

(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
2015 年 2 月 5 日(05.02.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/016176 A1

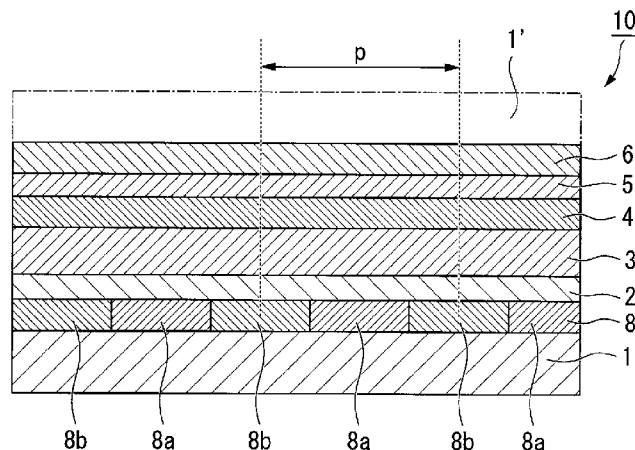
- (51) 国際特許分類:
H05B 33/02 (2006.01) *H05B 33/24* (2006.01)
H01L 51/50 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/069820
- (22) 国際出願日: 2014 年 7 月 28 日(28.07.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-159700 2013 年 7 月 31 日(31.07.2013) JP
- (71) 出願人: 昭和電工株式会社(SHOWA DENKO K.K.)
[JP/JP]; 〒1058518 東京都港区芝大門一丁目 1 3 番 9 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 下平 祥貴 (SHIMODAIRA Yoshiki); 〒1058518 東京都港区芝大門一丁目 1 3 番 9 号 昭和電工株式会社内 Tokyo (JP). 山▲崎▼ 祐介 (YAMAZAKI Yusuke); 〒1058518 東京都港区芝大門一丁目 1 3 番 9 号 昭和電工株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (JP).
- (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: ORGANIC EL ELEMENT, IMAGE DISPLAY DEVICE, AND ILLUMINATION DEVICE

(54) 発明の名称: 有機 EL 素子、画像表示装置及び照明装置



(57) Abstract: This organic EL element (10) is equipped with, in the stated order, an anode (first electrode) (2), an organic layer (3) including a light-emitting layer, and a cathode (second electrode) (4), wherein: the surface of the cathode (4) on the opposite side from the organic layer (3) is equipped with, in the stated order, a low-refractive-index layer (5) having a thickness of 20-300 nm, and a metal layer (6); the cathode (4) comprises a translucent electroconductive material; the refractive index of the low-refractive-index layer (5) is lower than the refractive index of the organic layer (3); and the surface of the anode (2) on the opposite side from the organic layer (3) is provided with a refractive index modulation structure (8) that has a first-refractive-index material layer (8a), and has a plurality of second-refractive-index material regions (8b) disposed discretely in the in-plane direction in the first-refractive-index material layer (8a).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/016176 A1



本発明の有機ＥＬ素子（１０）は、陽極（第１電極）（２）と、発光層を含む有機層（３）と、陰極（第２電極）（４）とを順に具備する有機ＥＬ素子であって、陰極（４）の、有機層（３）の反対側の面には、厚さ２０ｎｍ以上３００ｎｍ以下の低屈折率層（５）と、金属層（６）とを順に具備し、陰極（４）は、透光性導電材料からなり、低屈折率層（５）の屈折率は有機層（３）の屈折率よりも低く、陽極（２）の有機層（３）と反対側の面には、第１屈折率材料層（８ａ）を有し、第１屈折率材料層（８ａ）の面内方向には、離散的に配置する複数の第２屈折率材料領域（８ｂ）を有する屈折率変調構造（８）を備えている。

明 細 書

発明の名称：有機ＥＬ素子、画像表示装置及び照明装置

技術分野

[0001] 本発明は、有機ＥＬ素子、画像表示装置及び照明装置に関するものである。本願は、２０１３年７月３１日に、日本に出願された特願２０１３－１５９７００に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 有機ＥＬ（エレクトロルミネッセンス）素子は、広視野角、高速応答、鮮明な自発光表示等の特徴を有する。このような特徴を有する有機ＥＬ素子は、薄型軽量で低消費電力であること等の理由から、次世代の照明装置や画像表示装置等の柱として期待されている。

有機ＥＬ素子は、有機発光層で発生した光が、素子外部へ取り出される際の向きに応じて、支持基板側から光が取り出されるボトムエミッション型と、支持基板の反対側から光が取り出されるトップエミッション型とに分けられる。

[0003] 例えば、透明基板上に、透明電極、発光層を含む有機層、金属電極を順に備えるボトムエミッション型の有機ＥＬ素子を考える。このような有機ＥＬ素子において、発光層で発光した光のうち、透明基板（例えば、ガラス（代表的な屈折率：１．５２））と空気（屈折率：１．０）との界面に臨界角以下の小さい入射角（入射光線と入射する界面の法線がなす角度）で入射した光は、その界面で屈折して素子の外部に取り出される。以下、これらの光を外部モード（External Mode）光という。

これに対して、発光層で発光した光のうち、透明基板と空気との界面に臨界角より大きい入射角で入射した光は、その界面で全反射されるため素子の外部に取り出されず、最終的に材料に吸収されうる。以下、この光を基板モード（Substrate Mode）光といい、これによる損失を基板損失という。

発光層で発光した光のうち、基板と陰極との間の種々の界面に臨界角より大きい入射角で入射した光も、これらの界面で全反射されて素子の外部に取り出されず、最終的に材料に吸収される。以下、この光を導波モード (Waveguide Mode) 光といい、これによる損失を導波損失という。種々の界面は、透明導電性酸化物からなる陽極 (例えば、酸化インジウム錫 (ITO (代表的な屈折率: 1.82))) と透明基板 (例えば、ガラス (代表的な屈折率: 1.52))) との界面や、陽極と陰極間に配置される高屈折率層と低屈折率層との界面等が挙げられる。

さらに、発光層で発光した光のうち、金属陰極に入射して金属陰極の自由電子と結合し、表面プラズモンポラリトン (SPP; Surface Plasmon Polariton) として金属電極の表面に捕捉された光も素子の外部に取り出されず、最終的に材料に吸収される。以下、この光を SPP モード光といい、これによる損失をプラズモン損失という。

[0004] 有機 EL 素子の光取り出し効率 (発光層で発光した光に対して素子の外部に取り出される光の割合) は、一般に 20% 程度に留まっている (例えば、特許文献 1)。すなわち、発光層で発光した光のうち、約 80% が損失となっており、これらの損失を低減して光の取り出し効率を向上させることが重要な課題となっている。

基板モード光の取り出しについては、透明基板上に光拡散シートなどを設けることで対処できる (例えば、特許文献 2)。これに対し、導波モード光及び SPP モード光を低減し、取り出し効率を向上させる方法、特に、SPP モード光を低減し、取り出し効率を向上させる方法については研究が緒に就いたばかりといえる。

[0005] 導波モード光は、光が高屈折率材料から低屈折率材料に入射する際に全反射が起きることにより生じる。そのため、導波モード光を低減するためには、全反射を起きにくくする、あるいは、全反射を生じる光の割合を低減させる方策が知られている。

特許文献 3 には、有機発光層の近傍に有機発光層や透明電極よりも屈折率

の高い高屈折率層を挿入する構成が開示されている。特許文献2には、有機発光層及び透明電極に有機発光層及び透明電極よりも低屈折率の微粒子を分散させることで、等価的に有機発光層及び透明電極の屈折率を下げる構成が開示されている。

[0006] 特許文献4及び特許文献5には、基板上に順に形成された透明電極層及び誘電体層にキャビティを有する構成が開示されている。

このキャビティの側面（基板に対して垂直に延びる界面）に入射する光は、この界面において基板側に屈折する。基板側に屈折した光の多くは、臨界角より小さい角度で透明電極と基板の界面、及び基板と空気の界面に入射するため、これらの界面で全反射を生じる光の割合を低減することができる。

[0007] 一方、光の取り出し効率を向上させる方法として、透明基板と電極との界面などに回折格子を形成する方法が提案されている（例えば、特許文献6）。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2008-210717号公報

特許文献2：特開2011-243625号公報

特許文献3：特開2011-233288号公報

特許文献4：特表2003-522371号公報

特許文献5：特開2011-82192号公報

特許文献6：特開平11-283751号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：A. Otto, Z. Physik 216, 398 (1968)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、SPPモード光を伝播光として取り出しても、その光が導波モード光となって素子の外部に取り出すことができなければ、光取り出し

効率を向上させることができない。

[0011] 本発明は、上記事情に鑑みなされたものであり、SPPモード光及び導波モード光を効果的に取り出して、光取り出し効率が向上した有機EL素子、画像表示装置及び照明装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明者らは、まず、SPPモード光を伝播光として取り出し、その次に、その伝播光を導波モード光とせずに素子の外部に取り出すという2ステップの光取り出し機構を想定して多数の構造の中から、光取り出し効率を向上させる有効な構造を鋭意検討した。

光取り出し効率を直接計測することは困難であるため、主にシミュレーションに基づいて検討を行った。

[0013] 本発明の有機EL素子は、発光層を含む有機層を第1電極と第2電極が挟持してなる構造のものである。ここで、上記の2ステップの光取り出し機構は、SPPモード光を生成し、生成されたSPPモード光を伝播光として取り出すOtto型配置（非特許文献1）の第2電極側構造と、その伝播光を導波モード光とせずに外部に取り出す第1電極側構造とからなる。

[0014] 本発明者らは、シミュレーションにより、Otto型配置の第2電極側構造と、導波モード光を基板側（トップエミッション型では基板の反対側）に屈折又は指向させる、基板に対して垂直又は垂直に近い界面を備えた第1電極側構造とを組み合わせることにより、かかる第2電極側構造及び第1電極側構造の単独の光取り出し効率の向上効果からは予測できないほどの顕著な効果を得ることができることを見出し、本発明を完成させた。

[0015] 上記課題を解決するため、概要を説明した本発明は以下の構成を採用する。

（1）第1電極と、発光層を含む有機層と、第2電極とを順に具備する有機EL素子であって、前記第2電極の前記有機層と反対側の面には、厚さ20nm以上300nm以下の低屈折率層と、金属層とを該反対側の面に接する側から順に具備し、前記第2電極は、透光性導電材料からなり、前記低屈折

率層の屈折率は、前記有機層の屈折率よりも低く、前記第 1 電極の前記有機層と反対側の面には、第 1 屈折率材料層を有し、前記第 1 屈折率材料層の面内方向には、離散的に配置された複数の第 2 屈折率材料領域を有する屈折率変調構造を備えることを特徴とする有機 EL 素子。

(2) 基板上に、第 1 電極と、発光層を含む有機層と、第 2 電極とを順に具備する有機 EL 素子であって、前記第 2 電極の前記有機層と反対側の面に、厚さ 20 nm 以上 300 nm 以下の低屈折率層と、金属層とを該反対側の面に接する側から順に具備し、前記第 2 電極は、透光性導電材料からなり、前記低屈折率層の屈折率は、前記有機層の屈折率よりも低く、前記基板の表面層に離散的に形成された複数の基板凹部が、基板の屈折率と異なる材料で充填されてなる屈折率変調構造を備えることを特徴とする有機 EL 素子。

(3) 基板上に、第 1 電極と、発光層を含む有機層と、第 2 電極とを順に具備する有機 EL 素子であって、前記第 2 電極の前記有機層と反対側の面には、厚さ 20 nm 以上 300 nm 以下の低屈折率層と、金属層とを該反対側の面に接する側から順に具備し、前記第 2 電極は、透光性導電材料からなり、前記低屈折率層の屈折率は、前記有機層の屈折率よりも低く、前記基板の表面層に離散的に形成された複数の基板凸部を有し、その側面を被覆するように基板の屈折率と異なる材料が形成されてなる屈折率変調構造を備えることを特徴とする有機 EL 素子。

(4) 前記低屈折率層の屈折率は、前記第 2 電極の屈折率よりも低いことを特徴とする (1) ~ (3) のいずれか一項に記載の有機 EL 素子。

(5) 前記第 2 電極の屈折率は、前記有機層の屈折率よりも低いことを特徴とする (4) に記載の有機 EL 素子。

(6) 前記低屈折率層は、前記第 2 電極及び前記有機層のうちの少なくとも一方よりも屈折率が 0.2 以上小さい材料からなることを特徴とする (1) ~ (5) のいずれか一項に記載の有機 EL 素子。

(7) 前記第 2 屈折率材料領域、前記基板凹部又は前記基板凸部が、素子面内の少なくとも一方向に配列される周期が、500 nm ~ 2000 nm であ

ることを特徴とする（１）～（６）のいずれかに一項に記載の有機ＥＬ素子。

（８）前記金属層の誘電率の実部 ε_1 、前記低屈折率層の誘電率 ε_2 、及び、前記第２屈折率材料領域、前記基板凹部又は前記基板凸部が、素子面内の少なくとも一方向に配列される周期 p が、ある整数 N （ $1 \leq N \leq 3$ ）に対して以下の式を満たすように選択されていることを特徴とする（１）～（６）のいずれか一項に記載の有機ＥＬ素子；

[数１]

$$\left| \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \times \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}} - N \frac{\lambda}{p} \right| < 0.6 \quad \dots (1)$$

ここで、 λ は前記発光層のフォトルミネッセンス・スペクトルのピーク波長である。

（９）前記周期が、 $200 \text{ nm} \sim 2000 \text{ nm}$ であることを特徴とする（８）に記載の有機ＥＬ素子。

（１０）（１）～（９）のいずれか一項に記載の有機ＥＬ素子を備えることを特徴とする画像表示装置。

（１１）（１）～（９）のいずれか一項に記載の有機ＥＬ素子を備えることを特徴とする照明装置。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、ＳＰＰモード光及び導波モード光を効果的に取り出し、光取り出し効率が向上した有機ＥＬ素子、画像表示装置及び照明装置を提供できる。

図面の簡単な説明

[0017] [図１]本発明の第１実施形態に係る有機ＥＬ素子の一例を説明するための断面模式図である。

[図２]図１に示す有機ＥＬ素子の斜視図である。発明の特徴を分かりやすくするため、Ｏｔｔｏ型配置構造の部分を離して図示した。

[図3]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子を例に、屈折の効果を説明するための断面模式図である。

[図4]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子を例に、回折格子としての効果を説明するための断面模式図である。

[図5]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子を例に、フォトニック結晶としての効果を説明するための断面模式図である。

[図6]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子の他の例を説明するための断面模式図である。

[図7]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子の他の例を説明するための断面模式図である。

[図8]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子の他の例を説明するための断面模式図である。

[図9]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子の他の例を説明するための断面模式図である。

[図10]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子の他の例を説明するための断面模式図である。

[図11]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子の他の例を説明するための断面模式図である。

[図12]本発明の第2実施形態に係る有機EL素子の一例を説明するための断面模式図である。

[図13]図12に示す有機EL素子の斜視図である。発明の特徴を分かりやすくするため、Otto型配置構造の部分を離して図示した。

[図14]本発明の第3実施形態に係る有機EL素子の一例を説明するための断面模式図である。

[図15]図14に示す有機EL素子の斜視図である。発明の特徴を分かりやすくするため、Otto型配置構造の部分を離して図示した。

[図16]本発明の有機EL素子を備えた画像表示装置の一例を説明するための断面模式図である。

[図17]本発明の有機EL素子を備えた照明装置の一例を説明するための断面模式図である。

[図18]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図19]本発明の第2実施形態に係る有機EL素子の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図20]基板上に、陽極と有機層と陰極（金属）とを有する一般の有機EL素子において、有機層で発光した光を有機EL素子面方向における波数で展開するエネルギー散逸計算を行った結果を示す。

[図21]O t t o型配置におけるエネルギー散逸計算の、低屈折率層の膜厚による依存性を示した図であり、低屈折率層の屈折率を1.38とし、(a)は金属層をAlとし、(b)は金属層をAgとした場合の結果を示した図である。

[図22]図21におけるピークの変化を説明するための、有機EL素子の断面模式図である。(a)は、低屈折率層の膜厚が0nmの場合、(b)は、低屈折率層の膜厚が厚くなるにつれて、SPPモード光と導波モード光が混在する場合、(c)は、低屈折率層の膜厚が十分厚く、エバネッセント波が金属層に届かなくなり、SPPモード光として捕捉されない場合である。

[図23]図21におけるエネルギー散逸計算の結果において、低屈折率層の膜厚に対するピーク幅の変化を示した図である。

[図24]本発明の第1実施形態に係る有機EL素子において、(a)は金属層をAl、(b)は金属層をAgとした場合の式(16)をグラフ化した図である。

[図25]本発明の第1実施形態の有機EL素子の光取り出し効率について、周期依存性をランダムなダイポールを用いて調べた、コンピュータシミュレーション計算の結果を示す図である。

[図26]図25のシミュレーションを行った有機EL素子の構造を説明するための断面模式図である。

[図27]本発明の第1実施形態の有機EL素子の光取り出し効率について、水平方向のダイポールからの放射光の電場の強度分布の、隣接する第2屈折率材料領域間のピッチに対する依存性を、コンピュータシミュレーション計算で調べた結果であり、ピッチが(a)は200nm、(b)は300nm、(c)は500nm、(d)は900nm、(e)は2000nm、(f)は4000nmのものである。

[図28]本発明の第1実施形態の有機EL素子の光取り出し効率について、垂直方向のダイポールからの放射光の磁場の強度分布の、隣接する第2屈折率材料領域間のピッチに対する依存性を、コンピュータシミュレーション計算で調べた結果であり、ピッチが(a)は200nm、(b)は300nm、(c)は500nm、(d)は900nm、(e)は2000nm、(f)は4000nmのものである。

[図29]otto型配置を有する第2電極側構造を備えた有機EL素子の第2電極側構造を含む一部の断面模式図である。

[図30]透過型回折格子を備えた第1電極側構造を備えた有機EL素子の第1電極側構造を含む一部の断面模式図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明を適用した有機EL素子、画像表示装置及び照明装置について、図面を用いてその構成を説明する。以下の説明で用いる図面は、特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際と同じであるとは限らない。以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することが可能である。一の実施形態で説明した内容は他の実施形態では説明を省略する場合がある。

本発明の有機EL素子は、いわゆるトップエミッション型、ボトムエミッション型のいずれを適用してもよい。

本発明において、第1電極及び第2電極は、一方が陽極で他方が陰極であ

るが、以下では、第1電極を陽極、第2電極を陰極とする構成を例に挙げて説明する。

本発明の有機EL素子は本発明の効果を損ねない範囲で以下に記載していない層を備えてもよい。

[0019] (有機EL素子(第1実施形態))

図1は、本発明の第1実施形態に係る有機EL素子の一例を説明するための断面模式図である。図2は、図1に示す第1実施形態に係る有機EL素子の斜視図である。発明の特徴を分かりやすくするため、O t t o型配置構造の部分を除いて図示した。

図1に示す有機EL素子10は、陽極(第1電極)2と、発光層を含む有機層3と、陰極(第2電極)4とを順に具備する。陰極4の有機層3と反対側の面には、厚さ20nm以上300nm以下の低屈折率層5と、金属層6とを該反対側の面に接する側から順に具備する。陰極4は、透光性導電材料からなり、低屈折率層5の屈折率は、有機層3の屈折率よりも低い。基板1と陽極2との間には、第1屈折率材料層8aを有し、第1屈折率材料層8aの面内方向には、離散的に配置される複数の第2屈折率材料領域8bを有する屈折率変調構造8を備える。

図1において実線で示す構成は、ボトムエミッション型のものである。図1において符号1'は、本発明の構成をわかりやすく説明するためにトップエミッション型の場合の基板1の配置を併せて示したものである。他の実施形態についても、トップエミッション型の場合の基板の配置は同様である。

上記のように陰極側の構造について屈折率の比較を行う場合には、有機層の屈折率とは、有機EL材料からなる発光層を含む全ての層の平均の屈折率をいう。

[0020] 本発明の有機EL素子において、陰極側の金属層/低屈折率層/陰極/有機層の積層構造が共通する。この金属層/低屈折率層/陰極/有機層の積層構造において、低屈折率層、陰極、有機層の屈折率をそれぞれ n_L 、 n_C 、 n_O とすると、低屈折率層の屈折率が有機層の屈折率よりも低い構成としては、

$n_L < n_o < n_c$ の場合（以下「Bパターン」という）、 $n_L < n_c < n_o$ の場合（以下「Cパターン」という）と、 $n_c < n_L < n_o$ の場合（以下「Dパターン」という）の3通りがある。O t t o型配置では、金属／低屈折率媒質／高屈折率媒質の順で層を配置する必要がある。Bパターンの場合、金属層／低屈折率層／陰極の構成がO t t o型配置になっている。Cパターンの場合、金属層／低屈折率層／陰極の構成がO t t o型配置である他、金属層／低屈折率層＋陰極／有機層の構成もO t t o型配置になっている。Dパターンの場合、金属層／低屈折率層＋陰極／有機層の構成がO t t o型配置になっている。

[0021] B～Dパターンで最も好ましいのは、Cパターンである。この場合は、金属層／低屈折率層／陰極（透明導電層）の構成がO t t o型配置になっていると共に、金属層／低屈折率層＋陰極（透明導電層）／有機層の構成でもO t t o型配置になっている。そのため、金属層からS P Pモード光の再放射が最も生じやすい。さらに、低屈折率層、陰極（透明導電層）、有機層の順に屈折率が高くなるため各界面で全反射が生じず、再放射されたS P Pモード光がそのまま基板側へ取り出される。この具体的な構成としては、陰極（透明導電層）がP E D O T : P S S（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）、代表的な屈折率：1.5）などの透明導電材料層で、低屈折率層が空気やCパターンの屈折率条件を満たすS O G（スピノンガラス）である場合が挙げられる。

次に好ましいのは、Bパターンである。この場合は、金属層／低屈折率層／陰極（透明導電層）の構成がO t t o型配置になっている。そのため、金属層からS P Pモード光の再放射が生じる。但し、有機層の屈折率が低屈折率層と陰極（透明導電層）の中間の値なので再放射されたS P Pモード光のうちの一部の光は、陰極（透明導電層）／有機層の界面で全反射し、その残りの光が有機層に透過する。この具体的な構成例としては、有機層（代表的な屈折率：1.7～1.8）に対し、陰極の材料としてa－I T O（アモルファスI T O、代表的な屈折率：2.1）を選び、低屈折率層の材料として

SOGの中から有機層の材料より低屈折率のものを選ぶ場合が挙げられる。

次に好ましいのは、Dパターンである。この場合は、金属層／低屈折率層／陰極（透明導電層）の構成はO t t o型配置になっていないが、金属層／低屈折率層+陰極（透明導電層）／有機層の構成でだけO t t o型配置になっている。そのため、金属層からSPPモード光の再放射が生じるが、Bパターンの場合よりもさらにSPPモード光の再放射が少なくなる。

この具体的な構成としては、有機層（代表的な屈折率：1.7～1.8）に対し、陰極の材料としてPEDOT:PSSを選び、低屈折率層の材料として、その屈折率 n_L が n_c と n_o の間となるような材料、例えば、Bパターンの屈折率条件を満たすSOGを採用すればよい。

[0022] $n_o < n_c < n_L$ の場合（以下「Eパターン」という）、 $n_c < n_o < n_L$ の場合（以下「Fパターン」ということがある）ではO t t o型配置にはならない。 $n_o < n_L < n_c$ の場合（以下「Aパターン」という）では、金属層／低屈折率層／陰極がO t t o型配置になっており、金属層からSPPモード光の再放射は生じる。しかし、有機層の屈折率が低屈折率層よりも低いため、陰極（透明導電層）／有機層の界面で再放射されたSPPモード光のほとんどが全反射してしまう。そのため、再放射されたSPPモード光のほとんどが陰極（透明導電層）／有機層の界面で全反射してしまい、陽極側の伝播光として取り出した光を取り出すことが困難である。

