

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5025182号
(P5025182)

(45) 発行日 平成24年9月12日 (2012. 9. 12)

(24) 登録日 平成24年6月29日 (2012. 6. 29)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 51/50 (2006. 01)	H O 5 B 33/22 D
C O 9 K 11/06 (2006. 01)	H O 5 B 33/14 A
	C O 9 K 11/06 6 9 0

請求項の数 10 (全 52 頁)

(21) 出願番号	特願2006-201414 (P2006-201414)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成18年7月25日 (2006. 7. 25)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2007-73932 (P2007-73932A)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地
(43) 公開日	平成19年3月22日 (2007. 3. 22)	(74) 代理人	100108741
審査請求日	平成21年7月7日 (2009. 7. 7)		弁理士 渡邊 順之
(31) 優先権主張番号	特願2005-213759 (P2005-213759)	(72) 発明者	岩城 裕司
(32) 優先日	平成17年7月25日 (2005. 7. 25)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		半導体エネルギー研究所内
(31) 優先権主張番号	特願2005-230272 (P2005-230272)	(72) 発明者	坂田 淳一郎
(32) 優先日	平成17年8月9日 (2005. 8. 9)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		半導体エネルギー研究所内
		(72) 発明者	池田 寿雄
			神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
			半導体エネルギー研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子、発光装置並びに電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一対の電極間に、
第 1 の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、
前記複合材料を含む層に接する第 2 の有機化合物を含む層と、
が積層された積層体と、
発光物質を含む層と、
を有し、
前記第 1 の有機化合物は、芳香族炭化水素であり、芳香族有機アミン化合物と併用する
ものではなく、

前記複合材料は、450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピーク
を有しないことを特徴とする発光素子。

【請求項 2】

請求項 1 において、
前記複合材料は、450nm～800nmの波長領域において、吸収スペクトルのピーク
を有せず、かつ膜厚100nmあたりの透過率が80%以上であることを特徴とする発
光素子。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 において、
前記第 1 の有機化合物は、アントラセン誘導体であることを特徴とする発光素子。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 2 のいずれか一項において、
前記無機化合物は、前記第 1 の有機化合物に対して電子受容性を示すことを特徴とする発光素子。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項において、
前記無機化合物は、遷移金属酸化物であることを特徴とする発光素子。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項において、
前記無機化合物は、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タングステン、酸化マンガン、酸化レニウムのいずれかであることを特徴とする発光素子。

10

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項において、
前記無機化合物は、酸化モリブデンであることを特徴とする発光素子。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の発光素子を有する発光装置。

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の発光素子を有する照明装置。

【請求項 10】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の発光素子を表示部に用いた電子機器。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電流励起型の発光素子に関する。また、発光素子を有する発光装置、電子機器に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、発光性の有機化合物を用いた発光素子の研究開発が盛んに行われている。これら発光素子の基本的な構成は、一对の電極間に発光性の有機化合物を含む層を挟んだものである。この素子に電圧を印加することにより、一对の電極から電子およびホールがそれぞれ発光性の有機化合物を含む層に注入され、電流が流れる。そして、それらキャリア（電子およびホール）が再結合することにより、発光性の有機化合物が励起状態を形成し、その励起状態が基底状態に戻る際に発光する。このようなメカニズムから、このような発光素子は、電流励起型の発光素子と呼ばれる。

30

【0003】

なお、有機化合物が形成する励起状態の種類としては、一重項励起状態と三重項励起状態が可能であり、一重項励起状態からの発光が蛍光、三重項励起状態からの発光が燐光と呼ばれている。

【0004】

このような発光素子は、例えば 0.1 μm 程度の有機薄膜で形成されるため、薄型軽量に作製できることが大きな利点である。また、キャリアが注入されてから発光に至るまでの時間は 1 μs 程度あるいはそれ以下であるため、非常に応答速度が速いことも特長の一つである。これらの特性は、フラットパネルディスプレイ素子として好適であると考えられている。

40

【0005】

また、これらの発光素子は膜状に形成されるため、大面積の素子を形成することにより、面状の発光を容易に得ることができる。このことは、白熱電球や LED に代表される点光源、あるいは蛍光灯に代表される線光源では得難い特色であるため、照明等に応用できる面光源としての利用価値も高い。

50

【0006】

ところで、近年急速に開発が進んだ各種情報処理機器に組み込むための表示用装置においては特に低消費電力化への要求が高く、これを達成するために発光素子の低駆動電圧化が試みられている。

【0007】

例えば特許文献1では、酸化バナジウムと α -NPDとを共蒸着した層を用いて、駆動電圧を低減する効果を得ている。

【0008】

しかしながら、酸化バナジウムと α -NPDとを共蒸着した層は、可視光領域である400nm～800nmに吸収スペクトルのピークが存在する。特に青色領域である150nm～500nm辺りに大きな吸収を示す。よって、発光物質から得られた発光は、酸化バナジウムと α -NPDとを共蒸着した層に吸収されてしまい、発光の外部取り出し効率が低くなってしまいう問題がある。

【特許文献1】特開2005-123095号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

そこで本発明では、発光効率が高い発光素子を提供することを課題とする。また、低駆動電圧の発光素子を提供することを課題とする。さらに発光素子を用いて発光装置を作製することにより、消費電力の小さい発光装置を提供することを課題とする。また、発光装置を表示部として用いることにより、消費電力の小さい電子機器を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、鋭意検討を重ねた結果、有機化合物と無機化合物とを含む複合材料を適用することにより、課題を解決できることを見出した。

【0011】

すなわち、本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層とを有し、第2の有機化合物は、無機化合物と複合したときに450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しない有機化合物であることを特徴とする。

【0012】

本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、第2の有機化合物は、無機化合物と複合したときに450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しない有機化合物であり、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【0013】

本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料を含む層は第1の電極と接するように設けられ、第2の有機化合物は、前記無機化合物と複合したときに450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しない有機化合物であり、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【0014】

本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物

物を含む層とが積層された積層体を有し、積層体は450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しないことを特徴とする。

【0015】

本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層とが積層された積層体を有し、450nm～800nmの波長領域において複合材料は、膜厚が100nmのときの透過率が80%以上であり、第2の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料は、膜厚100nmのときの透過率が80%以上であることを特徴とする。

【0016】

本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層とが積層された積層体を有し、450nm～800nmの波長領域において、複合材料の吸光度は式(1)で表される関係を満たし、第2の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料の吸光度は式(1)で表される関係を満たすことを特徴とする。

【数1】

$$A \leq 9.7 \times 10^{-4} \times l \quad \dots \quad (1)$$

A : 吸光度

l : 膜厚 (nm)

【0017】

本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料を含む層と第2の有機化合物を含む層とが積層された積層体は、450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有さず、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【0018】

本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、450nm～800nmの波長領域において、複合材料は、膜厚が100nmのときの透過率が80%以上であり、第2の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料は、膜厚が100nmのときの透過率が80%以上であり、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【0019】

本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料を含む層は第1の電極と接するように設けられ、複合材料を含む層と第2の有機化合物を含む層とが積層された積層体は、450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有さず、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【0020】

本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料を含む層は第1の電極と接するように設けられ、450nm～800nmの波長領域において、複合材

10

20

30

40

50

料は、膜厚 100 nm のときの透過率が 80 % 以上であり、第 2 の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料は、膜厚 100 nm のときの透過率が 80 % 以上であり、第 1 の電極の電位の方が第 2 の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【0021】

本発明の発光素子の一は、第 1 の電極と第 2 の電極との間に、第 1 の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第 2 の有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料を含む層は第 1 の電極と接するように設けられ、450 nm～800 nm の波長領域において、第複合材料の吸光度は式 (1) で表される関係を満たし、第 2 の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料の吸光度は式 (1) で表される関係を満たし、第 1 の電極の電位の方が第 2 の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【数 2】

$$A \leq 9.7 \times 10^{-4} \times l \quad \dots (1)$$

A : 吸光度

l : 膜厚 (nm)

【0022】

上記構成において、第 1 の有機化合物は、芳香族炭化水素であることが好ましい。特に、アントラセン誘導体であることが好ましい。

【0023】

また、本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、第 1 の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と前記複合材料を含む層に接するように設けられた第 2 の有機化合物を含む層とが積層された積層体を有し、第 1 の有機化合物は、芳香族炭化水素であることを特徴とする。

【0024】

また、本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、第 1 の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた第 2 の有機化合物を含む層とが積層された積層体を有し、第 1 の有機化合物は、アントラセン誘導体であることを特徴とする。

【0025】

上記構成において、第 2 の有機化合物のイオン化ポテンシャルは、第 1 の有機化合物のイオン化ポテンシャルよりも大きく、その差は 0.5 eV 以下であることが好ましい。より好ましくは、0.3 eV 以下であることが好ましい。さらに好ましくは、0.1 eV 以下であることが好ましい。すなわち、第 1 の有機化合物のイオン化ポテンシャルを $I_p(1)$ とし、第 2 の有機化合物のイオン化ポテンシャルを $I_p(2)$ とすると、下記式で表される関係を満たすことが好ましい。

【数 3】

$$I_p(2) \leq I_p(1) + 0.5 eV$$

より好ましくは、下記式で表される関係を満たすことが好ましい。

【数 4】

$$I_p(2) \leq I_p(1) + 0.3eV$$

さらに好ましくは、下記式で表される関係を満たすことが好ましい。

【数 5】

$$I_p(2) \leq I_p(1) + 0.1eV$$

10

【0026】

また、上記構成において、第2の有機化合物は、芳香族炭化水素またはカルバゾール誘導体であることが好ましい。特に、アントラセン誘導体であることが好ましい。

【0027】

また、上記構成において、第2の有機化合物を含む層の膜厚は、1nm～20nmであることが好ましい。

【0028】

また、上記構成において、無機化合物は、第1の有機化合物に対して電子受容性を示すことが好ましい。

20

【0029】

また、無機化合物は、遷移金属酸化物であることが好ましい。特に、元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物であることが好ましい。さらに好ましくは、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タングステン、酸化マンガン、酸化レニウムのいずれかであることが好ましい。

【0030】

また、本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層とを有し、複合材料は450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しないことを特徴とする。

30

【0031】

また、本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層とを有し、450nm～800nmの波長領域において、複合材料の膜厚100nmのときの透過率が80%以上であることを特徴とする。

【0032】

また、本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた前記有機化合物を含む層とを有し、450nm～800nmの波長領域において、複合材料の吸光度は式(1)で表される関係を満たすことを特徴とする。

40

【数 6】

$$A \leq 9.7 \times 10^{-4} \times l \quad \dots \quad (1)$$

A : 吸光度

l : 膜厚 (nm)

【0033】

また、本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられ

50

た有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料は450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有さず、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【0034】

また、本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、450nm～800nmの波長領域において、複合材料の膜厚100nmのときの透過率が80%以上であり、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

10

【0035】

また、本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料を含む層は第1の電極と接するように設けられ、複合材料は450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有さず、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

【0036】

また、本発明の発光素子の一は、第1の電極と第2の電極との間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料を含む層は第1の電極と接するように設けられ、450nm～800nmの波長領域において、複合材料の膜厚100nmのときの透過率が80%以上であり、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする。

20

【0037】

また、本発明の発光素子の一は第1の電極と第2の電極との間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層と、発光物質を含む発光層とを有し、複合材料を含む層は第1の電極と接するように設けられ、450nm～800nmの波長領域において、複合材料の吸光度は式(1)で表される関係を満たし、第1の電極の電位の方が第2の電極の電位よりも高くなるように電圧を印加したときに発光物質が発光することを特徴とする発光素子。

30

【数7】

$$A \leq 9.7 \times 10^{-4} \times l \quad \dots \quad (1)$$

A : 吸光度

l : 膜厚 (nm)

【0038】

上記構成において、有機化合物は、芳香族炭化水素であることが好ましい。特に、アントラセン誘導体であることが好ましい。

40

【0039】

また、本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた前記有機化合物を含む層とを有し、有機化合物は、芳香族炭化水素であることを特徴とする。

【0040】

また、本発明の発光素子の一は、一对の電極間に、有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層とを有し、有機化合物は、アントラセン誘導体であることを特徴とする。

50

【0041】

また、上記構成において、有機化合物を含む層の膜厚は、1 nm～20 nmであることが好ましい。

【0042】

また、上記構成において、無機化合物は、第1の有機化合物に対して電子受容性を示すことが好ましい。

【0043】

また、無機化合物は、遷移金属酸化物であることが好ましい。特に、元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物であることが好ましい。さらに好ましくは、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タングステン、酸化マンガン、酸化レニウムのいずれかであることが好ましい。

10

【0044】

また、本発明は、上述した発光素子を有する発光装置も範疇に含めるものである。本明細書中における発光装置とは、画像表示デバイス、発光デバイス、もしくは光源（照明装置含む）を含む。また、発光素子が形成されたパネルにコネクタ、例えばFPC（Flexible Printed Circuit）もしくはTAB（Tape Automated Bonding）テープもしくはTCP（Tape Carrier Package）が取り付けられたモジュール、TABテープやTCPの先にプリント配線板が設けられたモジュール、または発光素子にCOG（Chip On Glass）方式によりIC（集積回路）が直接実装されたモジュールも全て発光装置に含むものとする。

20

【0045】

また、本発明の発光素子を表示部に用いた電子機器も本発明の範疇に含めるものとする。したがって、本発明の電子機器は、表示部を有し、表示部は、上述した発光素子と発光素子の発光を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0046】

本発明を適用することにより、発光効率の高い発光素子を得ることができる。

【0047】

また、本発明を適用することにより、低電圧駆動の発光素子を得ることができる。

【0048】

また、本発明を適用することにより、消費電力の小さい発光装置を得ることができる。

30

【0049】

また、本発明を適用することにより、消費電力の小さい電子機器を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0050】

以下、本発明の実施の態様について図面を用いて詳細に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

【0051】

（実施の形態1）

本実施の形態では、本発明の発光素子に用いる複合材料について説明する。なお、本明細書中において、複合とは、単に2つの材料を混合させるだけでなく、分子レベルで混合し、これによって材料間での電荷の授受が行われ得る状態になることを言う。

40

【0052】

本発明で用いる複合材料は、第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料である。複合材料に用いる第1の有機化合物としては、芳香族アミン化合物、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、高分子化合物（オリゴマー、 dendroliマー、ポリマー等）など、種々の化合物を用いることができる。なお、複合材料に用いる第1の有機化合物としては、正孔輸送性の高い有機化合物であることが好ましい。具体的には、 10^{-6} cm^2

50

／Vs以上の正孔移動度を有する物質であることが好ましい。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、これら以外のものを用いてもよい。以下では、複合材料に用いることのできる第1の有機化合物を具体的に列挙する。

