

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年11月21日(21.11.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/220283 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 51/50 (2006.01) H05B 33/02 (2006.01)
G09F 9/30 (2006.01) H05B 33/24 (2006.01)
H01L 27/32 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/IB2019/053851

(22) 国際出願日: 2019年5月10日(10.05.2019)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2018-096504 2018年5月18日(18.05.2018) JP

(71) 出願人: 株式会社半導体エネルギー研究所
(SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY

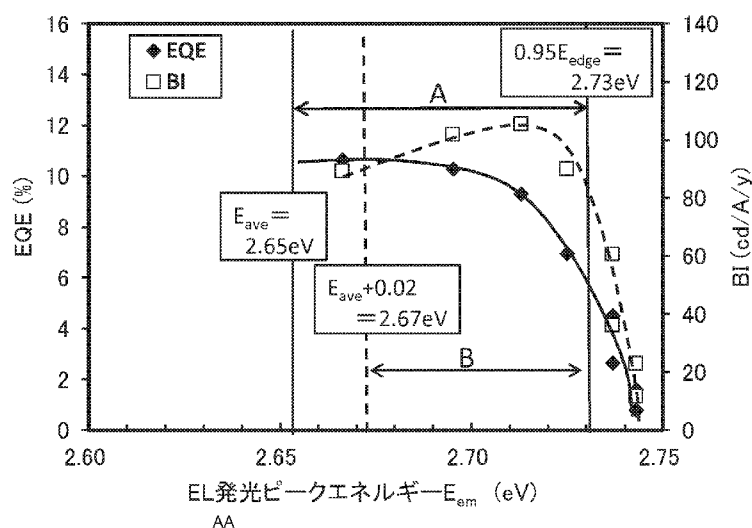
CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2430036 神奈川県厚木市長谷398 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 瀬尾哲史(SEO, Satoshi); 〒2430036 神奈川県厚木市長谷398 株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP). 佐々木俊毅(SASAKI, Toshiki); 〒2430036 神奈川県厚木市長谷398 株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP). 山岡諒平(YAMAOKA, Ryohei); 〒2430036 神奈川県厚木市長谷398 株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP). 野村詩穂(NOMURA, Shiho); 〒2430036 神奈川県厚木市長谷398 株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP).

(54) Title: LIGHT-EMITTING ELEMENT, LIGHT-EMITTING DEVICE, ELECTRONIC DEVICE, AND ILLUMINATION DEVICE

(54) 発明の名称: 発光素子、発光装置、電子機器および照明装置

[図3]



AA EL emission peak energy

(57) Abstract: Provided is a novel light-emitting element. Further provided is a light-emitting element having high luminous efficiency. Further provided is a light-emitting element having a high blue index (BI). Further provided is a light-emitting element having low energy consumption. Provided is a light-emitting element comprising a first electrode, a second electrode, and an EL layer sandwiched between the first electrode and the second electrode, wherein one of the first electrode and the second electrode is a reflective electrode, while the other is semi-transmissive/semi-reflective

[続葉有]

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

electrode. The EL layer has a luminescent center material, and when the luminescent center material in the EL layer is a single material, the photon energy at the peak wavelength of the light emitted from the light-emitting element is designed on the basis of the mean value of the photon energy of the light emitted by the luminescent center material in a solution state, and the energy on the light-emitting end on the short wavelength side of the emission spectrum in the solution state of the luminescent center material.

(57) 要約: 要約書 新規発光素子を提供する。発光効率の高い発光素子を提供する。ブルーインデックス (B I) の高い発光素子を提供する。消費電力の小さい発光素子を提供する。第1の電極と、第2の電極と、前記第1の電極と前記第2の電極との間に挟まれたEL層とを有し、前記第1の電極および前記第2の電極の一方が、反射電極、他方が半透過半反射電極である発光素子において、前記EL層は、発光中心物質を有し、前記EL層における前記発光中心物質は1種のみであるとき、前記発光中心物質が溶液状態において発する光のフォトンエネルギーの平均値と、前記発光中心物質の前記溶液状態における発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギーから、前記発光素子から発する光のピーク波長のフォトンエネルギーが設計された発光素子を提供する。

明細書

発明の名称

発光素子、発光装置、電子機器および照明装置

技術分野

[0001]

本発明の一態様は、発光素子、発光装置、電子機器および照明装置に関する。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、撮像装置、それらの駆動方法、または、それらの製造方法、を一例として挙げることができる。

背景技術

[0002]

有機化合物を用いたエレクトロルミネッセンス（EL：Electroluminescence）を利用する発光素子（有機EL素子）の実用化が進んでいる。これら発光素子の基本的な構成は、一対の電極間に発光材料を含む有機化合物層（EL層）を挟んだものである。この素子に電圧を印加して、キャリアを注入し、当該キャリアの再結合エネルギーを利用することにより、発光材料からの発光を得ることができる。

[0003]

このような発光素子は自発光型であるためディスプレイの画素として用いると、液晶に比べ、視認性が高い、バックライトが不要である等の利点があることから、フラットパネルディスプレイ素子としてより好適である。また、このような発光素子を用いたディスプレイは、薄型軽量に作製できることも大きな利点である。さらに非常に応答速度が速いことも特徴の一つである。

[0004]

また、これらの発光素子は発光層を二次元に連続して形成することが可能であるため、面状に発光を得ることができる。これは、白熱電球やLEDに代表される点光源、あるいは蛍光灯に代表される線光源では得難い特色であるため、当該発光素子は照明等に应用できる面光源としての利用価値も高い。

[0005]

このように発光素子を用いたディスプレイや照明装置はさまざまな電子機器に適用好適であるが、より良好な特性を有する発光素子を求めて研究開発が進められている。

[0006]

発光素子の重要な特性の一つに外部量子効率に代表される発光効率がある。発光効率が良好な発光素子は消費電力を低減させることができることから、年々厳しさを増す世界のエネルギー環境を鑑みるに、当該効率は高ければ高いほど良い。

[先行技術文献]

[特許文献]

[0007]

[特許文献1] 特開2015-187982号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008]

本発明の一態様は、新規発光素子を提供することを目的とする。または、本発明の他の一態様は、発光効率の高い発光素子を提供することを目的とする。または、本発明の他の一態様は、ブルーインデックス(BI)の高い発光素子を提供することを目的とする。本発明の他の一態様は、消費電力の小さい発光素子を提供することを目的とする。

[0009]

または、本発明の他の一態様は、消費電力の小さい発光素子、発光装置、電子機器、照明装置および電子デバイスを各々提供することを目的とする。

[0010]

なお、これらの課題の記載は、他の課題の存在を妨げるものではない。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ものとする。明細書、図面、請求項の記載から、これら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

[0011]

本発明の一態様は、第1の電極と、第2の電極と、前記第1の電極と前記第2の電極との間に挟まれたEL層とを有し、前記第1の電極および前記第2の電極の一方が、反射電極、他方が半透過半反射電極である発光素子において、前記EL層は、発光中心物質を有し、前記発光中心物質が溶液状態において発する光のフォトンエネルギーの平均値を E_{ave} [eV]とし、前記発光中心物質の前記溶液状態における発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギーを E_{edge} [eV]とすると、前記発光素子から発する光のピーク波長のフォトンエネルギー E_{em} [eV]が、下記式(1)で表される発光素子である。

[0012]

$$E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge} \quad \dots (1)$$

[0013]

または、本発明の他の一態様は、上記構成において、前記発光中心物質が青色発光を呈する発光素子である。

[0014]

または、本発明の他の一態様は、第1の電極と、第2の電極と、前記第1の電極と前記第2の電極との間に挟まれたEL層とを有し、前記第1の電極及び前記第2の電極の一方が反射電極、他方が半透過半反射電極である発光素子において、前記EL層は青色発光を呈する発光中心物質を有し、前記発光中心物質が溶液状態において発する光のフォトンエネルギーの平均値を E_{ave} [eV]とし、前記発光中心物質の前記溶液状態における発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギーを E_{edge} [eV]とすると、前記発光素子から発する光のピーク波長のフォトンエネルギー E_{em} [eV]が、下記式(2)で表される発光素子である。

[0015]

$$E_{ave} + 0.02 \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge} \quad \dots (2)$$

[0016]

または、本発明の他の一態様は上記構成のいずれかにおいて、前記 E_{em} が2.6 eV以上2.9 eV以下である発光素子である。

[0017]

または、本発明の他の一態様は、上記構成のいずれかにおいて、前記半透過半反射電極における、前記反射電極に対する面と反対の面には、分子量300以上1200以下の有機化合物層が形成されている発光素子である。

[0018]

または、本発明の他の一態様は、上記構成のいずれかにおいて、前記溶液状態における溶媒は、室温における比誘電率が1以上10以下の溶媒である発光素子である。

[0019]

または、本発明の他の一態様は、上記構成のいずれかにおいて、前記溶液状態における溶媒がトルエンまたはクロロホルムである発光素子である。

[0020]

または、本発明の他の一態様は、上記構成のいずれかにおいて、EL層における前記発光中心物質が1種のみである発光素子である。

[0021]

または、本発明の他の一態様は、上記いずれかに記載の発光素子と、トランジスタ、または、基板と、を有する発光装置である。

[0022]

または、本発明の他の一態様は、上記発光装置と、センサ、操作ボタン、スピーカ、または、マイクと、を有する電子機器である。

[0023]

または、本発明の他の一態様は、上記発光装置と、筐体と、を有する照明装置である。

[0024]

または、本発明の他の一態様は、上記いずれかに記載の有機化合物を含む電子デバイスである。

[0025]

なお、本明細書中における発光装置とは、発光素子を用いた画像表示デバイスを含む。また、発光素子にコネクタ、例えば異方導電性フィルム又はTCP (Tape Carrier Package) が取り付けられたモジュール、TCPの先にプリント配線板が設けられたモジュール、又は発光素子にCOG (Chip On Glass) 方式によりIC (集積回路) が直接実装されたモジュールは、発光装置を有する場合がある。さらに、照明器具等は、発光装置を有する場合がある。

発明の効果

[0026]

本発明の一態様では、新規発光素子を提供することができる。または、本発明の他の一態様では、発光効率の高い発光素子を提供することができる。または、本発明の他の一態様では、外部量子効率の高い発光素子を提供することができる。または、本発明の他の一態様では、ブルーインデックスの高い発光素子を提供することができる。または、本発明の他の一態様では、消費電力の小さい発光素子を提供することができる。

[0027]

または、本発明の他の一態様では、消費電力の小さい発光素子、発光装置、電子機器、照明装置およ

び電子デバイスを各々提供することができる。

図面の簡単な説明

[0028]

[図1] 図1(A)及び1(B)は発光中心物質が溶液状態において発する光のフォトンエネルギーの平均値(E_{ave})の算出方法を説明する図である。

[図2] 図2は発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギー(E_{edge})の算出方法を説明する図である。

[図3] 図3は発光素子のEL発光ピークエネルギー(E_{em})と、外部量子効率(EQE)およびブルーインデックス(BI)の関係について説明する図である。

[図4] 図4(A)及び4(B)は発光素子の概念図である。

[図5] 図5(A)及び5(B)はアクティブマトリクス型発光装置の概念図である。

[図6] 図6(A)及び6(B)は照明装置を表す図である。

[図7] 図7(A)、7(B1)、7(B2)及び7(C)は電子機器を表す図である。

[図8] 図8(A)乃至8(C)は光源装置を表す図である。

[図9] 図9は照明装置を表す図である。

[図10] 図10は照明装置を表す図である。

[図11] 図11は車載表示装置及び照明装置を表す図である。

[図12] 図12(A)及び12(B)は電子機器を表す図である。

[図13] 図13(A)乃至13(C)は電子機器を表す図である。

[図14] 図14はN,N'-ジフェニル-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:1,6mFLPAPrn)のトルエン溶液における発光スペクトルである。

[図15] 図15は1,6mMemFLPAPrnのトルエン溶液におけるPLスペクトルの短波長側における発光端の算出方法を説明する図である。

[図16] 図16は発光素子1-1乃至発光素子1-8における発光のピークエネルギー(E_{em})に対する外部量子効率(EQE)およびブルーインデックス(BI)の関係を示したグラフである。

[図17] 図17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:1,6mMemFLPAPrn)のトルエン溶液における発光スペクトルを表す図である。

[図18] 図18は1,6mMemFLPAPrnのトルエン溶液におけるPLスペクトルの短波長側における発光端の算出方法を説明する図である。

[図19] 図19は発光素子2-1乃至発光素子2-8における発光のピークエネルギー(E_{em})に対する外部量子効率(EQE)およびブルーインデックス(BI)の関係を示したグラフである。

[図20] 図20はN,N'-(ピレン-1,6-ジイル)ビス[(6,N-ジフェニルベンゾ[b]ナフト[1,2-d]フラン)-8-アミン](略称:1,6BnfAPrn-03)のトルエン溶液における発光スペクトルを表す図である。

[図21] 図21は1,6BnfAPrn-03のトルエン溶液におけるPLスペクトルの短波長側における発光端の算出方法を説明する図である。

[図22] 図22は発光素子3-1乃至発光素子3-8における発光のピークエネルギー(E_{em})に対する外部量子効率(EQE)およびブルーインデックス(BI)の関係を示したグラフである。

〔図 2 3〕 図 2 3 は N, N' - (ピレン-1, 6-ジイル) ビス [(6, N-ジフェニルベンゾ [b] ナフト [1, 2-d] フラン) -8-アミン] (略称: 1, 6 B n f A P r n - 0 3) のトルエン溶液における発光スペクトルを表す図である。

〔図 2 4〕 図 2 4 は 1, 6 B n f A P r n - 0 3 のトルエン溶液における P L スペクトルの短波長側における発光端の算出方法を説明する図である。

〔図 2 5〕 図 2 5 は発光素子 4-1 乃至発光素子 4-4 における発光のピークエネルギー (E_{em}) に対する外部量子効率 (EQE) およびブルーインデックス (BI) の関係を示したグラフである。

〔図 2 6〕 図 2 6 は N, N' - (ピレン-1, 6-ジイル) ビス (N-フェニル-6-シクロヘキシルベンゾ [b] ナフト [1, 2-d] フラン-8-アミン) (略称: 1, 6 c h B n f A P r n) のトルエン溶液における発光スペクトルを表す図である。

〔図 2 7〕 図 2 7 は 1, 6 c h B n f A P r n のトルエン溶液における P L スペクトルの短波長側における発光端の算出方法を説明する図である。

〔図 2 8〕 図 2 8 は発光素子 5-1 乃至発光素子 5-8 における発光のピークエネルギー (E_{em}) に対する外部量子効率 (EQE) およびブルーインデックス (BI) の関係を示したグラフである。

〔図 2 9〕 図 2 9 は 3, 1 0 - ビス [N- (9-フェニル-9H-カルバゾール-2-イル) -N-フェニルアミノ] ナフト [2, 3-b ; 6, 7-b'] ビスベンゾフラン (略称: 3, 1 0 P C A 2 N b f (I V) - 0 2) のトルエン溶液における発光スペクトルを表す図である。

〔図 3 0〕 図 3 0 は 3, 1 0 P C A 2 N b f (I V) - 0 2 のトルエン溶液における P L スペクトルの短波長側における発光端の算出方法を説明する図である。

〔図 3 1〕 図 3 1 は発光素子 6-1 乃至発光素子 6-8 における発光のピークエネルギー (E_{em}) に対する外部量子効率 (EQE) およびブルーインデックス (BI) の関係を示したグラフである。

〔図 3 2〕 図 3 2 は 3, 1 0 - ビス [N- (ジベンゾフラン-3-イル) -N-フェニルアミノ] ナフト [2, 3-b ; 6, 7-b'] ビスベンゾフラン (略称: 3, 1 0 F r A 2 N b f (I V) - 0 2) のトルエン溶液における発光スペクトルを表す図である。

〔図 3 3〕 図 3 3 は 3, 1 0 F r A 2 N b f (I V) - 0 2 のトルエン溶液における P L スペクトルの短波長側における発光端の算出方法を説明する図である。

〔図 3 4〕 図 3 4 は発光素子 7-1 乃至発光素子 7-8 における発光のピークエネルギー (E_{em}) に対する外部量子効率 (EQE) およびブルーインデックス (BI) の関係を示したグラフである。

発明を実施するための形態

〔0029〕

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

〔0030〕

(実施の形態 1)

光を呈する発光素子としては、様々なものが存在するが、無機化合物が発光中心である LED に対し、OLED、いわゆる有機 EL 素子は、有機化合物を発光中心物質として用いた発光素子である。有機化合物は振動準位等の影響から、無機化合物と比較してブロードな形状の発光スペクトルを示すことが知られている。

[0031]

ディスプレイなどの表示素子において色再現性の高い表示を得るためには、色純度の良好な発光を呈する表示素子を用いる必要がある。そのため、上述のように発光スペクトルがブロードであり色純度の比較的低い有機EL素子をディスプレイ用の表示素子として用いる場合、カラーフィルタやマイクロキャビティ構造などを利用して色純度の向上を図ることがある。

[0032]

発光を単純にカットするカラーフィルタと比較して、目的の波長の光を増幅することが可能なマイクロキャビティ構造の適用は、発光のロスが少なく効率的に有利である。また、適切な光路長のマイクロキャビティ構造を有する発光素子と、カラーフィルタとを併用することによって、カットされる波長の光を減らすことができ、高効率且つ高い色純度を有する発光を呈する発光素子を得る事ができる。このように、マイクロキャビティ構造の採用は、色純度の向上、発光効率の維持に好適である。

[0033]

ところで、有機EL素子は、上述のように有機化合物を発光中心物質として用いた発光素子であるが、有機化合物が発する光のスペクトルは、当該有機化合物の構造を由来とする波長、形状を有しており、物質固有のものである。そのため、効率良く発光を得られる波長範囲はその発光素子にどのような発光中心物質が用いられているかによって異なる。

[0034]

本発明者らは、マイクロキャビティ構造を有する発光素子において、下記式(1)を満たす発光素子が、発光効率(正面輝度から算出した量子効率)の良好な発光素子となることを見出した。

[0035]

$$E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge} \quad \dots (1)$$

[0036]

なお、上記式中、 E_{ave} は、当該発光素子に用いられる発光中心物質が溶液状態において発する光の光子エネルギーの平均値、 E_{em} は当該発光素子から発する光のピーク波長の光子エネルギー、 E_{edge} は当該発光中心物質の前記溶液状態における発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギーであり、単位は全て[eV]である。

[0037]

<発光中心物質が溶液状態において発する光の光子エネルギーの平均値(E_{ave})の算出方法>
 E_{ave} の算出方法について図1(A)を参照しながら説明する。図1(A)は青色発光を呈する有機化合物のトルエン溶液における規格化発光スペクトルである。縦軸は光子カウントに比例する。当該発光スペクトルを $F(\lambda)$ (λ は波長)の関数として表すと、各波長の単位時間当たりの光子数 $N_p(\lambda)$ は $N_p(\lambda) = F_0 F(\lambda)$ (F_0 は比例定数)となる。よって当該有機化合物のトルエン溶液における単位時間当たりの総光子数 N_p は下記式(1)と表すことができる。なお、下記式(1)において $\int F(\lambda) d\lambda$ は図1(A)における発光スペクトルの積分値となる。

[0038]

$$N_p = \int N_p(\lambda) d\lambda = F_0 \int F(\lambda) d\lambda \quad \dots (1)$$

[0039]

一方、ある波長の光子の単位時間当たりエネルギー $\phi_p(\lambda)$ は、下記式(11)のように表すことができる。なお、下記式(11)において、 c は光速、 h はプランク定数を表す。

[0040]

$$\phi_p(\lambda) = N_p(\lambda) \cdot c h / \lambda = F_0 F(\lambda) \cdot c h / \lambda \quad \cdots \quad (I I)$$

[0041]

よって、当該有機化合物のトルエン溶液における発光の単位時間当たりの全波長領域における総エネルギーは、下記式 (I I I) と表すことができる。

[0042]

$$\phi_p = \int \phi_p(\lambda) d\lambda = F_0 c h \int F(\lambda) / \lambda d\lambda \quad \cdots \quad (I I I)$$

[0043]

発光の平均光子エネルギー (E_{ave}) は、上記式 (I I I) で表される総エネルギーを、上記式 (I) で表される総光子数で割った値であるため、下記式 (I V) で表すことができる。

[0044]

[数1]

$$E_{ave} = \frac{\phi_p}{N_p} = c h \cdot \frac{\int F(\lambda) / \lambda d\lambda}{\int F(\lambda) d\lambda} \quad \cdots \quad (I V)$$

[0045]

図1 (A) に発光スペクトルを示した有機化合物のトルエン溶液における発光の平均光子エネルギー (E_{ave}) は、上記式 (I V) より 2.65 eV、すなわち 468 nm と算出することができる (図1 (B))。なお、有効数字は3桁としている。

[0046]

ここで、計測機器によっては、PLスペクトルの縦軸が光子数 $N_p(\lambda)$ ではなく、エネルギー $\phi_p(\lambda)$ そのもの (例えば分光放射輝度計の場合) であつたり、あるいはエネルギー $\phi_p(\lambda)$ に比例する規格化スペクトル $I(\lambda)$ であつたりする場合がある。その場合は、以下のように発光の平均光子エネルギー E_{ave} を求めることができる。

[0047]

まず、上記式 (I) および (I I) より、単位時間当たりの総光子数 N_p は下記式 (V) のように表すことができる。

[0048]

$$N_p = \int N_p(\lambda) d\lambda = (1 / c h) \int \phi_p(\lambda) \lambda d\lambda \quad \cdots \quad (V)$$

[0049]

したがって、発光の平均光子エネルギー (E_{ave}) は、PLスペクトルの縦軸がエネルギー $\phi_p(\lambda)$ そのものである場合、式 (I I I) 乃至 (V) より、下記式 (V I) のように求めることができる。

[0050]

[数2]

$$E_{ave} = \frac{\phi_p}{N_p} = c h \cdot \frac{\int \phi_p(\lambda) d\lambda}{\int \phi_p(\lambda) \lambda d\lambda} \quad \cdots \quad (V I)$$

[0051]

またはエネルギーに比例する規格化スペクトル $I(\lambda)$ を用いた場合は、下記式 (V I I) のように求めることができる。

[0052]

[数 3]

$$E_{ave} = \frac{\phi_p}{N_p} = ch \cdot \frac{\int I(\lambda) d\lambda}{\int I(\lambda) \lambda d\lambda} \cdots (VII)$$

[0053]

以上のように、発光の平均フォトンエネルギー (E_{ave}) は、有機化合物のトルエン溶液における発光スペクトルを計測する機器に応じて上記式 (IV)、(VI) または (VII) のいずれかを用いて求めることができる。

[0054]

<発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギー (E_{edge}) の算出方法>

E_{edge} の算出方法について説明する。図2は図1で用いた発光中心物質の短波長側の発光端付近を拡大した図である。 E_{edge} は図2のように、発光スペクトル $F(\lambda)$ の短波長側の裾において、半値付近で接線を引き、その接線と x 軸の交点から求めることができる。

[0055]

図2に示した発光スペクトルの短波長側の裾において、半値付近で接線を引き、その接線と x 軸の交点を求めると 432 nm であるため、当該発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギー (E_{edge}) は、2.87 eV と算出することができる。

[0056]

なお、これら E_{ave} 、 E_{edge} を算出する為に用いた発光中心物質の PL スペクトルは、溶液状態のスペクトルである。各エネルギー準位は媒体の比誘電率等の影響を受ける。発光素子の EL 層を構成する有機化合物の比誘電率は3程度であるため、室温において1以上10以下、より好ましくは2以上5以下の比誘電率の溶媒中で測定することで、およそ正確な値を測定できる。具体的な溶媒として、ヘキサン、ベンゼン、トルエン、ジエチルエーテル、酢酸エチル、クロロホルム、クロロベンゼン、ジクロロメタンが挙げられる。特に、トルエンやクロロホルムは室温における比誘電率が2以上5以下で、溶解性が高く、汎用的な溶媒であるので、トルエンやクロロホルム中で測定すると、発光素子中での値とそれらの溶媒中での値の差は多くの場合、実験誤差範囲内となる。

[0057]

<発光素子の EL 発光ピークエネルギー (E_{em}) と、外部量子効率 (EQE) およびブルーインデックス (BI) の関係について>

図3は、図1および図2で用いた発光物質を発光中心とし、マイクロキャビティ構造を有する有機 EL 素子 (トップエミッション) に関し、 E_{em} と EQE との関係、および E_{em} と BI との関係を調査したものである。なお、ここでの EQE は、正面輝度からランバーシアン配光を仮定して算出した未補正 EQE である。また、輝度が 1000 cd/m² 付近の時の EQE を用いている。

[0058]

なお、ブルーインデックス (BI) とは、電流効率 (cd/A) をさらに y 色度で割った値であり、青色発光の発光特性を表す指標の一つである。青色発光は、y 色度が小さいほど色純度の高い発光となる傾向にある。色純度の高い青色発光は、輝度成分が小さくても広い範囲の青色を表現することが可能であり、色純度の高い青色発光を用いることで、青色を表現するための必要輝度が低下することから消費電力の低減効果が得られる。そのため、青色純度の指標の一つとなる y 色度を考慮した BI が青色発光の効率を表す手段として好適に用いられ、BI が高い発光素子ほどディスプレイに用いられる青色発光素子としての効率が良好であるといえることができる。

[0059]

図3の横軸に示されている、EL発光ピークエネルギー (E_{em}) は、有機EL素子の光路長を変え、マイクロキャビティ効果によって増幅させる波長を変化させることで、調整することができる。当該 E_{em} に対するEQEをプロットすると、2.65 eV乃至2.73 eVの間の範囲 (図中Aの範囲) で良好な効率を示し、それ以上の E_{em} を呈する発光素子のEQEは大きく減少していることがわかる。また、同様の範囲ではBIも良好な値を示す。なお、上記で算出したように、2.65 eVはこれらの発光素子に用いられている発光中心物質のトルエン溶液における発光の平均フォトンエネルギー (E_{ave}) に相当する。

[0060]

また、図中範囲Aの上限値である2.73 eVは、上で算出したこれらの有機EL素子に用いられている発光中心物質のトルエン溶液におけるPL発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギー (E_{dge}) 2.87 eVの0.95倍に相当する。

[0061]

このように、マイクロキャビティ構造を有する有機EL素子に関して、下記式(1)のような関係となるようにマイクロキャビティ構造のキャビティ長 (光路長) を制御することで、EQEの良好な発光素子とすることができる。なお、この範囲においてはBIも同様に良好な数値を示す。

[0062]

$$E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{dge} \quad \dots (1)$$

(但し、 E_{ave} は発光素子に用いられている発光中心物質のトルエン溶液における発光の平均フォトンエネルギー (単位 [eV]) を表し、 E_{dge} は発光中心物質のトルエン溶液におけるPL発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギー (単位 [eV]) を表し、 E_{em} はEL発光ピークエネルギー (単位 [eV]) を表すものとする。)

[0063]

なお、青色発光を呈する有機EL素子の場合、BIに着目することが適当である。そしてBIとEQEは、各々ピークを迎える E_{em} が異なることを本発明者らは見出した。図3に示すように、BIはEQEに比べ、 E_{em} が比較的エネルギーの高い領域に位置する場合に最大値を有するため、下記式(2)のような関係となるようにマイクロキャビティ構造のキャビティ長 (光路長) を制御することが好ましい。

[0064]

$$E_{ave} + 0.02 \leq E_{em} \leq 0.95 E_{dge} \quad \dots (2)$$

[0065]

なお、本発明の一態様の有機EL素子は、 E_{em} が2.6 eV以上2.9 eV以下であることが好ましい。

[0066]

また、本発明の一態様の有機EL素子は、マイクロキャビティ構造を有する発光素子である。有機EL素子は、一対の電極の間に、有機化合物を含むEL層を挟んで、電流を流すことで発光するが、マイクロキャビティ構造は、一対の電極のうち、一方を反射電極、他方を半透過・半反射電極とすることによって反射を繰り返し、電極間の距離 (キャビティ長、光路長ともいう) に相当する波長の光を増幅することができる構造となっている。キャビティ長は、EL層や電極の厚さを調整することによって変化させることができる。電極を用いてキャビティ長を調整する場合には、ITOなどの透明電

極を用いることができる。E L層で調整する場合には、キャリア輸送層や、キャリア注入層の厚みを調整することで光路長を制御することができる。

[0067]

有機E L素子の発光方向については、トップエミッション構造であっても、ボトムエミッション構造であっても構わない。トップエミッションの発光素子においては、光の取出し効率をより効果的に行うために、半透過半反射電極における、前記反射電極に対する面と反対の面に、分子量300以上1200以下の有機化合物層が形成されていることが好ましい。

[0068]

なお本発明の一態様の発光素子において、一つの発光素子における発光中心物質は一種類であることが好ましい。

[0069]

以上のような構成を有する本発明の一態様の発光素子は、発光効率の良好な発光素子とすることが可能となる。

[0070]

続いて、本発明の一態様である発光素子の例について図4（A）を用いて以下、詳細に説明する。

[0071]

本実施の形態における発光素子は、第1の電極101と、第2の電極102とからなる一对の電極と、第1の電極101と第2の電極102との間に設けられたE L層103とから構成されている。図4（A）では、作製基板側に設けられた電極を第1の電極101として説明を行う。

[0072]

本発明の一態様の発光素子は、マイクロキャビティ構造を有する発光素子である。マイクロキャビティ構造を有する発光素子は、発光素子の一对の電極を、反射電極と半透過・半反射電極とから構成することにより得られる。反射電極と半透過・半反射電極は上述の第1の電極101と第2の電極102に相当する。反射電極と半透過・半反射電極との間には少なくともE L層を有し、少なくとも発光領域となる発光層を有している。

[0073]

マイクロキャビティ構造を有する発光素子は、E L層に含まれる発光層から全方向に射出される発光が、反射電極と半透過・半反射電極とによって反射され、共振する。

[0074]

反射電極は、可視光の反射率が40%乃至100%、好ましくは70%乃至100%であり、かつ抵抗率が $1 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ 以下であるとする。反射電極を形成する材料としては、アルミニウム（Al）またはAlを含む合金等が挙げられる。Alを含む合金としては、AlとL（Lは、チタン（Ti）、ネオジム（Nd）、ニッケル（Ni）、及びランタン（La）の一つまたは複数を表す）とを含む合金等が挙げられ、例えばAlとTi、またはAlとNiとLaを含む合金等である。アルミニウムは、抵抗値が低く、光の反射率が高い。また、アルミニウムは、地殻における存在量が多く、安価であるため、アルミニウムを用いることによる発光素子の作製コストを低減することができる。また、銀（Ag）、またはAgとN（Nは、イットリウム（Y）、Nd、マグネシウム（Mg）、イッテルビウム（Yb）、Al、Ti、ガリウム（Ga）、亜鉛（Zn）、インジウム（In）、タンゲステン（W）、マンガン（Mn）、スズ（Sn）、鉄（Fe）、Ni、銅（Cu）、パラジウム（Pd）、イリジウム（Ir）、または金（Au）の一つまたは複数を表す）とを含む合金等を用いても良い。銀を含む合金と

しては、例えば、銀とパラジウムと銅を含む合金、銀と銅を含む合金、銀とマグネシウムを含む合金、銀とニッケルを含む合金、銀と金を含む合金、銀とイッテルビウムを含む合金等が挙げられる。その他、タングステン、クロム (Cr)、モリブデン (Mo)、銅、チタンなどの遷移金属を用いることができる。なお、反射電極とEL層との間に光透過性を有する導電材料で透明電極層を形成し、反射電極と透明電極の2層で第1の電極101とすることもでき、これにより、マイクロキャビティ構造の光路長(キャビティ長)を調整することもできる。光透過性を有する導電材料としては、インジウム錫酸化物 (Indium Tin Oxide、以下ITO)、珪素または酸化珪素を含むインジウム錫酸化物(略称: ITSO)、酸化インジウム-酸化亜鉛 (Indium Zinc Oxide)、チタンを含有した酸化インジウム-錫酸化物、インジウム-チタン酸化物、酸化タングステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウムなどの金属酸化物を挙げることができる。図4(A)では反射電極101-1、透明電極101-2により第1の電極101が構成されている。

[0075]

また、半透過・半反射電極は、可視光の反射率が20%乃至80%、好ましくは40%乃至70%であり、抵抗率が $1 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ 以下であるとする。半透過・半反射電極としては、導電性を有する金属、合金、導電性化合物などを1種又は複数種用いて形成することができる。具体的には、例えば、インジウム錫酸化物 (Indium Tin Oxide、以下ITO)、珪素または酸化珪素を含むインジウム錫酸化物(略称: ITSO)、酸化インジウム-酸化亜鉛 (Indium Zinc Oxide)、チタンを含有した酸化インジウム-錫酸化物、インジウム-チタン酸化物、酸化タングステン及び酸化亜鉛を含有した酸化インジウムなどの金属酸化物を用いることができる。また、光を透過する程度(好ましくは、1nm以上30nm以下の厚さ)の金属薄膜を用いることができる。金属としては、例えば、Ag、またはAgとAl、AgとMg、AgとAu、AgとYbなどの合金等を用いることができる。

[0076]

反射電極と、半透過・半反射電極は、第1の電極101、第2の電極102のどちらであっても良い。図4(A)では、上述したように第1の電極101が作製基板側にある場合を説明しているため、反射電極が第1の電極である場合、当該発光素子はトップエミッション構造となり、反射電極が第2の電極102である場合はボトムエミッションの発光素子となる。なお、第1の電極101および第2の電極102は陽極であっても陰極であっても構わないが、図4(A)では第1の電極101が陽極である場合を示している。

[0077]

なお、トップエミッション構造を有する発光素子である場合、第2の電極102のEL層103に接する面と反対の面に有機キャップ層104を設けることで光取出し効率を向上させることができる。発光素子においては、電極102と接するように有機キャップ層104を設けることによって、電極102と空気界面における屈折率差を低減できるため、光取出し効率を向上させることができる。膜厚は5nm以上120nm以下が好ましい。より好ましくは30nm以上90nm以下である。また、有機キャップ層104は分子量300以上1200以下の有機化合物層を用いると良い。また、導電性を有する有機材料であることが好ましい。当該構成では第2の電極102は、半透過・半反射電極であり、ある程度の透光性を維持するため膜厚を薄くする必要があり導電性が悪化する場合がある。ここで有機キャップ層104に導電性を有する材料を用いることで、光取出し効率を向上させつつ、導電性を確保し、発光素子作製の歩留まりを向上させることができる。なお、可視光領域の吸収が少