[0023] 図1に示す有機EL素子10は、発光層で発光した光を基板側から取り出すボトムエミッション型の有機EL素子である。そのため、基板1は透光性の基板であり、通常、可視光に対して透明であることが必要である。ここで、「可視光に対し透明である」とは、発光層から発する波長の可視光を透過することができればよいという意味であり、可視光領域全域にわたり透明である必要はない。400～700nmの可視光における透過率が50%以上で、平滑な基板が好ましい。

基板1としては、具体的には、ガラス板、ポリマー板等が挙げられる。ガラス板の材料としては、ソーダ石灰ガラス、バリウム・ストロンチウム含有

ガラス、鉛ガラス、アルミノケイ酸ガラス、ホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラス、石英等が挙げられる。ポリマー板としては、ポリカーボネート、ポリメチルメタクリレート、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレート、ポリエーテルサルファイド、ポリサルフォン等を挙げることができる。

発光光が可視光でない場合は、可視光の場合と同様に、基板 1 は少なくとも発光波長領域に対して透明であることが必要である。透過率としては、発光が最大強度となる波長に対し、50%以上であることが好ましく、70%以上であることが更に好ましい。

トップエミッション型に適用するためには、上記記載と同様なものの他に、不透明なものも使用できる。具体的には、例えばCu、Ag、Au、Pt、W、Ti、Ta、Nb、Alの単体、またはこれらの元素を含んだ合金、あるいはステンレスなどの金属材料からなる基板、Si、SiC、AlN、GaN、GaAs、サファイアなどの非金属材料からなる基板、その他のトップエミッション型の有機EL素子で通常用いられる基板を用いることができる。素子の発光に伴い生じる熱を逃がすためには、熱伝導率の高い材料を基板に用いることが好ましい。

[0024] 基板 1 の厚さは、要求される機械的強度にもより、限定するものではない。好ましくは、0.01mm～10mm、より好ましくは0.05mm～2mmである。

[0025] 屈折率変調構造 8 は、一方の領域（第 2 屈折率材料領域）が他方（第 1 屈折率材料層）内に離散的に配置されて屈折率が変調する構造を有する。離散的配置は、周期的に配置する構成でも、非周期的に配置する構成でもよい。離散的に配置される複数の第 2 屈折率材料領域は、全て同じ形状であっても異なる形状が含まれてもよい。屈折率変調構造 8 は、チェッカーパターンのように、離散的に配置される一方の領域（第 2 屈折率材料領域）によって、他方（第 1 屈折率材料層）も離散的な配置となる場合であってもよい。

図 1 に示す屈折率変調構造 8 は、屈折率の異なる材料であればよく、例え

ば、第1屈折率材料層8aが高屈折率材料からなり、第2屈折率材料領域8bが低屈折率材料からなる（高屈折率材料、低屈折率材料における高屈折率、低屈折率とは、互いに対する屈折率の高低を意味する。）。この場合、図2に示すように、第1実施形態に係る有機EL素子の屈折率変調構造8は、高屈折率材料からなる第1屈折率材料層8aがその面内方向に海状に形成された海状部と、低屈折率材料からなる第2屈折率材料領域8bが離散的に島状に配置された島状部を有する。言い換えると、図1に示す屈折率変調構造8は、高屈折率材料からなる層8aの面内方向に離散的に形成された孔部に、低屈折率材料が充填された低屈折率材料領域8bが形成された構成である。屈折率の高低を逆にし、第1屈折率材料層8aが低屈折率材料からなり、第2屈折率材料領域8bが高屈折率材料からなるとして、低屈折率材料からなる層8aの面内方向に離散的に形成された孔部に、高屈折率材料が充填され、高屈折率材料領域8bが形成された構成としてもよい。

「島状部」および「海状部」とは、離散的に配置された部分と、その周囲を覆うように形成された部分を言い、ちょうど海の中に離散的に存在する島のような関係に対応する部分を意味する。

[0026] 離散的に配置される第2屈折率材料領域（図1の符号8b）が、素子面内の少なくとも一方向に周期的に配置された構成とする場合、その周期（ピッチ） p は、ある整数 N （ $1 \leq N \leq 3$ ）に対して、前述の式（1）を満たすように選択するのが好ましい。この際、周期 p は、金属層6及び低屈折率層5の材料によっても変化するため、その材料の選択も併せて勘案することが好ましい。図1においては、第2屈折率材料領域8bの周期 p を示している。素子面内の方向とは有機EL素子の各層が積層される面内方向を意味し、例えば第1電極の面または基板面の面内方向を意味する。

[0027] 離散的に配置される第2屈折率材料領域が、光の波長と同程度以下の周期 p で周期的に配置されることによって、第1屈折率材料層と第2屈折率材料領域とがフォトニック結晶をなす構成としてもよい。

[0028] 屈折率変調構造8を構成する高屈折率材料と低屈折率材料は、互いに屈折

率の異なる材料であって、透光性を有する材料であれば特に制限はない。例えば、スピノンガラス（SOG、屈折率：1.1～2.0）やシリカ（SiO₂）をはじめとするケイ素酸化物、酸化マグネシウム（MgO、代表的な屈折率：1.74）をはじめとする酸化物、フッ化マグネシウム（MgF₂、代表的な屈折率：1.38）をはじめとする金属ハロゲン化物、窒化アルミニウム（AlN）をはじめとする窒化物、アルミニウム酸窒化物（AlON）やケイ素酸窒化物をはじめとする酸窒化物、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE、代表的な屈折率：1.35）をはじめとするフッ素系樹脂、ポリメチルメタクリレート（代表的な屈折率：1.49）やポリエチレンナフタレート（代表的な屈折率：1.77）をはじめとする高分子化合物樹脂などから選択して用いることができる。これらよりなる多孔質性材料、混合物も用いることもできる。窒素等の各種不活性ガス、真空等を用いてもよい。

[0029] 屈折率変調構造8の厚さは、特に限定するものではない。例えば10～2000nmであり、好ましくは50～1000nmである。屈折率変調構造8の厚さが、10nmより薄いと屈折率変調構造8の体積が小さくなり、導波モード光が回折されにくくなる。屈折率変調構造8の厚さが、2000nmより厚いと陽極2の平坦度を保ちにくくなる。

[0030] 陽極2は、陰極4との間で電圧を印加し、陽極2より発光層に正孔を注入するための電極である。そのため、陽極2は、仕事関数の大きい金属、合金、導電性化合物、あるいはこれらの混合物からなる材料を用いることが好ましく、陽極に接する有機層のHOMO（Highest Occupied Molecular Orbital）準位との差が過大にならないように仕事関数が4eV以上6eV以下のものを用いるのが好ましい。陽極2の材料としては、透光性でかつ導電性の材料であれば特に制限はない。例えば、酸化インジウム錫（ITO）、酸化亜鉛（IZO）、酸化錫、酸化亜鉛などの透明無機酸化物、PEDOT、ポリアニリンなどの導電性高分子および任意のアクセプタなどでドーピングした導電性高分子、カーボンナノチューブ、グラフェンなどの透明カーボン材料を挙げることができる。ここにおいて、陽極2は、基板1上に例えば、スパッ

タ法、真空蒸着法、塗布法などによって形成することができる。

陽極2の厚さは限定するものではないが、例えば10～2000nmであり、好ましくは50～1000nmである。陽極2の厚さが、10nmより薄いと陽極2のシート抵抗が増大する。陽極2の厚さが、2000nmより厚いと有機層3の平坦度を保てなくなると共に、陽極2の透過率が低下する。

[0031] 有機層3が含む発光層の材料としては、有機EL素子用の材料として知られる任意の材料を用いることができる。

有機層3は、有機EL材料からなる発光層（有機発光層）の他、正孔注入層、正孔輸送層、電子注入層、電子輸送層等を備えてもよい。

正孔注入層は発光層への正孔注入を助ける層であり、正孔輸送層は発光領域まで輸送する層である。これらは、正孔移動度が大きく、イオン化エネルギーが通常5.5eV以下と小さい。このような正孔注入、正孔輸送層としては、より低い電界強度で正孔を発光層に輸送する材料が好ましい。形成する材料は、上記の機能を担えるものであれば特に制限はなく、公知のものの中から任意のものを選択して用いることができる。

[0032] 有機層3は、蒸着法、転写法などの乾式プロセスによって成膜してもよいし、スピンコート法、スプレーコート法、ダイコート法、グラビア印刷法など、湿式プロセスによって成膜してもよい。

有機層3の厚さは、限定するものではないが、例えば50～2000nmであり、好ましくは100～1000nmである。有機層3の厚さが50nmより薄いと突き抜け電流による内部QEの低下や損失性表面カップリング（lossy surface Coupling）など、金属によるSPPカップリング以外の消光が起こる。有機層3の厚さが、1000nmより厚いと駆動電圧が上昇する。

[0033] 陰極4は、発光層に電子を注入するための電極である。そのため、仕事関数の小さい金属、合金、導電性化合物、あるいはこれらの混合物からなる材料を用いることが好ましく、陽極に接する有機層のLUMO (Lowest Unoccu

ied Molecular Orbital)準位との差が過大にならないように仕事関数が1.9 eV以上5 eV以下のものを用いるのが好ましい。

陰極4の材料としては、O t t o型配置の陰極側構造を形成するために、透光性の導電材料とする必要がある。そのため、上記の陽極材料と同じものを用いることができる。

陰極4の厚さは、限定するものではないが、例えば30 nm～1 μmであり、好ましくは50～500 nmである。陰極4の厚さが、30 nmより薄いとシート抵抗が増加して、駆動電圧が上昇する。陰極4の厚さが、1 μmより厚いと成膜時の熱や放射線ダメージ、膜応力による機械的ダメージが電極や有機層に蓄積する。

[0034] 低屈折率層5は、陰極4の、有機層3とは反対側に備えられており、有機層3の屈折率よりも低い材料からなる。低屈折率層5は、陰極4を構成する透光性導電材料より低い屈折率を有する材料からなることが好ましい。

低屈折率層5の屈折率が、陰極4の屈折率より大きいと、発光層で発光した光が陰極側に伝播し、陰極4と低屈折率層5との界面に達したとき、臨界角以上の角度で入射したときに全反射が起きるためである。

[0035] このような低屈折率層5の材料としては、陰極4を構成する透光性導電材料より低い屈折率を有する材料であれば特に制限はない。例えば、S O G、M g F₂（代表的な屈折率：1.38）等の金属フッ化物、P T F E等の有機フッ素化合物、S i O₂（代表的な屈折率：1.45）、各種の低融点ガラス、多孔性物質が挙げられる。低屈折率層5は空気層を含む層からなり、陰極4を構成する透光性導電材料より低い屈折率を有するものでもよい。

低屈折率層5は、陰極4及び有機層3のうちの少なくとも一方よりも屈折率が0.2以上小さい材料からなることが好ましい。これは、陰極や有機層がO t t o型配置の高屈折率層に相当するためである。O t t o型配置で低屈折率層と高屈折率層の屈折率差が0.2以上あれば、S P Pモード光の波数の面内成分が小さくなるため、高屈折率層中の伝播光とS P Pモード光の分散曲線交わるようになり、O t t o型配置によるS P Pモード光の高屈折

率層中への取出し効率を高くすることができる。

[0036] 低屈折率層5の厚さは、20nm～300nmであることが好ましい。低屈折率層5の厚みが、20nmより薄いと、金属層と高屈折率層が接近してSPPモード光の面内波数成分が大きくなるため、分散曲線が高屈折率層中の伝播光の分散曲線と交わらなくなり、SPPモード光が高屈折率層中に取り出されにくくなる。低屈折率層5の厚みが、300nmより厚いと、エバネッセント波が金属層6に届かなくなり、SPPモード光が高屈折率層中に取り出されにくくなる。そのため、低屈折率層5の厚みは、200nm以下であることがより好ましい。

[0037] 金属層6は、陰極4の有機層3とは反対側に低屈折率層5を介して備えられている。

金属膜6の材料としては、発光層における発光光によりプラズモン共鳴が生じるものであればよい。そのため、ほとんどの金属の単体または合金を用いることができる。中でも、複素誘電率の実部が負で、実部の絶対値が大きな値を持つような材料が好ましい。かかる材料としては例えば、金、銀、銅、亜鉛、アルミニウム、マグネシウム等の単体や、金と銀との合金、銀と銅との合金、真鍮等の合金が挙げられる。金属層6は、2層以上の積層構造であってもよい。

金属層6の厚さは、限定するものではないが、例えば20～2000nmであり、好ましくは50～500nmである。金属層6の厚さが、20nmより薄いと反射率が低くなり正面輝度が低下する。金属層6の厚さが、500nmより厚いと成膜時の熱や放射線ダメージ、膜応力による機械的ダメージが電極や有機層に蓄積する。

[0038] 次に、本発明の有機EL素子の、Otto型配置による第2電極側構造の作用効果について以下に説明する。以下は、計算式に基づく原理的な説明であるため、第1電極と第2電極をそれぞれ陽極または陰極の一方に対応させることはせずに、第1電極と第2電極のまま記載する。

平坦な金属の表面に生成される表面プラズモンポラリトン（SPP）の角

振動数を ω_{sp} 、波数ベクトルを k_{sp} とすると、この分散関係は、金属の誘電率 ε_1 と、金属の表面に接触する誘電体の誘電率 ε_2 によって決まり、次式（2）によって与えられる（ c は光真空中の光の速さ）。

[数2]

$$\omega_{sp} = c \sqrt{\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{\varepsilon_1 \varepsilon_2}} k_{sp} \quad \dots (2)$$

これに対して、通常の伝播光の分散関係（角振動数 ω 、波数ベクトル k ）は、次式（3）によって与えられる。

[数3]

$$\omega = ck \quad \dots (3)$$

表面プラズモンポラリトン（SPP）の分散曲線は通常の伝播光の分散直線と交差しない。そのため、通常の伝播光では平坦な金属の表面にSPPを励起することはできず、平坦な金属の表面に存在するSPPから直接伝播光を取り出すことはできない。

[0039] これに対して、Otto型配置、すなわち高屈折率層（誘電率 ε_3 ）／低屈折率層（誘電率 ε_2 ）／金属（誘電率 ε_1 ）の積層構造を用いた場合について考える。ここで、高屈折率層側から臨界角より大きい入射角で入射した光は、高屈折率層と低屈折率層の界面で全反射する。この際、界面の低屈折率層側には非伝播光であるエバネッセント波が生じる。エバネッセント波は、全反射の点から遠ざかるに連れてその光強度は減衰する（入射光は界面で全反射するが、その一部は界面から滲み出して存在していると見ることができる）。このエバネッセント波の分散曲線は、次式（4）によって与えられる。ここで、 θ は高屈折率層から低屈折率層への入射光の入射角である。

[数4]

$$\omega = \frac{ck}{\sqrt{\varepsilon_3} \sin \theta} \quad \dots (4)$$

従って、入射角 θ を変えることにより、SPPの分散曲線と全反射によるエバネッセント波（以降、単に「エバネッセント波」という場合も、全て全反射によって生じたものをさすものとする）の分散直線に交点（ $\omega = \omega_{sp}$ 、 $k = k_{sp}$ ）を持たせることが可能となる。すなわち、エバネッセント波を用いれば、平坦な金属の表面にSPPを励起することができ、平坦な金属の表面に存在するSPPからエバネッセント波を介して伝播光として取り出すことが可能となる。ここで、「入射角 θ 」は金属側からみると、SPPの放射角度ということになる。すなわち、Ott型配置を用いると、SPPの分散曲線とエバネッセント波の分散直線とが交差するようになる。

これは、所定の角度で放射されるSPPだけが、SPPとエバネッセント波とが共鳴することによりエネルギーをやり取りできる状態となることを意味する。そして、SPPを、エバネッセント波を介して所定の角度で放射される伝播光として取り出すことが可能となる。

[0040] 従って、有機EL素子において、例えば、有機層に隣接して高屈折率層／低屈折率層／金属層を設けると、有機層中の発光層で発光した光のうち、所定の入射角（SPPの分散曲線とエバネッセント波の分散直線とが交点を有する角度）で高屈折率層から高屈折率層／低屈折率の界面へ入射した光は、エバネッセント波を生じる。生じたエバネッセント波は、金属層の表面にSPPモード光を励起する。金属層の表面に励起されたSPPモード光は、Ott型配置構造において生成されるエバネッセント波を介して所定の角度で放射される伝播光として取り出すことが可能となる。すなわち、有機EL素子において、Ott型配置構造を導入することにより、SPPモード光を所定の角度で放射される伝播光として取り出すことが可能となる。ただし、エバネッセント波を介したSPPモード光の励起・取り出しは、上記低屈折率層が十分薄膜である場合に生じる。これは、低屈折率層が厚すぎると、有機層からのエバネッセント波のしみ出しが金属層まで到達せず、エバネッセント波とSPPモード光同士がエネルギーをやりとりできないためであり、低屈折率層が薄すぎると、金属層と高屈折率層が接近してSPPモードの

波数が（２）式より大きくなり、分散曲線が伝播光の分散曲線（３）と交わらなくなるためである。

こうしてＳＰＰから取り出される光は、上記の通り、ＳＰＰの分散曲線とエバネッセント波の分散直線との交点に対応する所定の角度を有して放射される。

[0041] 次に、本実施形態の有機ＥＬ素子の第１電極側構造の作用効果について以下に説明する。

第１電極側構造としては、有機層中の伝播光が光取り出し側（ボトムエミッション型では基板側）に屈折して、界面への入射角（入射光線と入射する界面の法線がなす角度）が小さくなるように、基板面に対して垂直又は垂直に近い屈折率の界面を導入した。

より具体的には、第１電極側構造として、第１屈折率材料層の面内方向に離散的に第２屈折率材料領域が配置されてなる屈折率変調構造を備え、基板面に対して垂直又は垂直に近い屈折率の異なる界面（第１屈折率材料層と第２屈折率材料領域との界面）を有する構造を導入した。

[0042] 第１電極側構造としての屈折率変調構造は、周期性を有する構造（第２屈折率材料領域が周期的に配置される構造）であっても、周期性を有さない非周期的な構造（第２屈折率材料領域が非周期的に配置される構造）であってもよい。

屈折率変調構造が周期性を有する構造体の場合、本発明では第２屈折率材料領域が２次元的に周期的に並ぶことになる。そのため、屈折の効果に加えて、透過型回折格子（以下、単に「回折格子」という）としての回折効果（基板面に対して所定の角度に屈折される効果）や、フォトリソグラフィ結晶としての効果（基板面に対して垂直な方向に放射させる効果）も併せて生じ、導波モード光を基板側に取り出すことが可能となる。

第２屈折率材料領域の周期（ピッチ）が、波長より十分大きい場合は、屈折が支配的なメカニズムとなって、光が取り出されると考えられる。一方、第２屈折率材料領域の周期が波長と同等以下である時は、回折格子の効果や

フォトリック結晶の効果が支配的なメカニズムとなって、光が取り出されていると考えられる。

[0043] 第1電極側構造が周期性を有し、透過型回折格子として機能する場合について、光取り出し効率が向上する原理を、図29及び図30を用いてより具体的に説明する。

図29は、Otto型配置を有する第2電極側構造を備えた有機EL素子の断面模式図である。図29を用いて、この第2電極側構造によりSPPモード光を導波モード光として取り出す原理についてまず説明する。図29では第1電極側構造については省略している。

ここで、 n_{sub} は基板の屈折率、 n_{OLED} は第1電極、有機層及び第2電極の平均の屈折率、 n_2 は低屈折率層の屈折率、 ϵ_2 は低屈折率層の誘電率、 ϵ_1 は金属層の誘電率の実部、 k_{sp} はSPPモード光の波数ベクトルの基板面内方向成分、 k_0 は真空中の光の波数($2\pi/\lambda$)(λ は発光層から放射される光の真空中の波長)、 θ は高屈折率層中を伝播する光の伝播角とする。

SPPモード光の波数 k_{sp} は式(2)から、以下の式(5)によって与えられる。

[数5]

$$k_{sp} = k_0 \sqrt{\frac{\epsilon_1 \times \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad \dots (5)$$

ただし、 $\epsilon_2 = n_2^2$ である。SPPモード光が再放射され、伝播光として取り出されるためには、SPPモード光と取り出される光とで波数ベクトルの面内成分が一致する、すなわち、式(6)が成立する必要がある。

[数6]

$$k_{sp} = n_{OLED} k_0 \sin \theta \quad \dots (6)$$

式(5)及び式(6)から、SPPモード光は以下の式(7)を満たす角度で伝播光として取り出される。

[数7]

$$\sin \theta = \frac{1}{n_{\text{OLED}}} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \times \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad \dots (7)$$

[0044] 次に、回折格子によって、そのSPPモード光から取り出された光を外部に取り出す原理について説明する。

図30は、透過型回折格子として機能する屈折率変調構造を有する第1電極側構造を備えた有機EL素子の第1電極側構造を含む一部の断面模式図である。

図30を用いて、回折格子によって、そのSPPモード光から取り出された光を外部に取り出す原理について説明する。

SPPモード光から所定の角度 θ で取り出された光が、周期（屈折率変調構造の周期） p を有する回折格子によって回折されたとする。基板面に対して所定の角度 θ_{sub} で基板側に回折する条件は、回折格子に入射する入射光の面内波数と回折光の面内波数との差が、 $2\pi/p$ の整数倍であり、以下の式（8）で表される。ここで、 $N=0, \pm 1, \dots$ である。

図30において、「OLED積層部」とは、第1電極及び有機層を含む導波モード光が伝播する層を示すものであり、具体的な層構成は本発明の具体的な構成に依存する。「回折格子」を備える位置も本発明の具体的な構成に依存する。

[数8]

$$n_{\text{OLED}} k_0 \sin \theta - n_{\text{sub}} k_0 \sin \theta_{\text{sub}} = N \frac{2\pi}{p} \quad \dots (8)$$

式（7）及び式（8）から、式（9）が得られる。

[数9]

$$n_{\text{sub}} \sin \theta_{\text{sub}} = \sqrt{\frac{\epsilon_1 \times \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} - N \frac{\lambda}{p} \quad \dots (9)$$

基板と空気の界面で全反射が起きない条件は、式（１０）を満たすことである。

[数10]

$$|n_{sub} \sin \theta_{sub}| < 1 \quad \dots (10)$$

従って、回折格子の格子間隔が以下の式（１１）を満たすNが存在するような回折格子を設けることにより、回折光に基板と空気の界面で全反射を抑制し、その結果、光取り出し効率は向上する。

[数11]

$$\left| \sqrt{\frac{\epsilon_1 \times \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} - N \frac{\lambda}{p} \right| < 1 \quad \dots (11)$$

ここで、SPP共鳴を生じる周波数域においては、 $\epsilon_1 < 0$ 、 $\epsilon_2 < |\epsilon_1|$ であるため、

[数12]

$$\sqrt{\frac{\epsilon_1 \times \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} > \sqrt{\frac{\epsilon_1 \times \epsilon_2}{\epsilon_1}} = n_2 \geq 1 \quad \dots (12)$$

式（１１）中のNは正の整数としてよい。

基板と空気の界面でのフレネル反射を抑えるためには、式（１１）はおおよそ次の式を満たしていることが望ましい。実際の有機EL素子の発光波長はスペクトル分布をもつため、この λ としては発光層の発光スペクトルのピーク波長を採用する。ピーク波長としては、フォトルミネセンス・スペクトルのピーク波長を用いることができる。

