

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-207998

(P2016-207998A)

(43) 公開日 平成28年12月8日(2016.12.8)

(51) Int.Cl.

H01L 51/50 (2006.01)  
H05B 33/12 (2006.01)

F 1

H05B 33/14  
H05B 33/12  
H05B 33/22  
H05B 33/22

テーマコード(参考)

B 3K107  
E  
A  
C

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 76 頁)

(21) 出願番号 特願2015-168468 (P2015-168468)  
 (22) 出願日 平成27年8月28日 (2015.8.28)  
 (31) 優先権主張番号 特願2014-175163 (P2014-175163)  
 (32) 優先日 平成26年8月29日 (2014.8.29)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2014-240985 (P2014-240985)  
 (32) 優先日 平成26年11月28日 (2014.11.28)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2015-108786 (P2015-108786)  
 (32) 優先日 平成27年5月28日 (2015.5.28)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000153878  
 株式会社半導体エネルギー研究所  
 神奈川県厚木市長谷398番地  
 (72) 発明者 濑尾 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 大澤 信晴  
 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 細海 俊介  
 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 石曾根 崇浩  
 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

最終頁に続く

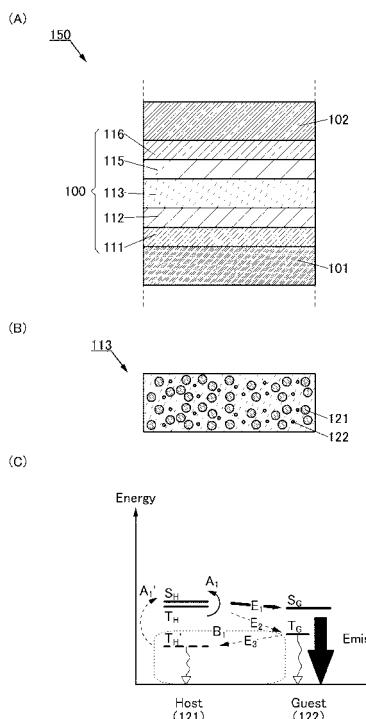
(54) 【発明の名称】発光素子、表示装置、電子機器、及び照明装置

## (57) 【要約】

【課題】蛍光を発する材料を発光物質として有する発光素子において、発光効率が高い発光素子を提供する。

【解決手段】一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホスト材料は、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であり、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、ホスト材料の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高い。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

一对の電極と、  
前記一对の電極間に設けられたEL層と、を有し、  
前記EL層は、発光層を有し、  
前記発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、  
前記ホスト材料は、  
一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であり、  
前記ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、  
前記ホスト材料の前記三重項励起エネルギー準位は、  
前記ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高い、  
ことを特徴とする発光素子。

10

**【請求項 2】**

一对の電極と、  
前記一对の電極間に設けられたEL層と、を有し、  
前記EL層は、発光層を有し、  
前記発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、  
前記ホスト材料は、室温で熱活性化遅延蛍光を示し、  
前記ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、  
前記ホスト材料の前記熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、  
前記ゲスト材料の熒光発光エネルギーよりも高い、  
ことを特徴とする発光素子。

20

**【請求項 3】**

一对の電極と、  
前記一对の電極間に設けられたEL層と、を有し、  
前記EL層は、発光層を有し、  
前記発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、  
前記ホスト材料は、  
第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を有し、  
前記第1の有機化合物と前記第2の有機化合物は、  
励起錯体を形成する組み合わせであり、  
前記励起錯体の一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であり、  
前記ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、  
前記励起錯体の前記三重項励起エネルギー準位は、  
前記ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高い、  
ことを特徴とする発光素子。

30

**【請求項 4】**

一对の電極と、  
前記一对の電極間に設けられたEL層と、を有し、  
前記EL層は、発光層を有し、  
前記発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、  
前記ホスト材料は、  
第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を有し、  
前記第1の有機化合物と前記第2の有機化合物は、  
励起錯体を形成する組み合わせであり、  
前記励起錯体は、室温で熱活性化遅延蛍光を示し、  
前記ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、  
前記励起錯体の前記熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、

40

50

前記ゲスト材料の燐光発光エネルギーよりも高い、  
ことを特徴とする発光素子。

【請求項 5】

一対の電極と、

前記一対の電極間に設けられた E L 層と、を有し、  
前記 E L 層は、発光層を有し、  
前記発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、  
前記ホスト材料は、  
第 1 の有機化合物と、第 2 の有機化合物と、を有し、  
前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物は、  
励起錯体を形成する組み合わせであり、  
前記励起錯体の一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が 0 e V  
を超えて 0 . 2 e V 以下であり、  
前記ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、  
前記第 1 の有機化合物および前記第 2 の有機化合物の三重項励起エネルギー準位は、  
前記励起錯体の前記三重項励起エネルギー準位よりも高い、  
ことを特徴とする発光素子。

10

20

30

40

50

【請求項 6】

一対の電極と、

前記一対の電極間に設けられた E L 層と、を有し、  
前記 E L 層は、発光層を有し、  
前記発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、  
前記ホスト材料は、  
第 1 の有機化合物と、第 2 の有機化合物と、を有し、  
前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物は、  
励起錯体を形成する組み合わせであり、  
前記励起錯体は、熱活性化遅延蛍光を示し、  
前記ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、  
前記第 1 の有機化合物および前記第 2 の有機化合物の燐光発光エネルギーは、  
前記励起錯体の前記熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーよりも高い、  
ことを特徴とする発光素子。

【請求項 7】

一対の電極と、

前記一対の電極間に設けられた E L 層と、を有し、  
前記 E L 層は、発光層を有し、  
前記発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、  
前記ホスト材料は、  
第 1 の有機化合物と、第 2 の有機化合物と、を有し、  
前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物は、  
励起錯体を形成する組み合わせであり、  
前記励起錯体の一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が 0 e V  
を超えて 0 . 2 e V 以下であり、  
前記ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、  
前記励起錯体の前記三重項励起エネルギー準位は、  
前記ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高く、  
前記第 1 の有機化合物および前記第 2 の有機化合物の三重項励起エネルギー準位は、  
前記励起錯体の前記三重項励起エネルギー準位よりも高い、  
ことを特徴とする発光素子。

【請求項 8】

一対の電極と、

前記一対の電極間に設けられた E L 層と、を有し、  
 前記 E L 層は、発光層を有し、  
 前記発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、  
 前記ホスト材料は、  
 第 1 の有機化合物と、第 2 の有機化合物と、を有し、  
 前記第 1 の有機化合物と前記第 2 の有機化合物は、  
 励起錯体を形成する組み合わせであり、  
 前記励起錯体は、熱活性化遅延蛍光を示し、  
 前記ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、  
 前記励起錯体の前記熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、  
 前記ゲスト材料の燐光発光エネルギーよりも高く、  
 前記第 1 の有機化合物および第 2 の有機化合物の燐光発光エネルギーは、  
 前記励起錯体の前記熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーよりも高い、  
 ことを特徴とする発光素子。

10

**【請求項 9】**

請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項において、  
 前記ホスト材料が 1 に対する前記ゲスト材料の重量比が、  
 0 より大きく 0 . 0 5 以下である、  
 ことを特徴とする発光素子。

20

**【請求項 10】**

請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項において、  
 前記 E L 層は、  
 さらに正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、電子注入層の中から選ばれた、いずれか  
 一つを有する、  
 ことを特徴とする発光素子。

**【請求項 11】**

請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか一項に記載の発光素子と、  
 カラーフィルタと、  
 を有する表示装置。

30

**【請求項 12】**

請求項 11 に記載の表示装置と、  
 筐体またはタッチセンサと、  
 を有する電子機器。

**【請求項 13】**

請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか一項に記載の発光素子と、  
 筐体またはタッチセンサと、  
 を有する照明装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明の一態様は、電界を加えることにより発光が得られる発光層を一対の電極間に挟んでなる発光素子、または該発光素子を有する表示装置、電子機器、及び照明装置に関する。

40

**【0 0 0 2】**

なお、本発明の一態様は、上記の技術分野に限定されない。本明細書等で開示する発明の一態様の技術分野は、物、方法、または、製造方法に関するものである。または、本発明の一態様は、プロセス、マシン、マニュファクチャ、または、組成物（コンポジション・オブ・マター）に関するものである。そのため、より具体的に本明細書で開示する本発明の一態様の技術分野としては、半導体装置、表示装置、液晶表示装置、発光装置、照明装置、蓄電装置、記憶装置、それらの駆動方法、または、それらの製造方法、を一例とし

50

て挙げることができる。

【背景技術】

【0003】

近年、エレクトロルミネッセンス (Electroluminescence : EL) を利用し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、一対の電極間に発光性の物質を含む層 (EL層) を挟んだものである。この素子の電極間に電圧を印加することにより、発光性の物質からの発光が得られる。

【0004】

上述の発光素子は自発光型であるため、これを用いた表示装置は、視認性に優れ、バックライトが不要であり、消費電力が少ない等の利点を有する。さらに、薄型軽量に作製でき、応答速度が高いなどの利点も有する。

【0005】

発光素子の発光効率を高めるために様々な研究が行われている。例えば、熱活性化遅延蛍光 (Thermal ly activated delayed fluorescence : TADF) 体と、蛍光を発する材料と、を有する発光素子とすることで、熱活性化遅延蛍光体のS<sub>1</sub>のエネルギーを、蛍光を発する材料のS<sub>1</sub>へ移動させる方法が提案されている（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2014-45179号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

蛍光を発する材料を発光物質として有する発光素子において、発光素子として発光効率を高めるためには、三重項励起状態から一重項励起状態を生成するだけではなく、一重項励起状態から効率よく発光を得られること、すなわち蛍光量子収率が高いことが重要である。

【0008】

本発明の一態様では、蛍光を発する材料を発光物質として有する発光素子において、発光効率が高い発光素子を提供することを課題の一つとする。または、本発明の一態様では、新規な発光素子を提供することを課題の一つとする。または、本発明の一態様では、発光効率が高く、消費電力が低減された新規な発光素子を提供することを課題の一つとする。または、新規な表示装置を提供することを課題の一つとする。

【0009】

なお、上記の課題の記載は、他の課題の存在を妨げるものではない。なお、本発明の一態様は、必ずしも、これらの課題の全てを解決する必要はない。上記以外の課題は、明細書等の記載から自ずと明らかになるものであり、明細書等の記載から上記以外の課題を抽出することが可能である。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一態様は、一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は、発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホスト材料は、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であり、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、ホスト材料の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高いことを特徴とする発光素子である。

【0011】

また、本発明の他の一態様は、一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は、発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホス

10

20

30

40

50

ト材料は、室温で熱活性化遅延蛍光を示し、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、ホスト材料の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、ゲスト材料の燐光発光エネルギーよりも高いことを特徴とする発光素子である。

#### 【0012】

また、本発明の他の一態様は、一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は、発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホスト材料は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を有し、第1の有機化合物と第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、励起錯体の一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であり、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、励起錯体の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高いことを特徴とする発光素子である。  
10

#### 【0013】

また、本発明の他の一態様は、一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は、発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホスト材料は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を有し、第1の有機化合物と第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、励起錯体は、室温で熱活性化遅延蛍光を示し、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、ゲスト材料の燐光発光エネルギーよりも高いことを特徴とする発光素子である。  
20

#### 【0014】

また、本発明の他の一態様は、一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は、発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホスト材料は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を有し、第1の有機化合物と第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、励起錯体の一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であり、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、第1の有機化合物および第2の有機化合物の三重項励起エネルギー準位は、励起錯体の三重項励起エネルギー準位よりも高いことを特徴とする発光素子である。  
30

#### 【0015】

また、本発明の他の一態様は、一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は、発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホスト材料は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を有し、第1の有機化合物と第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、励起錯体は、熱活性化遅延蛍光を示し、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、第1の有機化合物および第2の有機化合物の燐光発光エネルギーは、励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーよりも高いことを特徴とする発光素子である。  
40

#### 【0016】

また、本発明の他の一態様は、一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は、発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホスト材料は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を有し、第1の有機化合物と第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、励起錯体の一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であり、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、励起錯体の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高く、第1の有機化合物および第2の有機化合物の三重項励起エネルギー準位は、励起錯体の三重項励起エネルギー準位よりも高いことを特徴とする発光素子である。  
50

#### 【0017】

また、本発明の他の一態様は、一対の電極と、一対の電極間に設けられたEL層と、を有し、EL層は、発光層を有し、発光層は、ホスト材料と、ゲスト材料と、を有し、ホス

ト材料は、第1の有機化合物と、第2の有機化合物と、を有し、第1の有機化合物と第2の有機化合物は、励起錯体を形成する組み合わせであり、励起錯体は、熱活性化遅延蛍光を示し、ゲスト材料は、蛍光を発することができる機能を有し、励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、ゲスト材料の燐光発光エネルギーよりも高く、第1の有機化合物および第2の有機化合物の燐光発光エネルギーは、励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーよりも高いことを特徴とする発光素子である。

## 【0018】

また、上記各構成において、ホスト材料が1に対するゲスト材料の重量比が、0より大きく0.05以下であると好ましい。

## 【0019】

また、上記各構成において、第1の有機化合物の三重項励起エネルギー準位と、第2の有機化合物の三重項励起エネルギー準位との差は、0.4eV未満であると好ましい。

## 【0020】

また、上記各構成において、第1の有機化合物および第2の有機化合物のいずれか一方が、縮合複素環骨格を有し、縮合複素環骨格はジアジン骨格を有すると好ましい。あるいは、第1の有機化合物および第2の有機化合物のいずれか一方が、カルバゾール骨格と、縮合複素環骨格とを有し、縮合複素環骨格がジアジン骨格を有すると好ましい。あるいは、第1の有機化合物および第2の有機化合物のいずれか一方が、カルバゾール骨格と、縮合複素環骨格とを有し、縮合複素環骨格がジアジン骨格を有し、カルバゾール骨格と縮合複素環骨格とが、アリーレン基を介して結合する構造を有すると好ましく、カルバゾール骨格の9位においてアリーレン基を介して結合する構造を有すると好ましい。あるいは、第1の有機化合物および第2の有機化合物のいずれか一方が、カルバゾール骨格と、ベンゾフロピリミジン骨格とを有し、カルバゾール骨格とベンゾフロピリミジン骨格とが、カルバゾール骨格の9位においてアリーレン基を介して結合する構造を有すると好ましい。

## 【0021】

また、上記各構成において、第1の有機化合物および第2の有機化合物のいずれか一方が、カルバゾール骨格と、芳香族アミン骨格とを有し、カルバゾール骨格と、芳香族アミン骨格とが、カルバゾール骨格の9位において結合する構造、あるいはカルバゾール骨格の9位においてアリーレン基を介して結合する構造、を有すると好ましい。

## 【0022】

また、上記各構成において、EL層は、さらに正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、電子注入層の中から選ばれた、いずれか一つを有すると好ましい。

## 【0023】

また、本発明の他の一態様は、上記各構成の発光素子と、カラーフィルタと、を有する表示装置である。また、本発明の他の一態様は、当該表示装置と、筐体またはタッチセンサとを有する電子機器である。また、本発明の他の一態様は、上記各構成の発光素子と、筐体またはタッチセンサとを有する照明装置である。

## 【発明の効果】

## 【0024】

本発明の一態様により、蛍光を発する材料を発光物質として有する発光素子において、発光効率が高い発光素子を提供することができる。または、本発明の一態様により、新規な発光素子を提供することができる。または、本発明の一態様により、発光効率が高く、消費電力が低減された新規な発光素子を提供することができる。または、新規な表示装置を提供することができる。

## 【0025】

なお、これらの効果の記載は、他の効果の存在を妨げるものではない。なお、本発明の一態様は、必ずしも、これらの効果の全てを有する必要はない。なお、これら以外の効果は、明細書、図面、請求項などの記載から、自ずと明らかとなるものであり、明細書、図面、請求項などの記載から、これら以外の効果を抽出することが可能である。

## 【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

## 【0026】

【図1】発光素子の断面模式図、発光層の断面模式図、及びエネルギー準位の相関を説明する模式図。

【図2】発光層の断面模式図、及びエネルギー準位の相関を説明する模式図。

【図3】実施の形態に係わる、発光スペクトルを説明する図。

【図4】実施の形態に係わる、燐光発光スペクトルを説明する図。

【図5】発光素子を説明する断面模式図、及び発光層におけるエネルギー準位の相関を説明する図。

【図6】発光素子を説明する断面模式図、及び発光層におけるエネルギー準位の相関を説明する図。 10

【図7】表示装置を説明するブロック図及び回路図。

【図8】タッチパネルの一例を示す斜視図。

【図9】表示装置、及びタッチセンサの一例を示す断面図。

【図10】タッチパネルの一例を示す断面図。

【図11】タッチセンサのブロック図及びタイミングチャート図。

【図12】タッチセンサの回路図。

【図13】表示モジュールを説明する斜視図。

【図14】電子機器について説明する図。

【図15】照明装置について説明する図。

【図16】実施例における、発光素子の構造を説明する断面図。 20

【図17】実施例における、発光素子1乃至4の輝度 - 電流密度特性を説明する図。

【図18】実施例における、発光素子5乃至7の輝度 - 電流密度特性を説明する図。

【図19】実施例における、発光素子1乃至4の輝度 - 電圧特性を説明する図。

【図20】実施例における、発光素子5乃至7の輝度 - 電圧特性を説明する図。

【図21】実施例における、発光素子1乃至4の電流効率 - 輝度特性を説明する図。

【図22】実施例における、発光素子5乃至7の電流効率 - 輝度特性を説明する図。

【図23】実施例における、発光素子1乃至4の電流 - 電圧特性を説明する図。

【図24】実施例における、発光素子5乃至7の電流 - 電圧特性を説明する図。

【図25】実施例における、発光素子1乃至4の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。 30

【図26】実施例における、発光素子5乃至7の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。

【図27】実施例における、発光素子1乃至4の電界発光スペクトルを説明する図。

【図28】実施例における、発光素子5乃至7の電界発光スペクトルを説明する図。

【図29】実施例における、発光素子1、6、及び7の過渡EL特性を説明する図。

【図30】実施例における、発光素子6の過渡ELスペクトルを説明する図。

【図31】実施例における、発光素子8及び9の輝度 - 電流密度特性を説明する図。

【図32】実施例における、発光素子8及び9の輝度 - 電圧特性を説明する図。

【図33】実施例における、発光素子8及び9の電流効率 - 輝度特性を説明する図。

【図34】実施例における、発光素子8及び9の電流 - 電圧特性を説明する図。

【図35】実施例における、発光素子8及び9の外部量子効率 - 輝度特性を説明する図。

【図36】実施例における、発光素子8及び9の電界発光スペクトルを説明する図。 40

【発明を実施するための形態】

## 【0027】

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が可能である。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。

## 【0028】

なお、図面等において示す各構成の、位置、大きさ、範囲などは、理解の簡単のため、実際の位置、大きさ、範囲などを表していない場合がある。このため、開示する発明は、必ずしも、図面等に開示された位置、大きさ、範囲などに限定されない。

10

20

30

40

50

## 【0029】

また、本明細書等において、第1、第2等として付される序数詞は便宜上用いるものであり、工程順又は積層順を示さない場合がある。そのため、例えば、「第1の」を「第2の」又は「第3の」などと適宜置き換えて説明することができる。また、本明細書等に記載されている序数詞と、本発明の一態様を特定するために用いられる序数詞は一致しない場合がある。

## 【0030】

また、本明細書等において、図面を用いて発明の構成を説明するにあたり、同じものを指す符号は異なる図面間でも共通して用いる場合がある。

## 【0031】

また、本明細書等において、「膜」という用語と、「層」という用語とは、互に入れ替えることが可能である。例えば、「導電層」という用語を、「導電膜」という用語に変更することが可能な場合がある。または、例えば、「絶縁膜」という用語を、「絶縁層」という用語に変更することが可能な場合がある。

10

## 【0032】

また、本明細書等において蛍光材料とは、一重項励起状態の最も低い準位( $S_1$ 準位)から基底状態へ緩和する際に可視光領域に発光を与える材料である。燐光材料とは、三重項励起状態の最も低い準位( $T_1$ 準位)から基底状態へ緩和する際に、室温において可視光領域に発光を与える材料である。換言すると燐光材料とは、三重項励起エネルギーを可視光へ変換可能な材料の一つである。

20

## 【0033】

また、本明細書等において、熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーとは、熱活性化遅延蛍光の最も短波長側の発光ピーク(ショルダーを含む)とする。また、本明細書等において、燐光発光エネルギーまたは三重項励起エネルギーとは、燐光発光の最も短波長側の燐光発光ピーク(ショルダーを含む)とする。なお、上記燐光発光は、低温(例えば、10K)環境下において、時間分解フォトルミネッセンス法を行うことで観測することができる。

30

## 【0034】

なお、本明細書等において、室温とは、0乃至40のいずれかの温度をいう。

## 【0035】

(実施の形態1)

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子について、図1乃至図4を用いて以下説明する。

## 【0036】

<1. 発光素子の構成例1>

まず、本発明の一態様の発光素子の構成について、図1(A)(B)(C)を用いて、以下説明する。

## 【0037】

図1(A)は、本発明の一態様の発光素子150の断面模式図である。

40

## 【0038】

発光素子150は、一対の電極(電極101及び電極102)間に設けられたEL層100を有する。EL層100は、少なくとも発光層113を有する。なお、本実施の形態においては、電極101を陽極として、電極102を陰極として説明するが、発光素子150としては、逆であっても構わない。

## 【0039】

また、図1(A)に示すEL層100は、発光層113の他に、正孔注入層111、正孔輸送層112、電子輸送層115、及び電子注入層116を有する。なお、EL層100の構成は、図1(A)に示す構成に限定されず、正孔注入層111、正孔輸送層112、電子輸送層115、及び電子注入層116の中から選ばれた少なくとも一つを有する構成とすればよい。または、EL層100は、キャリア注入障壁を低減する、キャリア輸送

50

性を向上する、または電極による消光現象を抑制することができる機能を有する機能層を有する構成としてもよい。

#### 【0040】

また、図1(B)は、図1(A)に示す発光層113の一例を示す断面模式図である。図1(B)に示す発光層113は、ホスト材料121と、ゲスト材料122と、を有する。

#### 【0041】

ホスト材料121としては、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であると好ましい。とくに、ホスト材料121としては、室温で熱活性化遅延蛍光を示す物質であると好適である。なお、ホスト材料121は単一の材料で構成されても良く、複数の材料から構成されても良い。また、ゲスト材料122としては、発光性の有機化合物を用いればよく、該発光性の有機化合物としては、蛍光を発することができる物質(以下、蛍光材料ともいう)であると好適である。以下の説明においては、ゲスト材料122として、蛍光材料を用いる構成について説明する。なお、ゲスト材料122を蛍光材料として読み替えるてもよい。

10

#### 【0042】

##### 1-1. 発光素子の発光機構

まず、発光素子150の発光機構について、以下説明を行う。

#### 【0043】

本発明の一態様の発光素子150においては、一対の電極(電極101及び電極102)間に電圧を印加することにより、陰極から電子が、陽極から正孔(ホール)が、それぞれEL層100に注入され、電流が流れる。そして、注入された電子及び正孔が再結合することによって、EL層100が有する発光層113内のゲスト材料122が励起状態となり、励起されたゲスト材料122から発光を得ることができる。

20

#### 【0044】

なお、以下の2つの過程により、ゲスト材料122からの発光が得られる。

( ) 直接再結合過程

( ) エネルギー移動過程

#### 【0045】

##### 1-2. ( ) 直接再結合過程

30

キャリア(電子及び正孔)が、ゲスト材料122において再結合し、ゲスト材料122の励起状態が形成される。このとき、ゲスト材料122の励起状態が一重項励起状態のとき、蛍光発光が得られる。一方で、ゲスト材料122の励起状態が三重項励起状態のとき、熱失活する。

#### 【0046】

上述の( )直接再結合過程においては、ゲスト材料122の蛍光量子収率が高ければ高い発光効率が得られる。

#### 【0047】

##### 1-3. ( ) エネルギー移動過程

40

キャリアが、ホスト材料121において再結合し、ホスト材料121の励起状態が形成される。このとき、ホスト材料121の励起状態が一重項励起状態のとき、ホスト材料121の一重項励起エネルギー準位が、ゲスト材料122の一重項励起エネルギー準位よりも高い場合、ホスト材料121から、ゲスト材料122に励起エネルギーが移動し、ゲスト材料122が一重項励起状態となる。一重項励起状態となったゲスト材料122からは、蛍光発光が得られる。したがって、ホスト材料121の一重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料122の一重項励起エネルギー準位よりも高いことが好ましい。

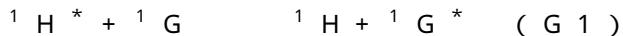
#### 【0048】

なお、ホスト材料121の一重項励起状態から、ゲスト材料122の三重項励起状態へのエネルギー移動は、ゲスト材料122における一重項基底状態から三重項励起状態への直接遷移が禁制であることから、主たるエネルギー移動過程になりにくいため、ここでは

50

省略する。つまり、下記一般式（G1）の通り、ホスト材料121の一重項励起状態から、ゲスト材料122の一重項励起状態へのエネルギー移動が重要である。

【0049】



【0050】

なお、一般式（G1）中、 $^1\text{H}^*$ はホスト材料121の一重項励起状態を表し、 $^1\text{G}$ はゲスト材料122の一重項基底状態を表し、 $^1\text{H}$ はホスト材料121の一重項基底状態を表し、 $^1\text{G}^*$ はゲスト材料122の一重項励起状態を表す。

【0051】

次に、ホスト材料121及びゲスト材料122のエネルギー移動過程を説明するために、図1（C）にエネルギー準位の相関を説明する模式図を示す。なお、図1（C）における表記及び符号は、以下の通りである。10

- ・ Host (121) : ホスト材料121
- ・ Guest (122) : ゲスト材料122（蛍光材料）
- ・  $S_H$  : ホスト材料121の一重項励起エネルギーの最も低い準位
- ・  $T_H$  : ホスト材料121の三重項励起エネルギーの最も低い準位
- ・  $S_G$  : ゲスト材料122（蛍光材料）の一重項励起エネルギーの最も低い準位
- ・  $T_G$  : ゲスト材料122（蛍光材料）の三重項励起エネルギーの最も低い準位

【0052】

ホスト材料121の励起状態が三重項励起状態であっても、ホスト材料121の $S_H$ が、ゲスト材料122の $S_G$ よりも高い場合、下記の2つの過程を辿って蛍光発光が得られる。20

【0053】

ホスト材料121は、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位とのエネルギー差が0.2eV以下と小さい。そのため、1つ目の過程として、図1（C）のルートA<sub>1</sub>に示すように、ホスト材料121の $T_H$ から逆項間交差（アップコンバージョン）によって、 $S_H$ に励起エネルギーが移動する。

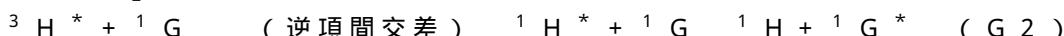
【0054】

それに続く2つ目の過程として、図1（C）のルートE<sub>1</sub>に示すように、ホスト材料121の $S_H$ からゲスト材料122の $S_G$ に励起エネルギーが移動し、ゲスト材料122が一重項励起状態となる。一重項励起状態となったゲスト材料122からは蛍光発光が得られる。30

【0055】

上述の1つ目の過程及び2つ目の過程は、下記一般式（G2）で表される。

【0056】



【0057】

なお、一般式（G2）中、 $^3\text{H}^*$ はホスト材料121の三重項励起状態を表し、 $^1\text{G}$ はゲスト材料122の一重項基底状態を表し、 $^1\text{H}^*$ はホスト材料121の一重項励起状態を表し、 $^1\text{H}$ はホスト材料121の一重項基底状態を表し、 $^1\text{G}^*$ はゲスト材料122の一重項励起状態を表す。40

【0058】

一般式（G2）に示すように、ホスト材料121の三重項励起状態（ $^3\text{H}^*$ ）から逆項間交差によってホスト材料121の一重項励起状態（ $^1\text{H}^*$ ）が生成され、その後、ゲスト材料122の一重項励起状態（ $^1\text{G}^*$ ）へエネルギー移動する。

【0059】

上述の（ ）エネルギー移動過程で述べた全てのエネルギー移動過程が効率よく生じれば、ホスト材料121の三重項励起エネルギー及び一重項励起エネルギーの双方が効率よくゲスト材料122の一重項励起状態（ $^1\text{G}^*$ ）に変換されるため、高効率な発光が可能となる。50

## 【0060】

ただし、ホスト材料121の一重項励起状態及び三重項励起状態からゲスト材料122の一重項励起状態に励起エネルギーが移動する前に、ホスト材料121が当該励起エネルギーを光または熱として放出して失活してしまうと、発光素子150の発光効率は低下する。例えば、図1(C)の破線B<sub>1</sub>に示すように、ホスト材料121の三重項励起エネルギーの最も低い準位が、ゲスト材料122のT<sub>G</sub>よりも低い場合(図1(C)中、T<sub>H'</sub>で示す)、ゲスト材料122が有する励起エネルギーは、図1(C)のルートE<sub>3</sub>に示すように、ゲスト材料122のT<sub>G</sub>からホスト材料121のT<sub>H'</sub>にエネルギー移動する。この場合、T<sub>H'</sub>とS<sub>H</sub>のエネルギー差が大きいため、図1(C)のルートA<sub>1'</sub>の逆項間交差およびそれに続くルートE<sub>1</sub>に示すエネルギー移動過程が生じにくくなるため、ゲスト材料122の励起エネルギーは結果として熱失活する。そのため、ゲスト材料122の一重項励起状態の生成効率が低下する。したがって、ホスト材料121のT<sub>H</sub>は、ゲスト材料122のT<sub>G</sub>よりも高いことが好ましい。すなわち、ホスト材料121が熱活性化遅延蛍光を示す物質である場合、ホスト材料121の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、ゲスト材料122の燐光発光エネルギーよりも高いことが好ましい。

10

## 【0061】

一方、図1(C)のルートE<sub>2</sub>に示すように、ホスト材料121のT<sub>H</sub>からゲスト材料122のT<sub>G</sub>に励起エネルギーが移動した場合も、励起エネルギーは熱失活する。したがって、図1(C)のルートE<sub>2</sub>に示すエネルギー移動過程が少ない方が、ゲスト材料122の三重項励起状態の生成効率を低減することができ、熱失活を減少させることができるために好ましい。そのためには、ホスト材料121とゲスト材料122との重量比は、ゲスト材料122の重量比が低い方が好ましい。具体的には、ホスト材料121が1に対するゲスト材料122の重量比としては、0より大きく0.05以下が好適であり、より好ましくは、0より大きく0.03以下が好適である。

20

## 【0062】

なお、ゲスト材料122での直接再結合過程が支配的になると、発光層内でゲスト材料122の三重項励起状態が多数生成することになり、熱失活により発光効率を損ねてしまう。つまり、上述の( )直接再結合過程よりも( )エネルギー移動過程の割合が、多い方が、ゲスト材料122の励起状態が三重項励起状態のときに生じる、熱失活を減少させることができるため好ましい。そのためには、やはりホスト材料121とゲスト材料122との重量比は、ゲスト材料122の重量比が低い方が好ましく、具体的には、ホスト材料121が1に対するゲスト材料122の重量比としては、0より大きく0.05以下が好適であり、より好ましくは、0より大きく0.03以下が好適である。

30

## 【0063】

次に、上述したホスト材料121と、ゲスト材料122との分子間のエネルギー移動過程の支配因子について説明する。分子間のエネルギー移動の機構としては、フェルスター機構(双極子-双極子相互作用)と、デクスター機構(電子交換相互作用)の2つの機構が提唱されている。

30

## 【0064】

## 1-4. フェルスター機構

40

フェルスター機構では、エネルギー移動に、分子間の直接的接触を必要とせず、ホスト材料121及びゲスト材料122間の双極子振動の共鳴現象を通じてエネルギー移動が起こる。双極子振動の共鳴現象によってホスト材料121がゲスト材料122にエネルギーを受け渡し、励起状態のホスト材料121が基底状態になり、基底状態のゲスト材料122が励起状態になる。なお、フェルスター機構の速度定数k<sub>h \* g</sub>を式(1)に示す。