ない有機化合物を好適に用いることができる。有機キャップ層には、EL層103に用いた有機化合物を有機キャップ層104として用いることもできる。この場合、EL層103を成膜した成膜装置若しくは成膜室で有機キャップ層104を成膜できるため、簡便に有機キャップ層104を成膜することができる。

[0078]

当該発光素子は、上述の反射電極に接して設けられた透明電極や、正孔注入層、正孔輸送層などキャリア輸送層の厚みを変え反射電極と半透過・半反射電極の間の光学的距離（キャビティ長）を変えることができる。これにより、反射電極と半透過・半反射電極との間において、共振する波長の光を強め、共振しない波長の光を減衰させることができる。図4（A）では第1の電極101の一部である透明電極101-2により光路長を調整している例をしめしたが、図4（B）のように正孔注入層111によって光路長を調整してもよいし、正孔輸送層112によって調整してもよいし、これらのうち2以上を組み合わせ用いても良い。

[0079]

なお、発光のうち、反射電極によって反射されて戻ってきた光（第1の反射光）は、発光層から半透過・半反射電極に直接入射する光（第1の入射光）と大きな干渉を起こすため、反射電極と発光層の光学的距離を $(2n-1)\lambda/4$ （ただし、 n は1以上の自然数、 λ は増幅したい発光の波長）に調節することが好ましい。当該光学的距離を調節することにより、第1の反射光と第1の入射光との位相を合わせ発光層からの発光をより増幅させることができる。

[0080]

マイクロキャビティ構造を有することで、特定波長の正面方向の発光強度を強めることが可能となるため、低消費電力化を図ることができる。

[0081]

EL層103は積層構造を有していることが好ましいが、当該積層構造については特に限定はなく、正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、電子注入層、キャリアブロック層、励起子ブロック層、電荷発生層など、様々な層構造を適用することができる。本実施の形態では、図4（A）に示すように、正孔注入層111、正孔輸送層112、発光層113に加えて、電子輸送層114及び電子注入層115を有する構成、及び図4（B）に示すように、正孔注入層111、正孔輸送層112、発光層113に加えて、電子輸送層114、電子注入層115及び電荷発生層116を有する構成の2種類の構成について説明する。各層を構成する材料について以下に具体的に示す。

[0082]

正孔注入層111は、アクセプタ性を有する物質を含む層である。アクセプタ性を有する物質としては、有機化合物と無機化合物のいずれも用いることが可能である。

[0083]

アクセプタ性を有する物質としては、電子吸引基（ハロゲン基やシアノ基）を有する化合物を用いることができ、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：F4-TCNQ）、3,6-ジフルオロ-2,5,7,8-ヘキサシアノキノジメタン、クロラニル、2,3,6,7,10,11-ヘキサシアノ-1,4,5,8,9,12-ヘキサザトリフェニレン（略称：HAT-CN）、1,3,4,5,7,8-ヘキサフルオロテトラシアノナフトキノジメタン（略称：F6-TCNNQ）等の電子吸引基を有する化合物等を用いることができる。アクセプタ性を有する有機化合物としては、HAT-CNのように複素原子を複数有する縮合芳

香環に電子吸引基が結合している化合物が、熱的に安定であり好ましい。また、電子吸引基（特にフルオロ基のようなハロゲン基やシアノ基）を有する〔3〕ラジアレン誘導体は、電子受容性が非常に高いため好ましく、具体的には α , α' , α'' -1, 2, 3-シクロプロパントリイリデントリス〔4-シアノ-2, 3, 5, 6-テトラフルオロベンゼンアセトニトリル〕、 α , α' , α'' -1, 2, 3-シクロプロパントリイリデントリス〔2, 6-ジクロロ-3, 5-ジフルオロ-4-（トリフルオロメチル）ベンゼンアセトニトリル〕、 α , α' , α'' -1, 2, 3-シクロプロパントリイリデントリス〔2, 3, 4, 5, 6-ペンタフルオロベンゼンアセトニトリル〕などが挙げられる。アクセプタ性を有する物質としては以上で述べた有機化合物以外にも、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、タングステン酸化物、マンガン酸化物等を用いることができる。この他、フタロシアニン（略称：H₂Pc）や銅フタロシアニン（CuPC）等のフタロシアニン系の錯体化合物、4, 4'-ビス〔N-（4-ジフェニルアミノフェニル）-N-フェニルアミノ〕ビフェニル（略称：DPAB）、N, N'-ビス〔4-〔ビス（3-メチルフェニル）アミノ〕フェニル〕-N, N'-ジフェニル（1, 1'-ビフェニル）-4, 4'-ジアミン（略称：DNTPD）等の芳香族アミン化合物、或いはポリ（3, 4-エチレンジオキシチオフェン）／ポリ（スチレンスルホン酸）（PEDOT／PSS）等の高分子等によっても正孔注入層111を形成することができる。アクセプタ性を有する物質は、隣接する正孔輸送層（あるいは正孔輸送材料）から、電界の印加により電子を引き抜くことができる。

〔0084〕

また、正孔注入層111として、正孔輸送性を有する物質にアクセプタ性物質を含有させた複合材料を用いることもできる。なお、正孔輸送性の物質にアクセプタ性物質を含有させた複合材料を用いることにより、仕事関数に依らず電極を形成する材料を選ぶことができる。つまり、第1の電極101として仕事関数の大きい材料だけでなく、仕事関数の小さい材料も用いることができるようになる。当該アクセプタ性物質としては、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：F4-TCNQ）、クロラニル、1, 3, 4, 5, 7, 8-ヘキサフルオロテトラシアノナフトキノジメタン（略称：F6-TCNNQ）等のアクセプタ性を有する有機化合物や、遷移金属酸化物を挙げるることができる。また元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物も用いることができる。元素周期表における第4族乃至第8族に属する金属の酸化物としては、酸化バナジウム、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化クロム、酸化モリブデン、酸化タングステン、酸化マンガン、酸化ルテニウムなどが電子受容性の高さから好ましい。中でも特に、酸化モリブデンは大気中でも安定であり、吸湿性が低く、扱いやすいため好ましい。

〔0085〕

複合材料に用いる正孔輸送性の物質としては、芳香族アミン化合物、カルバゾール誘導体、芳香族炭化水素、高分子化合物（オリゴマー、 dendroliマー、ポリマー等）など、種々の有機化合物を用いることができる。なお、複合材料に用いる正孔輸送性の物質としては、 $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有する物質であることが好ましい。以下では、複合材料における正孔輸送性の物質として用いることのできる有機化合物を具体的に列挙する。

〔0086〕

複合材料に用いることのできる芳香族アミン化合物としては、N, N'-ジ（p-トリル）-N, N'-ジフェニル-p-フェニレンジアミン（略称：DTDPPA）、4, 4'-ビス〔N-（4-ジフェニルアミノフェニル）-N-フェニルアミノ〕ビフェニル（略称：DPAB）、N, N'-ビス〔4

ー [ビス (3-メチルフェニル) アミノ] フェニル} -N, N'-ジフェニル- (1, 1'-ビフェニル) -4, 4'-ジアミン (略称: DNTPD)、1, 3, 5-トリス [N- (4-ジフェニルアミノフェニル) -N-フェニルアミノ] ベンゼン (略称: DPAB3B)、1, 1-ビス- (4-ビス (4-メチルフェニル) -アミノフェニル) -シクロヘキサン (略称: TAPC) 等を挙げることができる。カルバゾール誘導体としては、具体的には、3- [N- (9-フェニルカルバゾール-3-イル) -N-フェニルアミノ] -9-フェニルカルバゾール (略称: PCzPCA1)、3, 6-ビス [N- (9-フェニルカルバゾール-3-イル) -N-フェニルアミノ] -9-フェニルカルバゾール (略称: PCzPCA2)、3- [N- (1-ナフチル) -N- (9-フェニルカルバゾール-3-イル) アミノ] -9-フェニルカルバゾール (略称: PCzPCN1)、4, 4'-ジ (N-カルバゾリル) ビフェニル (略称: CBP)、1, 3, 5-トリス [4- (N-カルバゾリル) フェニル] ベンゼン (略称: TCPB)、9- [4- (10-フェニルアントラセン-9-イル) フェニル] -9H-カルバゾール (略称: CzPA)、1, 4-ビス [4- (N-カルバゾリル) フェニル] -2, 3, 5, 6-テトラフェニルベンゼン等を用いることができる。芳香族炭化水素としては、例えば、2-tert-ブチル-9, 10-ジ (2-ナフチル) アントラセン (略称: t-BuDNA)、2-tert-ブチル-9, 10-ジ (1-ナフチル) アントラセン、9, 10-ビス (3, 5-ジフェニルフェニル) アントラセン (略称: DPPA)、2-tert-ブチル-9, 10-ビス (4-フェニルフェニル) アントラセン (略称: t-BuDBA)、9, 10-ジ (2-ナフチル) アントラセン (略称: DNA)、9, 10-ジフェニルアントラセン (略称: DPAnth)、2-tert-ブチルアントラセン (略称: t-BuAnth)、9, 10-ビス (4-メチル-1-ナフチル) アントラセン (略称: DMNA)、2-tert-ブチル-9, 10-ビス [2- (1-ナフチル) フェニル] アントラセン、9, 10-ビス [2- (1-ナフチル) フェニル] アントラセン、2, 3, 6, 7-テトラメチル-9, 10-ジ (1-ナフチル) アントラセン、2, 3, 6, 7-テトラメチル-9, 10-ジ (2-ナフチル) アントラセン、9, 9'-ビアントリル、10, 10'-ジフェニル-9, 9'-ビアントリル、10, 10'-ビス (2-フェニルフェニル) -9, 9'-ビアントリル、10, 10'-ビス [(2, 3, 4, 5, 6-ペンタフェニル) フェニル] -9, 9'-ビアントリル、アントラセン、テトラセン、ルブレン、ペリレン、2, 5, 8, 11-テトラ (tert-ブチル) ペリレン等が挙げられる。また、この他、ペンタセン、コロネン等も用いることができる。ビニル骨格を有していてもよい。ビニル基を有している芳香族炭化水素としては、例えば、4, 4'-ビス (2, 2-ジフェニルビニル) ビフェニル (略称: DPVBi)、9, 10-ビス [4- (2, 2-ジフェニルビニル) フェニル] アントラセン (略称: DPVPA) 等が挙げられる。なお、本発明の一態様の有機化合物も用いることができる。なお、この場合、アクセプタ性物質としては、F6-TCNNQを用いることが好ましい。

[0087]

また、ポリ (N-ビニルカルバゾール) (略称: PVK) やポリ (4-ビニルトリフェニルアミン) (略称: PVTPA)、ポリ [N- (4- {N'- [4- (4-ジフェニルアミノ) フェニル] フェニル-N'-フェニルアミノ} フェニル) メタクリルアミド] (略称: PTPDMA)、ポリ [N, N'-ビス (4-ブチルフェニル) -N, N'-ビス (フェニル) ベンジジン] (略称: Poly-TPD) 等の高分子化合物を用いることもできる。

[0088]

正孔注入層 111 を形成することによって、正孔の注入性が良好となり、駆動電圧の小さい発光素子

を得ることができる。また、アクセプタ性を有する有機化合物は蒸着が容易で成膜がしやすいため、使いやすい材料である。

[0089]

なお、正孔注入層を上記複合材料で形成する場合、当該複合材料は導電性が良好であるため、厚膜として形成しても駆動電圧の悪化を招きにくく、マイクロキャビティ構造におけるキャビティ長を調整する層として非常に好適である。

[0090]

正孔輸送層112は、正孔輸送性を有する材料を含んで形成される。正孔輸送性を有する材料としては、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の正孔移動度を有していることが好ましい。正孔輸送層112には本発明の一態様の有機化合物を含んでいることが好ましい。実施の形態1に記載の有機化合物を正孔輸送層112に含むことによって、EL層103内部に屈折率の低い層を形成することができ、発光素子の外部量子効率の向上させることが可能となる。

[0091]

上記正孔輸送性を有する材料としては、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)、N, N'-ビス(3-メチルフェニル)-N, N'-ジフェニル-[1, 1'-ビフェニル]-4, 4'-ジアミン(略称:TPD)、4, 4'-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:BSPPB)、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:BPAPFLP)、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:mBPAPFLP)、4-フェニル-4'-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン(略称:PCBA1BP)、4, 4'-ジフェニル-4''-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン(略称:PCBBi1BP)、4-(1-ナフチル)-4'-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)-トリフェニルアミン(略称:PCBANB)、4, 4'-ジ(1-ナフチル)-4''-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)トリフェニルアミン(略称:PCBNBB)、9, 9'-ジメチル-N-フェニル-N-[4-(9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル)フェニル]-フルオレン-2-アミン(略称:PCBAF)、N-フェニル-N-[4-(9-フェニル-9H-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:PCBAF)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:mCP)、4, 4'-ジ(N-カルバゾリル)ビフェニル(略称:CBP)、3, 6-ビス(3, 5-ジフェニルフェニル)-9-フェニルカルバゾール(略称:CzTP)、3, 3'-ビス(9-フェニル-9H-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-トリイル)トリ(ジベンゾチオフェン)(略称:DBT3P-I I)、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-I I I)、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-I V)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-トリイル)トリ(ジベンゾフラン)(略称:DBF3P-I I)、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-I I)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。なお、正孔注入層 111 の複合材料に用いられる正孔輸送性を有する材料として挙げた物質も正孔輸送層 112 を構成する材料として好適に用いることができる。

[0092]

発光層 113 は、ホスト材料と発光材料を含む層である。発光材料は蛍光発光物質であっても、りん光発光物質であっても、熱活性化遅延蛍光 (TADF) を示す物質であっても、その他の発光材料であっても構わない。また、単層であっても、異なる発光材料が含まれる複数の層からなっているても良い。

[0093]

発光層 113 において、蛍光発光物質として用いることが可能な材料としては、例えば以下の様なものが挙げられる。また、これ以外の蛍光発光物質も用いることができる。

[0094]

5, 6-ビス [4- (10-フェニル-9-アントリル) フェニル] -2, 2'-ビピリジン (略称: PAP2BPY)、5, 6-ビス [4'- (10-フェニル-9-アントリル) ビフェニル-4-イル] -2, 2'-ビピリジン (略称: PAPP2BPY)、N, N'-ジフェニル-N, N'-ビス [4- (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, 6FLPAPrn)、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, 6mMemFLPAPrn)、N, N'-ビス [4- (9H-カルバゾール-9-イル) フェニル] -N, N'-ジフェニルスチルベン-4, 4'-ジアミン (略称: YGA2S)、4- (9H-カルバゾール-9-イル) -4'- (10-フェニル-9-アントリル) トリフェニルアミン (略称: YGAPPA)、4- (9H-カルバゾール-9-イル) -4'- (9, 10-ジフェニル-2-アントリル) トリフェニルアミン (略称: 2YGAPPA)、N, 9-ジフェニル-N- [4- (10-フェニル-9-アントリル) フェニル] -9H-カルバゾール-3-アミン (略称: PCAPA)、ペリレン、2, 5, 8, 11-テトラ-tert-ブチルペリレン (略称: TBP)、4- (10-フェニル-9-アントリル) -4'- (9-フェニル-9H-カルバゾール-3-イル) トリフェニルアミン (略称: PCBAPA)、N, N''- (2-tert-ブチルアントラセン-9, 10-ジイルジ-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: DPABPA)、N, 9-ジフェニル-N- [4- (9, 10-ジフェニル-2-アントリル) フェニル] -9H-カルバゾール-3-アミン (略称: 2PCAPPA)、N- [4- (9, 10-ジフェニル-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: 2DPAPPA)、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, 10, 15-テトラアミン (略称: DBC1)、クマリン30、N- (9, 10-ジフェニル-2-アントリル) -N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン (略称: 2PCAPA)、N- [9, 10-ビス (1, 1'-ビフェニル-2-イル) -2-アントリル] -N, 9-ジフェニル-9H-カルバゾール-3-アミン (略称: 2PCABPhA)、N- (9, 10-ジフェニル-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: 2DPAPA)、N- [9, 10-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: 2DPABPhA)、9, 10-ビス (1, 1'-ビフェニル-2-イル) -N- [4- (9H-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: 2YGA BPhA)、N, N, 9-トリフェニルアントラセン-9-アミン (略称: DPhA BPhA) クマリン545T、N, N'-ジフェニルキナクリドン、(略称: DPQd)、ルブレン、5, 12-ビス (1, 1'-ビフェニル-4-イル) -6, 11-ジフェニルテトラセン (略称: BPT)、2- (2- {2- [4- (ジメチルアミノ) フェニル] エテニル} -6-メチル-4H-ピラン-4-イリデン) プロパンジニトリル (略称: DCM1)、2- {2-メチル-6- [2- (2, 3, 6, 7-テトラヒドロ-1H, 5H-ベンゾ [i j] キノリジン-9-イル) エテニル] -4H-ピラン-4-イリデン} プロパンジニトリル (略称: DCM2)、N, N, N', N'-テトラキス (4-メチルフェニル) テトラセン-5, 11-ジアミン (略称: p-mPhTD)、7, 14-ジフェニル-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, 10-ジアミン (略称: p-mPhAFD)、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-1H, 5H-ベンゾ [i j] キノリジン-9-イル) エテニル] -4H-ピラン-4-イリデン} プロパンジニトリル (略称: DCJT I)、2- {2-tert-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-1H, 5H-ベンゾ [i j] キノリジン-9-イル) エテニル] -4H-ピラン-4-イリデン} プロパンジニトリル (略称: DCJT B)、2- (2, 6-ビス {2- [4- (ジメチルアミノ) フェニル] エテニル} -4H-ピラン-4-イリデン) プロパンジニトリル (略称: BisDCM)、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-1H, 5H-ベンゾ [i j] キノリジン-9-イル) エテニル] -4H-ピラン-4-イリデン} プロパンジニトリル (略称: BisDCJTM)、N, N'-ジフェニル-N, N'- (1, 6-ピレン-ジイル) ビス [(6-フェニルベンゾ [b] ナフト [1, 2-d] フラン) -8-アミン] (略称: 1, 6BnfAPrn-03) などが挙げられる。特に、1, 6FLPAPrnや1, 6mMemFLPAPrn、1, 6BnfAPrn-03のようなピレンジアミン化合物に代表される縮合芳香族ジアミン化合物は、ホールトラップ性が高く、発光効率や信頼性に優れているため好ましい。

[0095]

発光層113において、りん光発光物質として用いることが可能な材料としては、例えば以下の様なものが挙げられる。

[0096]

トリス {2- [5- (2-メチルフェニル) -4- (2, 6-ジメチルフェニル) -4H-1, 2, 4-トリアゾール-3-イル- κ N2] フェニル- κ C} イリジウム (III) (略称: [Ir (mpptz-dmp)₃])、トリス (5-メチル-3, 4-ジフェニル-4H-1, 2, 4-トリアゾラト) イリジウム (III) (略称: [Ir (Mptz)₃])、トリス [4- (3-ビフェニル) -5-イソプロピル-3-フェニル-4H-1, 2, 4-トリアゾラト] イリジウム (III) (略称: [Ir (iPrptz-3b)₃]) のような4H-トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス [3-メチル-1- (2-メチルフェニル) -5-フェニル-1H-1, 2, 4-トリアゾラト] イリジウム (III) (略称: [Ir (Mptz1-mp)₃])、トリス (1-メチル-5-フェニル-3-プロピル-1H-1, 2, 4-トリアゾラト) イリジウム (III) (略称: [Ir (Prptz1-Me)₃]) のような1H-トリアゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、fac-トリス [1- (2, 6-ジイソプロピルフェニル) -2-フェニル-1H-イミダゾール] イリジウム (III) (略称: [Ir (iPrpmi)₃])、トリス [3- (2, 6-ジメチルフェニル) -

7-メチルイミダゾ [1, 2-f] フェナントリジナト] イリジウム (I I I) (略称: [I r (d m p i m p t-Me)₃]) のようなイミダゾール骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、ビス [2-(4', 6'-ジフルオロフェニル) ピリジナト-N, C^{2'}] イリジウム (I I I) テトラキス (1-ピラゾリル) ボラート (略称: F I r 6)、ビス [2-(4', 6'-ジフルオロフェニル) ピリジナト-N, C^{2'}] イリジウム (I I I) ピコリナート (略称: F I r p i c)、ビス {2-[3', 5'-ビス (トリフルオロメチル) フェニル] ピリジナト-N, C^{2'}} イリジウム (I I I) ピコリナート (略称: [I r (C F₃ p p y)₂ (p i c)]), ビス [2-(4', 6'-ジフルオロフェニル) ピリジナト-N, C^{2'}] イリジウム (I I I) アセチルアセトナート (略称: F I r a c a c) のような電子吸引基を有するフェニルピリジン誘導体を配位子とする有機金属イリジウム錯体が挙げられる。これらは青色のりん光発光を示す化合物であり、440 nm から 520 nm に発光のピークを有する化合物である。

[0097]

また、トリス (4-メチル-6-フェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (m p p m)₃]), トリス (4-tert-ブチル-6-フェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (t B u p p m)₃]), (アセチルアセトナト) ビス (6-メチル-4-フェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (m p p m)₂ (a c a c)]), (アセチルアセトナト) ビス (6-tert-ブチル-4-フェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (t B u p p m)₂ (a c a c)]), (アセチルアセトナト) ビス [6-(2-ノルボルニル)-4-フェニルピリミジナト] イリジウム (I I I) (略称: [I r (n b p p m)₂ (a c a c)]), (アセチルアセトナト) ビス [5-メチル-6-(2-メチルフェニル)-4-フェニルピリミジナト] イリジウム (I I I) (略称: [I r (m p m p p m)₂ (a c a c)]), (アセチルアセトナト) ビス (4, 6-ジフェニルピリミジナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (d p p m)₂ (a c a c)]) のようなピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、(アセチルアセトナト) ビス (3, 5-ジメチル-2-フェニルピラジナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (m p p r-Me)₂ (a c a c)]), (アセチルアセトナト) ビス (5-イソプロピル-3-メチル-2-フェニルピラジナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (m p p r-i P r)₂ (a c a c)]) のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス (2-フェニルピリジナト-N, C^{2'}) イリジウム (I I I) (略称: [I r (p p y)₃]), ビス (2-フェニルピリジナト-N, C^{2'}) イリジウム (I I I) アセチルアセトナート (略称: [I r (p p y)₂ (a c a c)]), ビス (ベンゾ [h] キノリナト) イリジウム (I I I) アセチルアセトナート (略称: [I r (b z q)₂ (a c a c)]), トリス (ベンゾ [h] キノリナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (b z q)₃]), トリス (2-フェニルキノリナト-N, C^{2'}) イリジウム (I I I) (略称: [I r (p q)₃]), ビス (2-フェニルキノリナト-N, C^{2'}) イリジウム (I I I) アセチルアセトナート (略称: [I r (p q)₂ (a c a c)]) のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体の他、トリス (アセチルアセトナト) (モノフェナントロリン) テルビウム (I I I) (略称: [T b (a c a c)₃ (P h e n)]) のような希土類金属錯体が挙げられる。これらは主に緑色のりん光発光を示す化合物であり、500 nm ~ 600 nm に発光のピークを有する。なお、ピリミジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、信頼性や発光効率にも際だって優れるため、特に好ましい。

[0098]

また、(ジイソブチルメタナト) ビス [4, 6-ビス (3-メチルフェニル) ピリミジナト] イリ

ジウム (I I I) (略称: [I r (5 m d p p m)₂ (d i b m)]), ビス [4, 6-ビス (3-メチルフェニル) ピリミジナト] (ジピバロイルメタナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (5 m d p p m)₂ (d p m)]), ビス [4, 6-ジ (ナフタレン-1-イル) ピリミジナト] (ジピバロイルメタナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (d 1 n p m)₂ (d p m)]) のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、(アセチルアセトナト) ビス (2, 3, 5-トリフェニルピラジナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (t p p r)₂ (a c a c)]), ビス (2, 3, 5-トリフェニルピラジナト) (ジピバロイルメタナト) イリジウム (I I I) (略称: [I r (t p p r)₂ (d p m)]), (アセチルアセトナト) ビス [2, 3-ビス (4-フルオロフェニル) キノキサリナト] イリジウム (I I I) (略称: [I r (F d p q)₂ (a c a c)]) のようなピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体や、トリス (1-フェニルイソキノリナト-N, C^{2'}) イリジウム (I I I) (略称: [I r (p i q)₃]), ビス (1-フェニルイソキノリナト-N, C^{2'}) イリジウム (I I I) アセチルアセトナト (略称: [I r (p i q)₂ (a c a c)]) のようなピリジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体の他、2, 3, 7, 8, 12, 13, 17, 18-オクタエチル-21H, 23H-ポルフィリン白金 (I I) (略称: P t O E P) のような白金錯体や、トリス (1, 3-ジフェニル-1, 3-プロパンジオナト) (モノフェナントロリン) ユーロピウム (I I I) (略称: [E u (D B M)₃ (P h e n)]), トリス [1-(2-テノイル)-3, 3, 3-トリフルオロアセトナト] (モノフェナントロリン) ユーロピウム (I I I) (略称: [E u (T T A)₃ (P h e n)]) のような希土類金属錯体が挙げられる。これらは、赤色のりん光発光を示す化合物であり、600 nm から 700 nm に発光のピークを有する。また、ピラジン骨格を有する有機金属イリジウム錯体は、色度の良い赤色発光が得られる。

[0099]

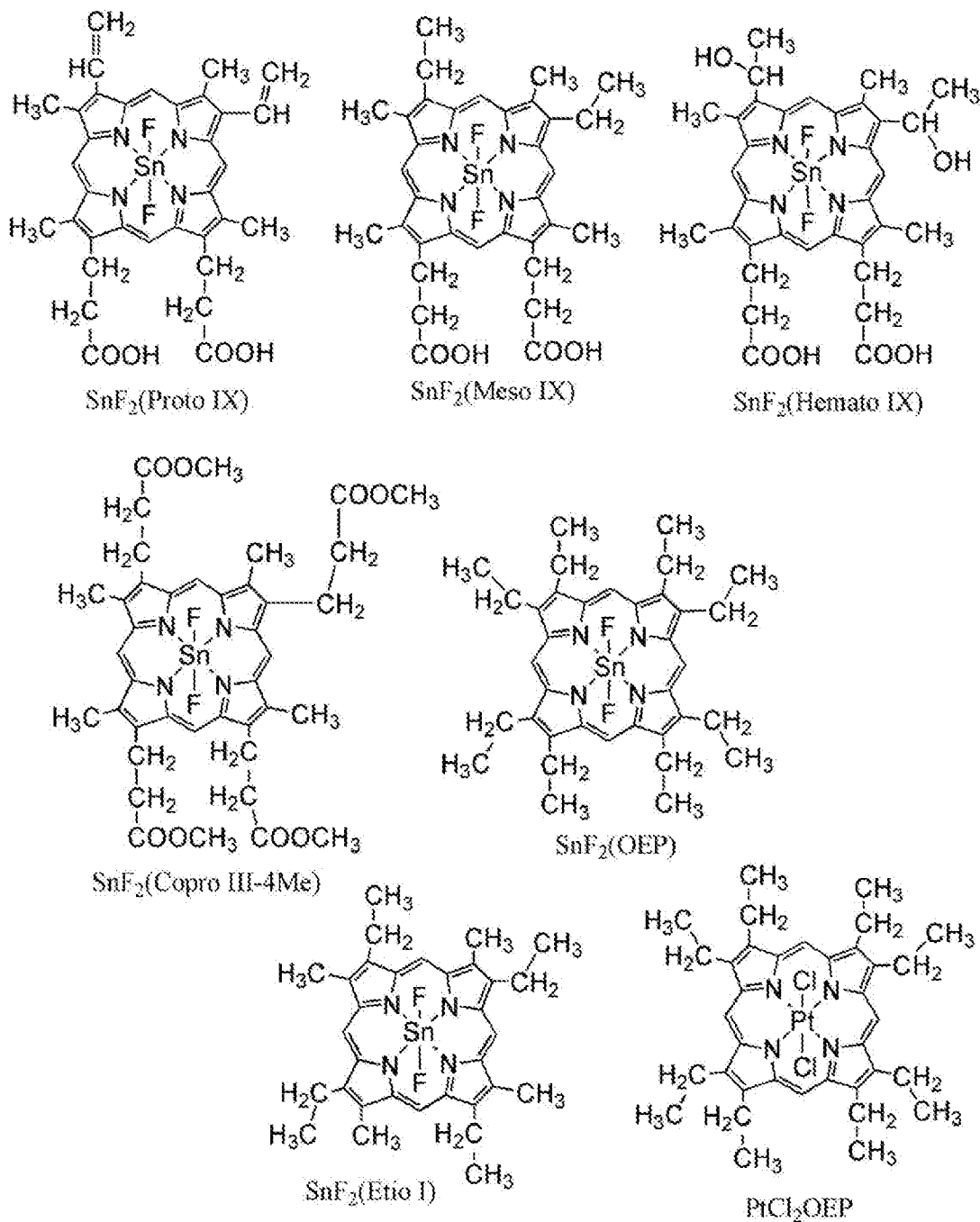
また、以上で述べたりん光性化合物の他、公知のりん光性発光材料を選択し、用いてもよい。

[0100]

TADF材料としてはフラーレン及びその誘導体、アクリジン及びその誘導体、エオシン誘導体等を用いることができる。またマグネシウム (M g)、亜鉛 (Z n)、カドミウム (C d)、スズ (S n)、白金 (P t)、インジウム (I n)、もしくはパラジウム (P d) 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 (S n F₂ (P r o t o I X)), メソポルフィリン-フッ化スズ錯体 (S n F₂ (M e s o I X)), ヘマトポルフィリン-フッ化スズ錯体 (S n F₂ (H e m a t o I X)), 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 (S n F₂ (C o p r o I I I - 4 M e)), オクタエチルポルフィリン-フッ化スズ錯体 (S n F₂ (O E P)), エチオポルフィリン-フッ化スズ錯体 (S n F₂ (E t i o I)), オクタエチルポルフィリン-塩化白金錯体 (P t C l₂ O E P) 等も挙げられる。

[0101]

[化 1]



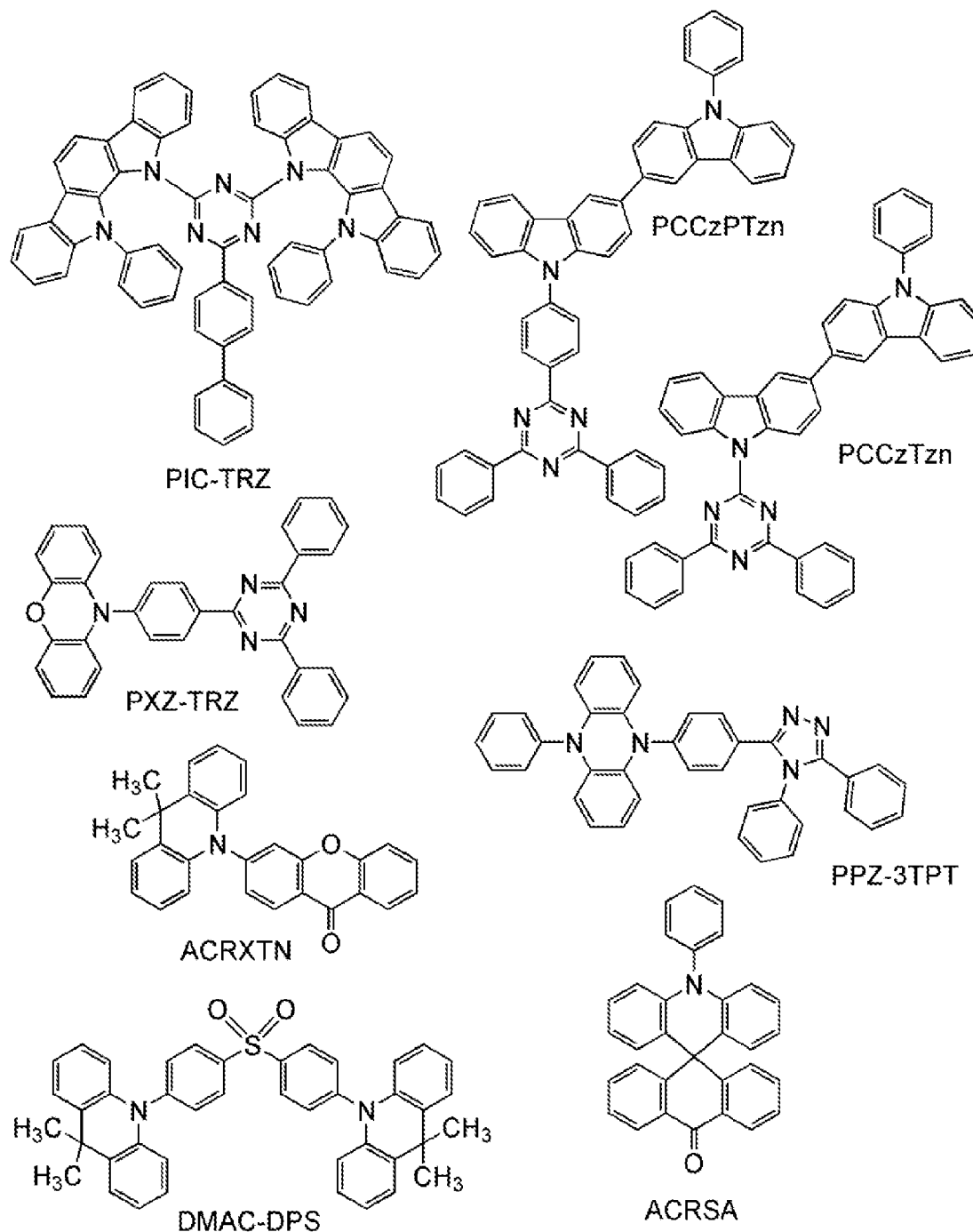
[0102]

また、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:PIC-TRZ)や、9-(4,6-ジフェニル-1,3,5-トリアジン-2-イル)-9'-フェニル-9H,9'-H-3,3'-ビカルバゾール(略称:PCCzTzn)、9-[4-(4,6-ジフェニル-1,3,5-トリアジン-2-イル)フェニル]-9'-フェニル-9H,9'-H-3,3'-ビカルバゾール(略称:PCCzPTzn)、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:PXZ-TRZ)、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-1,2,4-トリアゾール(略称:PPZ-3TPT)、3-(9,9-ジメチル-9H-アクリジン-10-