[数13]

$$\left| \sqrt{\frac{\epsilon_1 \times \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} - N \frac{\lambda}{p} \right| < 0.6 \quad \dots (1)$$

Nは回折次数であり、任意の整数であるが、回折次数が大きくなりすぎると、回折光の指向性が低下する。そこで、式（１）を満たすようなNが $1 \leq N \leq 3$ の範囲にあるように周期（ピッチ）pと波長 λ を選ぶことが好ましい。

[0045] 以上の理論的な解析は１次元的な解析であり、１次元回折格子構造（所定の一方方向に規則的な間隔で格子が配置する回折格子構造）については、この解析に基づく回折効果が得られる。１次元回折格子構造では、その一方方向に直交する方向については格子構造を有さないため、その直交方向の光（光の成分）に対しては回折効果を生じない。これに対して、２次元回折格子構造ではその直交方向に対しても格子構造を有し、その方向についても回折効果が追加されることになる。よって、２次元回折格子構造では１次元回折格子構造よりも回折効果が大きい。

従って、所定の断面において、式（１）の条件を満たす構成を備えた有機EL素子では、その構成が１次元回折格子構造でも２次元回折格子構造でも、光取り出し効率の向上が得られる。

[0046] 次に、フォトリック結晶の効果による光の取り出し効率の向上について説明する。

フォトリック結晶は、屈折率が周期的に異なる構造体で、特にその周期が波長と同等以下である構造体のことである。この周期的構造により、特定の波長範囲の光が存在できない禁制帯（フォトリックバンドギャップ）が形成される。本発明の第１電極側構造が周期的な屈折率変調構造で、その周期が波長と同等以下である場合には、第１電極側構造を１次元もしくは２次元のフォトリック結晶（それぞれ、基板面内の所定の一方方向または二方向に規則的な間隔で格子が配列するフォトリック結晶構造）と見なすことができる。

１次元のフォトリック結晶では、周期構造を有する一方方向に対しては、フォトリックバンドギャップに相当する波長の光は伝播することができない。このため、面内以外の方向へ光の伝播が再分配され、光を基板側に取り出すことができる。１次元フォトリック結晶構造では、その一方方向に直交する方向については周期構造を有しないため、この方向についてはフォトリックバン

ドギャップが存在せず、これによる取り出し効果はないか、あるとしても非常に小さい。

一方、２次元フォトリック結晶構造では面内の互いに異なる２方向に対して格子構造を有するため、この２方向に対してはフォトリックバンドギャップが形成され、光が伝播できないことになる。よって、２次元のフォトリック結晶では面内で光が伝播できない方向が増大するため、１次元構造よりもより効率的に基板へ光が取り出される。

[0047] 第１電極側構造が、基板面内方向に周期性を有さない非周期的な構造の場合は、この第１電極構造に入射した光がランダムな位置・位相で回折されるため、特定の放射角度光が強め合って放射されることはない。従って、第１電極側にこのような構造を持つことによって、比較的均一な（拡散性の高い）配向特性を得ることができる。

つまり、第１電極側構造が周期的な構造の場合は、回折格子による出射光の強め合いの効果により、ある特定の放射角の光強度が強くなる配向特性を得ることができるのに対し、第１電極側構造が非周期的な構造の場合は、比較的均一な配向特性を得ることができる。

そのため、第１電極側構造は、必要とされる配光特性に応じて周期性を有する構造にするか、非周期的な構造にするかを選択することができる。

[0048] 次に、本実施形態の有機ＥＬ素子の屈折による作用効果を、図３を用いて模式的に説明する。図３に矢印で示した光の伝播の仕方は、屈折による作用効果の原理をわかりやすく説明するために模式的に示したものである。図３においては、符号８ａが高屈折率材料からなる第１屈折率材料層であり、符号８ｂが低屈折率材料からなる第２屈折率材料領域である場合を例に説明する。

[0049] 有機層３に含まれる発光層のＡ点で発光した光のうち、陰極４側に進んだ光が陰極４と低屈折率層５との界面で臨界角以上の大きな入射角で入射して（矢印Ａ１）全反射すると（矢印Ａ１ｒ）、低屈折率層５中にエバネッセント波（矢印Ａ２）が発生する。発生したエバネッセント波は、金属層６と低

屈折率層 5 との界面まで滲み出し、表面プラズモンポラリトン SPP（矢印 A 3）が励起される。

励起された SPP は、エバネッセント波（矢印 A 4）との共鳴を介して、上述したように所定の角度で陰極 4 に放射され（矢印 A 5）、伝播光として有機層 3 に取り出されうる。

ここで、有機層 3 の A 点で発光した光は、全方位に進むので矢印 A 1 以外の方向に進む光も当然存在する、矢印 A 1 は本発明の屈折による作用効果を説明するために、そのうちの一部の光の伝播を模式的に示しているに過ぎない。その他の光についても同様である。

屈折は屈折率が異なる材料の界面で生じるが、本発明の効果を説明するために特に必要ではない界面には図中では屈折作用の図示を省略している。

[0050] 陰極側構造（陰極 4、低屈折率層 5、金属層 6）から有機層 3 の B 点にまで取り出された光は、B 1 のように伝播して基板 1 まで取り出される。

すなわち、B 点から有機層 3 及び陽極 2 を通って進む光 B 1 は、第 1 屈折率材料層 8 a と第 2 屈折率材料領域 8 b との界面 9 で基板 1 側に屈折し、第 2 屈折率材料領域 8 b 内を透過して、第 2 屈折率材料領域 8 b と基板 1 との界面で屈折した後、基板 1 内を通して外部に取り出されうる。

ここで、光 B 1 が第 1 屈折率材料層 8 a から第 2 屈折率材料領域 8 b へ進む際、その界面 9 において基板 1 側へ屈折する。基板（例えば、ガラス）と空気との界面では臨界角以上の角度で入射すると全反射となるが、この界面 9 での屈折により基板 1 への入射角が小さい角度に変わる。そのため、基板と空気との界面での全反射を避けられる光が増えて光取り出し効率が向上する。すなわち、第 1 屈折率材料層 8 a と第 2 屈折率材料領域 8 b との界面 9 を備える構成を有することにより、光取り出し効率が向上する。

[0051] 有機層 3 に含まれる発光層の C 点で発光した光のうち、光 C 1 は基板に対して垂直方向に基板 1 側に進む光である。光 C 1 は、有機層 3 と陽極 2 との界面、陽極 2 と第 1 屈折率材料層 8 a との界面、及び、第 1 屈折率材料層 8 a と基板 1 との界面でも屈折することなく、陽極 2 内、第 1 屈折率材料層 8

a 内、基板 1 内を進み、外部に取り出される。

光 C 2 は第 1 屈折率材料層 8 a と第 2 屈折率材料領域 8 b との界面 9 で基板 1 側に屈折し、第 2 屈折率材料領域 8 b 内を透過して、第 2 屈折率材料領域 8 b と基板 1 との界面で屈折した後、基板 1 内を通過して外部に取り出される。第 1 屈折率材料層 8 a と第 2 屈折率材料領域 8 b との界面 9 がない構成では基板 1 と空気の界面で全反射を生じるが、第 1 屈折率材料層 8 a と第 2 屈折率材料領域 8 b との界面 9 での屈折により基板 1 への入射角が小さい角度に変わるので、全反射を生じない光が増えて光取り出し効率が向上する。すなわち、第 1 屈折率材料層 8 a と第 2 屈折率材料領域 8 b との界面 9 を備える構成を有することにより、光取り出し効率が向上する。

光 C 3 も同様に、第 1 屈折率材料層 8 a と第 2 屈折率材料領域 8 b との界面 9 での屈折により基板 1 への入射角が小さい角度に変わるので、全反射を避けられる光が増えて光取り出し効率が向上する。

[0052] 次に、本発明の第 1 実施形態の有機 EL 素子 10 において、第 2 屈折率材料領域が周期的に配置されることによって、第 1 屈折率材料層と第 2 屈折率材料領域とが回折格子をなす場合に、その回折格子による作用効果を、図 4 を用いて模式的に説明する。図 4 に矢印で示した光の伝播の仕方は、回折格子による作用効果の原理をわかりやすく説明するために模式的に示したものである。

[0053] 有機層 3 に含まれる発光層の A 点で発光した光のうち、陰極 4 側に進んだ光が陰極 4 と低屈折率層 5 との界面で臨界角以上の大きな入射角で入射して（矢印 A 1）全反射すると（矢印 A 1 r）、低屈折率層 5 中にエバネッセント波（矢印 A 2）が発生する。発生したエバネッセント波は、金属層 6 と低屈折率層 5 との界面まで滲み出し、表面プラズモンポラリトン SPP（矢印 A 3）が励起される。

励起された SPP は、エバネッセント波（矢印 A 4）との共鳴を介して、上述したように所定の角度で陰極 4 に放射され（矢印 A 5）、伝播光として有機層 3 に取り出される。

[0054] 陰極側構造（陰極４、低屈折率層５、金属層６）からＢ点にまで取り出された光は有機層３及び陽極２を伝搬し、回折格子としての屈折率変調構造８に入射する。入射した光は、回折格子によってある所定の方向（Ｎ次の強めあい条件を満たす方向）に回折光が放射される。

回折光は、通常の屈折光と比べて、回折点毎の回折光が干渉しながら放出されているため、ある所定の角度に非常に強く光が取り出される。

ここで、矢印ＢＤ１や矢印ＢＤ２のように、基板（例えば、ガラス）と空気との界面に、臨界角以下で入射した光は、そのまま外部に取り出される。この矢印ＢＤ１や矢印ＢＤ２は上記のように干渉により、強めあっているため、ある特定の角度に強度が強い光を取り出すことが可能となり、光の取り出し効率が向上する。

一方、矢印ＢＤ３のように、基板と空気との界面に、臨界角以上の角度で入射する光は、全反射（矢印ＢＤ３ｒ）してしまい、基板外部に取り出すことができない。

このように全反射する光を減らし、効率的に光を取り出すためには、式（１）を満たすように、金属層及び低屈折率層の材料、並びに、回折格子（屈折率変調構造）の周期を選択することが好ましい。特に次数Ｎが小さいほど回折光の強度が高いため、次数Ｎが小さいほど、式（１）を満たすように回折格子の周期等を選択することが好ましい。言い換えると、式（１）をみたせば、回折格子により、発生したＳＰＰ光を効率よく基板１から光を取り出すことができ、光の取り出し効率を向上することができる。

[0055] 第１実施形態の有機ＥＬ素子１０において、第２屈折率材料領域が光の波長と同程度以下の周期で周期的に配置されることによって、第１屈折率材料層と第２屈折率材料領域とがフォトニック結晶をなす場合について、そのフォトニック結晶による作用効果を、図５を用いて模式的に説明する。図５に矢印で示した光の伝播の仕方は、フォトニック結晶による作用効果の原理をわかりやすく説明するために模式的に示したものである。

[0056] 有機層３に含まれる発光層のＡ点で発光した光のうち、陰極４側に進んだ

光が陰極 4 と低屈折率層 5 との界面で臨界角以上の大きな入射角で入射して（矢印 A 1）全反射すると（矢印 A 1 r）、低屈折率層 5 中にエバネッセント波（矢印 A 2）が発生する。発生したエバネッセント波は、金属層 6 と低屈折率層 5 との界面までしみ出し、表面プラズモンポラリトン S P P（矢印 A 3）が励起される。

励起された S P P は、エバネッセント波（矢印 A 4）との共鳴を介して、上述したように所定の角度で陰極 4 に放射され（矢印 A 5）、伝播光として有機層 3 に取り出されうる。

[0057] 陰極側構造（陰極 4、低屈折率層 5、金属層 6）から B 点にまで取り出された光は、有機層 3 及び陽極 2 を伝搬し、フォトニック結晶構造に入射する。2次元に光の波長と同等以下の構造体が存在する場合、その2次元方向にはフォトニックバンドギャップが作用し、光は2次元方向へ伝播できなくなる（2次元方向における光閉じ込め効果）。第1の実施形態において、周期構造は屈折率変調構造 8 に形成されているため、光の伝搬が制限されるのは基板と平行な矢印 C D 2 方向である。

一方で、基板に垂直な方向は、フォトニック結晶構造が形成されていないので、光の伝搬は制限されない。このメカニズムにより、光が基板に垂直な方向に進むことになる。

矢印 C D 1 方向は基板に垂直なため、基板と空気の界面でも全反射することなく、効率よく光を取り出すことができる。

[0058] 屈折率変調構造は、図 3 に示す第 1 屈折率材料層 8 a が高屈折率材料からなり、第 2 屈折率材料領域 8 b が低屈折率材料からなる構成であっても、逆に、第 1 屈折率材料層 8 a が低屈折率材料からなり、第 2 屈折率材料領域 8 b が高屈折率材料からなる構成であってもよい。この屈折率変調構造による屈折の効果は、周期（ピッチ）とサイズが等しければ、等しくなる。また回折格子やフォトニック結晶の効果も同様である。

[0059] 図 6 ～図 11 は、第 1 実施形態の他の例である。

[0060] 図 6 に示す例では、符号 8 A a は屈折率変調構造 8 A を構成する第 1 屈折

率材料層であり、符号 8 A b は第 2 屈折率材料領域である。第 2 屈折率材料領域 8 A b は、陽極 2 の一方の表面上に離散的に配置される。第 1 屈折率材料層 8 A a は、離散的に配置された第 2 屈折率材料領域 8 A b 間に配置された海状部と、連続する層からなる連続膜部で構成される。

図 6 に示す例とは逆に、符号 8 A a が第 2 屈折率材料領域であり、符号 8 A b が第 1 屈折率材料層であってもよい。この場合、第 2 屈折率材料領域 8 A a は、離散的に配置された島状部と、連続する層からなる連続膜部とからなる。

第 1 屈折率材料、第 2 屈折率材料のいずれが高屈折率材料でも低屈折率材料でもよい。

[0061] 図 7 に示す例では、符号 8 B a は屈折率変調構造 8 B を構成する第 1 屈折率材料層であり、符号 8 B b は第 2 屈折率材料領域である。図 6 に示す例では、第 2 屈折率材料領域 8 A b は、陽極 2 の一方の表面上に離散的に配置される構成であったが、図 7 に示す例では、第 2 屈折率材料領域 8 B b は基板 1 上に離散的に配置される構成である。第 1 屈折率材料層 8 B a は、離散的に配置された第 2 屈折率材料領域 8 B b の間に配置された海状部と、連続する層からなる連続膜部で構成される。

図 7 に示す例とは逆に、符号 8 B a が第 2 屈折率材料領域であり、符号 8 B b が第 1 屈折率材料層であってもよい。この場合、第 2 屈折率材料領域 8 B a が離散的に配置された島状部と、連続する層からなる連続膜部からなる。

第 1 屈折率材料、第 2 屈折率材料のいずれが高屈折率材料でも低屈折率材料でもよい。

[0062] 図 8 に示す例では、符号 8 C a は屈折率変調構造 8 C を構成する第 1 屈折率材料層であり、符号 8 C b は第 2 屈折率材料領域である。図 6 に示す例では、第 2 屈折率材料領域 8 A b は陽極 2 に接触する構成であり、図 7 に示す例では、第 2 屈折率材料領域 8 B b は基板 1 に接触する構成であったが、図 8 に示す例では、第 2 屈折率材料領域 8 C b は陽極 2 にも基板 1 にも接触し

ない構成である。第1屈折率材料層8C aは、離散的に配置された第2屈折率材料領域8C bの間に配置された海状部と、連続する層からなる連続膜部で構成される。

図8に示す例とは逆に、符号8C aが第2屈折率材料領域であり、符号8C bが第1屈折率材料層であってもよい。この場合、第2屈折率材料領域8C aが離散的に配置された島状部と、連続する層からなる複数の連続膜部からなる。

第1屈折率材料、第2屈折率材料のいずれが高屈折率材料でも低屈折率材料でもよい。

[0063] 図9に示す例では、符号8D aが屈折率変調構造8Dを構成する第1屈折率材料層であり、符号8D bが第2屈折率材料領域である。逆に、符号8D aが屈折率変調構造8Dを構成する第2屈折率材料領域であり、符号8D bが第1屈折率材料層の場合でもよい。

符号8D aが第1屈折率材料層の場合、第1屈折率材料層8D aは第2屈折率材料領域8D bの間に配置された海状部と、連続する層からなる連続膜部で構成される。第2屈折率材料領域8D bは、離散的に配置された島状部と、連続する層からなる連続膜部で構成される。

一方、符号8D bが第1屈折率材料層の場合、第1屈折率材料層8D bは第2屈折率材料領域8D aの間に配置された海状部と、連続する層からなる連続膜部で構成される。第2屈折率材料領域8D aは、離散的に配置された島状部と、連続する層からなる連続膜部で構成される。

以上いずれの場合においても、第1屈折率材料、第2屈折率材料のいずれが高屈折率材料でも低屈折率材料でもよい。

[0064] 図10に示す例では、符号8E aは屈折率変調構造8Eを構成する第1屈折率材料層であり、符号8E bは第2屈折率材料領域である。図10に示すように、第2屈折率材料領域がT字構造や逆T字構造であってもよい。図10に示す例とは逆に、符号8E aが第2屈折率材料領域であり、符号8E bが第1屈折率材料層である構成であってもよい。また、第1屈折率材料層と

第2屈折率材料領域のいずれか一方又は両方が、連続する層からなる連続膜部を持つ構成であってもよい。

第1屈折率材料、第2屈折率材料のいずれが高屈折率材料でも低屈折率材料でもよい。

[0065] 第2屈折率材料領域の形状は、本発明の屈折効果、回折効果、又はフォトリック結晶の効果を発揮するものであれば特に制限はない。高い屈折効果を発揮するためには、第2屈折率材料領域と第1屈折率材料層との界面が基板面に対する角度は 5° 以上であるように構成されているのが好ましく、 60° 以上がより好ましく、 75° 以上がより一層好ましい。界面をこのような角度とすることにより、発光位置から第2電極側へ向かう導波モード光とSPPモード光から再放射された伝播光がその界面に外側から入射して基板側に屈折し、基板の外表面から外部へ効率的に取り出すことが出来る。

[0066] 図1～図10に示す第2屈折率材料領域と第1屈折率材料層との界面は平面であるが、曲面を含んだ構成でもよい。

図11に示す例では、符号8F aは屈折率変調構造8Fを構成する第1屈折率材料層であり、符号8F bは第2屈折率材料領域である。図8に示す例では、第2屈折率材料領域は断面が矩形の構成であったが、図11に示す例では、第2屈折率材料領域は断面が円状の構成である。

第1屈折率材料、第2屈折率材料のいずれが高屈折率材料でも低屈折率材料でもよい。

[0067] (有機EL素子(第2実施形態))

図12は、本発明の第2実施形態に係る有機EL素子の一例を説明するための断面模式図である。図13は、図12に示す第2実施形態に係る有機EL素子の斜視図である。発明の特徴を分かりやすくするため、Otto型配置構造の部分を離して図示した。

図12及び図13に示す有機EL素子20は、基板21上に、陽極(第1電極)22と、発光層を含む有機層23と、陰極(第2電極)24とを順に具備する有機EL素子である。さらに、陰極24の有機層23と反対側の面

に、厚さ20nm以上300nm以下の低屈折率層25と、金属層26とを該反対側の面に接する側から順に具備する。陰極24は、透光性導電材料からなり、低屈折率層25の屈折率は前記有機層23の屈折率よりも低い。基板21の表面層21aに離散的に形成された複数の基板凹部21aaには、基板21の屈折率と異なる材料で充填されてなる屈折率変調構造28を備えている。

[0068] 屈折率変調構造28は、基板21の表面層21aが備える基板凸部21abと、離散的に形成された基板凹部21aaを基板21の屈折率と異なる材料で充填した屈折率変調領域28aとから構成される。

本実施形態の屈折率変調構造28は、屈折率の異なる2種類の材料からなる領域によって形成されている点は第1実施形態の屈折率変調構造と同様である。

一方、第1実施形態の屈折率変調構造は、基板を構成要素とせずに、屈折率の異なる2種類の材料からなる領域のうち、一方（第2屈折率材料領域）が他方の領域（第1屈折率材料層）内に離散的に配置されて屈折率が変調する構成であるのに対して、本実施形態の屈折率変調構造28は、基板を構成要素とし、基板21の表面層21aが備える基板凸部21abが第1屈折率材料層に相当し、屈折率変調領域28aが第2屈折率材料領域に相当する。

[0069] 離散的に配置する屈折率変調領域28aは周期的に配置される構成でも、非周期的に配置される構成でもよい。離散的に配置される複数の屈折率変調領域28aは全て同じ形状であっても異なる形状が含まれてもよい。屈折率変調構造28は、チェッカーパターンのように、離散的に配置される一方の領域（屈折率変調領域28a）によって、他方（基板凸部21ab）も離散的な配置となる場合であってもよい。離散的に配置される一方の領域（屈折率変調領域28a）は、離散的に配置される複数の島状部と、複数の島状部に接する連続する層からなる連続膜部で構成される構成であってもよい。

[0070] 離散的に配置される屈折率変調領域28aが少なくとも一方向に周期的に配置された構成とする場合、その周期（ピッチ） p は、ある整数 N （ $1 \leq N$

≤ 3) に対して前述の式 (1) を満たすように選択するのが好ましい。この際、周期 p は、金属層 26 及び低屈折率層 25 の材料によっても変化するため、その材料の選択も併せて勘案することが好ましい。図 12 においては、屈折率変調領域 28a の周期 p を示している。

[0071] 屈折率変調構造 28 は、離散的に配置される屈折率変調領域 28a が光の波長と同程度以下の周期 p で周期的に配置されることによって、屈折率変調領域 28a と基板凸部 21ab とがフォトニック結晶をなす構成としてもよい。

[0072] 屈折率変調領域 28a を構成する材料としては、基板 21 と異なる屈折率の材料であれば、基板 21 の屈折率より高いものでも低いものでも用いることができる。例えば、第 1 実施形態の屈折率変調構造を構成する高屈折率材料及び低屈折率材料と同様なものを用いることができる。

屈折率変調構造 28 の厚さも、第 1 実施形態の屈折率変調構造と同様の厚さとすることができる。

[0073] 本実施形態の有機 EL 素子における光取り出し効率が向上するメカニズムは、第 1 実施形態の場合と同様である。すなわち、屈折効果、回折格子による作用効果およびフォトニック結晶による作用効果によって光取り出し効率を向上する。屈折効果は、基板凸部 21ab と屈折率変調領域 28a との界面 29 によって生じる。回折格子による作用効果は、屈折率変調領域 28 が周期的に配置される (周期 p) ことによって基板凸部 21ab と屈折率変調領域 28a とが回折格子をなすことによって生じる。フォトニック結晶による作用効果は、屈折率変調領域 28 が光の波長と同程度以下の周期 p で周期的に配置することによって、基板凸部 21ab と屈折率変調領域 28a とがフォトニック結晶をなすことによって生じる。

[0074] (有機 EL 素子 (第 3 実施形態))

図 14 は、本発明の第 3 実施形態に係る有機 EL 素子の一例を説明するための断面模式図である。図 15 は、図 14 に示す第 3 実施形態に係る有機 EL 素子の斜視図である。発明の特徴を分かりやすくするため、O t t o 型配

置構造の部分を離して図示した。

図 1 4 及び図 1 5 に示す有機 E L 素子 3 0 は、基板 3 1 上に、陽極（第 1 電極）3 2 と、発光層を含む有機層 3 3 と、陰極（第 2 電極）3 4 とを順に具備する有機 E L 素子である。さらに、陰極 3 4 の有機層 3 3 と反対側の面には、厚さ 2 0 n m 以上 3 0 0 n m 以下の低屈折率層 3 5 と、金属層 3 6 とを該反対側の面に接する側から順に具備する。陰極 3 4 は、透光性導電材料からなり、低屈折率層 3 5 の屈折率は有機層 3 3 の屈折率よりも低い。基板 3 1 の表面層 3 1 a には、離散的に形成された複数の基板凸部 3 1 a b の側面 3 1 a b A を被覆するように基板の屈折率と異なる材料が形成されてなる屈折率変調構造 3 8 を備えている。

