

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5284036号  
(P5284036)

(45) 発行日 平成25年9月11日(2013.9.11)

(24) 登録日 平成25年6月7日(2013.6.7)

|                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| (51) Int.Cl.            | F I             |
| H O 5 B 33/26 (2006.01) | H O 5 B 33/26 Z |
| H O 5 B 33/24 (2006.01) | H O 5 B 33/24   |
| H O 1 L 51/50 (2006.01) | H O 5 B 33/14 A |

請求項の数 4 (全 28 頁)

|              |                               |           |  |
|--------------|-------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号    | 特願2008-278327 (P2008-278327)  | (73) 特許権者 | 000001007<br>キヤノン株式会社<br>東京都大田区下丸子3丁目30番2号 |
| (22) 出願日     | 平成20年10月29日(2008.10.29)       | (74) 代理人  | 100096828<br>弁理士 渡辺 敬介                     |
| (65) 公開番号    | 特開2009-140913 (P2009-140913A) | (74) 代理人  | 100110870<br>弁理士 山口 芳広                     |
| (43) 公開日     | 平成21年6月25日(2009.6.25)         | (72) 発明者  | 福田 浩一<br>東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ<br>ヤノン株式会社内   |
| 審査請求日        | 平成23年10月4日(2011.10.4)         | 審査官       | 中山 佳美                                      |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2007-295974 (P2007-295974)  |           |  |
| (32) 優先日     | 平成19年11月14日(2007.11.14)       |           |  |
| (33) 優先権主張国  | 日本国(JP)                       |           |  |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、前記基板の上に形成されている複数の発光素子とを有し、

前記発光素子は、前記基板の上に形成され反射電極である第1電極と、前記第1電極の上に形成されている発光層と、前記発光層の上に形成されている第2電極と、を有し、

前記発光層で発光する光を、前記反射電極と、前記発光層よりも前記第2電極側にある反射面との間で共振させる共振器構造を有する発光装置において、前記反射電極に、前記反射電極と前記反射面との間に生じた導波光を外部に取り出すための周期構造がさらに設けられ、

前記周期構造は、正方格子状に形成されており、

前記周期構造の周期は、125nm以上780nm以下であり、かつ、前記周期構造によって前記導波光が導波方向に対して90°よりも大きく180°未満の角度で回折された場合、前記回折された回折光の発光スペクトルは、90°よりも大きな角度となる方向において最大強度となる周期であることを特徴とする発光装置。

【請求項 2】

前記発光素子における発光領域には、前記周期構造を有する領域と平坦な領域とが形成されていることを特徴とする請求項1に記載の発光装置。

【請求項 3】

前記反射電極と前記反射面との間の距離が、70nm以上から715nm以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の発光装置。

10

20

## 【請求項 4】

前記発光素子が有機 EL 素子であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の発光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は発光装置に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

有機 EL 発光装置は、薄膜で自発光を特徴とした有機 EL 素子から構成され、新方式のフラットパネルディスプレイとして応用されている。有機 EL 素子は、陰極から電子を、陽極からホール（正孔）を有機層に注入し、有機層中の発光層で励起子を生成させ、これら励起子が基底状態にもどる際に光が放出される原理を利用している。発光層は、蛍光性有機化合物若しくは燐光性有機化合物、量子ドットなどの発光性材料から成る。

10

## 【0003】

このような有機 EL 発光装置の開発課題の一つとして、発光効率の向上がある。有機 EL 素子は、通常、陽極、発光層を含む有機層および陰極が 1 次元的に積層された構成をとる。このとき、空気の屈折率よりも発光層の屈折率（約 1.7 ~ 1.9 程度）の方が大きい。このため、発光層の内部から放出された光の大部分は、高屈折率から低屈折率へ変化する積層膜の界面で全反射されて、基板に水平な方向に伝播する導波光となり、素子内部に閉じ込められることになる。外部に取り出して利用できる光の割合（光取り出し効率）は、通常、約 20 % 程度でしかない。