イル) - 9H-キサンテン-9-オン (略称: ACRTN)、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: DMAC-DPS)、10-フェニル-10H, 10'-H-スピロ [アクリジン-9, 9'-アントラセン] -10'-オン (略称: ACRSA)、等の π 電子過剰型複素芳香環と π 電子不足型複素芳香環の両方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、 π 電子過剰型複素芳香環及び π 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共に高く、好ましい。なお、 π 電子過剰型複素芳香環と π 電子不足型複素芳香環とが直接結合した物質は、 π 電子過剰型複素芳香環のドナー性と π 電子不足型複素芳香環のアクセプタ性が共に強くなり、 S_1 準位と T_1 準位のエネルギー差が小さくなるため、熱活性化遅延蛍光を効率よく得られることから特に好ましい。なお、 π 電子不足型複素芳香環の代わりに、シアノ基のような電子吸引基が結合した芳香環を用いても良い。

[0103]

[化 2]



[0104]

発光層のホスト材料としては、電子輸送性を有する材料や正孔輸送性を有する材料など様々なキャリア輸送材料を用いることができる。

[0105]

正孔輸送性を有する材料としては、上記正孔輸送層 112 に含まれる正孔輸送性を有する材料として挙げた物質を好適に用いることができる。

[0106]

電子輸送性を有する材料としては、例えば、ビス(10-ヒドロキシベンゾ[h]キノリナト)ベリリウム(11)(略称: BeBq₂)、ビス(2-メチルー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 I 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) などのポリ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'- (9H-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、3, 5-ビス [3- (9H-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。

[0107]

蛍光発光物質を発光材料として用いる場合、ホスト材料としては、アントラセン骨格を有する材料が好適である。アントラセン骨格を有する物質を蛍光発光物質のホスト材料として用いると、発光効率、耐久性共に良好な発光層を実現することが可能である。アントラセン骨格を有する材料はHOMO準位が深い材料が多い為、本発明の一態様に好適に適用することができる。ホスト材料として用いるアントラセン骨格を有する物質としては、ジフェニルアントラセン骨格、特に9, 10-ジフェニルアントラセン骨格を有する物質が化学的に安定であるため好ましい。また、ホスト材料がカルバゾール骨格を有する場合、正孔の注入・輸送性が高まるため好ましいが、カルバゾールにベンゼン環がさらに縮合したベンゾカルバゾール骨格を含む場合、カルバゾールよりもHOMO準位が0.1 eV程度浅くなり、正孔が入りやすくなるためより好ましい。特に、ホスト材料がジベンゾカルバゾール骨格を含む場合、カルバゾールよりもHOMO準位が0.1 eV程度浅くなり、正孔が入りやすくなる上に、正孔輸送性にも優れ、耐熱性も高くなるため好適である。したがって、さらにホスト材料として好ましいのは、9, 10-ジフェニルアントラセン骨格およびカルバゾール骨格 (あるいはベンゾカルバゾール骨格やジベンゾカルバゾール骨格) を同時に有する物質である。なお、上記の正孔注入・輸送性の観点から、カルバゾール骨格に換えて、ベンゾフルオレン骨格やジベンゾフルオレン骨格を用いてもよい。このような物質の例としては、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: cgDBCzPA)、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) 等が挙げられる。特に、CzPA、cgDBCzPA、2mBnfPPA、PCzPAは非常に良好な特性を示すため、好ましい選択である。

[0108]

なお、ホスト材料は複数種の物質を混合した材料であっても良く、混合したホスト材料を用いる場合は、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混合することが好ましい。電子輸送性を有する材料と、正孔輸送性を有する材料を混合することによって、発光層113の輸送性を容易に調整することができ、再結合領域の制御も簡便に行うことができる。正孔輸送性を有する材料と電子輸送性を有する材料の含有量の比は、正孔輸送性を有する材料：電子輸送性を有する材料＝1：9～9：1とすればよい。

[0109]

また、これら混合された材料同士で励起錯体を形成しても良い。当該励起錯体は発光材料の最も低エネルギー側の吸収帯の波長と重なるような発光を呈する励起錯体を形成するような組み合わせを選択することで、エネルギー移動がスムーズとなり、効率よく発光が得られるため好ましい。また、当該構成を用いることで駆動電圧も低下するため好ましい。

[0110]

本発明の一態様では、特に青色発光を呈する発光素子に好適である。

[0111]

電子輸送層114は、電子輸送性を有する物質を含む層である。電子輸送性を有する物質としては、上記ホスト材料に用いることが可能な電子輸送性を有する物質として挙げたものを用いることができる。

[0112]

電子輸送層114と第2の電極102との間に、電子注入層115として、フッ化リチウム(LiF)、フッ化セシウム(CsF)、フッ化カルシウム(CaF₂) 等のようなアルカリ金属又はアルカリ土類金属又はそれらの化合物を含む層を設けても良い。電子注入層115は、電子輸送性を有する物質からなる層中にアルカリ金属又はアルカリ土類金属又はそれらの化合物を含有させたものや、エレクトライドを用いてもよい。エレクトライドとしては、例えば、カルシウムとアルミニウムの混合酸化物に電子を高濃度添加した物質等が挙げられる。

[0113]

なお、電子注入層115として、電子輸送性を有する物質（好ましくはビピリジン骨格を有する有機化合物）に上記アルカリ金属又はアルカリ土類金属のフッ化物を微結晶状態となる濃度以上（50wt%以上）含ませた層を用いることも可能である。当該層は、屈折率の低い層であることから、より外部量子効率の良好な発光素子を提供することが可能となる。

[0114]

また、電子注入層 115 の代わりに電荷発生層 116 を設けても良い (図 4 (B))。電荷発生層 116 は、電位をかけることによって当該層の陰極側に接する層に正孔を、陽極側に接する層に電子を注入することができる層のことである。電荷発生層 116 には、少なくとも P 型層 117 が含まれる。P 型層 117 は、上述の正孔注入層 111 を構成することができる材料として挙げた複合材料を用いて形成することが好ましい。また P 型層 117 は、複合材料を構成する材料として上述したアクセプタ材料を含む膜と正孔輸送材料を含む膜とを積層して構成しても良い。P 型層 117 に電位をかけることによって、電子輸送層 114 に電子が、陰極である第 2 の電極 102 に正孔が注入され、発光素子が動作する。また、本発明の一態様の有機化合物は屈折率が低い有機化合物であることから、P 型層 117 に用いることによって、外部量子効率の良好な発光素子を得ることができる。

[0115]

なお、電荷発生層 116 は P 型層 117 の他に電子リレー層 118 及び電子注入バッファ層 119 のいずれか一又は両方がもうけられていることが好ましい。

[0116]

電子リレー層 118 は少なくとも電子輸送性を有する物質を含み、電子注入バッファ層 119 と P 型層 117 との相互作用を防いで電子をスムーズに受け渡す機能を有する。電子リレー層 118 に含まれる電子輸送性を有する物質の LUMO 準位は、P 型層 117 におけるアクセプタ性物質の LUMO 準位と、電子輸送層 114 における電荷発生層 116 に接する層に含まれる物質の LUMO 準位との間であることが好ましい。電子リレー層 118 に用いられる電子輸送性を有する物質における LUMO 準位の具体的なエネルギー準位は -5.0 eV 以上、好ましくは -5.0 eV 以上 -3.0 eV 以下とするとよい。なお、電子リレー層 118 に用いられる電子輸送性を有する物質としてはフタロシアニン系の材料又は金属-酸素結合と芳香族配位子を有する金属錯体を用いることが好ましい。

[0117]

電子注入バッファ層 119 には、アルカリ金属、アルカリ土類金属、希土類金属、およびこれらの化合物 (アルカリ金属化合物 (酸化リチウム等の酸化物、ハロゲン化物、炭酸リチウムや炭酸セシウム等の炭酸塩を含む)、アルカリ土類金属化合物 (酸化物、ハロゲン化物、炭酸塩を含む)、または希土類金属の化合物 (酸化物、ハロゲン化物、炭酸塩を含む)) 等の電子注入性の高い物質を用いることが可能である。

[0118]

また、電子注入バッファ層 119 が、電子輸送性を有する物質とドナー性物質を含んで形成される場合には、ドナー性物質として、アルカリ金属、アルカリ土類金属、希土類金属、およびこれらの化合物 (アルカリ金属化合物 (酸化リチウム等の酸化物、ハロゲン化物、炭酸リチウムや炭酸セシウム等の炭酸塩を含む)、アルカリ土類金属化合物 (酸化物、ハロゲン化物、炭酸塩を含む)、または希土類金属の化合物 (酸化物、ハロゲン化物、炭酸塩を含む)) の他、テトラチアナフタセン (略称: TTN)、ニッケロセン、デカメチルニッケロセン等の有機化合物を用いることもできる。なお、電子輸送性を有する物質としては、先に説明した電子輸送層 114 を構成する材料と同様の材料を用いて形成することができる。

[0119]

第 2 の電極 102 を形成する物質としては、仕事関数の小さい (具体的には 3.8 eV 以下) 金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などを用いることができる。このような陰極材料の

具体例としては、リチウム（L i）やセシウム（C s）等のアルカリ金属、およびマグネシウム（M g）、カルシウム（C a）、ストロンチウム（S r）等の元素周期表の第1族または第2族に属する元素、およびこれらを含む合金（M g A g、A l L i）、ユウロピウム（E u）、イッテルビウム（Y b）等の希土類金属およびこれらを含む合金等が挙げられる。しかしながら、第2の電極102と電子輸送層との間に、電子注入層を設けることにより、仕事関数の大小に関わらず、A l、A g、I T O、ケイ素若しくは酸化ケイ素を含有した酸化インジウム－酸化スズ等様々な導電性材料を第2の電極102として用いることができる。これら導電性材料は、真空蒸着法やスパッタリング法などの乾式法、インクジェット法、スピコート法等を用いて成膜することが可能である。また、ゾルゲル法を用いて湿式法で形成しても良いし、金属材料のペーストを用いて湿式法で形成してもよい。

[0120]

また、EL層103の形成方法としては、乾式法、湿式法を問わず、種々の方法を用いることができる。例えば、真空蒸着法、グラビア印刷法、オフセット印刷法、スクリーン印刷法、インクジェット法またはスピコート法などを用いても構わない。

[0121]

また上述した各電極または各層を異なる成膜方法を用いて形成しても構わない。

[0122]

なお、第1の電極101と第2の電極102との間に設けられる層の構成は、上記のものには限定されない。しかし、発光領域と電極やキャリア注入層に用いられる金属とが近接することによって生じる消光が抑制されるように、第1の電極101および第2の電極102から離れた部位に正孔と電子とが再結合する発光領域を設けた構成が好ましい。

[0123]

また、発光層113に接する正孔輸送層や電子輸送層、特に発光層113における再結合領域に近いキャリア輸送層は、発光層で生成した励起子からのエネルギー移動を抑制するため、そのバンドギャップが発光層を構成する発光材料もしくは、発光層に含まれる発光材料が有するバンドギャップより大きいバンドギャップを有する物質で構成することが好ましい。

[0124]

（実施の形態2）

本実施の形態では、実施の形態1に記載の発光素子を用いた発光装置について説明する。

[0125]

本実施の形態では、実施の形態1に記載の発光素子を用いて作製された発光装置について図5を用いて説明する。なお、図5（A）は、発光装置を示す上面図、図5（B）は図5（A）をA－BおよびC－Dで切断した断面図である。この発光装置は、発光素子の発光を制御するものとして、点線で示された駆動回路部（ソース線駆動回路）601、画素部602、駆動回路部（ゲート線駆動回路）603を含んでいる。また、604は封止基板、605はシール材であり、シール材605で囲まれた内側は、空間607になっている。

[0126]

なお、引き回し配線608はソース線駆動回路601及びゲート線駆動回路603に入力される信号を伝送するための配線であり、外部入力端子となるFPC（フレキシブルプリントサーキット）609からビデオ信号、クロック信号、スタート信号、リセット信号等を受け取る。なお、ここではFPCしか図示されていないが、このFPCにはプリント配線基板（PWB）が取り付けられていても

良い。本明細書における発光装置には、発光装置本体だけでなく、それにFPCもしくはPWBが取り付けられた状態をも含むものとする。

[0127]

次に、断面構造について図5(B)を用いて説明する。素子基板610上には駆動回路部及び画素部が形成されているが、ここでは、駆動回路部であるソース線駆動回路601と、画素部602中の一つの画素が示されている。

[0128]

素子基板610はガラス、石英、有機樹脂、金属、合金、半導体などからなる基板の他、FRP(Fiber Reinforced Plastics)、PVF(ポリビニルフロライド)、ポリエステルまたはアクリル樹脂等からなるプラスチック基板を用いて作製すればよい。

[0129]

画素や駆動回路に用いられるトランジスタの構造は特に限定されない。例えば、逆スタガ型のトランジスタとしてもよいし、スタガ型のトランジスタとしてもよい。また、トップゲート型のトランジスタでもボトムゲート型トランジスタでもよい。トランジスタに用いる半導体材料は特に限定されず、例えば、シリコン、ゲルマニウム、炭化シリコン、窒化ガリウム等を用いることができる。または、In-Ga-Zn系金属酸化物などの、インジウム、ガリウム、亜鉛のうち少なくとも一つを含む酸化物半導体を用いてもよい。

[0130]

トランジスタに用いる半導体材料の結晶性についても特に限定されず、非晶質半導体、結晶性を有する半導体(微結晶半導体、多結晶半導体、単結晶半導体、又は一部に結晶領域を有する半導体)のいずれを用いてもよい。結晶性を有する半導体を用いると、トランジスタ特性の劣化を抑制できるため好ましい。

[0131]

ここで、上記画素や駆動回路に設けられるトランジスタの他、後述するタッチセンサ等に用いられるトランジスタなどの半導体装置には、酸化物半導体を適用することが好ましい。特にシリコンよりもバンドギャップの広い酸化物半導体を適用することが好ましい。シリコンよりもバンドギャップの広い酸化物半導体を用いることで、トランジスタのオフ状態における電流を低減できる。

[0132]

上記酸化物半導体は、少なくともインジウム(In)又は亜鉛(Zn)を含むことが好ましい。また、In-M-Zn系酸化物(MはAl、Ti、Ga、Ge、Y、Zr、Sn、La、CeまたはHf等の金属)で表記される酸化物を含む酸化物半導体であることがより好ましい。

[0133]

特に、半導体層として、複数の結晶部を有し、当該結晶部はc軸が半導体層の被形成面、または半導体層の上面に対し垂直に配向し、且つ隣接する結晶部間には粒界を有さない酸化物半導体膜を用いることが好ましい。

[0134]

半導体層としてこのような材料を用いることで、電気特性の変動が抑制され、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

[0135]

また、上述の半導体層を有するトランジスタはその低いオフ電流により、トランジスタを介して容量

に蓄積した電荷を長期間に亘って保持することが可能である。このようなトランジスタを画素に適用することで、各表示領域に表示した画像の階調を維持しつつ、駆動回路を停止することも可能となる。その結果、極めて消費電力の低減された電子機器を実現できる。

[0136]

トランジスタの特性安定化等のため、下地膜を設けることが好ましい。下地膜としては、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜などの無機絶縁膜を用い、単層で又は積層して作製することができる。下地膜はスパッタリング法、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法 (プラズマCVD法、熱CVD法、MOCVD (Metal Organic CVD) 法など)、ALD (Atomic Layer Deposition) 法、塗布法、印刷法等を用いて形成できる。なお、下地膜は、必要で無ければ設けなくてもよい。

[0137]

なお、FET623は駆動回路部601に形成されるトランジスタの一つを示すものである。また、駆動回路は、種々のCMOS回路、PMOS回路もしくはNMOS回路で形成すれば良い。また、本実施の形態では、基板上に駆動回路を形成したドライバー体型を示すが、必ずしもその必要はなく、駆動回路を基板上ではなく外部に形成することもできる。

[0138]

また、画素部602はスイッチング用FET611と、電流制御用FET612とそのドレインに電氣的に接続された第1の電極613とを含む複数の画素により形成されているが、これに限定されず、3つ以上のFETと、容量素子とを組み合わせた画素部としてもよい。

[0139]

なお、第1の電極613の端部を覆って絶縁物614が形成されている。ここでは、ポジ型の感光性アクリル樹脂膜を用いることにより形成することができる。

[0140]

また、後に形成するEL層等の被覆性を良好なものとするため、絶縁物614の上端部または下端部に曲率を有する曲面が形成されるようにする。例えば、絶縁物614の材料としてポジ型の感光性アクリル樹脂を用いた場合、絶縁物614の上端部のみに曲率半径 ($0.2\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$) を有する曲面を持たせることが好ましい。また、絶縁物614として、ネガ型の感光性樹脂、或いはポジ型の感光性樹脂のいずれも使用することができる。

[0141]

第1の電極613上には、EL層616、および第2の電極617がそれぞれ形成されている。ここで、陽極として機能する第1の電極613に用いる材料としては、仕事関数の大きい材料を用いることが望ましい。例えば、ITO膜、またはケイ素を含有したインジウム錫酸化物膜、2~20wt%の酸化亜鉛を含む酸化インジウム膜、窒化チタン膜、クロム膜、タングステン膜、Zn膜、Pt膜などの単層膜の他、窒化チタン膜とアルミニウムを主成分とする膜との積層、窒化チタン膜とアルミニウムを主成分とする膜と窒化チタン膜との3層構造等を用いることができる。なお、積層構造とすると、配線としての抵抗も低く、良好なオーミックコンタクトがとれ、さらに陽極として機能させることができる。

[0142]

また、EL層616は、蒸着マスクを用いた蒸着法、インクジェット法、スピコート法等の種々の方法によって形成される。EL層616は、実施の形態1で説明したような構成を含んでいる。また、

EL層616を構成する他の材料としては、低分子化合物、または高分子化合物（オリゴマー、デンドリマーを含む）であっても良い。

[0143]

さらに、EL層616上に形成され、陰極として機能する第2の電極617に用いる材料としては、仕事関数の小さい材料（Al、Mg、Li、Ca、またはこれらの合金や化合物（MgAg、MgIn、AlLi等）等）を用いることが好ましい。なお、EL層616で生じた光が第2の電極617を透過させる場合には、第2の電極617として、膜厚を薄くした金属薄膜と、透明導電膜（ITO、2～20wt%の酸化亜鉛を含む酸化インジウム、ケイ素を含有したインジウム錫酸化物、酸化亜鉛（ZnO）等）との積層を用いるのが良い。

[0144]

なお、第1の電極613、EL層616、第2の電極617でもって、発光素子が形成されている。当該発光素子は実施の形態1に記載の発光素子である。なお、画素部は複数の発光素子が形成されているが、本実施の形態における発光装置では、実施の形態1に記載の発光素子と、それ以外の構成を有する発光素子の両方が混在していても良い。

[0145]

さらにシール材605で封止基板604を素子基板610と貼り合わせることで、素子基板610、封止基板604、およびシール材605で囲まれた空間607に発光素子618が備えられた構造になっている。なお、空間607には、充填材が充填されており、不活性気体（窒素やアルゴン等）が充填される場合の他、シール材で充填される場合もある。封止基板には凹部を形成し、そこに乾燥材を設けることで水分の影響による劣化を抑制することができ、好ましい構成である。

[0146]

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

[0147]

図5には示されていないが、第2の電極上に保護膜を設けても良い。保護膜は有機樹脂膜や無機絶縁膜で形成すればよい。また、シール材605の露出した部分を覆うように、保護膜が形成されていても良い。また、保護膜は、一对の基板の表面及び側面、封止層、絶縁層、等の露出した側面を覆って設けることができる。

[0148]

保護膜には、水などの不純物を透過しにくい材料を用いることができる。したがって、水などの不純物が外部から内部に拡散することを効果的に抑制することができる。

[0149]

保護膜を構成する材料としては、酸化物、窒化物、フッ化物、硫化物、三元化合物、金属またはポリマー等を用いることができ、例えば、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、ハフニウムシリケート、酸化ランタン、酸化珪素、チタン酸ストロンチウム、酸化タンタル、酸化チタン、酸化亜鉛、酸化ニオブ、酸化ジルコニウム、酸化スズ、酸化イットリウム、酸化セリウム、酸化スカンジウム、酸化エルビウム、酸化バナジウムまたは酸化インジウム等を含む材料や、窒化アルミニウム、窒化ハフニウ

ム、窒化珪素、窒化タンタル、窒化チタン、窒化ニオブ、窒化モリブデン、窒化ジルコニウムまたは窒化ガリウム等を含む材料、チタンおよびアルミニウムを含む窒化物、チタンおよびアルミニウムを含む酸化物、アルミニウムおよび亜鉛を含む酸化物、マンガンおよび亜鉛を含む硫化物、セリウムおよびストロンチウムを含む硫化物、エルビウムおよびアルミニウムを含む酸化物、イットリウムおよびジルコニウムを含む酸化物等を含む材料を用いることができる。

[0150]

保護膜は、段差被覆性（ステップカバレッジ）の良好な成膜方法を用いて形成することが好ましい。このような手法の一つに、原子層堆積（ALD: Atomic Layer Deposition）法がある。ALD法を用いて形成することができる材料を、保護膜に用いることが好ましい。ALD法を用いることで緻密な、クラックやピンホールなどの欠陥が低減された、または均一な厚さを備える保護膜を形成することができる。また、保護膜を形成する際に加工部材に与える損傷を、低減することができる。

[0151]

例えばALD法を用いて保護膜を形成することで、複雑な凹凸形状を有する表面や、タッチパネルの上面、側面及び裏面にまで均一で欠陥の少ない保護膜を形成することができる。

[0152]

以上のようにして、実施の形態1に記載の発光素子を用いて作製された発光装置を得ることができる。

[0153]

本実施の形態における発光装置は、実施の形態1に記載の発光素子を用いているため、良好な特性を備えた発光装置を得ることができる。具体的には、実施の形態1に記載の発光素子は発光効率が良好なため、消費電力の小さい発光装置とすることが可能である。

[0154]

また、本実施の形態は他の実施の形態と自由に組み合わせることができる。

[0155]

（実施の形態3）

本実施の形態では、実施の形態1に記載の発光素子を照明装置として用いる例を図6を参照しながら説明する。図6（B）は照明装置の上面図、図6（A）は図6（B）におけるe-f断面図である。

[0156]

本実施の形態における照明装置は、支持体である透光性を有する基板400上に、第1の電極401が形成されている。第1の電極401は実施の形態1における第1の電極101に相当する。第1の電極401側から発光を取り出す場合、第1の電極401は透光性を有する材料により形成する。

[0157]

第2の電極404に電圧を供給するためのパッド412が基板400上に形成される。

[0158]

第1の電極401上にはEL層403が形成されている。EL層403は実施の形態1におけるEL層103の構成に相当する。なお、これらの構成については当該記載を参照されたい。

[0159]

EL層403を覆って第2の電極404を形成する。第2の電極404は実施の形態1における第2の電極102に相当する。発光を第1の電極401側から取り出す場合、第2の電極404は反射

率の高い材料によって形成される。第2の電極404はパッド412と接続することによって、電圧が供給される。

[0160]

以上、第1の電極401、EL層403、及び第2の電極404を有する発光素子を本実施の形態で示す照明装置は有している。当該発光素子は発光効率の高い発光素子であるため、本実施の形態における照明装置は消費電力の小さい照明装置とすることができる。

[0161]

以上の構成を有する発光素子が形成された基板400と、封止基板407とをシール材405、406を用いて固着し、封止することによって照明装置が完成する。シール材405、406はどちらか一方でもかまわない。また、内側のシール材406（図6（B）では図示せず）には乾燥剤を混ぜることもでき、これにより、水分を吸着することができ、信頼性の向上につながる。

[0162]

また、パッド412と第1の電極401の一部をシール材405、406の外に伸張して設けることによって、外部入力端子とすることができる。また、その上にコンバーターなどを搭載したICチップ420などを設けても良い。

[0163]

以上、本実施の形態に記載の照明装置は、EL素子に実施の形態1に記載の発光素子を用いており、消費電力の小さい発光装置とすることができる。

[0164]

（実施の形態4）

本実施の形態では、実施の形態1に記載の発光素子をその一部に含む電子機器の例について説明する。実施の形態1に記載の発光素子は発光効率が良好であり、消費電力の小さい発光素子である。その結果、本実施の形態に記載の電子機器は、消費電力が小さい発光部を有する電子機器とすることが可能である。

[0165]

上記発光素子を適用した電子機器として、例えば、テレビジョン装置（テレビ、またはテレビジョン受信機ともいう）、コンピュータ用などのモニタ、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機（携帯電話、携帯電話装置ともいう）、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、パチンコ機などの大型ゲーム機などが挙げられる。これらの電子機器の具体例を以下に示す。

[0166]

図7（A）は、テレビジョン装置の一例を示している。テレビジョン装置は、筐体7101に表示部7103が組み込まれている。また、ここでは、スタンド7105により筐体7101を支持した構成を示している。表示部7103により、映像を表示することが可能であり、表示部7103は、実施の形態1に記載の発光素子をマトリクス状に配列して構成されている。

[0167]

テレビジョン装置の操作は、筐体7101が備える操作スイッチや、別体のリモコン操作機7110により行うことができる。リモコン操作機7110が備える操作キー7109により、チャンネルや音量の操作を行うことができ、表示部7103に表示される映像を操作することができる。また、リモコン操作機7110に、当該リモコン操作機7110から出力する情報を表示する表示部710

7を設ける構成としてもよい。

[0168]

なお、テレビジョン装置は、受信機やモデムなどを備えた構成とする。受信機により一般のテレビ放送の受信を行うことができ、さらにモデムを介して有線または無線による通信ネットワークに接続することにより、一方向（送信者から受信者）または双方向（送信者と受信者間、あるいは受信者間同士など）の情報通信を行うことも可能である。

[0169]

図7（B1）はコンピュータであり、本体7201、筐体7202、表示部7203、キーボード7204、外部接続ポート7205、ポインティングデバイス7206等を含む。なお、このコンピュータは、実施の形態1に記載の発光素子をマトリクス状に配列して表示部7203に用いることにより作製される。図7（B1）のコンピュータは、図7（B2）のような形態であっても良い。図7（B2）のコンピュータは、キーボード7204、ポインティングデバイス7206の代わりに第2の表示部7210が設けられている。第2の表示部7210はタッチパネル式となっており、第2の表示部7210に表示された入力用の表示を指や専用のペンで操作することによって入力を行うことができる。また、第2の表示部7210は入力用表示だけでなく、その他の画像を表示することも可能である。また表示部7203もタッチパネルであっても良い。二つの画面がヒンジで接続されていることによって、収納や運搬をする際に画面を傷つける、破損するなどのトラブルの発生も防止することができる。

[0170]

図7（C）は、携帯端末の一例を示している。携帯電話機は、筐体7401に組み込まれた表示部7402の他、操作ボタン7403、外部接続ポート7404、スピーカ7405、マイク7406などを備えている。なお、携帯電話機7400は、実施の形態1に記載の発光素子をマトリクス状に配列して作製された表示部7402を有している。

[0171]

図7（C）に示す携帯端末は、表示部7402を指などで触れることで、情報を入力することができる構成とすることもできる。この場合、電話を掛ける、或いはメールを作成するなどの操作は、表示部7402を指などで触れることにより行うことができる。

[0172]

表示部7402の画面は主として3つのモードがある。第1は、画像の表示を主とする表示モードであり、第2は、文字等の情報の入力を主とする入力モードである。第3は表示モードと入力モードの2つのモードが混合した表示+入力モードである。

[0173]

例えば、電話を掛ける、或いはメールを作成する場合は、表示部7402を文字の入力を主とする文字入力モードとし、画面に表示させた文字の入力操作を行えばよい。この場合、表示部7402の画面のほとんどにキーボードまたは番号ボタンを表示させることが好ましい。

[0174]

また、携帯端末内部に、ジャイロ、加速度センサ等の傾きを検出するセンサを有する検出装置を設けることで、携帯端末の向き（縦か横か）を判断して、表示部7402の画面表示を自動的に切り替えるようにすることができる。

[0175]

また、画面モードの切り替えは、表示部 7 4 0 2 を触れること、又は筐体 7 4 0 1 の操作ボタン 7 4 0 3 の操作により行われる。また、表示部 7 4 0 2 に表示される画像の種類によって切り替えるようにすることもできる。例えば、表示部に表示する画像信号が動画のデータであれば表示モード、テキストデータであれば入力モードに切り替える。

[0 1 7 6]

また、入力モードにおいて、表示部 7 4 0 2 の光センサで検出される信号を検知し、表示部 7 4 0 2 のタッチ操作による入力が一定期間ない場合には、画面のモードを入力モードから表示モードに切り替えるように制御してもよい。

[0 1 7 7]

表示部 7 4 0 2 は、イメージセンサとして機能させることもできる。例えば、表示部 7 4 0 2 に掌や指で触れ、掌紋、指紋等を撮像することで、本人認証を行うことができる。また、表示部に近赤外光を発光するバックライトまたは近赤外光を発光するセンシング用光源を用いれば、指静脈、掌静脈などを撮像することもできる。

[0 1 7 8]

なお、本実施の形態に示す構成は、実施の形態 1 乃至実施の形態 3 に示した構成を適宜組み合わせて用いることができる。

[0 1 7 9]

以上の様に実施の形態 1 に記載の発光素子を備えた発光装置の適用範囲は極めて広く、この発光装置をあらゆる分野の電子機器に適用することが可能である。実施の形態 1 に記載の発光素子を用いることにより消費電力の小さい電子機器を得ることができる。

[0 1 8 0]

図 8 (A) は、掃除ロボットの一例を示す模式図である。

[0 1 8 1]

掃除ロボット 5 1 0 0 は、上面に配置されたディスプレイ 5 1 0 1、側面に配置された複数のカメラ 5 1 0 2、ブラシ 5 1 0 3、操作ボタン 5 1 0 4 を有する。また図示されていないが、掃除ロボット 5 1 0 0 の下面には、タイヤ、吸い込み口等が備えられている。掃除ロボット 5 1 0 0 は、その他に赤外線センサ、超音波センサ、加速度センサ、ピエゾセンサ、光センサ、ジャイロセンサなどの各種センサを備えている。また、掃除ロボット 5 1 0 0 は、無線による通信手段を備えている。

[0 1 8 2]

掃除ロボット 5 1 0 0 は自走し、ゴミ 5 1 2 0 を検知し、下面に設けられた吸い込み口からゴミを吸引することができる。

[0 1 8 3]

また、掃除ロボット 5 1 0 0 はカメラ 5 1 0 2 が撮影した画像を解析し、壁、家具または段差などの障害物の有無を判断することができる。また、画像解析により、配線などブラシ 5 1 0 3 に絡まりそうな物体を検知した場合は、ブラシ 5 1 0 3 の回転を止めることができる。

[0 1 8 4]

ディスプレイ 5 1 0 1 には、バッテリーの残量や、吸引したゴミの量などを表示することができる。掃除ロボット 5 1 0 0 が走行した経路をディスプレイ 5 1 0 1 に表示させてもよい。また、ディスプレイ 5 1 0 1 をタッチパネルとし、操作ボタン 5 1 0 4 をディスプレイ 5 1 0 1 に設けてもよい。

[0 1 8 5]

掃除ロボット 5100 は、スマートフォンなどの携帯電子機器 5140 と通信することができる。カメラ 5102 が撮影した画像は、携帯電子機器 5140 に表示させることができる。そのため、掃除ロボット 5100 の持ち主は、外出先からでも、部屋の様子を知ることができる。また、ディスプレイ 5101 の表示をスマートフォンなどの携帯電子機器 5140 で確認することもできる。

[0186]

本発明の一態様の発光装置はディスプレイ 5101 に用いることができる。

[0187]

図 8 (B) に示すロボット 2100 は、演算装置 2110、照度センサ 2101、マイクロフォン 2102、上部カメラ 2103、スピーカ 2104、ディスプレイ 2105、下部カメラ 2106、障害物センサ 2107 および移動機構 2108 を備える。

[0188]

マイクロフォン 2102 は、使用者の話し声及び環境音等を検知する機能を有する。また、スピーカ 2104 は、音声を発する機能を有する。ロボット 2100 は、マイクロフォン 2102 およびスピーカ 2104 を用いて、使用者とコミュニケーションをとることが可能である。

[0189]

ディスプレイ 2105 は、種々の情報の表示を行う機能を有する。ロボット 2100 は、使用者の望みの情報をディスプレイ 2105 に表示することが可能である。ディスプレイ 2105 は、タッチパネルを搭載していてもよい。また、ディスプレイ 2105 は取り外しのできる情報端末であっても良く、ロボット 2100 の定位置に設置することで、充電およびデータの受け渡しを可能とする。

[0190]

上部カメラ 2103 および下部カメラ 2106 は、ロボット 2100 の周囲を撮像する機能を有する。また、障害物センサ 2107 は、移動機構 2108 を用いてロボット 2100 が前進する際の進行方向における障害物の有無を察知することができる。ロボット 2100 は、上部カメラ 2103、下部カメラ 2106 および障害物センサ 2107 を用いて、周囲の環境を認識し、安全に移動することが可能である。本発明の一態様の発光装置はディスプレイ 2105 に用いることができる。

[0191]

図 8 (C) はゴーグル型ディスプレイの一例を表す図である。ゴーグル型ディスプレイは、例えば、筐体 5000、表示部 5001、スピーカ 5003、LED ランプ 5004、操作キー 5005 (電源スイッチ、又は操作スイッチを含む)、接続端子 5006、センサ 5007 (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、において、又は赤外線を測定する機能を含むもの)、マイクロフォン 5008、第 2 の表示部 5002、支持部 5012、イヤホン 5013 等を有する。

[0192]

本発明の一態様の発光装置は表示部 5001 および第 2 の表示部 5002 に用いることができる。

[0193]

図 9 は、実施の形態 1 に記載の発光素子を、照明装置である電気スタンドに用いた例である。図 9 に示す電気スタンドは、筐体 2001 と、光源 2002 を有し、光源 2002 としては、実施の形態 2 に記載の照明装置を用いても良い。

[0194]

図 10 は、実施の形態 1 に記載の発光素子を、室内の照明装置 3001 として用いた例である。実施

の形態 1 に記載の発光素子は発光効率の高い発光素子であるため、消費電力の小さい照明装置とすることができる。また、実施の形態 1 に記載の発光素子は大面積化が可能であるため、大面積の照明装置として用いることができる。また、実施の形態 1 に記載の発光素子は、薄型であるため、薄型化した照明装置として用いることが可能となる。

[0195]