[0075] 屈折率変調構造 3 8 は、基板 3 1 の表面層 3 1 a に離散的に形成された複数の基板凸部 3 1 a b と、その基板凸部 3 1 a b の側面 3 1 a b A を被覆するように、基板の屈折率と異なる材料で形成された屈折率変調領域 3 8 a とから構成される。

本実施形態の屈折率変調構造 3 8 は、第 2 実施形態の屈折率変調構造と基板を構成要素とする点は同様である。

一方、第 2 実施形態の屈折率変調構造 2 8 は、基板 2 1 の表面層 2 1 a が備える基板凸部 2 1 a b が第 1 屈折率材料層に相当し、屈折率変調領域 2 8 a が第 2 屈折率材料領域に相当するのに対して、第 3 実施形態の屈折率変調構造 3 8 は、屈折率変調領域 3 8 a が第 1 屈折率材料層に相当し、基板凸部 3 1 a b が第 2 屈折率材料領域に相当する点異なる。

[0076] 離散的に配置される基板凸部 3 1 a b は周期的に配置される構成でも、非周期的に配置される構成でもよい。離散的に配置される複数の基板凸部 3 1 a b は全て同じ形状であっても異なる形状が含まれてもよい。屈折率変調構造 3 8 は、チェッカーパターンのように、離散的に配置される一方の領域（基板凸部 3 1 a b）によって、他方（屈折率変調領域 3 8 a）も離散的な配置となる場合であってもよい。他方の領域（屈折率変調領域 3 8 a）は、離散的に配置される一方の領域（基板凸部 3 1 a b）の間に配置された海状部

と、この海状部に接する連続する層からなる連続膜部で構成される構造であってもよい。

[0077] 離散的に配置される基板凸部 31 a b が少なくとも一方向に周期的に配置された構成とする場合、その周期（ピッチ） p は、ある整数 N ($1 \leq N \leq 3$) に対して前述の式 (1) を満たすように選択するのが好ましい。この際、周期 p は、金属層 36 及び低屈折率層 35 の材料によっても変化するため、その材料の選択も併せて勘案することが好ましい。図 14 においては、基板凸部 31 a b の周期 p を示している。

[0078] 屈折率変調構造 38 は、離散的に配置される基板凸部 31 a b が光の波長と同程度以下の周期 p で周期的に配置することによって、基板凸部 31 a b と屈折率変調領域 38 a とがフォトリック結晶をなす構成としてもよい。

[0079] 屈折率変調領域 38 a を構成する材料としては、基板 31 と異なる屈折率の材料であれば、基板 31 の屈折率より高いものでも低いものでも用いることができる。例えば、第 1 実施形態の屈折率変調構造を構成する高屈折率材料及び低屈折率材料と同様なものを用いることができる。

屈折率変調構造 38 の厚さも、第 1 実施形態の屈折率変調構造と同様の厚さとすることができる。

[0080] 本実施形態の有機 EL 素子における光取り出し効率が向上するメカニズムは第 1 実施形態の場合と同様である。すなわち、屈折効果、回折格子による作用効果およびフォトリック結晶による作用効果によって光取り出し効率を向上する。屈折効果は、基板凸部 31 a b と屈折率変調領域 38 a との界面 39 によって生じる。回折格子による作用効果は、屈折率変調領域 38 が周期的に配置される（周期 p ）ことによって基板凸部 31 a b と屈折率変調領域 38 a とが回折格子をなすことによって生じる。フォトリック結晶による作用効果は、屈折率変調領域 38 が光の波長と同程度以下の周期 p で周期的に配置することによって、基板凸部 31 a b と屈折率変調領域 38 a とがフォトリック結晶をなすことによって生じる。

[0081] (画像表示装置)

次に、上記の有機EL素子を備えた画像表示装置について説明を行う。上記の有機EL素子10～30を備えた画像表示装置は、それぞれ同様なので、有機EL素子10として説明する。

図16は、上記の有機EL素子を備えた画像表示装置の一例を説明した図である。

図16に示した画像表示装置100は、いわゆるパッシブマトリクス型の画像表示装置であり、有機EL素子10の他に、陽極配線104、陽極補助配線106、陰極配線108、絶縁膜110、陰極隔壁112、封止プレート116、シール材118とを備えている。

[0082] 本実施の形態において、有機EL素子10の基板1上には、複数の陽極配線104が形成されている。陽極配線104は、一定の間隔を隔てて平行に配置される。陽極配線104は、透明導電膜により構成され、例えばITO (Indium Tin Oxide) を用いることができる。陽極配線104の厚さは、例えば、100nm～150nmとすることができる。それぞれの陽極配線104の端部の上には、陽極補助配線106が形成され、陽極補助配線106は陽極配線104と電氣的に接続されている。このような構成とすることにより、陽極補助配線106は、基板1の端部側において外部配線と接続するための端子として機能し、外部に設けられた図示しない駆動回路から陽極補助配線106を介して陽極配線104に電流を供給することができる。陽極補助配線106は、例えば、厚さ500nm～600nmの金属膜によって構成される。

[0083] 有機EL素子10上には、複数の陰極配線108が設けられている。複数の陰極配線108は、それぞれが平行となるよう、かつ、陽極配線104と直交するように配設されている。陰極配線108には、Al又はAl合金を使用することができる。陰極配線108の厚さは、例えば、100nm～150nmである。陰極配線108の端部には、陽極配線104に対する陽極補助配線106と同様に、図示しない陰極補助配線が設けられ、陰極配線108と電氣的に接続されている。この電氣的な接続によって、陰極配線10

8と陰極補助配線との間に電流を流すことができる。

[0084] 基板1上には、陽極配線104を覆うように絶縁膜110が形成される。絶縁膜110には、陽極配線104の一部を露出するように矩形状の開口部120が設けられている。複数の開口部120は、陽極配線104の上にマトリクス状に配置されている。この開口部120に、陽極配線104と陰極配線108の間に有機EL素子10が設けられる。すなわち、それぞれの開口部120が画素となる。従って、開口部120に対応して表示領域が形成される。絶縁膜110の膜厚は、例えば、200nm～100nmとすることができ、開口部120の大きさは、例えば、100 μ m×100 μ mとすることができる。

[0085] 有機EL素子10は、開口部120において陽極配線104と陰極配線108の間に位置している。そしてこの場合、有機EL素子10の陽極2が陽極配線104と接触し、陰極4が陰極配線108と接触する。有機EL素子10の厚さは、例えば、150nm～200nmとすることができる。

[0086] 絶縁膜110の上には、複数の陰極隔壁112が陽極配線104と垂直な方向に沿って形成されている。陰極隔壁112は、陰極配線108の配線同士が導通しないように、複数の陰極配線108を空間的に分離するための役割を担っている。従って、隣接する陰極隔壁112の間にそれぞれ陰極配線108が配置される。陰極隔壁112の大きさとしては、例えば、高さが2 μ m～3 μ m、幅が10 μ mのものをを用いることができる。

[0087] 基板1は、封止プレート116とシール材118を介して貼り合わせられている。これにより、有機EL素子10が設けられた空間を封止することができ、有機EL素子10が空気中の水分により劣化するのを防ぐことができる。封止プレート116としては、例えば、厚さが0.7mm～1.1mmのガラス基板を使用することができる。

[0088] このような構造の画像表示装置100において、図示しない駆動装置により、陽極補助配線106、図示しない陰極補助配線を介して、有機EL素子10に電流を供給し、発光層を発光させることができる。そして基板1を通

し、光を出射させることができる。そして、上述の画素に対応した有機EL素子10の発光、非発光を制御装置により制御することにより、画像表示装置100に画像を表示させることができる。

[0089] (照明装置)

上記の有機EL素子を用いた照明装置について説明を行う。上記の有機EL素子10～30を備えた画像表示装置は、それぞれ同様なので、有機EL素子10として説明する。

図17は、上記の有機EL素子10を備える照明装置の一例を説明した図である。

図17に示した照明装置200は、上述した有機EL素子10と、有機EL素子10の基板1(図1参照)に隣接して設置され陽極2(図1参照)に接続される端子202と、陰極4(図1参照)に接続される端子203と、端子202と端子203とに接続し有機EL素子10を駆動するための点灯回路201とから構成される。

[0090] 点灯回路201は、図示しない直流電源と図示しない制御回路を内部に有し、端子202と端子203を通して、有機EL素子10の陽極層2と陰極4との間に電流を供給する。供給された電流は、有機EL素子10を駆動し、発光層を発光させる。発光した光は、基板1を通し、外部に出射され、照明光として利用することができる。発光層は白色光を出射する発光材料より構成されていてもよく、また緑色光(G)、青色光(B)、赤色光(R)を出射する発光材料を使用した有機EL素子10をそれぞれ複数個設け、その合成光が白色となるようにしてもよい。

[0091] (有機EL素子の製造方法)

以下では、本発明の実施形態のうち、第1実施形態及び第2実施形態の有機EL素子の製造方法についてそれぞれ一例を挙げて説明する。第3実施形態の有機EL素子の製造方法については、第2実施形態の有機EL素子の製造方法の工程や手法等を適用して実施することができる。

[0092] (有機EL素子(第1実施形態)の製造方法)

本発明の第1実施形態である有機EL素子の製造方法について図18を参照して説明する。

まず、図18(a)に示すように、基板1上に、第1屈折率材料層8aを形成する。この第1屈折率材料層8aの形成方法は特に限定されない。例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、CVD法などを用いることができる。

[0093] 次に、孔部8h(図18(e)参照)を形成する。形成する方法は、例えば、フォトリソグラフィを用いた方法が使用できる。これを行うには、図18(b)に示すように、まず第1屈折率材料層8aの上にポジ型レジスト液を塗布し、スピコート等により余分なレジスト液を除去して、レジスト層R1を形成する。

[0094] そして、孔部8hを形成するための所定のパターンが描画されたマスク(図示せず)をかぶせ、紫外線(UV)、電子線(EB)等により露光を行うと、図18(c)に示すように、レジスト層R1に孔部8hに対応した所定のパターンが露光される(露光された部分R1a)。そして現像液を用いて露光されたパターンの部分のレジスト層R1aを除去する。これにより露光されたパターンの部分に対応して、第1屈折率材料層8aの表面が露出する(図18(d))。

[0095] 図18(e)に示すように、残存したレジスト層R1をマスクとして、露出した第1屈折率材料層8aの部分をエッチング除去して孔部8hを形成する。エッチングとしては、ドライエッチングとウェットエッチングの何れをも使用することができる。この際に等方性エッチングと異方性エッチングを組合せることで、孔部8hの形状の制御を行うことができる。ドライエッチングとしては、反応性イオンエッチング(RIE: Reactive Ion Etching)や誘導結合プラズマエッチングが利用できる。ウェットエッチングとしては、希塩酸や希硫酸、フッ酸への浸漬を行う方法などが利用できる。図18(e)では、第1屈折率材料層8aを貫通させているが非貫通でも良い。

[0096] 次に、図18(f)に示すように、レジスト層R1を除去した後、第2屈

折率材料で孔部 8 h を充填して第 2 屈折率材料領域 8 b を形成する。こうして、第 1 屈折率材料層 8 a 及び第 2 屈折率材料領域 8 b からなる屈折率変調構造 8 が形成される。この第 2 屈折率材料領域 8 b の形成も、第 1 屈折率材料層 8 a の形成方法と同様に特に限定されないが、例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、CVD 法などの各種のドライプロセスの他、塗布法などの各種のウェットプロセスを用いることができる。図 18 (f) では、孔部 8 h を充填しているが、図 7、図 8、図 11 のような構造を形成する場合は、一部充填し、残りを別の材料で充填してもよい。これらの図 18 (b) ~ 図 18 (f) の工程を複数回行うことにより、図 10 のような構造を形成することもできる。

[0097] 次に、図 18 (g) に示すように、第 1 屈折率材料層 8 a 及び第 2 屈折率材料領域 8 b 上に陽極 2 を形成する。この陽極 2 の形成方法は特に限定されない。例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、CVD 法などを用いることができる。

[0098] 陽極 2 を形成した後に、陽極 2 の表面処理を行うことで、オーバーコートされる層の性能（陽極 2 との密着性、表面平滑性、ホール注入障壁の低減化など）を改善することができる。表面処理を行うには高周波プラズマ処理を始めとしてスパッタリング処理、コロナ処理、UV オゾン照射処理、紫外線照射処理、または酸素プラズマ処理などがある。

[0099] 陽極 2 の表面処理の表面処理を行う代わりに、もしくは表面処理に追加して、図示しない陽極バッファ層を形成することで表面処理と同様の効果が期待できる。陽極バッファ層をウェットプロセスにて塗布して作製する場合には、スピコート法、キャスト法、マイクログラビアコート法、グラビアコート法、バーコート法、ロールコート法、ワイアーバーコート法、ディップコート法、スプレーコート法、スクリーン印刷法、フレキソ印刷法、オフセット印刷法、インクジェットプリント法等の塗布法などを用いて成膜することができる。

[0100] 陽極バッファ層をドライプロセスにて作製する場合は、特開 2006-3

03412号公報に例示のプラズマ処理などを用いて成膜することができる。この他にも金属単体あるいは金属酸化物、金属窒化物等を成膜する方法が挙げられ、具体的な成膜方法としては、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、化学反応法、コーティング法、真空蒸着法などを用いることができる。

[0101] 図18(h)に示すように、陽極2上に、有機EL材料からなる発光層を含む有機層3を形成する。ここで、有機層3を形成する下地となる陽極2の表面が凹凸状の場合は、平坦化するような研磨加工、エッチング処理などを適宜行ってもよい。

有機層3の形成には従来公知の方法を用いることができ、特に限定されないが、例えば、真空蒸着法、スピコート法、キャスト法、LB法等の方法を用いることができる。

[0102] 図18(i)に示すように、有機層3上に陰極4を形成する。陰極4の形成も陽極2の形成と同様の方法を用いることができ、特に限定されない。例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、CVD法などを用いることができる。

[0103] 図18(j)に示すように、陰極4上に低屈折率層5を形成する。低屈折率層5の形成方法は特に限定されない。例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、CVD法などを用いることができる。

低屈折率層5を、空気層を含んでなる低屈折率層とする場合は、例えば、SOG層を形成した後に、SOG層のうち、フォトリソグラフィを用いて所定箇所だけSOG材料を残すようにSOG層をエッチング除去して、SOG層を除去した部分が空気層となるようにして、低屈折率層を形成する。

[0104] 最後に、図18(k)に示すように、低屈折率層5上に金属層6を形成する。金属層6の形成方法には特に限定されない。例えば、蒸着法、スパッタリングを用いることができる。

[0105] 以上の工程により、有機EL素子10を製造することができる。これら一連の工程後、有機EL素子10を長期安定的に用い、有機EL素子10を外

部から保護するための保護層や保護カバー（図示せず）を装着することが好ましい。保護層としては、高分子化合物、金属酸化物、金属フッ化物、金属ホウ化物、窒化ケイ素、酸化ケイ素等のシリコン化合物などを用いることができる。そして、これらの積層体も用いることができる。保護カバーとしては、ガラス板、表面に低透水率処理を施したプラスチック板、金属などを用いることができる。この保護カバーは、熱硬化性樹脂や光硬化性樹脂で基板 1 と貼り合わせて密閉する方法を採ることが好ましい。この際に、スペーサを用いることで所定の空間を維持することができ、有機 EL 素子 10 が傷つくのを防止できるため好ましい。この空間に窒素、アルゴン、ヘリウムのような不活性なガスを封入すれば、上側の金属層 6 の酸化を防止しやすくなる。特にヘリウムを用いた場合、熱伝導が高いため、電圧印加時に有機 EL 素子 10 より発生する熱を効果的に保護カバーに伝えることができるため、好ましい。更に酸化バリウム等の乾燥剤をこの空間内に設置することにより上記一連の製造工程で吸着した水分が有機 EL 素子 10 にダメージを与えるのを抑制しやすくなる。

[0106] 以上の有機 EL 素子の製造方法では陽極側から作製する方法を説明したが、陰極側から作製してもよい。

[0107] （有機 EL 素子（第 2 実施形態）の製造方法）

次に、本発明の第 2 実施形態である有機 EL 素子の製造方法について図 19 を参照して説明する。

図 19（a）に示すように、基板 21 上に、基板凹部 21aa（図 19（e））を形成するには、例えば、フォトリソグラフィを用いた方法が使用できる。これを行うには、図 19（a）に示すように、まず基板 21 の上にポジ型レジスト液を塗布し、スピコート等により余分なレジスト液を除去して、レジスト層 R2 を形成する。

[0108] 形成されたレジスト層 R2 上に、基板凹部 21aa を形成するための所定のパターンが描画されたマスク（図示せず）をかぶせ、紫外線（UV）、電子線（EB）等により露光を行うと、図 19（b）に示すように、レジスト

層 R 2 に基板凹部 2 1 a a に対応した所定のパターンが露光される（露光された部分 R 2 a）。そして現像液を用いて露光されたパターンの部分のレジスト層 R 2 a を除去する。これにより露光されたパターンの部分に対応して、基板 1 の表面が露出する（図 1 9（c））。

[0109] 次に、図 1 9（d）に示すように、残存したレジスト層 R 2 をマスクとして、露出した基板 1 の部分をエッチング除去して基板凹部 2 1 a a を形成する。エッチングとしては、ドライエッチングとウェットエッチングの何れをも使用することができる。この際に等方性エッチングと異方性エッチングを組合せることで、基板凹部 2 1 a a の形状の制御を行うことができる。ドライエッチングとしては、反応性イオンエッチング（R I E : Reactive Ion Etching）や誘導結合プラズマエッチングが利用できる。ウェットエッチングとしては、希塩酸や希硫酸への浸漬を行う方法などが利用できる。

[0110] 図 1 9（e）に示すように、レジスト層 R 2 を除去した後、屈折率変調材料で基板凹部 2 1 a a を充填して屈折率変調領域 2 8 a を形成する。こうして、基板 2 1 の表面層 2 1 a に屈折率変調構造 2 8 が形成される。屈折率変調領域 2 8 a の形成方法は特に限定されない。例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、C V D 法などの各種のドライプロセスのほか、塗布法などの各種のウェットプロセスを用いることができる。

[0111] 図 1 9（f）に示すように、基板凸部 2 1 a b 及び屈折率変調領域 2 8 a 上に陽極 2 2 を形成する。この陽極 2 2 の形成方法は特に限定されない。例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、C V D 法などを用いることができる。

[0112] 陽極 2 2 を形成した後に、陽極 2 2 の表面処理を行うことで、オーバーコートされる層の性能（陽極 2 2 との密着性、表面平滑性、ホール注入障壁の低減化など）を改善することができる。表面処理を行うには高周波プラズマ処理を始めとしてスパッタリング処理、コロナ処理、U V オゾン照射処理、紫外線照射処理、または酸素プラズマ処理などがある。

[0113] 陽極 2 2 の表面処理の表面処理を行う代わりに、もしくは表面処理に追加して、図示しない陽極バッファ層を形成することで表面処理と同様の効果が期待できる。陽極バッファ層をウェットプロセスにて塗布して作製する場合には、スピコート法、キャスト法、マイクログラビアコート法、グラビアコート法、バーコート法、ロールコート法、ワイアーバーコート法、ディップコート法、スプレーコート法、スクリーン印刷法、フレキソ印刷法、オフセット印刷法、インクジェットプリント法等の塗布法などを用いて成膜することができる。

[0114] 陽極バッファ層をドライプロセスにて作製する場合は、特開 2 0 0 6 - 3 0 3 4 1 2 号公報に例示のプラズマ処理などを用いて成膜することができる。この他にも金属単体あるいは金属酸化物、金属窒化物等を成膜する方法が挙げられ、具体的な成膜方法としては、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、化学反応法、コーティング法、真空蒸着法などを用いることができる。

[0115] 図 1 9 (g) に示すように、陽極 2 2 上に、有機 E L 材料からなる発光層を含む有機層 2 3 を形成する。ここで、有機層 2 3 を形成する下地となる陽極 2 2 の表面が凹凸状の場合は、平坦化するような研磨加工、エッチング処理などを適宜行ってもよい。

有機層 2 3 の形成には従来公知の方法を用いることができ、限定されない。例えば、真空蒸着法、スピコート法、キャスト法、L B 法等の方法を用いることができる。

[0116] 図 1 9 (h) に示すように、有機層 2 3 上に陰極 2 4 を形成する。陰極 2 4 の形成も陽極 2 2 の形成と同様の方法を用いることができ、限定するものではない。例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、C V D 法などを用いることができる。

[0117] 次に、図 1 9 (i) に示すように、陰極 2 4 上に低屈折率層 2 5 を形成する。低屈折率層 2 5 の形成方法は特に限定されない。例えば、抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、C V D 法などを用いることができる。

低屈折率層 25 を、空気層を含んでなる低屈折率層とする場合は、例えば、SOG層を形成した後に、SOG層のうち、フォトリソグラフィを用いて所定箇所だけSOG材料を残すようにSOG層をエッチング除去して、SOG層を除去した部分が空気層となるようにして、低屈折率層を形成する。

[0118] 最後に、図 19 (j) に示すように、低屈折率層 25 上に金属層 26 を形成する。金属層 26 の形成方法は特に限定されないが、例えば、蒸着法、スパッタリングを用いることができる。

[0119] また第 3 実施形態の有機 EL 素子 30 は、図 19 (b) で露光する際に用いるマスクの形状を変える、もしくは使用するレジストをネガ型レジストとすることで、形成することができる。

[0120] 以上の工程により、有機 EL 素子 20 を製造することができる。これら一連の工程後、有機 EL 素子 10 と同様に、有機 EL 素子 20 を長期安定的に用い、有機 EL 素子 20 を外部から保護するための保護層や保護カバー（図示せず）を装着することが好ましい。保護層としては、高分子化合物、金属酸化物、金属フッ化物、金属ホウ化物、窒化ケイ素、酸化ケイ素等のシリコン化合物などを用いることができる。そして、これらの積層体も用いることができる。保護カバーとしては、ガラス板、表面に低透水率処理を施したプラスチック板、金属などを用いることができる。この保護カバーは、熱硬化性樹脂や光硬化性樹脂で基板 21 と貼り合わせて密閉する方法を採ることが好ましい。この際に、スペーサを用いることで所定の空間を維持することができ、有機 EL 素子 20 が傷つくのを防止できるため好ましい。この空間に窒素、アルゴン、ヘリウムのような不活性なガスを封入すれば、上側の金属層 26 の酸化を防止しやすくなる。特にヘリウムを用いた場合、熱伝導が高いため、電圧印加時に有機 EL 素子 20 より発生する熱を効果的に保護カバーに伝えることができるため、好ましい。酸化バリウム等の乾燥剤をこの空間内に設置することにより上記一連の製造工程で吸着した水分が有機 EL 素子 20 にダメージを与えるのを抑制しやすくなる。

[0121] 以上の有機 EL 素子の製造方法では陽極側から作製する方法を説明したが

、陰極側から作製してもよい。

[0122] (O t t o型配置におけるS P P取り出し)

本発明における有機E L素子のO t t o型配置による金属層表面に捕捉された表面プラズモンポラリトン (S P P) を取り出すことが可能な低屈折率層の膜厚を検討する。

