　　イタリア・フェラーラ・4 4 0 2 6・ボスコ・メゾーラ・ヴィア・サッケ・9 2 / ア

(72)発明者 ミッケル・デンティ

　　アメリカ合衆国・イリノイ・6 0 6 2 6・シカゴ・ノース・イーストレーキ・テラス・7 5 1 0・

　　アパートメント・1イー

(72)発明者 ハカン・ウスタ

　　トルコ・3 8 0 1 0・カイセリ・コカシナン・セルセオヌ・マハ・アハメット・パサ・シーディ・

　　カンカヤ・アパートメント・カット: 5・ナンバー: 9

(72)発明者 シャオヤン・チェン

　　アメリカ合衆国・イリノイ・6 0 0 2 5・グレンビュー・シャーウッド・ロード・1 2 2 9

(72)発明者 アントニオ・ファッケッティ

　　アメリカ合衆国・イリノイ・6 0 6 4 0・シカゴ・ノース・グレンウッド・アヴェニュー・5 4 1

2

審査官 本田 博幸

(56)参考文献 國際公開第2 0 1 4 / 0 3 5 8 4 2 (WO, A 1)

特開2 0 1 1 - 2 5 8 9 0 0 (JP, A)

特開2 0 0 9 - 1 5 2 3 5 5 (JP, A)

國際公開第2 0 1 3 / 1 2 8 3 4 4 (WO, A 1)

國際公開第2 0 1 3 / 0 1 7 9 9 9 (WO, A 1)

欧州特許出願公開第0 2 9 1 1 2 1 4 (EP, A 1)

Highly Soluble [1]Benzothieno[3,2-b]benzothiophene(BTBT) Derivatives for High-Performance, Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors, Journal of the American Chemical Society, 2 0 0 7 年 1 1 月 2 9 日, 129, 51, 15732-15733

Synthesis and Characterization of Diperfluorooctyl-Substituted Phenylene-Thiophene Oligomers as n-Type Semiconductors. Molecular Structure-Film Microstructure-Mobility Rela

tionships, Organic Field-Effect Transistors, and Transistor Nonvolatile Memory Element  
s, Chemistry of Materials, 2004年 9月 4日, 16,23, 4715-4727

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 L 51/50 - 51/56

H 01 L 27/32

H 05 B 33/00 - 33/28

C A p l u s / R E G I S T R Y ( S T N )