実施の形態 1 に記載の発光素子は、自動車のフロントガラスやダッシュボードにも搭載することができる。図 11 に実施の形態 1 に記載の発光素子を自動車のフロントガラスやダッシュボードに用いる一態様を示す。表示領域 5200 乃至表示領域 5203 は実施の形態 1 に記載の発光素子を用いて設けられた表示領域である。

[0196]

表示領域 5200 と表示領域 5201 は自動車のフロントガラスに設けられた実施の形態 1 に記載の発光素子を搭載した表示装置である。実施の形態 1 に記載の発光素子は、第 1 の電極と第 2 の電極を透光性を有する電極で作製することによって、反対側が透けて見える、いわゆるシースルー状態の表示装置とすることができる。シースルー状態の表示であれば、自動車のフロントガラスに設置したとしても、視界の妨げになることなく設置することができる。なお、駆動のためのトランジスタなどを設ける場合には、有機半導体材料による有機トランジスタや、酸化物半導体を用いたトランジスタなど、透光性を有するトランジスタを用いると良い。

[0197]

表示領域 5202 はピラー部分に設けられた実施の形態 1 に記載の発光素子を搭載した表示装置である。表示領域 5202 には、車体に設けられた撮像手段からの映像を映し出すことによって、ピラーで遮られた視界を補完することができる。また、同様に、ダッシュボード部分に設けられた表示領域 5203 は車体によって遮られた視界を、自動車の外側に設けられた撮像手段からの映像を映し出すことによって、死角を補い、安全性を高めることができる。見えない部分を補完するように映像を映すことによって、より自然に違和感なく安全確認を行うことができる。

[0198]

表示領域 5203 はまたナビゲーション情報、速度計や回転計、走行距離、燃料計、ギア状態、エアコンの設定などを表示することで、その他様々な情報を提供することができる。表示は使用者の好みに合わせて適宜その表示項目やレイアウトを変更することができる。なお、これら情報は表示領域 5200 乃至表示領域 5202 にも設けることができる。また、表示領域 5200 乃至表示領域 5203 は照明装置として用いることも可能である。

[0199]

また、図 12 (A)、(B) に、折りたたみ可能な携帯情報端末 5150 を示す。折りたたみ可能な携帯情報端末 5150 は筐体 5151、表示領域 5152 および屈曲部 5153 を有している。図 12 (A) に展開した状態の携帯情報端末 5150 を示す。図 12 (B) に折りたたんだ状態の携帯情報端末 5150 を示す。携帯情報端末 5150 は、大きな表示領域 5152 を有するにも関わらず、折りたためばコンパクトで可搬性に優れる。

[0200]

表示領域 5152 は屈曲部 5153 により半分に折りたたむことができる。屈曲部 5153 は伸縮可能な部材と複数の支持部材とで構成されており、折りたたむ場合は、伸縮可能な部材が伸びて、屈曲部 5153 は 2 mm 以上、好ましくは 3 mm 以上の曲率半径を有して折りたたまれる。

[0201]

なお、表示領域5152は、タッチセンサ（入力装置）を搭載したタッチパネル（入出力装置）であってもよい。本発明の一態様の発光装置を表示領域5152に用いることができる。

[0202]

また、図13（A）～（C）に、折りたたみ可能な携帯情報端末9310を示す。図13（A）に展開した状態の携帯情報端末9310を示す。図13（B）に展開した状態又は折りたたんだ状態の一方から他方に変化する途中の状態の携帯情報端末9310を示す。図13（C）に折りたたんだ状態の携帯情報端末9310を示す。携帯情報端末9310は、折りたた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。

[0203]

表示パネル9311はヒンジ9313によって連結された3つの筐体9315に支持されている。なお、表示パネル9311は、タッチセンサ（入力装置）を搭載したタッチパネル（入出力装置）であってもよい。また、表示パネル9311は、ヒンジ9313を介して2つの筐体9315間を屈曲させることにより、携帯情報端末9310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。本発明の一態様の発光装置を表示パネル9311に用いることができる。表示パネル9311における表示領域9312は折りたたんだ状態の携帯情報端末9310の側面に位置する表示領域である。

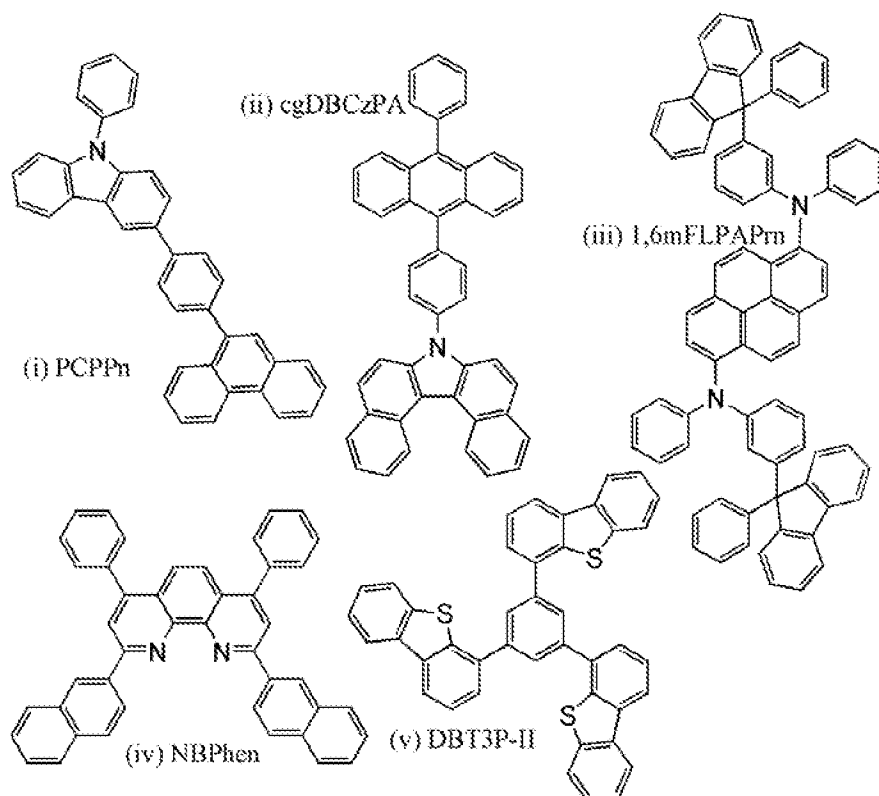
[実施例1]

[0204]

本実施例では、マイクロキャビティ構造を有する発光素子において、その光路長を変化させた場合の外部量子効率およびブルーインデックス（BI）の挙動について詳しく説明する。本実施例で作製した発光素子1-1乃至発光素子1-8に用いた有機化合物の構造を以下に示す。

[0205]

[化 3]



[0206]

<発光素子1-1乃至発光素子1-8の作製方法>

まず、ガラス基板上に、反射電極として、銀 (Ag) とパラジウム (Pd) と銅 (Cu) の合金膜 (Ag-Pd-Cu (APC) 膜) をスパッタリング法により、100 nmの膜厚で成膜した後、透明電極として酸化珪素を含むインジウム錫酸化物 (ITO) をスパッタリング法により、85 nmの膜厚で成膜して第1の電極101を形成した。なお、その電極面積は4 mm² (2 mm×2 mm) とした。

[0207]

次に、基板上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

[0208]

その後、10⁻⁴ Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、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、基板を30分程度放冷した。

[0209]

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、第1の電極101上に、蒸着法により上記構造式(i)で表される3-[4-(9-フェナントリル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール (略称: PCPPn) と酸化モリブデン (VI) とを重量比1:0.5 (=PCPPn:酸化モリブデン) となるように、共蒸着して正孔注入層111を形成した。

[0210]

発光素子の光路長の変更は、上記正孔注入層111の膜厚を変化させることによって実現した。発光素子1-1では当該正孔注入層111の膜厚を10 nm、発光素子1-2では15 nm、発光素子1

－3では20nm、発光素子1－4では25nm、発光素子1－5では30nm、発光素子1－6では35nm、発光素子1－7では40nm、発光素子1－8では45nmとして作製した。

[0211]

正孔注入層111上に、PCPPnを15nm蒸着して正孔輸送層112を形成した。

[0212]

続いて、上記構造式(i i)で表される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:cgDBCzPA)と、上記構造式(i i i)で表されるN, N'-ジフェニル-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, 6mFLPAPrn)とを、重量比で1:0.03(=cgDBCzPA:1, 6mFLPAPrn)となるように25nm共蒸着して発光層113を形成した。

[0213]

その後、発光層113上に、cgDBCzPAを膜厚5nmとなるように蒸着し、上記構造式(i v)で表される2, 9-ビス(ナフタレン-2-イル)-4, 7-ジフェニル-1, 10-フェナントロリン(略称:NBPhen)を膜厚15nmとなるように蒸着し、電子輸送層114を形成した。

[0214]

電子輸送層114を形成した後、フッ化リチウム(LiF)を膜厚1nmとなるように蒸着して電子注入層115を形成し、銀(Ag)とマグネシウム(Mg)との体積比を1:0.1、膜厚10nmとなるように蒸着することで第2の電極102を形成して発光素子1-1乃至発光素子1-8を作製した。なお、第2の電極102は光を反射する機能と光を透過する機能とを有する半透過・半反射電極であり、本実施例の発光素子は第2の電極102から光を取り出すトップエミッションの素子である。また、第2の電極102上には上記構造式(v)で表される1, 3, 5-トリ(ジベンゾチオフェン-4-イル)-ベンゼン(略称:DBT3P-I I)を70nm蒸着して、取出し効率を向上させている。

[0215]

発光素子1-1乃至発光素子1-8の素子構造を以下の表1および表2にまとめた。表2は、各発光素子における正孔注入層の膜厚を示している。

[0216]

[表1]

有機キャップ層	DBT3P-II	70nm
半透過・半反射電極	Ag:Mg (1:0.1)	10nm
電子注入層	LiF	1nm
電子輸送層	NBPhen	15nm
	cgDBCzPA	5nm
発光層	cgDBCzPA:1,6mFLPAPrn (1:0.03)	25nm
正孔輸送層	PCPPn	15nm
正孔注入層	PCPPn:MoOx (1:0.5)	xnm
透明電極	ITO	85nm
反射電極	APC	100nm

[0217]

[表 2]

	膜厚(nm)
発光素子1-1	10
発光素子1-2	15
発光素子1-3	20
発光素子1-4	25
発光素子1-5	30
発光素子1-6	35
発光素子1-7	40
発光素子1-8	45

[0218]

作製した発光素子を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時にUV処理、80℃にて1時間熱処理）を行った後、測定を行った。なお、測定は室温で行った。

[0219]

発光素子1-1乃至発光素子1-8の測定結果を以下に示す。測定結果は全て、輝度が1000cd/m²付近の時の値である。また外部量子効率、正面輝度からランバーシアン配光を仮定して算出した未補正の外部量子効率である。

[0220]

[表 3]

	色度x	色度y	電流効率 (cd/A)	外部量子効率 (%)	BI	EL_max (nm)
発光素子1-1	0.139	0.050	0.813	1.46	16.1	459
発光素子1-2	0.139	0.055	1.58	2.71	29.0	459
発光素子1-3	0.138	0.059	2.84	4.70	48.4	459
発光素子1-4	0.139	0.062	4.55	7.27	73.1	460
発光素子1-5	0.137	0.068	6.28	9.59	93.0	460
発光素子1-6	0.137	0.079	8.64	12.2	110	463
発光素子1-7	0.136	0.093	10.3	13.3	111	465
発光素子1-8	0.133	0.122	12.4	13.8	102	468

[0221]

また、発光中心物質である1,6mFLPAPrnのトルエン溶液におけるPLスペクトルを図14に示す。当該PLスペクトルの測定には蛍光光度計（（株）浜松ホトニクス製、Edinburgh Instruments FS920）を用い、平均フォトンエネルギー E_{ave} を求める際には、実施の形態1に示した式（I）を用いた。これにより、1,6mFLPAPrnのトルエン溶液におけるPLスペクトルの平均のエネルギー（ E_{ave} ）は2.61eVと算出された。また、1,6mFLPAPrnのトルエン溶液におけるPLスペクトルの短波長側における発光端を、図15のように求めたところ、438nmであり、そのエネルギーは2.83eVであった。

[0222]

図16は、各発光素子における発光のピークエネルギー（ E_{em} ）に対する外部量子効率（EQE）およびブルーインデックス（BI）の関係を示したグラフであり、横軸が E_{em} であり、縦軸がEQEおよびBIを表している。

[0223]

図より、EQEおよびBI共に、 E_{em} が E_{ave} （本実施例では2.61eV）と2.69eVの間となるようなキャビティ長を有する発光素子において良好な値を示すことがわかった。

[0224]

なお、 2.69 eV という数値は、 E_{edge} である 2.83 eV の 0.95 倍に相当するエネルギーである。

[0225]

このように、マイクロキャビティ構造を有する青色発光素子は、 E_{ave} 以上 E_{edge} の 0.95 倍以下のエネルギーに相当する波長を得ることができるキャビティ長を有する発光素子において、良好な効率で発光を呈することが可能であることがわかった。すなわち、 $E_{\text{ave}} \leq E_{\text{em}} \leq 0.95 E_{\text{edge}}$ (図中範囲A) となるように、キャビティ長を制御することで、EQEとBIの双方を最大化することができる。

[0226]

また、特にBIを考慮すると、 $E_{\text{ave}} + 0.02\text{ (eV)}$ 以上 $E_{\text{edge}} \times 0.95\text{ (eV)}$ 以下の E_{em} を有する発光素子が好ましいことから、 $E_{\text{ave}} + 0.02 \leq E_{\text{em}} \leq 0.95 E_{\text{edge}}$ (図中範囲B) となるようにキャビティ長を制御することが好ましいことがわかった。

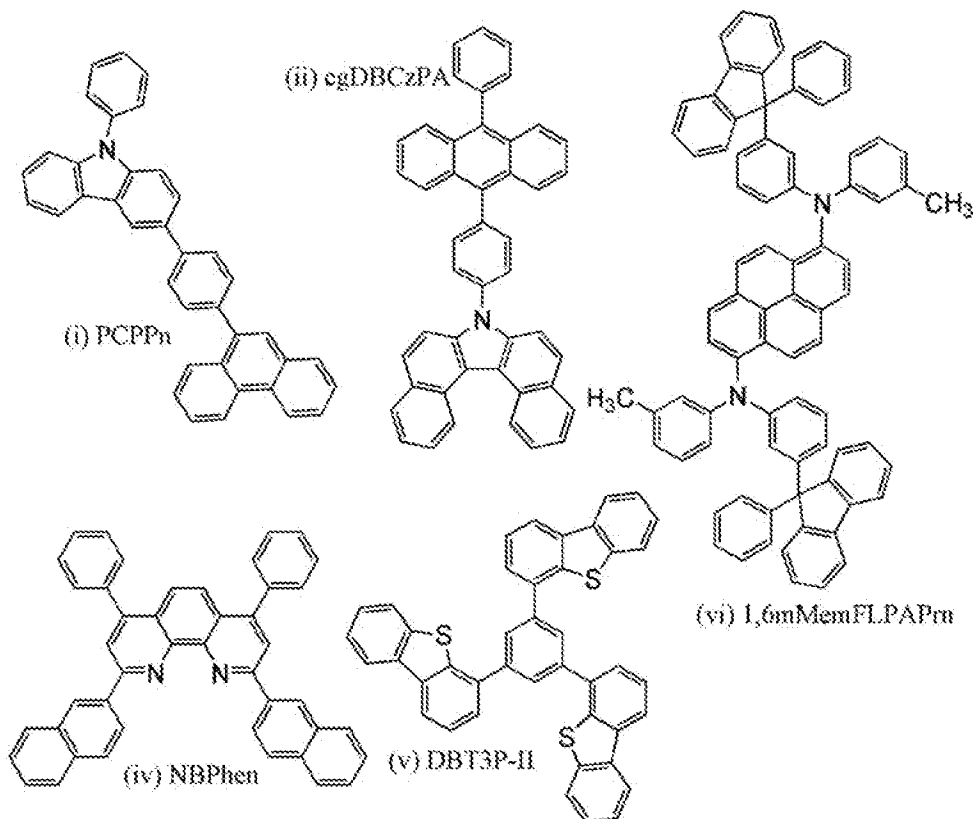
[実施例2]

[0227]

本実施例では、マイクロキャビティ構造を有する発光素子において、その光路長を変化させた場合の外部量子効率およびブルーインデックス (BI) の挙動について詳しく説明する。本実施例で作製した発光素子2-1乃至発光素子2-8に用いた有機化合物の構造を以下に示す。

[0228]

[化4]



[0229]

<発光素子2-1乃至発光素子2-8の作製方法>

まず、ガラス基板上に、反射電極として、銀(Ag)とパラジウム(Pd)と銅(Cu)の合金膜(Ag-Pd-Cu(APC)膜)をスパッタリング法により、100nmの膜厚で成膜した後、透明電極として酸化珪素を含むインジウム錫酸化物(ITSO)をスパッタリング法により、85nmの膜厚で成膜して第1の電極101を形成した。なお、その電極面積は4mm²(2mm×2mm)とした。

[0230]

次に、基板上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

[0231]

その後、10⁻⁴Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、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、基板を30分程度放冷した。

[0232]

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、第1の電極101上に、蒸着法により上記構造式(i)で表される3-[4-(9-フェナントリル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール(略称:PCPPn)と酸化モリブデン(VI)とを重量比1:0.5(=PCPPn:酸化モリブデン)となるように、共蒸着して正孔注入層111を形成した。

[0233]

発光素子の光路長の変更は、上記正孔注入層111の膜厚を変化させることによって実現した。発光素子2-1では当該正孔注入層111の膜厚を10nm、発光素子2-2では15nm、発光素子2-3では20nm、発光素子2-4では25nm、発光素子2-5では30nm、発光素子2-6では35nm、発光素子2-7では40nm、発光素子2-8では45nmとして作製した。

[0234]

正孔注入層111上に、PCPPnを15nm蒸着して正孔輸送層112を形成した。

[0235]

続いて、上記構造式(ii)で表される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:cgDBCzPA)と、上記構造式(vi)で表される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:1,6mMemFLPAPrn)とを、重量比で1:0.03(=cgDBCzPA:1,6mMemFLPAPrn)となるように25nm共蒸着して発光層113を形成した。

[0236]

その後、発光層113上に、cgDBCzPAを膜厚5nmとなるように蒸着し、上記構造式(iv)で表される2,9-ビス(ナフタレン-2-イル)-4,7-ジフェニル-1,10-フェナントロリン(略称:NBPhen)を膜厚15nmとなるように蒸着し、電子輸送層114を形成した。

[0237]

電子輸送層114を形成した後、フッ化リチウム(LiF)を膜厚1nmとなるように蒸着して電子注入層115を形成し、銀(Ag)とマグネシウム(Mg)との体積比を1:0.1、膜厚15nmとなるように蒸着することで第2の電極102を形成して発光素子2-1乃至発光素子2-8を作

製した。なお、第2の電極102は光を反射する機能と光を透過する機能とを有する半透過・半反射電極であり、本実施例の発光素子は第2の電極102から光を取り出すトップエミッションの素子である。また、第2の電極102上には上記構造式(v)で表される1, 3, 5-トリ(ジベンゾチオフェン-4-イル)-ベンゼン(略称: DBT3P-I I)を70nm蒸着して、取出し効率を向上させている。

[0238]

発光素子2-1乃至発光素子2-8の素子構造を以下の表4および表5にまとめた。表5は、各発光素子における正孔注入層の膜厚を示している。

[0239]

[表4]

有機キャップ層	DBT3P-II	70nm
半透過・半反射電極	Ag:Mg (1:0.1)	15nm
電子注入層	LiF	1nm
電子輸送層	NBPhen	15nm
	cgDBCzPA	5nm
発光層	cgDBCzPA:1,6mMemFLPAPrn (1:0.03)	25nm
正孔輸送層	PCPPn	15nm
正孔注入層	PCPPn:MoOx (1:0.5)	xnm
透明電極	ITO	85nm
反射電極	APC	100nm

[0240]

[表5]

	膜厚(nm)
発光素子2-1	10
発光素子2-2	15
発光素子2-3	20
発光素子2-4	25
発光素子2-5	30
発光素子2-6	35
発光素子2-7	40
発光素子2-8	45

[0241]

作製した発光素子を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業(シール材を素子の周囲に塗布し、封止時にUV処理、80℃にて1時間熱処理)を行った後、測定を行った。なお、測定は室温で行った。

[0242]

発光素子2-1乃至発光素子2-8の測定結果を以下に示す。測定結果は全て、輝度が1000cd/m²付近の時の値である。また外部量子効率、正面輝度からランバertian配光を仮定して算出した未補正の外部量子効率である。

[0243]

[表 6]

	色度 x	色度 y	電流効率 (cd/A)	外部量子効率 (%)	BI	EL _{max} (nm)
発光素子2-1	0.143	0.062	0.522	0.84	8.49	461
発光素子2-2	0.137	0.064	1.02	1.60	15.9	462
発光素子2-3	0.138	0.068	1.96	2.99	28.9	461
発光素子2-4	0.137	0.069	3.26	4.84	46.9	462
発光素子2-5	0.138	0.074	4.86	7.04	65.7	462
発光素子2-6	0.137	0.081	6.97	9.68	85.7	463
発光素子2-7	0.135	0.098	9.66	12.2	99.0	466
発光素子2-8	0.132	0.125	12.0	13.2	95.5	469

[0244]

また、発光中心物質である 1, 6 mMe mFLPAPr n のトルエン溶液における PL スペクトルを図 17 に示す。当該 PL スペクトルの測定には蛍光光度計（（株）浜松ホトニクス製、Edinburgh Instruments FS920）を用い、平均フォトンエネルギー E_{ave} を求める際には、実施の形態 1 に示した式 (I) を用いた。これにより、1, 6 mMe mFLPAPr n のトルエン溶液における PL スペクトルの平均のエネルギー (E_{ave}) は 2.59 eV と算出された。また、1, 6 mMe mFLPAPr n のトルエン溶液における PL スペクトルの短波長側における発光端を、図 18 のように求めたところ、440 nm であり、そのエネルギーは 2.82 eV であった。

[0245]

図 19 は、各発光素子における発光のピークエネルギー (E_{em}) に対する外部量子効率 (EQE) およびブルーインデックス (BI) の関係を示したグラフであり、横軸が E_{em} であり、縦軸が EQE および BI を表している。

[0246]

図より、EQE および BI 共に、 E_{em} が E_{ave} （本実施例では 2.59 eV）と 2.68 eV の間となるようなキャビティ長を有する発光素子において良好な値を示すことがわかった。

[0247]

なお、2.68 eV という数値は、 E_{edge} である 2.82 eV の 0.95 倍に相当するエネルギーである。

[0248]

このように、マイクロキャビティ構造を有する青色発光素子は、 E_{ave} 以上 E_{edge} の 0.95 倍以下のエネルギーに相当する波長を得ることができるキャビティ長を有する発光素子において、良好な効率で発光を呈することが可能であることがわかった。すなわち、 $E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge}$ 。（図中範囲 A）となるように、キャビティ長を制御することで、EQE と BI の双方を最大化することができる。

[0249]

また、特に BI を考慮すると、 $E_{ave} + 0.02$ (eV) 以上 $E_{edge} \times 0.95$ (eV) 以下の E_{em} を有する発光素子が好ましいことから、 $E_{ave} + 0.02 \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge}$ （図中範囲 B）となるようにキャビティ長を制御することが好ましいことがわかった。

[実施例 3]

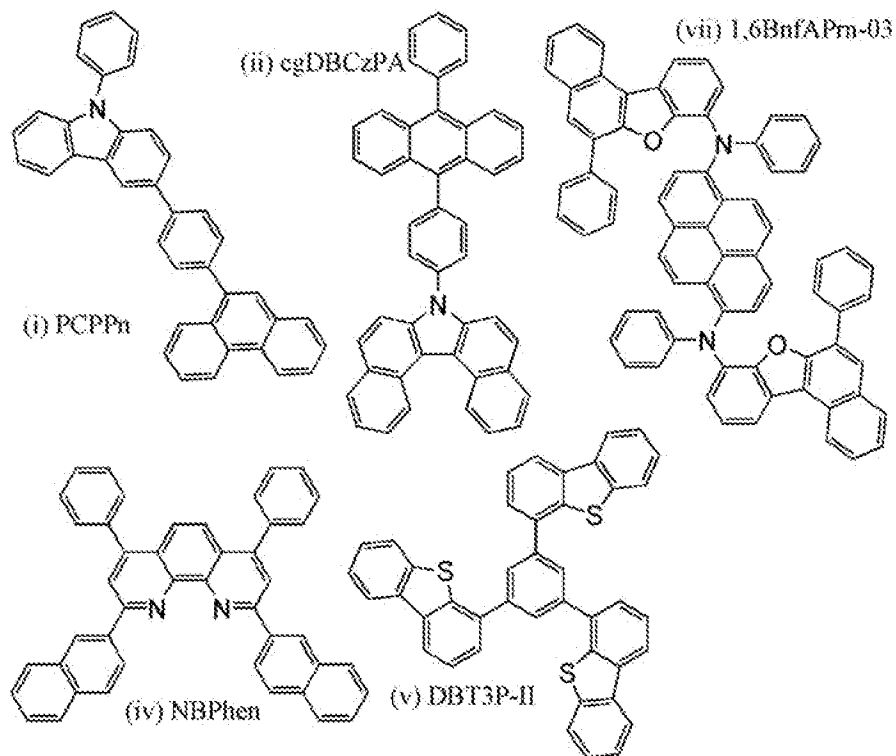
[0250]

本実施例では、マイクロキャビティ構造を有する発光素子において、その光路長を変化させた場合の外部量子効率およびブルーインデックス (BI) の挙動について詳しく説明する。本実施例で作製し

た発光素子 3-1 乃至発光素子 3-8 に用いた有機化合物の構造を以下に示す。

[0251]

[化5]



[0252]

<発光素子 3-1 乃至発光素子 3-8 の作製方法>

まず、ガラス基板上に、反射電極として、銀 (Ag) とパラジウム (Pd) と銅 (Cu) の合金膜 (Ag-Pd-Cu (APC) 膜) をスパッタリング法により、100 nm の膜厚で成膜した後、透明電極として酸化珪素を含むインジウム錫酸化物 (ITO) をスパッタリング法により、95 nm の膜厚で成膜して第 1 の電極 101 を形成した。なお、その電極面積は 4 mm² (2 mm × 2 mm) とした。

[0253]

次に、基板上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UV オゾン処理を 370 秒行った。

[0254]

その後、10⁻⁴ Pa 程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、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、基板を30分程度放冷した。

[0255]

次に、第 1 の電極 101 が形成された面が下方となるように、第 1 の電極 101 が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、第 1 の電極 101 上に、蒸着法により上記構造式 (i) で表される 3-[4-(9-フェナントリル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール (略称: PCPPn) と酸化モリブデン (VI) とを重量比 1:0.5 (=PCPPn:酸化モリブデン) となるように、共蒸着して正孔注入層 111 を形成した。

[0256]

発光素子の光路長の変更は、上記正孔注入層 1 1 1 の膜厚を変化させることによって実現した。発光素子 3-1 では当該正孔注入層 1 1 1 の膜厚を 1 0 n m、発光素子 3-2 では 1 5 n m、発光素子 3-3 では 2 0 n m、発光素子 3-4 では 2 5 n m、発光素子 3-5 では 3 0 n m、発光素子 3-6 では 3 5 n m、発光素子 3-7 では 4 0 n m、発光素子 3-8 では 4 5 n m として作製した。

[0 2 5 7]

正孔注入層 1 1 1 上に、PCPPn を 1 5 n m 蒸着して正孔輸送層 1 1 2 を形成した。

[0 2 5 8]

続いて、上記構造式 (i i) で表される 7- [4- (1 0-フェニル-9-アントリル) フェニル]-7 H-ジベンゾ [c, g] カルバゾール (略称: c g D B C z P A) と、上記構造式 (v i i) で表される N, N'- (ピレン-1, 6-ジイル) ビス [(6, N-ジフェニルベンゾ [b] ナフト [1, 2-d] フラン) -8-アミン] (略称: 1, 6 B n f A P r n-0 3) とを、重量比で 1 : 0. 0 3 (= c g D B C z P A : 1, 6 B n f A P r n-0 3) となるように 2 5 n m 共蒸着して発光層 1 1 3 を形成した。

[0 2 5 9]

その後、発光層 1 1 3 上に、c g D B C z P A を膜厚 5 n m となるように蒸着し、上記構造式 (i v) で表される 2, 9-ビス (ナフタレン-2-イル) -4, 7-ジフェニル-1, 1 0-フェナントロリン (略称: N B P h e n) を膜厚 1 5 n m となるように蒸着し、電子輸送層 1 1 4 を形成した。

[0 2 6 0]

電子輸送層 1 1 4 を形成した後、フッ化リチウム (L i F) を膜厚 1 n m となるように蒸着して電子注入層 1 1 5 を形成し、銀 (A g) とマグネシウム (M g) との体積比を 1 : 0. 1、膜厚 1 5 n m となるように蒸着することで第 2 の電極 1 0 2 を形成して発光素子 3-1 乃至発光素子 3-8 を作製した。なお、第 2 の電極 1 0 2 は光を反射する機能と光を透過する機能とを有する半透過・半反射電極であり、本実施例の発光素子は第 2 の電極 1 0 2 から光を取り出すトップエミッションの素子である。また、第 2 の電極 1 0 2 上には上記構造式 (v) で表される 1, 3, 5-トリ (ジベンゾチオフェン-4-イル) -ベンゼン (略称: D B T 3 P-I I) を 7 0 n m 蒸着して、取出し効率を向上させている。

[0 2 6 1]

発光素子 3-1 乃至発光素子 3-8 の素子構造を以下の表 7 および表 8 にまとめた。表 8 は、各発光素子における正孔注入層の膜厚を示している。

[0 2 6 2]

[表 7]

有機キャップ層	DBT3P-II	70nm
半透過・半反射電極	Ag:Mg (1:0.1)	15nm
電子注入層	LiF	1nm
電子輸送層	NBPhen	15nm
	cgDBCzPA	5nm
発光層	cgDBCzPA:1,6BnfAPrn-03 (1:0.03)	25nm
正孔輸送層	PCPPn	15nm
正孔注入層	PCPPn:MoOx (1:0.5)	xnm
透明電極	ITO	95nm
反射電極	APC	100nm

[0263]

[表8]

	膜厚(nm)
発光素子3-1	10
発光素子3-2	15
発光素子3-3	20
発光素子3-4	25
発光素子3-5	30
発光素子3-6	35
発光素子3-7	40
発光素子3-8	45

[0264]

作製した発光素子を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時にUV処理、80℃にて1時間熱処理）を行った後、測定を行った。なお、測定は室温で行った。

[0265]

発光素子3-1乃至発光素子3-8の測定結果を以下に示す。測定結果は全て、輝度が1000cd/m²付近の時の値である。また外部量子効率、正面輝度からランバーシアン配光を仮定して算出した未補正の外部量子効率である。

[0266]

[表9]

	色度x	色度y	電流効率 (cd/A)	外部量子効率 (%)	BI	EL _{max} (nm)
発光素子3-1	0.143	0.030	0.344	0.800	11.6	452
発光素子3-2	0.142	0.030	0.69	1.60	22.8	452
発光素子3-3	0.142	0.032	1.15	2.63	36.2	453
発光素子3-4	0.142	0.033	2.01	4.51	60.5	453
発光素子3-5	0.142	0.036	3.25	6.95	90.1	455
発光素子3-6	0.141	0.046	4.83	9.30	105	457
発光素子3-7	0.139	0.061	6.19	10.3	102	460
発光素子3-8	0.136	0.087	7.71	10.6	89.1	465

[0267]

また、発光中心物質である1,6BnfAPrn-03のトルエン溶液におけるPLスペクトルを図20に示す。当該PLスペクトルの測定には蛍光光度計（（株）浜松ホトニクス製、Edinburgh Instruments FS920）を用い、平均フォトンエネルギー E_{ave} を求める際には、実施の形態1に示した式（I）を用いた。これにより、1,6BnfAPrn-03のトルエン溶液におけるPLスペクトルの平均のエネルギー（ E_{ave} ）は2.65eVと算出された。また、当該PLスペクトルの短波長側における発光端を、図21のように求めたところ、432nmであり、そのエネルギーは2.87eVであった。

[0268]

図22は、各発光素子における発光のピークエネルギー（ E_{em} ）に対する外部量子効率（EQE）およびブルーインデックス（BI）の関係を示したグラフであり、横軸が E_{em} であり、縦軸がEQEおよびBIを表している。

[0269]

図より、EQEおよびBI共に、 E_{em} が E_{ave} （本実施例では2.65eV）と2.73eVの間と

なるようなキャビティ長を有する発光素子において良好な値を示すことがわかった。

[0270]

なお、 2.73 eV という数値は、 E_{edge} である 2.87 eV の 0.95 倍に相当するエネルギーである。

[0271]

このように、マイクロキャビティ構造を有する青色発光素子は、 E_{ave} 以上 E_{edge} の 0.95 倍以下のエネルギーに相当する波長を得ることができるキャビティ長を有する発光素子において、良好な効率で発光を呈することが可能であることがわかった。すなわち、 $E_{\text{ave}} \leq E_{\text{em}} \leq 0.95 E_{\text{edge}}$ 。(図中範囲A)となるように、キャビティ長を制御することで、EQEとBIの双方を最大化することができる。

[0272]

また、特にBIを考慮すると、 $E_{\text{ave}} + 0.02\text{ (eV)}$ (本実施例では 2.67 eV) 以上 $E_{\text{edge}} \times 0.95\text{ (eV)}$ 以下の E_{em} を有する発光素子が好ましいことから、 $E_{\text{ave}} + 0.02 \leq E_{\text{em}} \leq 0.95 E_{\text{edge}}$ (図中範囲B)となるようにキャビティ長を制御することが好ましいことがわかった。