20

## 【0004】

よって、有機 EL 発光装置の発光効率を改善するためには、この光取り出し効率を向上することが重要である。従来技術として、非特許文献 1 や非特許文献 2、非特許文献 3 などでは、有機 EL 素子に共振器構造を導入し、干渉効果を利用することで、光取り出し効率を向上できることが示されている。

## 【0005】

これらとは別の従来技術として、特許文献 1 などでは、全反射を防ぎ素子内部への光閉じ込めを抑制することを目的として、有機層の上部や下部（光取り出し側やその反対側）に周期構造（フォトリソニック結晶や回折格子など）を配置する方法が提案されている。

30

## 【0006】

【特許文献 1】特許第 2991183 号公報

【非特許文献 1】Appl. Phys. Lett. 69, 1997 (1996)

【非特許文献 2】Appl. Phys. Lett. 81, 3921 (2002)

【非特許文献 3】Appl. Phys. Lett. 88, 073517 (2006)

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

上記非特許文献 1 や非特許文献 2 の従来技術では、光取り出し効率を向上するために共振器の干渉効果を強めるに従い、有機 EL 素子の発光パターンに視野角依存性が強く生じ、角度によって発光色が変化してしまうという課題がある。

40

## 【0008】

また、特許文献 1 の従来技術においても、光取り出し効率を向上するために周期構造を配置すると、回折効果の波長依存性によって、有機 EL 素子の発光パターンに視野角依存性が強く生じ、角度によって発光色が変化してしまうという課題がある。

## 【0009】

本発明は、上記課題に鑑み、発光素子の光取り出し効率を向上し、発光色の視野角依存性を低減する発光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】

50

## 【 0 0 1 0 】

上記背景技術の課題を解決するための手段として、請求項 1 に記載した発明に係る発光装置は、

基板と、前記基板の上に形成されている複数の発光素子とを有し、

前記発光素子は、前記基板の上に形成され反射電極である第 1 電極と、前記第 1 電極の上に形成されている発光層と、前記発光層の上に形成されている第 2 電極と、を有し、

前記発光層で発光する光を、前記反射電極と、前記発光層よりも前記第 2 電極側にある反射面との間で共振させる共振器構造を有する発光装置において、

前記反射電極に、前記反射電極と前記反射面との間に生じた導波光を外部に取り出すための周期構造がさらに設けられ、

10

前記周期構造は、正方格子状に形成されており、

前記周期構造の周期は、125nm以上780nm以下であり、かつ、前記周期構造によって前記導波光が導波方向に対して90°よりも大きく180°未満の角度で回折された場合、前記回折された回折光の発光スペクトルは、90°よりも大きな角度となる方向において最大強度となる周期であることを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【 0 0 1 1 】

本発明によれば、発光素子の光取り出し効率を向上し、発光色の視野角依存性を低減することが可能となる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

20

## 【 0 0 1 2 】

以下、本発明の原理を構成例に基づいて説明する。

## 【 0 0 1 3 】

## &lt; 実施形態 1 &gt;

図 1 に、共振器構造と周期構造を合わせ持った有機 EL 発光装置の概略断面図を示す。なお、図示例では有機 EL 発光装置を示したが、無機 EL 発光装置や QD - LED 発光装置などであっても実施できる。

## 【 0 0 1 4 】

図 1 に示した有機 EL 発光装置を構成する有機 EL 素子（発光素子）は、基板 100 上に陽極である反射電極（第 1 電極）102 が形成されている。反射電極 102 には、基板 100 と反対側の面の一部に周期構造 300 が形成されており、反射電極上の透明電極 103B により覆われ平坦化されている。さらに、この陽極の周縁を覆うように絶縁部材から成る素子分離膜 110 が形成されている。素子分離膜 110 の開口部から露出する陽極の露出部上に、蛍光性有機化合物若しくは燐光性有機化合物を含む有機層 101 が積層され、陰極である金属半透明電極（第 2 電極）104 が形成されている。