【0053】

例えば、芳香族アミン化合物としては、N, N'-ジ(p-トリル)-N, N'-ジフェニル-p-フェニレンジアミン(略称: DTDPPA)、4, 4'-ビス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]ビフェニル(略称: DPAB)、4, 4'-ビス(N-{4-[N-(3-メチルフェニル)-N-フェニルアミノ]フェニル}-N-フェニルアミノ)ビフェニル(略称: DNTPD)、1, 3, 5-トリス[N-(4-ジフェニルアミノフェニル)-N-フェニルアミノ]ベンゼン(略称: DPA3B)等を挙げることができる。

10

【0054】

複合材料に用いることのできるカルバゾール誘導体としては、具体的には、3-[N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzPCA1)、3, 6-ビス[N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)-N-フェニルアミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzPCA2)、3-[N-(1-ナフチル)-N-(9-フェニルカルバゾール-3-イル)アミノ]-9-フェニルカルバゾール(略称: PCzPCN1)等を挙げることができる。

【0055】

また、4, 4'-ジ(N-カルバゾリル)ビフェニル(略称: CBP)、1, 3, 5-トリス[4-(N-カルバゾリル)フェニル]ベンゼン(略称: TCPB)、9-[4-(N-カルバゾリル)]フェニル-10-フェニルアントラセン(略称: CzPA)、2, 3, 5, 6-トリフェニル-1, 4-ビス[4-(N-カルバゾリル)フェニル]ベンゼン等を用いることができる。

20

【0056】

また、複合材料に用いることのできる芳香族炭化水素としては、例えば、9, 10-ジ(ナフタレン-2-イル)-2-tert-ブチルアントラセン(略称: t-BuDNA)、9, 10-ジ(ナフタレン-1-イル)-2-tert-ブチルアントラセン、9, 10-ビス(3, 5-ジフェニルフェニル)アントラセン(略称: DPPA)、9, 10-ジ(4-フェニルフェニル)-2-tert-ブチルアントラセン(略称: t-BuDBA)、9, 10-ジ(ナフタレン-2-イル)アントラセン(略称: DNA)、9, 10-ジフェニルアントラセン(略称: DPAnth)、2-tert-ブチルアントラセン(略称: t-BuAnth)、9, 10-ジ(4-メチルナフタレン-1-イル)アントラセン(略称: DMNA)、2-tert-ブチル-9, 10-ビス[2-(ナフタレン-1-イル)フェニル]アントラセン、9, 10-ビス[2-(ナフタレン-1-イル)フェニル]アントラセン、2, 3, 6, 7-テトラメチル-9, 10-ジ(ナフタレン-1-イル)アントラセン、2, 3, 6, 7-テトラメチル-9, 10-ジ(ナフタレン-2-イル)アントラセン、9, 9'-ビアントリル、10, 10'-ジフェニル-9, 9'-ビアントリル、10, 10'-ジ(2-フェニルフェニル)-9, 9'-ビアントリル、10, 10'-ビス[(2, 3, 4, 5, 6-ペンタフェニル)フェニル]-9, 9'-ビアントリル、アントラセン等のアントラセン誘導体、テトラセン、ルブレン、ペリレン、2, 5, 8, 11-テトラ(tert-ブチル)ペリレン等が挙げられる。また、この他、ペンタセン、コロネン等も用いることができる。このように、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有し、炭素数14~42である芳香族炭化水素を用いることがより好ましい。

30

40

【0057】

なお、複合材料に用いることのできる芳香族炭化水素は、ビニル骨格を有していてもよい。ビニル基を有している芳香族炭化水素としては、例えば、4, 4'-ビス(2, 2-ジフェニルビニル)ビフェニル(略称: DPVBi)、9, 10-ビス[4-(2, 2-ジフェニルビニル)フェニル]アントラセン(略称: DPVPA)等が挙げられる。

50

【0058】

また、ポリ（Nービニルカルバゾール）（略称：PVK）やポリ（4ービニルトリフェニルアミン）（略称：PVTPA）等の高分子化合物を用いることもできる。

【0059】

また、複合材料に用いる無機化合物としては、遷移金属酸化物が好ましい。また元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物であることが好ましい。具体的には、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タングステン、酸化マンガン、酸化レニウムは電子受容性が高いため好ましい。中でも特に、酸化モリブデンは大気中でも安定であり、吸湿性が低く、扱いやすく好ましい。

【0060】

なお、複合材料を含む層の製造方法は、湿式法、乾式法を問わず、どのような手法を用いても良い。例えば、複合材料を含む層は、上述した有機化合物と無機化合物との共蒸着で作製することができる。また、上述した有機化合物と金属アルコキシドを含む溶液を塗布し、焼成することによって得ることもできる。なお、酸化モリブデンは真空中で蒸発しやすく、作製プロセスの面からも好ましい。

【0061】

本発明で用いられる複合材料は、450nm～800nmの波長領域において吸収ピークを有さない材料である。また、450nm～800nmの波長領域において、膜厚100nmのときの透過率が80%以上である複合材料である。よって、発光領域からの発光を効率良く、外部へ取り出すことができる。

【0062】

（実施の形態2）

本実施の形態では、実施の形態1で示した第1の有機化合物と無機化合物とを複合してなる複合材料に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層について説明する。

【0063】

複合材料を含む層に接して設けられる第2の有機化合物を含む層に含まれる第2の有機化合物は、複合材料に含まれる無機化合物と複合した場合に、450nm～800nmの波長領域において吸収ピークを有さない有機化合物である。また、複合材料を含む層における第1の有機化合物と無機化合物との混合比と同じ割合で混合した第2の有機化合物と前記無機化合物を含む複合材料は、450nm～800nmの波長領域において、膜厚100nmのときの透過率が80%以上である。

【0064】

第2の有機化合物としては、芳香族アミン化合物、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、高分子化合物（オリゴマー、 dendroliマー、ポリマー等）など、種々の化合物を用いることができる。なお、第2の有機化合物としては、正孔輸送性の高い有機化合物であることが好ましい。具体的には、 $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質であることが好ましい。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、これら以外のものを用いてもよい。以下では、第2の有機化合物を具体的に列挙する。

【0065】

例えば、芳香族アミン化合物としては、N，N'ージ（pートリル）ーN，N'ージフェニルーpーフェニレンジアミン（略称：DTDP A）、4，4'ービス〔Nー（4ージフェニルアミノフェニル）ーNーフェニルアミノ〕ビフェニル（略称：DPAB）、4，4'ービス〔Nー〔4ー〔Nー（3ーメチルフェニル）ーNーフェニルアミノ〕フェニル〕ーNーフェニルアミノ〕ビフェニル（略称：DNTPD）、1，3，5ートリス〔Nー（4ージフェニルアミノフェニル）ーNーフェニルアミノ〕ベンゼン（略称：DPA3B）等を挙げることができる。

【0066】

また、カルバゾール誘導体としては、具体的には、3ー〔Nー（9ーフェニルカルバゾールー3ーイル）ーNーフェニルアミノ〕ー9ーフェニルカルバゾール（略称：PCzPCA1）、3，6ービス〔Nー（9ーフェニルカルバゾールー3ーイル）ーNーフェニル

10

20

30

40

50

アミノ]－9－フェニルカルバゾール（略称：PCzPCA2）、3－[N－（1－ナフチル）－N－（9－フェニルカルバゾール－3－イル）アミノ]－9－フェニルカルバゾール（略称：PCzPCN1）等を挙げることができる。

【0067】

また、4，4′－ジ（N－カルバゾリル）ビフェニル（略称：CBP）、1，3，5－トリス[4－（N－カルバゾリル）フェニル]ベンゼン（略称：TCPB）、9－[4－（N－カルバゾリル）]フェニル－10－フェニルアントラセン（略称：CzPA）、2，3，5，6－トリフェニル－1，4－ビス[4－（N－カルバゾリル）フェニル]ベンゼン等を用いることができる。

【0068】

また、芳香族炭化水素としては、例えば、9，10－ジ（ナフタレン－2－イル）－2－tert－ブチルアントラセン（略称：t－BuDNA）、9，10－ジ（ナフタレン－1－イル）－2－tert－ブチルアントラセン、9，10－ビス（3，5－ジフェニルフェニル）アントラセン（略称：DPPA）、9，10－ジ（4－フェニルフェニル）－2－tert－ブチルアントラセン（略称：t－BuDBA）、9，10－ジ（ナフタレン－2－イル）アントラセン（略称：DNA）、9，10－ジフェニルアントラセン（略称：DPAnth）、2－tert－ブチルアントラセン（略称：t－BuAnth）、9，10－ジ（4－メチルナフタレン－1－イル）アントラセン（略称：DMNA）、2－tert－ブチル－9，10－ビス[2－（ナフタレン－1－イル）フェニル]アントラセン、9，10－ビス[2－（ナフタレン－1－イル）フェニル]アントラセン、2，3，6，7－テトラメチル－9，10－ジ（ナフタレン－1－イル）アントラセン、2，3，6，7－テトラメチル－9，10－ジ（ナフタレン－2－イル）アントラセン、9，9′－ビアントリル、10，10′－ジフェニル－9，9′－ビアントリル、10，10′－ジ（2－フェニルフェニル）－9，9′－ビアントリル、10，10′－ビス[(2，3，4，5，6－ペンタフェニル)フェニル]－9，9′－ビアントリル、アントラセン等のアントラセン誘導体、テトラセン、ルブレン、ペリレン、2，5，8，11－テトラ（tert－ブチル）ペリレン等が挙げられる。また、この他、ペンタセン、コロネン等も用いることができる。このように、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有し、炭素数14～42である芳香族炭化水素を用いることがより好ましい。

【0069】

なお、芳香族炭化水素は、ビニル骨格を有していてもよい。ビニル基を有している芳香族炭化水素としては、例えば、4，4′－ビス（2，2－ジフェニルビニル）ビフェニル（略称：DPVBi）、9，10－ビス[4－（2，2－ジフェニルビニル）フェニル]アントラセン（略称：DPVPA）等が挙げられる。

【0070】

また、ポリ（N－ビニルカルバゾール）（略称：PVK）やポリ（4－ビニルトリフェニルアミン）（略称：PVTPA）等の高分子化合物を用いることもできる。

【0071】

第2の有機化合物を含む層は、複合材料に含まれる無機化合物と複合したときに450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しない。また、複合材料を含む層における第1の有機化合物と無機化合物との混合比と同じ割合となるよう無機化合物と複合したときに450nm～800nmの波長領域において、100nmあたりの透過率が80％以上である。そのため、複合材料を含む層と第2の有機化合物を含む層とが接していることにより、複合材料を含む層と第2の有機化合物を含む層との界面において、複合材料を含む層に含まれる無機化合物と第2の有機化合物とが接し、複合材料として存在した場合でも、発光物質からの発光を吸収することなく効率良く透過し、外部取り出し効率を向上させることができる。すなわち、発光効率の高い発光素子を得ることができる。

【0072】

（実施の形態3）

本発明の発光素子は、一对の電極間に複数の層を有する。当該複数の層は、電極から離れたところに発光領域が形成されるように、つまり電極から離れた部位でキャリア（担体）の再結合が行われるように、キャリア注入性の高い物質やキャリア輸送性の高い物質からなる層を組み合わせることで積層されたものである。

【0073】

本発明の発光素子の一態様について図1（A）を用いて以下に説明する。

【0074】

本形態において、発光素子は、第1の電極102と、第1の電極102の上に順に積層した第1の層103、第2の層104、第3の層105、第4の層106と、さらにその上に設けられた第2の電極107とから構成されている。なお、本形態では第1の電極102は陽極として機能し、第2の電極107は陰極として機能するものとして以下説明をする。

【0075】

基板101上は発光素子の支持体として用いられる。基板101としては、例えばガラス、またはプラスチックなどを用いることができる。なお、発光素子を作製工程において支持体として機能するものであれば、これら以外のものでもよい。

【0076】

第1の電極102としては、さまざまな金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物を用いることができる。例えば、インジウム錫酸化物（ITO：Indium Tin Oxide）、珪素を含有したインジウム錫酸化物、酸化インジウムに2～20 wt %の酸化亜鉛（ZnO）を混合したIZO（Indium Zinc Oxide）の他、金（Au）、白金（Pt）、ニッケル（Ni）、タングステン（W）、クロム（Cr）、モリブデン（Mo）、鉄（Fe）、コバルト（Co）、チタン（Ti）、銅（Cu）、パラジウム（Pd）、アルミニウム（Al）、アルミニウム－シリコン（Al－Si）、アルミニウム－チタン（Al－Ti）、アルミニウム－シリコン－銅（Al－Si－Cu）または金属材料の窒化物（TiN）等、を用いることができるが、第1の電極を陽極として用いる場合には、その中でも、仕事関数の大きい（仕事関数4.0 eV以上）などで形成されていることが好ましい。

【0077】

なお、本発明の発光素子において、第1の電極102は仕事関数の大きい材料に限定されず、仕事関数の小さい材料を用いることもできる。

【0078】

第1の層103は、実施の形態1で示した複合材料を含む層である。すなわち、第1の有機化合物と無機化合物とを複合した複合材料を含む層である。

【0079】

第1の層103に含まれる複合材料は、450 nm～800 nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しない。また、第1の層103に含まれる複合材料は、450 nm～800 nmの全波長領域にわたって膜厚100 nmのときの透過率が80 %以上である。よって、発光物質からの発光を効率良く透過し、外部取り出し効率を向上させることができる。すなわち、発光効率の高い発光素子を得ることができる。

【0080】

なお、複合材料を含む層の製造方法は、湿式法、乾式法を問わず、どのような手法を用いても良い。例えば、複合材料を含む層は、上述した有機化合物と無機化合物との共蒸着で作製することができる。また、上述した有機化合物と金属アルコキシドを含む溶液を塗布し、焼成することによって得ることもできる。なお、酸化モリブデンは真空中で蒸発しやすく、作製プロセスの面からも好ましい。

【0081】

第2の層104は、実施の形態2で示した第2の有機化合物を含む層である。すなわち、第1の層103に含まれる複合材料に含まれる無機化合物と複合したときに450 nm～800 nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しない第2の有機化合物を

含む層である。

【0082】

なお、第2の層104に含まれる第2の有機化合物のイオン化ポテンシャルは、第1の層103に含まれる第1の有機化合物のイオン化ポテンシャルよりも大きく、その差は0.5 eV以下であることが好ましい。より好ましくは、0.3 eV以下であることが好ましい。さらに好ましくは、0.1 eV以下であることが好ましい。すなわち、第1の有機化合物のイオン化ポテンシャルを $I_p(1)$ とし、第2の有機化合物のイオン化ポテンシャルを $I_p(2)$ とすると、下記式で表される関係を満たすことが好ましい。