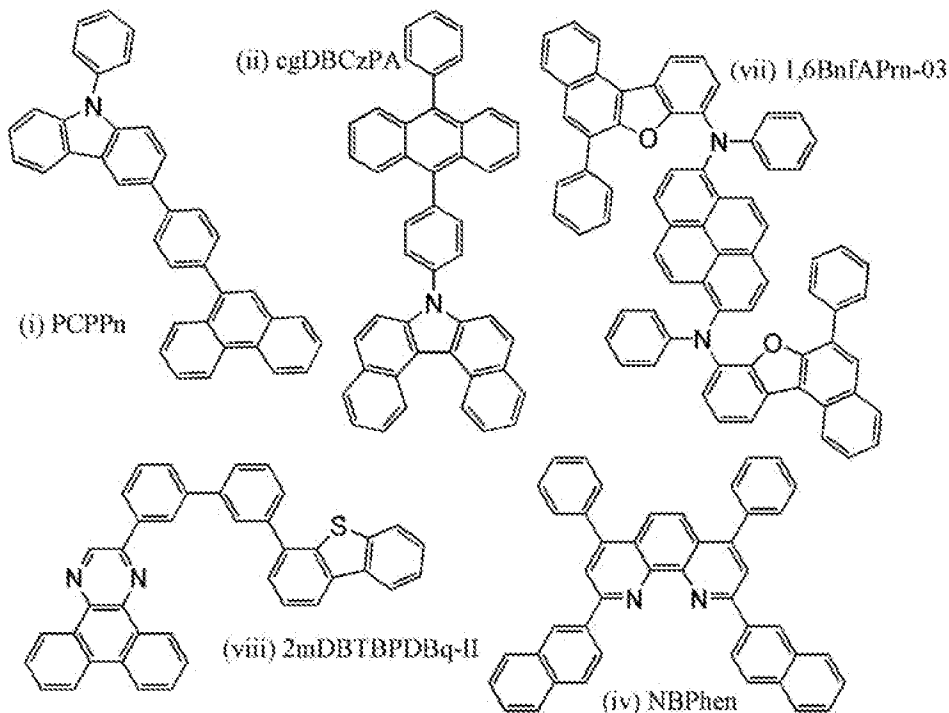
[実施例4]

[0273]

本実施例では、マイクロキャビティ構造を有する発光素子において、その光路長を変化させた場合の外部量子効率およびブルーインデックス (BI) の挙動について詳しく説明する。本実施例で作製した発光素子4-1乃至発光素子4-4に用いた有機化合物の構造を以下に示す。

[0274]

[化6]



[0275]

<発光素子4-1乃至発光素子4-4の作製方法>

まず、ガラス基板上に、透明電極として酸化珪素を含むインジウム錫酸化物（ITO）を70nmの膜厚で形成した後、半透過・半反射電極として、銀（Ag）とパラジウム（Pd）と銅（Cu）の合金膜（Ag-Pd-Cu（APC）膜）をスパッタリング法により、膜厚25nmとなるように成膜した後、さらに透明電極としてITOをスパッタリング法により、10nmの膜厚で成膜して第1の電極101を形成した。なお、その電極面積は4mm²（2mm×2mm）とした。

[0276]

次に、基板上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

[0277]

その後、10⁻⁴Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、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、基板を30分程度放冷した。

[0278]

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、第1の電極101上に、蒸着法により上記構造式（i）で表される3-[4-(9-フェナントリル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール（略称：PCPPn）と酸化モリブデン（VI）とを重量比1：0.5（＝PCPPn：酸化モリブデン）となるように、共蒸着して正孔注入層111を形成した。

[0279]

発光素子の光路長の変更は、上記正孔注入層111の膜厚を変化させることによって実現した。発光素子4-1では当該正孔注入層111の膜厚を10nm、発光素子4-2では12.5nm、発光素子4-3では15nm、発光素子4-4では17.5nmとして作製した。

[0280]

正孔注入層111上に、PCPPnを15nm蒸着して正孔輸送層112を形成した。

[0281]

続いて、上記構造式（ii）で表される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：cgDBCzPA）と、上記構造式（vii）で表されるN, N'-(ピレン-1, 6-ジイル)ビス[(6, N-ジフェニルベンゾ[b]ナフト[1, 2-d]フラン)-8-アミン]（略称：1, 6BnfAPrn-03）とを、重量比で1：0.03（＝cgDBCzPA：1, 6BnfAPrn-03）となるように20nm共蒸着して発光層113を形成した。

[0282]

その後、発光層113上に、上記構造式（viii）で表される2-[3'-(ジベンゾチオフェン-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：2mDBTBPD Bq-11）を膜厚10nmとなるように蒸着し、上記構造式（iv）で表される2, 9-ビス(ナフタレン-2-イル)-4, 7-ジフェニル-1, 10-フェナントロリン（略称：NBPhen）を膜厚10nmとなるように蒸着し、電子輸送層114を形成した。

[0283]

電子輸送層114を形成した後、フッ化リチウム（LiF）を膜厚1nmとなるように蒸着して電子注入層115を形成し、アルミニウムを120nm成膜して第2の電極102を形成し、発光素子4

－１乃至発光素子４－４を作製した。なお、第２の電極１０２は光を反射する電極であり、本実施例の発光素子は第１の電極１０１から光を取り出すボトムエミSSIONの素子である。

[0284]

発光素子４－１乃至発光素子４－４の素子構造を以下の表１０および表１１にまとめた。表１１は、各発光素子における正孔注入層の膜厚を示している。

[0285]

[表１０]

反射電極	Al	120nm
電子注入層	LiF	1nm
電子輸送層	NBPhen	10nm
	2mDBTBPDBq-II	10nm
発光層	cgDBCzPA:1,6BnfAPrn-03 (1:0.03)	20nm
正孔輸送層	PCPPn	15nm
正孔注入層	PCPPn:MoOx (1:0.5)	xnm
透明電極	ITO	10nm
半透過・半反射電極	APC	25nm
透明電極	ITO	70nm

[0286]

[表１１]

	膜厚(nm)
発光素子4-1	10
発光素子4-2	12.5
発光素子4-3	15
発光素子4-4	17.5

[0287]

作製した発光素子を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時にUV処理、80℃にて1時間熱処理）を行った後、測定を行った。なお、測定は室温で行った。

[0288]

発光素子４－１乃至発光素子４－４の測定結果を以下に示す。測定結果は全て、輝度が1000cd/m²付近の時の値である。また外部量子効率、正面輝度からランバertian配光を仮定して算出した未補正の外部量子効率である。

[0289]

[表１２]

	色度x	色度y	電流効率 (cd/A)	外部量子効率 (%)	BI	EL _{max} (nm)
発光素子4-1	0.141	0.039	4.13	8.15	105	453
発光素子4-2	0.140	0.044	5.55	10.6	127	455
発光素子4-3	0.139	0.052	6.66	11.6	129	459
発光素子4-4	0.138	0.074	8.41	12.5	114	462

[0290]

また、発光中心物質である1,6BnfAPrn-03のトルエン溶液におけるPLスペクトルを図23に示す。当該PLスペクトルの測定には蛍光光度計（（株）浜松ホトニクス製、Edinburgh Instruments FS920）を用い、平均フォトンエネルギーE_{av}を求める際

には、実施の形態1に示した式(1)を用いた。これにより、1,6-BnfAPrn-03のトルエン溶液におけるPLスペクトルの平均のエネルギー(E_{ave})は2.65 eVと算出された。また、当該PLスペクトルの短波長側における発光端を、図24のように求めたところ、432 nmであり、そのエネルギーは2.87 eVであった。

[0291]

図25は、各発光素子における発光のピークエネルギー(E_{em})に対する外部量子効率(EQE)およびブルーインデックス(BI)の関係を示したグラフであり、横軸が E_{em} であり、縦軸がEQEおよびBIを表している。

[0292]

図より、EQEおよびBI共に、 E_{em} が E_{ave} (本実施例では2.65 eV)と2.73 eVの間となるようなキャビティ長を有する発光素子において良好な値を示すことがわかった。

[0293]

なお、2.73 eVという数値は、 E_{edge} である2.87 eVの0.95倍に相当するエネルギーである。

[0294]

このように、マイクロキャビティ構造を有する青色発光素子は、 E_{ave} 以上 E_{edge} の0.95倍以下のエネルギーに相当する波長を得ることができるキャビティ長を有する発光素子において、良好な効率で発光を呈することが可能であることがわかった。すなわち、 $E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge}$ 。(図中範囲A)となるように、キャビティ長を制御することで、EQEとBIの双方を最大化することができる。

[0295]

また、特にBIを考慮すると、 $E_{ave} + 0.02$ (eV) (本実施例では2.67 eV) 以上 $E_{edge} \times 0.95$ (eV) 以下の E_{em} を有する発光素子が好ましいことから、 $E_{ave} + 0.02 \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge}$ (図中範囲B)となるようにキャビティ長を制御することが好ましいことがわかった。

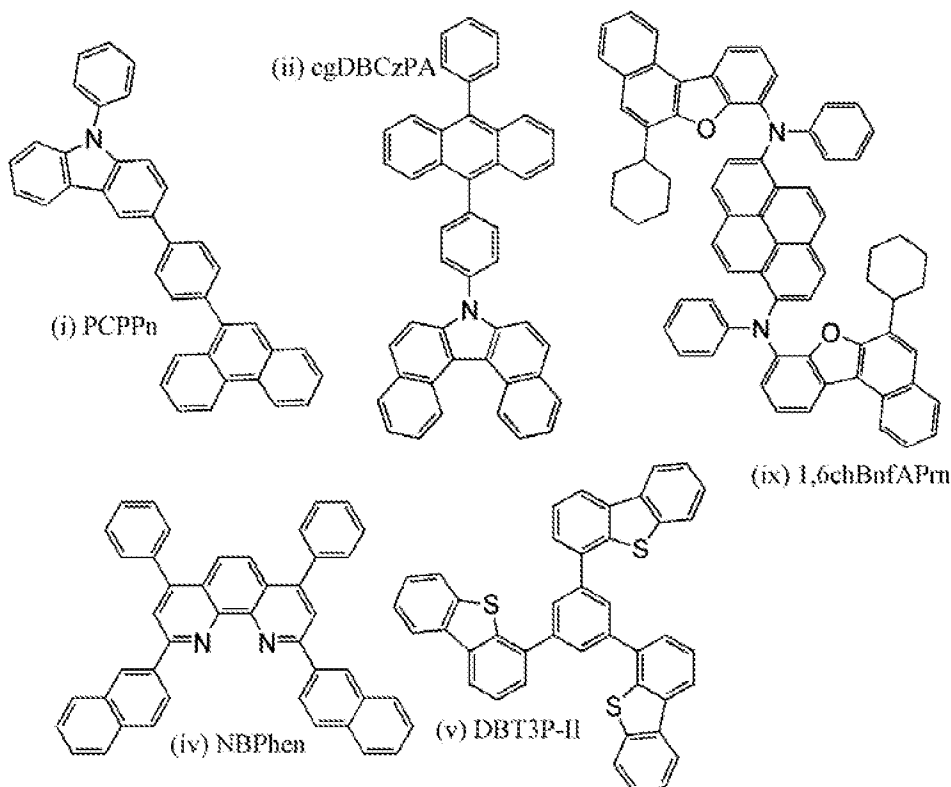
[実施例5]

[0296]

本実施例では、マイクロキャビティ構造を有する発光素子において、その光路長を変化させた場合の外部量子効率およびブルーインデックス(BI)の挙動について詳しく説明する。本実施例で作製した発光素子5-1乃至発光素子5-8に用いた有機化合物の構造を以下に示す。

[0297]

[化 7]



[0298]

<発光素子5-1乃至発光素子5-8の作製方法>

まず、ガラス基板上に、反射電極として、銀 (Ag) とパラジウム (Pd) と銅 (Cu) の合金膜 (Ag-Pd-Cu (APC) 膜) をスパッタリング法により、100 nmの膜厚で成膜した後、透明電極として酸化珪素を含むインジウム錫酸化物 (ITO) をスパッタリング法により、85 nmの膜厚で成膜して第1の電極101を形成した。なお、その電極面積は4 mm² (2 mm×2 mm) とした。

[0299]

次に、基板上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

[0300]

その後、10⁻⁴ Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、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、基板を30分程度放冷した。

[0301]

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、第1の電極101上に、蒸着法により上記構造式(i)で表される3-[4-(9-フェナントリル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール (略称: PCPPn) と酸化モリブデン (VI) とを重量比1:0.5 (=PCPPn:酸化モリブデン) となるように、共蒸着して正孔注入層111を形成した。

[0302]

発光素子の光路長の変更は、上記正孔注入層111の膜厚を変化させることによって実現した。発光

素子 5-1 では当該正孔注入層 111 の膜厚を 10 nm、発光素子 5-2 では 15 nm、発光素子 5-3 では 20 nm、発光素子 5-4 では 25 nm、発光素子 5-5 では 30 nm、発光素子 5-6 では 35 nm、発光素子 5-7 では 40 nm、発光素子 5-8 では 45 nm として作製した。

[0303]

正孔注入層 111 上に、PCPPn を 15 nm 蒸着して正孔輸送層 112 を形成した。

[0304]

続いて、上記構造式 (ii) で表される 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: cgDBCzPA) と、上記構造式 (ix) で表される N, N'- (ピレン-1, 6-ジイル) ビス (N-フェニル-6-シクロヘキシルベンゾ [b] ナフト [1, 2-d] フラン-8-アミン) (略称: 1, 6chBnfAPrn) とを、重量比で 1 : 0.03 (= cgDBCzPA : 1, 6chBnfAPrn) となるように 25 nm 共蒸着して発光層 113 を形成した。

[0305]

その後、発光層 113 上に、cgDBCzPA を膜厚 5 nm となるように蒸着し、上記構造式 (iv) で表される 2, 9-ビス (ナフタレン-2-イル) -4, 7-ジフェニル-1, 10-フェナントロリン (略称: NBPhen) を膜厚 15 nm となるように蒸着し、電子輸送層 114 を形成した。

[0306]

電子輸送層 114 を形成した後、フッ化リチウム (LiF) を膜厚 1 nm となるように蒸着して電子注入層 115 を形成し、銀 (Ag) とマグネシウム (Mg) との体積比を 1 : 0.1 (= Ag : Mg)、膜厚 10 nm となるように蒸着することで第 2 の電極 102 を形成して発光素子 5-1 乃至発光素子 5-8 を作製した。なお、第 2 の電極 102 は光を反射する機能と光を透過する機能とを有する半透過・半反射電極であり、本実施例の発光素子は第 2 の電極 102 から光を取り出すトップエミッションの素子である。また、第 2 の電極 102 上には上記構造式 (v) で表される 1, 3, 5-トリ (ジベンゾチオフェン-4-イル) -ベンゼン (略称: DBT3P-I) を 70 nm 蒸着して、取出し効率を向上させている。

[0307]

発光素子 5-1 乃至発光素子 5-8 の素子構造を以下の表 13 および表 14 にまとめた。表 14 は、各発光素子における正孔注入層の膜厚を示している。

[0308]

[表 13]

有機キャップ層	DBT3P-II	70nm
半透過・半反射電極	Ag:Mg (1:0.1)	10nm
電子注入層	LiF	1nm
電子輸送層	NBPhen	15nm
	cgDBCzPA	5nm
発光層	cgDBCzPA:1,6chBnfAPrn (1:0.03)	25nm
正孔輸送層	PCPPn	15nm
正孔注入層	PCPPn:MoOx (1:0.5)	xnm
透明電極	ITO	85nm
反射電極	APC	100nm

[0309]

[表 1 4]

	膜厚(nm)
発光素子5-1	10
発光素子5-2	15
発光素子5-3	20
発光素子5-4	25
発光素子5-5	30
発光素子5-6	35
発光素子5-7	40
発光素子5-8	45

[0 3 1 0]

作製した発光素子を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時にUV処理、80℃にて1時間熱処理）を行った後、測定を行った。なお、測定は室温で行った。

[0 3 1 1]

発光素子5-1乃至発光素子5-8の測定結果を以下に示す。測定結果は全て、輝度が1000cd/m²付近の時の値である。また外部量子効率、正面輝度からランバーシアン配光を仮定して算出した未補正の外部量子効率である。

[0 3 1 2]

[表 1 5]

	色度 _x	色度 _y	電流効率 (cd/A)	外部量子効率 (%)	BI	EL _{max} (nm)
発光素子5-1	0.142	0.032	0.735	1.70	23.3	453
発光素子5-2	0.142	0.034	1.39	3.13	41.6	453
発光素子5-3	0.142	0.035	2.28	4.93	65.0	452
発光素子5-4	0.141	0.040	3.50	7.15	88.5	453
発光素子5-5	0.140	0.045	4.86	9.22	109	455
発光素子5-6	0.138	0.058	6.72	11.2	117	458
発光素子5-7	0.138	0.078	8.32	11.9	107	460
発光素子5-8	0.135	0.103	9.52	11.6	92.1	463

[0 3 1 3]

また、発光中心物質である1,6-chBnfAPrnのトルエン溶液におけるPLスペクトルを図26に示す。当該PLスペクトルの測定には蛍光光度計（(株)浜松ホトニクス製、Edinburgh Instruments FS920）を用い、平均フォトンエネルギー E_{ave} を求める際には、実施の形態1に示した式（I）を用いた。これにより、1,6-chBnfAPrnのトルエン溶液におけるPLスペクトルの平均のエネルギー（ E_{ave} ）は2.65eVと算出された。また、当該PLスペクトルの短波長側における発光端を、図27のように求めたところ、432nmであり、そのエネルギーは2.87eVであった。

[0 3 1 4]

図28は、各発光素子における発光のピークエネルギー（ E_{em} ）に対する外部量子効率（EQE）およびブルーインデックス（BI）の関係を示したグラフであり、横軸が E_{em} であり、縦軸がEQEおよびBIを表している。

[0 3 1 5]

図より、EQEおよびBI共に、 E_{em} が E_{ave} （本実施例では2.65eV）と2.73eVの間と

なるようなキャビティ長を有する発光素子において良好な値を示すことがわかった。

[0316]

なお、 2.73 eV という数値は、 E_{edge} である 2.87 eV の 0.95 倍に相当するエネルギーである。

[0317]

このように、マイクロキャビティ構造を有する青色発光素子は、 E_{ave} 以上 E_{edge} の 0.95 倍以下のエネルギーに相当する波長を得ることができるキャビティ長を有する発光素子において、良好な効率で発光を呈することが可能であることがわかった。すなわち、 $E_{\text{ave}} \leq E_{\text{em}} \leq 0.95 E_{\text{edge}}$ 。(図中範囲A)となるように、キャビティ長を制御することで、EQEとBIの双方を最大化することができる。

[0318]

また、特にBIを考慮すると、 $E_{\text{ave}} + 0.02\text{ (eV)}$ (本実施例では 2.67 eV) 以上 $E_{\text{edge}} \times 0.95\text{ (eV)}$ 以下の E_{em} を有する発光素子が好ましいことから、 $E_{\text{ave}} + 0.02 \leq E_{\text{em}} \leq 0.95 E_{\text{edge}}$ (図中範囲B)となるようにキャビティ長を制御することが好ましいことがわかった。

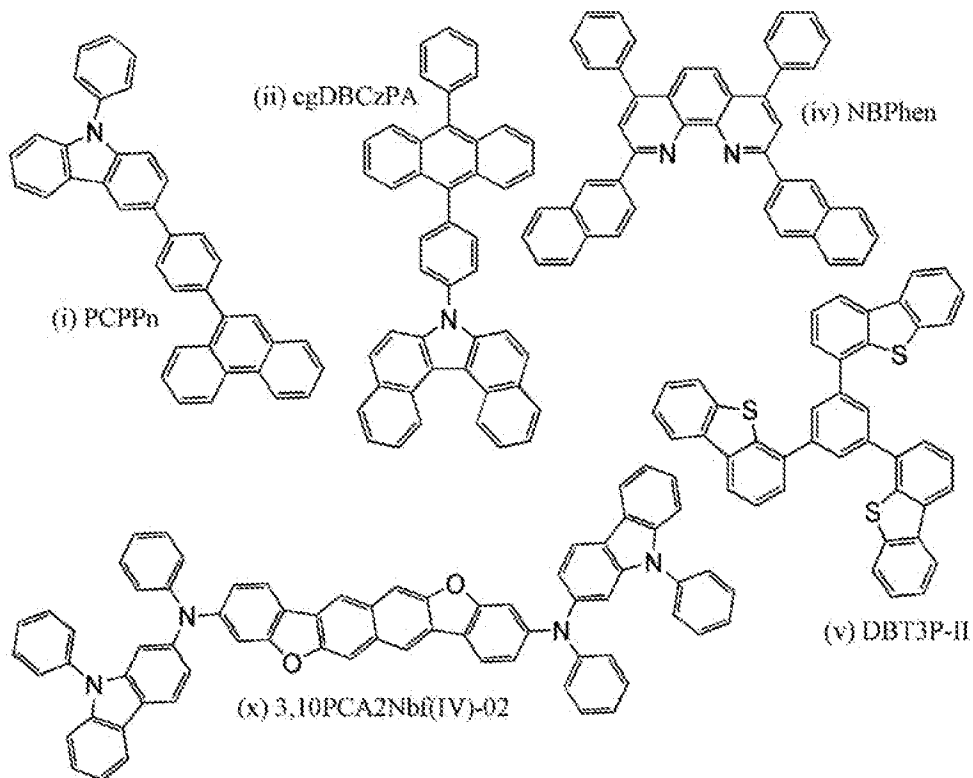
[実施例6]

[0319]

本実施例では、マイクロキャビティ構造を有する発光素子において、その光路長を変化させた場合の外部量子効率およびブルーインデックス (BI) の挙動について詳しく説明する。本実施例で作製した発光素子6-1乃至発光素子6-8に用いた有機化合物の構造を以下に示す。

[0320]

[化8]



[0321]

<発光素子6-1乃至発光素子6-8の作製方法>

まず、ガラス基板上に、反射電極として、銀(Ag)とパラジウム(Pd)と銅(Cu)の合金膜(Ag-Pd-Cu(APC)膜)をスパッタリング法により、100nmの膜厚で成膜した後、透明電極として酸化珪素を含むインジウム錫酸化物(ITSO)をスパッタリング法により、85nmの膜厚で成膜して第1の電極101を形成した。なお、その電極面積は4mm²(2mm×2mm)とした。

[0322]

次に、基板上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UVオゾン処理を370秒行った。

[0323]

その後、10⁻⁴Pa程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、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、基板を30分程度放冷した。

[0324]

次に、第1の電極101が形成された面が下方となるように、第1の電極101が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、第1の電極101上に、蒸着法により上記構造式(i)で表される3-[4-(9-フェナントリル)-フェニル]-9-フェニル-9H-カルバゾール(略称:PCPPn)と酸化モリブデン(VI)とを重量比1:0.5(=PCPPn:酸化モリブデン)となるように、共蒸着して正孔注入層111を形成した。

[0325]

発光素子の光路長の変更は、上記正孔注入層111の膜厚を変化させることによって実現した。発光素子6-1では当該正孔注入層111の膜厚を10nm、発光素子6-2では15nm、発光素子6-3では20nm、発光素子6-4では25nm、発光素子6-5では30nm、発光素子6-6では35nm、発光素子6-7では40nm、発光素子6-8では45nmとして作製した。

[0326]

正孔注入層111上に、PCPPnを15nm蒸着して正孔輸送層112を形成した。

[0327]

続いて、上記構造式(ii)で表される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:cgDBCzPA)と、上記構造式(x)で表される3,10-ビス[N-(9-フェニル-9H-カルバゾール-2-イル)-N-フェニルアミノ]ナフト[2,3-b;6,7-b']ビスベンゾフラン(略称:3,10PCA2Nbf(IV)-02)とを、重量比で1:0.01(=cgDBCzPA:3,10PCA2Nbf(IV)-02)となるように25nm共蒸着して発光層113を形成した。

[0328]

その後、発光層113上に、cgDBCzPAを膜厚5nmとなるように蒸着し、上記構造式(iv)で表される2,9-ビス(ナフタレン-2-イル)-4,7-ジフェニル-1,10-フェナントロリン(略称:NBPhen)を膜厚15nmとなるように蒸着し、電子輸送層114を形成した。

[0329]

電子輸送層114を形成した後、フッ化リチウム(LiF)を膜厚1nmとなるように蒸着して電子注入層115を形成し、銀(Ag)とマグネシウム(Mg)との体積比を1:0.1(=Ag:Mg)、膜厚10nmとなるように蒸着することで第2の電極102を形成して発光素子6-1乃至発光素

子6-8を作製した。なお、第2の電極102は光を反射する機能と光を透過する機能とを有する半透過・半反射電極であり、本実施例の発光素子は第2の電極102から光を取り出すトップエミッションの素子である。また、第2の電極102上には上記構造式(v)で表される1,3,5-トリ(ジベンゾチオフェン-4-イル)-ベンゼン(略称:DBT3P-I I)を70nm蒸着して、取出し効率を向上させている。

[0330]

発光素子6-1乃至発光素子6-8の素子構造を以下の表16および表17にまとめた。表17は、各発光素子における正孔注入層の膜厚を示している。

[0331]

[表16]

有機キャップ層	DBT3P-II	70nm
半透過・半反射電極	Ag:Mg (1:0.1)	10nm
電子注入層	LiF	1nm
電子輸送層	NBPhen	15nm
	cgDBCzPA	5nm
発光層	cgDBCzPA:3,10PCA2NbF(IV)-02 (1:0.01)	25nm
正孔輸送層	PCPPn	15nm
正孔注入層	PCPPn:MoOx (1:0.5)	xnm
透明電極	ITO	85nm
反射電極	APC	100nm

[0332]

[表17]

	膜厚(nm)
発光素子6-1	10
発光素子6-2	15
発光素子6-3	20
発光素子6-4	25
発光素子6-5	30
発光素子6-6	35
発光素子6-7	40
発光素子6-8	45

[0333]

作製した発光素子を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業(シール材を素子の周囲に塗布し、封止時にUV処理、80℃にて1時間熱処理)を行った後、測定を行った。なお、測定は室温で行った。

[0334]

発光素子6-1乃至発光素子6-8の測定結果を以下に示す。測定結果は全て、輝度が1000cd/m²付近の時の値である。また外部量子効率、正面輝度からランバertian配光を仮定して算出した未補正の外部量子効率である。

[0335]

[表 18]

	色度 _x	色度 _y	電流効率 (cd/A)	外部量子効率 (%)	BI	EL _{max} (nm)
発光素子6-1	0.145	0.036	0.433	0.897	11.9	454
発光素子6-2	0.142	0.036	0.857	1.84	23.7	454
発光素子6-3	0.141	0.039	1.63	3.42	42.0	454
発光素子6-4	0.141	0.041	2.68	5.42	65.8	454
発光素子6-5	0.140	0.044	4.07	7.93	92.8	455
発光素子6-6	0.140	0.049	5.41	9.84	111	455
発光素子6-7	0.139	0.056	7.16	11.9	127	458
発光素子6-8	0.138	0.078	8.80	12.7	114	460

[0336]

また、発光中心物質である 3, 10PCA2Nb f (IV) - 02 のトルエン溶液における PL スペクトルを図 29 に示す。当該 PL スペクトルの測定には絶対 PL 量子収率測定装置 ((株) 浜松ホトニクス製 Quantaurs-QY) を用い、図 29 に示す PL スペクトルは、縦軸がエネルギー ϕ_p (λ) に比例する規格化スペクトル I (λ) となっているため、本実施例において発光の平均フォトンエネルギー E_{ave} を求める際には、実施の形態 1 に示した式 (V I I) を用いた。これにより、3, 10PCA2Nb f (IV) - 02 のトルエン溶液における PL スペクトルの平均のエネルギー (E_{ave}) は 2.66 eV と算出された。また、当該 PL スペクトルの短波長側における発光端を、図 30 のように求めたところ、431 nm であり、そのエネルギーは 2.88 eV であった。

[0337]

図 31 は、各発光素子における発光のピークエネルギー (E_{em}) に対する外部量子効率 (EQE) およびブルーインデックス (BI) の関係を示したグラフであり、横軸が E_{em} であり、縦軸が EQE および BI を表している。

[0338]

図より、EQE および BI 共に、 E_{em} が E_{ave} (本実施例では 2.66 eV) と 2.73 eV の間となるようなキャビティ長を有する発光素子において良好な値を示すことがわかった。

[0339]

なお、2.73 eV という数値は、 E_{edge} である 2.88 eV の 0.95 倍に相当するエネルギーである。

[0340]

このように、マイクロキャビティ構造を有する青色発光素子は、 E_{ave} 以上 E_{edge} の 0.95 倍以下のエネルギーに相当する波長を得ることができるキャビティ長を有する発光素子において、良好な効率で発光を呈することが可能であることがわかった。すなわち、 $E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge}$ (図中範囲 A) となるように、キャビティ長を制御することで、EQE と BI の双方を最大化することができる。

[0341]

また、特に BI を考慮すると、 $E_{ave} + 0.02$ (eV) (本実施例では 2.67 eV) 以上 $E_{edge} \times 0.95$ (eV) 以下の E_{em} を有する発光素子が好ましいことから、 $E_{ave} + 0.02 \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge}$ (図中範囲 B) となるようにキャビティ長を制御することが好ましいことがわかった。

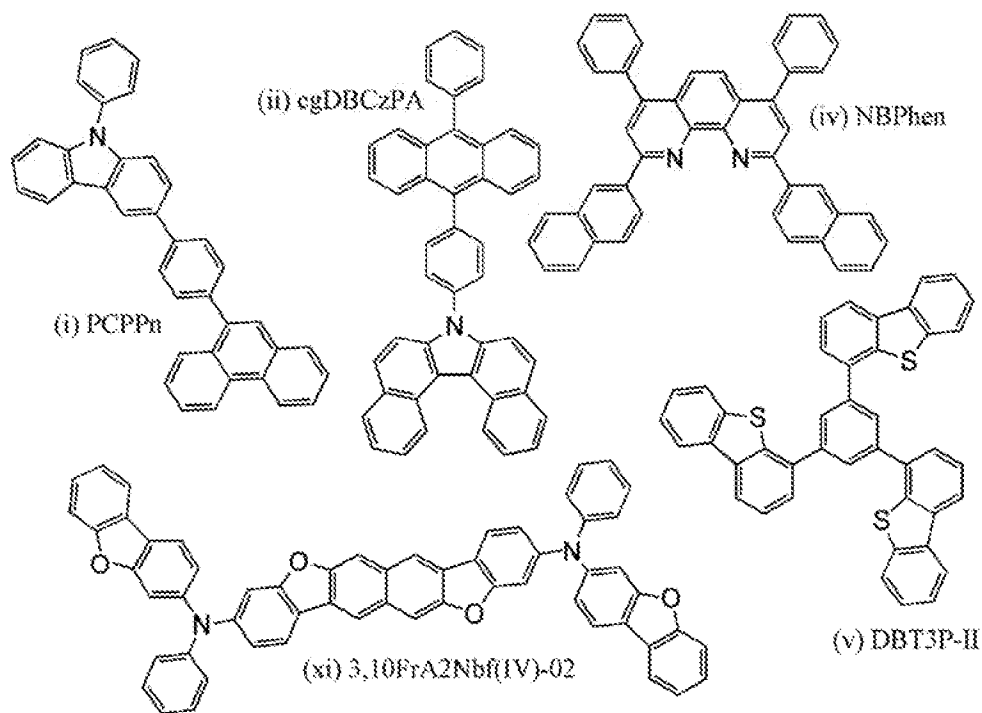
[実施例 7]

[0342]

本実施例では、マイクロキャビティ構造を有する発光素子において、その光路長を変化させた場合の外部量子効率およびブルーインデックス（B I）の挙動について詳しく説明する。本実施例で作製した発光素子 7-1 乃至発光素子 7-8 に用いた有機化合物の構造を以下に示す。

[0343]

[化9]



[0344]

<発光素子 7-1 乃至発光素子 7-8 の作製方法>

まず、ガラス基板上に、反射電極として、銀（Ag）とパラジウム（Pd）と銅（Cu）の合金膜（Ag-Pd-Cu（APC）膜）をスパッタリング法により、100 nm の膜厚で成膜した後、透明電極として酸化珪素を含むインジウム錫酸化物（ITO）をスパッタリング法により、85 nm の膜厚で成膜して第 1 の電極 101 を形成した。なお、その電極面積は 4 mm²（2 mm×2 mm）とした。

[0345]

次に、基板上に発光素子を形成するための前処理として、基板表面を水で洗浄し、200℃で1時間焼成した後、UV オゾン処理を 370 秒行った。

[0346]

その後、10⁻⁴ Pa 程度まで内部が減圧された真空蒸着装置に基板を導入し、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、基板を30分程度放冷した。

[0347]

次に、第 1 の電極 101 が形成された面が下方となるように、第 1 の電極 101 が形成された基板を真空蒸着装置内に設けられた基板ホルダーに固定し、第 1 の電極 101 上に、蒸着法により上記構造式（i）で表される 3-〔4-（9-フェナントリル）-フェニル〕-9-フェニル-9H-カルバゾール（略称：PCPPn）と酸化モリブデン（VI）とを重量比 1：0.5（＝PCPPn：酸化モリブデン）となるように、共蒸着して正孔注入層 111 を形成した。

[0348]

発光素子の光路長の変更は、上記正孔注入層111の膜厚を変化させることによって実現した。発光素子7-1では当該正孔注入層111の膜厚を10nm、発光素子7-2では15nm、発光素子7-3では20nm、発光素子7-4では25nm、発光素子7-5では30nm、発光素子7-6では35nm、発光素子7-7では40nm、発光素子7-8では45nmとして作製した。

[0349]

正孔注入層111上に、PCPPnを15nm蒸着して正孔輸送層112を形成した。

[0350]

続いて、上記構造式(ii)で表される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:cgDBCzPA)と、上記構造式(xi)で表される3,10-ビス[N-(ジベンゾフラン-3-イル)-N-フェニルアミノ]ナフト[2,3-b;6,7-b']ビスベンゾフラン(略称:3,10FrA2Nbf(IV)-02)とを、重量比で1:0.01(=cgDBCzPA:3,10FrA2Nbf(IV)-02)となるように25nm共蒸着して発光層113を形成した。

[0351]

その後、発光層113上に、cgDBCzPAを膜厚5nmとなるように蒸着し、上記構造式(iv)で表される2,9-ビス(ナフタレン-2-イル)-4,7-ジフェニル-1,10-フェナントロリン(略称:NBPhen)を膜厚15nmとなるように蒸着し、電子輸送層114を形成した。

[0352]

電子輸送層114を形成した後、フッ化リチウム(LiF)を膜厚1nmとなるように蒸着して電子注入層115を形成し、銀(Ag)とマグネシウム(Mg)との体積比を1:0.1(=Ag:Mg)、膜厚10nmとなるように蒸着することで第2の電極102を形成して発光素子7-1乃至発光素子7-8を作製した。なお、第2の電極102は光を反射する機能と光を透過する機能とを有する半透過・半反射電極であり、本実施例の発光素子は第2の電極102から光を取り出すトップエミッションの素子である。また、第2の電極102上には上記構造式(v)で表される1,3,5-トリ(ジベンゾチオフェン-4-イル)-ベンゼン(略称:DBT3PII)を70nm蒸着して、取出し効率を向上させている。