[0123] 図20に、有機層で発光した光の強度を、有機E L素子面方向における波数成分で展開するエネルギー散逸計算を行った結果を示す。横軸が、有機層で発光した光の波数の、有機E L素子面方向成分を真空の波数 k_0 で割ったもの、すなわち有効屈折率であり、縦軸がその波数の光の強度、すなわち展開係数を示している。計算は、T M偏光成分、T E偏光成分に分けて行った。この計算は基板(ガラス)上に、各層が平坦な陽極と有機層と陰極(金属)とを積層した有機E L素子の結果を示している。この場合、T M偏光の最も高波数側のピーク面積がS P Pモード光の強度を表しているが、有機層で発光した光の多くがS P Pモード光として捕捉されているのが分かる。陽極と有機層の膜厚は、それぞれ150nm、100nmである。

[0124] 一方で、O t t o型配置の有機E L素子におけるエネルギー散逸計算による有機層で発光した光(T M偏光成分)の強度の、低屈折率層の膜厚による依存性を示した図を図21に示す。O t t o型配置の有機E L素子は、基板、陽極、有機層は図20の素子と同じ構成であるが、有機層上に透明導電材料であるITOからなる陰極(50nm)が形成され、さらにその上に低屈折率層、金属層が順に形成された構成から成る。

低屈折率層の屈折率を1.38とし、図21(a)は金属層をA lとし、図21(b)は金属層をA gとした場合で、グラフ線の数字は低屈折率層の膜厚(nm)を示す。

[0125] 図21(a)、(b)共に、低屈折率層の膜厚が厚くなるに従って、ピーク波数が小さくなり、かつピーク幅が狭くなるようにシフトしていることが分かる。また膜厚が厚くなるに従って、ピーク波数のシフトはわずかになり、ピーク幅も一定に近づいていることが確認できる。ピーク波数が小さくな

ることは、金属層に接した低屈折率層の膜厚が大きくなり、SPPの波数がこの低屈折率層の屈折率の影響で小さくなることを示しており、ピーク幅が狭くなることは、SPPとして捕捉されていた光が伝播光として取り出され、光の減衰が小さくなっていることを示している。これについて、次に説明する。

[0126] 図22(a)、(b)、(c)を用いてピークの変化について、以下に説明する。図22(a)は、SPPモード光として光が完全に金属層表面に捕捉されている。これは、低屈折率層の膜厚が0nmの時を表しており、SPPモード光は金属層と陰極の界面を面内方向に伝播しながら急速に減衰するため、ピーク幅が大きくなっている。

低屈折率層の膜厚が厚くなるにつれて、図22(b)のようになり、otto型配置によってSPPモード光と導波モード光が混在した状態となる。これは、取り出されたSPPモード光が導波モード光となり、界面反射により再度金属層にSPPモード光として再捕捉されることを意味している。この場合、光は図22(a)のSPPモード光に比べ減衰しにくいため、ピーク幅は次第に狭くなる。

最後に、低屈折率層の膜厚が十分厚くなると、図22(c)のようになる。この場合、otto型配置をしているが、発光点におけるエバネッセント波が金属層に届かなくなり、SPPモード光として捕捉されない。この場合、発光した光は導波モード光として、捕捉されることとなる。つまり、低屈折率層の膜厚がある厚みを超えると、捕捉された光は導波モード光のみとなるため、減衰のしやすさは変わらなくなり、ピーク幅にも変化が生じなくなる。

[0127] 図23は、低屈折率層の膜厚に対する、ピーク幅（半値幅）の変化を示した図である。図23の金属層がAlの場合に、低屈折率層の膜厚が200nm以上でピーク幅の変化が小さくなり、発光した光がSPPモード光として捕捉されにくくなっていることが分かる。金属層がAgの場合に、低屈折率層の膜厚が150nm以上でピーク幅の変化が小さくなり、SPPモード光

として捕捉されにくくなっていることが分かる。

つまりSPPモード光として捕捉される膜厚は少なくとも300nm以下であり、200nm以下で捕捉の効果が顕著になることが分かる。本検討は低屈折率層の屈折率を $n = 1.38$ の場合を計算しているが、屈折率は1.38に限定されるものではなく、金属層もAgとAlに限定されるものではない。

[0128] Otto型配置において、金属層表面に捕捉された表面プラズモンポラリトン（SPP）は、陰極と低屈折率層の界面で全反射した光によって発生するエバネッセント波によって取り出すことができる。すなわち、このエバネッセント波の波数が、金属層表面に生成される表面プラズモンポラリトン（SPP）の波数 k_{SPP} と交点を持つ必要がある。

[0129] 金属層表面に生成される表面プラズモンポラリトン（SPP）の波数 k_{SPP} は以下の式（13）で表すことができる。但し、 ϵ_1 は金属層の誘電率であり、 ϵ_2 は低屈折率層の誘電率であり、 k_0 は前記発光層で発光する光のピーク波長における真空中の光の波数である。

[数14]

$$k_{SPP} = k_0 \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad \dots (13)$$

またその実数部は以下の式（14）で表すことができる。

[数15]

$$\text{Re}(k_{SPP}) \approx k_0 \sqrt{\frac{\text{Re}(\epsilon_1) \epsilon_2}{\text{Re}(\epsilon_1) + \epsilon_2}} \quad \dots (14)$$

[0130] 一方で、金属層表面に生成される表面プラズモンポラリトン（SPP）の低屈折率層中における波数の垂直成分は以下の式（15）で表すことができる。

[数16]

$$k_2^z = i\sqrt{k_{SPP}^2 - n_2^2 k_0^2} \approx i\sqrt{\text{Re}(k_{SPP})^2 - n_2^2 k_0^2} \quad \dots (15)$$

[0131] 金属層表面に生成される表面プラズモンポラリトン（SPP）の電磁場の大きさ（強度）を、金属層表面での値を1として規格化すると、金属層に垂直な方向に指数関数的に減衰しながらしみ出し、低屈折率層／陰極界面に到達した表面プラズモンポラリトン（SPP）の強度は、各界面での反射が無視できる場合、近似的に

[数17]

$$\exp(ik_2^z h_2) = \exp(-k_0 \sqrt{\kappa_{SPP}^2 - n_2^2} h_2) \quad \dots (16)$$

となる。

但し、 κ_{SPP} は表面プラズモンポラリトン（SPP）の波数の基板面内方向成分の実部を真空中の光の波数 k_0 で割った値とする。式（16）が十分大きければ、金属層の表面に生成される表面プラズモンポラリトン（SPP）の電磁場が陰極や有機層にしみ出し、陰極と低屈折率層の界面での全反射により生じたエバネッセント波とカップリングして、取り出すことができる。

図24（a）は金属層をAl、（b）は金属層をAgとした場合の式（16）をグラフ化した図である。

[0132] この結果を、図21（a）、（b）と比較すると、式（16）において、金属層表面に生成される表面プラズモンポラリトン（SPP）の、低屈折率層／陰極界面での強度は、金属層表面での強度を1として規格化すると、低屈折率層の厚み方向に伝搬した位置での表面プラズモンポラリトン（SPP）の強度が0.4以下となる低屈折率層の厚みで、ピーク幅が一定値に飽和していることが分かる。すなわち、式（16）が0.4以下となるときには、低屈折率層と陰極界面にまでしみ出す表面プラズモンポラリトン（SPP）の強度が小さくなり、Otto型配置による光取り出し効果は少なくなる

と言える。逆に言えば、低屈折率層の膜厚は、式(16)が0.4以上となれば、Otto型配置による光取り出し効果を十分に得ることができることが分かる。

本検討は低屈折率層の屈折率を $n = 1.38$ の場合を計算しているが、屈折率は1.38に限定されるものではなく、金属層もAgとAlに限定されるものではない。式(16)で表わされる、低屈折率層と陰極界面でのSPPの強度が一定値(例えば0.4)より大きいという条件を満たせば、Otto配置によってSPPモード光を有機層中に取り出すことができ、この条件を満たす限り、低屈折率層の屈折率や陰極の材料は限定されるものではない。

実施例

[0133] 本発明の有機EL素子の実施例について以下に説明する。

[0134] 実施例では、各実施形態の有機EL素子の光取り出し効率への効果の確認をシミュレーションにより行った。最初に、シミュレーションに用いた有限差分時間領域法(FDTD method: Finite Difference Time Domain Method)について説明する。FDTD法は、電磁界の時間変化を記述するMaxwellの方程式を空間的・時間的に差分化し、空間の各点における電磁界の時間変化を追跡する解析手法である。より具体的には、発光層における発光を微小ダイポールからの放射と捉えて、その放射(電磁界)の時間変化を追跡するという手法である。シミュレーション結果は、基板まで光取り出しを行った結果を示す。横軸の λ は真空中の波長、縦軸の η は光取り出し効率(ダイポールからの全放射強度に対する基板取り出し光強度の割合)である。以下の図においても同じである。

計算は、現実に近い発光現象をシミュレートするために、発光源であるダイポールをランダム(ダイポールのモーメントがx、y、z方向にランダム)として行った。ここで、x及びy方向は、基板面に平行な方向であり、z方向は基板面に垂直な方向である。以下に示す光取り出し効率の計算結果のグラフ図はこのランダムなダイポールに対する計算結果である。

[0135] 図25は、本発明の有機EL素子の効果を確認するために、FDTD法を用いて、光取り出し効率への開口部が配置される周期の依存性をコンピュータシミュレーションで求めた結果を示す。シミュレーションで求めた光取り出し効率は、基板までの光取り出しを行った場合の光取り出し効率（全発光強度に対する基板まで取り出された光強度の相対値）である（以下のシミュレーション結果についても同様）。グラフの横軸の λ は発光光の波長、縦軸の η は光取り出し効率である。

[0136] 図26は、シミュレーションで用いた第1実施形態のボトムエミッション型の有機EL素子10のモデル構造を示す断面図である。

計算に用いた屈折率の値は以下のとおりである。基板1はガラスからなるとして、屈折率としては1.52を用いた。屈折率変調構造8を構成する第1屈折率材料層8a、第2屈折率材料領域8bのうち、第1屈折率材料層8aは、酸化亜鉛からなるとしてその屈折率としては2.00、第2屈折率材料領域8bは、SOGからなるとしてその屈折率としては1.25を用いた。この場合、酸化亜鉛が高屈折率材料、SOGが低屈折率材料に相当する。陽極（第1電極）2はITOからなるとして、屈折率としては550nmで $1.82+0.009i$ とし、その他の波長はローレンツモデルで外挿した。有機層3の平均の屈折率としては1.72を用いた。陰極（第2電極）4はアモルファスITO（a-ITO）からなるとして屈折率としては550nmで $2.08+0.013i$ とし、その他の波長はローレンツモデルで外挿した。低屈折率層5は、SOGからなるとして屈折率としては屈折率1.25を用いた。金属層6はアルミニウム（Al）からなるとして、屈折率としては550nmで $0.649+4.32i$ を用い、その他の波長はドルーデモデルで外挿した。

陽極2、有機層3、陰極4、低屈折率層5、金属層6、屈折率変調構造8の層厚はそれぞれ、150nm、100nm、50nm、50nm、100nm、200nmとした。

第2屈折率材料領域8b間の周期（ピッチ） p が200nm、300nm

、500 nm、900 nm、2000 nm、4000 nm、8000 nmの場合についてそれぞれ計算した。第2屈折率材料領域8bのサイズs（又は、孔部8hのサイズs）は、周期pの1/2とした。

発光（図26中の星マーク）は、高屈折率材料からなる第1屈折率材料層8aの中心軸上で、陰極4から52.5 nmの位置で発光したとしてコンピュータシミュレーション計算を行った。

比較のために、Otto型配置の陰極側構造を有するが、有機層中まで取り出された伝播光を導波モード光とせず、外部に取り出す第1電極側構造は有さない構造（以下、「Otto型配置のみ構造」ということがある）と、Otto型配置の第2電極側構造を有さず、且つ伝播光を導波モード光とせず、外部に取り出す第1電極側構造も有さない構造（以下、「標準構造」ということがある）の場合も計算した。

標準構造は、基板上に、陽極層、有機層、陰極金属層の順に形成された構造を意味する。シミュレーションにおいては、標準構造は基板がガラスからなり、陽極がITOからなり、有機層を挟んで、陰極はAlからなるものを用いた。屈折率としてはそれぞれ、1.52、 $1.82 + 0.009i$ 、1.72、 $0.649 + 4.32i$ を用い、陽極、有機層、陰極の層厚はそれぞれ、150 nm、100 nm、100 nmとした。

[0137] 図25に示すように、周期pが4000 nm及び8000 nmの場合は、450 nm～750 nmのほとんど全波長で、Otto型配置のみの陰極側構造よりも光取り出し効率が低かった。これは、基板面に対し垂直な第1屈折材料層と第2屈折材料領域の界面の総面積が、周期pが大きくなっていくにつれ減少し、有機層中の伝播光が基板面に対して垂直に近い方向へ屈折されにくくなるためである。周期pが大きな屈折率変調構造とする場合は、屈折率変調構造の膜厚を大きくして、上記界面の面積を十分大きくすればOtto型配置のみの陰極側構造に比べてより高い光取り出し効率を得ることができる。

一方、周期pが900 nmの場合は、450 nm～750 nmの全波長で

O t t o型配置のみの陰極側構造よりも大幅に高い光取り出し効率が得られた。周期が500 nmの場合は、450 nm～710 nmの波長ではO t t o型配置のみの陰極側構造よりも高い光取り出し効率が得られ、特に低波長側ほど（特に670 nm以下）では大幅に高い光取り出し効率が得られた。周期が300 nmの場合も、450 nm～720 nmの波長ではO t t o型配置のみの陰極側構造よりも高い光取り出し効率が得られ、500 nmの場合と同様に特に低波長側ほど（特に670 nm以下）では大幅に高い光取り出し効率が得られた。周期が2000 nmの場合は、450 nm～700 nmの波長ではO t t o型配置のみの陰極側構造よりも高い光取り出し効率が得られ、500 nmの場合と同様に特に低波長側ほど（特に570 nm以下）では、かなり高い光取り出し効率が得られた。周期が200 nmの場合は、450 nm～600 nm及び660 nm～710 nmの波長ではO t t o型配置のみの陰極側構造よりも高い光取り出し効率が得られ、500 nm～550 nm以下ではかなり高い光取り出し効率が得られた。

周期pが200 nm～2000 nmの場合、450 nm～750 nmのほとんど全波長で、標準構造に比べて1.1倍～2倍の光取り出し効率が得られた。

以上の結果から、上記条件の下では、周期pを200 nm～2000 nmにすることが好ましく、300 nm～900 nmにすることがより好ましく、500 nm～900 nmにすることがさらに好ましいことがわかった。

[0138] この結果は、当業者であってもO t t o型配置の陰極側構造及び陽極側構造のそれぞれの構造に基づいて予測することは困難であり、シミュレーションを行って初めて得ることができた知見である。

[0139] 図27は、第1実施形態の有機EL素子について第2屈折率材料領域が一方方向に周期的に配置する場合について、第2屈折率材料領域の周期pが（a）200 nm、（b）300 nm、（c）500 nm、（d）900 nm、（e）2000 nm、（f）4000 nmそれぞれの場合の、水平方向のダイポールからの放射光の電場の強度分布を、コンピュータシミュレーションで

得られた結果を示すものである。放射光の波長は620nmを用いた。強度分布は基板が上側、金属層が下側で示している。図27のコンピュータシミュレーションについても図26のコンピュータシミュレーションを行ったモデル構造で行った結果である。

[0140] 図28は、図27と同様な場合について、第2屈折率材料領域の周期pが(a)200nm、(b)300nm、(c)500nm、(d)900nm、(e)2000nm、(f)4000nmそれぞれの場合の、垂直方向のダイポールからの放射光の磁場の強度分布を、コンピュータシミュレーションで得られた結果を示すものである。放射光の波長は620nmを用いた。強度分布は基板が上側、金属層が下側で示している。図28のコンピュータシミュレーションについても図26のコンピュータシミュレーションを行ったモデル構造で行った結果である。

[0141] シミュレーション結果から、第2屈折率材料領域の周期が検討のすべての場合において、電磁場共に、斜め方向に放射されていることが確認できる。

符号の説明

- [0142] 1、21、31 基板
2、22、32 第1電極（陽極）
3、23、33 有機層
4、24、34 第2電極（陰極）
5、25、35 低屈折率層
6、26、36 金属層
8、28、38 屈折率変調構造
8a 第1屈折率材料層
8b 第2屈折率材料領域
9、29、39 界面
21a、31a 表面層
21aa 基板凹部
21ab、31ab 基板凸部

2 8 a、3 8 a 屈折率変調領域

2 9、3 9 界面

1 0、2 0、3 0 有機E L 素子

1 0 0 画像表示装置

2 0 0 照明装置

請求の範囲

[請求項1] 第1電極と、発光層を含む有機層と、第2電極とを順に具備する有機EL素子であって、

前記第2電極の前記有機層と反対側の面には、厚さ20nm以上300nm以下の低屈折率層と、金属層とを該反対側の面に接する側から順に具備し、

前記第2電極は、透光性導電材料からなり、
前記低屈折率層の屈折率は、前記有機層の屈折率よりも低く、

前記第1電極の前記有機層と反対側の面には、第1屈折率材料層を有し、
前記第1屈折率材料層の面内方向には、離散的に配置された複数の第2屈折率材料領域を有する屈折率変調構造を備えたことを特徴とする有機EL素子。

[請求項2] 基板上に、第1電極と、発光層を含む有機層と、第2電極とを順に具備する有機EL素子であって、

前記第2電極の前記有機層と反対側の面には、厚さ20nm以上300nm以下の低屈折率層と、金属層とを該反対側の面に接する側から順に具備し、

前記第2電極は、透光性導電材料からなり、
前記低屈折率層の屈折率は、前記有機層の屈折率よりも低く、
前記基板の表面層に離散的に形成された複数の基板凹部が、基板の屈折率と異なる材料で充填されてなる屈折率変調構造を備えたことを特徴とする有機EL素子。

[請求項3] 基板上に、第1電極と、発光層を含む有機層と、第2電極とを順に具備する有機EL素子であって、

前記第2電極の前記有機層と反対側の面には、厚さ20nm以上300nm以下の低屈折率層と、金属層とを該反対側の面に接する側から順に具備し、

前記第 2 電極は、透光性導電材料からなり、

前記低屈折率層の屈折率は、前記有機層の屈折率よりも低く、

前記基板の表面層に離散的に形成された複数の基板凸部を有し、その側面を被覆するように基板の屈折率と異なる材料が形成されてなる屈折率変調構造を備えたことを特徴とする有機 E L 素子。

[請求項 4] 前記低屈折率層の屈折率は、前記第 2 電極の屈折率よりも低いことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の有機 E L 素子。

[請求項 5] 前記第 2 電極の屈折率は、前記有機層の屈折率よりも低いことを特徴とする請求項 4 に記載の有機 E L 素子。

[請求項 6] 前記低屈折率層は、前記第 2 電極及び前記有機層のうちの少なくとも一方よりも屈折率が 0.2 以上小さい材料からなることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の有機 E L 素子。

[請求項 7] 前記第 2 屈折率材料領域、前記基板凹部又は前記基板凸部が、素子面内の少なくとも一方向に配列される周期が、500 nm ～ 2000 nm であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれかに一項に記載の有機 E L 素子。

[請求項 8] 前記金属層の誘電率の実部 ε_1 、前記低屈折率層の誘電率 ε_2 、及び、前記第 2 屈折率材料領域、前記基板凹部又は前記基板凸部が、素子面内の少なくとも一方向に配列される周期 p が、ある整数 N ($1 \leq N \leq 3$) に対して以下の式を満たすように選択されていることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の有機 E L 素子；

[数 1]

$$\left| \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \times \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}} - N \frac{\lambda}{p} \right| < 0.6 \quad \dots (1)$$

ここで、 λ は前記発光層のフォトルミネッセンス・スペクトルのピーク波長である。

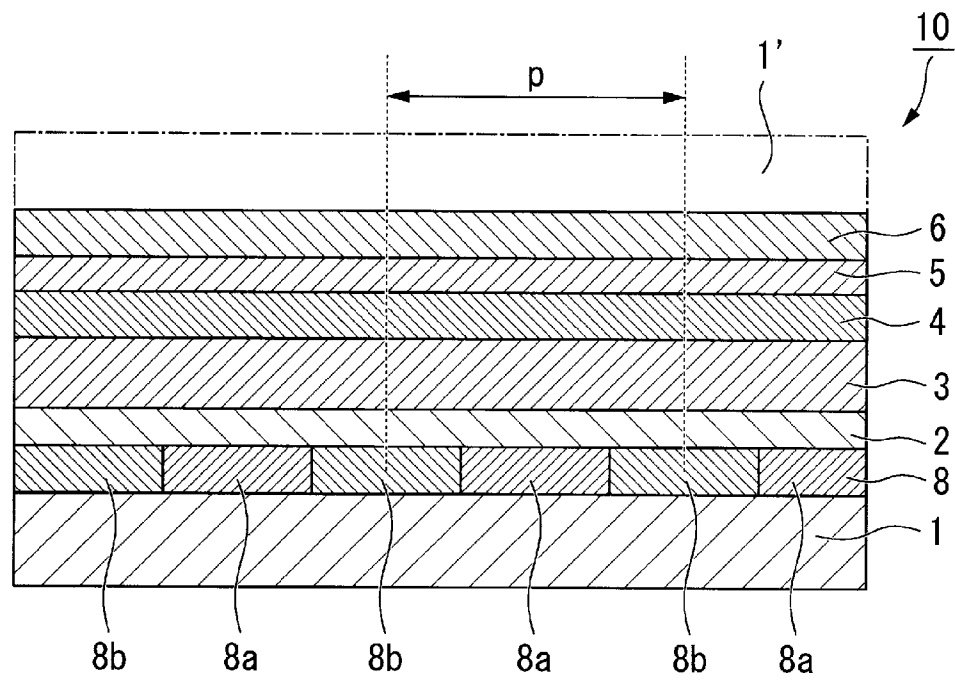
[請求項 9] 前記周期が、200 nm ～ 2000 nm であることを特徴とする請

求項 8 に記載の有機 EL 素子。

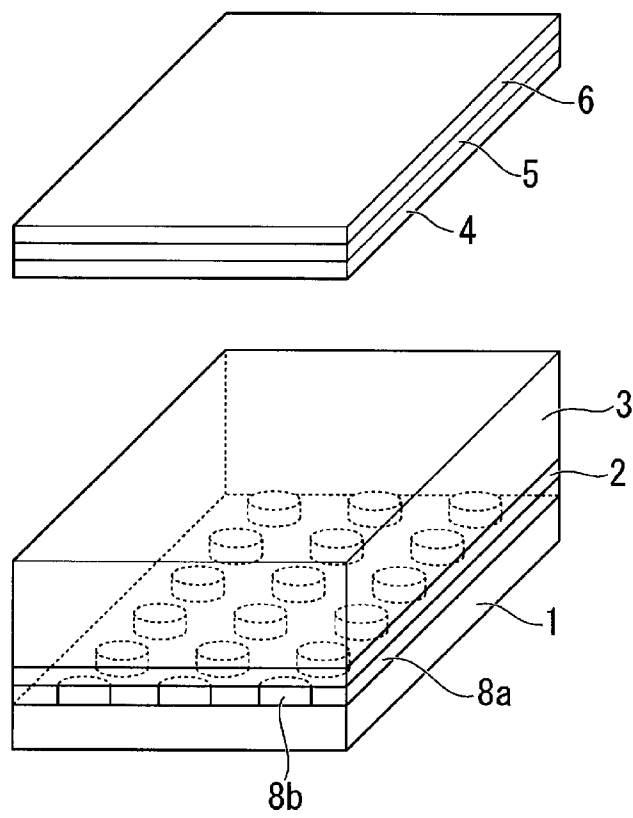
[請求項10] 請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の有機 EL 素子を備えることを特徴とする画像表示装置。