【数8】

$$I_p(2) \leq I_p(1) + 0.5eV$$

10

より好ましくは、下記式で表される関係を満たすことが好ましい。

【数9】

$$I_p(2) \leq I_p(1) + 0.3eV$$

さらに好ましくは、下記式で表される関係を満たすことが好ましい。

【数10】

$$I_p(2) \leq I_p(1) + 0.1eV$$

20

【0083】

第2の有機化合物のイオン化ポテンシャルと第1の有機化合物のイオン化ポテンシャルとが上記の式を満たす関係にあることにより、第1の層103から第2の層104へのキャリア注入障壁が小さくなるため、駆動電圧を低減することができる。よって、第1の層103に含まれる第1の有機化合物として芳香族炭化水素等のイオン化ポテンシャルの大きい有機化合物を用いた場合には、第2の層104に用いることのできる第2の有機化合物のイオン化ポテンシャルの範囲が広がり、第2の有機化合物の選択肢が広がる。例えば、第1の層103に含まれる第1の有機化合物として芳香族炭化水素を用い、第2の層104に含まれる第2の有機化合物として、芳香族炭化水素を用いることができる。このように、アミン化合物を含まない発光素子を作製することも可能となる。

30

【0084】

第1の有機化合物または第2の有機化合物として用いることのできる化合物の具体的なイオン化ポテンシャルの測定値を表1に示す。

【0085】

【表 1】

化合物	イオン化ポテンシャルの値 (eV)
9, 10-ビス (3, 5-ジフェニルフェニル) アントラセン (略称: DPPA)	5.83
9, 10-ジ (ナフタレン-2-イル) アントラセン (略称: DNA)	5.81
9, 10-ジ (ナフタレン-2-イル) -2-tert-ブチルアントラセン (略称: t-BuDNA)	5.55
9, 10-ジ (ナフタレン-1-イル) -2-tert-ブチルアントラセン	5.78
9, 10-ジフェニルアントラセン (略称: DPAnth)	5.74
9, 10-ビス [2- (ナフタレン-1-イル) フェニル] アントラセン	5.67
2, 3, 6, 7-тетраметил-9, 10-ジ (ナフタレン-1-イル) アントラセン	5.70
2, 3, 6, 7-тетраметил-9, 10-ジ (ナフタレン-2-イル) アントラセン	5.54
10, 10'-ジ (2-フェニルフェニル) -9, 9'-ビアントリル	5.81

10

【0086】

なお、本明細書中では、イオン化ポテンシャルの測定方法としては、大気中における光電子分光法を用いる。例えば、このような測定に用いられる装置としては、AC-2、理研計器株式会社製がある。測定対象としては、蒸着法によりガラス基板上に形成した薄膜を用いた。

【0087】

第1の層103に含まれる第1の有機化合物として芳香族炭化水素を用い、第2の層104に含まれる第2の有機化合物として、芳香族炭化水素を用いた場合、耐熱性の高い発光素子を作製することができる。一般に、酸素、窒素、硫黄などのヘテロ原子と炭素との結合が分子内に存在すると、分子骨格の柔軟性が向上するため、ガラス転移温度や融点などの熱物性は低下する。したがって、類似の分子構造であれば、芳香族炭化水素は、芳香族アミン化合物と比較すると、熱物性が高い。よって、類似の分子構造を有する芳香族アミン化合物を用いる場合に比べ、芳香族炭化水素を用いることにより、耐熱性の高い発光素子を得ることができる。

20

【0088】

また、高いガラス転移温度や高い融点をアミン化合物に付与する場合には、分子量を増大させる必要がある。このため、これまでに、スターバースト型のアミン化合物や、直鎖型のオリゴアミン化合物が合成されてきたが、これらの化合物は合成のステップ数が多く、目的の材料を得るために必要な時間が長く、コストも高い。よって、芳香族炭化水素を用いることにより、同様な耐熱性を有する発光素子を得るのに必要なコストを削減することができる。

30

【0089】

また、第1の層103と第2の層104とに含まれる有機化合物が同じ物質である場合、すなわち、第1の有機化合物と第2の有機化合物が同じ物質である場合、第1の層103と第2の層104とのキャリア注入障壁が小さくなるので好ましい。また、第1の層103と第2の層104を蒸着法により形成する場合、連続的に成膜することも可能となるため、工程を簡略化することが可能となり、より生産性を向上させることができる。

【0090】

なお、第2の層104の膜厚は、1nm～20nmであることが好ましい。

40

【0091】

なお、図3に示すように、第2の層104と第3の層105との間に、正孔輸送性の高い物質を含む層108を設ける構成としてもよい。正孔輸送性の高い物質としては、例えば4, 4'-ビス [N- (1-ナフチル) -N-フェニルアミノ] ビフェニル (略称: NPBまたはα-NPD) やN, N'-ビス (3-メチルフェニル) -N, N'-ジフェニル [1, 1'-ビフェニル] -4, 4'-ジアミン (略称: TPD)、4, 4', 4'-トリリス (N, N'-ジフェニルアミノ) トリフェニルアミン (略称: TDATA)、4, 4', 4'-トリリス [N- (3-メチルフェニル) -N-フェニルアミノ] トリフェニルアミン (略称: MTDATA)、4, 4'-ビス [N-フェニル-N- (スピロフル

50

オレン-2-イル)] ビフェニル (略称: BSPB) などの芳香族アミン化合物 (即ち、ベンゼン環-窒素の結合を有する化合物) 等を用いることができる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質である。但し、電子よりも正孔の輸送性の高い物質であれば、これら以外のものを用いてもよい。また、正孔輸送性の高い物質を含む層は、単層のものだけでなく、上記物質からなる層が二層以上積層したものとしてもよい。

【0092】

第3の層105は、発光性の高い物質を含む層である。例えば、N, N'-ジメチルキナクリドン (略称: DMQd)、N, N'-ジフェニルキナクリドン (略称: DPQd) や3-(2-ベンゾチアゾイル)-7-ジエチルアミノクマリン (略称: クマリン6) 等の発光性の高い物質とトリス(8-キノリノラト)アルミニウム (略称: Alq) や9, 10-ジ(2-ナフチル)アントラセン (略称: DNA) 等のキャリア輸送性が高く膜質がよい (つまり結晶化しにくい) 物質とを自由に組み合わせて構成される。但し、Alq やDNAは発光性も高い物質であるため、これらの物質を単独で用いた構成とし、第3の層105としても構わない。

【0093】

第4の層106は、電子輸送性の高い物質、例えばトリス(8-キノリノラト)アルミニウム (略称: Alq)、トリス(5-メチル-8-キノリノラト)アルミニウム (略称: Almq₃)、ビス(10-ヒドロキシベンゾ[h]-キノリノラト)ベリリウム (略称: BeBq₂)、ビス(2-メチル-8-キノリノラト)-4-フェニルフェノラト-アルミニウム (略称: BAlq) など、キノリン骨格またはベンゾキノリン骨格を有する金属錯体等からなる層である。また、この他ビス[2-(2-ヒドロキシフェニル)-ベンゾチアゾラト]亜鉛 (略称: Zn(BOX)₂)、ビス[2-(2-ヒドロキシフェニル)-ベンゾチアゾラト]亜鉛 (略称: Zn(BTZ)₂) などのオキサゾール系、チアゾール系配位子を有する金属錯体なども用いることができる。さらに、金属錯体以外にも、2-(4-ビフェニル)-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1, 3, 4-オキサジアゾール (略称: PBD) や、1, 3-ビス[5-(p-tert-ブチルフェニル)-1, 3, 4-オキサジアゾール-2-イル]ベンゼン (略称: OXD-7)、3-(4-tert-ブチルフェニル)-4-フェニル-5-(4-ビフェニル)-1, 2, 4-トリアゾール (略称: TAZ)、3-(4-tert-ブチルフェニル)-4-(4-エチルフェニル)-5-(4-ビフェニル)-1, 2, 4-トリアゾール (略称: p-EtTAZ)、バソフェナントロリン (略称: BPhen)、バソキュプロイン (略称: BCP) など用いることができる。ここに述べた物質は、主に $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する物質である。なお、正孔よりも電子の輸送性の高い物質であれば、上記以外の物質を第4の層106として用いても構わない。また、第4の層106は、単層のものだけでなく、上記物質からなる層が二層以上積層したものとしてもよい。

【0094】

第2の電極107を形成する物質としては、仕事関数の小さい (仕事関数3.8 eV以下) 金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることができる。このような陰極材料の具体例としては、元素周期表の1族または2族に属する元素、すなわちリチウム (Li) やセシウム (Cs) 等のアルカリ金属、およびマグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca)、ストロンチウム (Sr) 等のアルカリ土類金属、およびこれらを含む合金 (Mg: Ag, Al: Li) が挙げられる。しかしながら、第2の電極107と第4の層106との間に、電子注入を促す機能を有する層を、当該第2の電極と積層して設けることにより、仕事関数の大小に関わらず、Al、Ag、ITO、珪素を含むITO等様々な導電性材料を第2の電極107として用いることができる。

【0095】

なお、電子注入を促す機能を有する層としては、フッ化リチウム (LiF)、フッ化セシウム (CsF)、フッ化カルシウム (CaF₂) 等のようなアルカリ金属又はアルカリ土類金属の化合物を用いることができる。また、この他、電子輸送性を有する物質からな

る層中にアルカリ金属又はアルカリ土類金属を含有させたもの、例えばAlq中にマグネシウム(Mg)を含有させたもの等を用いることができる。

【0096】

また、第1の層103、第2の層104、第3の層105、第4の層106の形成方法は、上記のような蒸着法以外の方法でもよい。例えばインクジェット法またはスピコート法など用いても構わない。また各電極または各層ごとに異なる成膜方法を用いて形成しても構わない。

【0097】

以上のような構成を有する本発明の発光素子は、第1の電極102と第2の電極107との間に生じた電位差により電流が流れ、発光性の高い物質を含む層である第3の層105において正孔と電子とが再結合し、発光するものである。つまり第3の層105に発光領域が形成されるような構成となっている。但し、第3の層105の全てが発光領域として機能する必要はなく、例えば、第3の層105のうち第2の層104側または第4の層106側にのみ発光領域が形成されるようなものであってもよい。

【0098】

発光は、第1の電極102または第2の電極107のいずれか一方または両方を通して外部に取り出される。従って、第1の電極102または第2の電極107のいずれか一方または両方は、透光性を有する物質で成る。第1の電極102のみが透光性を有する物質からなるものである場合、図1(A)に示すように、発光は第1の電極102を通して基板側から取り出される。また、第2の電極107のみが透光性を有する物質からなるものである場合、図1(B)に示すように、発光は第2の電極107を通して基板と逆側から取り出される。第1の電極102および第2の電極107がいずれも透光性を有する物質からなるものである場合、図1(C)に示すように、発光は第1の電極102および第2の電極107を通して、基板側および基板と逆側の両方から取り出される。

【0099】

なお第1の電極102と第2の電極107との間に設けられる層の構成は、上記のものには限定されない。発光領域と金属とが近接することによって生じる消光が抑制されるように、第1の電極102および第2の電極107から離れた部位に正孔と電子とが再結合する領域を設けた構成であり、且つ、第1の有機化合物と無機化合物とを複合した複合材料を含む層と、複合材料に含まれる無機化合物と複合したとき450nm～800nmの波長領域に吸収スペクトルのピークを有しない第2の有機化合物を含む層とが接していれば、上記以外のものでもよい。

【0100】

つまり、層の積層構造については特に限定されず、電子輸送性の高い物質または正孔輸送性の高い物質、電子注入性の高い物質、正孔注入性の高い物質、バイポーラ性(電子及び正孔の輸送性の高い物質)の物質等から成る層を、第1の有機化合物と無機化合物とを複合した複合材料を含む層および複合材料に含まれる無機化合物と複合したとき450nm～800nmの波長領域に吸収スペクトルのピークを有しない第2の有機化合物を含む層と、自由に組み合わせて構成すればよい。

【0101】

図2に示す発光素子は、陰極として機能する第1の電極302の上に電子輸送性の高い物質からなる第1の層303、発光性の高い物質を含む第2の層304、第4の層306の複合材料に含まれる無機化合物と複合したとき450nm～800nmの波長領域に吸収スペクトルのピークを有しない第2の有機化合物を含む層である第3の層305、第1の有機化合物と無機化合物とを複合した複合材料を含む層である第4の層306、陽極として機能する第2の電極307とが順に積層された構成となっている。なお、301は基板である。

【0102】

本実施の形態においては、ガラス、プラスチックなどからなる基板上に発光素子を作製している。一基板上にこのような発光素子を複数作製することで、パッシブ型の発光装置

10

20

30

40

50

を作製することができる。また、ガラス、プラスチックなどからなる基板以外に、例えば薄膜トランジスタ（TFT）アレイ基板上に発光素子を作製してもよい。これにより、TFTによって発光素子の駆動を制御するアクティブマトリクス型の発光装置を作製できる。なお、TFTの構造は、特に限定されない。スタガ型のTFTでもよいし逆スタガ型のTFTでもよい。また、TFTアレイ基板に形成される駆動用回路についても、N型およびP型のTFTからなるものでもよいし、若しくはN型またはP型のいずれか一方からのみなるものであってもよい。また、TFTに用いられる半導体膜の結晶性についても特に限定されない。非晶質半導体膜を用いてもよいし、結晶性半導体膜を用いてもよい。

【0103】

本発明の発光素子は、第1の有機化合物と無機化合物とを複合した複合材料を含む層および複合材料に含まれる無機化合物と複合したとき450nm～800nmの波長領域に吸収スペクトルのピークを有しない第2の有機化合物を含む層を有する。

10

【0104】

複合材料を含む層は、450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しない。よって、発光物質からの発光を効率良く透過し、外部取り出し効率を向上させることができる。すなわち、発光効率の高い発光素子を得ることができる。

【0105】

第2の有機化合物を含む層は、複合材料に含まれる無機化合物と複合したときに450nm～800nmの波長領域において吸収スペクトルのピークを有しない。よって、第1の層103と第2の層104とが接していることにより、複合材料を含む層と第2の有機化合物を含む層との界面において、複合材料を含む層に含まれる無機化合物と第2の有機化合物とが接し、複合材料として存在した場合でも、発光物質からの発光を吸収することなく効率良く透過し、外部取り出し効率を向上させることができる。すなわち、発光効率の高い発光素子を得ることができる。

20

【0106】

また、第1の有機化合物と無機化合物とを複合した複合材料を含む層は、導電性が高い。よって、発光素子の低電圧駆動を実現することができる。

【0107】

また、有機化合物と無機化合物とを複合した複合材料を含む層は導電性が高いため、複合材料を含む層を厚膜化した場合でも、駆動電圧の上昇を抑制することができる。よって、駆動電圧の上昇を抑制しつつ、外部への光の取り出し効率が高くなるように複合材料を含む層の膜厚を最適化することが可能となる。

30

【0108】

また、駆動電圧を上昇させることなく、光学設計による色純度の向上を実現することができる。

【0109】

また、複合材料を含む層を厚膜化することにより、電極上の凹凸や衝撃等による短絡を防止することができるため、信頼性の高い発光素子を得ることができる。例えば、通常の発光素子の電極間の膜厚が100nm～150nmであるのに対し、複合材料を含む層を用いた発光素子の電極間の膜厚は、100～500nm、好ましくは、200～500nmとすることができる。