## 【0065】

【数1】

$$k_{h^* \rightarrow g} = \frac{9000c^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(v) \varepsilon'_g(v)}{v^4} dv \quad \dots \quad (1)$$

【0066】

数式(1)において、 $h$ は、振動数を表し、 $f'_h(\nu)$ は、ホスト材料121の規格化された発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光スペクトル)を表し、 $\varepsilon'_g(\nu)$ は、ゲスト材料122のモル吸光係数を表し、 $N$ は、アボガドロ数を表し、 $n$ は、媒体の屈折率を表し、 $R$ は、ホスト材料121とゲスト材料122の分子間距離を表し、 $\tau$ は、実測される励起状態の寿命(蛍光寿命や燐光寿命)を表し、 $c$ は、光速を表し、 $\phi$ は、発光量子収率(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光量子収率、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光量子収率)を表し、 $K^2$ は、ホスト材料121とゲスト材料122の遷移双極子モーメントの配向を表す係数(0から4)である。なお、ランダム配向の場合は $K^2 = 2/3$ である。

10

【0067】

## 1-5. デクスター機構

デクスター機構では、ホスト材料121とゲスト材料122が軌道の重なりを生じる接触有効距離に近づき、励起状態のホスト材料121の電子と、基底状態のゲスト材料122との電子の交換を通じてエネルギー移動が起こる。なお、デクスター機構の速度定数 $k_{h^* \rightarrow g}$ を数式(2)に示す。

20

【0068】

【数2】

$$k_{h^* \rightarrow g} = \left( \frac{2\pi}{h} \right) K^2 \exp\left(-\frac{2R}{L}\right) \int f'_h(v) \varepsilon'_g(v) dv \quad \dots \quad (2)$$

【0069】

数式(2)において、 $h$ は、プランク定数であり、 $K$ は、エネルギーの次元を持つ定数であり、 $\tau$ は、振動数を表し、 $f'_h(\nu)$ は、ホスト材料121の規格化された発光スペクトル(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光スペクトル、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光スペクトル)を表し、 $\varepsilon'_g(\nu)$ は、ゲスト材料122の規格化された吸収スペクトルを表し、 $L$ は、実効分子半径を表し、 $R$ は、ホスト材料121とゲスト材料122の分子間距離を表す。

30

【0070】

ここで、ホスト材料121からゲスト材料122へのエネルギー移動効率 $\phi_{ET}$ は、数式(3)で表される。 $k_r$ は、ホスト材料121の発光過程(一重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は蛍光、三重項励起状態からのエネルギー移動を論じる場合は燐光)の速度定数を表し、 $k_n$ は、ホスト材料121の非発光過程(熱失活や項間交差)の速度定数を表し、 $\tau$ は、実測されるホスト材料121の励起状態の寿命を表す。

40

【0071】

【数3】

$$\phi_{ET} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{k_r + k_n + k_{h^* \rightarrow g}} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{\left(\frac{1}{\tau}\right) + k_{h^* \rightarrow g}} \quad \dots \quad (3)$$

【0072】

数式(3)より、エネルギー移動効率 $\phi_{ET}$ を高くするためには、エネルギー移動の速

50

度定数  $k_{h^*g}$  を大きくし、他の競合する速度定数  $k_r + k_n$  ( $= 1 / \tau$ ) が相対的に小さくなれば良いことがわかる。

#### 【0073】

##### 1 - 6 . エネルギー移動を高めるための概念

上述の一般式 (G1) 及び一般式 (G2) のエネルギー移動過程のいずれにおいても、ホスト材料121の一重項励起状態 ( ${}^1H^*$ ) からゲスト材料122の一重項励起状態 ( ${}^1G^*$ ) へのエネルギー移動であるため、フェルスター機構 (数式(1)) 及びデクスター機構 (数式(2)) の両方の機構によるエネルギー移動が生じる。

#### 【0074】

まず、フェルスター機構によるエネルギー移動を考える。数式(1)と数式(3)から 10  
を消去すると、エネルギー移動効率  $\epsilon_T$  は、量子収率 (一重項励起状態からのエネルギー移動を論じているので、蛍光量子収率) が高い方が良いと言える。しかし実際は、さらに重要なファクターとして、ホスト材料121の発光スペクトル (一重項励起状態からのエネルギー移動を論じているので蛍光スペクトル) とゲスト材料122の吸収スペクトル (一重項基底状態から一重項励起状態への遷移に相当する吸収)との重なりが大きいことが好ましい。なお、ゲスト材料122のモル吸光係数も高い方が好ましい。このことは、ホスト材料121の発光スペクトルと、ゲスト材料122の最も長波長側に現れる吸収帯とが重なることを意味する。

#### 【0075】

次に、デクスター機構によるエネルギー移動を考える。数式(2)によれば、速度定数 20  
 $k_{h^*g}$  を大きくするにはホスト材料121の発光スペクトル (一重項励起状態からのエネルギー移動を論じているので蛍光スペクトル) とゲスト材料122の吸収スペクトル (一重項基底状態から一重項励起状態への遷移に相当する吸収)との重なりが大きい方が良いことがわかる。

#### 【0076】

以上のことから、エネルギー移動効率の最適化は、ホスト材料121の発光スペクトルと、ゲスト材料122の最も長波長側に現れる吸収帯とが重なることによって実現される。

#### 【0077】

そこで、本発明の一態様は、ゲスト材料122に効率的にエネルギー移動が可能なエネルギーードナーとしての機能を有するホスト材料121を用いた発光素子を提供する。ホスト材料121は、一重項励起エネルギー準位と、三重項励起エネルギー準位とが近接しているという特徴を有する。具体的には、ホスト材料121の一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0eVを超えて0.2eV以下であると好ましい。上記構成とすることで、ホスト材料121の三重項励起状態から一重項励起状態への遷移 (逆項間交差) が起こりやすい。したがって、ホスト材料121の一重項励起状態の生成効率を高めることができる。さらに、ホスト材料121の一重項励起状態からエネルギーーアクセプターとなるゲスト材料122の一重項励起状態へのエネルギー移動を生じやすくするためには、ホスト材料121の発光スペクトル (ここでは、熱活性化遅延蛍光を呈する機能を有する物質の発光スペクトル) と、ゲスト材料122の最も長波長側に現れる吸収帯と、が重なると好ましい。そうすることで、ゲスト材料122の一重項励起状態の生成効率を高めることができる。

#### 【0078】

また、本発明の一態様の発光素子150においては、ホスト材料121の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料122の三重項励起エネルギー準位よりも高いため、ホスト材料121の三重項励起状態から一重項励起状態への遷移、及びホスト材料121の一重項励起状態からゲスト材料122の一重項励起状態へのエネルギー移動が起こりやすい。そのため、発光素子150における熱失活が少なくなるため、発光素子150の発光効率を高めることができる。また、ホスト材料121が室温で熱活性化遅延蛍光を示す物質である場合、当該熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、ゲスト材料122の燐光発光エネ 40  
50

ルギーよりも高いため、ホスト材料121の三重項励起状態から一重項励起状態への遷移、およびホスト材料121の一重項励起状態からゲスト材料122の一重項励起状態へのエネルギー移動が効率良く生じる。そのため、発光素子150における熱失活が少なくなるため、発光素子150の発光効率を高めることができる。

#### 【0079】

##### 1 - 7 . 材料

発光層113において、ホスト材料121は一種の材料から構成されていても良く、複数の材料から構成されていても良い。例えば、ホスト材料121が、一種の材料から構成される場合、以下の材料を用いることができる。

#### 【0080】

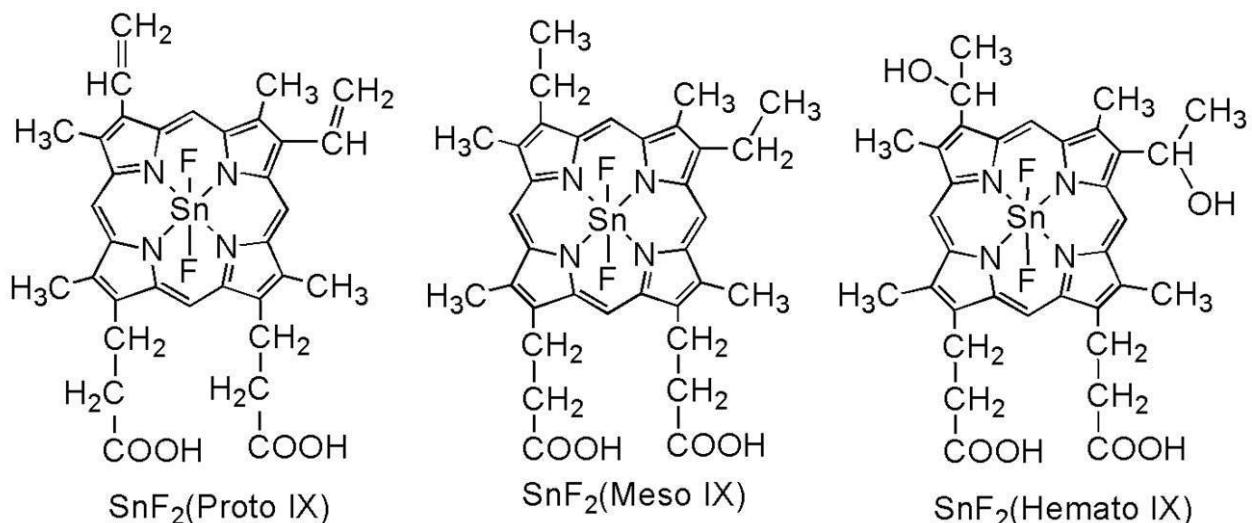
まずフラー・レンやその誘導体、プロフラビン等のアクリジン誘導体、エオシン等が挙げられる。またマグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)、スズ(Sn)、白金(Pt)、インジウム(In)、もしくはパラジウム(Pd)等を含む金属含有ポルフィリンが挙げられる。該金属含有ポルフィリンとしては、例えば、以下の構造式に示されるプロトポルフィリン-フッ化スズ錯体( $\text{SnF}_2$ (Proto IX))、メソポルフィリン-フッ化スズ錯体( $\text{SnF}_2$ (Meso IX))、ヘマトポルフィリン-フッ化スズ錯体( $\text{SnF}_2$ (Hemato IX))、コプロポルフィリンテトラメチルエステル-フッ化スズ錯体( $\text{SnF}_2$ (Copro III-4Me))、オクタエチルポルフィリン-フッ化スズ錯体( $\text{SnF}_2$ (OEP))、エチオポルフィリン-フッ化スズ錯体( $\text{SnF}_2$ (Ethio I))、オクタエチルポルフィリン-塩化白金錯体( $\text{PtC}_{12}\text{OEP}$ )等が挙げられる。

#### 【0081】

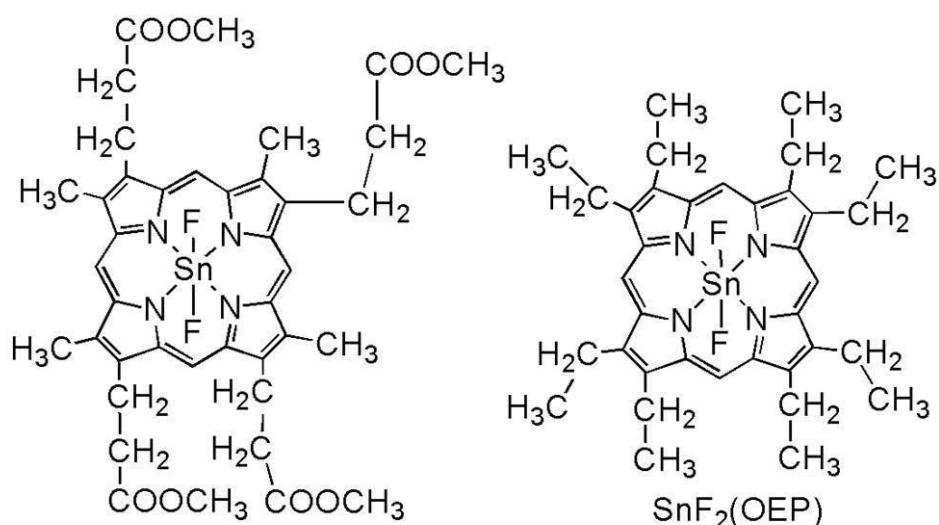
10

20

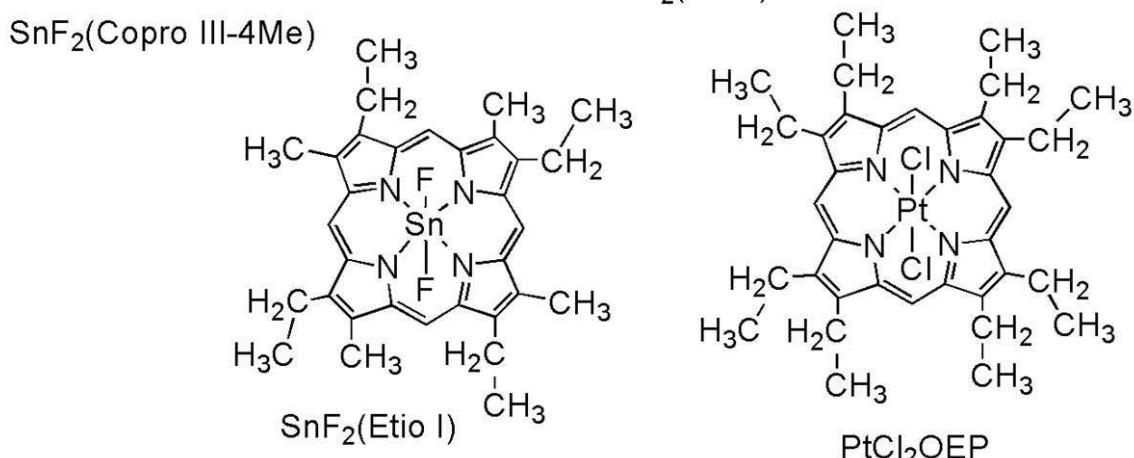
## 【化1】



10



20



30

40

## 【0082】

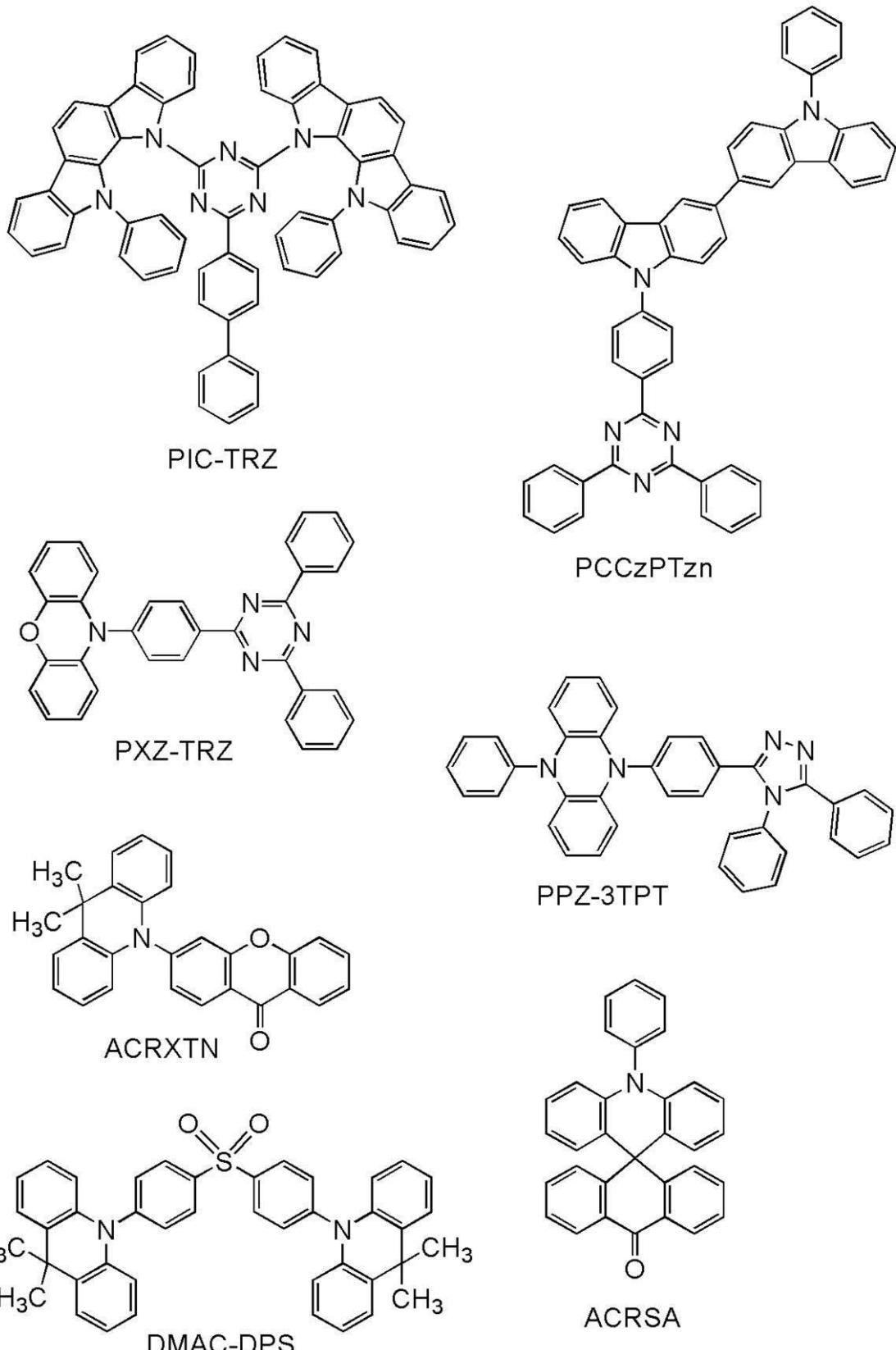
また、一種の材料から構成されるホスト材料121としては、以下の構造式に示される2-(ビフェニル-4-イル)-4,6-ビス(12-フェニルインドロ[2,3-a]カルバゾール-11-イル)-1,3,5-トリアジン(略称: P I C - T R Z )、2-{4-[3-(N-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)-9H-カルバゾール-9-イル]フェニル}-4,6-ジフェニル-1,3,5-トリアジン(略称: P C C z P T z n )、2-[4-(10H-フェノキサジン-10-イル)フェニル]-4,6-ジフェニル-1,3,5-トリアジン(略称: P X Z - T R Z )、3-[4-(5-フェニル-5,10-ジヒドロフェナジン-10-イル)フェニル]-4,5-ジフェニル-

50

1 , 2 , 4 - トリアゾール(略称: P P Z - 3 T P T )、3 - ( 9 , 9 - ジメチル - 9 H - アクリジン - 10 - イル) - 9 H - キサンテン - 9 - オン(略称: A C R X T N )、ビス[ 4 - ( 9 , 9 - ジメチル - 9 , 10 - ジヒドロアクリジン) フェニル ] スルホン(略称: D M A C - D P S )、10 - フェニル - 10 H , 10 ' H - スピロ [ アクリジン - 9 , 9 ' - アントラセン ] - 10 ' - オン(略称: A C R S A )、等の 電子過剰型複素芳香環及び 電子不足型複素芳香環を有する複素環化合物も用いることができる。該複素環化合物は、 電子過剰型複素芳香環及び 電子不足型複素芳香環を有するため、電子輸送性及び正孔輸送性が高く、好ましい。なお、 電子過剰型複素芳香環と 電子不足型複素芳香環とが直接結合した物質は、 電子過剰型複素芳香環のドナー性と 電子不足型複素芳香環のアクセプター性が共に強く、一重項励起状態の準位と三重項励起状態の準位の差が小さくなるため、特に好ましい。

【 0 0 8 3 】

## 【化2】



## 【0084】

また、発光層113において、ゲスト材料122としては、特に限定はないが、アントラセン誘導体、テトラセン誘導体、クリセン誘導体、フェナントレン誘導体、ピレン誘導体、ペリレン誘導体、スチルベン誘導体、アクリドン誘導体、クマリン誘導体、フェノキサジン誘導体、フェノチアジン誘導体などが好ましく、例えば以下の材料を用いることができる。

## 【0085】

5 , 6 - ビス [ 4 - ( 1 0 - フェニル - 9 - アントリル ) フェニル ] - 2 , 2 ' - ビピリジン ( 略称 : P A P 2 B P y ) 、 5 , 6 - ビス [ 4 ' - ( 1 0 - フェニル - 9 - アントリル ) ピフェニル - 4 - イル ] - 2 , 2 ' - ビピリジン ( 略称 : P A P P 2 B P y ) 、 N , N ' - ビス [ 4 - ( 9 - フェニル - 9 H - フルオレン - 9 - イル ) フェニル ] - N , N ' - デフェニルピレン - 1 , 6 - ジアミン ( 略称 : 1 , 6 F L P A P r n ) 、 N , N ' - ビス ( 3 - メチルフェニル ) - N , N ' - ビス [ 3 - ( 9 - フェニル - 9 H - フルオレン - 9 - イル ) フェニル ] ピレン - 1 , 6 - ジアミン ( 略称 : 1 , 6 m M e m F L P A P r n ) 、 N , N ' - ビス [ 4 - ( 9 H - カルバゾール - 9 - イル ) フェニル ] - N , N ' - デフェニルスチルベン - 4 , 4 ' - ジアミン ( 略称 : Y G A 2 S ) 、 4 - ( 9 H - カルバゾール - 9 - イル ) - 4 ' - ( 1 0 - フェニル - 9 - アントリル ) トリフェニルアミン ( 略称 : Y G A P A ) 、 4 - ( 9 H - カルバゾール - 9 - イル ) - 4 ' - ( 9 , 1 0 - デフェニル - 2 - アントリル ) トリフェニルアミン ( 略称 : 2 Y G A P P A ) 、 N , 9 - デフェニル - N - [ 4 - ( 1 0 - フェニル - 9 - アントリル ) フェニル ] - 9 H - カルバゾール - 3 - アミン ( 略称 : P C A P A ) 、 ペリレン、 2 , 5 , 8 , 1 1 - テトラ ( t e r t - ブチル ) ペリレン ( 略称 : T B P ) 、 4 - ( 1 0 - フェニル - 9 - アントリル ) - 4 ' - ( 9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) トリフェニルアミン ( 略称 : P C B A P A ) 、 N , N ' - ( 2 - t e r t - ブチルアントラセン - 9 , 1 0 - デイルジ - 4 , 1 - フェニレン ) ビス [ N , N ' , N ' - トリフェニル - 1 , 4 - フェニレンジアミン ] ( 略称 : D P A B P A ) 、 N , 9 - デフェニル - N - [ 4 - ( 9 , 1 0 - デフェニル - 2 - アントリル ) フェニル ] - 9 H - カルバゾール - 3 - アミン ( 略称 : 2 P C A P P A ) 、 N - [ 4 - ( 9 , 1 0 - デフェニル - 2 - アントリル ) フェニル ] - N , N ' , N ' - トリフェニル - 1 , 4 - フェニレンジアミン ( 略称 : 2 D P A P P A ) 、 N , N , N ' , N ' , N ' , N ' , N ' , N ' - オクタフェニルジベンゾ [ g , p ] クリセン - 2 , 7 , 1 0 , 1 5 - テトラアミン ( 略称 : D B C 1 ) 、 クマリン 3 0 、 N - ( 9 , 1 0 - デフェニル - 2 - アントリル ) - N , 9 - デフェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - アミン ( 略称 : 2 P C A P A ) 、 N - [ 9 , 1 0 - ビス ( 1 , 1 ' - ビフェニル - 2 - イル ) - 2 - アントリル ] - N , N ' , N ' - トリフェニル - 1 , 4 - フェニレンジアミン ( 略称 : 2 D P A B P h A ) 、 N - ( 9 , 1 0 - デフェニル - 2 - アントリル ) - N , N ' - ビス ( 1 , 1 ' - ビフェニル - 2 - イル ) - 2 - アントリル ] - N , N ' , N ' - トリフェニル - 1 , 4 - フェニレンジアミン ( 略称 : 2 D P A B P h A ) 、 9 , 1 0 - ビス ( 1 , 1 ' - ビフェニル - 2 - イル ) - N - [ 4 - ( 9 H - カルバゾール - 9 - イル ) フェニル ] - N - フェニルアントラセン - 2 - アミン ( 略称 : 2 Y G A B P h A ) 、 N , N , 9 - トリフェニルアントラセン - 9 - アミン ( 略称 : D P h A P h A ) 、 クマリン 6 、 クマリン 5 4 5 T 、 N , N ' - デフェニルキナクリドン ( 略称 : D P Q d ) 、 ルブレン、 5 , 1 2 - ビス ( 1 , 1 ' - ビフェニル - 4 - イル ) - 6 , 1 1 - デフェニルテトラセン ( 略称 : B P T ) 、 2 - { 2 - [ 2 - [ 4 - ( ジメチルアミノ ) フェニル ] エテニル } - 6 - メチル - 4 H - ピラン - 4 - イリデン ) プロパンジニトリル ( 略称 : D C M 1 ) 、 2 - { 2 - メチル - 6 - [ 2 - ( 2 , 3 , 6 , 7 - テトラヒドロ - 1 H , 5 H - ベンゾ [ i j ] キノリジン - 9 - イル ) エテニル ] - 4 H - ピラン - 4 - イリデン } プロパンジニトリル ( 略称 : D C M 2 ) 、 N , N , N ' , N ' - テトラキス ( 4 - メチルフェニル ) テトラセン - 5 , 1 1 - ジアミン ( 略称 : p - m P h T D ) 、 7 , 1 4 - デフェニル - N , N , N ' , N ' - テトラキス ( 4 - メチルフェニル ) アセナフト [ 1 , 2 - a ] フルオランテン - 3 , 1 0 - ジアミン ( 略称 : p - m P h A F D ) 、 2 - { 2 - イソプロピル - 6 - [ 2 - ( 1 , 1 , 7 , 7 - テトラメチル - 2 , 3 , 6 , 7 - テトラヒドロ - 1 H , 5 H - ベンゾ [ i j ] キノリジン - 9 - イル ) エテニル ] - 4 H - ピラン - 4 - イリデン } プロパンジニトリル ( 略称 : D C J T I ) 、 2 - { 2 - t e r t - ブチル - 6 - [ 2 - ( 1 , 1 , 7 , 7 - テトラメチル - 2 , 3 , 6 , 7 - テトラヒドロ - 1 H , 5 H - ベンゾ [ i j ] キノリジン - 9 - イル ) エテニル ] - 4 H - ピラン - 4 - イリデン } プロパンジニト 10  
20  
30  
40  
50

リル（略称：D C J T B）、2 - (2 , 6 - ビス { 2 - [ 4 - (ジメチルアミノ) フェニル] エテニル} - 4 H - ピラン - 4 - イリデン）プロパンジニトリル（略称：B i s D C M）、2 - { 2 , 6 - ビス [ 2 - (8 - メトキシ - 1 , 1 , 7 , 7 - テトラメチル - 2 , 3 , 6 , 7 - テトラヒドロ - 1 H , 5 H - ベンゾ [ i j ] キノリジン - 9 - イル) エテニル] - 4 H - ピラン - 4 - イリデン} プロパンジニトリル（略称：B i s D C J T M）、5 , 1 0 , 1 5 , 2 0 - テトラフェニルビスベンゾ [ 5 , 6 ] インデノ [ 1 , 2 , 3 - c d : 1 ' , 2 ' , 3 ' - 1 m ] ペリレン、などが挙げられる。

## 【0086】

なお、発光層113は、蒸着法（真空蒸着法を含む）、インクジェット法、塗布法、グラビア印刷等の方法で形成することができる。

10

## 【0087】

## &lt;2. 発光素子の構成例2&gt;

次に、図1(B)(C)に示す構成と異なる構成について、図2(A)(B)を用いて、以下説明する。

## 【0088】

図2(A)は、図1(A)に示す発光層113の一例を示す断面模式図である。図2(A)に示す発光層113は、ホスト材料121と、ゲスト材料122と、を有し、ホスト材料121は、有機化合物121\_1と、有機化合物121\_2と、を有する。

## 【0089】

有機化合物121\_1と、有機化合物121\_2とは、励起錯体（Exciplexともいう）を形成する組み合わせであることが好ましい。励起錯体は、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が非常に小さくなりやすい性質を有しているため、三重項励起状態から一重項励起状態への遷移（逆項間交差）が生じやすい。また、有機化合物121\_1または有機化合物121\_2のいずれか一方は、発光層113のホスト材料として機能し、有機化合物121\_1または有機化合物121\_2の他方は、発光層113のアシスト材料として機能する。なお、以下の説明においては、有機化合物121\_1をホスト材料として、有機化合物121\_2をアシスト材料として説明を行う。

20

## 【0090】

なお、有機化合物121\_1と、有機化合物121\_2とが、励起錯体を形成する組み合わせになるような、ホスト材料を用いた場合においても、以下の2つの過程により、ゲスト材料122からの発光が得られる。

30

( ) 直接再結合過程

( ) エネルギー移動過程

## 【0091】

なお、( ) 直接再結合過程については、上記1-2.で説明した過程と同様であるため、ここでの説明は省略する。

## 【0092】

## 2-1. ( ) エネルギー移動過程を経る発光機構

発光層113における励起錯体を形成する有機化合物121\_1と、有機化合物121\_2との組み合わせは、励起錯体を形成することが可能な組み合わせであれば、とくに限定はないが、一方が正孔輸送性を有する材料であり、他方が電子輸送性を有する材料であることが、より好ましい。この場合、ドナー-アクセプター型の励起状態を形成しやすく、効率よく励起錯体を形成することができる。また、正孔輸送性を有する材料と電子輸送性を有する材料との組み合わせによって、有機化合物121\_1と有機化合物121\_2の組み合わせを構成する場合、その混合比によってキャリアバランスを容易に制御することができる。具体的には正孔輸送性を有する材料：電子輸送性を有する材料 = 1 : 9 から 9 : 1 (重量比) の範囲が好ましい。また、該構成を有することで、容易にキャリアバランスを制御することができることから、再結合領域の制御も簡便に行うことができる。

40

## 【0093】

また、有機化合物121\_1と、有機化合物121\_2とにより形成される励起錯体の

50

一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が0 eVを超えて0.2 eV以下であると好ましい。上記構成とすることで、励起錯体の三重項励起エネルギー準位から一重項励起エネルギー準位への遷移(逆項間交差)が起こりやすい。したがって、励起錯体、すなわちホスト材料121の一重項励起状態の生成効率を高めることができる。

#### 【0094】

さらに、ホスト材料121の発光スペクトル(ここでは、有機化合物121\_1と、有機化合物121\_2により形成される励起錯体の発光スペクトル)と、ゲスト材料122の最も長波長側に現れる吸収帯と、が重なると好ましい。上記構成とすることで、ホスト材料121の一重項励起状態からゲスト材料122の一重項励起状態へのエネルギー移動が生じやすくなる。したがって、ゲスト材料122の一重項励起状態の生成効率を高めることができ、発光効率を高めることができる。10

#### 【0095】

ここで、励起錯体のエネルギー移動過程を説明するために、図2(B)にエネルギー準位の相関を説明する模式図を示す。なお、図2(B)における表記及び符号は、以下の通りである。

- ・Host(121)：ホスト材料(有機化合物121\_1)
- ・Guest(122)：ゲスト材料122(蛍光材料)
- ・Assist：ホスト材料(有機化合物121\_2)
- ・S<sub>H</sub>：ホスト材料(有機化合物121\_1)の一重項励起エネルギーの最も低い準位
- ・T<sub>H</sub>：ホスト材料(有機化合物121\_1)の三重項励起エネルギーの最も低い準位20
- ・S<sub>E</sub>：励起錯体の一重項励起エネルギーの最も低い準位
- ・T<sub>E</sub>：励起錯体の三重項励起エネルギーの最も低い準位
- ・S<sub>G</sub>：ゲスト材料122(蛍光材料)の一重項励起エネルギーの最も低い準位
- ・T<sub>G</sub>：ゲスト材料122(蛍光材料)の三重項励起エネルギーの最も低い準位