[0353]

発光素子7-1乃至発光素子7-8の素子構造を以下の表19および表20にまとめた。表20は、各発光素子における正孔注入層の膜厚を示している。

[0354]

[表 1 9]

有機キャップ層	DBT3P-II	70nm
半透過・半反射電極	Ag:Mg (1:0.1)	10nm
電子注入層	LiF	1nm
電子輸送層	NBPhen	15nm
	cgDBCzPA	5nm
発光層	cgDBCzPA:3.10FrA2NbF(IV)-02 (1:0.01)	25nm
正孔輸送層	PCPPn	15nm
正孔注入層	PCPPn:MoOx (1:0.5)	xnm
透明電極	ITO	85nm
反射電極	APC	100nm

[0 3 5 5]

[表 2 0]

	膜厚(nm)
発光素子7-1	10
発光素子7-2	15
発光素子7-3	20
発光素子7-4	25
発光素子7-5	30
発光素子7-6	35
発光素子7-7	40
発光素子7-8	45

[0 3 5 6]

作製した発光素子を、窒素雰囲気グローブボックス内において、発光素子が大気に曝されないようにガラス基板により封止する作業（シール材を素子の周囲に塗布し、封止時にUV処理、80℃にて1時間熱処理）を行った後、測定を行った。なお、測定は室温で行った。

[0 3 5 7]

発光素子7-1乃至発光素子7-8の測定結果を以下に示す。測定結果は全て、輝度が1000cd/m²付近の時の値である。また外部量子効率、正面輝度からランバーシアン配光を仮定して算出した未補正の外部量子効率である。

[0 3 5 8]

[表 2 1]

	色度x	色度y	電流効率 (cd/A)	外部量子効率 (%)	BI	EL_max (nm)
発光素子7-1	0.145	0.024	0.382	1.06	16.2	448
発光素子7-2	0.143	0.025	0.72	1.95	29.2	448
発光素子7-3	0.143	0.026	1.38	3.64	54.3	449
発光素子7-4	0.143	0.027	2.18	5.50	80.4	449
発光素子7-5	0.142	0.031	3.37	8.01	109	450
発光素子7-6	0.141	0.036	4.47	9.68	123	451
発光素子7-7	0.140	0.047	5.73	10.8	122	453
発光素子7-8	0.139	0.064	7.09	11.4	111	455

[0 3 5 9]

また、発光中心物質である3,10FrA2NbF(IV)-02のトルエン溶液におけるPLスペクトルを図32に示す。当該PLスペクトルの測定には絶対PL量子収率測定装置（（株）浜松ホトニクス製 Quantaurus-QY）を用い、図32に示すPLスペクトルは、縦軸がエネルギー

$\phi_p(\lambda)$ に比例する規格化スペクトル $I(\lambda)$ となっているため、本実施例において発光の平均フォトンエネルギー E_{ave} を求める際には、実施の形態 1 に示した式 (V I I) を用いた。これにより、3, 10 Fr A 2 Nb f (I V) - 02 のトルエン溶液における PL スペクトルの平均のエネルギー (E_{ave}) は 2.71 eV と算出された。また、当該 PL スペクトルの短波長側における発光端を、図 33 のように求めたところ、426 nm であり、そのエネルギーは 2.91 eV であった。

[0360]

図 34 は、各発光素子における発光のピークエネルギー (E_{em}) に対する外部量子効率 (EQE) およびブルーインデックス (BI) の関係を示したグラフであり、横軸が E_{em} であり、縦軸が EQE および BI を表している。

[0361]

図より、EQE および BI 共に、 E_{em} が E_{ave} (本実施例では 2.71 eV) と 2.76 eV の間となるようなキャビティ長を有する発光素子において良好な値を示すことがわかった。

[0362]

なお、2.76 eV という数値は、 E_{edge} である 2.91 eV の 0.95 倍に相当するエネルギーである。

[0363]

このように、マイクロキャビティ構造を有する青色発光素子は、 E_{ave} 以上 E_{edge} の 0.95 倍以下のエネルギーに相当する波長を得ることができるキャビティ長を有する発光素子において、良好な効率で発光を呈することが可能であることがわかった。すなわち、 $E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge}$ (図中範囲 A) となるように、キャビティ長を制御することで、EQE と BI の双方を最大化することができる。

[0364]

また、特に BI を考慮すると、 $E_{ave} + 0.02$ (eV) (本実施例では 2.73 eV) 以上 $E_{edge} \times 0.95$ (eV) 以下の E_{em} を有する発光素子が好ましいことから、 $E_{ave} + 0.02 \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge}$ (図中範囲 B) となるようにキャビティ長を制御することが好ましいことがわかった。

[符号の説明]

[0365]

101: 第 1 の電極、101-1: 反射電極、101-2: 透明電極、102: 第 2 の電極、103: EL 層、104: 有機キャップ層、111: 正孔注入層、112: 正孔輸送層、113: 発光層、114: 電子輸送層、115: 電子注入層、116: 電荷発生層、117: P 型層、118: 電子リレー層、119: 電子注入バッファ層、400: 基板、401: 第 1 の電極、403: EL 層、404: 第 2 の電極、405: シール材、406: シール材、407: 封止基板、412: パッド、420: IC チップ、601: 駆動回路部 (ソース線駆動回路)、602: 画素部、603: 駆動回路部 (ゲート線駆動回路)、604: 封止基板、605: シール材、607: 空間、608: 配線、609: FPC (フレキシブルプリントサーキット)、610: 素子基板、611: スイッチング用 FET、612: 電流制御用 FET、613: 第 1 の電極、614: 絶縁物、616: EL 層、617: 第 2 の電極、618: 発光素子、2001: 筐体、2002: 光源、2100: ロボット、2110: 演算装置、2101: 照度センサ、2102: マイクロフォン、2103: 上部カメラ、2104: スピーカ、2105: ディスプレイ、2106: 下部カメラ、2107: 障害物センサ、2108: 移

動機構、3001:照明装置、5000:筐体、5001:表示部、5002:第2の表示部、5003:スピーカ、5004:LEDランプ、5005:操作キー、5006:接続端子、5007:センサ、5008:マイクロフォン、5012:支持部、5013:イヤホン、5100:掃除ロボット、5101:ディスプレイ、5102:カメラ、5103:ブラシ、5104:操作ボタン、5150:携帯情報端末、5151:筐体、5152:表示領域、5153:屈曲部、5120:ゴミ、5200:表示領域、5201:表示領域、5202:表示領域、5203:表示領域、7101:筐体、7103:表示部、7105:スタンド、7107:表示部、7109:操作キー、7110:リモコン操作機、7201:本体、7202:筐体、7203:表示部、7204:キーボード、7205:外部接続ポート、7206:ポインティングデバイス、7210:第2の表示部、7401:筐体、7402:表示部、7403:操作ボタン、7404:外部接続ポート、7405:スピーカ、7406:マイク、7400:携帯電話機、9310:携帯情報端末、9311:表示パネル、9312:表示領域、9313:ヒンジ、9315:筐体

請求の範囲

〔請求項 1〕

第 1 の電極と、

第 2 の電極と、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に挟まれた E L 層とを有し、

前記第 1 の電極および前記第 2 の電極の一方が反射電極、他方が半透過半反射電極である発光素子において、

前記 E L 層は発光中心物質を有し、

前記発光中心物質が溶液状態において発する光のフォトンエネルギーの平均値を E_{ave} [e V] とし、

前記発光中心物質の前記溶液状態における発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギーを E_{edge}

[e V] とすると、前記発光素子から発する光のピーク波長のフォトンエネルギー E_{em} [e V] が、

下記式 (1) で表される発光素子。

〔数 1〕

$$E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge} \quad \dots (1)$$

〔請求項 2〕

第 1 の電極と、

第 2 の電極と、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に挟まれた E L 層とを有し、

前記第 1 の電極および前記第 2 の電極の一方が、反射電極、他方が半透過半反射電極である発光素子において、

前記 E L 層は、発光中心物質を有し、

前記発光中心物質が発する光のフォトンエネルギーの平均値を E_{ave} [e V] とし、前記発光中心物

質の発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギーを E_{edge} [e V] とすると、前記発光素子から

発する光のピーク波長のフォトンエネルギー E_{em} [e V] が、下記式 (1) で表される発光素子。

〔数 1〕

$$E_{ave} \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge} \quad \dots (1)$$

〔請求項 3〕

請求項 1 において、前記発光中心物質が青色発光を呈する発光素子。

〔請求項 4〕

第 1 の電極と、

第 2 の電極と、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に挟まれた E L 層とを有し、

前記第 1 の電極及び前記第 2 の電極の一方が反射電極、他方が半透過半反射電極である発光素子において、

前記 E L 層は青色発光を呈する発光中心物質を有し、

前記発光中心物質が発する光のフォトンエネルギーの平均値を E_{ave} [e V] とし、前記発光中心物

質の発光スペクトルの短波長側の発光端エネルギーを E_{edge} [e V] とすると、前記発光素子から

発する光のピーク波長のフォトンエネルギー E_{em} [e V] が、下記式 (2) で表される発光素子。

〔数 2〕

$$E_{ave} + 0.02 \leq E_{em} \leq 0.95 E_{edge} \quad \dots (2)$$

[請求項 5]

請求項 3 または請求項 4 において、前記 E_{em} が 2.6 eV 以上 2.9 eV 以下である発光素子。

[請求項 6]

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項において、前記半透過半反射電極における、前記反射電極に対する面と反対の面には、分子量 300 以上 1200 以下の有機化合物層が形成されている発光素子。

[請求項 7]

請求項 2 乃至請求項 6 のいずれか一項において、前記 E_{ave} および前記 E_{edge} は室温における比誘電率が 1 以上 10 以下の溶媒中で測定される、発光素子。

[請求項 8]

請求項 1 において、前記溶液状態における溶媒がトルエンまたはクロロホルムである発光素子。

[請求項 9]

請求項 1 乃至請求項 7 に記載の発光素子と、トランジスタ、または、基板と、を有する発光装置。

[請求項 10]

請求項 8 に記載の発光装置と、センサ、操作ボタン、スピーカ、または、マイクと、を有する電子機器。

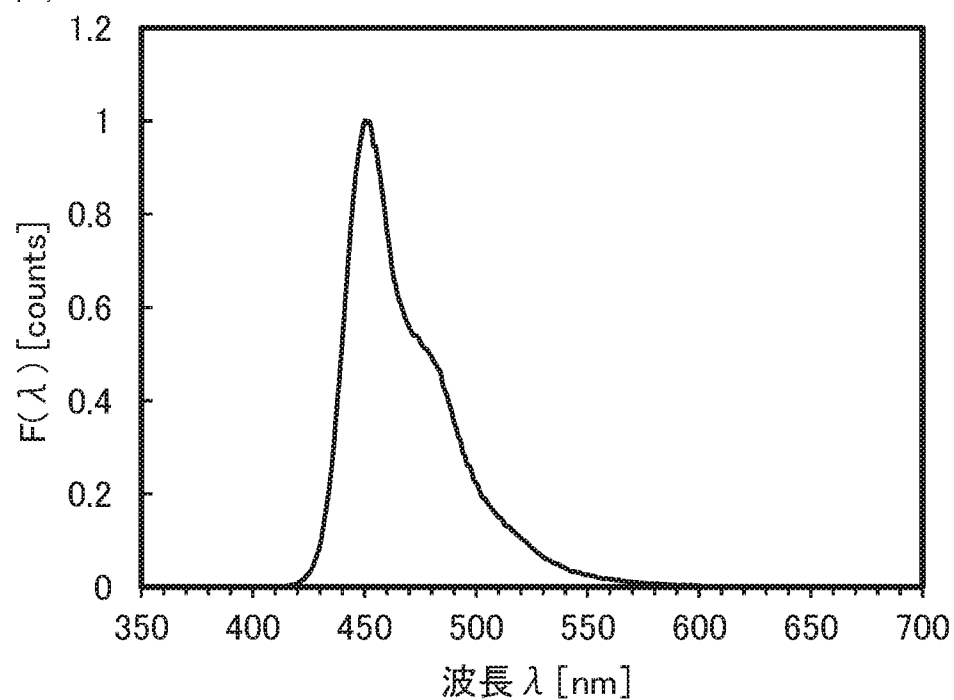
[請求項 11]

請求項 8 に記載の発光装置と、筐体と、を有する照明装置。

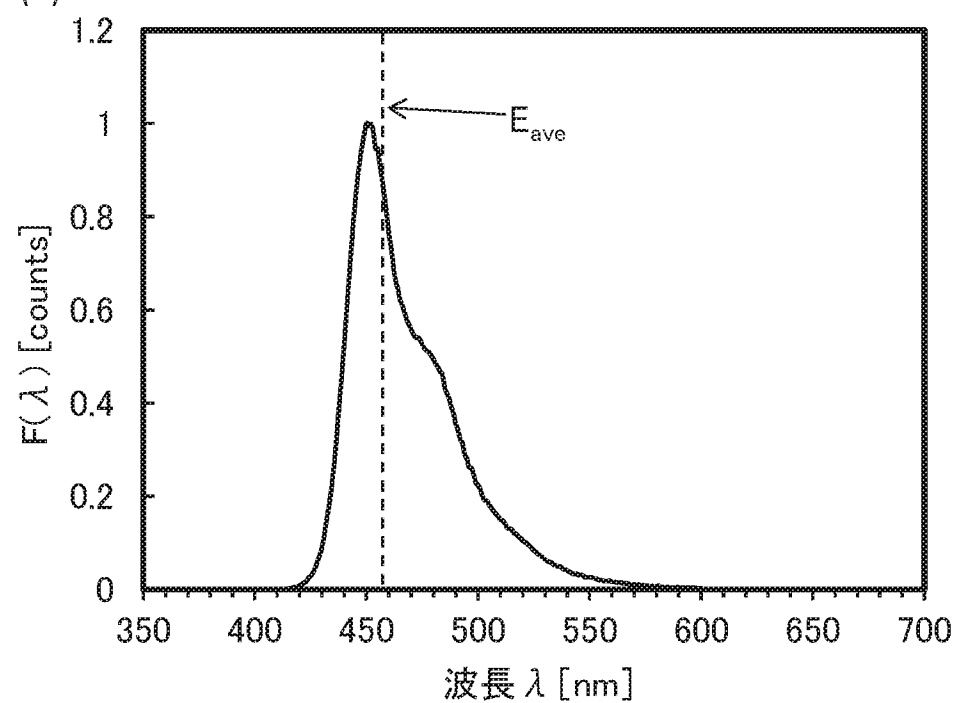
[図 1]

1/34

(A)

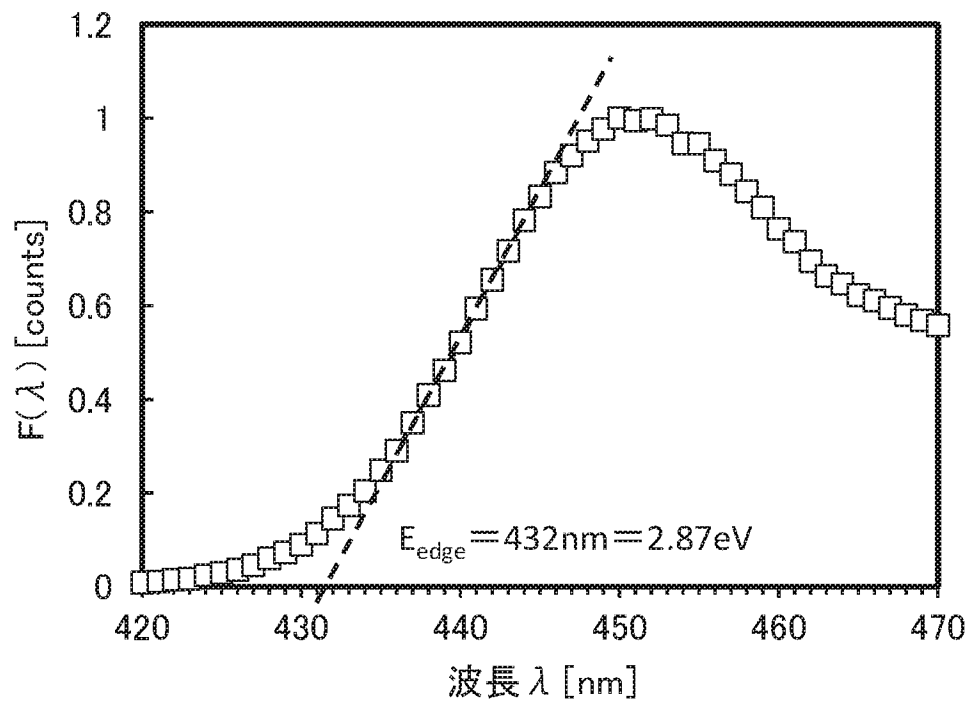


(B)



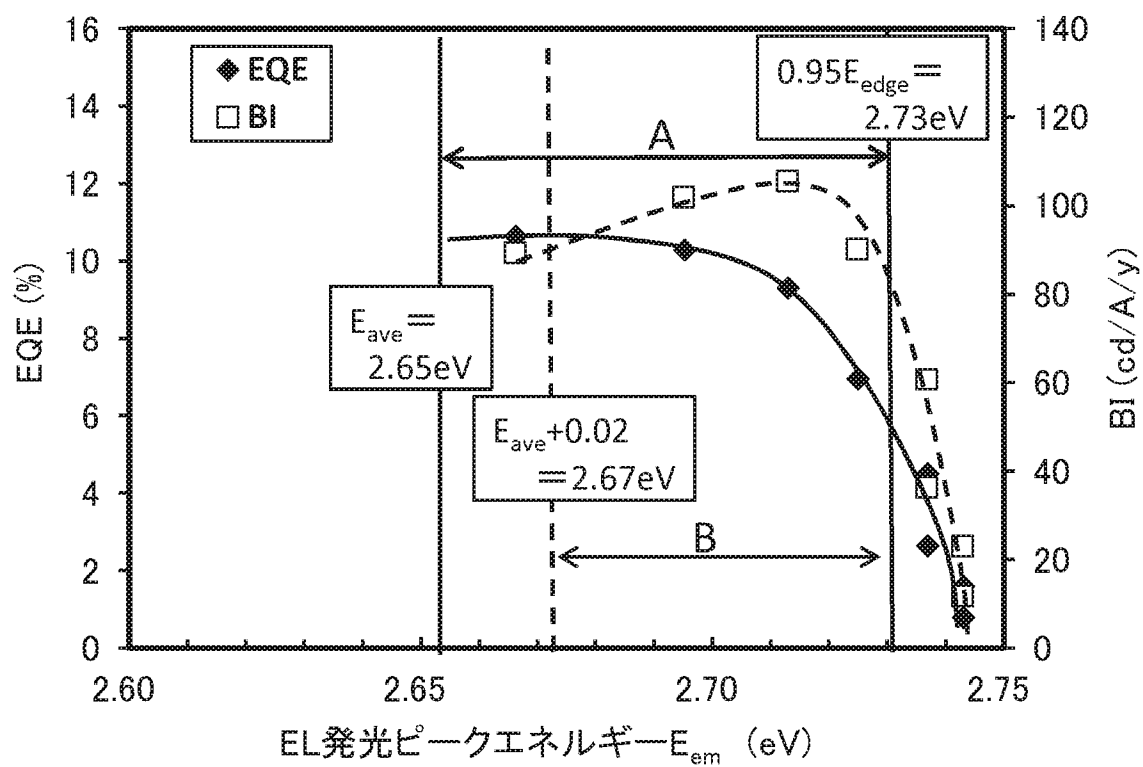
[図2]

2/34

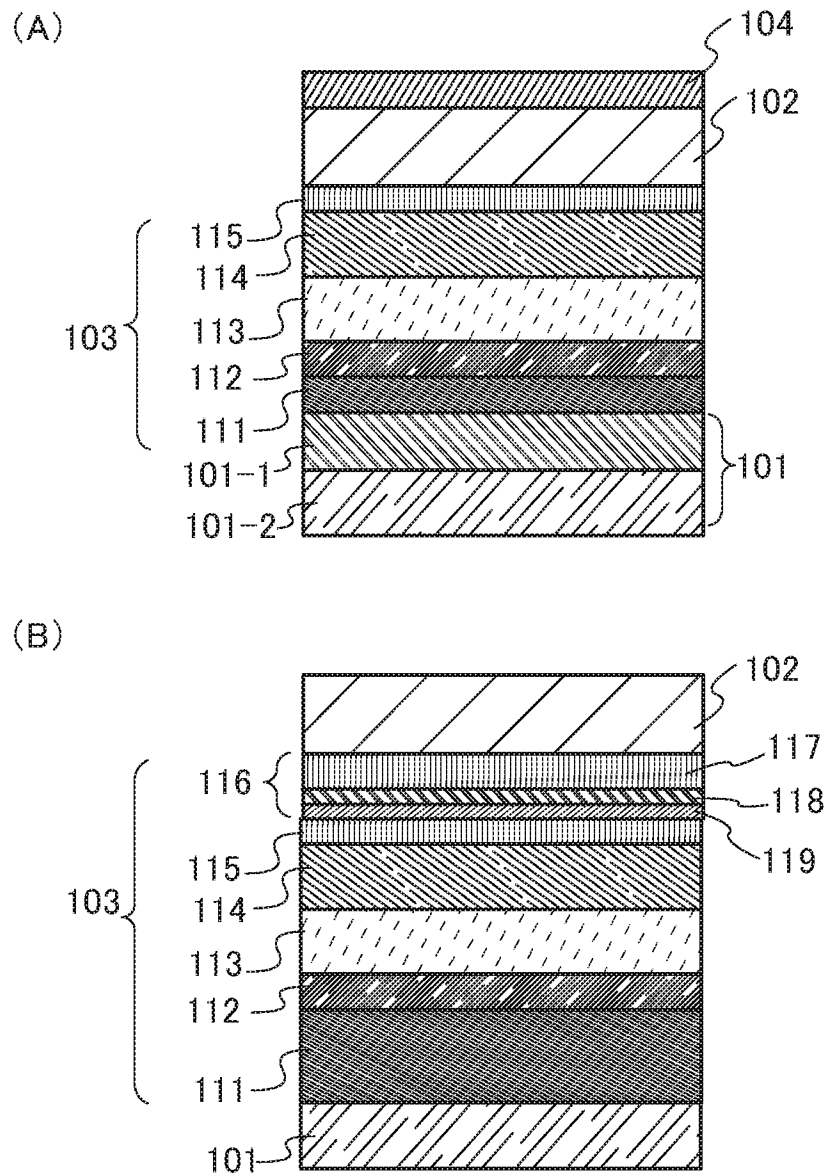


[図3]

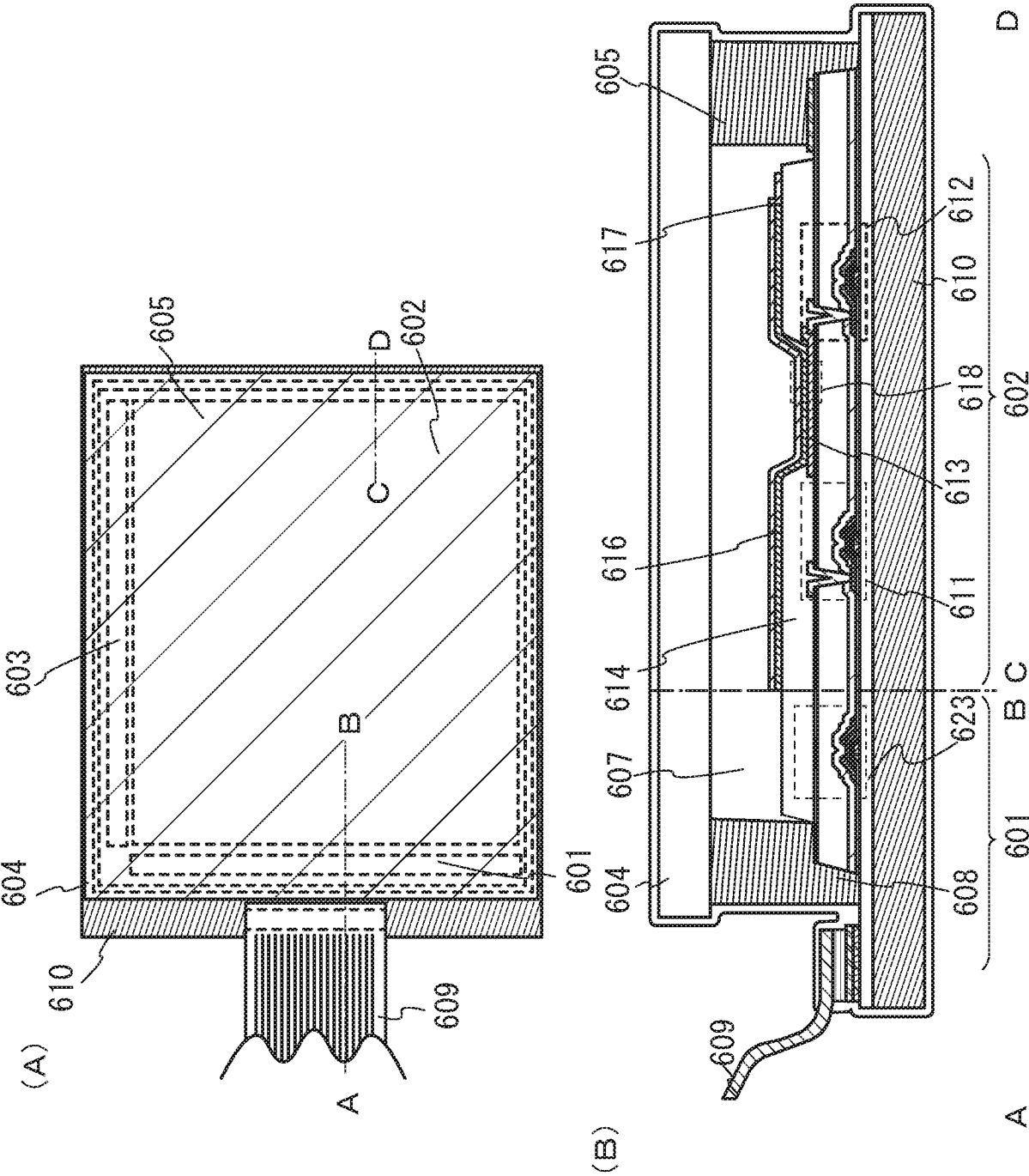
3/34



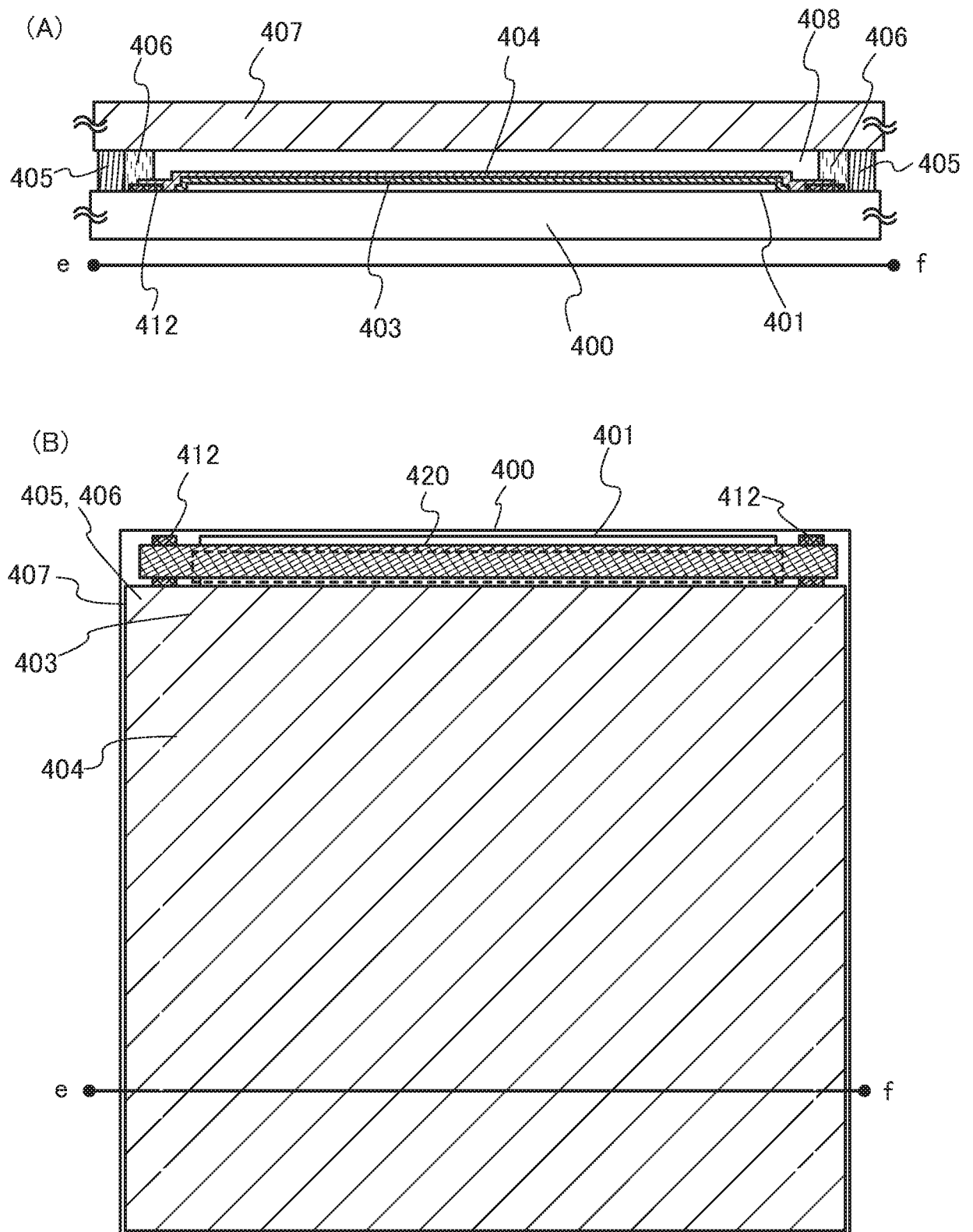
[図4]



[図5]



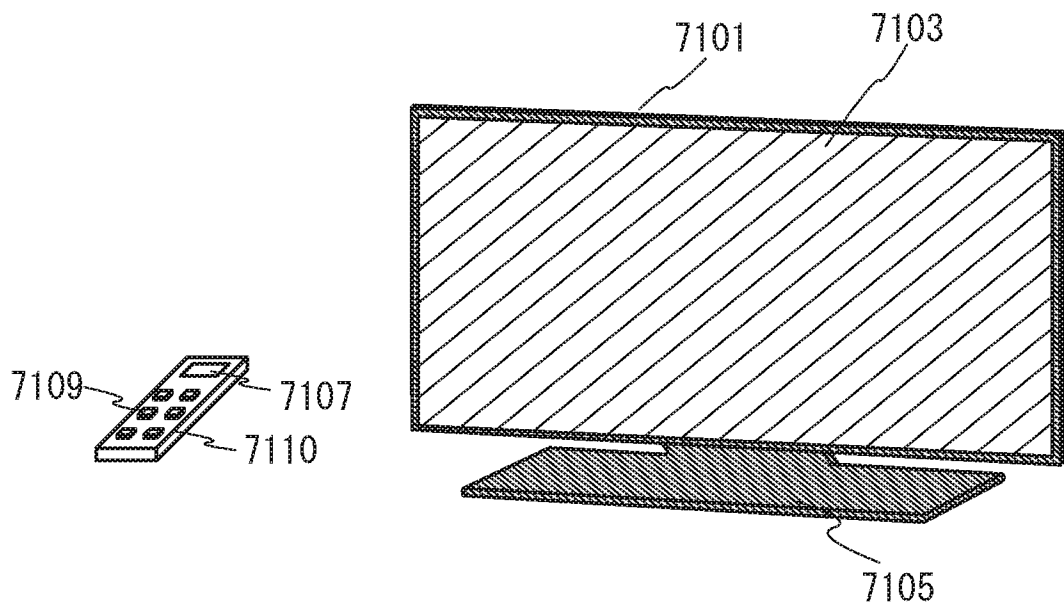
[义 6]



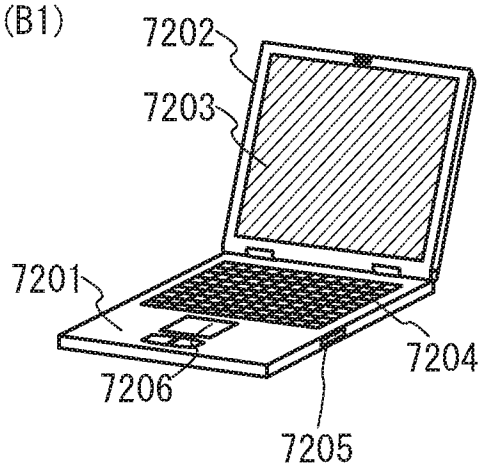
7/34

[図 7]

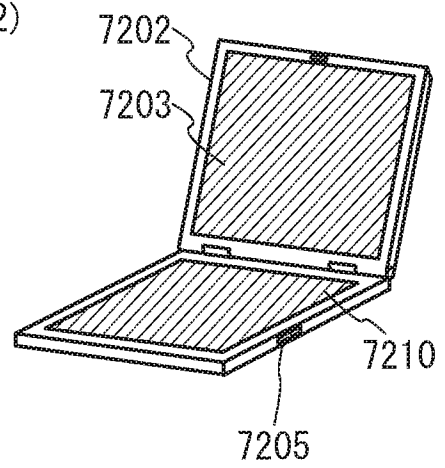
(A)



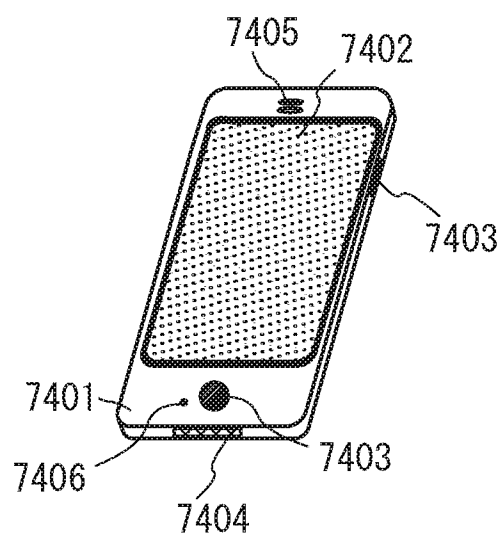
(B1)