[請求項11] 請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の有機 EL 素子を備えることを特徴とする照明装置。

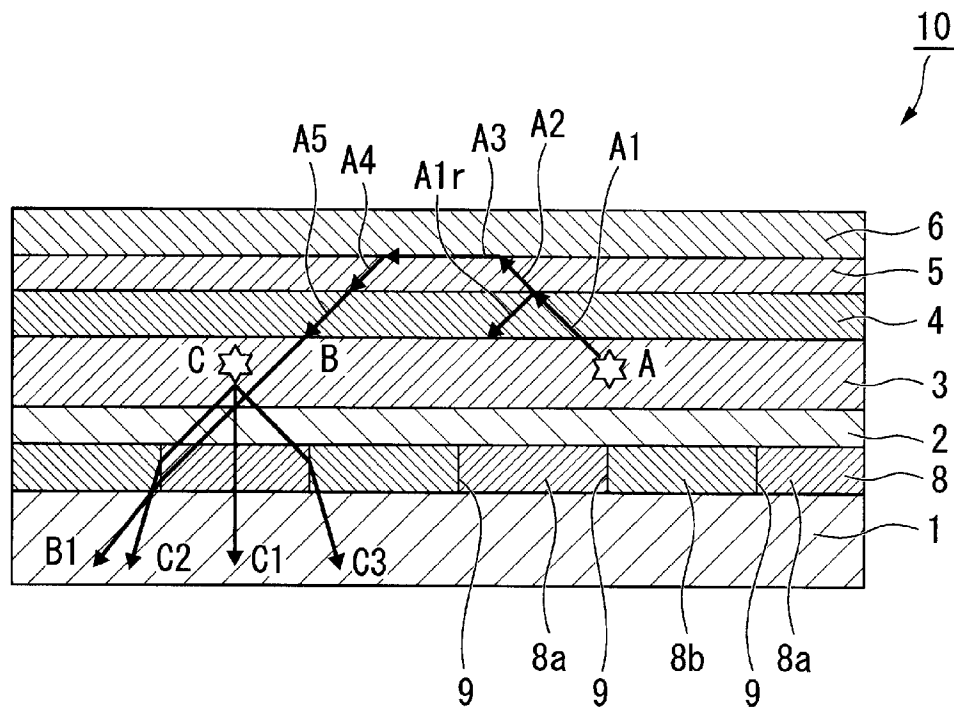
[図1]



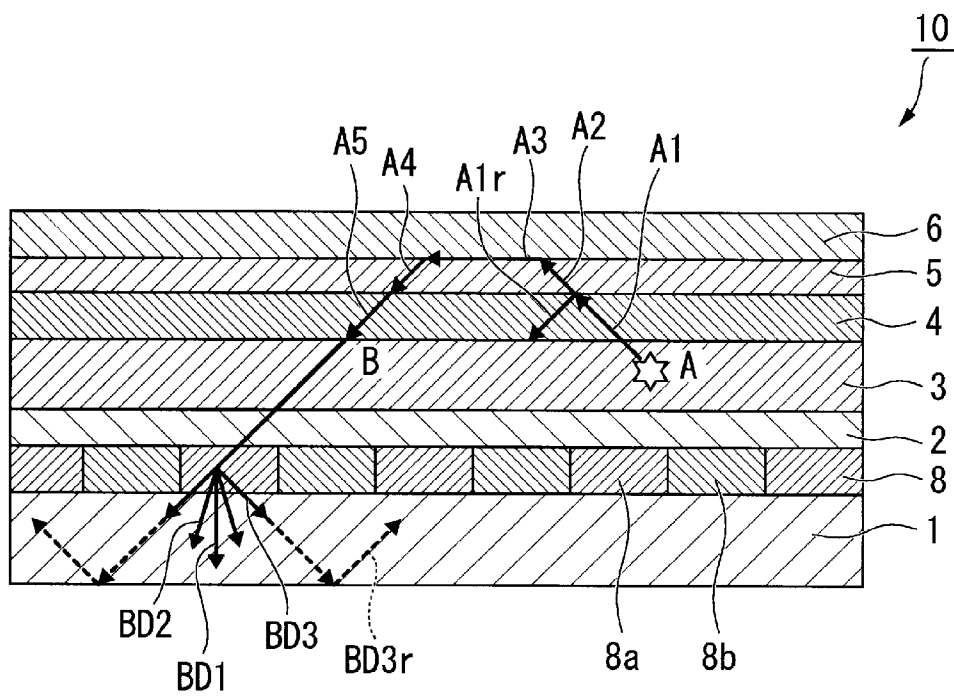
[図2]



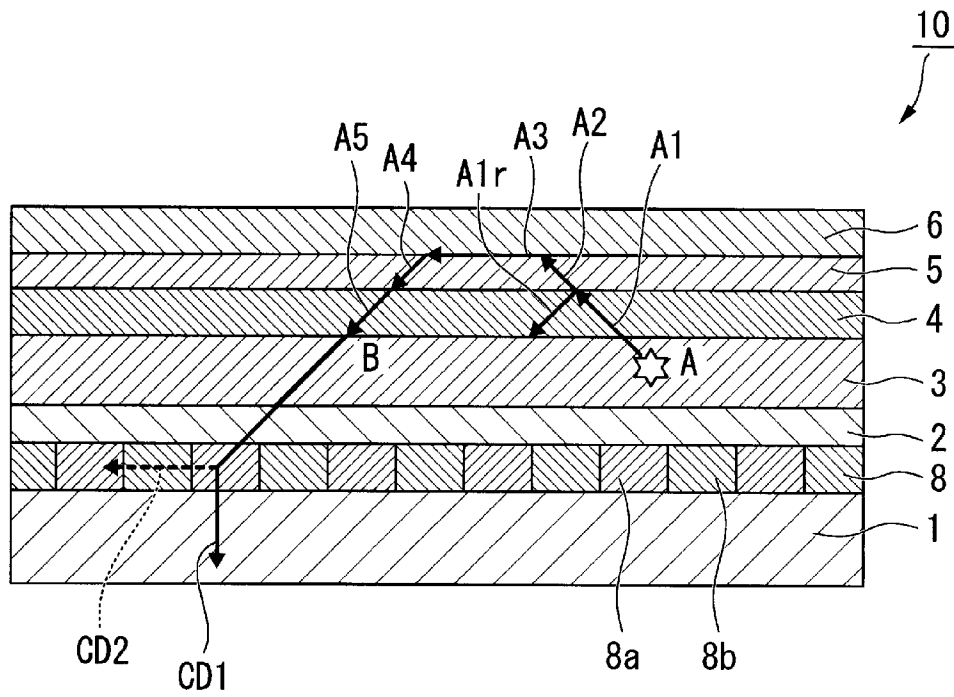
[図3]



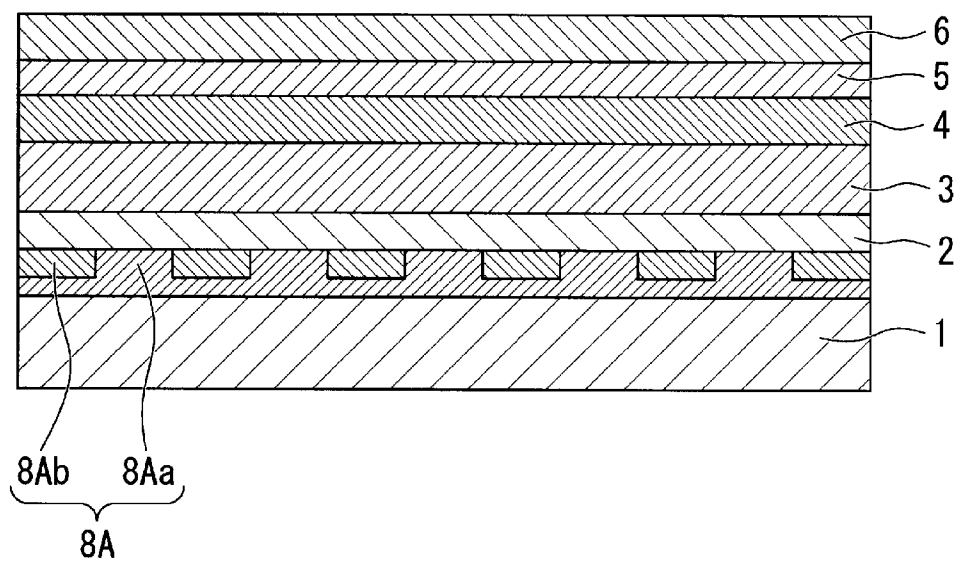
[図4]



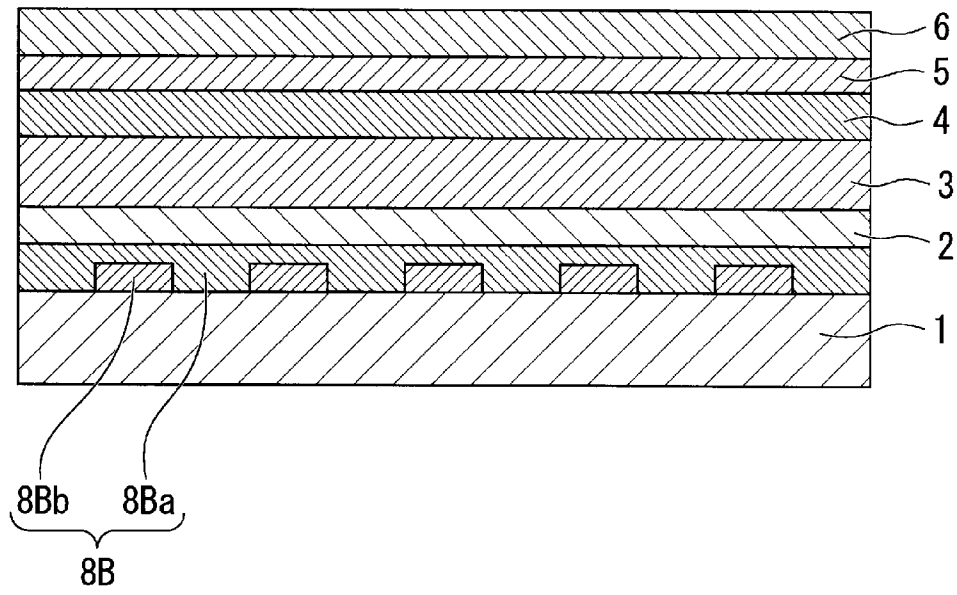
[図5]



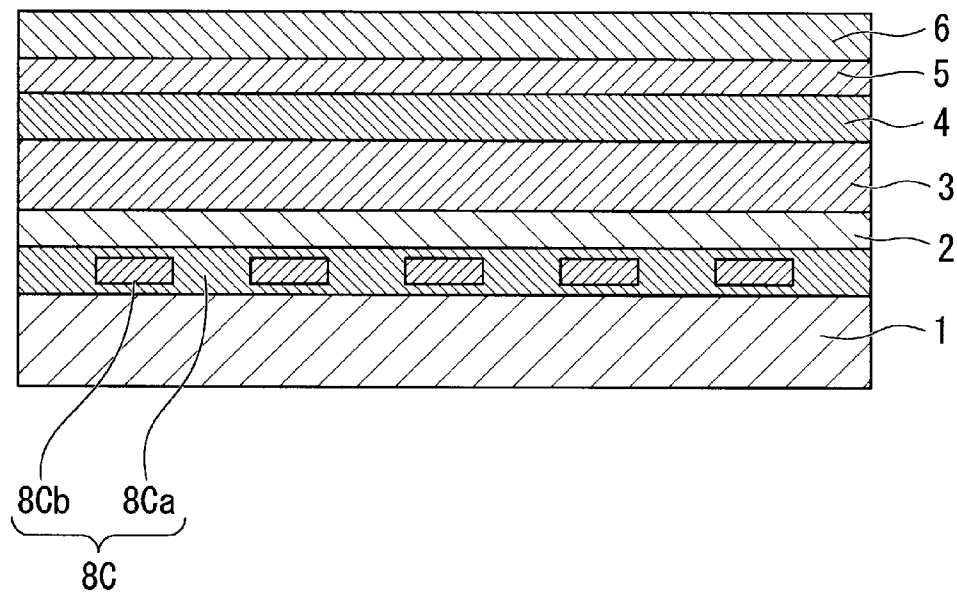
[図6]



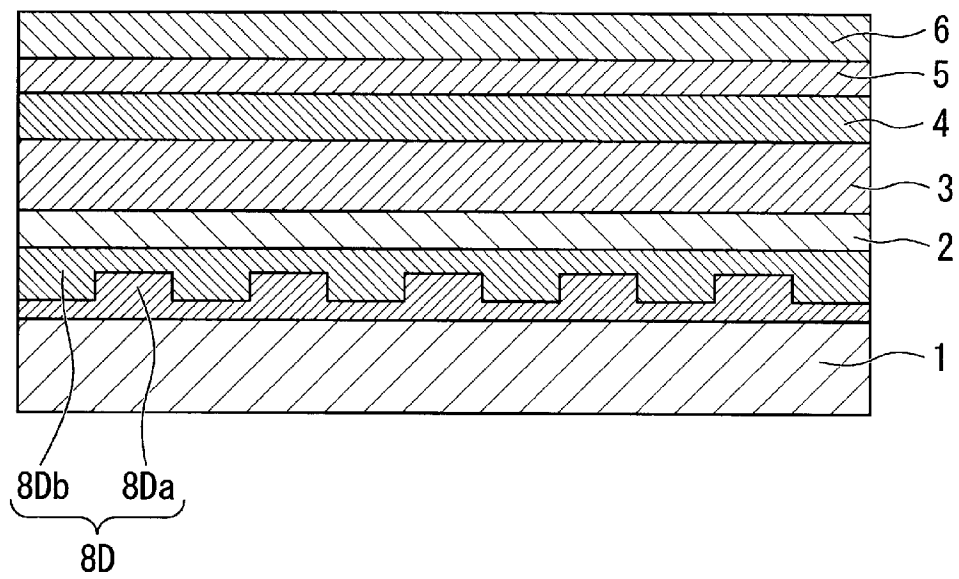
[図7]



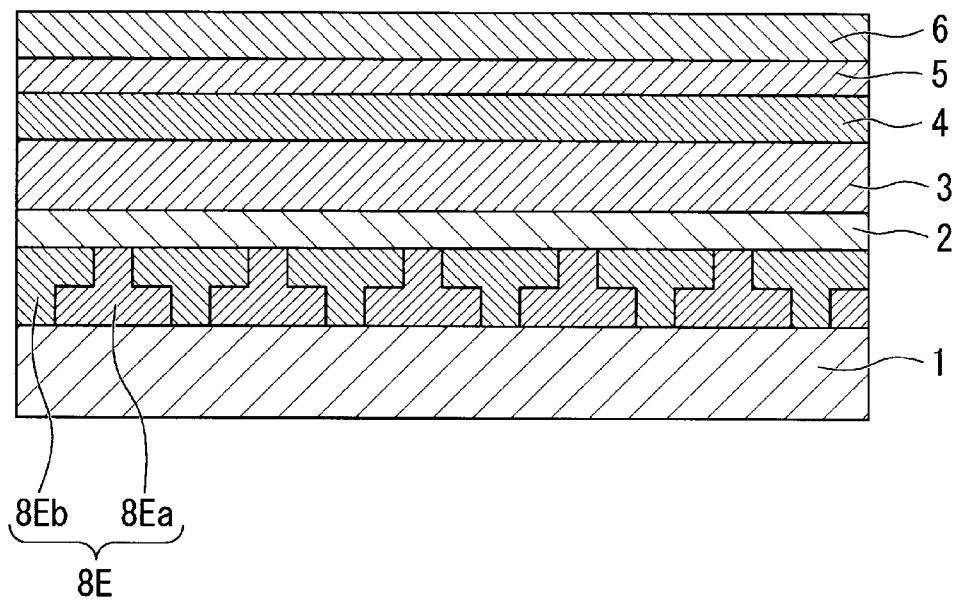
[図8]



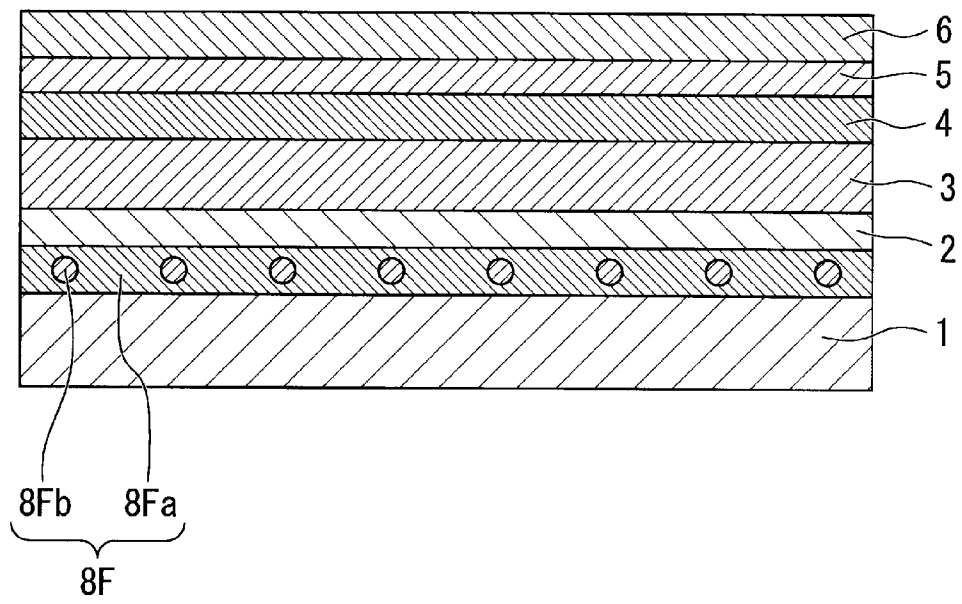
[図9]



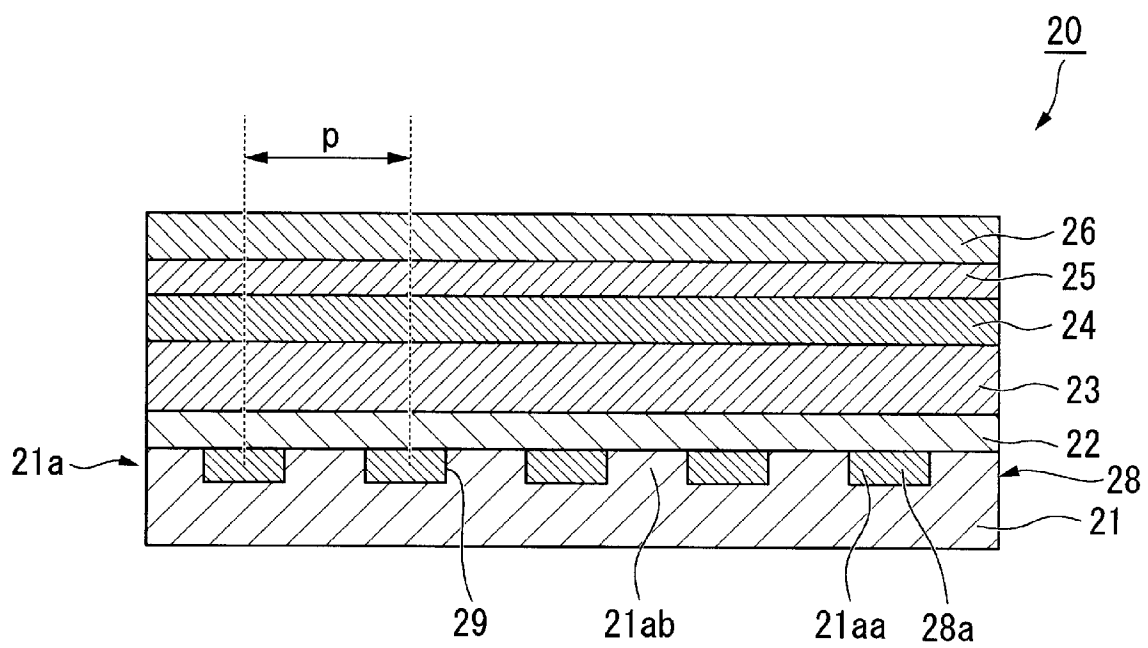
[図10]



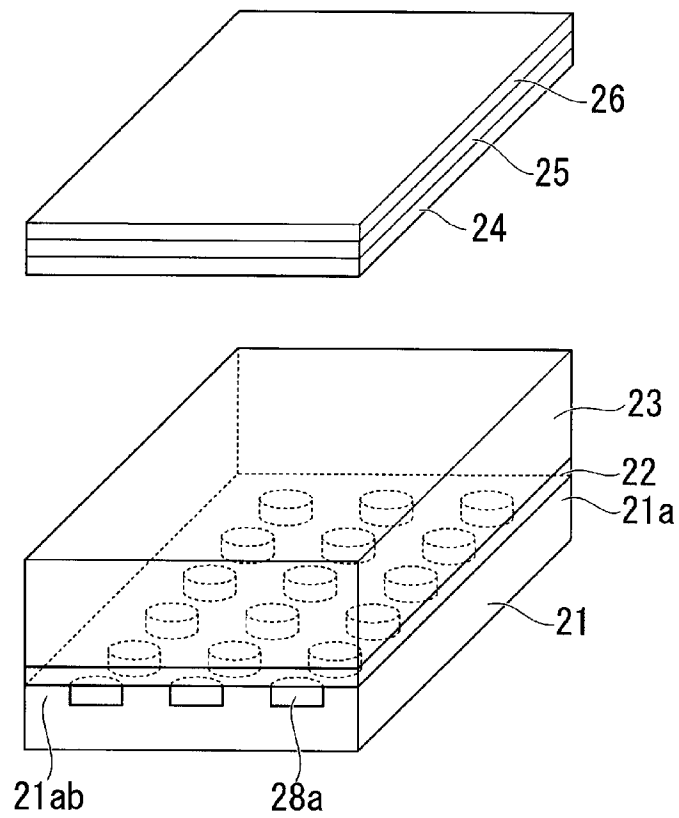
[図11]



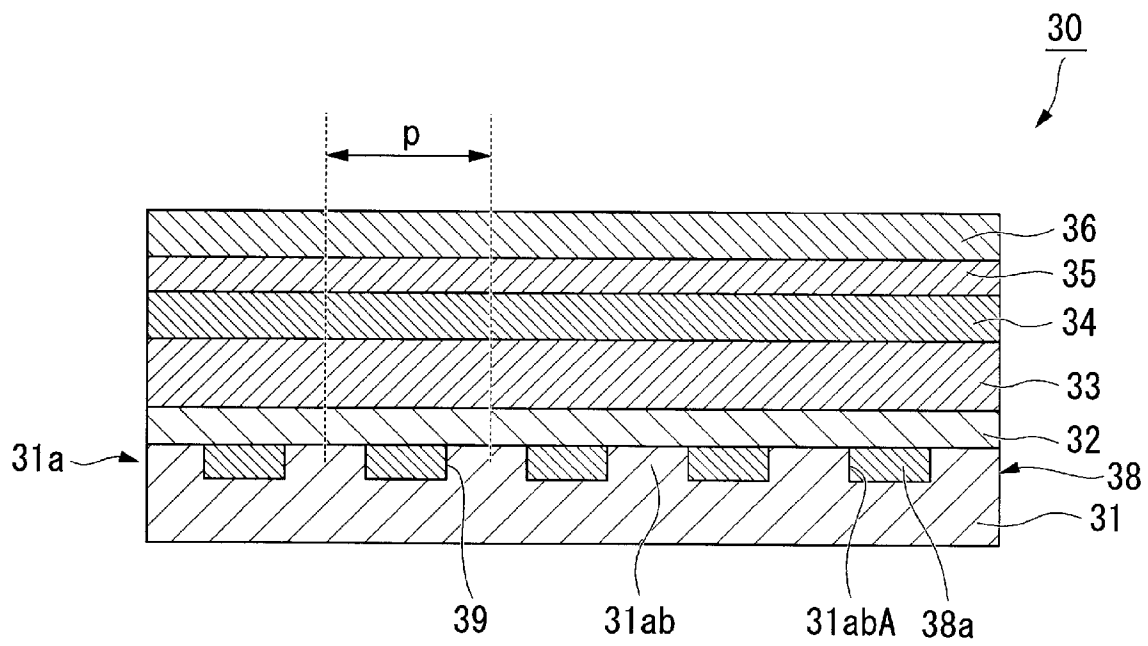
[図12]