40

【0110】

また、本発明の発光素子に用いる複合材料を含む層は、電極とオーム接触することが可能であり、電極との接触抵抗が小さい。そのため、仕事関数等を考慮することなく、電極材料を選ぶことができる。つまり、電極材料の選択肢が広がる。

【0111】

（実施の形態4）

本実施の形態では、本発明の発光素子を有する発光装置について説明する。

【0112】

本実施の形態では、画素部に本発明の発光素子を有する発光装置について図33を用い

50

て説明する。なお、図 3 3 (A) は、発光装置を示す上面図、図 3 3 (B) は図 3 3 (A) を A-A' および B-B' で切断した断面図である。点線で示された 6 0 1 は駆動回路部 (ソース側駆動回路)、6 0 2 は画素部、6 0 3 は駆動回路部 (ゲート側駆動回路) である。また、6 0 4 は封止基板、6 0 5 はシール材であり、シール材 6 0 5 で囲まれた内側は、空間 6 0 7 になっている。

【0 1 1 3】

なお、引き回し配線 6 0 8 はソース側駆動回路 6 0 1 及びゲート側駆動回路 6 0 3 に入力される信号を伝送するための配線であり、外部入力端子となる F P C (フレキシブルプリントサーキット) 6 0 9 からビデオ信号、クロック信号、スタート信号、リセット信号等を受け取る。なお、ここでは F P C しか図示されていないが、この F P C にはプリント

10

【0 1 1 4】

次に、断面構造について図 3 3 (B) を用いて説明する。素子基板 6 1 0 上には駆動回路部及び画素部が形成されているが、ここでは、駆動回路部であるソース側駆動回路 6 0 1 と、画素部 6 0 2 中の一つの画素が示されている。

【0 1 1 5】

なお、ソース側駆動回路 6 0 1 は n チャンネル型 T F T 6 2 3 と p チャンネル型 T F T 6 2 4 とを組み合わせた C M O S 回路が形成される。また、駆動回路を形成する T F T は、種々の C M O S 回路、P M O S 回路もしくは N M O S 回路で形成しても良い。また、本実施例では、基板上に駆動回路を形成したドライバー一体型を示すが、必ずしもその必要はなく、駆動回路を基板上ではなく外部に形成することもできる。

20

【0 1 1 6】

また、画素部 6 0 2 はスイッチング用 T F T 6 1 1 と、電流制御用 T F T 6 1 2 とそのドレインに電氣的に接続された第 1 の電極 6 1 3 とを含む複数の画素により形成される。なお、第 1 の電極 6 1 3 の端部を覆って絶縁物 6 1 4 が形成されている。ここでは、ポジ型の感光性アクリル樹脂膜を用いることにより形成する。

【0 1 1 7】

また、被覆性を良好なものとするため、絶縁物 6 1 4 の上端部または下端部に曲率を有する曲面が形成されるようにする。例えば、絶縁物 6 1 4 の材料としてポジ型の感光性アクリルを用いた場合、絶縁物 6 1 4 の上端部のみに曲率半径 ($0.2 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$) を有する曲面を持たせることが好ましい。また、絶縁物 6 1 4 として、光の照射によってエッチャントに不溶解性となるネガ型、或いは光の照射によってエッチャントに溶解性となるポジ型のいずれも使用することができる。

30

【0 1 1 8】

第 1 の電極 6 1 3 上には、発光物質を含む層 6 1 6、および第 2 の電極 6 1 7 がそれぞれ形成されている。ここで、陽極として機能する第 1 の電極 6 1 3 に用いる材料としては、さまざまな金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物を用いることができる。第 1 の電極を陽極として用いる場合には、その中でも、仕事関数の大きい (仕事関数 4.0 eV 以上) など形成されていることが好ましい。例えば、珪素を含有したインジウム錫酸化物、酸化インジウムに $2 \sim 20 \text{ wt} \%$ の酸化亜鉛 (ZnO) を混合した I Z O (Indium Zinc Oxide)、窒化チタン膜、クロム膜、タングステン膜、Zn 膜、Pt 膜などの単層膜の他、窒化チタンとアルミニウムを主成分とする膜との積層、窒化チタン膜とアルミニウムを主成分とする膜と窒化チタン膜との 3 層構造等を用いることができる。なお、積層構造とすると、配線としての抵抗も低く、良好なオーミックコンタクトがとれ、さらに陽極として機能させることができる。

40

【0 1 1 9】

また、発光物質を含む層 6 1 6 は、蒸着マスクを用いた蒸着法、インクジェット法、スピコート法等の種々の方法によって形成される。発光物質を含む層 6 1 6 は、実施の形

50

態1で示した複合材料を含む層および実施の形態2で示した第2の有機化合物を含む層を有している。また、発光物質を含む層616を構成する他の材料としては、低分子系材料、中分子材料（オリゴマー、デンドリマーを含む）、または高分子系材料であっても良い。また、発光物質を含む層に用いる材料としては、通常、有機化合物を単層もしくは積層で用いる場合が多いが、本発明においては、有機化合物からなる膜の一部に無機化合物を用いる構成も含めることとする。

【0120】

さらに、発光物質を含む層616上に形成され、陰極として機能する第2の電極617に用いる材料としては、仕事関数の小さい（仕事関数3.8 eV以下）金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることができる。このような陰極材料の具体例としては、元素周期表の第1族または第2族に属する元素、すなわちリチウム（Li）やセシウム（Cs）等のアルカリ金属、およびマグネシウム（Mg）、カルシウム（Ca）、ストロンチウム（Sr）等のアルカリ土類金属、およびこれらを含む合金（Mg:Ag、Al:Li）が挙げられる。なお、発光物質を含む層616で生じた光が第2の電極617を透過させる場合には、第2の電極617として、膜厚を薄くした金属薄膜と、透明導電膜（ITO、2~20wt%の酸化亜鉛を含む酸化インジウム、珪素を含有したインジウム錫酸化物、酸化亜鉛（ZnO）等）との積層を用いるのが良い。

【0121】

さらにシール材605で封止基板604を素子基板610と貼り合わせることで、素子基板610、封止基板604、およびシール材605で囲まれた空間607に発光素子618が備えられた構造になっている。なお、空間607には、充填材が充填されており、不活性気体（窒素やアルゴン等）が充填される場合の他、シール材605で充填される場合もある。

【0122】

なお、シール材605にはエポキシ系樹脂を用いるのが好ましい。また、これらの材料はできるだけ水分や酸素を透過しない材料であることが望ましい。また、封止基板604に用いる材料としてガラス基板や石英基板の他、FRP（Fiberglass-Reinforced Plastics）、PVF（ポリビニルフロライド）、マイラー、ポリエステルまたはアクリル等からなるプラスチック基板を用いることができる。

【0123】

以上のようにして、本発明の発光素子を有する発光装置を得ることができる。

【0124】

本発明の発光装置は、実施の形態1で示した複合材料を含む層および複合材料を含む層に接するように設けられた実施の形態2で示した第2の有機化合物を含む層を有している。そのため、発光領域からの発光を効率良く外部に取り出すことができ、発光効率が高い。また、駆動電圧を低減することができ、消費電力を低減することが可能となる。

【0125】

また、本発明の発光装置は、複合材料を含む層を厚くしても駆動電圧の上昇を抑制することができる。よって、複合材料を含む層を厚くして、発光素子の短絡を防止することができる。また、光学設計により発光の外部取り出し効率の向上を実現することができる。よって、消費電力が少なく、信頼性の高い発光装置を得ることができる。

【0126】

以上のように、本実施の形態では、トランジスタによって発光素子の駆動を制御するアクティブ型の発光装置について説明したが、この他、トランジスタ等の駆動用の素子を特に設けずに発光素子を駆動させるパッシブ型の発光装置であってもよい。図34には本発明を適用して作製したパッシブ型の発光装置の斜視図を示す。図34において、基板951上には、電極952と電極956との間には発光物質を含む層955が設けられている。電極952の端部は絶縁層953で覆われている。そして、絶縁層953上には隔壁層954が設けられている。隔壁層954の側壁は、基板面に近くなるに伴って、一方の側壁と他方の側壁との間隔が狭くなっていくような傾斜を有する。つまり、隔壁層954の

短辺方向の断面は、台形状であり、底辺（絶縁層 953 の面方向と同様の方向を向き、絶縁層 953 と接する辺）の方が上辺（絶縁層 953 の面方向と同様の方向を向き、絶縁層 953 と接しない辺）よりも短い。このように、隔壁層 954 を設けることで、静電気等に起因した発光素子の不良を防ぐことができる。また、パッシブ型の発光装置においても、発光効率が高く、低駆動電圧で動作する本発明の発光素子を含むことによって、低消費電力で駆動させることができる。

【0127】

（実施の形態 5）

本実施の形態では、実施の形態 4 に示す発光装置をその一部に含む本発明の電子機器について説明する。本発明の電子機器は、実施の形態 1 に示した複合材料を含む層および複合材料を含む層に接するように設けられた実施の形態 2 に示した第 2 の有機化合物を含む層を有し、低消費電力の表示部を有する。また、実施の形態 1 で示した複合材料を含む層を厚膜化することにより、微小な異物や、外部からの衝撃等による短絡が抑制された信頼性の高い表示部を有する電子機器を提供することも可能である。

【0128】

本発明の発光装置を用いて作製された電子機器として、ビデオカメラ、デジタルカメラ、ゴーグル型ディスプレイ、ナビゲーションシステム、音響再生装置（カーオーディオ、オーディオコンポ等）、コンピュータ、ゲーム機器、携帯情報端末（モバイルコンピュータ、携帯電話、携帯型ゲーム機または電子書籍等）、記録媒体を備えた画像再生装置（具体的には Digital Versatile Disc (DVD) 等の記録媒体を再生し、その画像を表示しうる表示装置を備えた装置）などが挙げられる。これらの電子機器の具体例を図 35 に示す。

図 35 (A) は本発明に係るテレビ装置であり、筐体 9101、支持台 9102、表示部 9103、スピーカー部 9104、ビデオ入力端子 9105 等を含む。このテレビ装置において、表示部 9103 は、実施の形態 2～6 で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、発光効率が高く、駆動電圧が低いという特徴を有している。また、微小な異物や、外部からの衝撃等による短絡を防止することも可能である。その発光素子で構成される表示部 9103 も同様の特徴を有するため、このテレビ装置は画質の劣化がなく、低消費電力化が図られている。このような特徴により、テレビ装置において、劣化補償機能の回路や電源回路を大幅に減らす、若しくは劣化補償機能の回路や電源回路のサイズを小さくすることができるので、筐体 9101 や支持台 9102 の小型軽量化を図ることが可能である。本発明に係るテレビ装置は、低消費電力、高画質及び小型軽量化が図られているので、それにより住環境に適合した製品を提供することができる。

【0129】

図 35 (B) は本発明に係るコンピュータであり、本体 9201、筐体 9202、表示部 9203、キーボード 9204、外部接続ポート 9205、ポインティングマウス 9206 等を含む。このコンピュータにおいて、表示部 9203 は、実施の形態 2～6 で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、発光効率が高く、駆動電圧が低いという特徴を有している。また、微小な異物や、外部からの衝撃等による短絡を防止することも可能である。その発光素子で構成される表示部 9203 も同様の特徴を有するため、このコンピュータは画質の劣化がなく、低消費電力化が図られている。このような特徴により、コンピュータにおいて、劣化補償機能の回路や電源回路を大幅に減らす、若しくは劣化補償機能の回路や電源回路のサイズを小さくすることができるので、本体 9201 や筐体 9202 の小型軽量化を図ることが可能である。本発明に係るコンピュータは、低消費電力、高画質及び小型軽量化が図られているので、環境に適合した製品を提供することができる。また、持ち運ぶことも可能となり、持ち運ぶときの外部からの衝撃にも強い表示部を有しているコンピュータを提供することができる。

【0130】

図 3 5 (C) は本発明に係る携帯電話であり、本体 9 4 0 1、筐体 9 4 0 2、表示部 9 4 0 3、音声入力部 9 4 0 4、音声出力部 9 4 0 5、操作キー 9 4 0 6、外部接続ポート 9 4 0 7、アンテナ 9 4 0 8 等を含む。この携帯電話において、表示部 9 4 0 3 は、実施の形態 2 ～ 6 で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、発光効率が高く、駆動電圧が低いという特徴を有している。また、微小な異物や、外部からの衝撃等による短絡を防止することも可能である。その発光素子で構成される表示部 9 4 0 3 も同様の特徴を有するため、この携帯電話は画質の劣化がなく、低消費電力化が図られている。このような特徴により、携帯電話において、劣化補償機能の回路や電源回路を大幅に減らす、若しくは劣化補償機能の回路や電源回路のサイズを小さくすることができるので、本体 9 4 0 1 や筐体 9 4 0 2 の小型軽量化を図ることが可能である。本発明に係る携帯電話は、低消費電力、高画質及び小型軽量化が図られているので、携帯に適した製品を提供することができる。また、携帯したときの衝撃にも強い表示部を有している製品を提供することができる。

10

【0131】

図 3 5 (D) は本発明に係るカメラであり、本体 9 5 0 1、表示部 9 5 0 2、筐体 9 5 0 3、外部接続ポート 9 5 0 4、リモコン受信部 9 5 0 5、受像部 9 5 0 6、バッテリー 9 5 0 7、音声入力部 9 5 0 8、操作キー 9 5 0 9、接眼部 9 5 1 0 等を含む。このカメラにおいて、表示部 9 5 0 2 は、実施の形態 2 ～ 6 で説明したものと同様の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。当該発光素子は、発光効率が高く、駆動電圧が低く、微小な異物や、外部からの衝撃等による短絡を防止することができるという特徴を有している。その発光素子で構成される表示部 9 5 0 2 も同様の特徴を有するため、このカメラは画質の劣化がなく、低消費電力化が図られている。このような特徴により、カメラにおいて、劣化補償機能の回路や電源回路を大幅に減らす、若しくは劣化補償機能の回路や電源回路のサイズを小さくすることができるので、本体 9 5 0 1 の小型軽量化を図ることが可能である。本発明に係るカメラは、低消費電力、高画質及び小型軽量化が図られているので、携帯に適した製品を提供することができる。また、携帯したときの衝撃にも強い表示部を有している製品を提供することができる。

20

【0132】

以上の様に、本発明の発光装置の適用範囲は極めて広く、この発光装置をあらゆる分野の電子機器に適用することが可能である。本発明の発光装置を用いることにより、低消費電力で、信頼性の高い表示部を有する電子機器を提供することが可能となる。

30

【0133】

また、本発明の発光装置は、発光効率の高い発光素子を有しており、照明装置として用いることもできる。本発明の発光素子を照明装置として用いる一態様を図 3 6 を用いて説明する。