(B2)

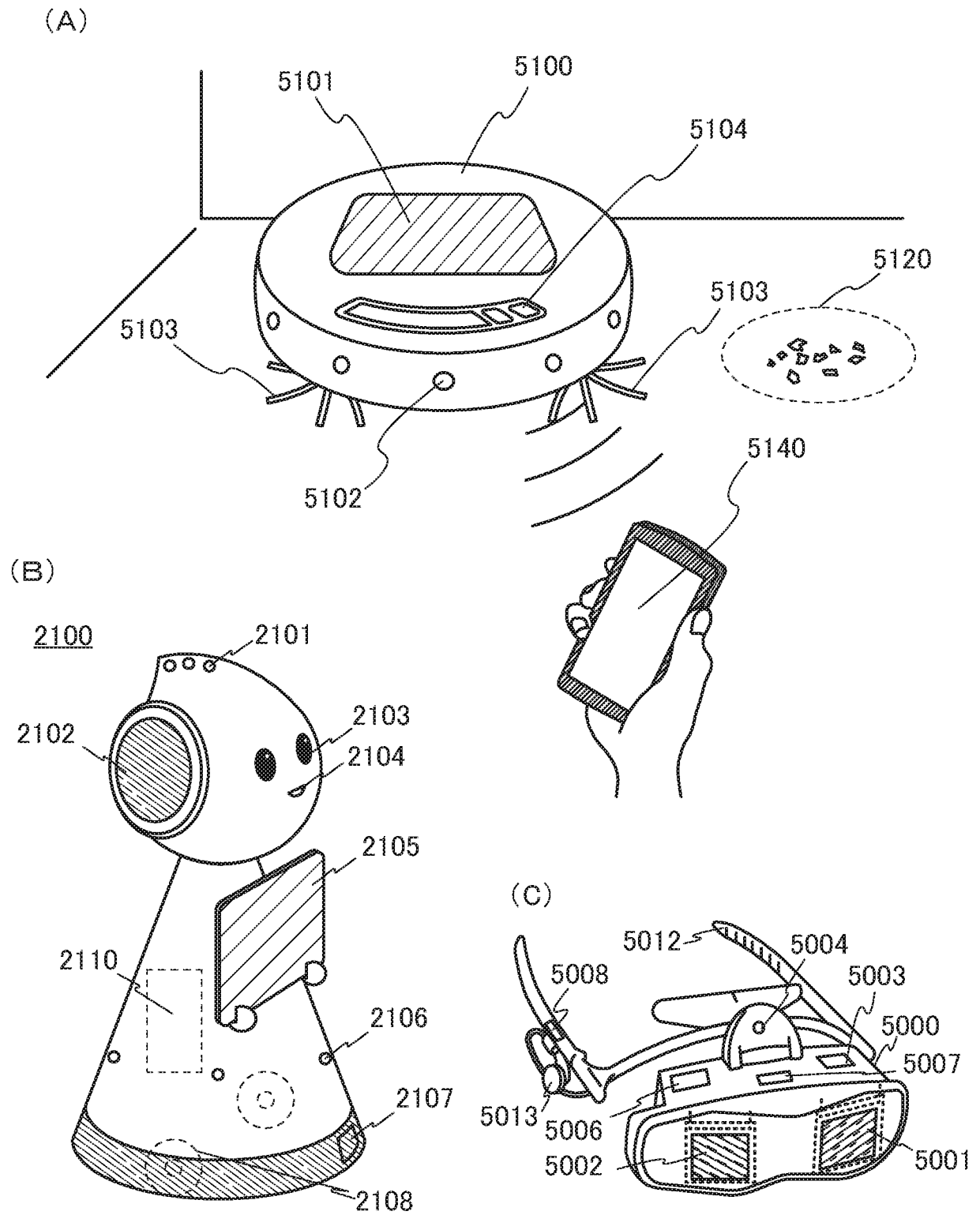


(C)

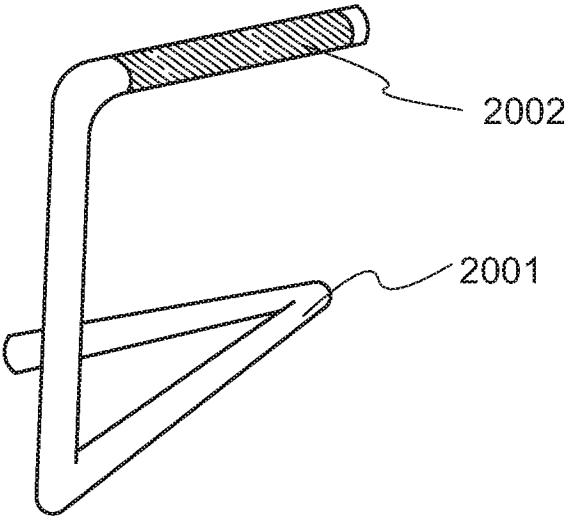


[図8]

8/34

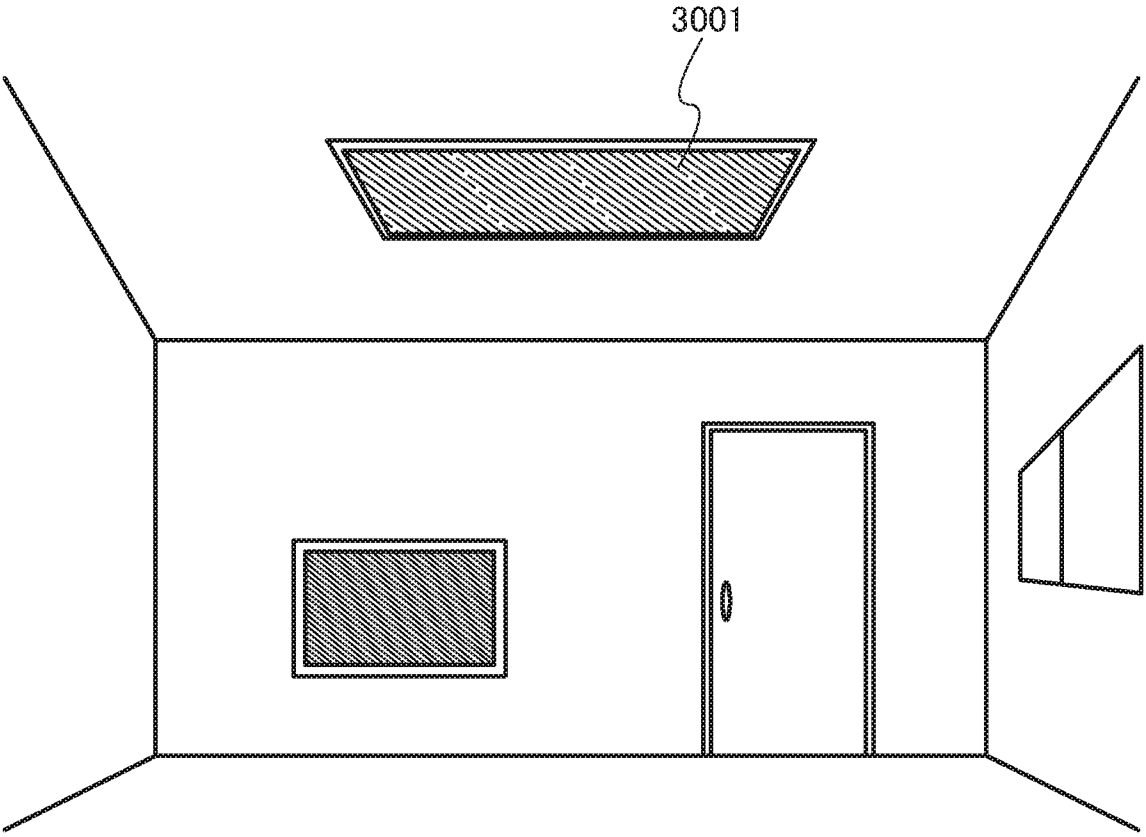


[圖9]



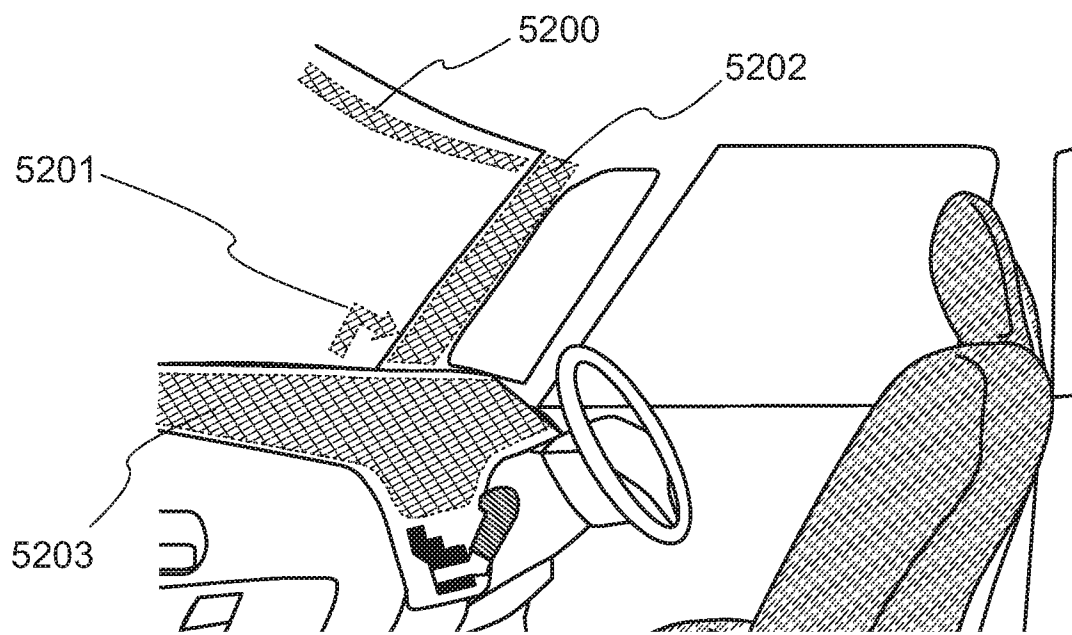
10/34

[図10]



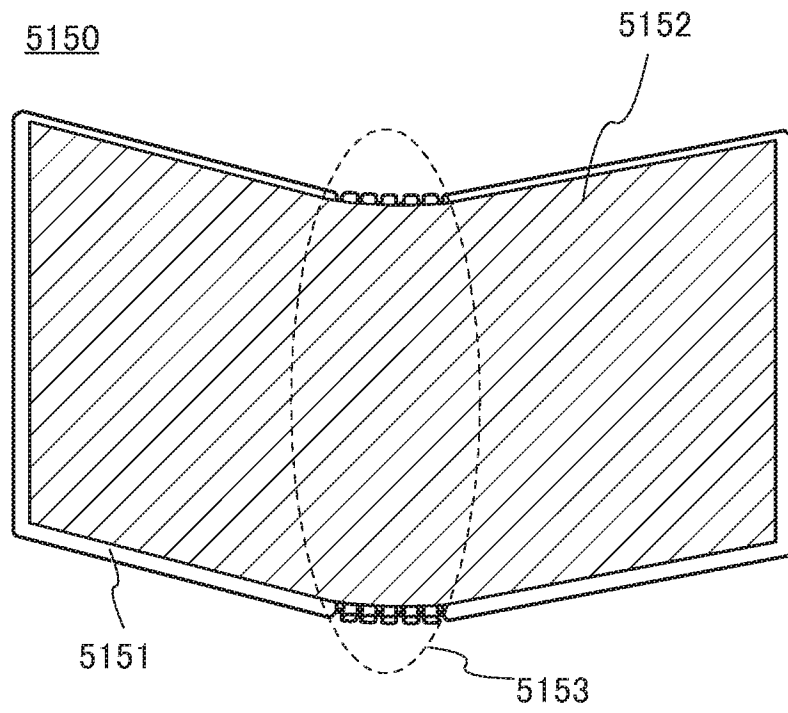
11/34

[ 11]

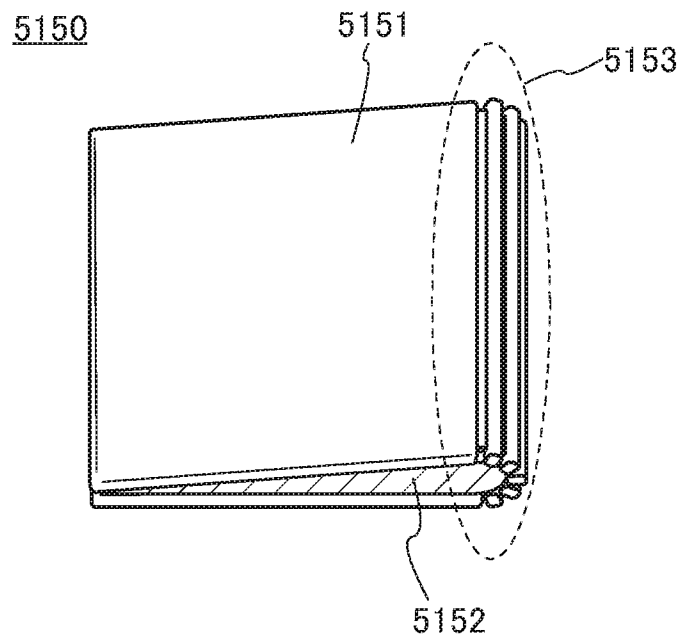


[図12]

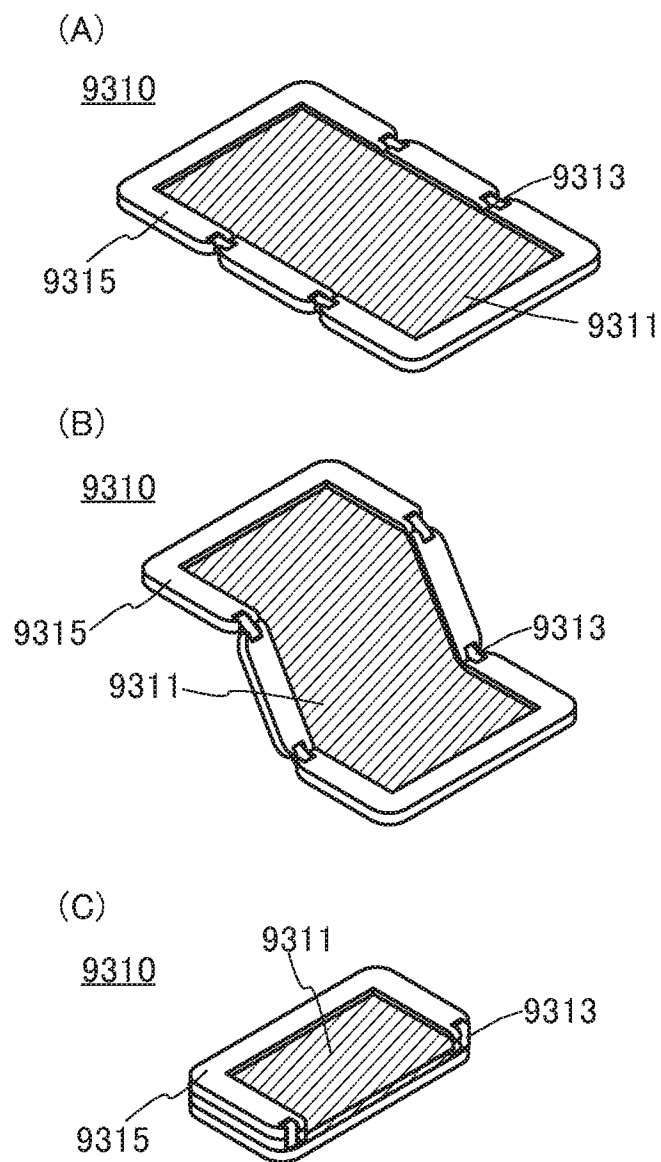
(A)



(B)

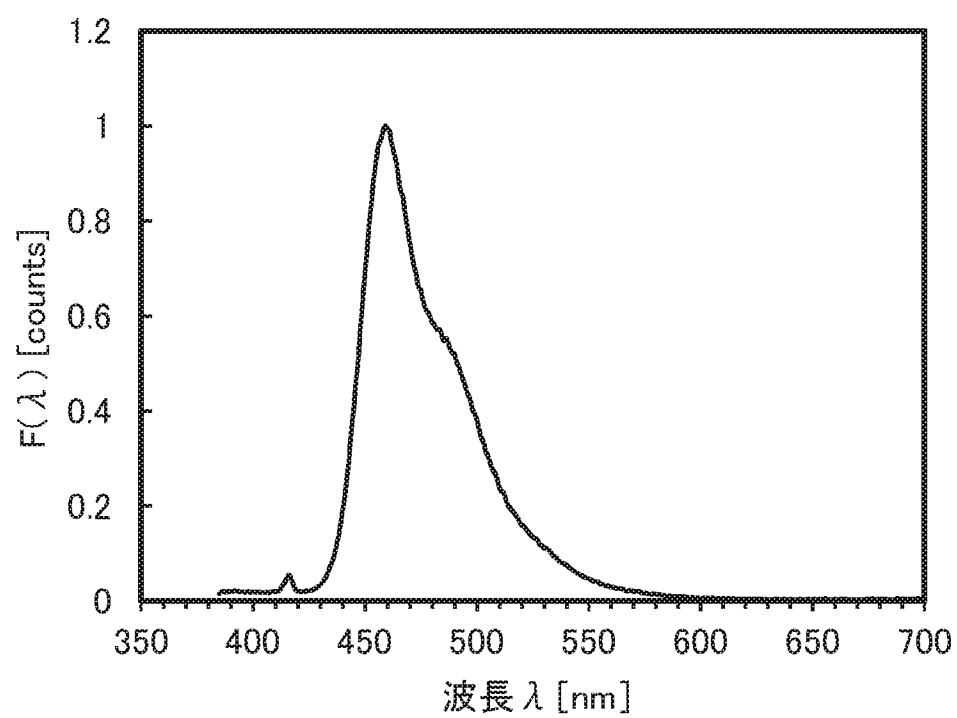


[ 13]



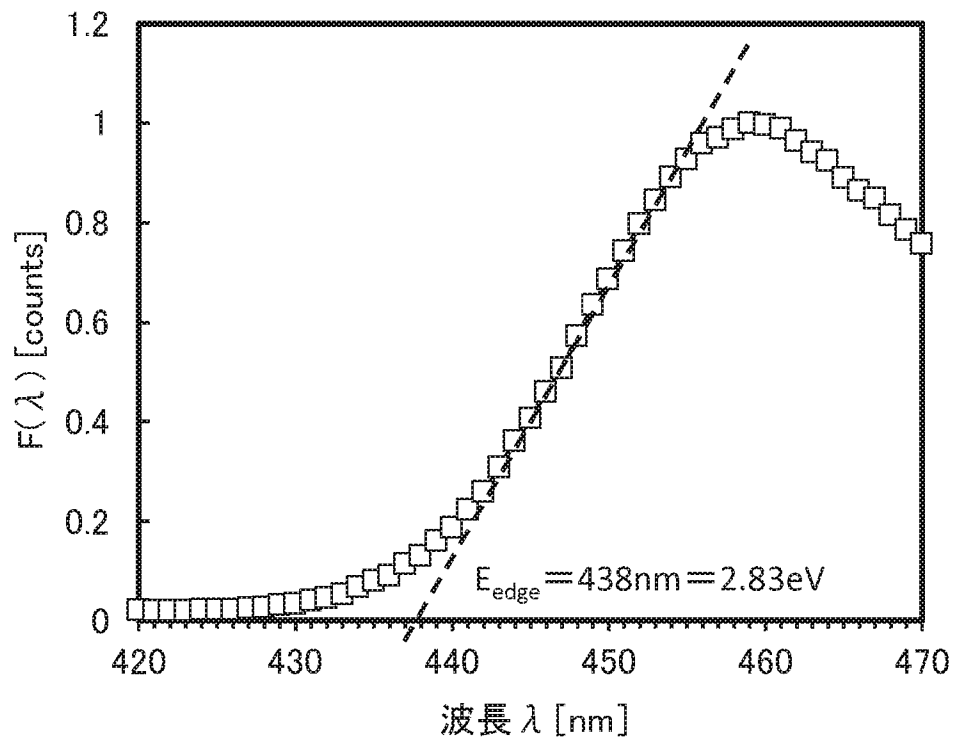
[図14]

14/34



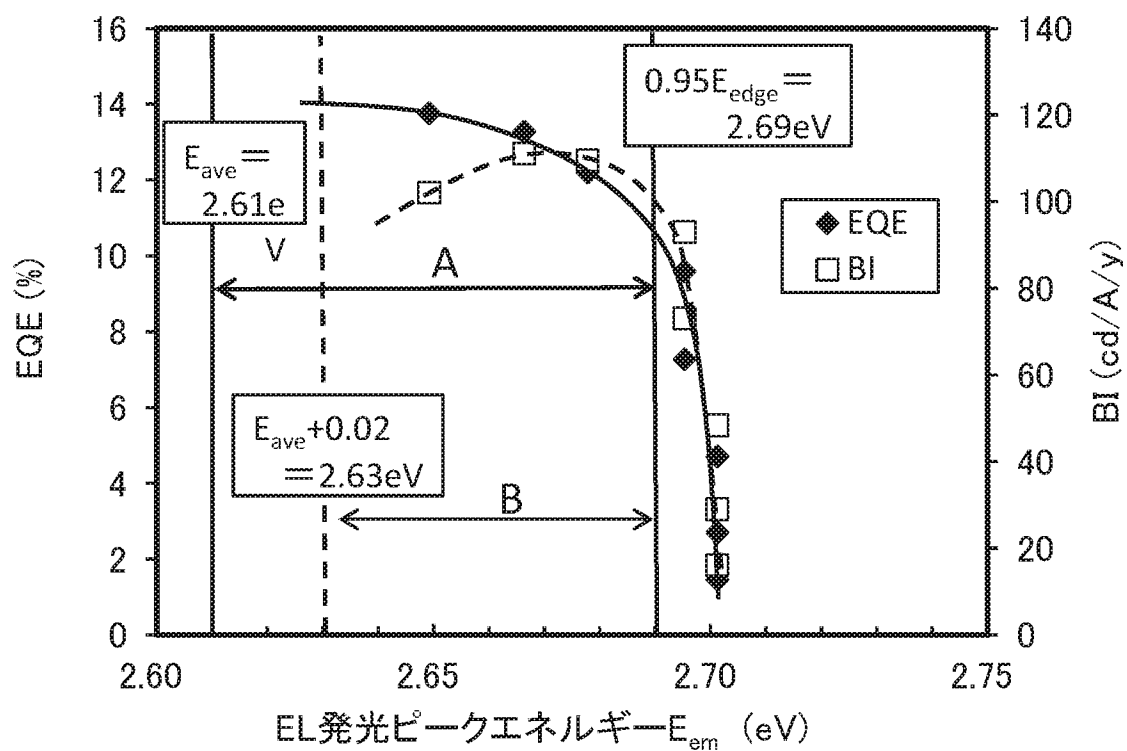
[図15]

15/34



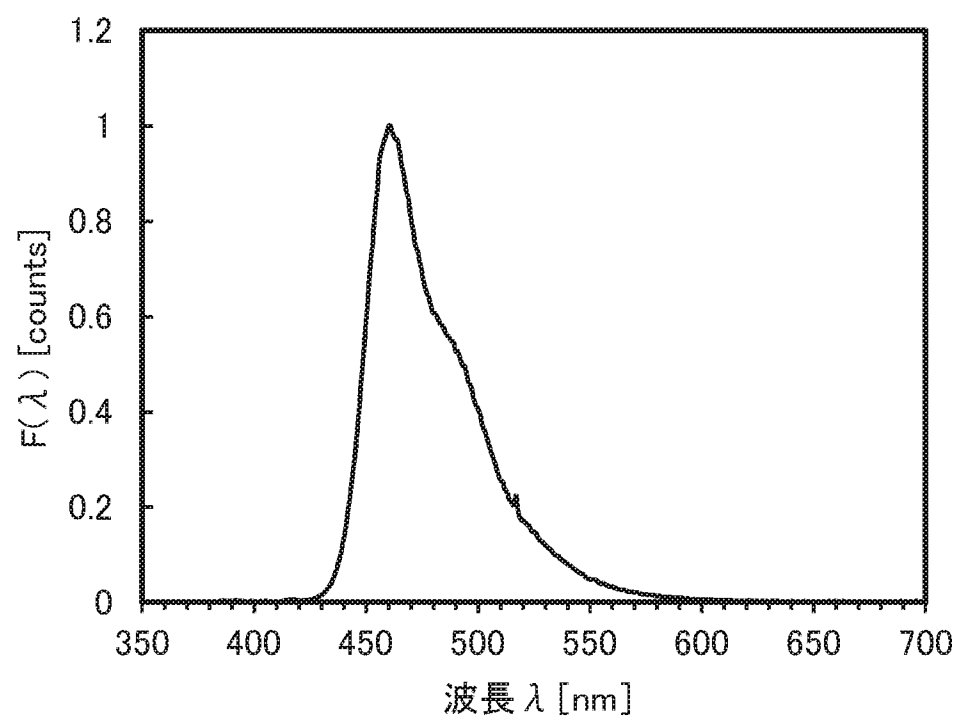
[図16]

16/34



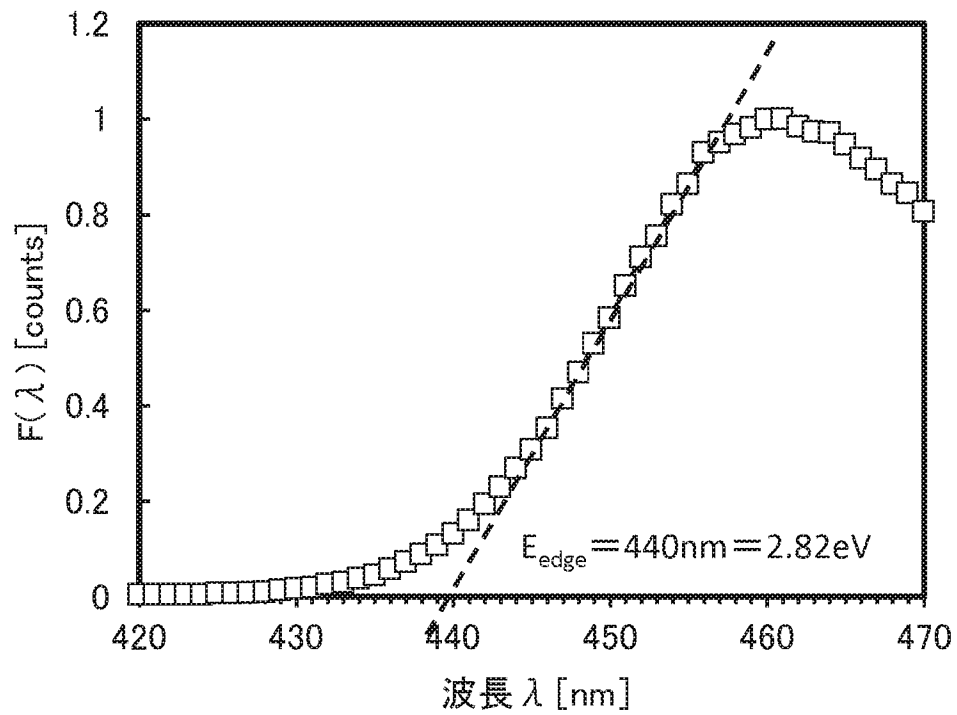
[図17]

17/34



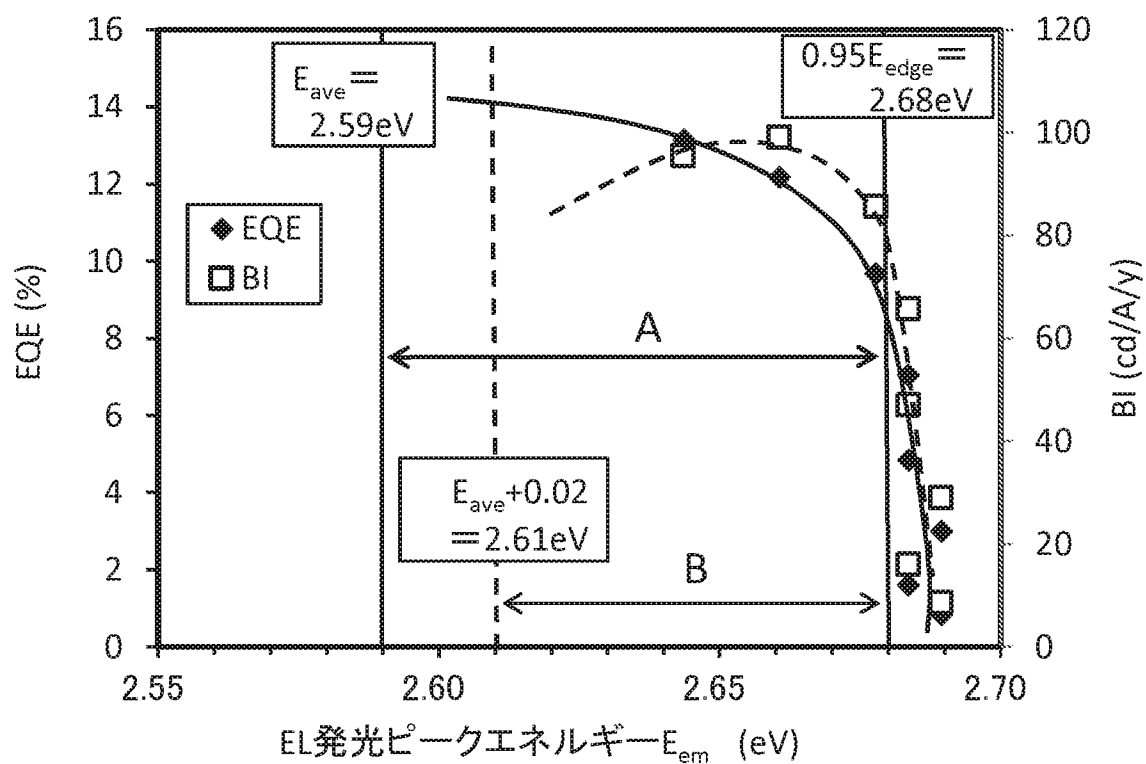
[図18]

18/34



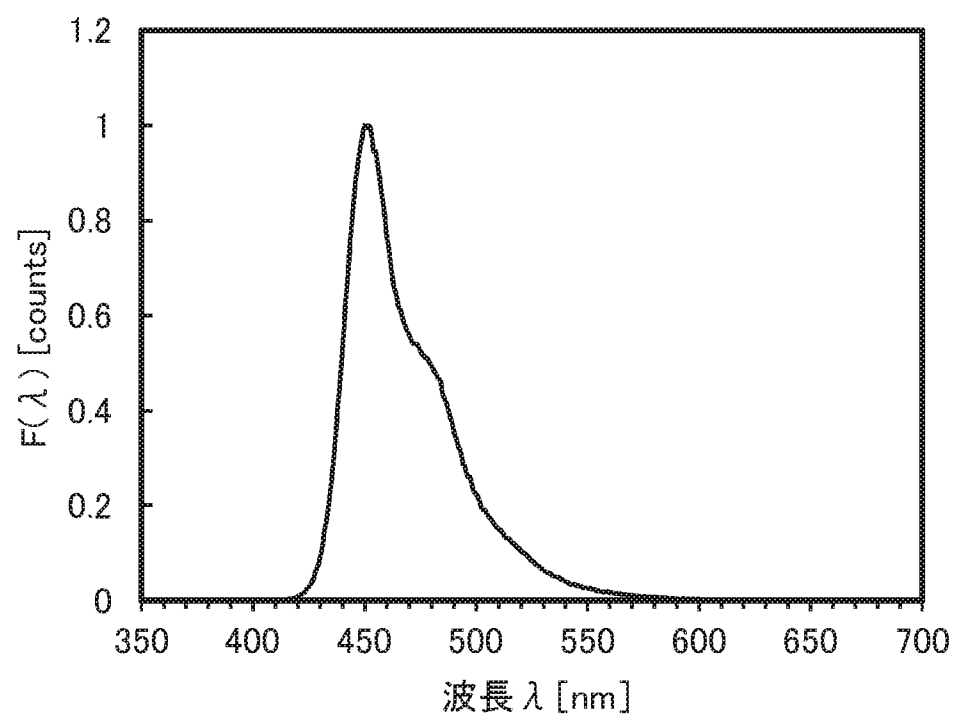
[図19]

19/34



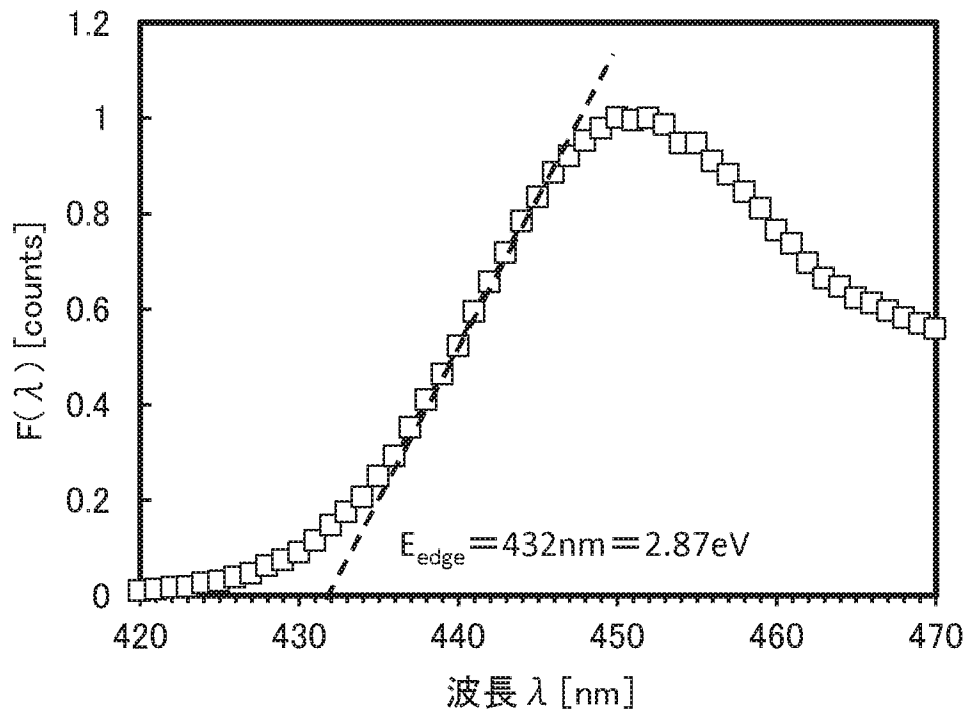
[図20]