#### 【0096】

キャリア(ホール及び電子)が発光層113に輸送されると、有機化合物121\_1及び有機化合物121\_2は、一方がホールを、他方が電子を受け取り、それらが近接することで速やかに励起錯体を形成する。あるいは、一方が励起状態となると、速やかに他方の物質と相互作用することで励起錯体を形成する。したがって、発光層113における励起子のほとんどが励起錯体として存在する。励起錯体は、有機化合物121\_1及び有機化合物121\_2のどちらよりもバンドギャップは小さくなるため、励起錯体が形成されることにより、駆動電圧を下げることができる。30

#### 【0097】

また、有機化合物121\_1と有機化合物121\_2とは、ドナー-アクセプター型の励起状態を形成することができるため、励起錯体のS<sub>E</sub>と励起錯体のT<sub>E</sub>は互いに近接する。

#### 【0098】

励起錯体の励起状態が一重項励起状態のとき、図2(B)のルートE<sub>4</sub>に示すように、励起錯体のS<sub>E</sub>からゲスト材料122のS<sub>G</sub>に励起エネルギーが移動し、ゲスト材料122が一重項励起状態となる。一重項励起状態となったゲスト材料122からは蛍光発光が得られる。つまり、下記一般式(G3)の通り、励起錯体の一重項励起状態から、ゲスト材料122の一重項励起状態へのエネルギー移動が生じる。40

#### 【0099】



#### 【0100】

なお、一般式(G3)中、<sup>1</sup>[H-A]<sup>\*</sup>は有機化合物121\_1と有機化合物121\_2とで形成される励起錯体の一重項励起状態を表し、<sup>1</sup>Gはゲスト材料122の一重項基底状態を表し、<sup>1</sup>Hは有機化合物121\_1の一重項基底状態を表し、<sup>1</sup>Aは有機化合物121\_2の一重項基底状態を表し、<sup>1</sup>G<sup>\*</sup>はゲスト材料122の一重項励起状態を表す。50

## 【0101】

また、励起錯体の励起状態が三重項励起状態であっても、励起錯体の  $S_E$  が、ゲスト材料 122 の  $S_G$  よりも高い場合、下記の 2 つの過程を辿って蛍光発光が得られる。

## 【0102】

1 つ目の過程として、図 2 (B) のルート  $A_2$  に示すように、励起錯体の  $T_E$  から逆項間交差 (アップコンバージョン) によって、 $S_E$  に励起エネルギーが移動する。

## 【0103】

それに続く 2 つ目の過程として、図 2 (B) のルート  $E_4$  に示すように、励起錯体の  $S_E$  からゲスト材料 122 の  $S_G$  に励起エネルギーが移動し、ゲスト材料 122 が一重項励起状態となる。一重項励起状態となったゲスト材料 122 からは蛍光発光が得られる。

10

## 【0104】

なお、上記に示すルート  $A_2$  及びルート  $E_4$  の過程を、本明細書等において E X S E T (E x c i p l e x - S i n g l e t E n e r g y T r a n s f e r ) または E X E F (E x c i p l e x - E n h a n c e d F l u o r e s c e n c e ) と呼称する場合がある。

## 【0105】

上記の 1 つ目の過程及び 2 つ目の過程は、下記一般式 (G4) で表される。

## 【0106】



20

## 【0107】

なお、一般式 (G4) 中、 ${}^3 [H - A]^*$  は有機化合物 121\_1 と有機化合物 121\_2 とで形成される励起錯体の三重項励起状態を表し、 ${}^1 G$  はゲスト材料 122 の一重項基底状態を表し、 ${}^1 [H - A]^*$  は有機化合物 121\_1 と有機化合物 121\_2 とで形成される励起錯体の一重項励起状態を表し、 ${}^1 H$  は有機化合物 121\_1 の一重項基底状態を表し、 ${}^1 A$  は有機化合物 121\_2 の一重項基底状態を表し、 ${}^1 G^*$  はゲスト材料 122 の一重項励起状態を表す。

## 【0108】

一般式 (G4) に示すように、励起錯体の三重項励起状態 ( ${}^3 [H - A]^*$ ) から逆項間交差によって、励起錯体の一重項励起状態 ( ${}^1 [H - A]^*$ ) が生成され、その後、ゲスト材料 122 の一重項励起状態 ( ${}^1 G^*$ ) へエネルギー移動する。

30

## 【0109】

ホスト材料 121 を、上述の構成とすることで、上記( )エネルギー移動過程が効率良く生じ、励起錯体の一重項励起エネルギー及び三重項励起エネルギーの双方が効率良くゲスト材料 122 の一重項励起状態に変換されるため、発光層 113 のゲスト材料 122 (蛍光材料) からの発光を、効率よく得ることが可能となる。

## 【0110】

ただし、励起錯体からゲスト材料 122 に励起エネルギーが移動する前に、励起錯体が当該励起エネルギーを光または熱として放出して失活してしまうと、発光効率が低下する場合がある。例えば、図 2 (B) のルート  $E_5$  に示すように、励起錯体の  $T_E$  からゲスト材料 122 の  $T_G$  に励起エネルギーが移動する場合、励起エネルギーが熱失活する。したがって、ホスト材料 121 が 1 に対するゲスト材料 122 の重量比としては、0 より大きく 0.05 以下が好適であり、より好ましくは、0 より大きく 0.03 以下が好適である。

40

## 【0111】

また、図 2 (B) の破線  $B_2$  に示すように、ホスト材料 121 の  $T_H$ 、すなわち有機化合物 121\_1 または有機化合物 121\_2 の三重項励起エネルギー準位が、励起錯体の  $T_E$  よりも低い場合 (図 2 (C) 中、 $T_H'$  で示す)、図 2 (B) のルート  $E_6$  に示すように、励起錯体の  $T_E$  からホスト材料 121 の  $T_H'$  にエネルギー移動したのち、励起エネルギーが熱失活する。したがって、有機化合物 121\_1 及び有機化合物 121\_2 の

50

三重項励起エネルギー準位は、励起錯体の  $T_E$  よりも高いことが好ましい。そうすることで、励起錯体において効率よく逆項間交差が生じるため好ましい。

#### 【0112】

また、励起錯体は  $S_E$  と  $T_E$  が近接するため、 $T_E$  がゲスト材料 122 の  $T_G$  よりも低い場合、 $S_E$  のエネルギー準位も  $T_G$  付近またはそれ以下まで大きく低下してしまう。その結果、 $S_E$  からゲスト材料 122 の  $S_G$  へのエネルギー移動（ルート E<sub>4</sub>）が困難になり、ゲスト材料 122 からの蛍光が得にくくなる。したがって、励起錯体の  $T_E$  は、ゲスト材料 122 の  $T_G$  よりも高いことが好ましい。

#### 【0113】

以上のことから、励起錯体が室温で熱活性化遅延蛍光を示す場合、有機化合物 121\_1 及び有機化合物 121\_2 の熒光発光エネルギーは、励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーよりも高いことが好ましい。また、励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、ゲスト材料 122 の熒光発光エネルギーよりも高いことが好ましい。

10

#### 【0114】

##### 2 - 2 . 材料

発光層 113 において、ホスト材料 121 が有機化合物 121\_1 及び有機化合物 121\_2 により形成される、すなわちホスト材料 121 が二種の材料から構成される場合、例えば以下の材料を用いることができる。

#### 【0115】

なお、有機化合物 121\_1 及び有機化合物 121\_2 は、励起錯体を形成する二種の組み合わせの有機化合物を用いることが好ましい。この場合、様々なキャリア輸送性材料を適宜用いることができるが、効率よく励起錯体を形成するためには、電子を受け取りやすい材料（電子輸送性を有する材料）と、正孔を受け取りやすい材料（正孔輸送性を有する材料）とを組み合わせることが特に好ましい。

20

#### 【0116】

なぜならば、電子輸送性を有する材料と、正孔輸送性を有する材料とを組み合わせて励起錯体を形成するホスト材料とする場合、電子輸送性を有する材料及び正孔輸送性を有する材料の混合比率を調節することで、発光層における正孔と電子のキャリアバランスを最適化することが容易となる。発光層における正孔と電子のキャリアバランスを最適化することにより、発光層中で電子と正孔の再結合が起こる領域が偏ることを抑制できる。再結合が起こる領域の偏りを抑制することで、発光素子の信頼性を向上させることができる。

30

#### 【0117】

電子を受け取りやすい材料（電子輸送性を有する材料）としては、電子不足型複素芳香族や金属錯体などを用いることができる。具体的には、ビス(10-ヒドロキシベンゾ[*h*]キノリナト)ベリリウム(I I)（略称：B e B q<sub>2</sub>）、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(I I I)（略称：B A l q）、ビス(8-キノリノラト)亜鉛(I I)（略称：Z n q）、ビス[2-(2-ベンゾオキサゾリル)フェノラト]亜鉛(I I)（略称：Z n P B O）、ビス[2-(2-ベンゾチアゾリル)フェノラト]亜鉛(I I)（略称：Z n B T Z）などの金属錯体や、2-(4-ビフェニリル)-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール（略称：P B D）、3-(4-ビフェニリル)-4-フェニル-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1,2,4-トリアゾール（略称：T A Z）、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：O X D - 7）、9-[4-(5-フェニル-1,3,4-オキサジアゾール-2-イル)フェニル]-9H-カルバゾール（略称：C O 1 1）、2,2',2''-(1,3,5-ベンゼントリイル)トリス(1-フェニル-1H-ベンゾイミダゾール)（略称：T P B I）、2-[3-(ジベンゾチオフェン-4-イル)フェニル]-1-フェニル-1H-ベンゾイミダゾール（略称：m D B T B I m - I I）などのアゾール骨格を有する複素環化合物や、2-[3-(ジベンゾチオフェン-4-イル)フェニル]ジベンゾ[f,h]キノキサリン（略称：2 m D B T P D B q - I I）、2-[3'-(ジベ

40

50

ンゾチオフェン - 4 - イル) ビフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [ f、h ] キノキサリン ( 略称 : 2 m D B T B P D B q - I I ) 、 2 - [ 3 ' - ( 9 H - カルバゾール - 9 - イル ) ビフェニル - 3 - イル] ジベンゾ [ f、h ] キノキサリン ( 略称 : 2 m C z B P D B q ) 、 4 , 6 - ビス [ 3 - ( フェナントレン - 9 - イル ) フェニル ] ピリミジン ( 略称 : 4 , 6 m P n P 2 P m ) 、 4 , 6 - ビス [ 3 - ( 4 - ジベンゾチエニル ) フェニル ] ピリミジン ( 略称 : 4 , 6 m D B T P 2 P m - I I ) などのジアジン骨格を有する複素環化合物や、 2 - { 4 - [ 3 - ( N - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) - 9 H - カルバゾール - 9 - イル ] フェニル } - 4 , 6 - ジフェニル - 1 , 3 , 5 - トリアジン ( 略称 : P C C z P T z n ) などのトリアジン骨格を有する複素環化合物や、 3 , 5 - ビス [ 3 - ( 9 H - カルバゾール - 9 - イル ) フェニル ] ピリジン ( 略称 : 3 5 D C z P P y ) 、 1 , 3 , 5 - トリ [ 3 - ( 3 - ピリジル ) フェニル ] ベンゼン ( 略称 : T m P y P B ) などのピリジン骨格を有する複素環化合物が挙げられる。上述した中でも、ジアジン骨格及びトリアジン骨格を有する複素環化合物やピリジン骨格を有する複素環化合物は、信頼性が良好であり好ましい。特に、ジアジン ( ピリミジンやピラジン ) 骨格及びトリアジン骨格を有する複素環化合物は、電子輸送性が高く、駆動電圧低減にも寄与する。また、信頼性が良好で、且つ高い三重項励起エネルギー準位を有するためには、縮合複素環骨格を有し、該縮合複素環骨格がジアジン骨格を有することが好ましい。あるいは、カルバゾール骨格と、縮合複素環骨格とを有し、該縮合複素環骨格がジアジン骨格を有することが好ましい。あるいは、カルバゾール骨格と、縮合複素環骨格とを有し、該縮合複素環骨格がジアジン骨格を有し、該カルバゾール骨格と該縮合複素環骨格とが、アリーレン基を介して結合する構造を有すると好ましく、該カルバゾール骨格の 9 位においてアリーレン基を介して結合する構造を有すると特に好ましい。当該ジアジン骨格を有する縮合複素環骨格としては、キノキサリン骨格、キナゾリン骨格、ベンゾキノキサリン骨格、ベンゾキナゾリン骨格、ジベンゾキノキサリン骨格、ジベンゾキナゾリン骨格、またはベンゾフロピリミジン骨格などが好ましい。

## 【 0 1 1 8 】

正孔を受け取りやすい材料 ( 正孔輸送性を有する材料 ) としては、電子過剰型複素芳香族又は芳香族アミンなどを好適に用いることができる。具体的には、 2 - [ N - ( 9 - フェニルカルバゾール - 3 - イル ) - N - フェニルアミノ ] スピロ - 9 , 9 ' - ビフルオレン ( 略称 : P C A S F ) 、 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 : N P B ) 、 N , N ' - ビス ( 3 - メチルフェニル ) - N , N ' - デフェニル - [ 1 , 1 ' - ビフェニル ] - 4 , 4 ' - ジアミン ( 略称 : T P D ) 、 4 , 4 ' - ビス [ N - ( スピロ - 9 , 9 ' - ビフルオレン - 2 - イル ) - N - フェニルアミノ ] ビフェニル ( 略称 : B S P B ) 、 4 - フェニル - 4 ' - ( 9 - フェニルフルオレン - 9 - イル ) トリフェニルアミン ( 略称 : B P A F L P ) 、 4 - フェニル - 3 ' - ( 9 - フェニルフルオレン - 9 - イル ) トリフェニルアミン ( 略称 : m B P A F L P ) 、 4 - フェニル - 4 ' - ( 9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) トリフェニルアミン ( 略称 : P C B A 1 B P ) 、 4 , 4 ' - ジフェニル - 4 ' ' - ( 9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) トリフェニルアミン ( 略称 : P C B B i 1 B P ) 、 4 - ( 1 - ナフチル ) - 4 ' - ( 9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) トリフェニルアミン ( 略称 : P C B A N B ) 、 4 , 4 ' - ジ ( 1 - ナフチル ) - 4 ' ' - ( 9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) トリフェニルアミン ( 略称 : P C B N B B ) 、 9 , 9 - ジメチル - N - フェニル - N - [ 4 - ( 9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) フェニル ] - フルオレン - 2 - アミン ( 略称 : P C B A F ) 、 N - フェニル - N - [ 4 - ( 9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) フェニル ] - スピロ - 9 , 9 ' - ビフルオレン - 2 - アミン ( 略称 : P C B A S F ) 、 N - ( 1 , 1 ' - ビフェニル - 4 - イル ) - N - [ 4 - ( 9 - フェニル - 9 H - カルバゾール - 3 - イル ) フェニル ] - 9 , 9 - ジメチル - 9 H - フルオレン - 2 - アミン ( 略称 : P C B B i F ) などの芳香族アミン骨格を有する化合物や、 1 , 3 - ビス ( N - カルバゾリル ) ベンゼン ( 略称 : m C P ) 、 4 , 4 ' - ジ ( N - カルバゾリル ) ビフェニル ( 略称 : C B P ) 、 3 , 6 - ビス ( 3 , 5 - ジフェニル 10  
20  
30  
40  
50

フェニル) - 9 - フェニルカルバゾール(略称: CZTP)、9 - フェニル - 9H - 3 - (9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イル)カルバゾール(略称: PCCP)などのカルバゾール骨格を有する化合物や、4', 4'', 4''' - (ベンゼン - 1, 3, 5 - トトリイル)トリ(ジベンゾチオフェン)(略称: DBT3P-II)、2, 8 - ジフェニル - 4 - [4 - (9 - フェニル - 9H - フルオレン - 9 - イル)フェニル]ジベンゾチオフェン(略称: DBTFLP-II)、4 - [4 - (9 - フェニル - 9H - フルオレン - 9 - イル)フェニル] - 6 - フェニルジベンゾチオフェン(略称: DBTFLP-IV)などのチオフェン骨格を有する化合物や、4', 4'', 4''' - (ベンゼン - 1, 3, 5 - トトリイル)トリ(ジベンゾフラン)(略称: DBF3P-II)、4 - {3 - [3 - (9 - フェニル - 9H - フルオレン - 9 - イル)フェニル]フェニル}ジベンゾフラン(略称: mMDBFFLBi-II)などのフラン骨格を有する化合物が挙げられる。上述した中でも、芳香族アミン骨格を有する化合物やカルバゾール骨格を有する化合物は、信頼性が良好であり、また、正孔輸送性が高く、駆動電圧低減にも寄与するため好ましい。また、高い三重項励起エネルギー準位を有するためには、カルバゾール骨格を有することが好ましい。あるいは、芳香族アミン骨格を1つ有することが好ましい。あるいは、カルバゾール骨格と芳香族アミン骨格とを有し、カルバゾール骨格と芳香族アミン骨格とが、カルバゾール骨格の9位において結合する構造を有することが好ましく、カルバゾール骨格の9位においてアリーレン基を介して結合する構造、を有することが特に好ましい。

10

## 【0119】

有機化合物121\_1及び有機化合物121\_2は、上述した化合物に限定されることなく、キャリアを輸送でき、且つ励起錯体を形成できる組み合わせであり、当該励起錯体の発光が、発光物質の吸収スペクトルにおける最も長波長側の吸収帯(発光物質の一重項基底状態から一重項励起状態への遷移に相当する吸収)と重なっていればよく、他の材料を用いても良い。

20

## 【0120】

なお、図2(A)に示す発光層113において、ゲスト材料122として用いることのできる材料としては、1-7.に示すゲスト材料122と同様であるため、ここでの説明は省略する。

## 【0121】

2 - 3 . 励起錯体の発光エネルギーとホスト材料の三重項エネルギー準位の関係

30

ここで、本発明の一態様の励起錯体を形成する有機化合物の組み合わせと、当該励起錯体の発光エネルギーとホスト材料の三重項エネルギー準位の関係について、以下に詳しく説明する。

## 【0122】

有機化合物単体の薄膜の発光スペクトル、及び2種類の異なる有機化合物を組み合わせた混合膜の発光スペクトルを図3(A)(B)に示す。なお、化合物1乃至化合物4、および励起錯体1乃至励起錯体3の発光スペクトルを図3(A)に、化合物5乃至化合物7、および励起錯体4乃至励起錯体6の発光スペクトルを図3(B)に、それぞれ示す。

## 【0123】

また、図3(A)(B)中、化合物1が2 - [3 - (ジベンゾチオフェン - 4 - イル)フェニル]ジベンゾ[f, h]キノキサリン(略称: 2mDBTPDBq-II)、化合物2が4, 6 - ビス[3 - (4 - デシメトキシフェニル)フェニル]ピリミジン(略称: 4, 6mDBTP2Pm-II)、化合物3が2, 7 - ビス[N - (4 - デシメトキシフェニル) - N - フェニルアミノ] - スピロ - 9, 9' - ビフルオレン(略称: DPA2SF)、化合物4が2 - [N - (9 - フェニルカルバゾール - 3 - イル) - N - フェニルアミノ]スピロ - 9, 9' - ビフルオレン(略称: PCASF)、化合物5が4, 6 - ビス[3 - (9H - カルバゾール - 9 - イル)フェニル]ピリミジン(略称: 4, 6mCzP2Pm)、化合物6がN - (4 - ピフェニル) - N - (9, 9 - デシメトキシフェニル) - 2 - イル) - 9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - アミン(略称: PCBiF)、化合物7が9 - フェニル - 9H - 3 - (9 - フェニル - 9H - カルバゾール - 3 - イ

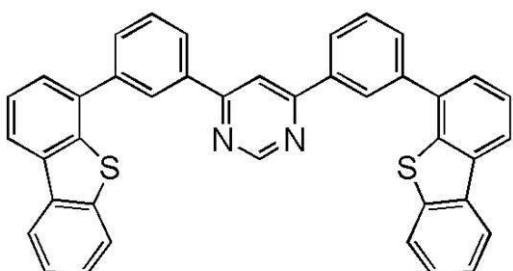
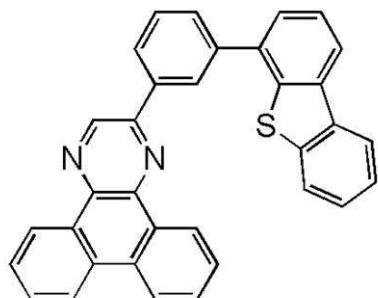
40

50

ル)カルバゾール(略称:PCCP)、化合物8が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)、における薄膜の発光スペクトルである。化合物1乃至化合物8の構造式及び略称を以下に示す。

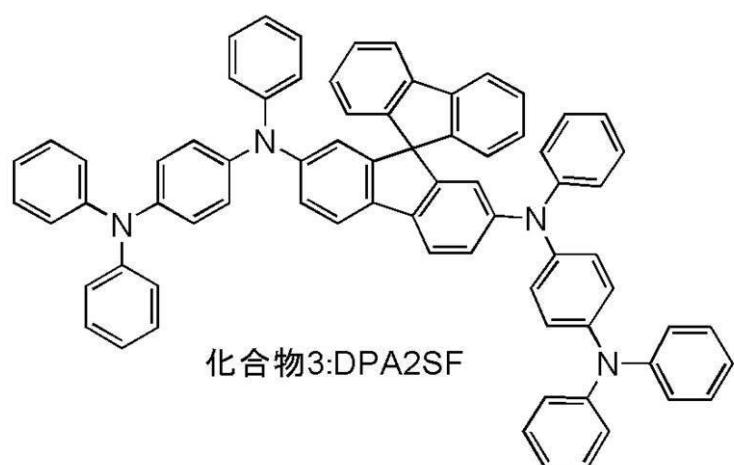
【0124】

【化3】

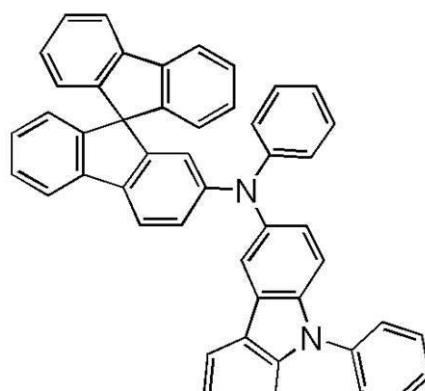


化合物1:2mDBTPDBq-II

10

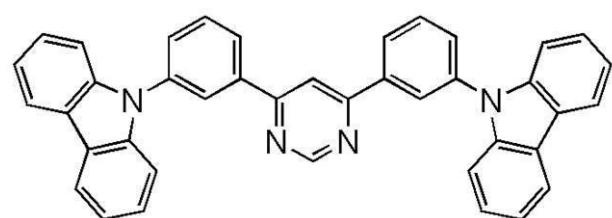


化合物3:DPA2SF

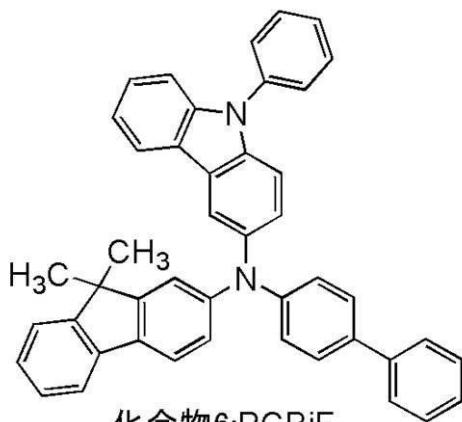


化合物4:PCASF

20

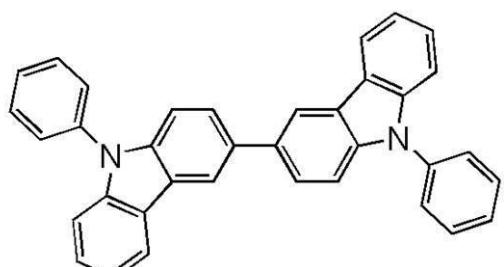


化合物5:4,6mCzP2Pm

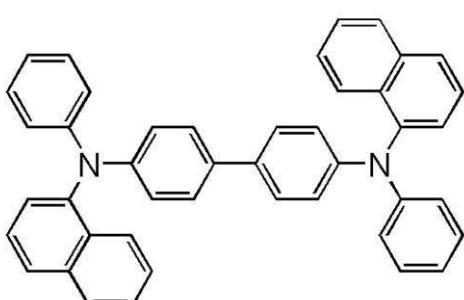


化合物6:PCBiF

30



化合物7:PCCP



化合物8:NPB

40

50

## 【0125】

図3(A)に示す励起錯体1で表される発光スペクトルは、化合物1と化合物3との混合膜の発光を測定した結果である。すなわち、化合物1及び化合物3の一方が有機化合物121\_1、他方が有機化合物121\_2に相当する。同様に、励起錯体2で表される発光スペクトルは、化合物1と化合物4との混合膜の発光を、励起錯体3で表される発光スペクトルは、化合物2と化合物4との混合膜の発光を、測定した結果である。なお、発光スペクトルは、各化合物単体の薄膜または2つの化合物の混合膜に紫外光を照射することで得られる発光を測定したものである。なお、発光スペクトルの測定にはPL-EL測定装置(浜松ホトニクス社製)を用いた。また、薄膜は、石英基板上に厚さが50nmになるよう各化合物を真空蒸着することで形成した。なお、混合薄膜は、異なる2つの化合物をそれぞれ異なる蒸発源から同時に蒸発させる蒸着法(共蒸着)によって形成した。

10

## 【0126】

励起錯体1と励起錯体2は、双方とも化合物1を用いているが、励起錯体を形成する他方の化合物が異なっている。そのため、化合物3と化合物4の発光スペクトルピークにはほとんど差がなくとも、励起錯体1の発光スペクトルピークの波長は579nmであり、励起錯体2の発光スペクトルピークの波長は543nmであり、これらのピークは30nm以上の差を有している。これは、励起錯体1及び励起錯体2がドナー-アクセプター型の励起錯体であるためである。すなわち、励起錯体の一重項励起エネルギーは、2つの有機化合物の最高被占軌道(Highest Occupied Molecular Orbital、HOMOともいう)と、最低空軌道(Lowest Unoccupied Molecular Orbital、LUMOともいう)のうち、高い方のHOMOと低い方のLUMOとのエネルギー差に相当する。そのため、一方の化合物を異なる化合物とすることで、励起錯体を形成するHOMOまたはLUMOのエネルギー準位が変化するため、励起錯体の発光波長を変化させることができる。

20

## 【0127】

また、励起錯体2と励起錯体3は、双方とも化合物4を用いているが、励起錯体を形成するもう一方の物質が異なっている。励起錯体3の発光スペクトルピークの波長は528nmであり、励起錯体2と励起錯体3の発光スペクトルピークには15nmの差が生じている。このように、励起錯体を形成する一方の化合物を変更するだけで、励起錯体の発光波長を容易に変化させることができる。

30

## 【0128】

なお、励起錯体1の発光スペクトルピークの波長は579nmであるため、励起錯体1に、黄色から赤色の光を呈する機能を有する発光材料をゲスト材料122として混合して、発光素子に用いることが好適である。また、励起錯体2及び励起錯体3の発光スペクトルピークの波長は、それぞれ543nm及び528nmであるため、励起錯体2または励起錯体3に、緑色から赤色の光を呈する機能を有する発光材料をゲスト材料122として混合して、発光素子に用いることが好適である。

40

## 【0129】

図3(B)に示す励起錯体4で表される発光スペクトルは、化合物5と化合物6との混合膜の発光を測定した結果である。すなわち、化合物5及び化合物6の一方が有機化合物121\_1、他方が有機化合物121\_2に相当する。同様に、励起錯体5で表される発光スペクトルは、化合物5と化合物7との混合膜の発光を、励起錯体6で表される発光スペクトルは、化合物5と化合物8との混合膜の発光を測定した結果である。なお、発光スペクトルは、各化合物単体の薄膜または2つの化合物の混合膜に紫外光を照射することで得られる発光を測定したものである。

## 【0130】

励起錯体4乃至励起錯体6は、いずれも化合物5を用いているが、励起錯体を形成する他方の物質が異なっている。そのため、励起錯体4乃至励起錯体6の発光スペクトルピークに差が生じている。このように、励起錯体を形成する一方の化合物を変更するだけで、励起錯体の発光波長を容易に変化させることができる。

50

## 【0131】

なお、励起錯体4及び励起錯体6の発光スペクトルピークの波長は、それぞれ545 nm、516 nmであるため、励起錯体4または励起錯体6に、緑色から赤色の光を呈する機能を有する発光材料をゲスト材料122として混合して、発光素子に用いることが好適である。また、励起錯体5の発光スペクトルピークの波長は488 nmであるため、励起錯体5に、青色から赤色の光を呈する機能を有する発光材料をゲスト材料122として混合して、発光素子に用いることが好適である。

## 【0132】

次に、化合物1乃至化合物8の燐光発光スペクトルを図4(A)(B)に示す。図4(A)(B)に示す燐光発光スペクトルは、低温(10 K)環境下において、発振波長が325 nmの紫外レーザ(He-Cdレーザ)を各化合物の薄膜に照射し、時間分解フォトoluminescence法を用いて測定した結果である。なお、測定には、顕微PL装置LabRAM HR-PL((株)堀場製作所)を用い、検出器にはCCD検出器を用いた。また、薄膜は、石英基板上に厚さが50 nmになるよう各化合物を真空蒸着することで形成した。

10

## 【0133】

また、燐光発光スペクトルの最も短波長側の燐光発光ピーク(ショルダーを含む)より、燐光発光エネルギーを求めた結果を表1及び表2に示す。なお、励起錯体においては、三重項励起エネルギー準位と一重項励起エネルギー準位とが、互いに近接しているため、燐光発光スペクトルと蛍光発光スペクトル(熱活性化遅延蛍光の発光スペクトル)の分離が困難である。したがって、表1及び表2における励起錯体の燐光発光エネルギーは、励起錯体の発光スペクトルピーク(熱活性化遅延蛍光の発光スペクトルピーク)を燐光発光スペクトルピークと同一であると見なし、発光スペクトルのピークから燐光発光エネルギーを求めた結果である。すなわち、励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーと燐光発光エネルギーは、ほぼ同一とみなしている。

20

## 【0134】

## 【表1】

	燐光発光エネルギー(eV)
化合物1	2.40
化合物2	2.62
化合物3	2.32
化合物4	2.48
励起錯体1(化合物1-化合物3)	2.14
励起錯体2(化合物1-化合物4)	2.28
励起錯体3(化合物2-化合物4)	2.35

30

## 【0135】

【表2】

	燐光発光エネルギー(eV)
化合物5	2.70
化合物6	2.45
化合物7	2.65
化合物8	2.30
励起錯体4(化合物5—化合物6)	2.27
励起錯体5(化合物5—化合物7)	2.54
励起錯体6(化合物5—化合物8)	2.40

10

## 【0136】

表1及び表2に示す励起錯体1乃至励起錯体5の燐光発光エネルギー(熱活性化遅延蛍光の発光エネルギー)は、それぞれの励起錯体を形成する化合物の燐光発光エネルギーと比べて、エネルギーが低い。すなわち、励起錯体1の燐光発光エネルギー(熱活性化遅延蛍光の発光エネルギー)より、化合物1及び化合物3の燐光発光エネルギーの方が高く、励起錯体2の燐光発光エネルギー(熱活性化遅延蛍光の発光エネルギー)より、化合物1及び化合物4の燐光発光エネルギーの方が高く、励起錯体3の燐光発光エネルギー(熱活性化遅延蛍光の発光エネルギー)より、化合物2及び化合物4の燐光発光エネルギーの方が高く、励起錯体4の燐光発光エネルギー(熱活性化遅延蛍光の発光エネルギー)より、化合物5及び化合物6の燐光発光エネルギーの方が高く、励起錯体5の燐光発光エネルギー(熱活性化遅延蛍光の発光エネルギー)より、化合物5及び化合物7の燐光発光エネルギーの方が高い。