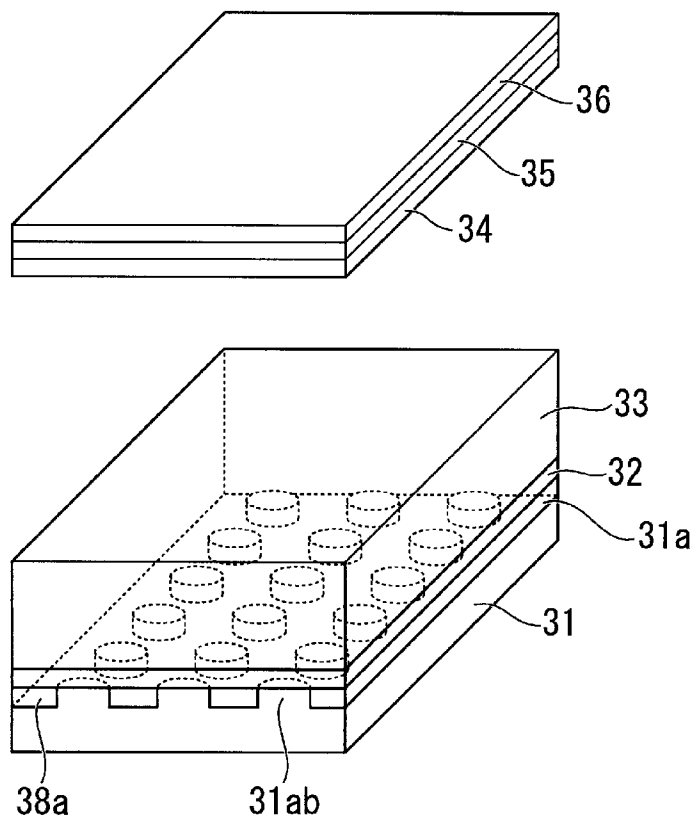
[図13]



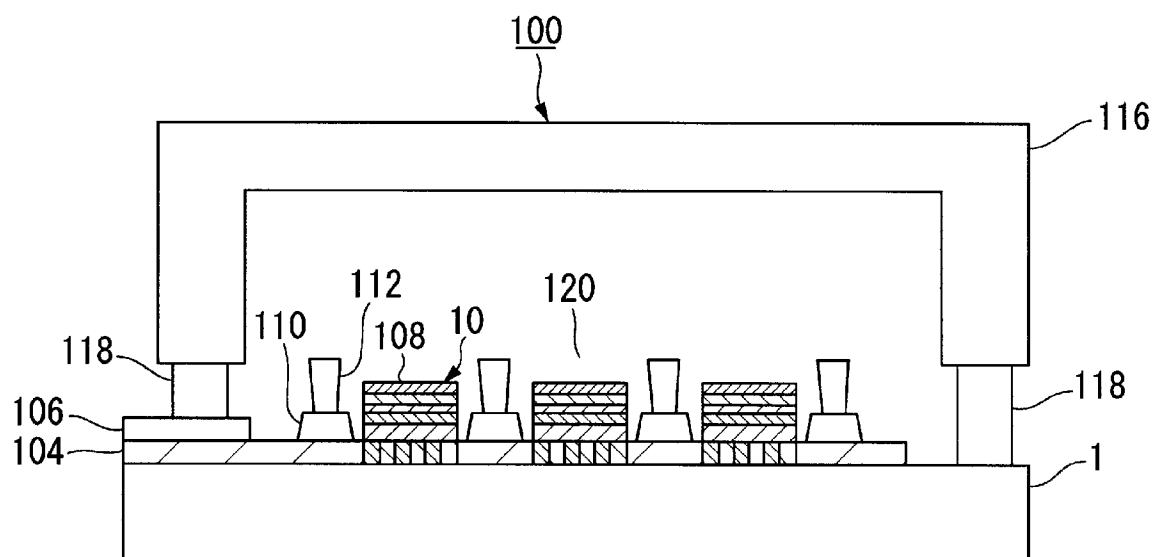
[図14]



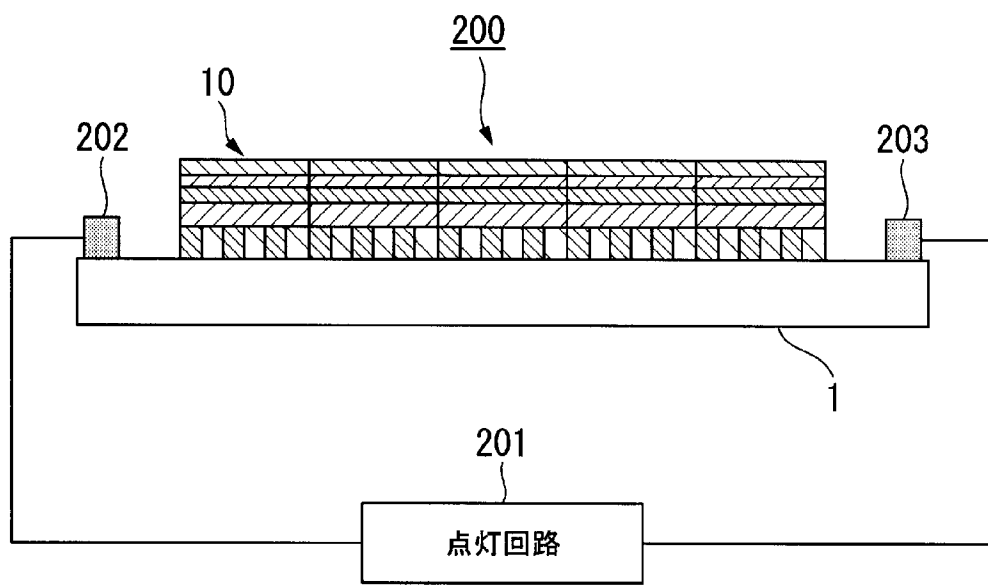
[図15]



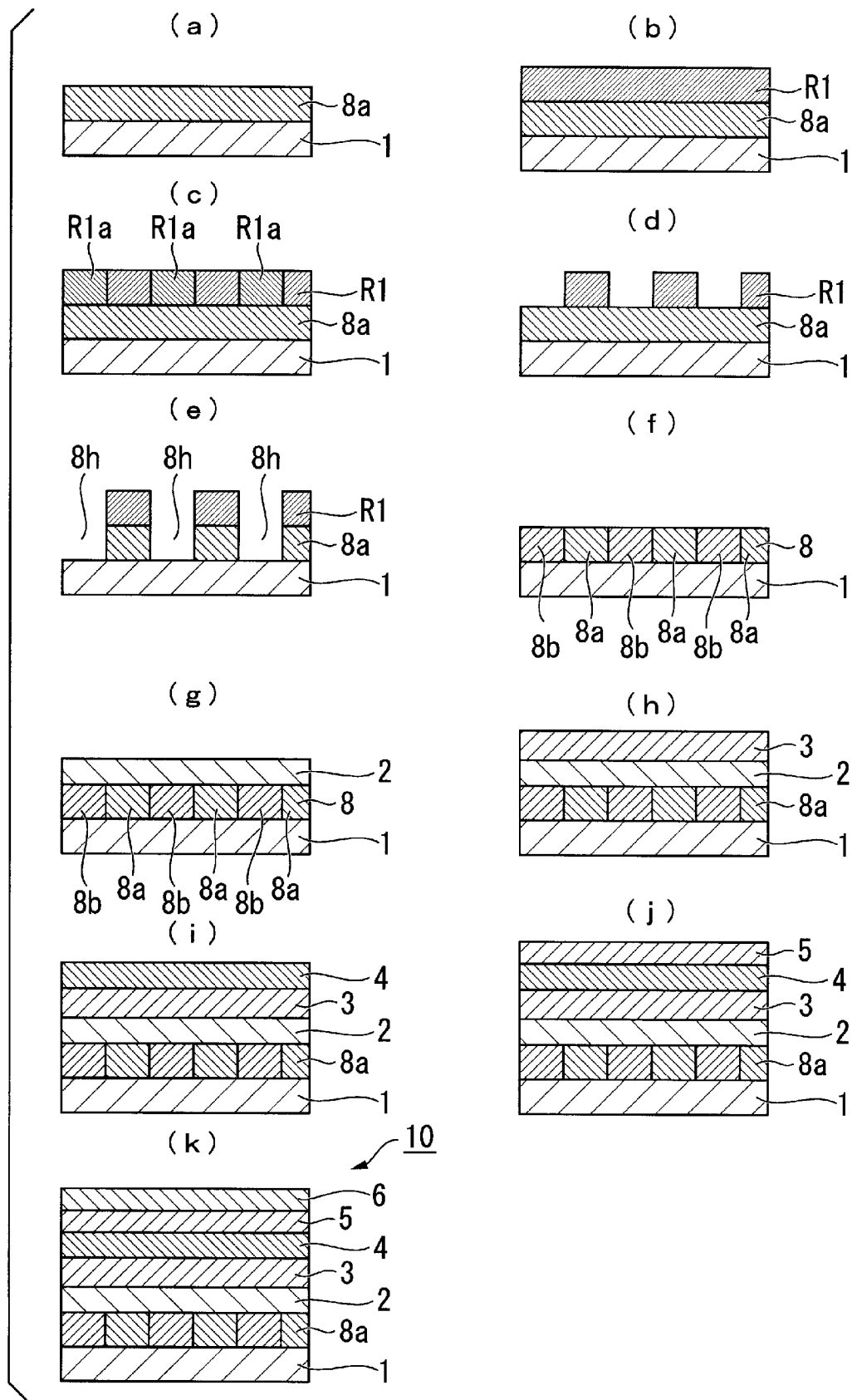
[図16]



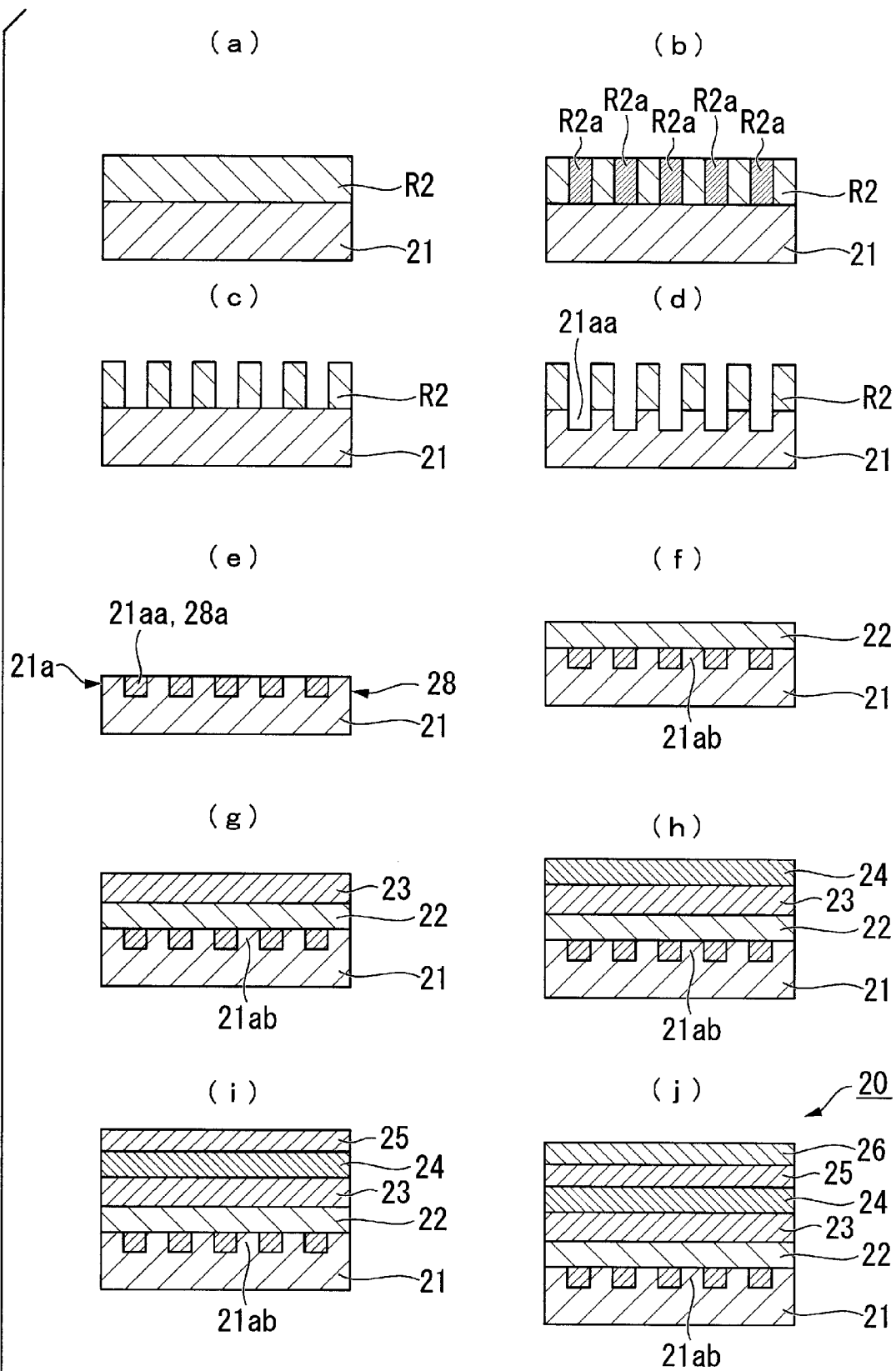
[图17]



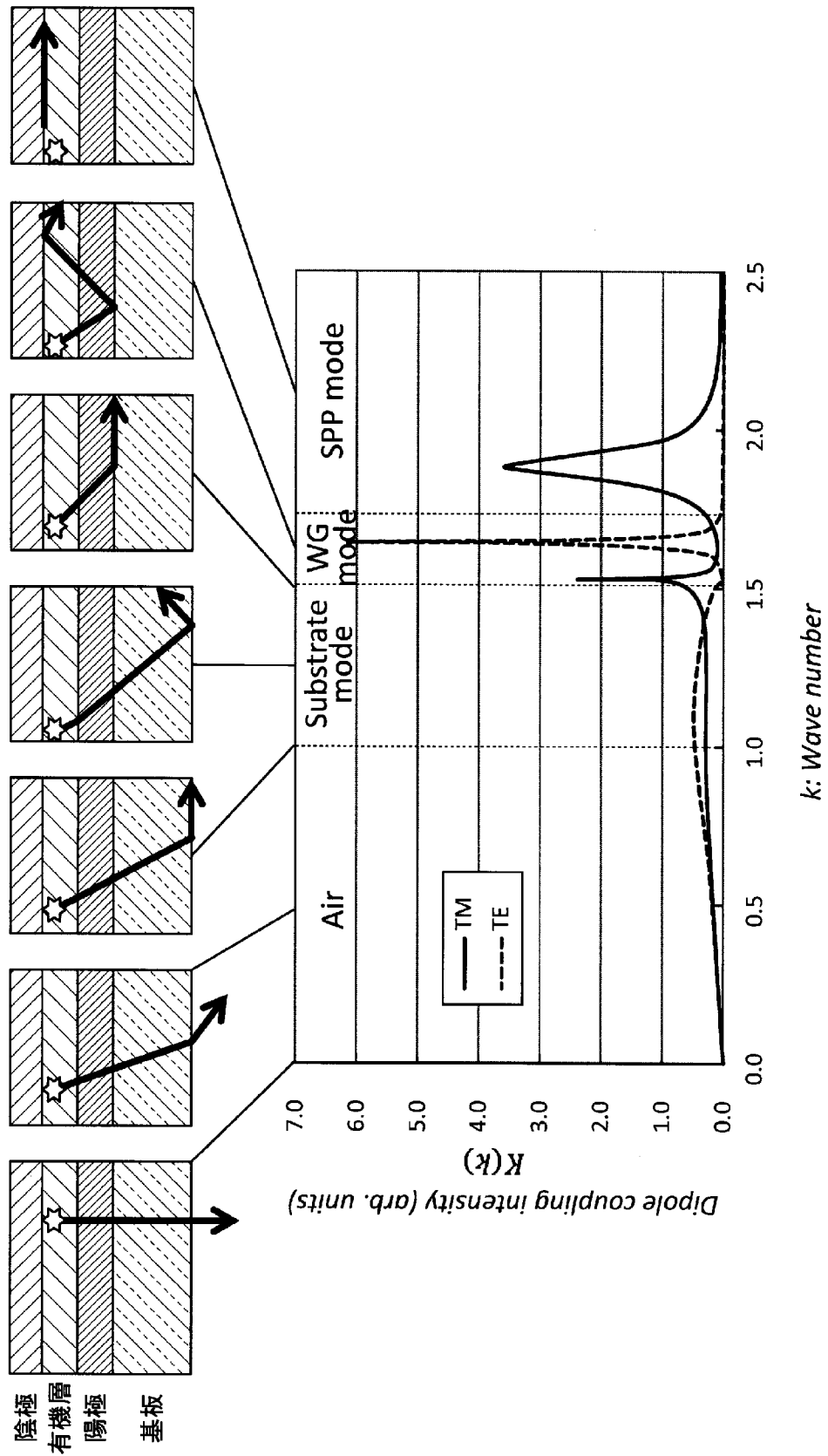
[図18]



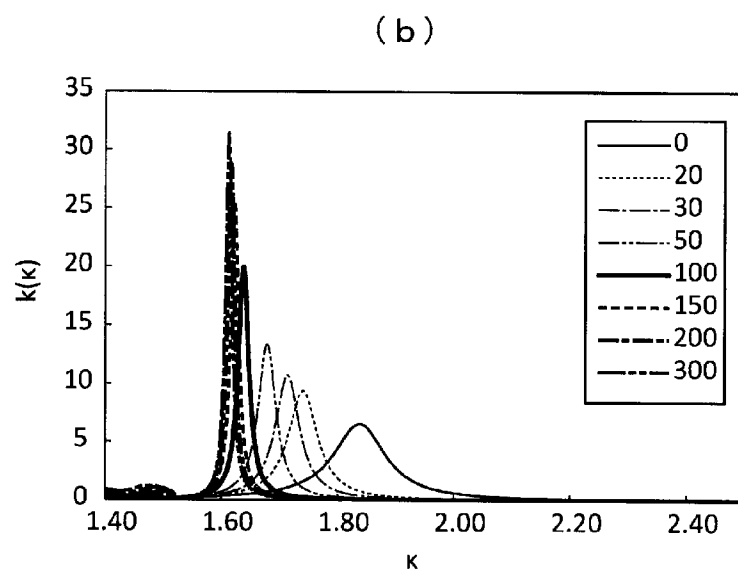
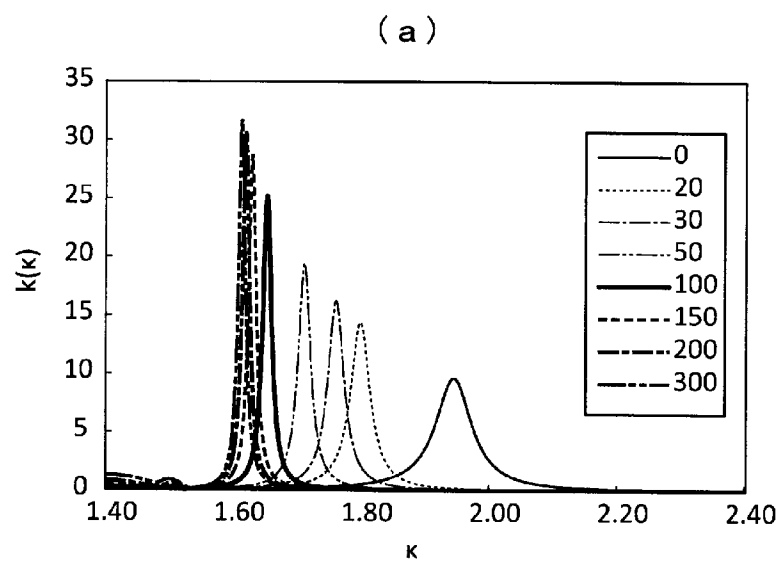
[図19]



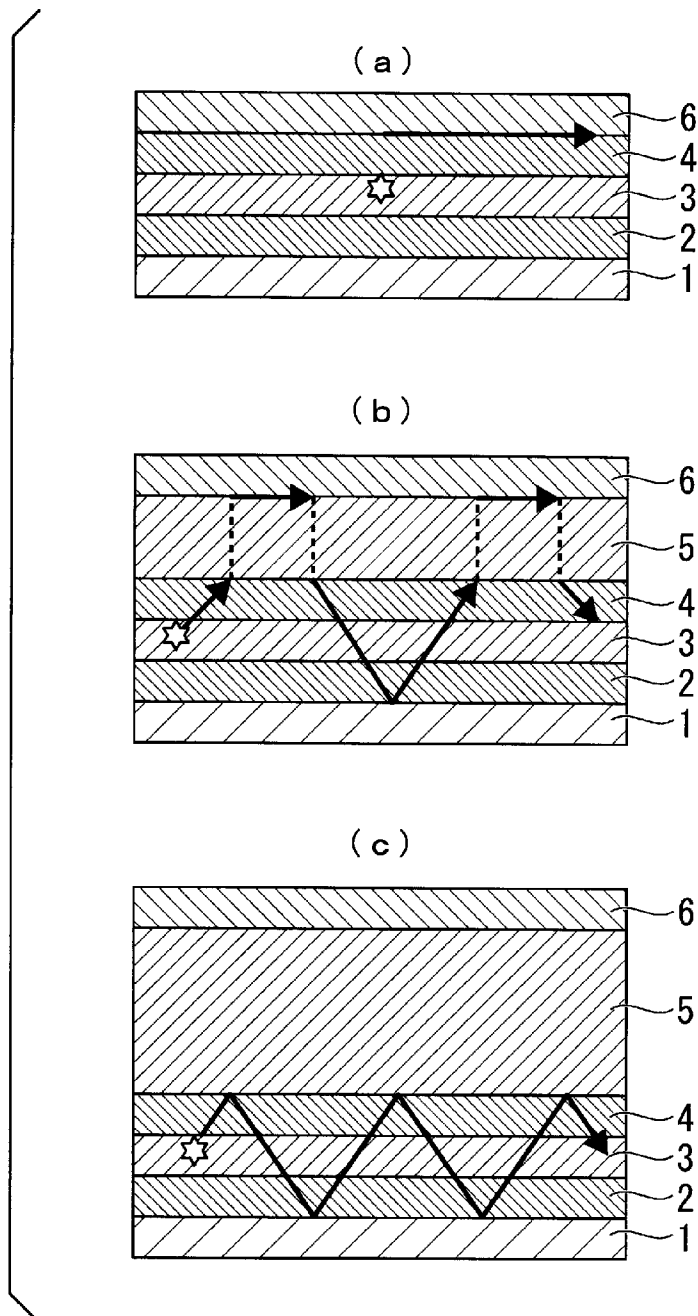
[図20]