20/34



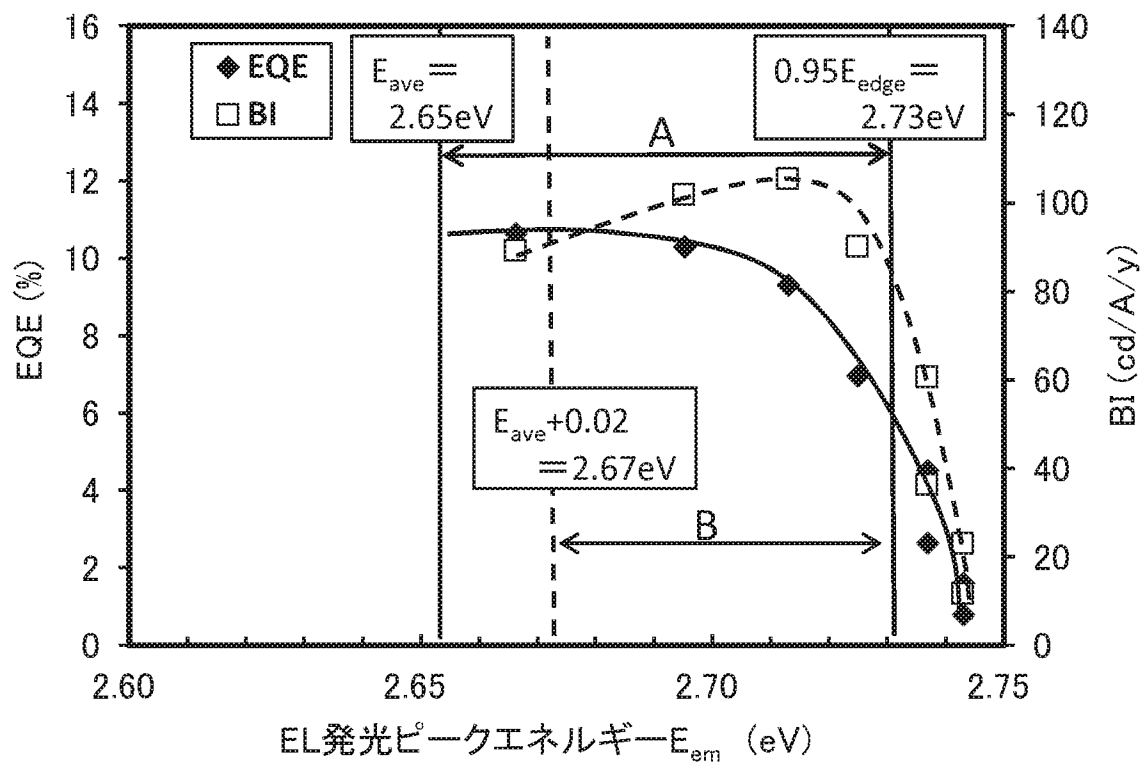
[図21]

21/34



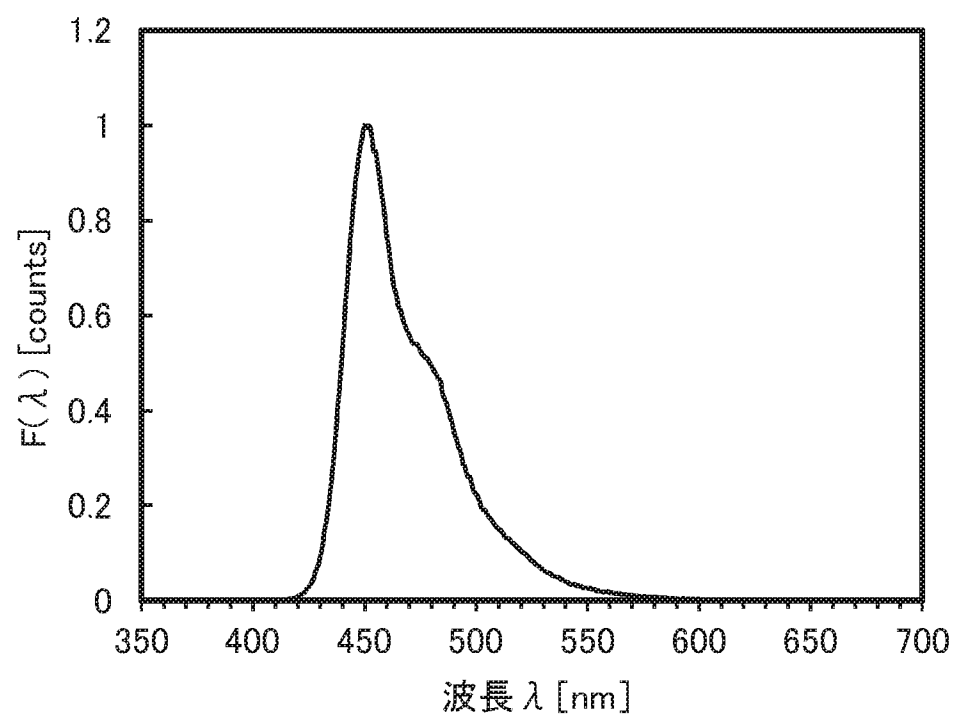
[図22]

22/34



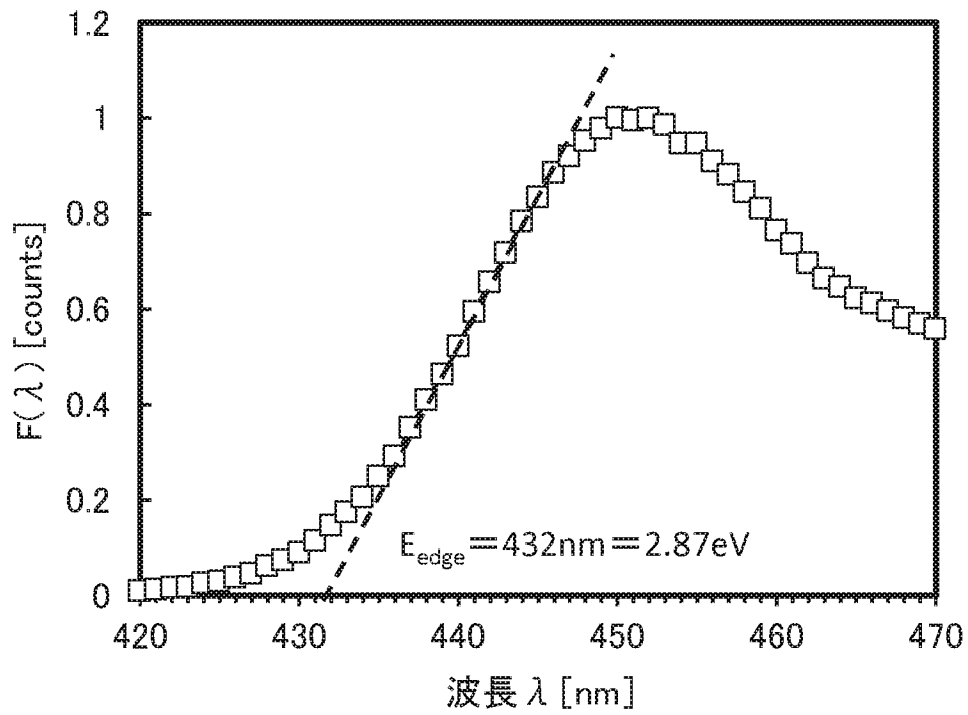
[図23]

23/34



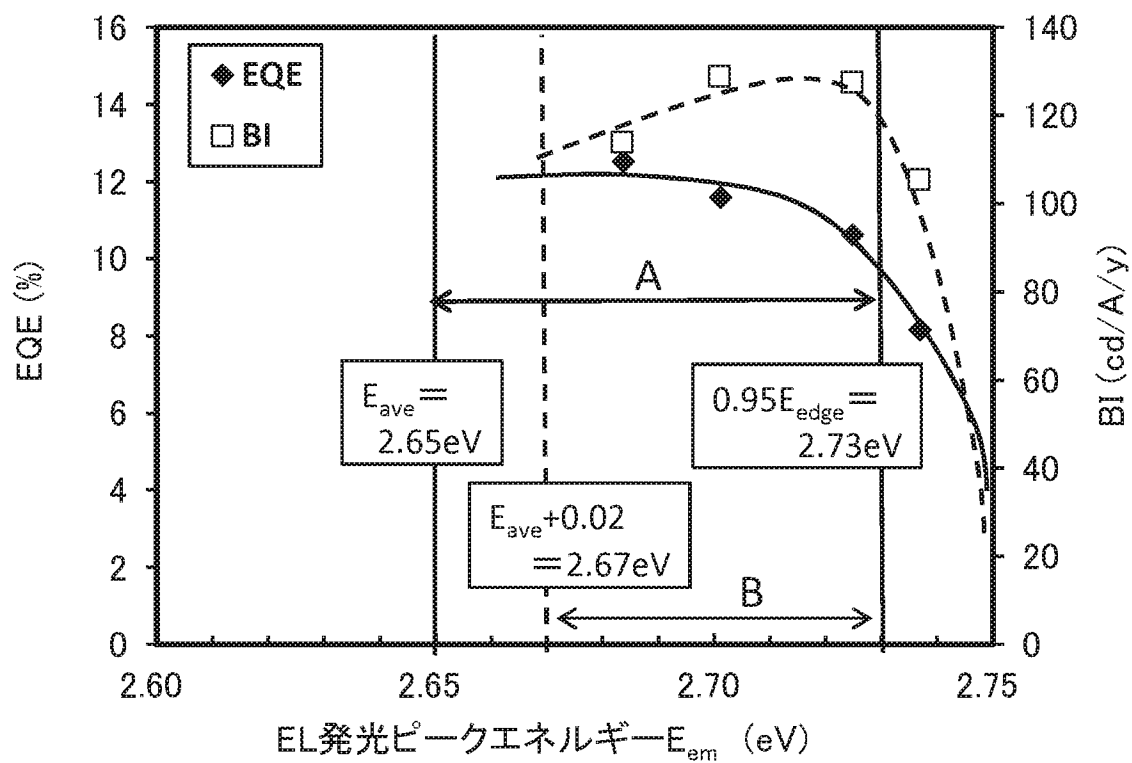
[図24]

24/34



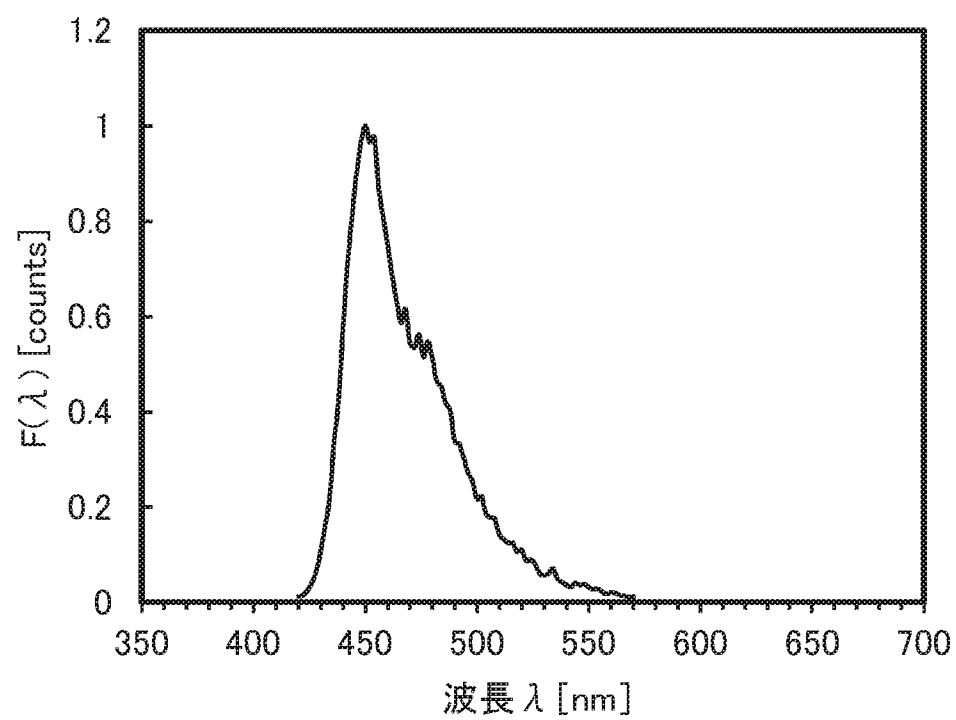
[図25]

25/34

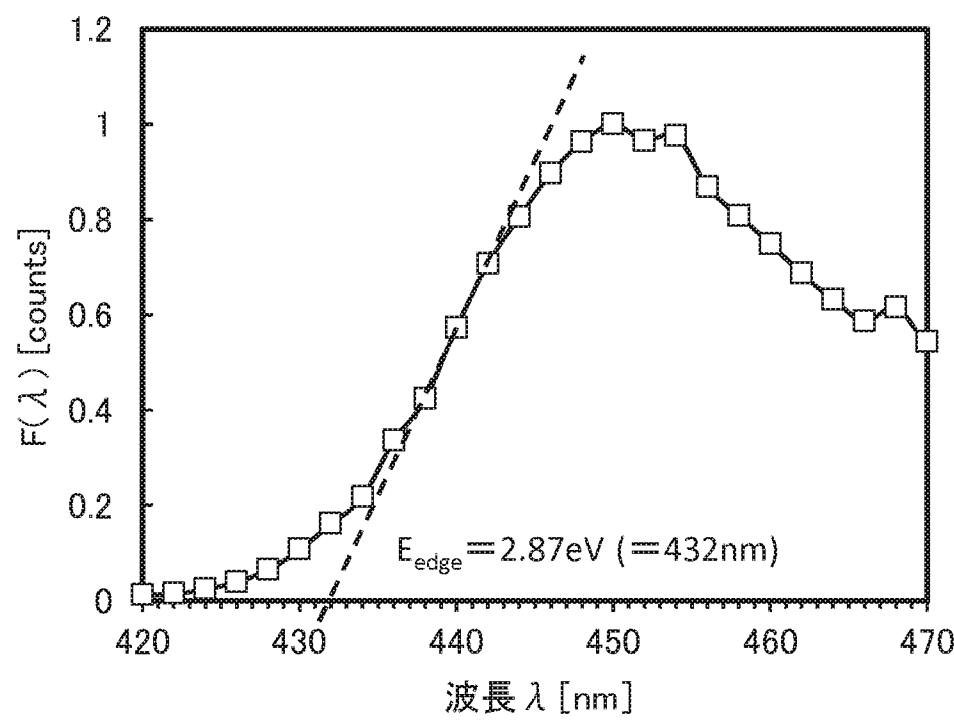


[図26]

26/34

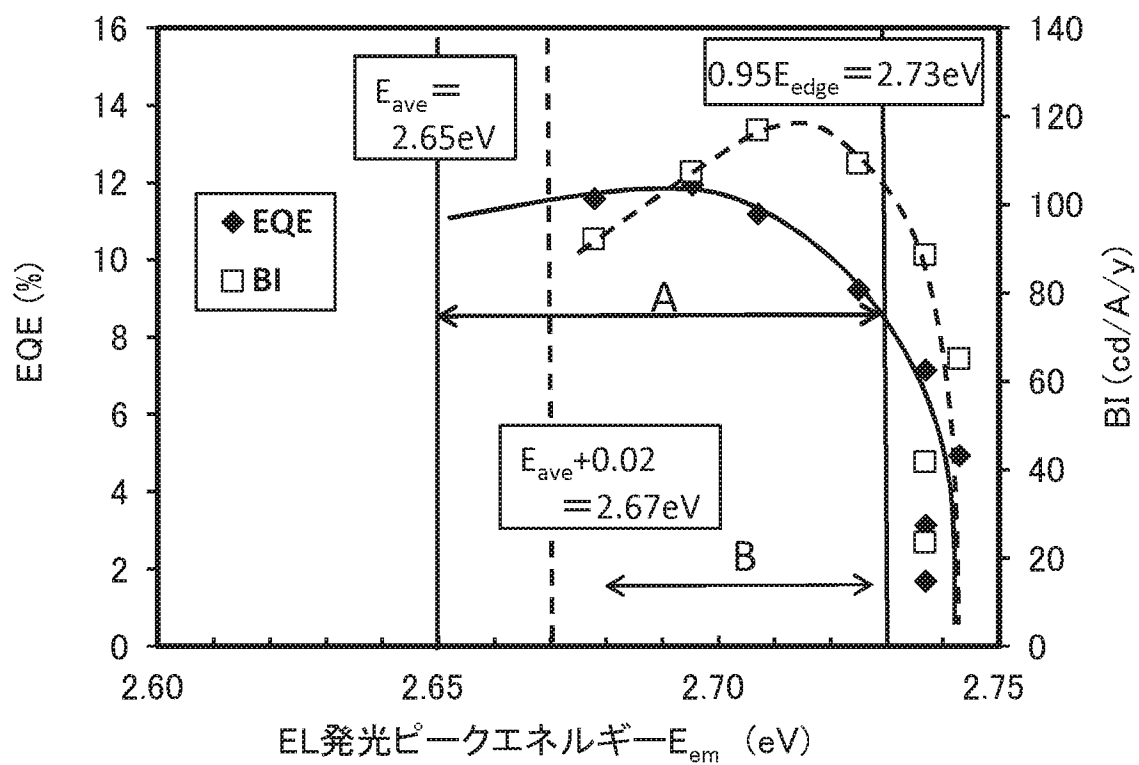


[図27]



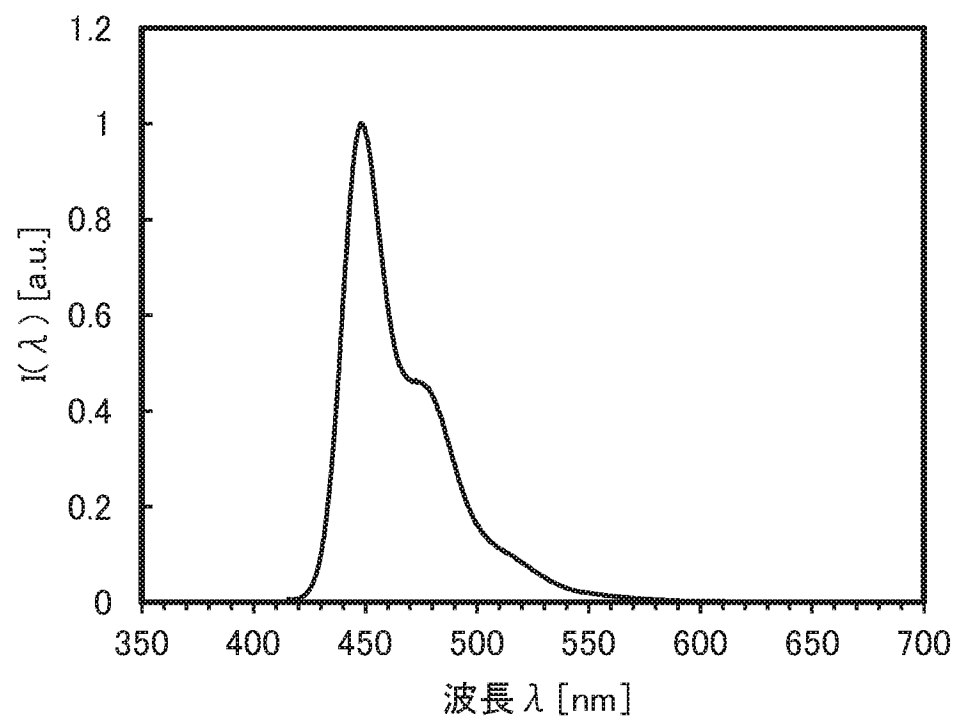
[図28]

28/34

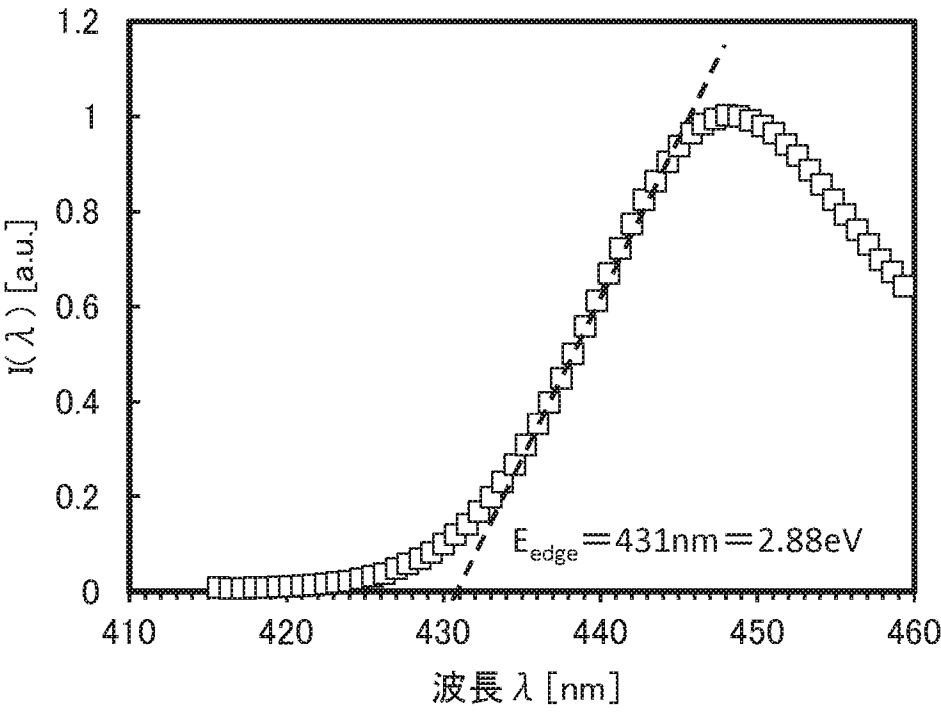


[図29]

29/34

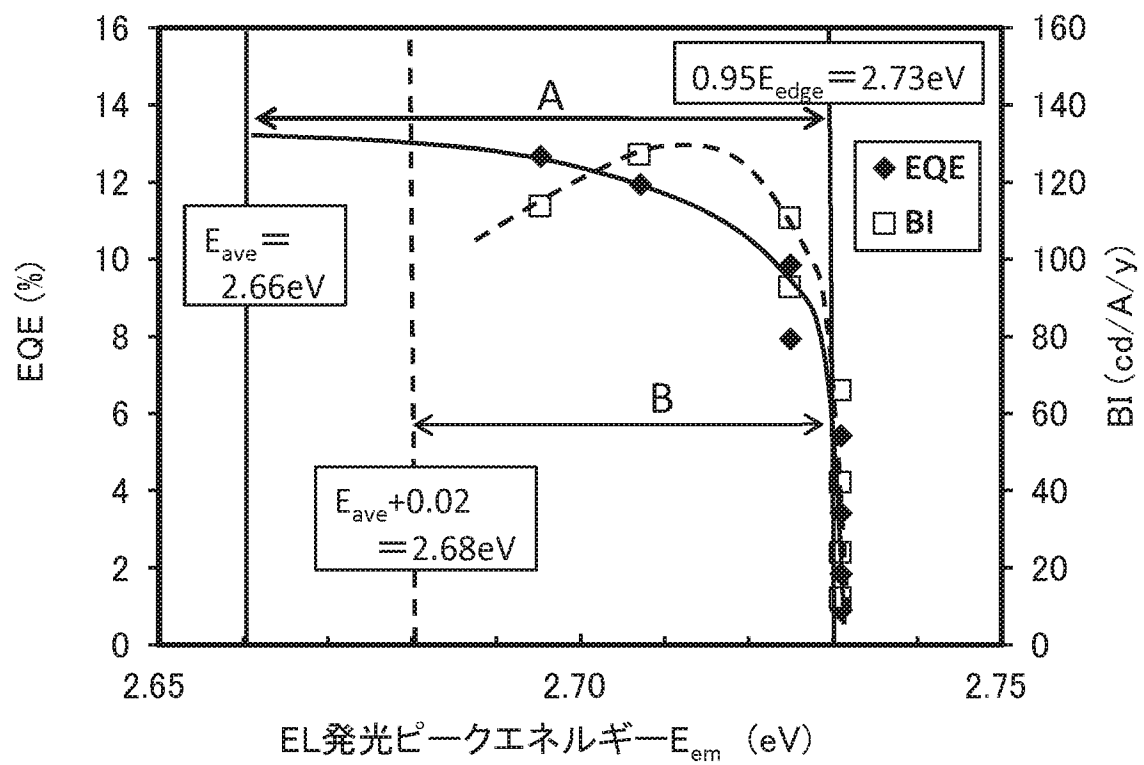


[図30]



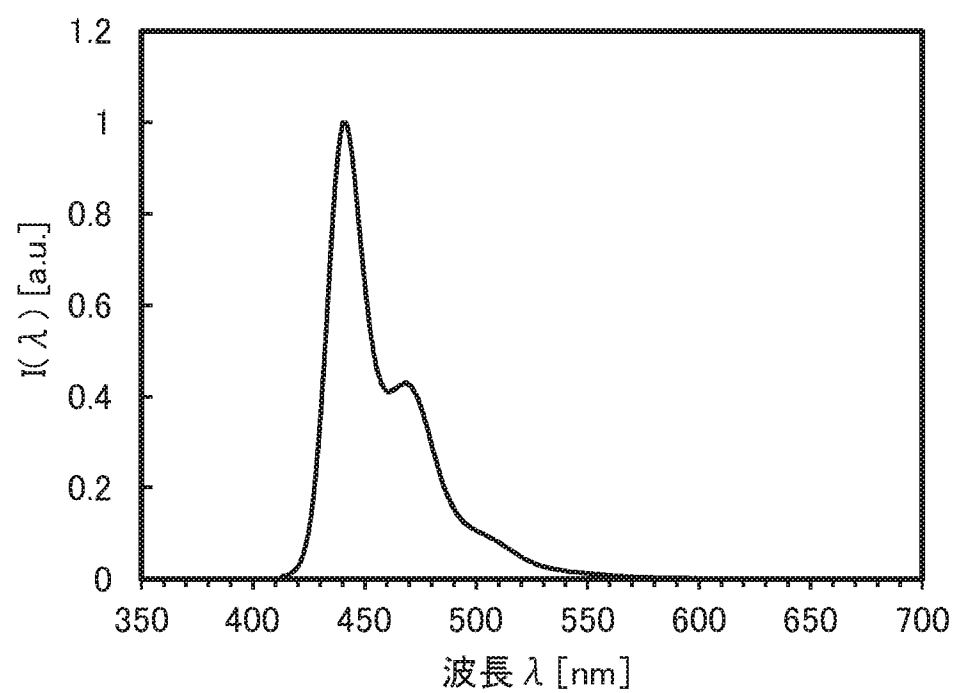
[図31]

31/34

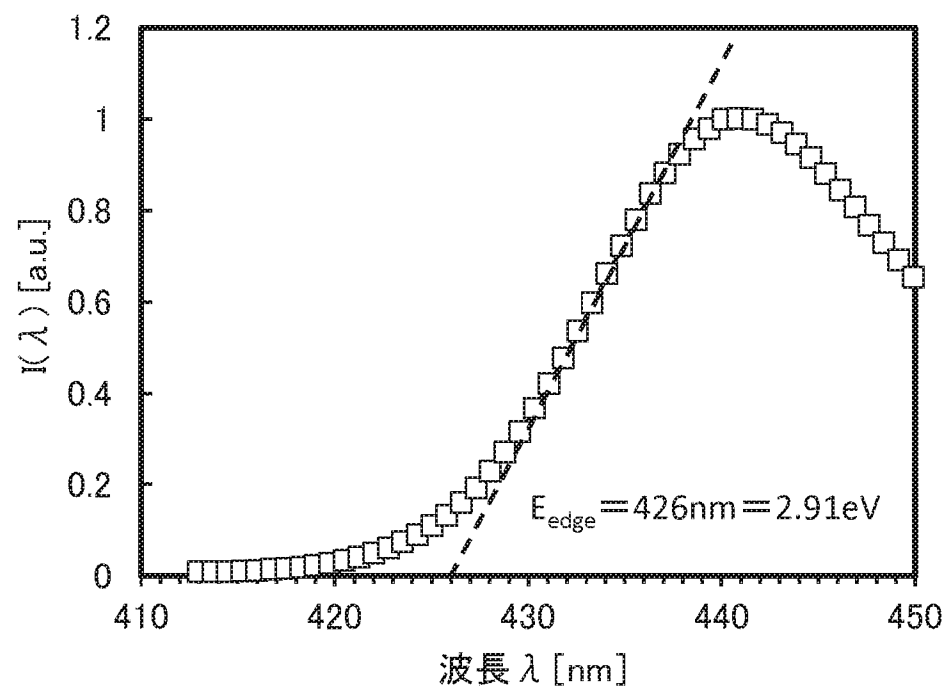


[図32]

32/34

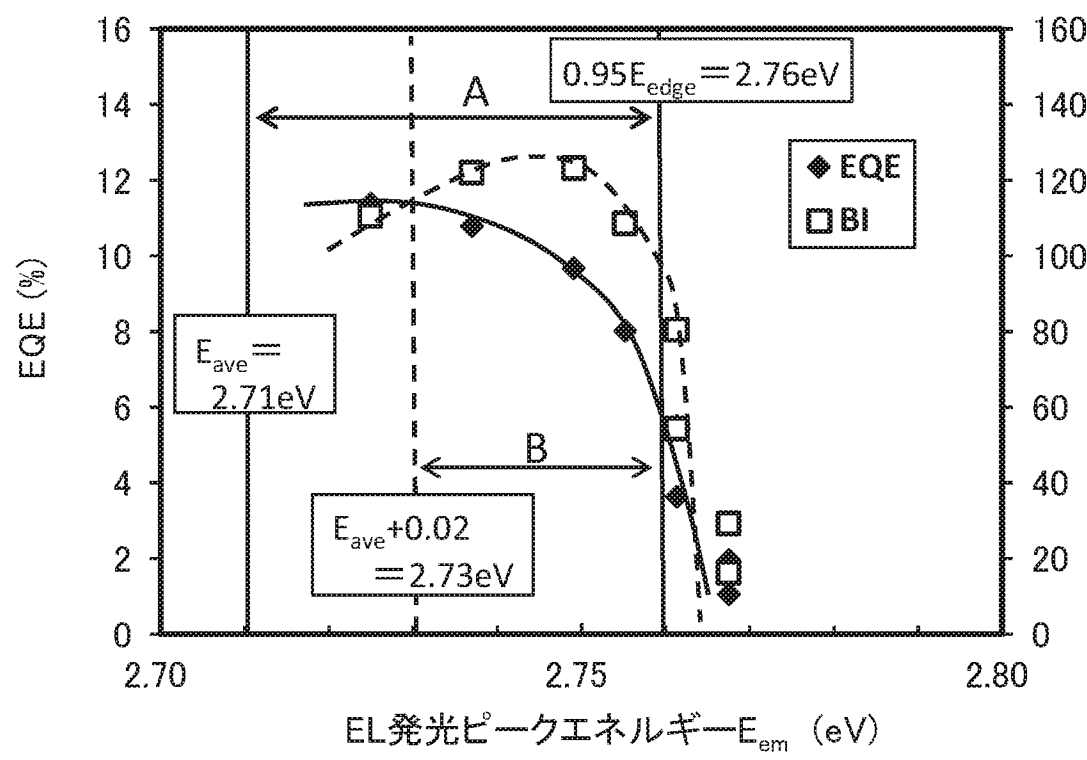


[図33]



[図34]

34/34



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2019/053851

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L51/50 (2006.01) i, G09F9/30 (2006.01) i, H01L27/32 (2006.01) i,
H05B33/02 (2006.01) i, H05B33/24 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. H01L51/50, G09F9/30, H01L27/32, H05B33/02, H05B33/24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2010-287524 A (SONY CORP.) 24 December 2010, paragraphs [0002], [0031], [0078]-[0080], [0097], fig. 7 & US 2010/0314638 A1, paragraphs [0003], [0053], [0102]-[0105], [0124], fig. 7	1-5, 7-9, 11 1-11
X Y	JP 2012-18939 A (PIONEER CORP.) 26 January 2012, paragraphs [0002], [0015], [0017], [0038]-[0039], fig. 7 (Family: none)	1-2, 4, 7-9, 11 6, 10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 August 2019 (05.08.2019)

Date of mailing of the international search report
13 August 2019 (13.08.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2019/053851

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-173263 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 01 October 2015, paragraphs [0275]-[0277], [0280], [0294], [0318]-[0319], [0366]-[0367], fig. 17(A) & US 2015/0243892 A1, paragraphs [0245]-[0247], [0250], [0264], [0288]-[0289], [0333]-[0344], fig. 17A	1-11
Y	WO 2011/043083 A1 (IDEMITSU KOSAN CO., LTD.) 14 April 2011, paragraphs [0014], [0084] & US 2012/0138918 A1, paragraphs [0021], [0134]	6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L51/50(2006.01)i, G09F9/30(2006.01)i, H01L27/32(2006.01)i, H05B33/02(2006.01)i, H05B33/24(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L51/50, G09F9/30, H01L27/32, H05B33/02, H05B33/24

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2010-287524 A (ソニー株式会社) 2010.12.24, 段落 [0002]、 [0031]、[0078] - [0080]、[0097]、図7 & US 2010/0314638 A1 段落 [0003]、[0053]、[0102] - [0 105]、[0124]、図7	1-5, 7-9, 11 1-11
X Y	JP 2012-18939 A (パイオニア株式会社) 2012.01.26, 段落 [000 2]、[0015]、[0017]、[0038] - [0039]、図7 (フ ァミリーなし)	1-2, 4, 7-9, 11 6, 10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05.08.2019

国際調査報告の発送日

13.08.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中山 佳美

20

3911

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2015-173263 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 2015. 10. 01, 段落 [0275] – [0277]、[0280]、[0294]、[0318] – [0319]、[0366] – [0367]、図17 (A) & US 2015/0243892 A1 段落 [0245] – [0247]、[0250]、[0264]、[0288] – [0289]、[0333] – [0344]、図17A	1-11
Y	WO 2011/043083 A1 (出光興産株式会社) 2011. 04. 14, 段落 [0014]、[0084] & US 2012/0138918 A1 段落 [0021]、[0134]	6