20

## 【0137】

換言すると、励起錯体1乃至励起錯体5の三重項エネルギー準位より、励起錯体を形成するそれぞれの化合物の三重項エネルギー準位の方が高い。そのため、図2(B)のE<sub>6</sub>で示すエネルギー移動過程である、励起錯体の三重項励起エネルギー準位から、励起錯体を形成する有機化合物121\_1の三重項励起エネルギー準位及び有機化合物121\_2の三重項励起エネルギー準位へのエネルギー移動が生じず、励起錯体の三重項励起状態の熱失活を抑制することができる。

30

## 【0138】

したがって、励起錯体の三重項励起状態が有する励起エネルギーは、逆項間交差によって生成する励起錯体の一重項励起状態を経て、効率良くゲスト材料122の一重項励起状態へエネルギー移動することができる。そのため、ゲスト材料122からの発光を効率良く得ることができる。

## 【0139】

一方、表2に示す励起錯体6の燐光発光エネルギーは、励起錯体を形成する物質の一つである化合物8の燐光発光エネルギーよりも高い。すなわち、励起錯体6の三重項エネルギー準位より、励起錯体を形成する物質の一つである化合物8の三重項エネルギー準位の方が低い。そのため、図2(B)のE<sub>6</sub>で示すエネルギー移動過程である、励起錯体の三重項励起エネルギー準位から、励起錯体を形成する有機化合物121\_1の三重項励起エネルギー準位または有機化合物121\_2の三重項励起エネルギー準位へのエネルギー移動が生じ、励起錯体の三重項励起状態の熱失活が生じる可能性がある。したがって、これを防止するためには、励起錯体を形成する有機化合物121\_1及び有機化合物121\_2の三重項励起エネルギー準位は、励起錯体の三重項励起エネルギーより高いことが好ましく、そのためには、励起錯体を形成する有機化合物121\_1の三重項励起エネルギー準位と、有機化合物121\_2の三重項励起エネルギー準位との差が、0.4eV未満であることが好ましい。

40

## 【0140】

50

また、ゲスト材料 122 の三重項励起エネルギーの最も低い準位を、表 3 に示す。

【0141】

【表 3】

	三重項励起エネルギー(eV)
1, 6mMemFLPAPrn	1.73
TBP	1.50
DCM1	1.65
DCM2	1.61
クマリン6	1.88
DPQd	1.93
ルブレン	0.95

10

20

30

40

【0142】

表 3 に示す三重項励起エネルギーの最も低い準位を求めるため、ゲスト材料 122 の最低三重項励起状態における最安定構造、及び一重項基底状態における最安定構造を、密度汎関数法 (DFT) を用いて計算した。さらに、それぞれの最安定構造において振動解析を行い、最低三重項励起状態と一重項基底状態における最低振動エネルギーの差を計算することで、三重項励起エネルギーの最も低い準位を算出した。なお、量子化学計算プログラムとしては、Gaussian 09 を使用した。基底関数としては、6-311G (d, p) を用い、汎関数は B3LYP を用いた。計算は、ハイパフォーマンスコンピュータ (SGI 社製、ICE-X) を用いて行った。

【0143】

表 3 に示す化合物の三重項励起エネルギー準位は、いずれも表 1 及び表 2 に示す励起錯体 1 乃至励起錯体 5 の三重項励起エネルギー準位より低いエネルギーである。そのため、表 3 に示す化合物をゲスト材料 122 として用い、先に示す励起錯体 1 乃至励起錯体 5 を形成する化合物をホスト材料 121 として用いることで、図 2 (B) のルート A<sub>2</sub> 及びルート E<sub>4</sub> に示すエネルギー移動が生じやすくなり、励起錯体からゲスト材料 122 へ効率良く励起エネルギーを移動させることができる。

【0144】

したがって、励起錯体の三重項励起エネルギー準位より、励起錯体を形成する化合物の三重項励起エネルギー準位の方が高いことが好ましい。すなわち、有機化合物 121\_1 及び有機化合物 121\_2 の三重項励起エネルギー準位は、有機化合物 121\_1 と、有機化合物 121\_2 とで形成する励起錯体の三重項励起エネルギー準位よりも高いことが好ましい。また、励起錯体の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料 122 の三重項励起エネルギー準位よりも高いことが好ましい。また、励起錯体が室温で熱活性化遅延蛍光を示す場合、有機化合物 121\_1 及び有機化合物 121\_2 の発光発光エネルギーは、有機化合物 121\_1 と、有機化合物 121\_2 とで形成する励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーよりも高いことが好ましい。また、励起錯体の熱活性化遅延蛍光の発光エネルギーは、ゲスト材料 122 の発光発光エネルギーよりも高いことが好ましい。

【0145】

以上のように、本発明の一態様の発光素子においては、発光層におけるホスト材料 121 とゲスト材料 122 の一重項励起エネルギー準位、及び三重項励起エネルギー準位を上述の構成とすることで、発光効率の高い発光素子を提供することができる。

【0146】

<3. 発光素子の構成要素>

次に、図 1 (A) に示す発光素子 150 のその他の構成要素の詳細について、以下説明する。

【0147】

50

### 3 - 1 . 一対の電極

電極 101 及び電極 102 は、発光層 113 へ正孔と電子を注入する機能を有する。電極 101 及び電極 102 は、金属、合金、導電性化合物、およびこれらの混合物や積層体などを用いて形成することができる。金属としてはアルミニウム (Al) が典型例であり、その他、銀 (Ag)、タンゲステン (W)、クロム (Cr)、モリブデン (Mo)、銅 (Cu)、チタン (Ti) などの遷移金属、リチウム (Li)、ナトリウム (Na) やセシウム (Cs) などのアルカリ金属、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg) などの第2族金属を用いることができる。遷移金属としてイッテルビウム (Yb) などの希土類金属を用いても良い。合金としては、上記金属を含む合金を使用することができ、例えば MgAg、AlLi などが挙げられる。導電性化合物としては、酸化インジウム - 酸化スズ (Indium Tin Oxide) などの金属酸化物が挙げられる。導電性化合物としてグラフェンなどの無機炭素系材料を用いても良い。上述したように、これらの材料の複数を積層することによって電極 101 及び電極 102 の一方または双方を形成しても良い。

10

#### 【0148】

また、発光層 113 から得られる発光は、電極 101 及び電極 102 の一方または双方を通して取り出される。したがって、電極 101 及び電極 102 の少なくとも一つは可視光を透過する。光を取り出す方の電極に金属や合金などの光透過性の低い材料を用いる場合には、可視光を透過できる程度の厚さ（例えば、1 nm から 10 nm の厚さ）で電極 101 及び電極 102 の一方または双方を形成すればよい。

20

#### 【0149】

### 3 - 2 . 正孔注入層

正孔注入層 111 は、電極 101 からのホール注入障壁を低減することでホール注入を促進する機能を有し、例えば遷移金属酸化物、フタロシアニン誘導体、あるいは芳香族アミンなどによって形成される。遷移金属酸化物としては、モリブデン酸化物やバナジウム酸化物、ルテニウム酸化物、タンゲステン酸化物、マンガン酸化物などが挙げられる。フタロシアニン誘導体としては、フタロシアニンや金属フタロシアニンなどが挙げられる。芳香族アミンとしてはベンジジン誘導体やフェニレンジアミン誘導体などが挙げられる。ポリチオフェンやポリアニリンなどの高分子化合物を用いることもでき、例えば自己ドープされたポリチオフェンであるポリ(エチレンジオキシチオフェン) / ポリ(スチレンスルホン酸) などがその代表例である。

30

#### 【0150】

正孔注入層 111 として、正孔輸送性材料と、これに対して電子受容性を示す材料の複合材料を有する層を用いることもできる。あるいは、電子受容性を示す材料を含む層と正孔輸送性材料を含む層の積層を用いても良い。これらの材料間では定常状態、あるいは電界存在下において電荷の授受が可能である。電子受容性を示す材料としては、キノジメタン誘導体やクロラニル誘導体、ヘキサアザトリフェニレン誘導体などの有機アクセプターを挙げることができる。具体的には、7, 7, 8, 8 - テトラシアノ - 2, 3, 5, 6 - テトラフルオロキノジメタン（略称：F<sub>4</sub>-TCNQ）、クロラニル、2, 3, 6, 7, 10, 11 - ヘキサシアノ - 1, 4, 5, 8, 9, 12 - ヘキサアザトリフェニレン（略称：HAT-CN）等の電子吸引基（ハロゲン基やシアノ基）を有する化合物である。また、遷移金属酸化物、例えば第4族から第8族金属の酸化物を用いることができる。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、酸化タンゲステン、酸化マンガン、酸化レニウムなどである。中でも酸化モリブデンは大気中でも安定であり、吸湿性が低く、扱いやすいため好ましい。

40

#### 【0151】

正孔輸送性材料としては、電子よりも正孔の輸送性の高い材料を用いることができ、1 × 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup> / Vs 以上の正孔移動度を有する材料であることが好ましい。具体的には、芳香族アミン、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、スチルベン誘導体などを用いることができる。また、該正孔輸送性材料は高分子化合物であっても良い。

50

## 【0152】

## 3 - 3 . 正孔輸送層

正孔輸送層112は正孔輸送性材料を含む層であり、正孔注入層111の材料として例示した材料を使用することができる。正孔輸送層112は正孔注入層111に注入された正孔を発光層113へ輸送する機能を有するため、正孔注入層111のHOMO準位と同じ、あるいは近いHOMO準位を有することが好ましい。

## 【0153】

## 3 - 4 . 電子輸送層

電子輸送層115は、電子注入層116を経て電極102から注入された電子を発光層113へ輸送する機能を有する。電子輸送性材料としては、正孔よりも電子の輸送性の高い材料を用いることができ、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の電子移動度を有する材料であることが好ましい。具体的には、キノリン配位子、ベンゾキノリン配位子、オキサゾール配位子、あるいはチアゾール配位子を有する金属錯体、オキサジアゾール誘導体、トリアゾール誘導体、フェナントロリン誘導体、ピリジン誘導体、ビピリジン誘導体などが挙げられる。

10

## 【0154】

## 3 - 5 . 電子注入層

電子注入層116は電極102からの電子注入障壁を低減することで電子注入を促進する機能を有し、例えば第1族金属、第2族金属、あるいはこれらの酸化物、ハロゲン化物、炭酸塩などを用いることができる。また、先に示す電子輸送性材料と、これに対して電子供与性を示す材料の複合材料を用いることもできる。電子供与性を示す材料としては、第1族金属、第2族金属、あるいはこれらの酸化物などを挙げることができる。

20

## 【0155】

なお、上述した正孔注入層111、正孔輸送層112、電子輸送層115、及び電子注入層116は、それぞれ、蒸着法（真空蒸着法を含む）、インクジェット法、塗布法、グラビア印刷法等の方法で形成することができる。

30

## 【0156】

また、正孔注入層111、正孔輸送層112、発光層113、電子輸送層115、及び電子注入層116には、上述した材料の他、無機化合物または高分子化合物（オリゴマー、デンドリマー、ポリマー等）を用いてもよい。

## 【0157】

## 3 - 6 . 基板

また、発光素子150は、ガラス、プラスチックなどからなる基板上に作製すればよい。基板上に作製する順番としては、電極101側から順に積層しても、電極102側から順に積層しても良い。

40

## 【0158】

なお、発光素子150を形成できる基板としては、例えばガラス、石英、又はプラスチックなどを用いることができる。また可撓性基板を用いてもよい。可撓性基板とは、曲げができる（フレキシブル）基板のことであり、例えば、ポリカーボネート、ポリアリレートからなるプラスチック基板等が挙げられる。また、フィルム、無機蒸着フィルムなどを用いることもできる。なお、発光素子、及び光学素子の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。あるいは、発光素子、及び光学素子を保護する機能を有するものであればよい。

## 【0159】

例えば、様々な基板を用いて発光素子150を形成することが出来る。基板の種類は、特定のものに限定されることはない。その基板の一例としては、半導体基板（例えば単結晶基板又はシリコン基板）、SOI基板、ガラス基板、石英基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス・スチール基板、ステンレス・スチール・ホイルを有する基板、タングステン基板、タングステン・ホイルを有する基板、可撓性基板、貼り合わせフィルム、繊維状の材料を含む紙、又は基材フィルムなどがある。ガラス基板の一例としては、バリウム

50

ホウケイ酸ガラス、アルミノホウケイ酸ガラス、又はソーダライムガラスなどがある。可撓性基板、貼り合わせフィルム、基材フィルムなどの一例としては、以下のものがあげられる。例えば、ポリエチレンテレフタレート( P E T )、ポリエチレンナフタレート( P E N )、ポリエーテルスルフォン( P E S )、ポリテトラフルオロエチレン( P T F E )に代表されるプラスチックがある。または、一例としては、アクリル等の樹脂などがある。または、一例としては、ポリプロピレン、ポリエステル、ポリフッ化ビニル、又はポリ塩化ビニルなどがある。または、一例としては、ポリアミド、ポリイミド、アラミド、エポキシ、無機蒸着フィルム、又は紙類などがある。

#### 【 0 1 6 0 】

また、基板として、可撓性基板を用い、可撓性基板上に直接、発光素子を形成してもよい。または、基板と発光素子との間に剥離層を設けてもよい。剥離層は、その上に発光素子を一部あるいは全部完成させた後、基板より分離し、他の基板に転載するために用いることができる。その際、耐熱性の劣る基板や可撓性の基板にも発光素子を転載できる。なお、上述の剥離層には、例えば、タンゲスタン膜と酸化シリコン膜との無機膜の積層構造の構成や、基板上にポリイミド等の樹脂膜が形成された構成等を用いることができる。

10

#### 【 0 1 6 1 】

つまり、ある基板を用いて発光素子を形成し、その後、別の基板に発光素子を転置し、別の基板上に発光素子を配置してもよい。発光素子が転置される基板の一例としては、上述した基板に加え、セロファン基板、石材基板、木材基板、布基板(天然繊維(絹、綿、麻)、合成繊維(ナイロン、ポリウレタン、ポリエステル)若しくは再生繊維(アセテート、キュプラ、レーヨン、再生ポリエステル)などを含む)、皮革基板、又はゴム基板などがある。これらの基板を用いることにより、壊れにくい発光素子、耐熱性の高い発光素子、軽量化された発光素子、または薄型化された発光素子とすることができる。

20

#### 【 0 1 6 2 】

また、上述した基板上に、例えば電界効果トランジスタ( F E T )を形成し、F E Tと電気的に接続された電極上に発光素子 150 を作製してもよい。これにより、F E Tによって発光素子 150 の駆動を制御するアクティブマトリクス型の表示装置を作製できる。

#### 【 0 1 6 3 】

なお、本実施の形態において、本発明の一態様について述べた。または、他の実施の形態において、本発明の一態様について述べる。ただし、本発明の一態様は、これらに限定されない。例えば、本発明の一態様では、ホスト材料において、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が 0 eV を超えて 0 . 2 eV 以下である場合の例を示したが、本発明の一態様は、これに限定されない。場合によっては、または、状況に応じて、本発明の一態様では、例えば、ホスト材料において、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位との差が 0 eV を超えて 0 . 2 eV 以下でなくてもよい。または、例えば、本発明の一態様では、ホスト材料において、室温で熱活性化遅延蛍光を示す物質である場合の例を示したが、本発明の一態様は、これに限定されない。場合によっては、または、状況に応じて、本発明の一態様では、例えば、ホスト材料は、室温で熱活性化遅延蛍光を示す物質以外の物質を有してもよい。あるいは、場合によっては、または、状況に応じて、本発明の一態様では、例えば、ホスト材料は、室温で熱活性化遅延蛍光を示す物質を有していないともよい。または、例えば、本発明の一態様では、ホスト材料の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高い場合の例を示したが、本発明の一態様は、これに限定されない。場合によっては、または、状況に応じて、本発明の一態様では、例えば、ホスト材料の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料の三重項励起エネルギー準位よりも高くなくてもよい。

30

#### 【 0 1 6 4 】

以上、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態と適宜組み合わせて用いることができる。

40

#### 【 0 1 6 5 】

( 実施の形態 2 )

50

本実施の形態においては、実施の形態1に示す構成と異なる構成の発光素子、及び当該発光素子の発光機構について、図5(A)(B)を用いて、以下説明を行う。

#### 【0166】

<発光素子の構成例>

図5(A)は、発光素子450の断面模式図である。

#### 【0167】

図5(A)に示す発光素子450は、一対の電極(電極401及び電極402)の間に複数の発光ユニット(図5(A))においては、発光ユニット441及び発光ユニット442)を有する。1つの発光ユニットは、図1で示すEL層100と同様な構成を有する。つまり、図1で示した発光素子150は、1つの発光ユニットを有し、発光素子450は、複数の発光ユニットを有する。なお、発光素子450において、電極401が陽極として機能し、電極402が陰極として機能するとして、以下説明するが、発光素子450の構成としては、逆であっても構わない。10

#### 【0168】

また、図5(A)に示す発光素子450において、発光ユニット441と発光ユニット442とが積層されており、発光ユニット441と発光ユニット442との間には電荷発生層445が設けられる。なお、発光ユニット441と発光ユニット442は、同じ構成でも異なる構成でもよい。例えば、発光ユニット441に、図1に示すEL層100を用い、発光ユニット442に発光材料として燐光材料を有する発光層を用いると好適である。20

#### 【0169】

すなわち、発光素子450は、発光層443と、発光層444と、を有する。また、発光ユニット441は、発光層443の他に、正孔注入層411、正孔輸送層412、電子輸送層413、及び電子注入層414を有する。また、発光ユニット442は、発光層444の他に、正孔注入層415、正孔輸送層416、電子輸送層417、及び電子注入層418を有する。

#### 【0170】

電荷発生層445には、有機化合物とアクセプター性物質の複合材料が含まれている。該複合材料には、実施の形態1に示す正孔注入層111に用いることができる複合材料を用いればよい。有機化合物としては、芳香族アミン化合物、カルバゾール化合物、芳香族炭化水素、高分子化合物(オリゴマー、デンドリマー、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、有機化合物としては、正孔移動度が $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上であるものを適用することが好ましい。ただし、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。有機化合物とアクセプター性物質の複合材料は、キャリア注入性、キャリア輸送性に優れているため、低電圧駆動、低電流駆動を実現することができる。なお、発光ユニット442のように、発光ユニットの陽極側の面が電荷発生層445に接している場合は、電荷発生層445が該発光ユニットの正孔注入層または正孔輸送層の役割も担うことができるため、該発光ユニットには正孔注入層または正孔輸送層を設けなくとも良い。30

#### 【0171】

なお、電荷発生層445は、有機化合物とアクセプター性物質の複合材料を含む層と、他の材料により構成される層と、を組み合わせた積層構造として形成してもよい。例えば、有機化合物とアクセプター性物質の複合材料を含む層と、電子供与性物質の中から選ばれた一の化合物と電子輸送性の高い化合物とを含む層と、を組み合わせて形成してもよい。また、有機化合物とアクセプター性物質の複合材料を含む層と、透明導電膜を含む層と、を組み合わせて形成してもよい。40

#### 【0172】

また、電荷発生層445は、蒸着法(真空蒸着法を含む)、インクジェット法、塗布法、グラビア印刷法等の方法で形成することができる。

#### 【0173】

10

20

30

40

50

なお、発光ユニット441と発光ユニット442に挟まれる電荷発生層445は、電極401と電極402に電圧を印加したときに、一方の発光ユニットに電子を注入し、他方の発光ユニットに正孔を注入するものであれば良い。例えば、図5(A)において、電極401の電位の方が電極402の電位よりも高くなるように電圧を印加した場合、電荷発生層445は、発光ユニット441に電子を注入し、発光ユニット442に正孔を注入する。

#### 【0174】

また、図5(A)においては、2つの発光ユニットを有する発光素子について説明したが、3つ以上の発光ユニットを積層した発光素子についても、同様の構成を適用することが可能である。発光素子450に示すように、一対の電極間に複数の発光ユニットを電荷発生層で仕切って配置することで、電流密度を低く保ったまま、高輝度発光を可能とし、さらに長寿命な発光素子を実現できる。また、消費電力が低い発光素子を実現することができる。10

#### 【0175】

なお、複数のユニットのうち、少なくとも一つのユニットに、EL層100の構成を適用することによって、発光効率の高い、発光素子を提供することができる。

#### 【0176】

また、発光層443は、ホスト材料421と、ゲスト材料422とを有する。また、発光層444は、ホスト材料431と、ゲスト材料432とを有する。また、ホスト材料421は、有機化合物421\_1と、有機化合物421\_2と、を有する。また、ホスト材料431は、有機化合物431\_1と、有機化合物431\_2と、を有する。20

#### 【0177】

また、本実施の形態において、発光層443は、図2(A)に示す発光層113と同様の構成とする。すなわち、発光層443が有するホスト材料421(有機化合物421\_1及び有機化合物421\_2)、及びゲスト材料422は、発光層113が有するホスト材料121(有機化合物121\_1及び有機化合物121\_2)、及びゲスト材料122に、それぞれ相当する。また、発光層444が有するゲスト材料432が燐光材料として、以下説明する。なお、電極401、電極402、正孔注入層411、415、正孔輸送層412、416、電子輸送層413、417、及び電子注入層414、418は、実施の形態1に示す、電極101、電極102、正孔注入層111、正孔輸送層112、電子輸送層115、及び電子注入層116に、それぞれ相当する。したがって、本実施の形態においては、その詳細な説明は省略する。30

#### 【0178】

##### <発光層443の発光機構>

発光層443の発光機構としては、図2(B)に示す発光層113と同様の発光機構である。

#### 【0179】

##### <発光層444の発光機構>

次に、発光層444の発光機構について、以下説明を行う。

#### 【0180】

発光層444が有する、有機化合物431\_1と、有機化合物431\_2とは励起錯体を形成する。ここでは、有機化合物431\_1をホスト材料として、有機化合物431\_2をアシスト材料として説明する。40

#### 【0181】

発光層444における励起錯体を形成する有機化合物431\_1と有機化合物431\_2との組み合わせは、励起錯体を形成することが可能な組み合わせであればよいが、一方が正孔輸送性を有する材料であり、他方が電子輸送性を有する材料であることが、より好みしい。なお、有機化合物431\_1と有機化合物431\_2との組み合わせは、発光層443における、励起錯体を形成する有機化合物421\_1と有機化合物421\_2との組み合わせと同様の構成としてもよい。

## 【0182】

発光層444における有機化合物431\_1と、有機化合物431\_2と、ゲスト材料432とのエネルギー準位の相関を図5(B)に示す。なお、図5(B)における表記及び符号は、以下の通りである。

- ・Host(431\_1)：ホスト材料(有機化合物431\_1)
- ・Assist(431\_2)：アシスト材料(有機化合物431\_2)
- ・Guest(432)：ゲスト材料432(発光材料)
- ・S<sub>PH</sub>：ホスト材料(有機化合物431\_1)の一重項励起状態の最も低い準位
- ・T<sub>PH</sub>：ホスト材料(有機化合物431\_1)の三重項励起状態の最も低い準位
- ・T<sub>PG</sub>：ゲスト材料432(発光材料)の三重項励起状態の最も低い準位
- ・S<sub>PE</sub>：励起錯体の一重項励起状態の最も低い準位
- ・T<sub>PE</sub>：励起錯体の三重項励起状態の最も低い準位

10

## 【0183】

有機化合物431\_1と有機化合物431\_2とにより形成される、励起錯体の一重項励起状態の最も低い準位(S<sub>PE</sub>)と励起錯体の三重項励起状態の最も低い準位(T<sub>PE</sub>)は互いに隣接することになる(図5(B)E<sub>7</sub>参照)。

## 【0184】

そして、励起錯体のS<sub>PE</sub>とT<sub>PE</sub>の双方のエネルギーを、ゲスト材料432(発光材料)の三重項励起状態の最も低い準位(T<sub>PG</sub>)へ移動させて発光が得られる(図5(B)E<sub>8</sub>参照)。

20

## 【0185】

なお、上記に示すE<sub>7</sub>及びE<sub>8</sub>の過程を、本明細書等においてEXET(Exciplex-Triplet Energy Transfer)と呼称する場合がある。

## 【0186】

また、有機化合物431\_1及び有機化合物431\_2は、一方がホールを、他方が電子を受け取り、それらが近接することで速やかに励起錯体を形成する。あるいは、一方が励起状態となると、速やかに他方の物質を取り込んで励起錯体を形成する。したがって、発光層444における励起子のほとんどが励起錯体として存在する。励起錯体は、有機化合物431\_1及び有機化合物431\_2のどちらよりもバンドギャップは小さくなるため、励起錯体が形成されることにより、発光素子の駆動電圧を下げることができる。

30

## 【0187】

発光層444を上述の構成とすることで、発光層444のゲスト材料432(発光材料)からの発光を、効率よく得ることが可能となる。

## 【0188】

なお、発光層443からの発光が、発光層444からの発光よりも短波長側に発光のピークを有する構成とすることが好ましい。短波長の発光を呈する発光材料を用いた発光素子は輝度劣化が早い傾向がある。そこで、短波長の発光を蛍光発光とすることによって、輝度劣化の小さい発光素子を提供することができる。

## 【0189】

また、発光層443と発光層444とで異なる発光波長の光を得ることによって、多色発光の素子とすることができます。この場合、発光スペクトルは異なる発光ピークを有する発光が合成された光となるため、少なくとも二つの極大値を有する発光スペクトルとなる。

40

## 【0190】

また、上記の構成は白色発光を得るためにも好適である。発光層443と発光層444との光を互いに補色の関係とすることによって、白色発光を得ることができる。

## 【0191】

また、発光層443及び発光層444のいずれか一方または双方に発光波長の異なる複数の発光物質を用いることによって、三原色や、4色以上の発光色からなる演色性の高い白色発光を得ることもできる。この場合、発光層443及び発光層444のいずれか一方

50

または双方を層状にさらに分割し、当該分割した層ごとに異なる発光材料を含有させるようにも良い。

【0192】

次に、発光層443及び発光層444に用いることのできる材料について、以下説明する。

【0193】

<発光層443に用いることのできる材料>

発光層443に用いることのできる材料としては、先の実施の形態に示す発光層113に用いることのできる材料を援用すればよい。

【0194】

<発光層444に用いることのできる材料>

発光層444中では、ホスト材料(有機化合物431\_1及び有機化合物431\_2)が重量比で最も多く存在し、ゲスト材料432(燐光材料)は、ホスト材料(有機化合物431\_1及び有機化合物431\_2)中に分散される。

【0195】

有機化合物431\_1(ホスト材料)としては、亜鉛やアルミニウム系金属錯体の他、オキサジアゾール誘導体、トリアゾール誘導体、ベンゾイミダゾール誘導体、キノキサン誘導体、ジベンゾキノキサン誘導体、ジベンゾチオフェン誘導体、ジベンゾフラン誘導体、ピリミジン誘導体、トリアジン誘導体、ピリジン誘導体、ビピリジン誘導体、フェナントロリン誘導体などが挙げられる。他の例としては、芳香族アミンやカルバゾール誘導体などが挙げられる。

【0196】

有機化合物431\_2(アシスト材料)としては、有機化合物431\_1と励起錯体を形成できる組み合わせとする。この場合、励起錯体の発光ピークが燐光材料の三重項MLCT(Metal to Ligand Charge Transfer)遷移の吸収帯、より具体的には、最も長波長側の吸収帯と重なるように有機化合物431\_1、有機化合物431\_2、およびゲスト材料432(燐光材料)を選択することが好ましい。これにより、発光効率が飛躍的に向上した発光素子とすることができます。ただし、燐光材料に替えて熱活性化遅延蛍光材料を用いる場合においては、最も長波長側の吸収帯は一重項の吸収帯であることが好ましい。

【0197】

ゲスト材料432(燐光材料)としては、イリジウム、ロジウム、または白金系の有機金属錯体、あるいは金属錯体が挙げられ、中でも有機イリジウム錯体、例えばイリジウム系オルトメタル錯体が好ましい。オルトメタル化する配位子としては4H-トリアゾール配位子、1H-トリアゾール配位子、イミダゾール配位子、ピリジン配位子、ピリミジン配位子、ピラジン配位子、あるいはイソキノリン配位子などが挙げられる。金属錯体としては、ポルフィリン配位子を有する白金錯体などが挙げられる。

【0198】

発光層444に含まれるゲスト材料432としては、三重項励起エネルギーを発光に変換できる材料であればよい。該三重項励起エネルギーを発光に変換できる材料としては、燐光材料の他に、熱活性化遅延蛍光材料が挙げられる。したがって、燐光材料と記載した部分に関しては、熱活性化遅延蛍光材料と読み替えて構わない。なお、熱活性化遅延蛍光材料とは、三重項励起状態をわずかな熱エネルギーによって一重項励起状態にアップコンバート(逆項間交差)が可能で、一重項励起状態からの発光(蛍光)を効率よく呈する材料のことである。また、熱活性化遅延蛍光が効率良く得られる条件としては、三重項励起エネルギー準位と一重項励起エネルギー準位のエネルギー差が好ましくは0eVを超えて0.2eV以下、さらに好ましくは0eVを超えて0.1eV以下であることが挙げられる。

【0199】

また、発光層443に含まれる発光材料と発光層444に含まれる発光材料の発光色に

10

20

30

40

50

限定は無く、同じでも異なっていても良い。各々から得られる発光が混合されて素子外へ取り出されるので、例えば両材料の発光色が互いに補色の関係にある場合、発光素子は白色の光を与えることができる。発光素子の信頼性を考慮すると、発光層443に含まれる発光材料(ゲスト材料422)の発光ピーク波長は、発光層444に含まれる発光材料(ゲスト材料432)の発光ピーク波長よりも短いことが好ましい。

#### 【0200】

なお、発光層443及び発光層444は、蒸着法(真空蒸着法を含む)、インクジェット法、塗布法、グラビア印刷等の方法で形成することができる。

#### 【0201】

なお、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。

#### 【0202】

##### (実施の形態3)

本実施の形態においては、実施の形態1及び実施の形態2に示す構成と異なる構成の発光素子について、図6(A)(B)を用いて、以下説明を行う。

#### 【0203】

##### <発光素子の構成例>

図6(A)は、本発明の一態様の発光素子452を説明する断面模式図である。

#### 【0204】

発光素子452は、電極401と、電極402との間に、複数の発光ユニット(図6(A))においては、発光ユニット446及び発光ユニット447)を有する。1つの発光ユニットは、図1で示すEL層100と同様な構成を有する。つまり、図1で示した発光素子150は、1つの発光ユニットを有し、発光素子452は、複数の発光ユニットを有する。なお、本実施の形態において、電極401が陽極、電極402が陰極として、以下説明するが、発光素子452の構成としては、逆であっても構わない。

#### 【0205】

また、図6(A)に示す発光素子452において、発光ユニット446と発光ユニット447とが積層されており、発光ユニット446と発光ユニット447との間には電荷発生層445が設けられる。なお、発光ユニット446と発光ユニット447は、同じ構成でも異なる構成でもよい。例えば、発光ユニット446に発光材料として蛍光材料を有する発光層を用い、発光ユニット447に図1に示すEL層100を用いると好適である。

#### 【0206】

すなわち、発光素子452は、発光層448と、発光層449と、を有する。また、発光ユニット446は、発光層448の他に、正孔注入層411、正孔輸送層412、電子輸送層413、及び電子注入層414を有する。また、発光ユニット447は、発光層449の他に、正孔注入層415、正孔輸送層416、電子輸送層417、及び電子注入層418を有する。

#### 【0207】

また、図6(A)においては、2つの発光ユニットを有する発光素子について説明したが、3つ以上の発光ユニットを積層した発光素子についても、同様に適用することが可能である。発光素子452に示すように、一対の電極間に複数の発光ユニットを電荷発生層で仕切って配置することで、電流密度を低く保ったまま、高輝度発光を可能とし、さらに長寿命な素子を実現できる。また、消費電力が低い表示装置を実現することができる。