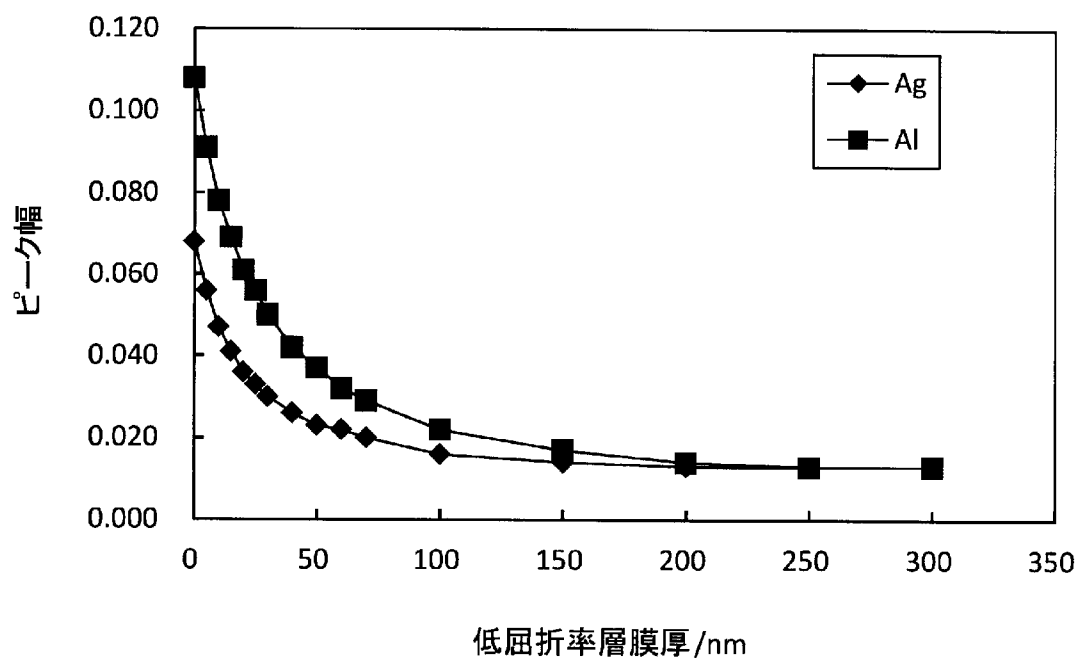
[図21]



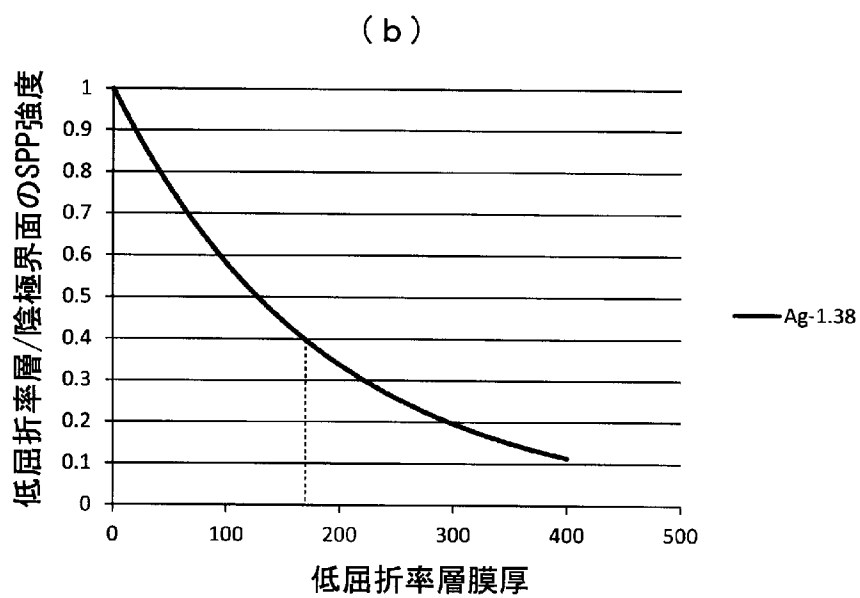
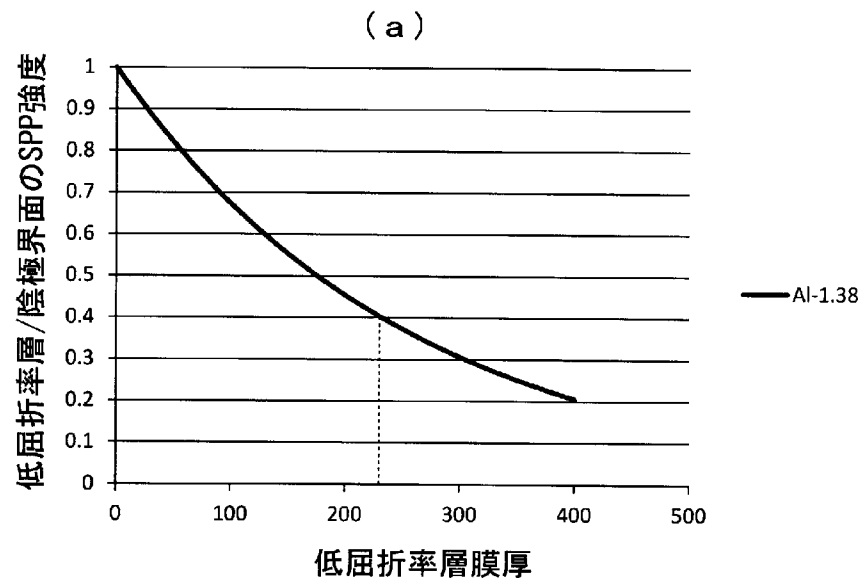
[図22]



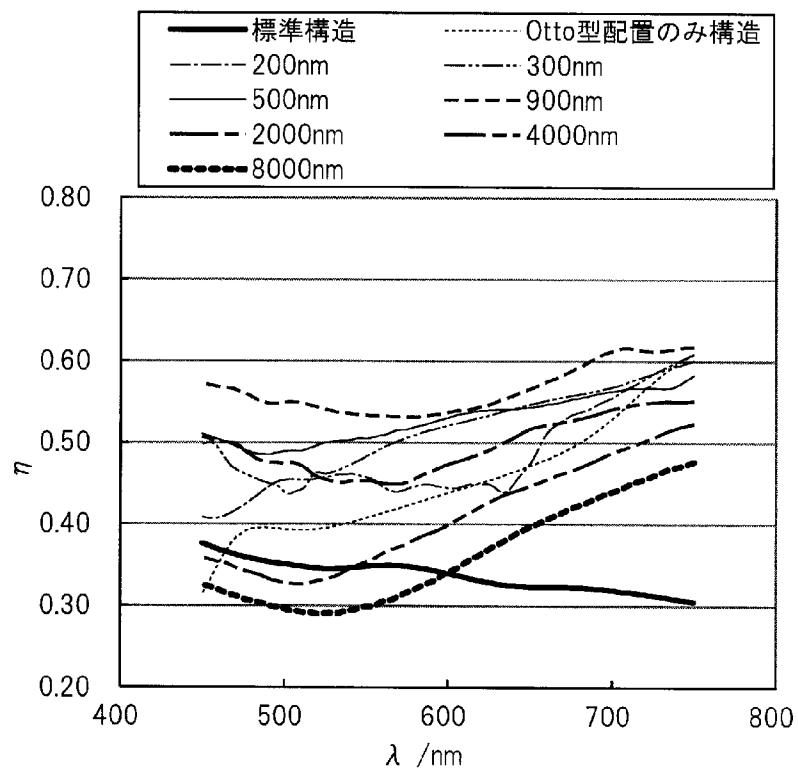
[図23]



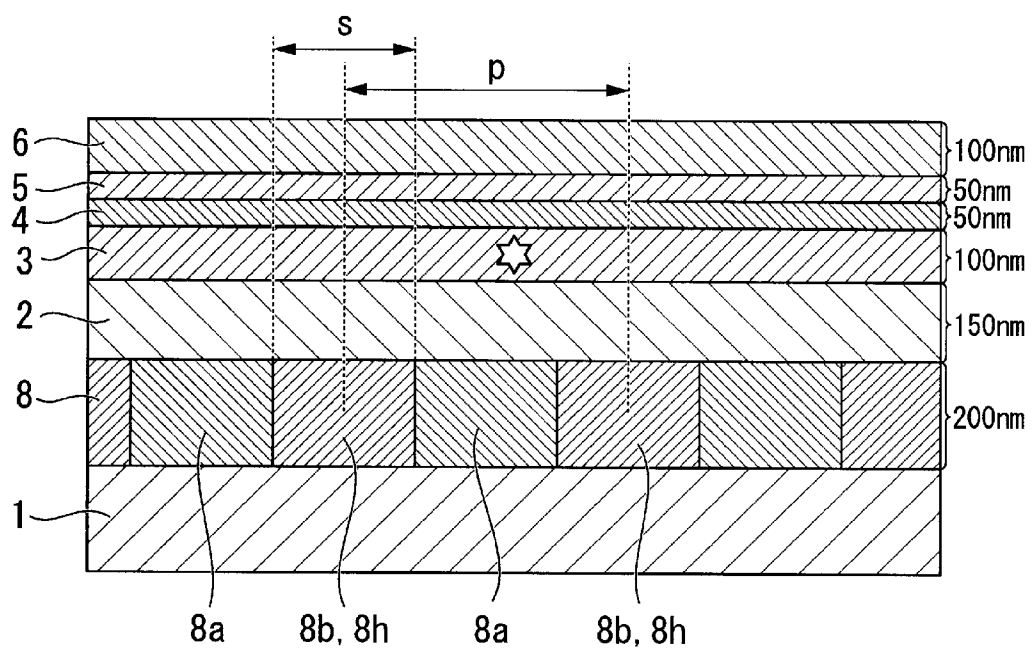
[図24]



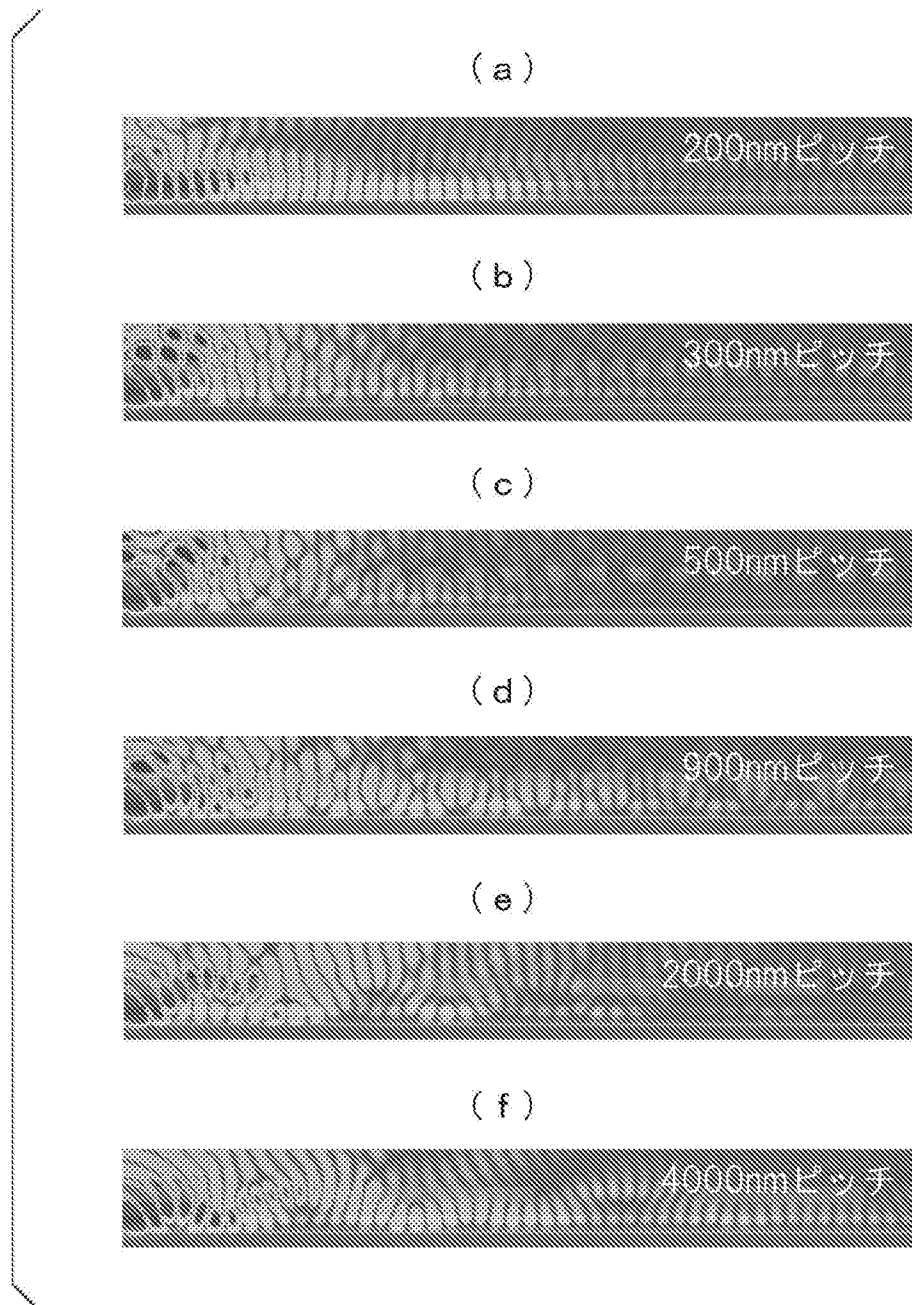
[図25]



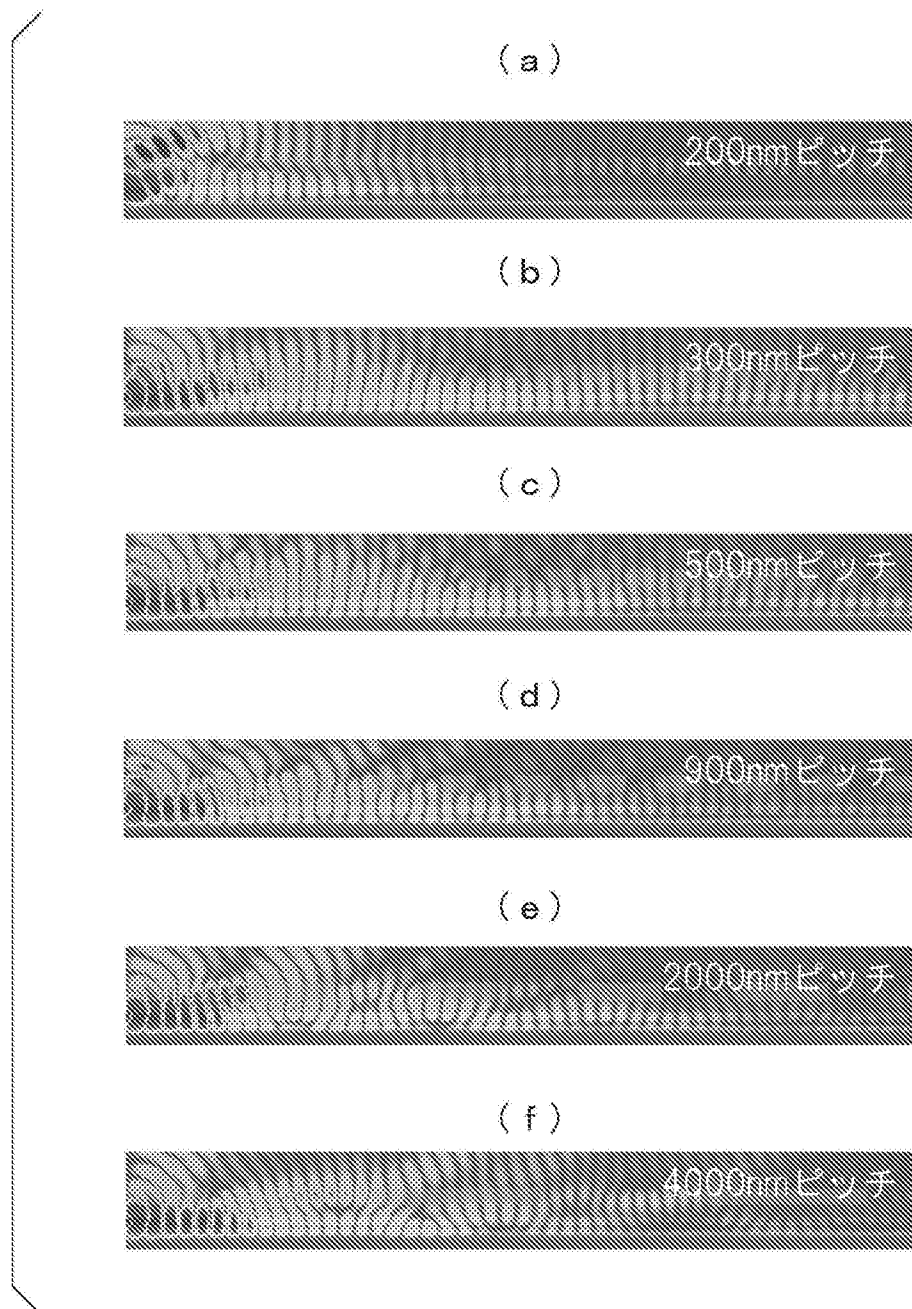
[図26]



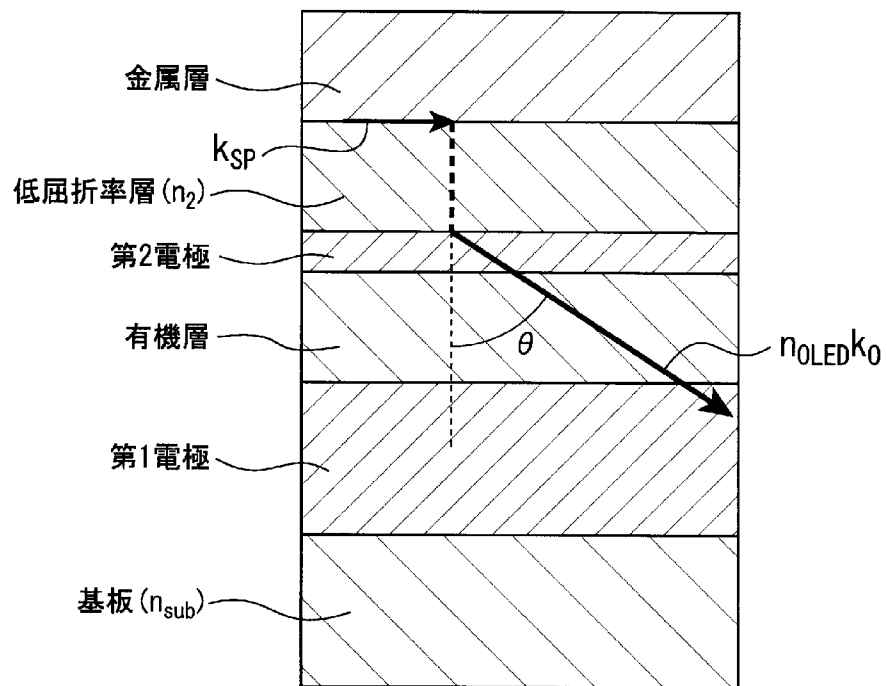
[図27]



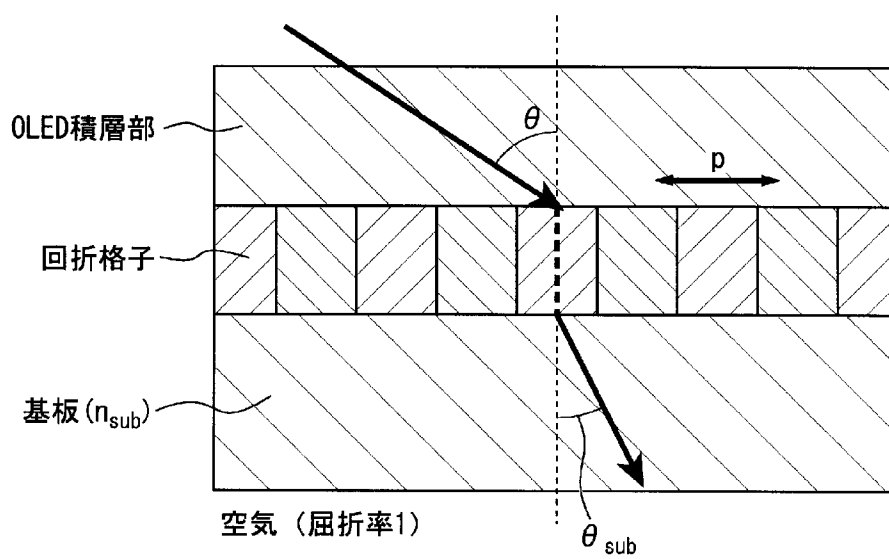
[図28]



[図29]



[図30]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/069820

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05B33/02(2006.01)i, H01L51/50(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)

H05B33/02, H01L51/50, H05B33/24

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2014

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

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.
Y	JP 2004-127942 A (Eastman Kodak Co.), 22 April 2004 (22.04.2004), paragraphs [0027], [0036], [0055]; fig. 8 & US 2004/0061136 A1 & EP 1406474 A1 & DE 60301466 T2 & KR 10-2004-0030359 A & CN 1498046 A & TW I301388 B	1-11
Y	JP 2004-311419 A (Kyoto University), 04 November 2004 (04.11.2004), paragraphs [0066], [0069] to [0076], [0085]; fig. 17 & US 2007/0120136 A1 & EP 1615472 A1 & WO 2004/086821 A1 & KR 10-2005-0121691 A & CN 1781339 A	1-11



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
22 September, 2014 (22.09.14)Date of mailing of the international search report
07 October, 2014 (07.10.14)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/069820

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 11-307266 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 05 November 1999 (05.11.1999), paragraphs [0069], [0071]; fig. 9 to 10 & US 6392338 B1	1, 4-11
A	JP 2013-145700 A (Canon Inc.), 25 July 2013 (25.07.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2012-038542 A (Canon Inc.), 23 February 2012 (23.02.2012), entire text; all drawings & US 2012/0032585 A1	1-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H05B33/02(2006.01)i, H01L51/50(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（I P C）） Int.Cl. H05B33/02, H01L51/50, 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 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 1 4 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 4 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 4 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	
Y	JP 2004-127942 A（イーストマン コダック カンパニー） 2004.04.22, 段落【0027】、【0036】、【0055】、図8 & US 2004/0061136 A1 & EP 1406474 A1 & DE 60301466 T2 & KR 10-2004-0030359 A & CN 1498046 A & TW I301388 B	1-11	
Y	JP 2004-311419 A（国立大学法人京都大学）2004.11.04, 段落【0066】、【0069】－【0076】、【0085】、図17 & US 2007/0120136 A1 & EP 1615472 A1 & WO 2004/086821 A1 & KR 10-2005-0121691 A & CN 1781339 A	1-11	
☒ 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 2 2 . 0 9 . 2 0 1 4		国際調査報告の発送日 0 7 . 1 0 . 2 0 1 4	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 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） 大竹 秀紀 電話番号 03-3581-1101 内線 3271	20 4074

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 11-307266 A (松下電器産業株式会社) 1999.11.05, 段落【0069】, 【0071】, 図9-10 & US 6392338 B1	1, 4-11
A	JP 2013-145700 A (キヤノン株式会社) 2013.07.25, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2012-038542 A (キヤノン株式会社) 2012.02.23, 全文全図 & US 2012/0032585 A1	1-11