【0134】

図 3 6 は、本発明の発光装置をバックライトとして用いた液晶表示装置の一例である。図 3 6 に示した液晶表示装置は、筐体 9 0 1、液晶層 9 0 2、バックライト 9 0 3、筐体 9 0 4 を有し、液晶層 9 0 2 は、ドライバ IC 9 0 5 と接続されている。また、バックライト 9 0 3 は、本発明の発光装置が用いられおり、端子 9 0 6 により、電流が供給されている。

40

【0135】

本発明の発光装置を液晶表示装置のバックライトとして用いることにより、消費電力の低減されたバックライトが得られる。また、本発明の発光装置は、面発光の照明装置であり大面積化も可能であるため、バックライトの大面積化が可能であり、液晶表示装置の大面積化も可能になる。さらに、発光装置は薄型で低消費電力であるため、表示装置の薄型化、低消費電力化も可能となる。

【実施例 1】

【0136】

本実施例では、本発明の発光素子に用いる有機化合物および無機化合物、および複合層

50

の作製方法並びに光学特性について説明する。

【0137】

(サンプル1)

まず、石英基板を真空蒸着装置内の基板ホルダーに固定する。そして、DNTPDと酸化モリブデン(VI)とをそれぞれ別の抵抗加熱式の蒸発源に入れ、その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、共蒸着法によりDNTPDと酸化モリブデンとを含む層を形成した。この時、DNTPDと酸化モリブデンの比率が重量比で2:1となるように共蒸着した。なお、膜厚は100 nmとした。

【0138】

このようにして成膜したDNTPD-酸化モリブデン複合層(サンプル1)の450 nm~800 nmの波長領域における吸収スペクトルを測定した結果を図37に示す。また、透過率を図4に示す。

10

【0139】

(比較例1)

(比較サンプル2)

石英基板を真空蒸着装置内の基板ホルダーに固定する。そして、NPBと酸化モリブデン(VI)とをそれぞれ別の抵抗加熱式の蒸発源に入れ、その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、共蒸着法によりNPBと酸化モリブデンとを含む層を形成した。この時、NPBと酸化モリブデンの比率が重量比で2:0.75となるように共蒸着した。なお、膜厚は100 nmとした。

20

【0140】

このようにして成膜したNPB-酸化モリブデン複合層(比較サンプル2)の450 nm~800 nmの波長領域における吸収スペクトルを測定した結果を図37に示す。また、透過率を図4に示す。

【0141】

図4および図37からわかるように、DNTPD-酸化モリブデン複合層は450 nm~800 nmの波長領域において吸収ピークを示さず、80%以上の透過率を有しているのに対し、比較例であるNPB-酸化モリブデン混合膜は500 nm付近に吸収ピークを有しており、透過率が80%に満たない波長領域がある。

【0142】

したがって、本発明の複合材料および複合材料と接して設けられる有機化合物の層は、450 nm~800 nmの波長領域において吸収ピークを持たず、高い透過率を有していることがわかる。

30

【実施例2】

【0143】

本実施例では、本発明の発光素子に用いる有機化合物および無機化合物、および複合材料を含む層の作製方法並びに光学特性について説明する。

【0144】

(サンプル3)

まず、石英基板を真空蒸着装置内の基板ホルダーに固定する。そして、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とをそれぞれ別の抵抗加熱式の蒸発源に入れ、その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、共蒸着法によりt-BuDNAと酸化モリブデンとを含む層を形成した。この時、t-BuDNAと酸化モリブデンの比率が重量比で2:1となるように共蒸着した。なお、膜厚は100 nmとした。

40

【0145】

(サンプル4)

サンプル3と同様に、石英基板を真空蒸着装置内の基板ホルダーに固定する。そして、DPPAと酸化モリブデン(VI)とをそれぞれ別の抵抗加熱式の蒸発源に入れ、その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、共蒸着法によりDPPAと酸化モリブデンとを含む層を形成した。この時、DPPAと酸化モリブデンの比率が重量比で2

50

：１となるように共蒸着した。なお、膜厚は１００ｎｍとした。

【０１４６】

（サンプル５）

サンプル３と同様に、石英基板を真空蒸着装置内の基板ホルダーに固定する。そして、DNAと酸化モリブデン（VI）とをそれぞれ別の抵抗加熱式の蒸発源に入れ、その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、共蒸着法によりDNAと酸化モリブデンとを含む層を形成した。この時、DNAと酸化モリブデンの比率が重量比で２：１となるように共蒸着した。なお、膜厚は１００ｎｍとした。

【０１４７】

（サンプル６）

サンプル３と同様に、石英基板を真空蒸着装置内の基板ホルダーに固定する。そして、DPAnthと酸化モリブデン（VI）とをそれぞれ別の抵抗加熱式の蒸発源に入れ、その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、共蒸着法によりDPAnthと酸化モリブデンとを含む層を形成した。この時、DPAnthと酸化モリブデンの比率が重量比で２：１となるように共蒸着した。なお、膜厚は１００ｎｍとした。

【０１４８】

このようにして成膜した、t-BuDNA-酸化モリブデン複合層（サンプル３）、DP PA-酸化モリブデン複合層（サンプル４）、DNA-酸化モリブデン複合層（サンプル５）、DPAnth-酸化モリブデン複合層（サンプル６）の４５０ｎｍ～８００ｎｍの波長領域における吸収スペクトルを測定した結果を図３８に示す。また、透過率を図５に示す。

【０１４９】

図５および図３８からわかるように、t-BuDNA-酸化モリブデン複合層（サンプル３）、DP PA-酸化モリブデン複合層（サンプル４）、DNA-酸化モリブデン複合層（サンプル５）、DPAnth-酸化モリブデン複合層（サンプル６）はいずれも４５０ｎｍ～８００ｎｍの波長領域において吸収ピークを示さず、８０％以上の透過率を有している。

【０１５０】

したがって、本発明の複合材料および複合材料と接して設けられる有機化合物の層は、４５０ｎｍ～８００ｎｍの波長領域において吸収ピークを持たず、高い透過率を有していることがわかる。

【０１５１】

また、有機化合物の層は、複合材料を含む層よりも透過率が高い。よって、複合材料を含む層と複合材料に接して設けられる有機化合物の層の積層体は、８０％より大きい透過率を有することがわかる。

【０１５２】

また、ランバート・ベールの法則により、吸光度と膜厚の関係は式（１１）で表される。

【数１１】

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon L \quad \cdots \quad (11)$$

A ：吸光度

I_0 ：入射光

I ：透過光

ϵ ：単位膜厚あたりの吸光係数（ nm^{-1} ）

L ：膜厚（ nm ）

また、透過率は式（１２）で表される。

10

20

30

40

50

【数 1 2】

$$T = \frac{I}{I_0} \quad \dots \quad (12)$$

 T : 透過率

よって、式 (12) を式 (11) に代入することにより、吸光度は式 (13) で表される。 10

【数 1 3】

$$\log \frac{1}{T} = \varepsilon L$$

$$\varepsilon = \frac{1}{L} \cdot \log \frac{1}{T} \quad \dots \quad (13)$$

例えば、膜厚 $L = 100 \text{ nm}$ のとき、透過率 $T = 80 \%$ の場合、単位膜厚当たりの吸光係数は、式 (14) で表される。 20

【数 1 4】

$$\varepsilon \leq \frac{1}{100} \cdot \log \frac{1}{0.8}$$

$$\varepsilon \leq \frac{1}{100} \cdot 0.097 = 9.7 \times 10^{-4} \quad \dots \quad (14)$$

本発明の発光素子に用いる複合材料は、 $450 \text{ nm} \sim 800 \text{ nm}$ の波長領域において透過率が 80% 以上であることが好ましい。つまり、式 (15) の関係を満たすことが好ましい。 30

【数 1 5】

$$A = \varepsilon l \leq 9.7 \times 10^{-4} \times l \quad \dots \quad (15)$$

 A : 吸光度 l : 膜厚 (nm)

なお、反射材料など、透過光が 0 の場合には、ランバート・ベールの法則が成立しないため、式 (15) には該当しない。 40

【実施例 3】

【0153】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0154】

まず、ガラス基板の上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ とした。

【0155】

次に、第 1 の電極が形成された面が下方となるように、第 1 の電極が形成された基板を 50

真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50 nmとし、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10 vol %含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0156】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、t-BuDNAを10 nmの膜厚となるように成膜した。なお、t-BuDNAのイオン化ポテンシャルの値は、5.55 eVであった。

10

【0157】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、t-BuDNA上に40 nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005 (= Alq:DPQd)となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0158】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0159】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1 nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

20

【0160】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子1を作製した。

【0161】

(比較例2)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110 nmとし、電極面積は2 mm×2 mmとした。

30

【0162】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50 nmとし、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10 vol %含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0163】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、NPBを10 nmの膜厚となるように成膜した。

40

【0164】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、NPB上に40 nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005 (= Alq:DPQd)となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0165】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0166】

50

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1 nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0167】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子1を作製した。

【0168】

実施例3で作製した発光素子1および比較例2で作製した比較発光素子1の電流－電圧特性を図6に示す。また、輝度－電圧特性を図7に示す。また、電流効率－輝度特性を図8に示す。

10

【0169】

発光素子1において、 1226 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.6 Vであり、その時流れた電流は0.35 mA（電流密度は 8.63 mA/cm^2 ）であった。また、この時の電流効率は 14.2 cd/A であった。一方、比較発光素子1においては、 1096 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.8 Vであり、その時流れた電流は0.34 mA（電流密度は 8.57 mA/cm^2 ）であった。また、この時の電流効率は 12.8 cd/A であった。

【0170】

発光素子1は、比較発光素子1と比べ、電流－電圧特性はほぼ変わらない。しかし、電流効率－輝度特性が向上していることにより、輝度－電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

20

【0171】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光効率が向上することがわかった。

【実施例4】

【0172】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0173】

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110 nmとし、電極面積は $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ とした。

30

【0174】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50 nmとし、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10 vol%含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0175】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、t-BuDNAを10 nmの膜厚となるように成膜した。なお、t-BuDNAのイオン化ポテンシャルの値は、5.55 eVであった。

40

【0176】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、t-BuDNA上に40 nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005(=Alq:DPQd)となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0177】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にBPhenを30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

50

【0178】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1 nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0179】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子2を作製した。

【0180】

(比較例3)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110 nmとし、電極面積は2 mm×2 mmとした。

10

【0181】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50 nmとし、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10 vol%含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

20

【0182】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、NPBを10 nmの膜厚となるように成膜した。

【0183】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、NPB上に40 nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005(=Alq:DPQd)となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0184】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にBPhenを30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

30

【0185】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1 nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0186】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子2を作製した。

【0187】

実施例4で作製した発光素子2および比較例3で作製した比較発光素子2の電流-電圧特性を図9に示す。また、輝度-電圧特性を図10に示す。また、電流効率-輝度特性を図11に示す。

40

【0188】

発光素子2において、 1233 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は4.6 Vであり、その時流れた電流は0.36 mA(電流密度は 8.90 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 13.9 cd/A であった。一方、比較発光素子2においては、 1179 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は4.8 Vであり、その時流れた電流は0.38 mA(電流密度は 9.59 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 12.3 cd/A であった。

【0189】

50

発光素子 2 は、比較発光素子 2 と比べ、電流－電圧特性はほぼ変わらない。しかし、電流効率－輝度特性が向上していることにより、輝度－電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

【0190】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光効率が向上することがわかった。

【実施例 5】

【0191】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0192】

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は 2 mm × 2 mm とした。

【0193】

次に、第 1 の電極が形成された面が下方となるように、第 1 の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第 1 の電極上に、t-BuDNA と酸化モリブデン (VI) とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は 50 nm とし、t-BuDNA と酸化モリブデン (VI) との比率は、体積比で酸化モリブデンが 10 vol % 含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0194】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、t-BuDBA を 10 nm の膜厚となるように成膜した。

【0195】

さらに、Alq と DPQd とを共蒸着することにより、t-BuDBA 上に 40 nm の膜厚の発光層を形成した。ここで、Alq と DPQd との重量比は、1 : 0.005 (= Alq : DPQd) となるように調節した。これによって、DPQd は Alq から成る層中に分散した状態となる。

【0196】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上に Alq を 30 nm の膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0197】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを 1 nm の膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0198】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを 200 nm の膜厚となるように成膜することにより、第 2 の電極を形成することで、発光素子 3 を作製した。

【0199】

(比較例 4)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は 2 mm × 2 mm とした。

【0200】

次に、第 1 の電極が形成された面が下方となるように、第 1 の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第 1 の電極上に、t-BuDNA と酸化モリブデン (VI) とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は 50 nm とし、t-BuDNA と酸化モリブデン (VI) との比率は、体積比で酸化モリブデンが 10 vol % 含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源か

10

20

30

40

50

ら同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0201】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、NPBを10nmの膜厚となるように成膜した。

【0202】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、NPB上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005(=Alq:DPQd)となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0203】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0204】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0205】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子3を作製した。

【0206】

実施例5で作製した発光素子3および比較例4で作製した比較発光素子3の電流-電圧特性を図12に示す。また、輝度-電圧特性を図13に示す。また、電流効率-輝度特性を図14に示す。

【0207】

発光素子3において、 1063 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.6Vであり、その時流れた電流は0.31mA(電流密度は 7.65 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 13.9 cd/A であった。一方、比較発光素子3においては、 1027 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.8Vであり、その時流れた電流は0.32mA(電流密度は 8.11 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 12.7 cd/A であった。

【0208】

発光素子3は、比較発光素子3と比べ、電流-電圧特性はほぼ変わらない。しかし、電流効率-輝度特性が向上していることにより、輝度-電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

【0209】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光効率が向上することがわかった。

【実施例6】

【0210】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0211】

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ とした。

【0212】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDBAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50nmとし、t-BuDBAと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10vol%含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源か

10

20

30

40

50

ら同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0213】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、 $t\text{-BuDBA}$ を10nmの膜厚となるように成膜した。

【0214】

さらに、 Alq と $DPQd$ とを共蒸着することにより、 $t\text{-BuDBA}$ 上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、 Alq と $DPQd$ との重量比は、 $1:0.005$ ($=Alq:DPQd$)となるように調節した。これによって、 $DPQd$ は Alq から成る層中に分散した状態となる。

【0215】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上に Alq を30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0216】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0217】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子4を作製した。

【0218】

(比較例5)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ とした。

【0219】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4}Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、 $t\text{-BuDBA}$ と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50nmとし、 $t\text{-BuDBA}$ と酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10vol%含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0220】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、 NPB を10nmの膜厚となるように成膜した。

【0221】

さらに、 Alq と $DPQd$ とを共蒸着することにより、 NPB 上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、 Alq と $DPQd$ との重量比は、 $1:0.005$ ($=Alq:DPQd$)となるように調節した。これによって、 $DPQd$ は Alq から成る層中に分散した状態となる。

【0222】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上に Alq を30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0223】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0224】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子4を作製した。