#### 【0208】

なお、複数のユニットのうち、少なくとも一つのユニットに、EL層100の構成を適用することによって、発光効率の高い、発光素子を提供することができる。

#### 【0209】

また、発光層448は、ホスト材料461と、ゲスト材料462とを有する。また、発光層449は、ホスト材料471と、ゲスト材料472とを有する。また、ホスト材料471は、有機化合物471\_1と、有機化合物471\_2と、を有する。

10

20

30

40

50

## 【0210】

また、本実施の形態において、発光層449は、図2(A)に示す発光層113と同様の構成とする。すなわち、発光層449が有するホスト材料471(有機化合物471\_1及び有機化合物471\_2)、及びゲスト材料472は、発光層113が有するホスト材料121(有機化合物121\_1及び有機化合物121\_2)、及びゲスト材料122に、それぞれ相当する。また、発光層448が有するゲスト材料462が蛍光材料として、以下説明する。

## 【0211】

## &lt;発光層448の発光機構&gt;

まず、発光層448の発光機構について、以下説明を行う。

10

## 【0212】

発光層448では、キャリアの再結合により、励起子が生成される。ゲスト材料462と比較してホスト材料461は大量に存在するので、励起子の生成により、ホスト材料461の励起状態が形成される。キャリアの再結合によって生じる一重項励起子と三重項励起子の比(以下、励起子生成確率)は約1:3となる。

## 【0213】

なお、励起子はキャリア(電子および正孔)対のことである。励起子はエネルギーを有するため、励起子が生成した材料は励起状態となる。

## 【0214】

はじめに、ホスト材料461のT<sub>1</sub>準位がゲスト材料462のT<sub>1</sub>準位よりも高い場合について、以下説明する。

20

## 【0215】

ホスト材料461の三重項励起エネルギーが、ホスト材料461のT<sub>1</sub>準位からゲスト材料462のT<sub>1</sub>準位にエネルギー移動(三重項エネルギー移動)する。しかしながら、ゲスト材料462が蛍光材料であるため、三重項励起エネルギーは可視光領域に発光を与えない。したがって、ホスト材料461の三重項励起エネルギーは発光として利用することが難しい。よって、ホスト材料461のT<sub>1</sub>準位がゲスト材料462のT<sub>1</sub>準位よりも高い場合においては、注入したキャリアのうち、約25%を超えて発光に利用することが難しい。

## 【0216】

30

次に、本発明の一態様の発光層448におけるホスト材料461と、ゲスト材料462とのエネルギー準位の相関を図6(B)に示す。なお、図6(B)における表記及び符号は、以下の通りである。

- Host : ホスト材料461
- Guest : ゲスト材料462(蛍光材料)
- S<sub>FH</sub> : ホスト材料461の一重項励起状態の最も低い準位(S<sub>1</sub>準位)
- T<sub>FH</sub> : ホスト材料461の三重項励起状態の最も低い準位(T<sub>1</sub>準位)
- S<sub>FG</sub> : ゲスト材料462(蛍光材料)の一重項励起状態の最も低い準位(S<sub>1</sub>準位)
- T<sub>FG</sub> : ゲスト材料462(蛍光材料)の三重項励起状態の最も低い準位(T<sub>1</sub>準位)

## 【0217】

40

図6(B)に示すように、ゲスト材料462のT<sub>1</sub>準位(図6(B)において、T<sub>FG</sub>)がホスト材料461のT<sub>1</sub>準位(図6(B)において、T<sub>FH</sub>)よりも高い構成である。

## 【0218】

また、図6(B)に示すように、三重項-三重項消滅(TTA:Triplet-Triplet Annihilation)によって(図6(B)E<sub>9</sub>参照)、三重項励起子同士が衝突することにより、その一部がホスト材料461の一重項励起状態の最も低い準位(S<sub>FH</sub>)のエネルギーを有する一重項励起子に変換される。ホスト材料461の一重項励起エネルギーは、ホスト材料461の一重項励起状態の最も低い準位(S<sub>FH</sub>)から、それよりもエネルギーの低い、ゲスト材料462(蛍光材料)の一重項励起状態の最

50

も低い準位 ( $S_{F_G}$ ) へ、エネルギー移動が起こり (図 6 (B) E<sub>10</sub> 参照)、ゲスト材料 462 (蛍光材料) の一重項励起状態が形成される。その結果、ゲスト材料 462 が発光する。

#### 【0219】

なお、ホスト材料の  $T_1$  準位がゲスト材料の  $T_1$  準位よりも低いため、 $T_{F_G}$  の励起エネルギーは失活することなく  $T_{F_H}$  にエネルギー移動 (図 6 (B) E<sub>11</sub> 参照) し、TTA に利用される。

#### 【0220】

発光層 448 を上述の構成とすることで、発光層 448 のゲスト材料 462 からの発光を、効率よく得ることが可能となる。

10

#### 【0221】

なお、発光層 448 と発光層 449 とで異なる発光波長の光を得ることによって、多色発光の素子とすることができます。この場合、発光スペクトルは異なる発光ピークを有する発光が合成された光となるため、少なくとも二つの極大値を有する発光スペクトルとなる。

#### 【0222】

また、上記の構成は白色発光を得るためにも好適である。発光層 448 と発光層 449 との光を互いに補色の関係とすることによって、白色発光を得ることができる。

#### 【0223】

また、発光層 448 及び発光層 449 のいずれか一方または双方に発光波長の異なる複数の発光物質を用いることによって、三原色や、4 色以上の発光色からなる演色性の高い白色発光を得ることもできる。この場合、発光層 448 及び発光層 449 のいずれか一方または双方を層状にさらに分割し、当該分割した層ごとに異なる発光材料を含有させるようにも良い。

20

#### 【0224】

##### < 発光層 449 の発光機構 >

発光層 449 の発光機構としては、図 2 に示す発光層 113 と同様の発光機構である。

#### 【0225】

次に、発光層 448 及び発光層 449 に用いることのできる材料について、以下説明する。

30

#### 【0226】

##### < 発光層 448 に用いることのできる材料 >

発光層 448 中では、ホスト材料 461 が重量比で最も多く存在し、ゲスト材料 462 (蛍光材料) は、ホスト材料 461 中に分散される。ホスト材料 461 の  $S_1$  準位は、ゲスト材料 462 (蛍光材料) の  $S_1$  準位よりも高く、ホスト材料 461 の  $T_1$  準位は、ゲスト材料 462 (蛍光材料) の  $T_1$  準位よりも低いことが好ましい。

40

#### 【0227】

ホスト材料 461 として、アントラセン誘導体、あるいはテトラセン誘導体が好ましい。これらの誘導体は  $S_1$  準位が高く、 $T_1$  準位が低いからである。具体的には、9-フェニル-3-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-9H-カルバゾール (略称: PCzPA)、3-[4-(1-ナフチル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール (略称: PCPN)、9-[4-(10-フェニル-9-アントラセニル)フェニル]-9H-カルバゾール (略称: CzPA)、7-[4-(10-フェニル-9-アントリル)フェニル]-7H-ジベンゾ[c,g]カルバゾール (略称: cgdB CzPA)、6-[3-(9,10-ジフェニル-2-アントリル)フェニル]-ベンゾ[b]ナフト[1,2-d]フラン (略称: 2mBnfPPA)、9-フェニル-10-{4-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)-ビフェニル-4'-イル}-アントラセン (略称: FLPPA) などが挙げられる。あるいは、5,12-ジフェニルテトラセン、5,12-ビス(ビフェニル-2-イル)テトラセンなどが挙げられる。

50

#### 【0228】

ゲスト材料 462(蛍光材料)としては、ピレン誘導体、アントラセン誘導体、トリフェニレン誘導体、フルオレン誘導体、カルバゾール誘導体、ジベンゾチオフェン誘導体、ジベンゾフラン誘導体、ジベンゾキノキサリン誘導体、キノキサリン誘導体、ピリジン誘導体、ピリミジン誘導体、フェナントレン誘導体、ナフタレン誘導体などが挙げられる。特にピレン誘導体は発光量子収率が高いので好ましい。ピレン誘導体の具体例としては、N,N'-ビス(3-メチルフェニル)-N,N'-ビス[3-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]ピレン-1,6-ジアミン(略称:1,6mM e m F L P A P r n)、N,N'-ビス[4-(9-フェニル-9H-フルオレン-9-イル)フェニル]-N,N'-ジフェニルピレン-1,6-ジアミン(略称:1,6F L P A P r n)、N,N'-ビス(ジベンゾフラン-2-イル)-N,N'-ジフェニルピレン-1,6-ジアミン(略称:1,6F r A P r n)、N,N'-ビス(ジベンゾチオフェン-2-イル)-N,N'-ジフェニルピレン-1,6-ジアミン(略称:1,6T h A P r n)などが挙げられる。10

#### 【0229】

<発光層449に用いることのできる材料>

発光層449に用いることのできる材料としては、先の実施の形態に示す発光層113に用いることのできる材料を援用すればよい。

#### 【0230】

また、発光層448に含まれる発光材料と発光層449に含まれる発光材料の発光色に限定は無く、同じでも異なっていても良い。各々から得られる発光が混合されて素子外へ取り出されるので、例えば両材料の発光色が互いに補色の関係にある場合、発光素子は白色の光を与えることができる。発光素子の信頼性を考慮すると、発光層448に含まれる発光材料(ゲスト材料462)の発光ピーク波長は発光層449に含まれる発光材料(ゲスト材料472)の発光ピーク波長よりも短いことが好ましい。20

#### 【0231】

なお、発光層448及び発光層449は、蒸着法(真空蒸着法を含む)、インクジェット法、塗布法、グラビア印刷等の方法で形成することができる。

#### 【0232】

なお、上記構成は、他の実施の形態や本実施の形態中の他の構成と適宜組み合わせることが可能である。30

#### 【0233】

(実施の形態4)

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子を有する表示装置について、図7(A)(B)を用いて説明を行う。

#### 【0234】

なお、図7(A)は、本発明の一態様の表示装置を説明するブロック図であり、図7(B)は、本発明の一態様の表示装置が有する画素回路を説明する回路図である。

#### 【0235】

<表示装置に関する説明>

図7(A)に示す表示装置は、表示素子の画素を有する領域(以下、画素部802という)と、画素部802の外側に配置され、画素を駆動するための回路を有する回路部(以下、駆動回路部804という)と、素子の保護機能を有する回路(以下、保護回路806という)と、端子部807と、を有する。なお、保護回路806は、設けない構成としてもよい。

#### 【0236】

駆動回路部804の一部、または全部は、画素部802と同一基板上に形成されていることが望ましい。これにより、部品数や端子数を減らすことが出来る。駆動回路部804の一部、または全部が、画素部802と同一基板上に形成されていない場合には、駆動回路部804の一部、または全部は、COG(Chip On Glass)やTAB(Tape Automated Bonding)によって、実装することができる。4050

## 【0237】

画素部802は、X行（Xは2以上の自然数）Y列（Yは2以上の自然数）に配置された複数の表示素子を駆動するための回路（以下、画素回路801という）を有し、駆動回路部804は、画素を選択する信号（走査信号）を出力する回路（以下、走査線駆動回路804aという）、画素の表示素子を駆動するための信号（データ信号）を供給するための回路（以下、信号線駆動回路804b）などの駆動回路を有する。

## 【0238】

走査線駆動回路804aは、シフトレジスタ等を有する。走査線駆動回路804aは、端子部807を介して、シフトレジスタを駆動するための信号が入力され、信号を出力する。例えば、走査線駆動回路804aは、スタートパルス信号、クロック信号等が入力され、パルス信号を出力する。走査線駆動回路804aは、走査信号が与えられる配線（以下、走査線GL\_1乃至GL\_Xという）の電位を制御する機能を有する。なお、走査線駆動回路804aを複数設け、複数の走査線駆動回路804aにより、走査線GL\_1乃至GL\_Xを分割して制御してもよい。または、走査線駆動回路804aは、初期化信号を供給することができる機能を有する。ただし、これに限定されず、走査線駆動回路804aは、別の信号を供給することも可能である。

10

## 【0239】

信号線駆動回路804bは、シフトレジスタ等を有する。信号線駆動回路804bは、端子部807を介して、シフトレジスタを駆動するための信号の他、データ信号の元となる信号（画像信号）が入力される。信号線駆動回路804bは、画像信号を元に画素回路801に書き込むデータ信号を生成する機能を有する。また、信号線駆動回路804bは、スタートパルス、クロック信号等が入力されて得られるパルス信号に従って、データ信号の出力を制御する機能を有する。また、信号線駆動回路804bは、データ信号が与えられる配線（以下、データ線DL\_1乃至DL\_Yという）の電位を制御する機能を有する。または、信号線駆動回路804bは、初期化信号を供給することができる機能を有する。ただし、これに限定されず、信号線駆動回路804bは、別の信号を供給することも可能である。

20

## 【0240】

信号線駆動回路804bは、例えば複数のアナログスイッチなどを用いて構成される。信号線駆動回路804bは、複数のアナログスイッチを順次オン状態にすることにより、画像信号を時分割した信号をデータ信号として出力できる。また、シフトレジスタなどを用いて信号線駆動回路804bを構成してもよい。

30

## 【0241】

複数の画素回路801のそれぞれは、走査信号が与えられる複数の走査線GLの一つを介してパルス信号が入力され、データ信号が与えられる複数のデータ線DLの一つを介してデータ信号が入力される。また、複数の画素回路801のそれぞれは、走査線駆動回路804aによりデータ信号のデータの書き込み及び保持が制御される。例えば、m行n列目の画素回路801は、走査線GL\_m（mはX以下の自然数）を介して走査線駆動回路804aからパルス信号が入力され、走査線GL\_mの電位に応じてデータ線DL\_n（nはY以下の自然数）を介して信号線駆動回路804bからデータ信号が入力される。

40

## 【0242】

図7(A)に示す保護回路806は、例えば、走査線駆動回路804aと画素回路801の間の配線である走査線GLに接続される。または、保護回路806は、信号線駆動回路804bと画素回路801の間の配線であるデータ線DLに接続される。または、保護回路806は、走査線駆動回路804aと端子部807との間の配線に接続することができる。または、保護回路806は、信号線駆動回路804bと端子部807との間の配線に接続することができる。なお、端子部807は、外部の回路から表示装置に電源及び制御信号、及び画像信号を入力するための端子が設けられた部分をいう。

## 【0243】

保護回路806は、自身が接続する配線に一定の範囲外の電位が与えられたときに、該

50

配線と別の配線とを導通状態にする回路である。

【0244】

図7(A)に示すように、画素部802と駆動回路部804にそれぞれ保護回路806を設けることにより、E S D ( E l e c t r o S t a t i c D i s c h a r g e : 静電気放電 )などにより発生する過電流に対する表示装置の耐性を高めることができる。ただし、保護回路806の構成はこれに限定されず、例えば、走査線駆動回路804aに保護回路806を接続した構成、または信号線駆動回路804bに保護回路806を接続した構成とすることもできる。あるいは、端子部807に保護回路806を接続した構成とすることもできる。

【0245】

また、図7(A)においては、走査線駆動回路804aと信号線駆動回路804bによって駆動回路部804を形成している例を示しているが、この構成に限定されない。例えば、走査線駆動回路804aのみを形成し、別途用意された信号線駆動回路が形成された基板(例えば、単結晶半導体膜、多結晶半導体膜で形成された駆動回路基板)を実装する構成としても良い。

【0246】

<画素回路の構成例>

図7(A)に示す複数の画素回路801は、例えば、図7(B)に示す構成とすることができる。

【0247】

図7(B)に示す画素回路801は、トランジスタ852、854と、容量素子862と、発光素子872と、を有する。

【0248】

トランジスタ852のソース電極及びドレイン電極の一方は、データ信号が与えられる配線(以下、信号線D L\_nという)に電気的に接続される。さらに、トランジスタ852のゲート電極は、ゲート信号が与えられる配線(以下、走査線G L\_mという)に電気的に接続される。

【0249】

トランジスタ852は、データ信号のデータの書き込みを制御する機能を有する。

【0250】

容量素子862の一対の電極の一方は、電位が与えられる配線(以下、電位供給線V L\_aという)に電気的に接続され、他方は、トランジスタ852のソース電極及びドレイン電極の他方に電気的に接続される。

【0251】

容量素子862は、書き込まれたデータを保持する保持容量としての機能を有する。

【0252】

トランジスタ854のソース電極及びドレイン電極の一方は、電位供給線V L\_aに電気的に接続される。さらに、トランジスタ854のゲート電極は、トランジスタ852のソース電極及びドレイン電極の他方に電気的に接続される。

【0253】

発光素子872のアノード及びカソードの一方は、電位供給線V L\_bに電気的に接続され、他方は、トランジスタ854のソース電極及びドレイン電極の他方に電気的に接続される。

【0254】

発光素子872としては、実施の形態1乃至実施の形態3に示す発光素子を用いることができる。

【0255】

なお、電位供給線V L\_a及び電位供給線V L\_bの一方には、高電源電位V D Dが与えられ、他方には、低電源電位V S Sが与えられる。

【0256】

10

20

30

40

50

図7( B )の画素回路801を有する表示装置では、例えば、図7( A )に示す走査線駆動回路804aにより各行の画素回路801を順次選択し、トランジスタ852をオン状態にしてデータ信号のデータを書き込む。

#### 【0257】

データが書き込まれた画素回路801は、トランジスタ852がオフ状態になることで保持状態になる。さらに、書き込まれたデータ信号の電位に応じてトランジスタ854のソース電極とドレイン電極の間に流れる電流量が制御され、発光素子872は、流れる電流量に応じた輝度で発光する。これを行毎に順次行うことにより、画像を表示できる。

#### 【0258】

また、本発明の一様の発光素子は、表示装置の画素に能動素子を有するアクティブマトリクス方式、または、表示装置の画素に能動素子を有しないパッシブマトリクス方式のそれぞれの方式に適用することができる。

#### 【0259】

アクティブマトリクス方式では、能動素子(アクティブ素子、非線形素子)として、トランジスタだけでなく、さまざまな能動素子(アクティブ素子、非線形素子)を用いることが出来る。例えば、MIM(Metal Insulator Metal)、又はTFT(Thin Film Diode)などを用いることも可能である。これらの素子は、製造工程が少ないため、製造コストの低減、又は歩留まりの向上を図ることができる。または、これらの素子は、素子のサイズが小さいため、開口率を向上させることができ、低消費電力化や高輝度化をはかることができる。

#### 【0260】

アクティブマトリクス方式以外のものとして、能動素子(アクティブ素子、非線形素子)を用いないパッシブマトリクス型を用いることも可能である。能動素子(アクティブ素子、非線形素子)を用いないため、製造工程が少ないため、製造コストの低減、又は歩留まりの向上を図ることができる。または、能動素子(アクティブ素子、非線形素子)を用いないため、開口率を向上させることができ、低消費電力化、又は高輝度化などを図ることが出来る。

#### 【0261】

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

#### 【0262】

##### (実施の形態5)

本実施の形態においては、本発明の一様の発光素子を有する表示装置、及び該表示装置に入力装置を取り付けた電子機器について、図8乃至図12を用いて説明を行う。

#### 【0263】

##### <タッチパネルに関する説明1>

なお、本実施の形態において、電子機器の一例として、表示装置と、入力装置とを合わせたタッチパネル2000について説明する。また、入力装置の一例として、タッチセンサを用いる場合について説明する。

#### 【0264】

図8( A )( B )は、タッチパネル2000の斜視図である。なお、図8( A )( B )において、明瞭化のため、タッチパネル2000の代表的な構成要素を示す。

#### 【0265】

タッチパネル2000は、表示装置2501とタッチセンサ2595とを有する(図8( B )参照)。また、タッチパネル2000は、基板2510、基板2570、及び基板2590を有する。なお、基板2510、基板2570、及び基板2590はいずれも可撓性を有する。ただし、基板2510、基板2570、及び基板2590のいずれか一つまたは全てが可撓性を有さない構成としてもよい。

#### 【0266】

表示装置2501は、基板2510上に複数の画素及び該画素に信号を供給することが

10

20

30

40

50

できる複数の配線 2511 を有する。複数の配線 2511 は、基板 2510 の外周部にまで引き回され、その一部が端子 2519 を構成している。端子 2519 は FPC2509(1) と電気的に接続する。また、複数の配線 2511 は、信号線駆動回路 2503s(1) からの信号を複数の画素に供給することができる。

#### 【0267】

基板 2590 は、タッチセンサ 2595 と、タッチセンサ 2595 と電気的に接続する複数の配線 2598 とを有する。複数の配線 2598 は、基板 2590 の外周部に引き回され、その一部は端子を構成する。そして、該端子は FPC2509(2) と電気的に接続される。なお、図 8(B) では明瞭化のため、基板 2590 の裏面側(基板 2510 と対向する面側)に設けられるタッチセンサ 2595 の電極や配線等を実線で示している。

10

#### 【0268】

タッチセンサ 2595 として、例えば静電容量方式のタッチセンサを適用できる。静電容量方式としては、表面型静電容量方式、投影型静電容量方式等がある。

#### 【0269】

投影型静電容量方式としては、主に駆動方式の違いから自己容量方式、相互容量方式などがある。相互容量方式を用いると同時多点検出が可能となるため好ましい。

#### 【0270】

なお、図 8(B) に示すタッチセンサ 2595 は、投影型静電容量方式のタッチセンサを適用した構成である。

20

#### 【0271】

なお、タッチセンサ 2595 には、指等の検知対象の近接または接触を検知することができる、様々なセンサを適用することができる。

#### 【0272】

投影型静電容量方式のタッチセンサ 2595 は、電極 2591 と電極 2592 とを有する。電極 2591 は、複数の配線 2598 のいずれかと電気的に接続し、電極 2592 は複数の配線 2598 の他のいずれかと電気的に接続する。

#### 【0273】

電極 2592 は、図 8(A)(B) に示すように、一方向に繰り返し配置された複数の四辺形が角部で接続される形状を有する。

30

#### 【0274】

電極 2591 は四辺形であり、電極 2592 が延在する方向と交差する方向に繰り返し配置されている。

#### 【0275】

配線 2594 は、電極 2592 を挟む二つの電極 2591 と電気的に接続する。このとき、電極 2592 と配線 2594 の交差部の面積ができるだけ小さくなる形状が好ましい。これにより、電極が設けられていない領域の面積を低減でき、透過率のバラツキを低減できる。その結果、タッチセンサ 2595 を透過する光の輝度のバラツキを低減することができる。

#### 【0276】

なお、電極 2591 及び電極 2592 の形状はこれに限定されず、様々な形状を取りうる。例えば、複数の電極 2591 をできるだけ隙間が生じないように配置し、絶縁層を介して電極 2592 を、電極 2591 と重ならない領域ができるように離して複数設ける構成としてもよい。このとき、隣接する 2 つの電極 2592 の間に、これらとは電気的に絶縁されたダミー電極を設けると、透過率の異なる領域の面積を低減するため好ましい。

40

#### 【0277】

<表示装置に関する説明>

次に、図 9(A) を用いて、表示装置 2501 の詳細について説明する。図 9(A) は、図 8(B) に示す一点鎖線 X1 - X2 間の断面図に相当する。

#### 【0278】

50

表示装置 2501 は、マトリクス状に配置された複数の画素を有する。該画素は表示素子と、該表示素子を駆動する画素回路とを有する。

#### 【0279】

以下の説明においては、白色の光を射出する発光素子を表示素子に適用する場合について説明するが、表示素子はこれに限定されない。例えば、隣接する画素毎に射出する光の色が異なるように、発光色が異なる発光素子を適用してもよい。

#### 【0280】

基板 2510 及び基板 2570 としては、例えば、水蒸気の透過率が  $1 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  以下、好ましくは  $1 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  以下である可撓性を有する材料を好適に用いることができる。または、基板 2510 の熱膨張率と、基板 2570 の熱膨張率とが、およそ等しい材料を用いると好適である。例えば、線膨張率が  $1 \times 10^{-3} / \text{K}$  以下、好ましくは  $5 \times 10^{-5} / \text{K}$  以下、より好ましくは  $1 \times 10^{-5} / \text{K}$  以下である材料を好適に用いることができる。  
10

#### 【0281】

なお、基板 2510 は、発光素子への不純物の拡散を防ぐ絶縁層 2510a と、可撓性基板 2510b と、絶縁層 2510a 及び可撓性基板 2510b を貼り合わせる接着層 2510c と、を有する積層体である。また、基板 2570 は、発光素子への不純物の拡散を防ぐ絶縁層 2570a と、可撓性基板 2570b と、絶縁層 2570a 及び可撓性基板 2570b を貼り合わせる接着層 2570c と、を有する積層体である。  
20

#### 【0282】

接着層 2510c 及び接着層 2570c としては、例えば、ポリエステル、ポリオレフイン、ポリアミド（ナイロン、アラミド等）、ポリイミド、ポリカーボネートまたはアクリル、ウレタン、エポキシを用いることができる。また、シロキサン結合を有する樹脂含む材料を用いることができる。

#### 【0283】

また、基板 2510 と基板 2570との間に封止層 2560 を有する。封止層 2560 は、空気より大きい屈折率を有すると好ましい。また、図 9 (A) に示すように、封止層 2560 側に光を取り出す場合は、封止層 2560 は接合層を兼ねることができる。

#### 【0284】

また、封止層 2560 の外周部にシール材を形成してもよい。当該シール材を用いることにより、基板 2510、基板 2570、封止層 2560、及びシール材で囲まれた領域に発光素子 2550R を有する構成とすることができる。なお、封止層 2560 として、不活性気体（窒素やアルゴン等）を充填してもよい。また、当該不活性気体内に、乾燥材を設けて、水分等を吸着させる構成としてもよい。また、紫外線硬化樹脂または熱硬化樹脂を充填してもよく、例えば、PVC（ポリビニルクロライド）系樹脂、アクリル系樹脂、ポリイミド系樹脂、エポキシ系樹脂、シリコーン系樹脂、PV B（ポリビニルブチラル）系樹脂、またはEVA（エチレンビニルアセテート）系樹脂を用いることができる。また、上述のシール材としては、例えば、エポキシ系樹脂やガラスフリットを用いるのが好ましい。また、シール材に用いる材料としては、水分や酸素を透過しない材料を用いると好適である。  
30

#### 【0285】

また、表示装置 2501 は、画素 2502R を有する。また、画素 2502R は発光モジュール 2580R を有する。

#### 【0286】

画素 2502R は、発光素子 2550R と、発光素子 2550R に電力を供給することができるトランジスタ 2502t とを有する。なお、トランジスタ 2502t は、画素回路の一部として機能する。また、発光モジュール 2580R は、発光素子 2550R と、着色層 2567R とを有する。

#### 【0287】

発光素子 2550R は、下部電極と、上部電極と、下部電極と上部電極の間に E L 層と

10

20

30

40

50

を有する。発光素子 2550R として、例えば、実施の形態 1 乃至 3 に示す発光素子を適用することができる。

【0288】

また、下部電極と上部電極との間で、マイクロキャビティ構造を採用し、特定波長における光強度を増加させてもよい。

【0289】

また、封止層 2560 が光を取り出す側に設けられている場合、封止層 2560 は、発光素子 2550R と着色層 2567R に接する。

【0290】

着色層 2567R は、発光素子 2550R と重なる位置にある。これにより、発光素子 2550R が発する光の一部は着色層 2567R を透過して、図中に示す矢印の方向の発光モジュール 2580R の外部に射出される。10

【0291】

また、表示装置 2501 には、光を射出する方向に遮光層 2567BM が設けられる。遮光層 2567BM は、着色層 2567R を囲むように設けられている。

【0292】

着色層 2567R としては、特定の波長帯域の光を透過する機能を有していればよく、例えば、赤色の波長帯域の光を透過するカラーフィルタ、緑色の波長帯域の光を透過するカラーフィルタ、青色の波長帯域の光を透過するカラーフィルタ、黄色の波長帯域の光を透過するカラーフィルタなどを用いることができる。各カラーフィルタは、様々な材料を用いて、印刷法、インクジェット法、フォトリソグラフィ技術を用いたエッチング方法などで形成することができる。20

【0293】

また、表示装置 2501 には、絶縁層 2521 が設けられる。絶縁層 2521 はトランジスタ 2502t を覆う。なお、絶縁層 2521 は、画素回路に起因する凹凸を平坦化するための機能を有する。また、絶縁層 2521 に不純物の拡散を抑制できる機能を付与してもよい。これにより、不純物の拡散によるトランジスタ 2502t 等の信頼性の低下を抑制できる。

【0294】

また、発光素子 2550R は、絶縁層 2521 の上方に形成される。また、発光素子 2550R が有する下部電極には、該下部電極の端部に重なる隔壁 2528 が設けられる。なお、基板 2510 と、基板 2570 との間隔を制御するスペーサを、隔壁 2528 上に形成してもよい。30

【0295】

走査線駆動回路 2503g(1) は、トランジスタ 2503t と、容量素子 2503c とを有する。なお、駆動回路を画素回路と同一の工程で同一基板上に形成することができる。

【0296】

また、基板 2510 上には、信号を供給することができる配線 2511 が設けられる。また、配線 2511 上には、端子 2519 が設けられる。また、端子 2519 には、FPC 2509(1) が電気的に接続される。また、FPC 2509(1) は、ビデオ信号、クロック信号、スタート信号、リセット信号等を供給する機能を有する。なお、FPC 2509(1) にはプリント配線基板 (PWB : Printed Wiring Board) が取り付けられていても良い。40

【0297】

また、表示装置 2501 には、様々な構造のトランジスタを適用することができる。図 9(A)においては、ボトムゲート型のトランジスタを適用する場合について、例示しているが、これに限定されず、例えば、図 9(B) に示す、トップゲート型のトランジスタを表示装置 2501 に適用する構成としてもよい。

【0298】

10

20

30

40

50

また、トランジスタ 2502t 及びトランジスタ 2503t の極性については、特に限定はなく、Nチャネル型およびPチャネル型のトランジスタを有する構造、Nチャネル型のトランジスタまたはPチャネル型のトランジスタのいずれか一方のみからなる構造を用いてもよい。また、トランジスタ 2502t 及び 2503t に用いられる半導体膜の結晶性についても特に限定はない。例えば、非晶質半導体膜、結晶性半導体膜を用いることができる。また、半導体材料としては、13族の半導体（例えば、ガリウムを有する半導体）、14族の半導体（例えば、ケイ素を有する半導体）、化合物半導体（酸化物半導体を含む）、有機半導体等を用いることができる。トランジスタ 2502t 及びトランジスタ 2503t のいずれか一方または双方に、エネルギーギヤップが 2 eV 以上、好ましくは 2.5 eV 以上、さらに好ましくは 3 eV 以上の酸化物半導体を用いることで、トランジスタのオフ電流を低減することができるため好ましい。当該酸化物半導体としては、In-Ga 酸化物、In-M-Zn 酸化物（M は、Al、ガリウム（Ga）、イットリウム（Y）、ジルコニウム（Zr）、ランタン（La）、セリウム（Ce）、スズ（Sn）、ハフニウム（Hf）、またはネオジム（Nd）を表す）等が挙げられる。10

#### 【0299】

##### <タッチセンサに関する説明>

次に、図 9 (C) を用いて、タッチセンサ 2595 の詳細について説明する。図 9 (C) は、図 8 (B) に示す一点鎖線 X3-X4 間の断面図に相当する。

#### 【0300】

タッチセンサ 2595 は、基板 2590 上に千鳥状に配置された電極 2591 及び電極 2592 と、電極 2591 及び電極 2592 を覆う絶縁層 2593 と、隣り合う電極 2591 を電気的に接続する配線 2594 とを有する。20

#### 【0301】

電極 2591 及び電極 2592 は、透光性を有する導電材料を用いて形成する。透光性を有する導電性材料としては、酸化インジウム、インジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、酸化亜鉛、ガリウムを添加した酸化亜鉛などの導電性酸化物を用いることができる。なお、グラフェンを含む膜を用いることもできる。グラフェンを含む膜は、例えば膜状に形成された酸化グラフェンを含む膜を還元して形成することができる。還元する方法としては、熱を加える方法等を挙げることができる。

#### 【0302】

例えば、透光性を有する導電性材料を基板 2590 上にスパッタリング法により成膜した後、フォトリソグラフィ法等の様々なパターン形成技術により、不要な部分を除去して、電極 2591 及び電極 2592 を形成することができる。30

#### 【0303】

また、絶縁層 2593 に用いる材料としては、例えば、アクリル、エポキシなどの樹脂、シロキサン結合を有する樹脂の他、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウムなどの無機絶縁材料を用いることもできる。

#### 【0304】

また、電極 2591 に達する開口が絶縁層 2593 に設けられ、配線 2594 が隣接する電極 2591 と電気的に接続する。透光性の導電性材料は、タッチパネルの開口率を高めることができるために、配線 2594 に好適に用いることができる。また、電極 2591 及び電極 2592 より導電性の高い材料は、電気抵抗を低減するため配線 2594 に好適に用いることができる。40

#### 【0305】

電極 2592 は、一方向に延在し、複数の電極 2592 がストライプ状に設けられている。また、配線 2594 は電極 2592 と交差して設けられている。

#### 【0306】

一对の電極 2591 が 1 つの電極 2592 を挟んで設けられる。また、配線 2594 は一对の電極 2591 を電気的に接続している。

#### 【0307】

10

20

30

40

50

なお、複数の電極 2591 は、1つの電極 2592 と必ずしも直交する方向に配置される必要はなく、0度を超えて90度未満の角度をなすように配置されてもよい。

#### 【0308】

また、配線 2598 は、電極 2591 または電極 2592 と電気的に接続される。また、配線 2598 の一部は、端子として機能する。配線 2598 としては、例えば、アルミニウム、金、白金、銀、ニッケル、チタン、タングステン、クロム、モリブデン、鉄、コバルト、銅、またはパラジウム等の金属材料や、該金属材料を含む合金材料を用いることができる。

#### 【0309】

なお、絶縁層 2593 及び配線 2594 を覆う絶縁層を設けて、タッチセンサ 2595 を保護してもよい。

#### 【0310】

また、接続層 2599 は、配線 2598 と FPC 2509(2) を電気的に接続させる。

#### 【0311】

接続層 2599 としては、異方性導電フィルム (ACF : Anisotropic Conductive Film) や、異方性導電ペースト (ACP : Anisotropic Conductive Paste) などを用いることができる。

#### 【0312】

<タッチパネルに関する説明 2>

次に、図 10(A) を用いて、タッチパネル 2000 の詳細について説明する。図 10(A) は、図 8(A) に示す一点鎖線 X5-X6 間の断面図に相当する。

#### 【0313】

図 10(A) に示すタッチパネル 2000 は、図 9(A) で説明した表示装置 2501 と、図 9(C) で説明したタッチセンサ 2595 と、を貼り合わせた構成である。

#### 【0314】

また、図 10(A) に示すタッチパネル 2000 は、図 9(A) 及び図 9(C) で説明した構成の他、接着層 2597 と、反射防止層 2567p と、を有する。

#### 【0315】

接着層 2597 は、配線 2594 と接して設けられる。なお、接着層 2597 は、タッチセンサ 2595 が表示装置 2501 に重なるように、基板 2590 を基板 2570 に貼り合わせている。また、接着層 2597 は、透光性を有すると好ましい。また、接着層 2597 としては、熱硬化性樹脂、または紫外線硬化樹脂を用いることができる。例えば、アクリル系樹脂、ウレタン系樹脂、エポキシ系樹脂、またはシロキサン系樹脂を用いることができる。

#### 【0316】

反射防止層 2567p は、画素に重なる位置に設けられる。反射防止層 2567p として、例えば円偏光板を用いることができる。

#### 【0317】

次に、図 10(A) に示す構成と異なる構成のタッチパネルについて、図 10(B) を用いて説明する。

#### 【0318】

図 10(B) は、タッチパネル 2001 の断面図である。図 10(B) に示すタッチパネル 2001 は、図 10(A) に示すタッチパネル 2000 と、表示装置 2501 に対するタッチセンサ 2595 の位置が異なる。ここでは異なる構成について詳細に説明し、同様の構成を用いることができる部分は、タッチパネル 2000 の説明を援用する。

#### 【0319】

着色層 2567R は、発光素子 2550R と重なる位置にある。また、図 10(B) に示す発光素子 2550R は、トランジスタ 2502t が設けられている側に光を射出する。これにより、発光素子 2550R が発する光の一部は、着色層 2567R を透過して、

10

20

30

40

50

図中に示す矢印の方向の発光モジュール 2580R の外部に射出される。

【0320】

また、タッチセンサ 2595 は、表示装置 2501 の基板 2510 側に設けられている。

【0321】

接着層 2597 は、基板 2510 と基板 2590 の間にあり、表示装置 2501 とタッチセンサ 2595 を貼り合わせる。

【0322】

図 10 (A) (B) に示すように、発光素子から射出される光は、基板の上面及び下面のいずれか一方または双方に射出されればよい。

10

【0323】

<タッチパネルの駆動方法に関する説明>

次に、タッチパネルの駆動方法の一例について、図 11 を用いて説明を行う。

【0324】

図 11 (A) は、相互容量方式のタッチセンサの構成を示すブロック図である。図 11 (A) では、パルス電圧出力回路 2601、電流検出回路 2602 を示している。なお、図 11 (A) では、パルス電圧が与えられる電極 2621 を X1 - X6 として、電流の変化を検知する電極 2622 を Y1 - Y6 として、それぞれ 6 本の配線で例示している。また、図 11 (A) は、電極 2621 と、電極 2622 とが重畠することで形成される容量 2603 を示している。なお、電極 2621 と電極 2622 とはその機能を互いに置き換えててもよい。

20

【0325】

パルス電圧出力回路 2601 は、X1 - X6 の配線に順にパルスを印加するための回路である。X1 - X6 の配線にパルス電圧が印加されることで、容量 2603 を形成する電極 2621 と電極 2622 との間に電界が生じる。この電極間に生じる電界が遮蔽等により容量 2603 の相互容量に変化を生じさせることを利用して、被検知体の近接、または接触を検出することができる。

30

【0326】

電流検出回路 2602 は、容量 2603 での相互容量の変化による、Y1 - Y6 の配線での電流の変化を検出するための回路である。Y1 - Y6 の配線では、被検知体の近接、または接触がないと検出される電流値に変化はないが、検出する被検知体の近接、または接触により相互容量が減少する場合には電流値が減少する変化を検出する。なお電流の検出は、積分回路等を用いて行えばよい。

【0327】

次に、図 11 (B) には、図 11 (A) で示す相互容量方式のタッチセンサにおける入出力波形のタイミングチャートを示す。図 11 (B) では、1 フレーム期間で各行列での被検知体の検出を行うものとする。また図 11 (B) では、被検知体を検出しない場合(非タッチ)と被検知体を検出する場合(タッチ)との 2 つの場合について示している。なお Y1 - Y6 の配線については、検出される電流値に対応する電圧値とした波形を示している。

40

【0328】

X1 - X6 の配線には、順にパルス電圧が与えられ、該パルス電圧にしたがって Y1 - Y6 の配線での波形が変化する。被検知体の近接または接触がない場合には、X1 - X6 の配線の電圧の変化に応じて Y1 - Y6 の波形が一様に変化する。一方、被検知体が近接または接触する箇所では、電流値が減少するため、これに対応する電圧値の波形も変化する。

【0329】

このように、相互容量の変化を検出することにより、被検知体の近接または接触を検知することができる。

【0330】

50

## &lt;センサ回路に関する説明&gt;

また、図11(A)ではタッチセンサとして配線の交差部に容量2603のみを設けるパッシブマトリクス型のタッチセンサの構成を示したが、トランジスタと容量とを有するアクティブマトリクス型のタッチセンサとしてもよい。アクティブマトリクス型のタッチセンサに含まれるセンサ回路の一例を図12に示す。

## 【0331】

図12に示すセンサ回路は、容量2603と、トランジスタ2611と、トランジスタ2612と、トランジスタ2613とを有する。

## 【0332】

トランジスタ2613はゲートに信号G2が与えられ、ソースまたはドレインの一方に電圧VRESが与えられ、他方が容量2603の一方の電極およびトランジスタ2611のゲートと電気的に接続する。トランジスタ2611は、ソースまたはドレインの一方がトランジスタ2612のソースまたはドレインの一方と電気的に接続し、他方に電圧VSが与えられる。トランジスタ2612は、ゲートに信号G1が与えられ、ソースまたはドレインの他方が配線MLと電気的に接続する。容量2603の他方の電極には電圧VSが与えられる。

## 【0333】

次に、図12に示すセンサ回路の動作について説明する。まず、信号G2としてトランジスタ2613をオン状態とする電位が与えられることで、トランジスタ2611のゲートが接続されるノードnに電圧VRESに対応した電位が与えられる。次に、信号G2としてトランジスタ2613をオフ状態とする電位が与えられることで、ノードnの電位が保持される。

## 【0334】

続いて、指等の被検知体の近接または接触により、容量2603の相互容量が変化することに伴い、ノードnの電位がVRESから変化する。

## 【0335】

読み出し動作は、信号G1にトランジスタ2612をオン状態とする電位を与える。ノードnの電位に応じてトランジスタ2611に流れる電流、すなわち配線MLに流れる電流が変化する。この電流を検出することにより、被検知体の近接または接触を検出することができる。

## 【0336】

トランジスタ2611、トランジスタ2612、及びトランジスタ2613としては、酸化物半導体層をチャネル領域が形成される半導体層に用いることが好ましい。とくにトランジスタ2613にこのようなトランジスタを適用することにより、ノードnの電位を長期間に亘って保持することが可能となり、ノードnにVRESを供給しなおす動作(リフレッシュ動作)の頻度を減らすことができる。

## 【0337】

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

## 【0338】

## (実施の形態6)

本実施の形態では、本発明の一態様の発光素子を有する表示モジュール及び電子機器について、図13及び図14を用いて説明を行う。

## 【0339】

## &lt;表示モジュールに関する説明&gt;

図13に示す表示モジュール8000は、上部カバー8001と下部カバー8002との間に、FPC8003に接続されたタッチセンサ8004、FPC8005に接続された表示装置8006、フレーム8009、プリント基板8010、バッテリ8011を有する。

## 【0340】

10

20

30

40

50

本発明の一態様の発光素子は、例えば、表示装置 8006 に用いることができる。

【0341】

上部カバー 8001 及び下部カバー 8002 は、タッチセンサ 8004 及び表示装置 8006 のサイズに合わせて、形状や寸法を適宜変更することができる。

【0342】

タッチセンサ 8004 は、抵抗膜方式または静電容量方式のタッチセンサを表示装置 8006 に重畠して用いることができる。また、表示装置 8006 の対向基板（封止基板）に、タッチセンサ機能を持たせるようにすることも可能である。また、表示装置 8006 の各画素内に光センサを設け、光学式のタッチセンサとすることも可能である。

【0343】

フレーム 8009 は、表示装置 8006 の保護機能の他、プリント基板 8010 の動作により発生する電磁波を遮断するための電磁シールドとしての機能を有する。またフレーム 8009 は、放熱板としての機能を有していてもよい。

【0344】

プリント基板 8010 は、電源回路、ビデオ信号及びクロック信号を出力するための信号処理回路を有する。電源回路に電力を供給する電源としては、外部の商用電源であっても良いし、別途設けたバッテリ 8011 による電源であってもよい。バッテリ 8011 は、商用電源を用いる場合には、省略可能である。

【0345】

また、表示モジュール 8000 は、偏光板、位相差板、プリズムシートなどの部材を追加して設けてもよい。

【0346】

<電子機器に関する説明>

図 14(A) 乃至 図 14(G) は、電子機器を示す図である。これらの電子機器は、筐体 9000、表示部 9001、スピーカ 9003、操作キー 9005（電源スイッチ、又は操作スイッチを含む）、接続端子 9006、センサ 9007（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、におい又は赤外線を測定する機能を含むもの）、マイクロフォン 9008、等を有することができる。

【0347】

図 14(A) 乃至 図 14(G) に示す電子機器は、様々な機能を有することができる。例えば、様々な情報（静止画、動画、テキスト画像など）を表示部に表示する機能、タッチセンサ機能、カレンダー、日付または時刻などを表示する機能、様々なソフトウェア（プログラム）によって処理を制御する機能、無線通信機能、無線通信機能を用いて様々なコンピュータネットワークに接続する機能、無線通信機能を用いて様々なデータの送信または受信を行う機能、記録媒体に記録されているプログラムまたはデータを読み出して表示部に表示する機能、等を有することができる。なお、図 14(A) 乃至 図 14(G) に示す電子機器が有することのできる機能はこれらに限定されず、様々な機能を有することができる。また、図 14(A) 乃至 図 14(G) には図示していないが、電子機器には、複数の表示部を有する構成としてもよい。また、該電子機器にカメラ等を設け、静止画を撮影する機能、動画を撮影する機能、撮影した画像を記録媒体（外部またはカメラに内蔵）に保存する機能、撮影した画像を表示部に表示する機能、等を有していてもよい。

【0348】

図 14(A) 乃至 図 14(G) に示す電子機器の詳細について、以下説明を行う。

【0349】

図 14(A) は、携帯情報端末 9100 を示す斜視図である。携帯情報端末 9100 が有する表示部 9001 は、可撓性を有する。そのため、湾曲した筐体 9000 の湾曲面に沿って表示部 9001 を組み込むことが可能である。また、表示部 9001 はタッチセンサを備え、指やスタイルスなどで画面に触れることで操作することができる。例えば、表示部 9001 に表示されたアイコンに触れることで、アプリケーションを起動するこ

10

20

30

40

50

できる。

**【0350】**

図14(B)は、携帯情報端末9101を示す斜視図である。携帯情報端末9101は、例えば電話機、手帳又は情報閲覧装置等から選ばれた一つ又は複数の機能を有する。具体的には、スマートフォンとして用いることができる。なお、携帯情報端末9101は、スピーカ9003、接続端子9006、センサ9007等を省略して図示しているが、図14(A)に示す携帯情報端末9100と同様の位置に設けることができる。また、携帯情報端末9101は、文字や画像情報をその複数の面に表示することができる。例えば、3つの操作ボタン9050(操作アイコンまたは単にアイコンともいう)を表示部9001の一の面に表示することができる。また、破線の矩形で示す情報9051を表示部9001の他の面に表示することができる。なお、情報9051の一例としては、電子メールやSNS(ソーシャル・ネットワーキング・サービス)や電話などの着信を知らせる表示、電子メールやSNSなどの題名、電子メールやSNSなどの送信者名、日時、時刻、バッテリの残量、アンテナ受信の強度などがある。または、情報9051が表示されている位置に、情報9051の代わりに、操作ボタン9050などを表示してもよい。

10

**【0351】**

図14(C)は、携帯情報端末9102を示す斜視図である。携帯情報端末9102は、表示部9001の3面以上に情報を表示する機能を有する。ここでは、情報9052、情報9053、情報9054がそれぞれ異なる面に表示されている例を示す。例えば、携帯情報端末9102の使用者は、洋服の胸ポケットに携帯情報端末9102を収納した状態で、その表示(ここでは情報9053)を確認することができる。具体的には、着信した電話の発信者の電話番号又は氏名等を、携帯情報端末9102の上方から観察できる位置に表示する。使用者は、携帯情報端末9102をポケットから取り出すことなく、表示を確認し、電話を受けるか否かを判断できる。

20

**【0352】**

図14(D)は、腕時計型の携帯情報端末9200を示す斜視図である。携帯情報端末9200は、移動電話、電子メール、文章閲覧及び作成、音楽再生、インターネット通信、コンピュータゲームなどの種々のアプリケーションを実行することができる。また、表示部9001はその表示面が湾曲して設けられ、湾曲した表示面に沿って表示を行うことができる。また、携帯情報端末9200は、通信規格された近距離無線通信を実行することが可能である。例えば無線通信可能なヘッドセットと相互通信することによって、ハンズフリーで通話することもできる。また、携帯情報端末9200は、接続端子9006を有し、他の情報端末とコネクターを介して直接データのやりとりを行うことができる。また接続端子9006を介して充電を行うこともできる。なお、充電動作は接続端子9006を介さずに無線給電により行ってもよい。

30

**【0353】**

図14(E)(F)(G)は、折り畳み可能な携帯情報端末9201を示す斜視図である。また、図14(E)が携帯情報端末9201を展開した状態の斜視図であり、図14(F)が携帯情報端末9201を展開した状態または折り畳んだ状態の一方から他方に変化する途中の状態の斜視図であり、図14(G)が携帯情報端末9201を折り畳んだ状態の斜視図である。携帯情報端末9201は、折り畳んだ状態では可搬性に優れ、展開した状態では、継ぎ目のない広い表示領域により表示の一覧性に優れる。携帯情報端末9201が有する表示部9001は、ヒンジ9055によって連結された3つの筐体9000に支持されている。ヒンジ9055を介して2つの筐体9000間を屈曲させることにより、携帯情報端末9201を展開した状態から折りたたんだ状態に可逆的に変形させることができる。例えば、携帯情報端末9201は、曲率半径1mm以上150mm以下で曲げることができる。

40

**【0354】**

本実施の形態において述べた電子機器は、何らかの情報を表示するための表示部を有することを特徴とする。ただし、本発明の一態様の発光素子は、表示部を有さない電子機器

50

にも適用することができる。また、本実施の形態において述べた電子機器の表示部においては、可撓性を有し、湾曲した表示面に沿って表示を行うことができる構成、または折り畳み可能な表示部の構成について例示したが、これに限定されず、可撓性を有さず、平面部に表示を行う構成としてもよい。

【0355】

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

【0356】

(実施の形態7)

本実施の形態では、本発明の一態様である発光素子を適用した照明装置の一例について、図15を用いて説明する。

【0357】

図15は、発光素子を室内の照明装置8501として用いた例である。なお、発光素子は大面積化も可能であるため、大面積の照明装置を形成することもできる。その他、曲面を有する筐体を用いることで、発光領域が曲面を有する照明装置8502を形成することもできる。本実施の形態で示す発光素子は薄膜状であり、筐体のデザインの自由度が高い。したがって、様々な意匠を凝らした照明装置を形成することができる。さらに、室内の壁面に大型の照明装置8503を備えても良い。また、照明装置8501、8502、8503に、タッチセンサを設けて、電源のオンまたはオフを行ってもよい。

【0358】

また、発光素子をテーブルの表面側に用いることによりテーブルとしての機能を備えた照明装置8504とすることができる。なお、その他の家具の一部に発光素子を用いることにより、家具としての機能を備えた照明装置とすることができます。

【0359】

以上のように、発光素子を適用した様々な照明装置が得られる。なお、これらの照明装置は本発明の一態様に含まれるものとする。

【0360】

また、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。

【実施例1】

【0361】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子、及び比較用の発光素子の作製例を示す。また、本実施例においては、発光素子1乃至発光素子7を作製した。

【0362】

なお、発光素子1、発光素子2、発光素子5、及び発光素子7は、比較用の発光素子であり、発光素子3、発光素子4、及び発光素子6は、本発明の一態様の発光素子である。また、発光素子1は、ホスト-ゲスト系の発光素子であり、発光素子2、発光素子5、及び発光素子7は、エキサイブルックス発光を利用した発光素子であり、発光素子3、発光素子4、及び発光素子6は、E×S×Tを利用した発光素子である。

【0363】

発光素子1乃至発光素子7の断面模式図を図16に、素子構造の詳細を表4及び表5に示す。また、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。

【0364】

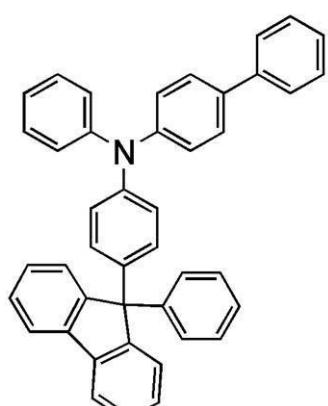
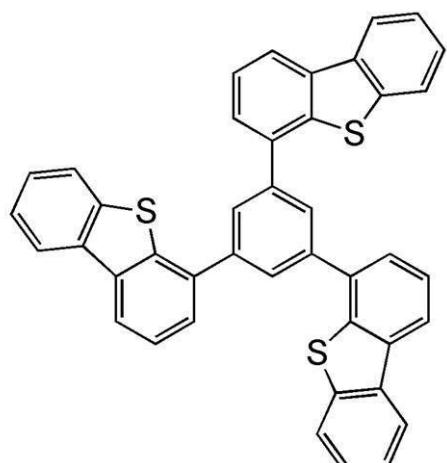
10

20

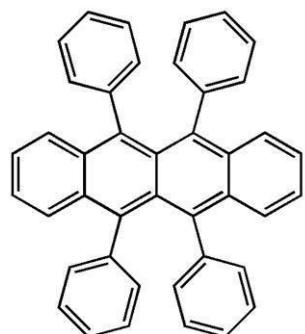
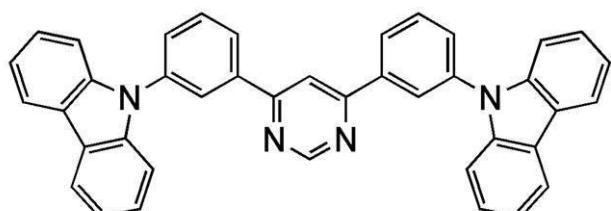
30

40

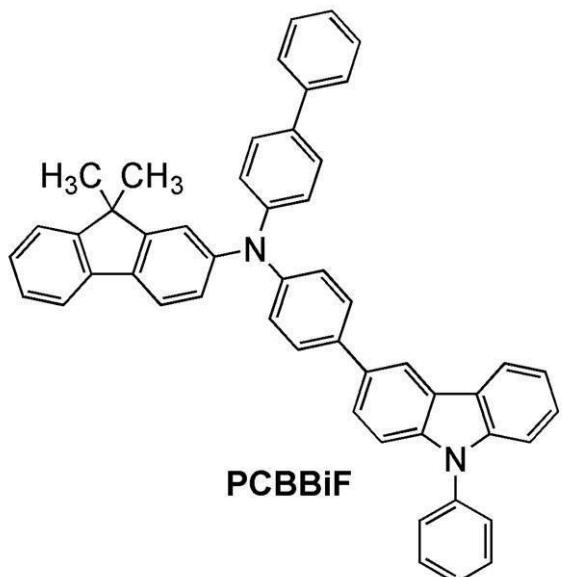
【化4】



10



20

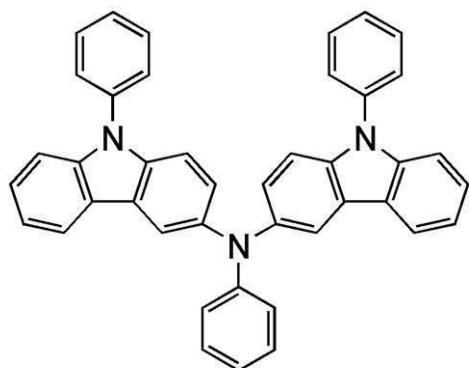


30

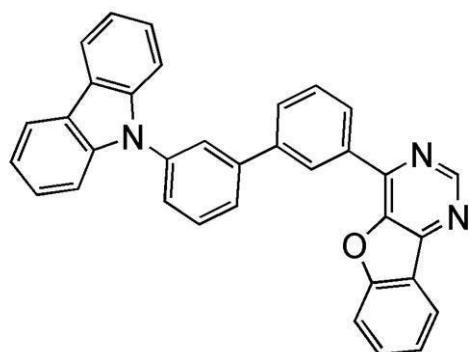
40

【0 3 6 5】

【化5】



PCzPCA1



4mCzBPBfPm

10

20

30

40

【0366】

【表4】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子1	電極	1102	200	Al	-
	電子注入層	1116	1	LiF	-
	電子輸送層	1115	15	Bphen	-
			10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	1113	40	4,6mCzP2Pm : Rubrene	1:0.005
	正孔輸送層	1112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	1111	20	DBT3P-II : MoO <sub>3</sub>	2:1
発光素子2	電極	1101	110	ITSO	-
	電極	1102	200	Al	-
	電子注入層	1116	1	LiF	-
	電子輸送層	1115	15	Bphen	-
			10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	1113	40	4,6mCzP2Pm : PCBBiF	0.8:0.2
	正孔輸送層	1112	20	BPAFLP	-
発光素子3	正孔注入層	1111	20	DBT3P-II : MoO <sub>x</sub>	2:1
	電極	1101	110	ITSO	-
	電極	1102	200	Al	-
	電子注入層	1116	1	LiF	-
	電子輸送層	1115	15	Bphen	-
			10	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	1113	40	4,6mCzP2Pm : PCBBiF : Rubrene	0.8:0.2:0.005
発光素子4	正孔輸送層	1112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	1111	20	DBT3P-II : MoO <sub>3</sub>	2:1
	電極	1101	110	ITSO	-
	電極	1102	200	Al	-
	電子注入層	1116	1	LiF	-
	電子輸送層	1115	15	Bphen	-
			10	4,6mCzP2Pm	-
【0367】	発光層	1113	40	4,6mCzP2Pm : PCBBiF : Rubrene	0.8:0.2:0.01
	正孔輸送層	1112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	1111	20	DBT3P-II : MoO <sub>3</sub>	2:1
	電極	1101	110	ITSO	-

【表5】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子5	電極	1102	200	Al	-
	電子注入層	1116	1	LiF	-
	電子輸送層	1115	10	Bphen	-
			20	4mCzBPBfPm	-
	発光層	1113	40	4mCzBPBfPm : PCzPCA1	0.8:0.2
	正孔輸送層	1112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	1111	20	DBT3P-II : MoO <sub>3</sub>	2:1
発光素子6	電極	1101	110	ITSO	-
	電極	1102	200	Al	-
	電子注入層	1116	1	LiF	-
	電子輸送層	1115	10	Bphen	-
			20	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	1113	40	4,6mCzP2Pm : PCzPCA1 : Rubrene	0.8:0.2:0.01
	正孔輸送層	1112	20	BPAFLP	-
発光素子7	正孔注入層	1111	20	DBT3P-II : MoO <sub>3</sub>	2:1
	電極	1101	110	ITSO	-
	電極	1102	200	Al	-
	電子注入層	1116	1	LiF	-
	電子輸送層	1115	10	Bphen	-
			20	4,6mCzP2Pm	-
	発光層	1113	40	4,6mCzP2Pm : PCzPCA1	0.8:0.2
20	正孔輸送層	1112	20	BPAFLP	-
	正孔注入層	1111	20	DBT3P-II : MoO <sub>3</sub>	2:1
	電極	1101	110	ITSO	-

## 【0368】

&lt;1-1. 発光素子1の作製方法&gt;

まず、基板1100上に電極1101として、酸化珪素を含むインジウム錫酸化物（略称：ITSO）をスパッタリング法により成膜した。なお、電極1101の膜厚を110 nmとし、電極1101の面積を4 mm<sup>2</sup>（2 mm×2 mm）とした。

## 【0369】

次に、有機化合物層の蒸着前の前処理として、基板1100の電極1101側を水で洗浄し、200で1時間焼成した後、電極1101の表面に対し、UVオゾン処理を370秒行った。

## 【0370】

その後、1×10<sup>-4</sup> Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板1100を導入し、真空蒸着装置内の加熱室において、170で30分間の真空焼成を行った後、基板1100を30分程度放冷した。

## 【0371】

次に、電極1101が形成された面が下方となるように、基板1100を真空蒸着装置内に設けられたホルダーに固定した。本実施例では、真空蒸着法により、正孔注入層1111、正孔輸送層1112、発光層1113、電子輸送層1115、電子注入層1116、電極1102を順次形成した。詳細な作製方法を以下に記す。

## 【0372】

まず、電極1101上に、正孔注入層1111として、DBT3P-IIと酸化モリブデン（略称：MoO<sub>3</sub>）とを、DBT3P-II : 酸化モリブデン = 2 : 1（重量比）となるように共蒸着した。なお、正孔注入層1111の膜厚を20 nmとした。

## 【0373】

次に、正孔注入層1111上に正孔輸送層1112を形成した。正孔輸送層1112としては、BPAFLPを蒸着した。なお、正孔輸送層1112の膜厚は20 nmとした。

## 【0374】

次に、正孔輸送層1112上に発光層1113を形成した。発光層1113として、4,6mCzP2Pmと、ルブレン（Rubrene）とを、4,6mCzP2Pm : Ru

10

20

30

40

50

*b r e n e* = 1 : 0 . 0 0 5 (重量比)となるよう共蒸着した。なお、発光層 1 1 1 3 の膜厚は、4 0 nmとした。なお、発光層 1 1 1 3において、4 , 6 m C z P 2 P mがホスト材料であり、*R u b r e n e*がゲスト材料である。

#### 【0375】

次に、発光層 1 1 1 3 上に電子輸送層 1 1 1 5 として、膜厚 1 0 nmの4 , 6 m C z P 2 P mと、膜厚 1 5 nmのバソフェナントロリン(略称：*B p h e n*)を順次蒸着した。次に、電子輸送層 1 1 1 5 上に電子注入層 1 1 1 6 として、膜厚 1 nmのフッ化リチウム(略称：*L i F*)を蒸着した。

#### 【0376】

次に、電子注入層 1 1 1 6 上に電極 1 1 0 2 として、アルミニウム(A1)を蒸着した。なお、電極 1 1 0 2 の膜厚は、2 0 0 nmとした。

#### 【0377】

上記により作製した基板 1 1 0 0 上の発光素子と、封止基板 1 1 5 0 とを大気に曝されないように窒素雰囲気のグローブボックス内において貼り合わせることにより封止した。具体的には、シール材を基板 1 1 0 0 上の発光素子の周囲に塗布し、基板 1 1 0 0 と封止基板 1 1 5 0 とを貼り合せた後、シール材に 3 6 5 nm の紫外光を 6 J / cm<sup>2</sup> 照射し、8 0 にて 1 時間熱処理した。

#### 【0378】

以上の工程により、発光素子 1 を作製した。

#### 【0379】

##### <1-2. 発光素子 2 の作製方法>

発光素子 2 は、先に記載の発光素子 1 と発光層 1 1 1 3 の構成が異なる。それ以外の構成については発光素子 1 と同じである。

#### 【0380】

発光素子 2 の発光層 1 1 1 3 としては、4 , 6 m C z P 2 P m と、*P C B B i F* と、を、4 , 6 m C z P 2 P m : *P C B B i F* = 0 . 8 : 0 . 2 (重量比)となるよう共蒸着した。なお、発光層 1 1 1 3 の膜厚は、4 0 nmとした。なお、発光層 1 1 1 3 において、4 , 6 m C z P 2 P mがホスト材料であり、*P C B B i F* がアシスト材料である。

#### 【0381】

##### <1-3. 発光素子 3 の作製方法>

発光素子 3 は、先に記載の発光素子 1 と発光層 1 1 1 3 の構成が異なる。それ以外の構成については発光素子 1 と同じである。

#### 【0382】

発光素子 3 の発光層 1 1 1 3 としては、4 , 6 m C z P 2 P m と、*P C B B i F* と、*R u b r e n e*とを、4 , 6 m C z P 2 P m : *P C B B i F* : *R u b r e n e* = 0 . 8 : 0 . 2 : 0 . 0 0 5 (重量比)となるよう共蒸着した。なお、発光層 1 1 1 3 の膜厚は、4 0 nmとした。なお、発光層 1 1 1 3 において、4 , 6 m C z P 2 P mがホスト材料であり、*P C B B i F* がアシスト材料であり、*R u b r e n e*がゲスト材料である。