10

20

30

40

50

【0225】

実施例6で作製した発光素子4および比較例5で作製した比較発光素子4の電流－電圧特性を図15に示す。また、輝度－電圧特性を図16に示す。また、電流効率－輝度特性を図17に示す。

【0226】

発光素子4において、 1105 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は 5.6 V であり、その時流れた電流は 0.31 mA （電流密度は 7.86 mA/cm^2 ）であった。また、この時の電流効率は 14.1 cd/A であった。一方、比較発光素子4においては、 1010 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は 5.8 V であり、その時流れた電流は 0.31 mA （電流密度は 7.87 mA/cm^2 ）であった。また、この時の電流効率は 12.8 cd/A であった。

10

【0227】

発光素子4は、比較発光素子4と比べ、電流－電圧特性はほぼ変わらない。しかし、電流効率－輝度特性が向上していることにより、輝度－電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

【0228】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光効率が向上することがわかった。

【実施例7】

【0229】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

20

【0230】

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ とした。

【0231】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、 $t\text{-BuDNA}$ と酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は 50 nm とし、 $t\text{-BuDNA}$ と酸化モリブデン(VI)との比率は、重量比で $4:1$ （= $t\text{-BuDNA}$: 酸化モリブデン）となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

30

【0232】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、 $t\text{-BuDNA}$ を 10 nm の膜厚となるように成膜した。なお、 $t\text{-BuDNA}$ のイオン化ポテンシャルの値は、 5.55 eV であった。

【0233】

さらに、 Alq とクマリン6とを共蒸着することにより、 $t\text{-BuDNA}$ 上に 40 nm の膜厚の発光層を形成した。ここで、 Alq とクマリン6との重量比は、 $4:0.04$ （= Alq : クマリン6）となるように調節した。これによって、クマリン6は Alq から成る層中に分散した状態となる。

40

【0234】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上に Alq を 30 nm の膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0235】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを 1 nm の膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0236】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを 200 nm の膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子5を作製し

50

た。

【実施例 8】

【0237】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0238】

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0239】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50nmとし、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、重量比で4:1(=t-BuDNA:酸化モリブデン)となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。なお、t-BuDNAのイオン化ポテンシャルの値は、5.55eVであった。

【0240】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、DPPAを10nmの膜厚となるように成膜した。なお、DPPAのイオン化ポテンシャルの値は、5.83eVであった。

【0241】

さらに、Alqとクマリン6とを共蒸着することにより、DPPA上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、Alqとクマリン6との重量比は、4:0.04(=Alq:クマリン6)となるように調節した。これによって、クマリン6はAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0242】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0243】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0244】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子6を作製した。

【0245】

(比較例 6)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0246】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50nmとし、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、重量比で4:1(=t-BuDNA:酸化モリブデン)となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0247】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、NPBを10nmの膜厚となるように成膜した。

【0248】

さらに、Alqとクマリン6とを共蒸着することにより、NPB上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、Alqとクマリン6との重量比は、4:0.04(=Alq:クマリン6)となるように調節した。これによって、クマリン6はAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0249】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

10

【0250】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0251】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子5を作製した。

【0252】

(比較例7)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

20

【0253】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50nmとし、t-BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、重量比で4:1(=t-BuDNA:酸化モリブデン)となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

30

【0254】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、4,4'-ビス[N-フェニル-N-(スピロフルオレン-2-イル)]ビフェニル(略称:BSPB)を10nmの膜厚となるように成膜した。

【0255】

さらに、Alqとクマリン6とを共蒸着することにより、BSPB上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、Alqとクマリン6との重量比は、4:0.04(=Alq:クマリン6)となるように調節した。これによって、クマリン6はAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0256】

40

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0257】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0258】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子6を作製した。

【0259】

50

実施例7で作製した発光素子5、実施例8で作製した発光素子6、比較例6で作製した比較発光素子5、比較例7で作製した比較発光素子6の電流－電圧特性を図18に示す。また、輝度－電圧特性を図19に示す。また、電流効率－輝度特性を図20に示す。

【0260】

発光素子5において、 1202 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は 5.8 V であり、その時流れた電流は 0.36 mA （電流密度は 9.00 mA/cm^2 ）であった。また、この時の電流効率は 13.4 cd/A であった。発光素子6において、 1057 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は 6.0 V であり、その時流れた電流は 0.35 mA （電流密度は 8.72 mA/cm^2 ）であった。また、この時の電流効率は 12.1 cd/A であった。一方、比較発光素子5においては、 1103 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は 6.0 V であり、その時流れた電流は 0.46 mA （電流密度は 11.54 mA/cm^2 ）であった。また、この時の電流効率は 9.6 cd/A であった。比較発光素子6においては、 1159 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は 5.8 V であり、その時流れた電流は 0.473 mA （電流密度は 11.74 mA/cm^2 ）であった。また、この時の電流効率は 9.9 cd/A であった。

10

【0261】

発光素子5および発光素子6は、比較発光素子5および比較発光素子6と比べ、電流－電圧特性はほぼ変わらない。しかし、発光素子5および発光素子6は、比較発光素子5および比較発光素子6と比べ、電流効率－輝度特性が向上していることにより、輝度－電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

20

【0262】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光素子の駆動電圧を低減できることがわかった。また、発光効率が向上することがわかった。

【実施例9】

【0263】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0264】

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ とした。

30

【0265】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、DNTPDと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は 120 nm とし、DNTPDと酸化モリブデン(VI)との比率は、重量比で $1:0.67$ （＝DNTPD：酸化モリブデン）となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0266】

40

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、DNTPDを 5 nm の膜厚となるように成膜した。

【0267】

さらに、抵抗加熱を用いた蒸着法により、DNTPD上にNPBを 5 nm の膜厚となるように成膜した。

【0268】

次に、Alqとクマリン6とを共蒸着することにより、NPB上に 40 nm の膜厚の発光層を形成した。ここで、Alqとクマリン6との重量比は、 $1:0.005$ （＝Alq：クマリン6）となるように調節した。これによって、クマリン6はAlqから成る層中に分散した状態となる。

50

【0269】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0270】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0271】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子7を作製した。

10

【0272】

(比較例8)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0273】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、DNTPDと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は120nmとし、DNTPDと酸化モリブデン(VI)との比率は、重量比で1:0.67(=DNTPD:酸化モリブデン)となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

20

【0274】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、NPBを10nmの膜厚となるように成膜した。

【0275】

次に、Alqとクマリン6とを共蒸着することにより、NPB上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、Alqとクマリン6との重量比は、1:0.005(=Alq:クマリン6)となるように調節した。これによって、クマリン6はAlqから成る層中に分散した状態となる。

30

【0276】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0277】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0278】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子7を作製した。

40

【0279】

実施例9で作製した発光素子7および比較例8で作製した比較発光素子7の電流-電圧特性を図21に示す。また、輝度-電圧特性を図22に示す。また、電流効率-輝度特性を図23に示す。

【0280】

発光素子7において、 1287cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.6Vであり、その時流れた電流は0.46mA(電流密度は 11.59mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 11.1cd/A であった。一方、比較発光素子7においては、 1094cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.8Vであり、その時流れた電

50

流は0.47mA（電流密度は11.74mA/cm²）であった。また、この時の電流効率は9.3cd/Aであった。

【0281】

発光素子7は、比較発光素子7と比べ、電流－電圧特性はほぼ変わらない。しかし、電流効率－輝度特性が向上していることにより、輝度－電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

【0282】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光効率が向上することがわかった。

【実施例10】

【0283】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0284】

まず、ガラス基板の上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0285】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、10⁻⁴Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、t-BuDNAと酸化モリブデン（VI）とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は20nmとし、t-BuDNAと酸化モリブデン（VI）との比率は、体積比で酸化モリブデンが10vol%含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0286】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、t-BuDNAを10nmの膜厚となるように成膜した。

【0287】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、t-BuDNA上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005（=Alq:DPQd）となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0288】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0289】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0290】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子8を作製した。

【0291】

（比較例9）

まず、ガラス基板の上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0292】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、10⁻⁴Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、NPBと酸化モリブデン（VI）とを共

10

20

30

40

50

蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は20 nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10 vol %含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0293】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、t-BuDNAを10 nmの膜厚となるように成膜した。

【0294】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、t-BuDNA上に40 nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1 : 0.005 (= Alq : DPQd)となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

10

【0295】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0296】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1 nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0297】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子8を作製した。

20

【0298】

実施例10で作製した発光素子8および比較例9で作製した比較発光素子8の電流-電圧特性を図24に示す。また、輝度-電圧特性を図25に示す。また、電流効率-輝度特性を図26に示す。

【0299】

発光素子8において、 1130 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.4 Vであり、その時流れた電流は0.27 mA (電流密度は 6.76 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 16.7 cd/A であった。一方、比較発光素子8においては、 1180 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は7.4 Vであり、その時流れた電流は0.37 mA (電流密度は 9.16 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 12.9 cd/A であった。

30

【0300】

発光素子8は、比較発光素子8と比べ、電流-電圧特性が向上している。つまり、電流が流れやすくなっていることがわかる。また、発光素子8は、比較発光素子8と比べ、電流効率-輝度特性が向上している。また、輝度-電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

【0301】

比較発光素子8は、複合材料を含む層に含まれる有機化合物としてNPBを用いており、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素であるt-BuDNAを用いている。比較発光素子8では、複合材料を含む層から複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層へのキャリア注入障壁が大きいため、駆動電圧が高くなっている。また、比較発光素子8の複合材料を含む層は、450 nm~800 nmの波長領域において吸収ピークを有するため、発光領域からの発光が一部吸収されてしまう。

40

【0302】

一方、発光素子8は、複合材料に含まれる第1の有機化合物として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素であるt-BuDNAを用いている。そのため、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層として、イオン化ポテンシ

50

ルの大きい芳香族炭化水素である t -BuDNA を用いることが可能となる。また、複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた層に同じ有機化合物を用いているため、キャリアの注入障壁が小さい。そのため、発光素子の駆動電圧を低減することができる。また、発光素子 8 の複合材料を含む層は、 $450\text{ nm} \sim 800\text{ nm}$ の波長領域において吸収ピークを有さないため、発光領域からの発光を効率良く外部へ取り出すことができる。よって、発光効率を向上させることができる。

【0303】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光素子の低電圧駆動が可能となった。また、発光効率が向上させることが可能となった。

【実施例 11】

【0304】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0305】

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ とした。

【0306】

次に、第 1 の電極が形成された面が下方となるように、第 1 の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第 1 の電極上に、 t -BuDNA と酸化モリブデン (VI) とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は 50 nm とし、 t -BuDNA と酸化モリブデン (VI) との比率は、体積比で酸化モリブデンが $10\text{ vol}\%$ 含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0307】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、 t -BuDNA を 10 nm の膜厚となるように成膜した。

【0308】

さらに、Alq と DPQd とを共蒸着することにより、 t -BuDNA 上に 40 nm の膜厚の発光層を形成した。ここで、Alq と DPQd との重量比は、 $1:0.005$ ($=\text{Alq}:\text{DPQd}$) となるように調節した。これによって、DPQd は Alq から成る層中に分散した状態となる。

【0309】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上に Alq を 30 nm の膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0310】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを 1 nm の膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0311】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを 200 nm の膜厚となるように成膜することにより、第 2 の電極を形成することで、発光素子 9 を作製した。

【0312】

(比較例 10)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第 1 の電極を形成した。なお、その膜厚は 110 nm とし、電極面積は $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ とした。

【0313】

次に、第 1 の電極が形成された面が下方となるように、第 1 の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10

10

20

30

40

50

10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、NPBと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50 nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10 vol %含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0314】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、t-BuDNAを10 nmの膜厚となるように成膜した。

【0315】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、t-BuDNA上に40 nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1 : 0.005 (= Alq : DPQd) となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0316】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0317】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1 nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0318】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子9を作製した。

【0319】

実施例11で作製した発光素子9および比較例10で作製した比較発光素子9の電流－電圧特性を図27に示す。また、輝度－電圧特性を図28に示す。また、電流効率－輝度特性を図29に示す。

【0320】

発光素子9において、 1009 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.6 Vであり、その時流れた電流は0.30 mA (電流密度は 7.46 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 13.5 cd/A であった。一方、比較発光素子9においては、 1295 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は7.8 Vであり、その時流れた電流は0.50 mA (電流密度は 12.62 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 10.3 cd/A であった。

【0321】

発光素子9は、比較発光素子9と比べ、電流－電圧特性が向上している。つまり、電流が流れやすくなっていることがわかる。また、発光素子9は、比較発光素子9と比べ、電流効率－輝度特性が向上している。また、輝度－電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

【0322】

比較発光素子9は、複合材料を含む層に含まれる有機化合物としてNPBを用いており、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素であるt-BuDNAを用いている。比較発光素子9では、複合材料を含む層から複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層へのキャリア注入障壁が大きいいため、駆動電圧が高くなっている。また、比較発光素子9の複合材料を含む層は、450 nm～800 nmの波長領域において吸収ピークを有するため、発光領域からの発光が一部吸収されてしまう。

【0323】

一方、発光素子9は、複合材料に含まれる第1の有機化合物として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素であるt-BuDNAを用いている。そのため、複合材料を

10

20

30

40

50

含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素である t -BuDNA を用いることが可能となる。また、複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた層に同じ有機化合物を用いているため、キャリアの注入障壁が小さい。そのため、発光素子の駆動電圧を低減することができる。また、発光素子9の複合材料を含む層は、450nm~800nmの波長領域において吸収ピークを有さないため、発光領域からの発光を効率良く外部へ取り出すことができる。よって、発光効率を向上させることができる。

【0324】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光素子の低電圧駆動が可能となった。また、発光効率が向上させることが可能となった。

10

【実施例12】

【0325】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0326】

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0327】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、 t -BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は150nmとし、 t -BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10vol%含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

20

【0328】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、 t -BuDNAを10nmの膜厚となるように成膜した。

【0329】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、 t -BuDNA上に40nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005(=Alq:DPQd)となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

30

【0330】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0331】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0332】

40

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子10を作製した。

【0333】

(比較例11)

まず、ガラス基板上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0334】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を

50

真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa 程度まで減圧した後、第1の電極上に、NPBと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は150 nmとし、NPBと酸化モリブデン(VI)との比率は、体積比で酸化モリブデンが10 vol %含まれるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

【0335】

次に、抵抗加熱を用いた蒸着法により、t-BuDNAを10 nmの膜厚となるように成膜した。

【0336】

さらに、AlqとDPQdとを共蒸着することにより、t-BuDNA上に40 nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、AlqとDPQdとの重量比は、1:0.005(=Alq:DPQd)となるように調節した。これによって、DPQdはAlqから成る層中に分散した状態となる。

【0337】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にAlqを30 nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0338】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1 nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

【0339】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200 nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、比較発光素子10を作製した。