#### 【0383】

##### <1-4. 発光素子 4 の作製方法>

発光素子 4 は、先に記載の発光素子 1 と発光層 1 1 1 3 の構成が異なる。それ以外の構成については発光素子 1 と同じである。

#### 【0384】

発光素子 4 の発光層 1 1 1 3 としては、4 , 6 m C z P 2 P m と、*P C B B i F* と、*R u b r e n e*とを、4 , 6 m C z P 2 P m : *P C B B i F* : *R u b r e n e* = 0 . 8 : 0 . 2 : 0 . 0 1 (重量比)となるよう共蒸着した。なお、発光層 1 1 1 3 の膜厚は、4 0 nmとした。なお、発光層 1 1 1 3 において、4 , 6 m C z P 2 P mがホスト材料であり、*P C B B i F* がアシスト材料であり、*R u b r e n e*がゲスト材料である。なお、発光素子 3 と発光素子 4 とでは、ゲスト材料の濃度が異なる。

#### 【0385】

10

20

30

40

50

## &lt; 1 - 5 . 発光素子 5 の作製方法 &gt;

発光素子 5 は、先に記載の発光素子 1 と、発光層 1 1 1 3 の構成および電子輸送層 1 1 1 5 の構成が異なる。それ以外の構成については発光素子 1 と同じである。

## 【 0 3 8 6 】

発光素子 5 の発光層 1 1 1 3 としては、4 - { 3 - [ 3 ' - ( 9 H - カルバゾール - 9 - イル ) ] ピフェニル - 3 - イル } ベンゾフロ [ 3 , 2 - d ] ピリミジン（略称：4 m C z B P B f P m）と、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：P C z P C A 1）とを、4 m C z B P B f P m : P C z P C A 1 = 0 . 8 : 0 . 2（重量比）となるよう共蒸着した。なお、発光層 1 1 1 3 の膜厚は、4 0 nm とした。なお、発光層 1 1 1 3 において、4 m C z B P B f P m がホスト材料であり、P C z P C A 1 がアシスト材料である。10

## 【 0 3 8 7 】

発光素子 5 の電子輸送層 1 1 1 5 は、膜厚 2 0 nm の 4 m C z B P B f P m と、膜厚 1 0 nm の B p h e n とした。

## 【 0 3 8 8 】

## &lt; 1 - 6 . 発光素子 6 の作製方法 &gt;

発光素子 6 は、先に記載の発光素子 1 と、発光層 1 1 1 3 の構成および電子輸送層 1 1 1 5 の構成が異なる。それ以外の構成については発光素子 1 と同じである。

## 【 0 3 8 9 】

発光素子 6 の発光層 1 1 1 3 としては、4 , 6 m C z P 2 P m と、P C z P C A 1 と、R u b r e n e とを、4 , 6 m C z P 2 P m : P C z P C A 1 : R u b r e n e = 0 . 8 : 0 . 2 : 0 . 0 1（重量比）となるよう共蒸着した。なお、発光層 1 1 1 3 の膜厚は、4 0 nm とした。なお、発光層 1 1 1 3 において、4 , 6 m C z P 2 P m がホスト材料であり、P C z P C A 1 がアシスト材料であり、R u b r e n e がゲスト材料である。20

## 【 0 3 9 0 】

発光素子 6 の電子輸送層 1 1 1 5 は、膜厚 2 0 nm の 4 , 6 m C z P 2 P m と、膜厚 1 0 nm の B p h e n とした。

## 【 0 3 9 1 】

## &lt; 1 - 7 . 発光素子 7 の作製方法 &gt;

発光素子 7 は、先に記載の発光素子 1 と、発光層 1 1 1 3 の構成および電子輸送層 1 1 1 5 の構成が異なる。それ以外の構成については発光素子 1 と同じである。30

## 【 0 3 9 2 】

発光素子 7 の発光層 1 1 1 3 としては、4 , 6 m C z P 2 P m と、P C z P C A 1 とを、4 , 6 m C z P 2 P m : P C z P C A 1 = 0 . 8 : 0 . 2（重量比）となるよう共蒸着した。なお、発光層 1 1 1 3 の膜厚は、4 0 nm とした。なお、発光層 1 1 1 3 において、4 , 6 m C z P 2 P m がホスト材料であり、P C z P C A 1 がアシスト材料である。

## 【 0 3 9 3 】

発光素子 7 の電子輸送層 1 1 1 5 は、膜厚 2 0 nm の 4 , 6 m C z P 2 P m と、膜厚 1 0 nm の B p h e n とした。

## 【 0 3 9 4 】

なお、上述の発光素子 1 乃至発光素子 7 の蒸着過程において、蒸着方法としては抵抗加熱法を用いた。40

## 【 0 3 9 5 】

## &lt; 1 - 8 . 発光素子 1 乃至発光素子 7 の特性 &gt;

発光素子 1 乃至発光素子 4 の輝度 - 電流密度特性を図 1 7 に、輝度 - 電圧特性を図 1 9 に、電流効率 - 輝度特性を図 2 1 に、電流 - 電圧特性を図 2 3 に、外部量子効率 - 輝度特性を図 2 5 に、それぞれ示す。また、発光素子 5 乃至発光素子 7 の輝度 - 電流密度特性を図 1 8 に、輝度 - 電圧特性を図 2 0 に、電流効率 - 輝度特性を図 2 2 に、電流 - 電圧特性を図 2 4 に、外部量子効率 - 輝度特性を図 2 6 に、それぞれ示す。なお、各発光素子の測定は室温（25℃に保たれた雰囲気）で行った。50

## 【0396】

また、外部量子効率が最大の時の発光素子1乃至発光素子7の素子特性を表6に示す。

## 【0397】

## 【表6】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	色度 (x,y)	輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	電流効率 (cd/A)	外部量子 効率(%)
発光素子 1	2.6	0.014	(0.48,0.51)	2.1	15	4.6
発光素子 2	2.4	0.0077	(0.35,0.58)	4.1	53	17
発光素子 3	2.5	0.039	(0.44,0.54)	12	31	8.9
発光素子 4	2.5	0.043	(0.48,0.51)	9.9	23	6.8
発光素子 5	2.9	0.89	(0.48,0.51)	290	32	11
発光素子 6	3.2	0.65	(0.49,0.50)	200	31	9.4
発光素子 7	2.8	0.20	(0.47,0.52)	69	34	11

## 【0398】

また、発光素子1乃至発光素子4に2.5mA/cm<sup>2</sup>の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図27に示す。また、発光素子5乃至発光素子7に2.5mA/cm<sup>2</sup>の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図28に示す。

## 【0399】

なお、4,6mCzP2Pm、及びPCBBiF単体の薄膜の発光スペクトルを測定したところ、ピーク波長は、それぞれ439nm、436nmであった。一方、図27に示すように、発光素子2の電界発光スペクトルのピーク波長は、527nmであった。すなわち、発光素子2は4,6mCzP2Pm及びPCBBiFそれぞれの発光と異なる発光スペクトルを示しており、発光素子2の電界発光スペクトルは、4,6mCzP2Pm及びPCBBiFとで形成する励起錯体が呈する発光である。

## 【0400】

また、4mCzBPFm、及びPCzPCA1単体の薄膜の発光スペクトルを測定したところ、ピーク波長は、それぞれ440nm、443nmであった。一方、図28に示すように、発光素子5の電界発光スペクトルのピーク波長は、567nmであった。すなわち、発光素子5は4mCzBPFm及びPCzPCA1それぞれの発光と異なる発光スペクトルを示しており、発光素子5の電界発光スペクトルは、4mCzBPFm及びPCzPCA1とで形成する励起錯体が呈する発光である。また、図28に示すように、発光素子7の電界発光スペクトルのピーク波長は、558nmであった。すなわち、発光素子7は4,6mCzP2Pm及びPCzPCA1それぞれの発光と異なる発光ス

10

20

30

40

50

ペクトルを示しており、発光素子7の電界発光スペクトルは、4,6mCzP2Pm及びPczPCA1とで形成する励起錯体が呈する発光である。

#### 【0401】

また、図27及び図28に示すように、発光素子1、発光素子3、発光素子4、及び発光素子6からは、ゲスト材料であるルブレンが呈する発光スペクトルを示しており、電界発光スペクトルのピーク波長はそれぞれ、557nm、553nm、559nm、及び557nmであった。したがって、発光素子2は、発光素子3及び発光素子4より短波長な発光ピーク波長を示すことから、高い発光エネルギーを有していることが分かり、4,6mCzP2PmとPCBBiFとが形成する励起錯体は、ルブレンをゲスト材料とする発光素子のホスト材料として用いることができる事が分かる。また、発光素子6と発光素子7とは同程度の発光ピーク波長を示すことから、同程度の発光エネルギーを有しているといえるが、発光素子6及び発光素子7の電界発光スペクトルの結果より、4,6mCzP2PmとPczPCA1とが形成する励起錯体は、ルブレンをゲスト材料とする発光素子のホスト材料として用いることができる事が分かる。10

#### 【0402】

また、4,6mCzP2Pm、PCBBiF、及びPczPCA1の燐光スペクトルを測定したところ、最も短波長側のピーク波長はそれぞれ、459nm、509nm、495nmであり、該ピーク波長から求めた燐光発光エネルギーはそれぞれ、2.70eV、2.44eV、2.51eVと算出された。なお、燐光スペクトルの測定方法は、実施の形態1で示した方法を用いた。なお、励起錯体は、一重項励起エネルギー準位と三重項励起エネルギー準位が互いに近接する性質を有するため、励起錯体の燐光スペクトルは、蛍光スペクトル（熱活性化遅延蛍光の発光スペクトル）と同一であると見なす。20

#### 【0403】

また、実施の形態1で示したように、ルブレンの三重項励起エネルギー準位の計算値は、0.95eVであった。

#### 【0404】

以上の結果より、4,6mCzP2Pm及びPCBBiFの燐光スペクトルは、両材料が形成する励起錯体の燐光スペクトルより短波長であり、4,6mCzP2Pm及びPCBBiFの三重項励起エネルギー準位は、両材料が形成する励起錯体の三重項励起エネルギー準位より高い。さらに、該励起錯体の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料であるルブレンの三重項励起エネルギー準位より高い。また、4,6mCzP2Pm及びPczPCA1の燐光スペクトルは、両材料が形成する励起錯体の発光スペクトルより短波長であり、4,6mCzP2Pm及びPCBBiFの三重項励起エネルギー準位は、両材料が形成する励起錯体の三重項励起エネルギー準位より高い。さらに、該励起錯体の三重項励起エネルギー準位は、ゲスト材料であるルブレンの三重項励起エネルギー準位より高い。したがって、4,6mCzP2Pm、PCBBiF、及びPczPCA1は、本発明の一態様の発光素子のホスト材料に好適である。30

#### 【0405】

図17乃至図26、及び表6に示すように、発光素子1の外部量子効率の最大値は、4.6%であり、発光素子2の外部量子効率の最大値は、17%であり、発光素子3の外部量子効率の最大値は、8.9%であり、発光素子4の外部量子効率の最大値は、6.8%であり、発光素子5の外部量子効率の最大値は、11%であり、発光素子6の外部量子効率の最大値は、9.4%であり、発光素子7の外部量子効率の最大値は、11%であった。40

#### 【0406】

発光素子2、発光素子5、及び発光素子7の外部量子効率の最大値は高いが、高輝度領域で効率が急激に低下する現象（ロールオフともいう）が生じている。一方で本発明の一態様である、発光素子3、発光素子4、及び発光素子6においては、発光素子1と比較し、外部量子効率の最大値が向上しており、さらに発光素子2、発光素子5、及び発光素子7でみられるロールオフも抑制されている。これは、本発明の一態様であるE×SETで50

しか成し得ない優れた効果である。

【0407】

また、図17乃至図26、及び表6に示すように、本発明の一態様の発光素子である発光素子3、発光素子4、及び発光素子6を比較した場合、発光素子6は高い発光効率を示しており、特に外部量子効率の最大値が9.4%と高く、優れた特性を示している。そこで、発光素子6がEXSETを利用して発光しているか調査するため、発光素子1、発光素子6、及び発光素子7について過渡EL測定を行った。発光素子1、発光素子6、及び発光素子7の過渡EL特性を図29に示す。また、発光素子6の過渡ELスペクトルを図30に示す。

【0408】

<1-9. 発光素子1、発光素子6、及び発光素子7の過渡EL測定>

測定にはピコ秒蛍光寿命測定システム（浜松ホトニクス社製）を用いた。本測定では、発光素子の過渡EL特性を測定するため、発光素子に矩形パルス電圧を印加し、その電圧の立下りから減衰していく発光をストリーカカメラにより時間分解測定した。また、測定は室温（25）で行った。

【0409】

図29において、縦軸は、定常的にキャリアが注入されている状態（パルス電圧のオン時）における発光強度で規格化した強度で示す。また、横軸は、パルス電圧の立下りからの経過時間を示す。

【0410】

図29に示す過渡EL特性から、発光素子6及び発光素子7は、発光素子1より発光寿命が長く、逆項間交差に基づく遅延蛍光を示すことが分かった。

【0411】

また、図30において、prompt ELは、測定した過渡ELスペクトルにおける初期成分であり、delayed ELは、遅延成分である。なお、初期成分は、電圧を印加中の発光成分とし、遅延成分は、電圧の印加後、8μs乃至45μsにおける発光成分とした。

【0412】

図30に示すように、初期及び遅延ELスペクトルの双方とも、ゲスト材料であるルブレンの発光スペクトルに概ね一致している。したがって、SEの初期励起子（注入されたキャリアの再結合により直接生成した一重項励起子）と、逆項間交差により生成したSEの遅延励起子（三重項励起子の逆項間交差により生成した一重項励起子）との双方のエネルギーがルブレンのSGに移動し、発光に寄与していると示唆される。

【0413】

以上のように、EXSETを利用してすることで、本発明の一態様の発光素子は、高い発光効率を有することが確認できた。

【0414】

以上、本実施例に示す構成は、他の実施例及び実施の形態と適宜組み合わせて用いる事ができる。

【実施例2】

【0415】

本実施例では、本発明の一態様である発光素子、及び比較用の発光素子の作製例を示す。なお、本実施例においては、発光素子8及び発光素子9を作製した。

【0416】

なお、発光素子8は、EXSETを利用して本発明の一態様の発光素子であり、発光素子9は、エキサイプレックス発光を利用して比較用の発光素子である。発光素子8及び発光素子9の断面模式図を図16に、素子構造の詳細を表7に、使用した化合物の構造と略称を以下に示す。なお、下記に示す化合物以外は実施例1に示す化合物と同様の化合物を用いた。

【0417】

10

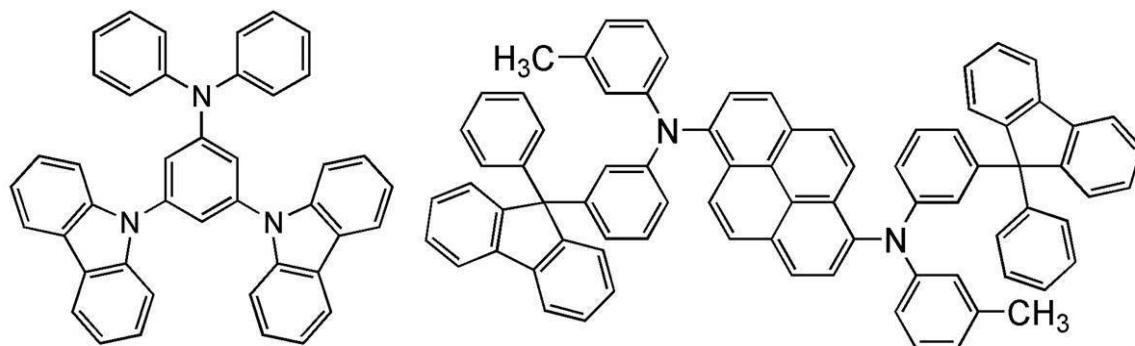
20

30

40

50

## 【化6】



10

DPhAmCP

1,6mMemFLPAPrn

## 【0418】

## 【表7】

	層	符号	膜厚 (nm)	材料	重量比
発光素子8	電極	1102	200	Al	-
	電子注入層	1116	1	LiF	-
	電子輸送層	1115	15	Bphen	-
			10	4mCzBPBfPm	-
	発光層	1113	30	4mCzBPBfPm : DPhAmCP : 1,6mMemFLPAPrn	0.8:0.2:0.005
	正孔輸送層	1112	20	DPhAmCP	-
	正孔注入層	1111	15	DBT3P-II : MoO <sub>3</sub>	2:1
発光素子9	電極	1101	70	ITSO	-
	電子注入層	1102	200	Al	-
	電子輸送層	1116	1	LiF	-
			15	Bphen	-
			10	4mCzBPBfPm	-
	発光層	1113	30	4mCzBPBfPm : DPhAmCP	0.8:0.2
	正孔輸送層	1112	20	DPhAmCP	-
	正孔注入層	1111	15	DBT3P-II : MoO <sub>3</sub>	2:1
	電極	1101	70	ITSO	-

20

## 【0419】

30

## &lt;2-1. 発光素子8の作製方法&gt;

まず、基板1100上に電極1101として、ITSOをスパッタリング法により成膜した。なお、電極1101の膜厚を70nmとし、電極1101の面積を4mm<sup>2</sup>(2mm×2mm)とした。

## 【0420】

次に、有機化合物層の蒸着前の前処理として、基板1100の電極1101側を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、電極1101の表面に対し、UVオゾン処理を370秒行った。

## 【0421】

その後、1×10<sup>-4</sup>Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板1100を導入し、真空蒸着装置内の加熱室において、170℃で30分間の真空焼成を行った後、基板1100を30分程度放冷した。

## 【0422】

次に、電極1101が形成された面が下方となるように、基板1100を真空蒸着装置内に設けられたホルダーに固定した。本実施例では、真空蒸着法により、正孔注入層1111、正孔輸送層1112、発光層1113、電子輸送層1115、電子注入層1116、電極1102を順次形成した。詳細な作製方法を以下に記す。

## 【0423】

まず、電極1101上に、正孔注入層1111として、DBT3P-IIと酸化モリブデンとを、DBT3P-II : 酸化モリブデン = 2 : 1(重量比)となるように共蒸着し

40

50

た。なお、正孔注入層 1111 の膜厚を 15 nm とした。

【0424】

次に、正孔注入層 1111 上に正孔輸送層 1112 を形成した。正孔輸送層 1112 としては、3,5-ジ(カルバゾール-9-イル)-N,N-ジフェニルアニリン(略称:DPhAmCP)を蒸着した。なお、正孔輸送層 1112 の膜厚は 20 nm とした。

【0425】

次に、正孔輸送層 1112 上に発光層 1113 を形成した。発光層 1113 として、4mCzBpBfPm と、DPhAmCP と、1,6mMemFLPAPrn とを、4mCzBpBfPm:DPhAmCP:1,6mMemFLPAPrn = 0.8:0.2:0.005(重量比)となるよう共蒸着した。なお、発光層 1113 の膜厚は、30 nm とした。なお、発光層 1113 において、4mCzBpBfPm がホスト材料であり、DPhAmCP がアシスト材料であり、1,6mMemFLPAPrn がゲスト材料である。

【0426】

次に、発光層 1113 上に電子輸送層 1115 として、膜厚 10 nm の 4mCzBpBfPm と、膜厚 15 nm の Bphen を順次蒸着した。次に、電子輸送層 1115 上に電子注入層 1116 として、膜厚 1 nm の LiF を蒸着した。

【0427】

次に、電子注入層 1116 上に電極 1102 として、Al を蒸着した。なお、電極 1102 の膜厚は、200 nm とした。

【0428】

上記により作製した基板 1100 上の発光素子と、封止基板 1150 とを大気に曝されないように窒素雰囲気のグローブボックス内において貼り合わせることにより封止した。なお、封止方法は、実施例 1 に示す発光素子 1 と同様である。

【0429】

以上の工程により、発光素子 8 を作製した。

【0430】

<2-2. 発光素子 9 の作製方法>

発光素子 9 は、先に記載の発光素子 8 と発光層 1113 の構成が異なる。それ以外の構成については発光素子 8 と同じである。

【0431】

発光素子 9 の発光層 1113 としては、4mCzBpBfPm と、DPhAmCP と、を、4mCzBpBfPm:DPhAmCP = 0.8:0.2(重量比)となるよう共蒸着した。なお、発光層 1113 の膜厚は、40 nm とした。なお、発光層 1113 において、4mCzBpBfPm がホスト材料であり、DPhAmCP がアシスト材料である。

【0432】

なお、上述の発光素子 8 及び発光素子 9 の蒸着過程において、蒸着方法としては抵抗加熱法を用いた。

【0433】

<2-3. 発光素子 8 及び発光素子 9 の特性>

発光素子 8 及び発光素子 9 の輝度 - 電流密度特性を図 31 に、輝度 - 電圧特性を図 32 に、電流効率 - 輝度特性を図 33 に、電流 - 電圧特性を図 34 に、外部量子効率 - 輝度特性を図 35 に、それぞれ示す。なお、各発光素子の測定は室温(25℃に保たれた雰囲気)で行った。

【0434】

また、外部量子効率が最大の時の発光素子 8 及び発光素子 9 の素子特性を表 8 に示す。

【0435】

10

20

30

40

【表8】

	電圧 (V)	電流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	色度 (x,y)	輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	電流効率 (cd/A)	外部量子 効率(%)
発光素子 8	2.9	0.92	(0.14,0.17)	77	8.3	6.9
発光素子 9	3.0	1.6	(0.15,0.14)	32	2.0	1.8

10

## 【0436】

また、発光素子8及び発光素子9に2.5mA/cm<sup>2</sup>の電流密度で電流を流した際の電界発光スペクトルを図36に示す。

## 【0437】

図36に示すように、発光素子8及び発光素子9は、青色の波長帯域に電界発光スペクトルを有する。なお、発光素子8及び発光素子9に用いているホスト材料である4mCzBpBfPm及びアシスト材料であるDPhAmCPの単体の薄膜の発光スペクトルを測定したところ、ピーク波長は、それぞれ440nm、375nmであった。一方、発光素子9の電界発光スペクトルのピーク波長は457nmであった。すなわち、発光素子9は4mCzBpBfPm及びDPhAmCPそれぞれの発光と異なる発光スペクトルを示しており、発光素子9の電界発光スペクトルは、4mCzBpBfPmとDPhAmCPとで形成する励起錯体が呈する発光である。

20

## 【0438】

また、発光素子8の電界発光スペクトルは、ピーク波長が465nmと、ゲスト材料である1,6mMemFLPAPrnが呈する発光スペクトルを示しており、4mCzBpBfPmとDPhAmCPとで形成する励起錯体が呈する発光は見られない。また、発光素子9は発光素子8より短波長な発光ピークを示しており、高い発光エネルギーを有していることが分かる。これらのことから、発光素子8において形成される励起錯体の励起エネルギーは、効率よくゲスト材料にエネルギー移動しているといえる。

30

## 【0439】

すなわち、4mCzBpBfPmのように、縮合複素環骨格を有し、該縮合複素環骨格がジアジン骨格を有する化合物は、青色の発光素子に好適に用いることができる。また、DPhAmCPのように、カルバゾール骨格と芳香族アミン骨格とが、カルバゾール骨格の9位において結合する化合物は、青色の発光素子に好適に用いることができる。また、4mCzBpBfPmのように、縮合複素環骨格を有し、該縮合複素環骨格がジアジン骨格を有する化合物と、DPhAmCPのように、カルバゾール骨格と芳香族アミン骨格とが、カルバゾール骨格の9位において結合する化合物と、が形成する励起錯体は青色の発光素子のホスト材料として好適に用いることができる。

30

## 【0440】

また、図31乃至図35、及び表8に示すように、本発明の一態様の発光素子8は、青色の発光を呈する発光素子として高い発光効率を示しており、特に外部量子効率の最大値が6.9%と高い値を示している。また、発光素子8においては、高輝度領域でのロールオフも抑制されている。これは、本発明の一態様であるE×SETでしかなし得ない優れた効果である。

40

## 【0441】

以上のように、E×SETを用いることで、本発明の一態様の発光素子は、高い発光効率を有することが確認できた。

## 【0442】

以上、本実施例に示す構成は、他の実施例及び実施の形態と適宜組み合わせて用いる事

50

ができる。

【符号の説明】

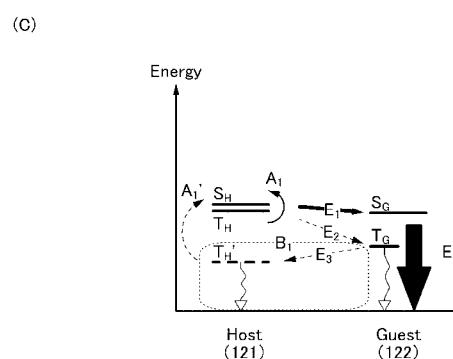
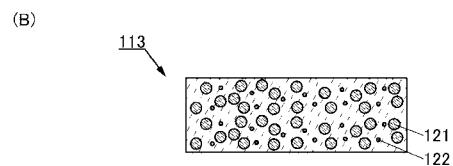
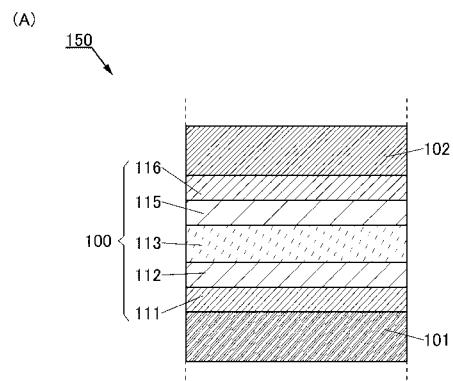
【0 4 4 3】

1 0 0	E L 層	
1 0 1	電極	
1 0 2	電極	
1 1 1	正孔注入層	
1 1 2	正孔輸送層	
1 1 3	発光層	
1 1 5	電子輸送層	10
1 1 6	電子注入層	
1 2 1	ホスト材料	
1 2 1 _ 1	有機化合物	
1 2 1 _ 2	有機化合物	
1 2 2	ゲスト材料	
1 5 0	発光素子	
4 0 1	電極	
4 0 2	電極	
4 1 1	正孔注入層	
4 1 2	正孔輸送層	20
4 1 3	電子輸送層	
4 1 4	電子注入層	
4 1 5	正孔注入層	
4 1 6	正孔輸送層	
4 1 7	電子輸送層	
4 1 8	電子注入層	
4 2 1	ホスト材料	
4 2 1 _ 1	有機化合物	
4 2 1 _ 2	有機化合物	
4 2 2	ゲスト材料	30
4 3 1	ホスト材料	
4 3 1 _ 1	有機化合物	
4 3 1 _ 2	有機化合物	
4 3 2	ゲスト材料	
4 4 1	発光ユニット	
4 4 2	発光ユニット	
4 4 3	発光層	
4 4 4	発光層	
4 4 5	電荷発生層	
4 4 6	発光ユニット	40
4 4 7	発光ユニット	
4 4 8	発光層	
4 4 9	発光層	
4 5 0	発光素子	
4 5 2	発光素子	
4 6 1	ホスト材料	
4 6 2	ゲスト材料	
4 7 1	ホスト材料	
4 7 1 _ 1	有機化合物	
4 7 1 _ 2	有機化合物	50

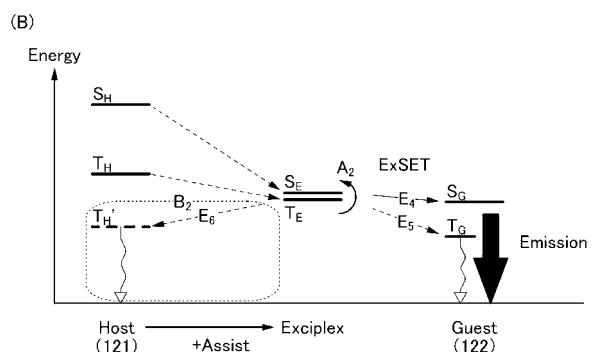
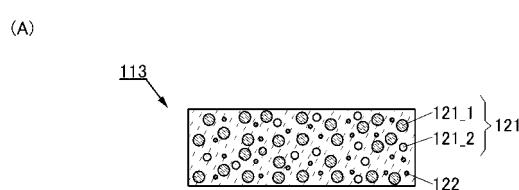
4 7 2	ゲスト材料	
8 0 1	画素回路	
8 0 2	画素部	
8 0 4	駆動回路部	
8 0 4 a	走査線駆動回路	
8 0 4 b	信号線駆動回路	
8 0 6	保護回路	
8 0 7	端子部	
8 5 2	トランジスタ	10
8 5 4	トランジスタ	
8 6 2	容量素子	
8 7 2	発光素子	
1 1 0 0	基板	
1 1 0 1	電極	
1 1 0 2	電極	
1 1 1 1	正孔注入層	
1 1 1 2	正孔輸送層	
1 1 1 3	発光層	
1 1 1 5	電子輸送層	
1 1 1 6	電子注入層	20
1 1 5 0	封止基板	
2 0 0 0	タッチパネル	
2 0 0 1	タッチパネル	
2 5 0 1	表示装置	
2 5 0 2 R	画素	
2 5 0 2 t	トランジスタ	
2 5 0 3 c	容量素子	
2 5 0 3 g	走査線駆動回路	
2 5 0 3 s	信号線駆動回路	
2 5 0 3 t	トランジスタ	30
2 5 0 9	FPC	
2 5 1 0	基板	
2 5 1 0 a	絶縁層	
2 5 1 0 b	可撓性基板	
2 5 1 0 c	接着層	
2 5 1 1	配線	
2 5 1 9	端子	
2 5 2 1	絶縁層	
2 5 2 8	隔壁	
2 5 5 0 R	発光素子	40
2 5 6 0	封止層	
2 5 6 7 B M	遮光層	
2 5 6 7 p	反射防止層	
2 5 6 7 R	着色層	
2 5 7 0	基板	
2 5 7 0 a	絶縁層	
2 5 7 0 b	可撓性基板	
2 5 7 0 c	接着層	
2 5 8 0 R	発光モジュール	
2 5 9 0	基板	50

2 5 9 1	電極	
2 5 9 2	電極	
2 5 9 3	絶縁層	
2 5 9 4	配線	
2 5 9 5	タッチセンサ	
2 5 9 7	接着層	
2 5 9 8	配線	
2 5 9 9	接続層	
2 6 0 1	パルス電圧出力回路	
2 6 0 2	電流検出回路	10
2 6 0 3	容量	
2 6 1 1	トランジスタ	
2 6 1 2	トランジスタ	
2 6 1 3	トランジスタ	
2 6 2 1	電極	
2 6 2 2	電極	
8 0 0 0	表示モジュール	
8 0 0 1	上部カバー	
8 0 0 2	下部カバー	
8 0 0 3	FPC	20
8 0 0 4	タッチセンサ	
8 0 0 5	FPC	
8 0 0 6	表示装置	
8 0 0 9	フレーム	
8 0 1 0	プリント基板	
8 0 1 1	バッテリ	
8 5 0 1	照明装置	
8 5 0 2	照明装置	
8 5 0 3	照明装置	
8 5 0 4	照明装置	30
9 0 0 0	筐体	
9 0 0 1	表示部	
9 0 0 3	スピーカ	
9 0 0 5	操作キー	
9 0 0 6	接続端子	
9 0 0 7	センサ	
9 0 0 8	マイクロフォン	
9 0 5 0	操作ボタン	
9 0 5 1	情報	
9 0 5 2	情報	40
9 0 5 3	情報	
9 0 5 4	情報	
9 0 5 5	ヒンジ	
9 1 0 0	携帯情報端末	
9 1 0 1	携帯情報端末	
9 1 0 2	携帯情報端末	
9 2 0 0	携帯情報端末	
9 2 0 1	携帯情報端末	

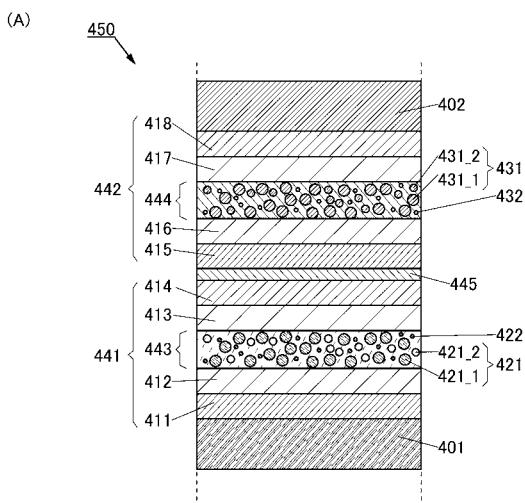
【図1】



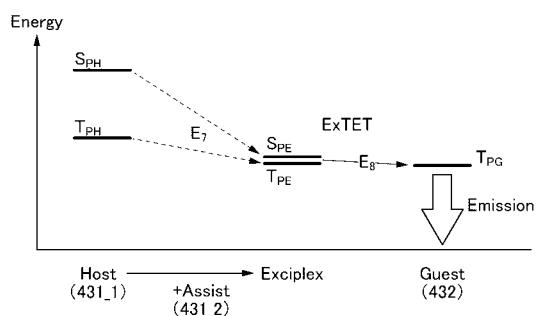
【図2】



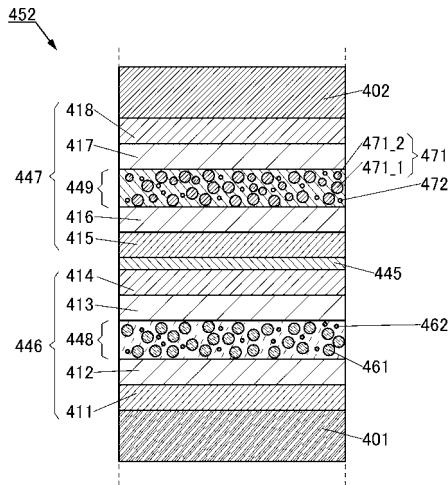
【図5】



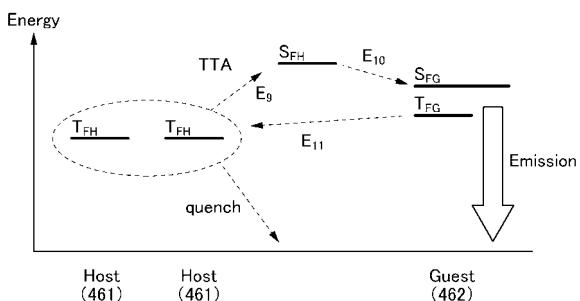
(B)



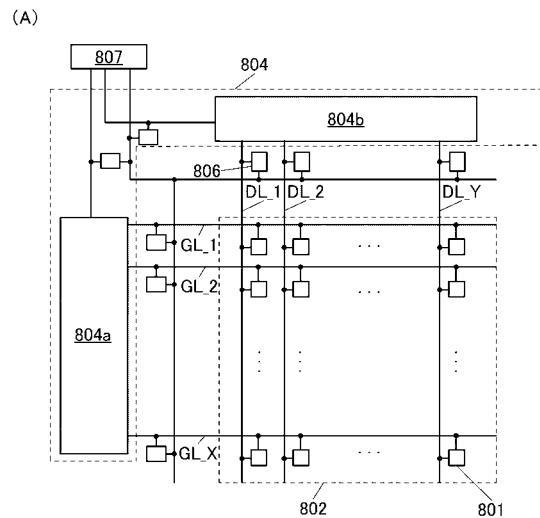
【図6】



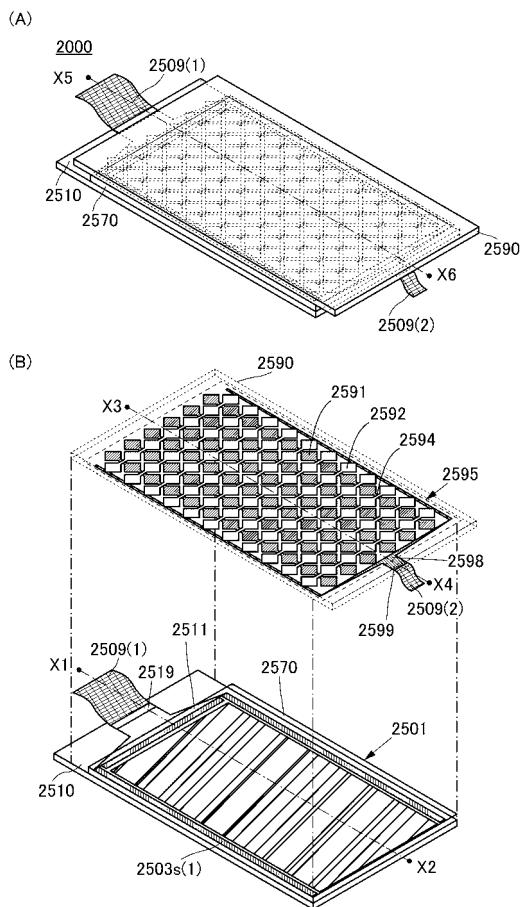
(B)



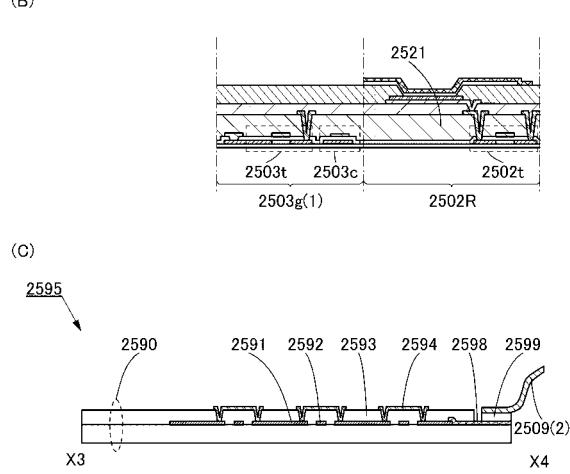
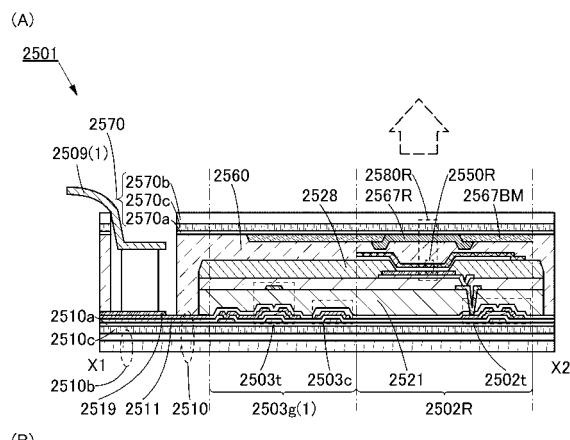
【図7】



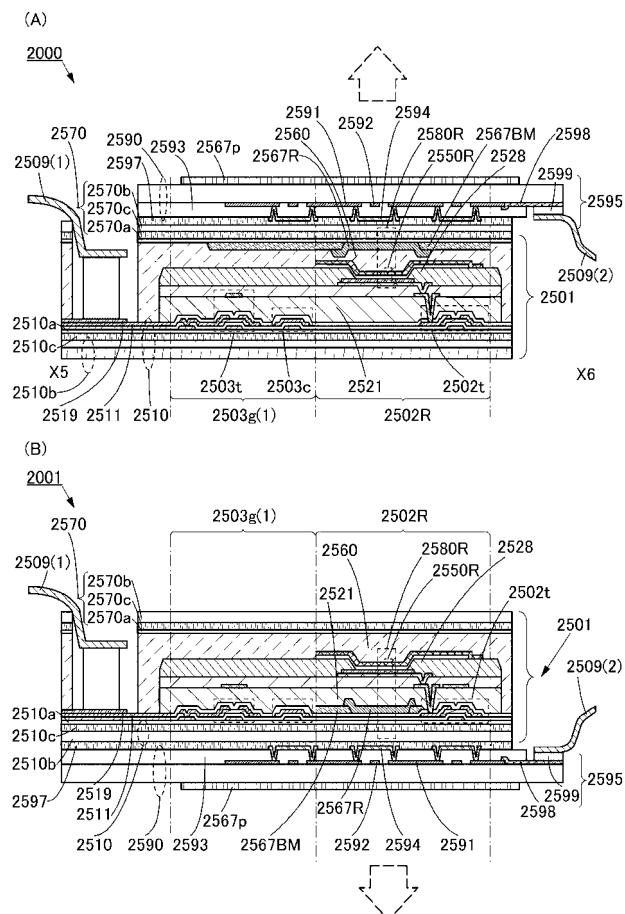
【図8】



【図9】

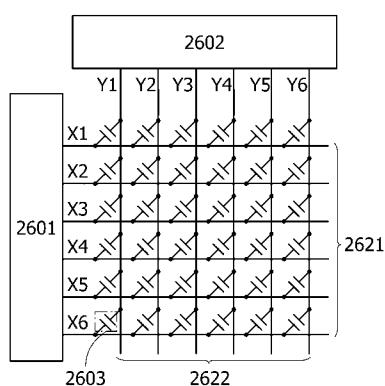


【図10】

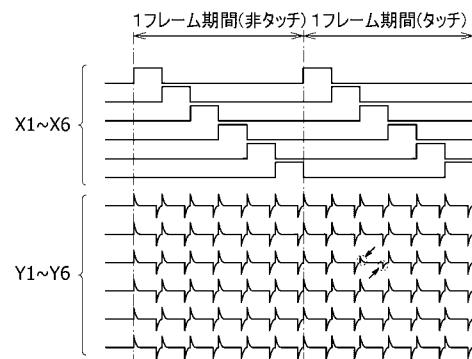


【図 1 1】

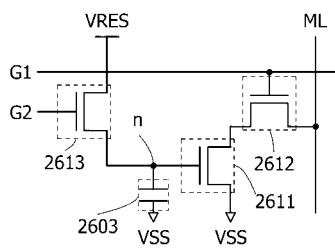
(A)



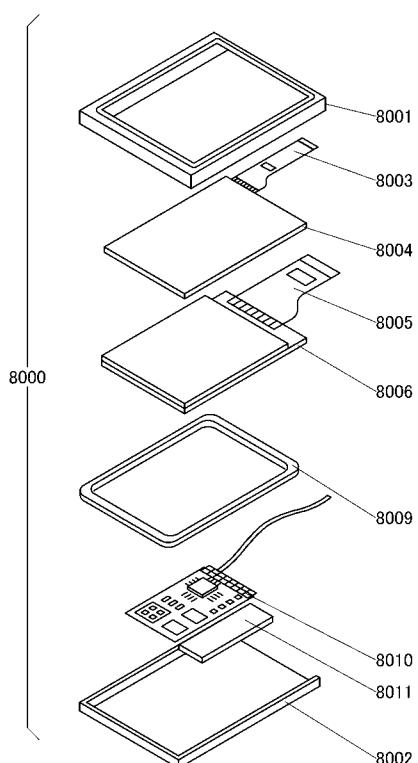
(B)



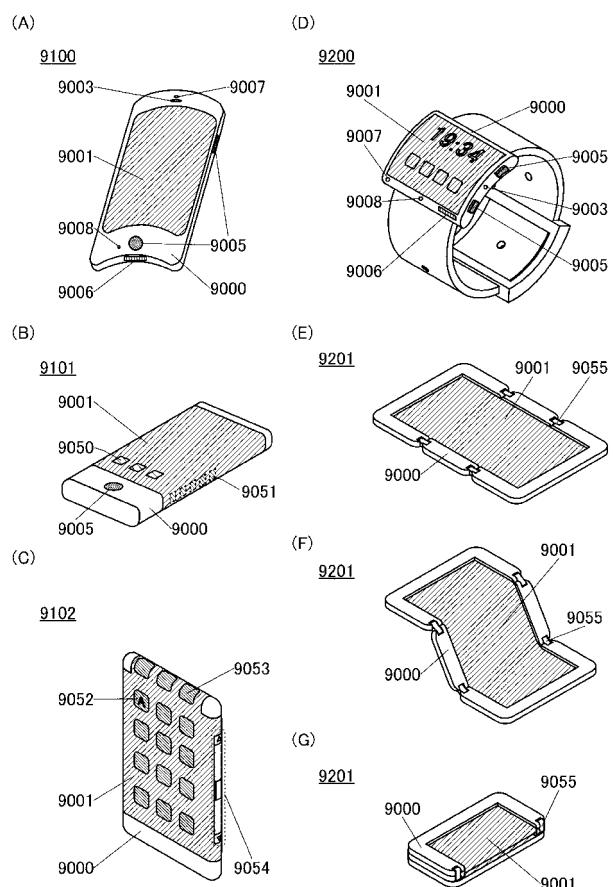
【図 1 2】



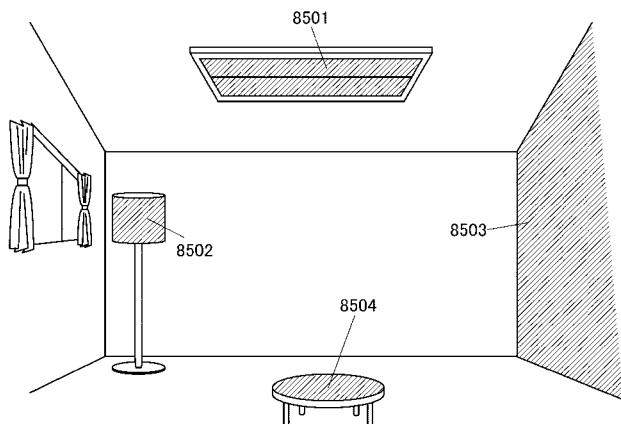
【図 1 3】



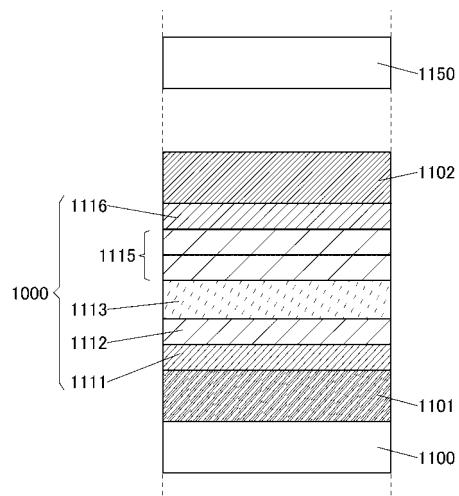
【図 1 4】



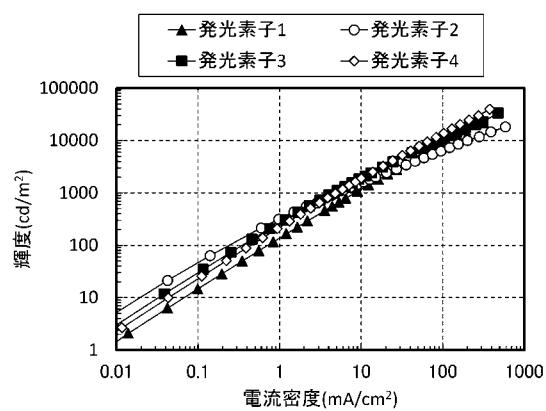
【図15】



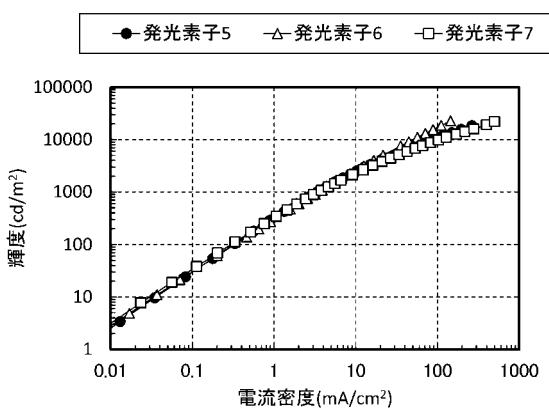
【図16】



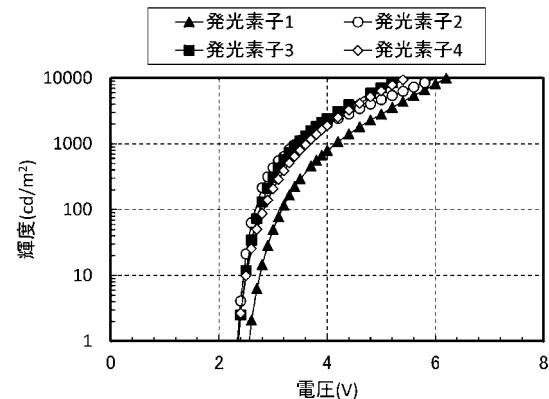
【図17】



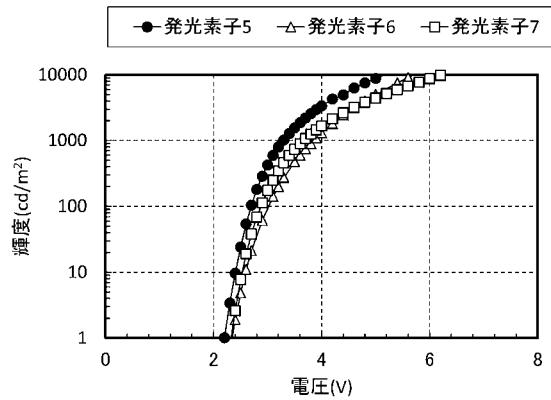
【図18】



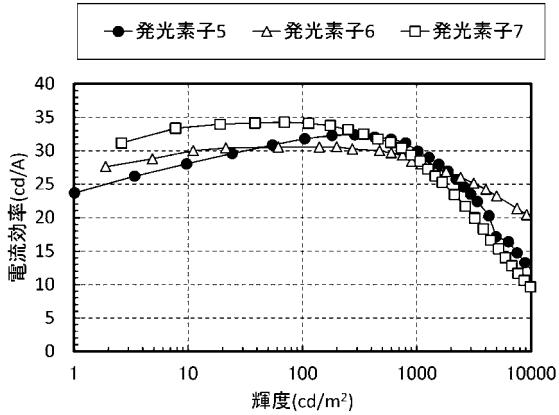
【図19】



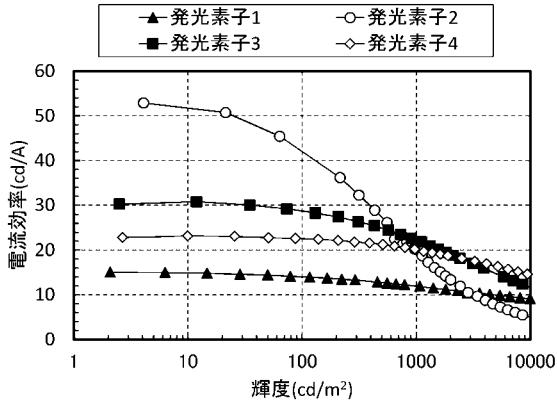
【図20】



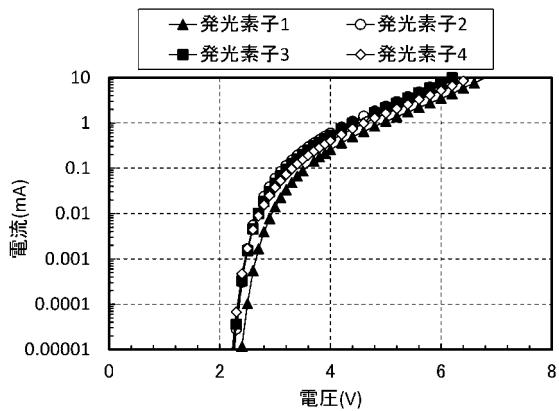
【図22】



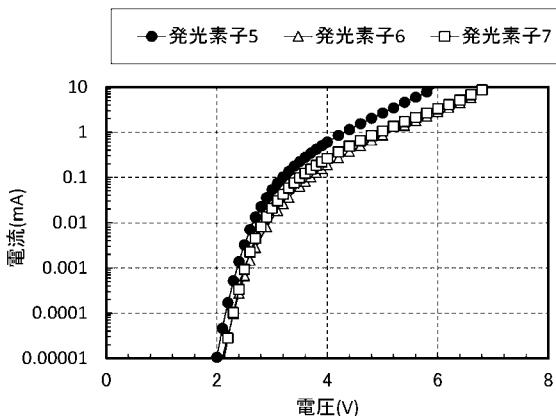
【図21】



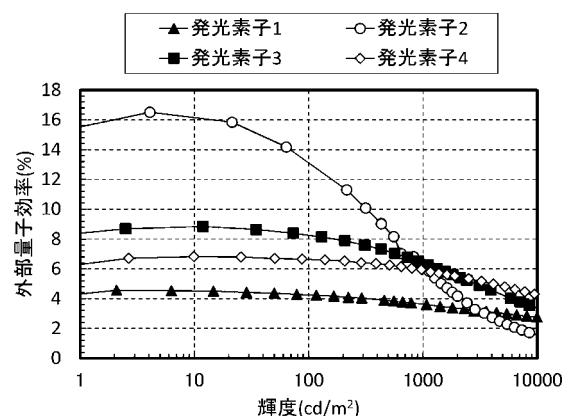
【図23】



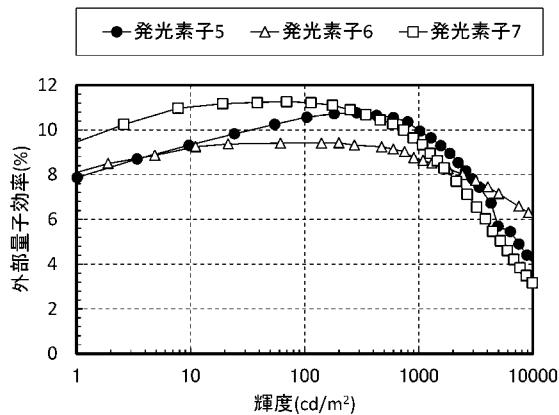
【図24】



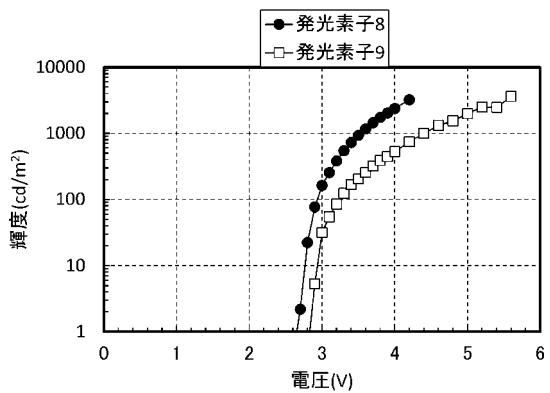
【図25】



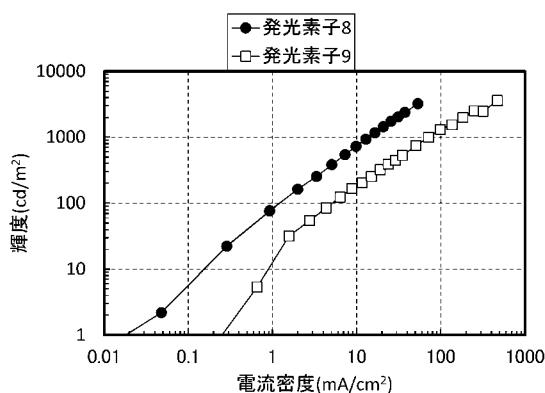
【図26】



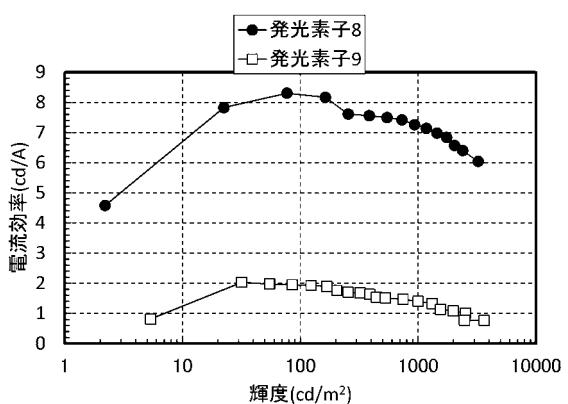
【図32】



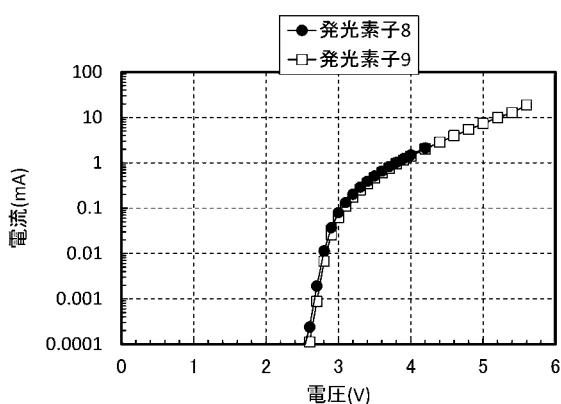
【図31】



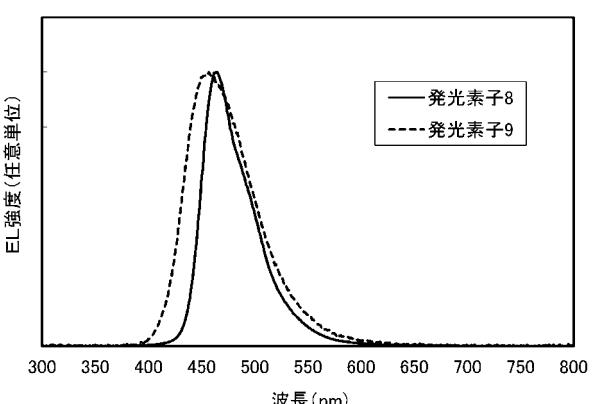
【図33】



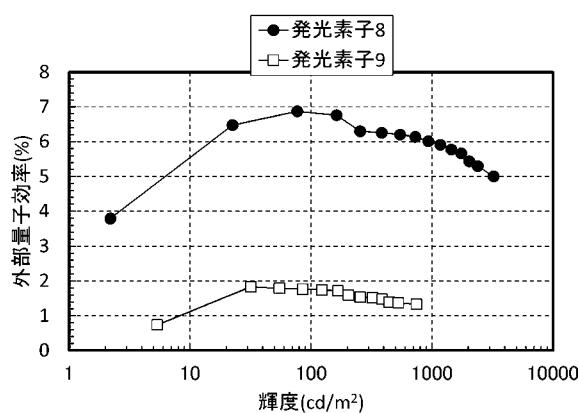
【図34】



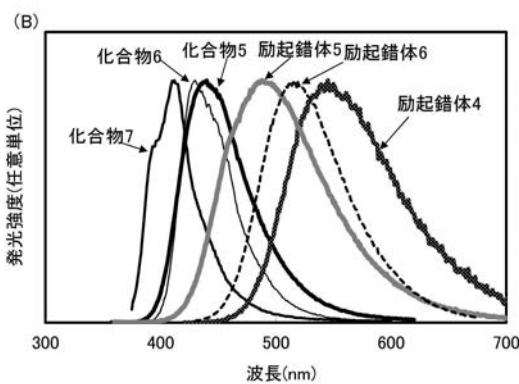
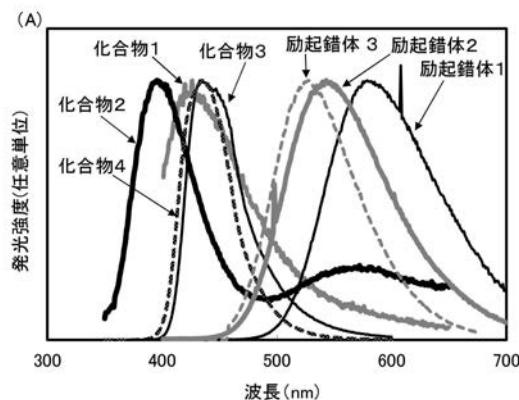
【図36】



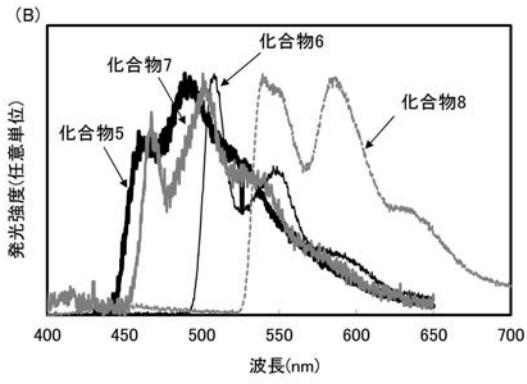
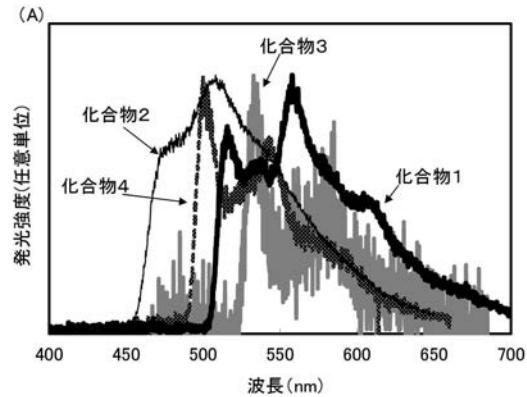
【図35】



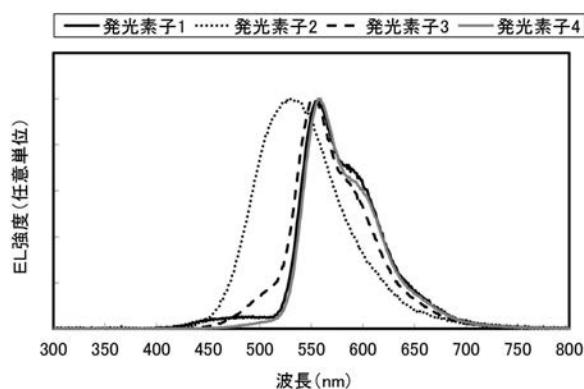
【図3】



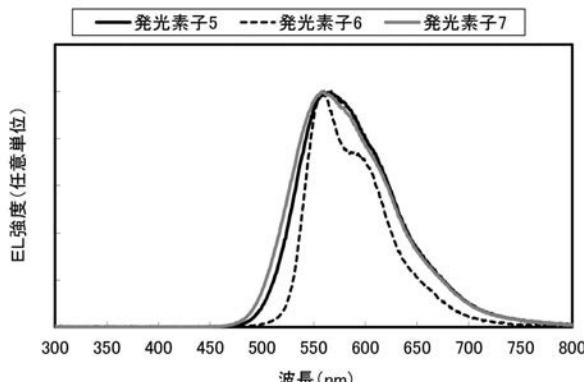
【図4】



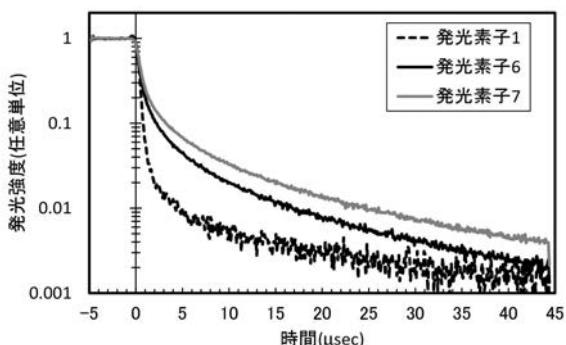
【図27】



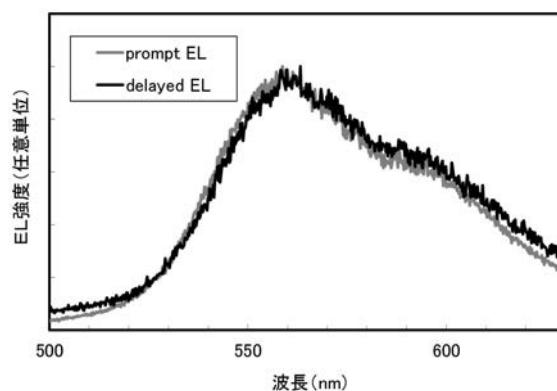
【図28】



【図29】



【図30】



---

フロントページの続き

F ターム(参考) 3K107 AA01 BB01 BB02 CC04 CC14 DD53 DD66 DD67 DD68 DD69  
EE22 EE66 FF14 FF19 FF20