【0340】

実施例12で作製した発光素子10および比較例11で作製した比較発光素子10の電流-電圧特性を図30に示す。また、輝度-電圧特性を図31に示す。また、電流効率-輝度特性を図32に示す。

【0341】

発光素子10において、 1087 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は5.4 Vであり、その時流れた電流は0.30 mA(電流密度は 7.51 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 14.5 cd/A であった。一方、比較発光素子1においては、 1272 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は7.6 Vであり、その時流れた電流は0.45 mA(電流密度は 11.17 mA/cm^2)であった。また、この時の電流効率は 11.4 cd/A であった。

【0342】

発光素子10は、比較発光素子10と比べ、電流-電圧特性が向上している。つまり、電流が流れやすくなっていることがわかる。また、発光素子10は、比較発光素子10と比べ、電流効率-輝度特性が向上している。また、輝度-電圧特性も向上していることがわかる。つまり、一定輝度を得るのに必要な電圧が低減されたことがわかる。

【0343】

比較発光素子10は、複合材料を含む層に含まれる有機化合物としてNPBを用いており、複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素であるt-BuDNAを用いている。比較発光素子10では、複合材料を含む層から複合材料を含む層に接するように設けられた有機化合物を含む層へのキャリア注入障壁が大きいため、駆動電圧が高くなっている。また、比較発光素子10の複合材料を含む層は、450 nm~800 nmの波長領域において吸収ピークを有するため、発光領域からの発光が一部吸収されてしまう。

【0344】

一方、発光素子10は、複合材料に含まれる第1の有機化合物として、イオン化ポテン

10

20

30

40

50

シャルの大きい芳香族炭化水素である *t*-BuDNA を用いている。そのため、複合材料を含む層に接するように設けられた第2の有機化合物を含む層として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素である *t*-BuDNA を用いることが可能となる。また、複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた層に同じ有機化合物を用いているため、キャリアの注入障壁が小さい。そのため、発光素子の駆動電圧を低減することができる。また、発光素子10の複合材料を含む層は、450nm～800nmの波長領域において吸収ピークを有さないため、発光領域からの発光を効率良く外部へ取り出すことができる。よって、発光効率を向上させることができる。

【0345】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光素子の低電圧駆動が可能となった。また、発光効率が増加させることが可能となった。

10

【実施例13】

【0346】

本実施例では、本発明の発光素子についてより具体的に説明する。

【0347】

まず、ガラス基板の上に、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物をスパッタリング法にて成膜し、第1の電極を形成した。なお、その膜厚は110nmとし、電極面積は2mm×2mmとした。

【0348】

次に、第1の電極が形成された面が下方となるように、第1の電極が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定した。その後真空装置内を排気し、 10^{-4} Pa程度まで減圧した後、第1の電極上に、*t*-BuDNAと酸化モリブデン(VI)とを共蒸着することにより、複合材料を含む層を形成した。その膜厚は50nmとし、*t*-BuDNAと酸化モリブデン(VI)との比率は、重量比で4:1(=*t*-BuDNA:酸化モリブデン)となるように調節した。なお、共蒸着法とは、一つの処理室内で複数の蒸発源から同時に蒸着を行う蒸着法である。

20

【0349】

次に、複合材料を含む層に接するように、抵抗加熱を用いた蒸着法により、*t*-BuDNAを10nmの膜厚となるように成膜した。

【0350】

さらに、9-[4-(N-カルバゾリル)]フェニル-10-フェニルアントラセン(略称:CzPA)と9-(4-{N-[4-(9-カルバゾリル)フェニル]-N-フェニルアミノ}フェニル)-10-フェニルアントラセン(略称:YGAPA)とを共蒸着することにより、*t*-BuDNA上に30nmの膜厚の発光層を形成した。ここで、CzPAとYGAPAとの重量比は、4:0.16(=CzPA:YGAPA)となるように調節した。

30

【0351】

その後抵抗加熱による蒸着法を用いて、発光層上にBPhenを5nm、Alqを30nmの膜厚となるように成膜し、電子輸送層を形成した。

【0352】

さらに、電子輸送層上に、抵抗加熱による蒸着法によりフッ化リチウムを1nmの膜厚となるように成膜し、電子注入層を形成した。

40

【0353】

最後に、抵抗加熱による蒸着法を用い、電子注入層上にアルミニウムを200nmの膜厚となるように成膜することにより、第2の電極を形成することで、発光素子11を作製した。

【0354】

実施例13で作製した発光素子11の電流-電圧特性を図39に示す。また、輝度-電圧特性を図40に示す。また、電流効率-輝度特性を図41に示す。

【0355】

50

発光素子 11 において、 1023 cd/m^2 の輝度を得るために必要な電圧は 10.6 V であり、その時流れた電流は 2.46 mA (電流密度は 61.5 mA/cm^2) であった。また、この時の電流効率は 1.66 cd/A であり、CIE 色度座標は ($x, y = 0.16, 0.13$) であり、青色の発光が得られた。

【0356】

発光素子 11 は、複合材料に含まれる第 1 の有機化合物として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素である $t\text{-BuDNA}$ を用いている。そのため、複合材料を含む層に接するように設けられた第 2 の有機化合物を含む層として、イオン化ポテンシャルの大きい芳香族炭化水素である $t\text{-BuDNA}$ を用いることが可能となる。また、複合材料を含む層と、複合材料を含む層に接するように設けられた層に同じ有機化合物を用いているため、キャリアの注入障壁が小さい。そのため、発光素子の駆動電圧を低減することができる。また、発光素子 11 の複合材料を含む層は、 $450 \text{ nm} \sim 800 \text{ nm}$ の波長領域において吸収ピークを有さないため、発光領域からの発光を効率良く外部へ取り出すことができる。よって、発光効率を向上させることができる。

10

【0357】

以上の結果から、本発明を適用することにより、発光素子の低電圧駆動が可能となった。また、発光効率が向上させることが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【0358】

【図 1】本発明の発光素子を説明する図。

20

【図 2】本発明の発光素子を説明する図。

【図 3】本発明の発光素子を説明する図。

【図 4】複合材料の透過率を示す図。

【図 5】複合材料の透過率を示す図。

【図 6】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

【図 7】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

【図 8】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

【図 9】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

【図 10】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

【図 11】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

30

【図 12】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

【図 13】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

【図 14】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

【図 15】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

【図 16】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

【図 17】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

【図 18】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

【図 19】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

【図 20】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

【図 21】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

40

【図 22】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

【図 23】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

【図 24】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

【図 25】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

【図 26】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

【図 27】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

【図 28】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

【図 29】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

【図 30】発光素子の電流－電圧特性を示す図。

【図 31】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。

50

- 【図 3 2】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。
 【図 3 3】本発明の発光装置を説明する図。
 【図 3 4】本発明の発光装置を説明する図。
 【図 3 5】本発明の電子機器を説明する図。
 【図 3 6】本発明の電子機器を説明する図。
 【図 3 7】複合材料の吸収スペクトルを示す図。
 【図 3 8】複合材料の吸収スペクトルを示す図。
 【図 3 9】発光素子の電流－電圧特性を示す図。
 【図 4 0】発光素子の輝度－電圧特性を示す図。
 【図 4 1】発光素子の電流効率－輝度特性を示す図。

10

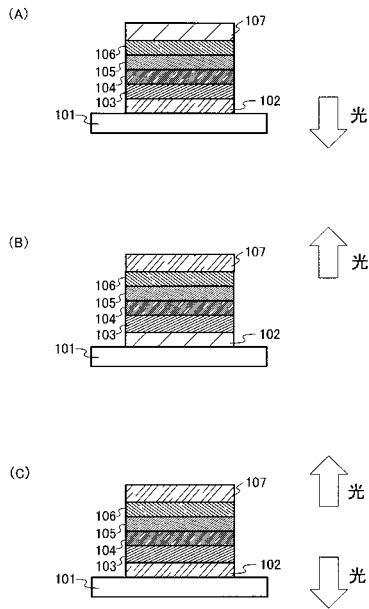
【符号の説明】

【0 3 5 9】

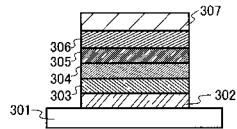
- | | | |
|-------|-------------------------|----|
| 1 0 1 | 基板 | |
| 1 0 2 | 第 1 の電極 | |
| 1 0 3 | 第 1 の層 | |
| 1 0 4 | 第 2 の層 | |
| 1 0 5 | 第 3 の層 | |
| 1 0 6 | 第 4 の層 | |
| 1 0 7 | 第 2 の電極 | |
| 1 0 8 | 正孔輸送性の高い物質を含む層 | 20 |
| 3 0 2 | 第 1 の電極 | |
| 3 0 3 | 第 1 の層 | |
| 3 0 4 | 第 2 の層 | |
| 3 0 5 | 第 3 の層 | |
| 3 0 6 | 第 4 の層 | |
| 3 0 7 | 第 2 の電極 | |
| 6 0 1 | ソース側駆動回路 | |
| 6 0 2 | 画素部 | |
| 6 0 3 | ゲート側駆動回路 | |
| 6 0 4 | 封止基板 | 30 |
| 6 0 5 | シール材 | |
| 6 0 7 | 空間 | |
| 6 0 8 | 配線 | |
| 6 0 9 | F P C (フレキシブルプリントサーキット) | |
| 6 1 0 | 素子基板 | |
| 6 1 1 | スイッチング用 T F T | |
| 6 1 2 | 電流制御用 T F T | |
| 6 1 3 | 第 1 の電極 | |
| 6 1 4 | 絶縁物 | |
| 6 1 6 | 発光物質を含む層 | 40 |
| 6 1 7 | 第 2 の電極 | |
| 6 1 8 | 発光素子 | |
| 6 2 3 | n チャネル型 T F T | |
| 6 2 4 | p チャネル型 T F T | |
| 9 0 1 | 筐体 | |
| 9 0 2 | 液晶層 | |
| 9 0 3 | バックライト | |
| 9 0 4 | 筐体 | |
| 9 0 5 | ドライバ I C | |
| 9 0 6 | 端子 | 50 |

9 5 1	基板	
9 5 2	電極	
9 5 3	絶縁層	
9 5 4	隔壁層	
9 5 5	発光物質を含む層	
9 5 6	電極	
9 1 0 1	筐体	
9 1 0 2	支持台	
9 1 0 3	表示部	
9 1 0 4	スピーカー部	10
9 1 0 5	ビデオ入力端子	
9 2 0 1	本体	
9 2 0 2	筐体	
9 2 0 3	表示部	
9 2 0 4	キーボード	
9 2 0 5	外部接続ポート	
9 2 0 6	ポインティングマウス	
9 4 0 1	本体	
9 4 0 2	筐体	
9 4 0 3	表示部	20
9 4 0 4	音声入力部	
9 4 0 5	音声出力部	
9 4 0 6	操作キー	
9 4 0 7	外部接続ポート	
9 4 0 8	アンテナ	
9 5 0 1	本体	
9 5 0 2	表示部	
9 5 0 3	筐体	
9 5 0 4	外部接続ポート	
9 5 0 5	リモコン受信部	30
9 5 0 6	受像部	
9 5 0 7	バッテリー	
9 5 0 8	音声入力部	
9 5 0 9	操作キー	
9 5 1 0	接眼部	

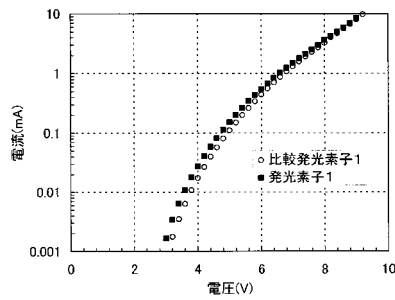
【図 1】



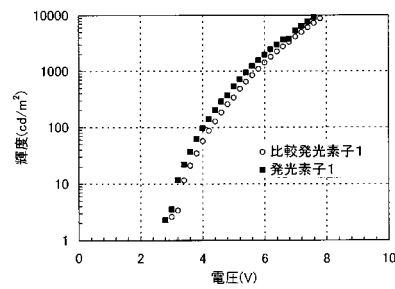
【図 2】



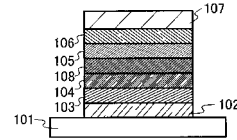
【図 6】



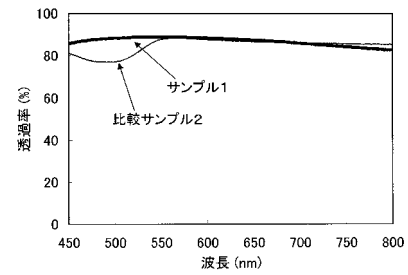
【図 7】



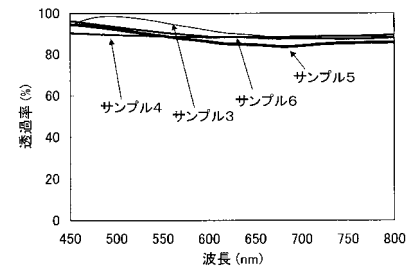
【図 3】



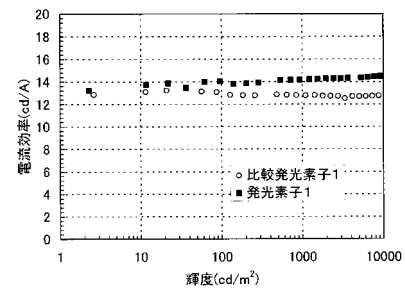
【図 4】



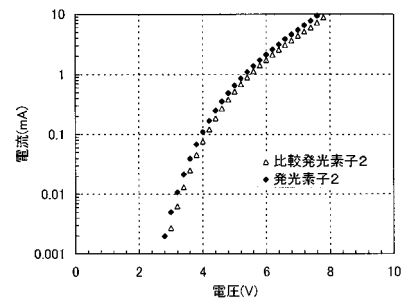
【図 5】



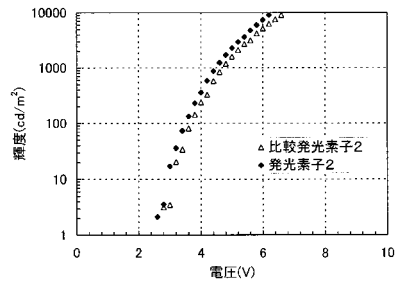
【図 8】



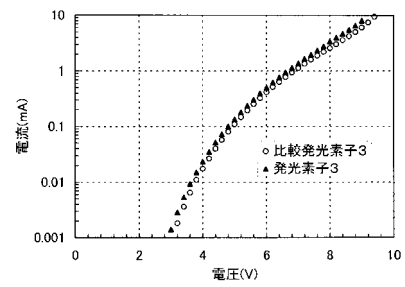
【図 9】



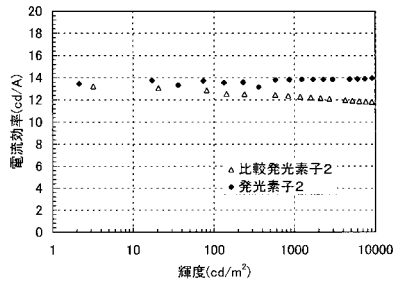
【図 10】



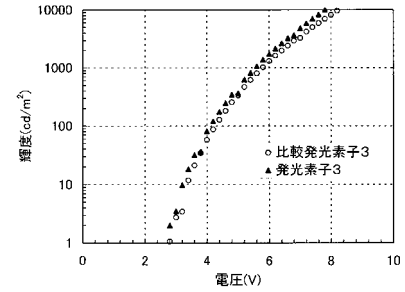
【図 12】



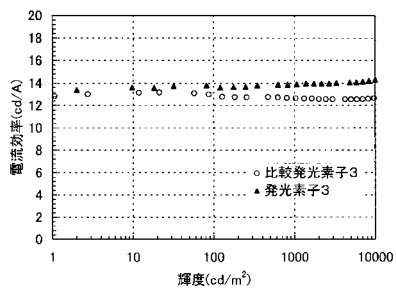
【図 11】



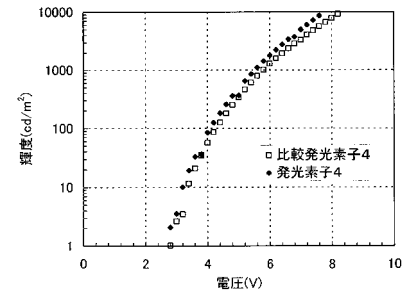
【図 13】



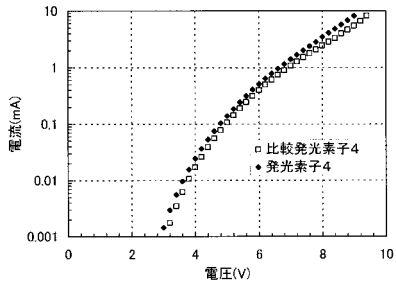
【図 14】



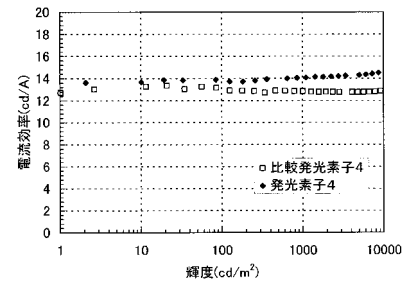
【図 16】



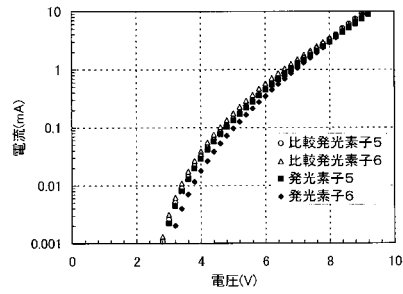
【図 15】



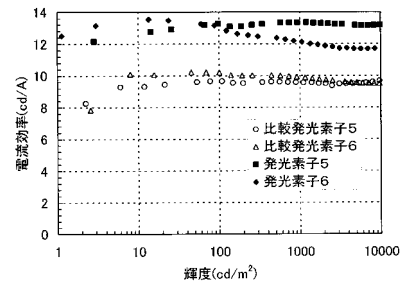
【図 17】



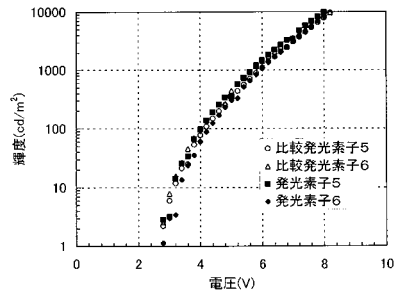
【図 18】



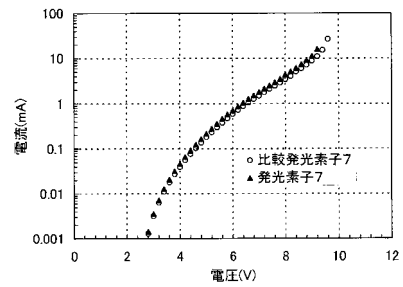
【図 20】



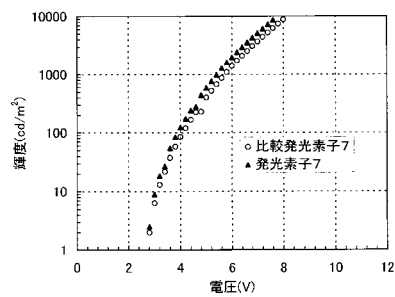
【図 19】



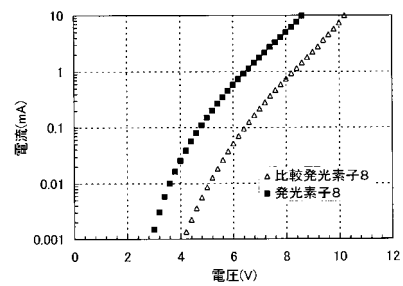
【図 21】



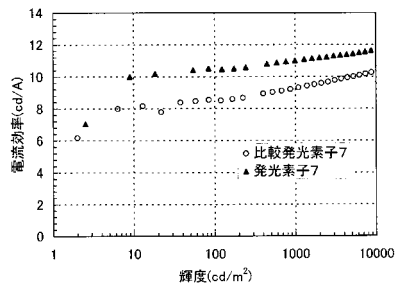
【図 22】



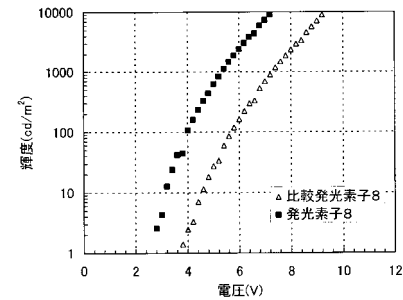
【図 24】



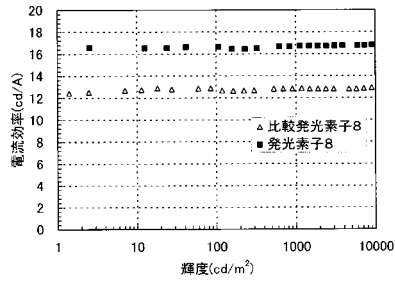
【図 23】



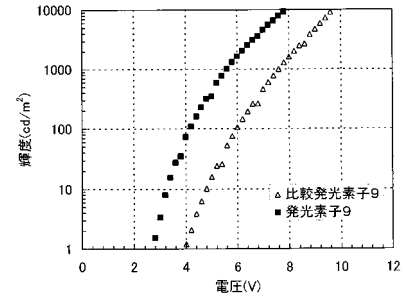
【図 25】



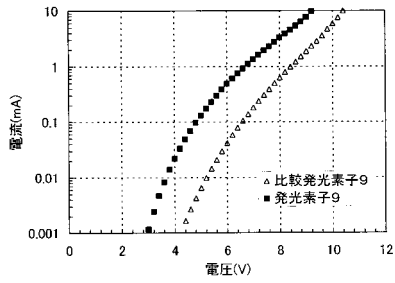
【図 26】



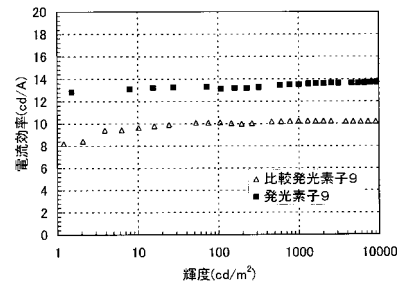
【図 28】



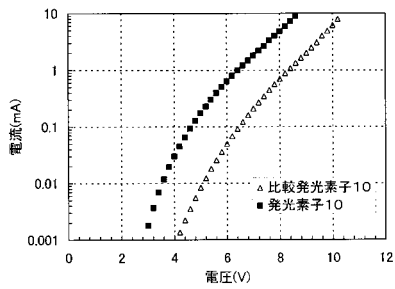
【図 27】



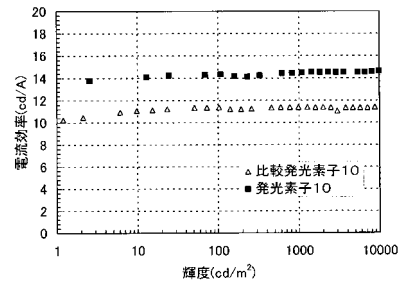
【図 29】



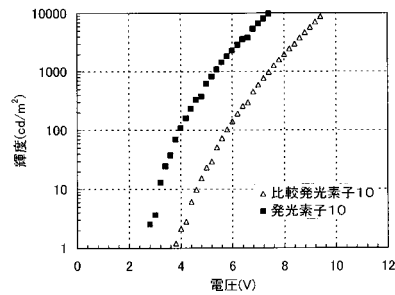
【図 30】



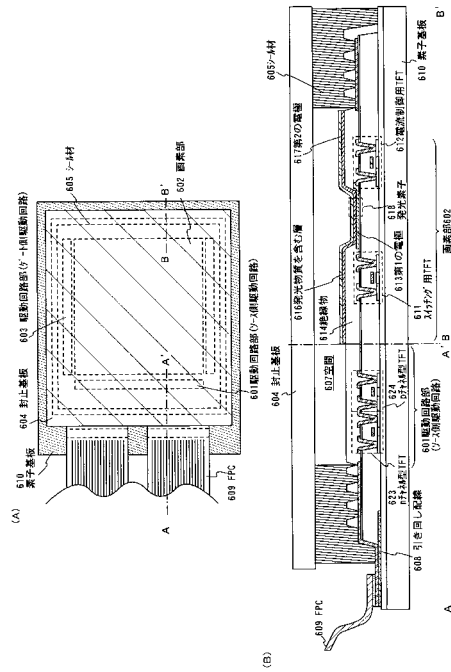
【図 32】



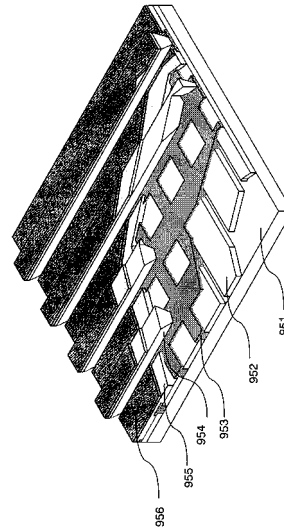
【図 31】



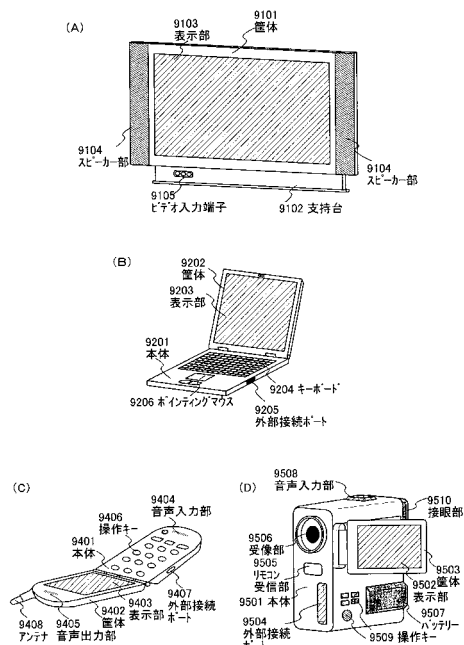
【図 3 3】



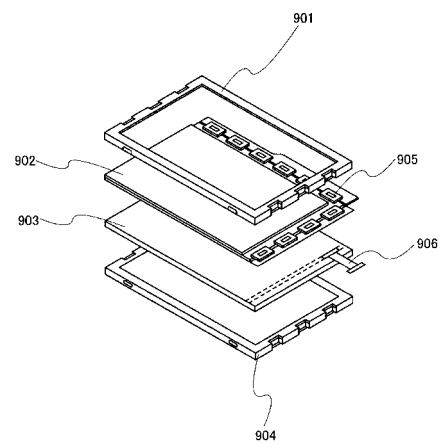
【図 3 4】



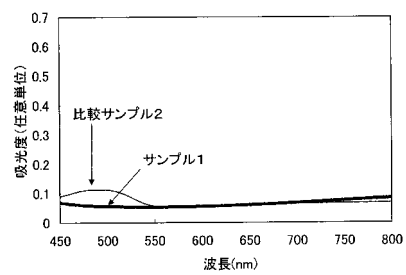
【図 3 5】



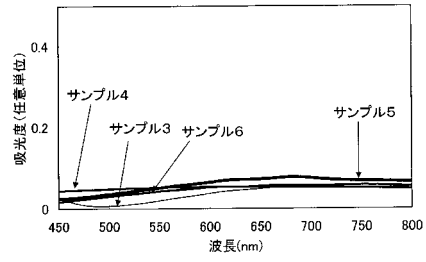
【図 3 6】



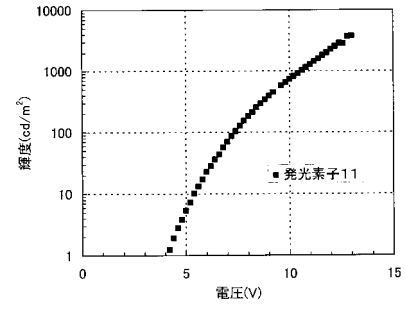
【図 3 7】



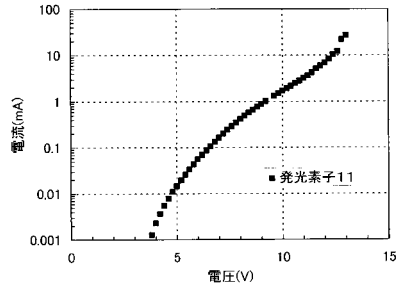
【図 3 8】



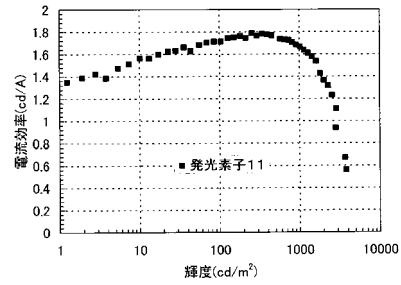
【図 4 0】



【図 3 9】



【図 4 1】



フロントページの続き

- (72)発明者 青山 智哉
神奈川県厚木市長谷３９８番地 株式会社半導体エネルギー研究所内
- (72)発明者 永田 貴章
神奈川県厚木市長谷３９８番地 株式会社半導体エネルギー研究所内
- (72)発明者 川上 貴洋
神奈川県厚木市長谷３９８番地 株式会社半導体エネルギー研究所内
- (72)発明者 瀬尾 哲史
神奈川県厚木市長谷３９８番地 株式会社半導体エネルギー研究所内
- (72)発明者 野村 亮二
神奈川県厚木市長谷３９８番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

審査官 川村 大輔

- (56)参考文献 国際公開第２００５／０３１７９８（WO，A１）
特開２００６－１１４４７７（JP，A）

- (58)調査した分野(Int.Cl.，DB名)
H01L ５１／５０－５１／５６