30

## 【 0 0 1 5 】

本実施形態 1 の周期構造 300 は、図 2 に示すように、EL 発光領域 302 の内側に 2 次元フォトニック結晶構造（周期構造 300）領域と平坦領域とが混在する構造をとる。なお、図 1 の反射電極 102、有機層 101、金属半透明電極 104 が積層された部分に対応するのが、図 2 の EL 発光領域 302 である。

40

## 【 0 0 1 6 】

有機層 101 は、図 3 に示すように、通常、ホール輸送層 106、発光層 105（R 発光層 115、G 発光層 125、B 発光層 135）、電子輸送層 107 が積層された構成をとる。発光層 105 は、それぞれの発光色に応じた蛍光性有機化合物若しくは燐光性有機化合物を含む。また、必要に応じて陽極とホール輸送層 106 との間にホール注入層 108 を、陰極と電子輸送層 107 との間に電子注入層 109 を挟持してもよい。

## 【 0 0 1 7 】

これらの有機 EL 素子に電圧を印加すると、陽極から正孔が、陰極から電子が有機層 101 に注入される。注入された正孔と電子は発光層 105 において励起子を形成し、励起子が再結合する際に光（自然放出光）を放射する。ここで、図 1 に示した有機 EL 素子の

50

構成例では、発光点 201 に対して金属半透明電極 104 側が、光取り出し側となる。

#### 【0018】

図 1 に示した構成例では、有機層 101 を挟んで反射電極 102 が第 1 反射面に、金属半透明電極 104 が第 2 反射面となり、基板垂直方向に対して 1 次元的な光共振器が構成されている。発光点 201 に対して、金属半透明電極 104 側（第 2 電極側）が光取り出し側、反射電極 102 側（第 1 電極側）が反射面側となる。光共振器は、同時に、基板水平方向に対しては、プレーナ型の光導波路 301 として機能する。

#### 【0019】

発光点 201 から発せられた光は、光取り出し側への伝播光 202 と光導波路 301 を基板水平方向に伝わる導波光 203 となる。導波光 203 は、周期構造 300 によって、光取り出し側に回折光 204 として素子外部に取り出される。よって、図 4 に示すように、周期構造 300 が存在せず、導波光 203 が外部に取り出すことができない場合と比較して、素子外部へ取り出される光の割合（光取り出し効率）を向上させることができる。

#### 【0020】

周期構造 300 の周期は、後述するように、回折光 204 の回折角度が、導波光 203 の進行方向に対して、 $90^\circ$  より大きくなるように構成される。図 5 に示すように、基板法線を基準とすると負の角度となる。以下、導波光 203 の進行方向に対して、 $90^\circ$  より大きな方向への回折を、「負回折」と呼ぶ。よって、周期構造 300 の周期は、外部に取り出したい導波光に対して負回折光を生じるように構成される。

#### 【0021】

周期構造 300 がある部分では、図 5 に示すように、負回折光として素子外部へ放射される光は視野角の増加に伴い、長波長シフト (Red Shift) を生じる。一方、周期構造 300 がない部分では、図 6 に示すように、素子外部へ放射される伝播光 202 が、光共振器のため視野角の増加に伴い、短波長シフト (Blue Shift) を生じる。よって、この 2 つの効果を相殺させることにより、発光素子の視野角変化を抑制することができる。

#### 【0022】

したがって、本発明では、発光素子の光取り出し効率を向上し、発光色の視野角依存性を低減することが可能となる。

#### 【0023】

以下、より詳細な説明を行う。

#### 【0024】

周期構造 300 が存在しない部分では、基板垂直方向に 1 次元的な光共振器が構成される。光共振器中では、広角干渉と多重干渉の 2 つの干渉効果により、自然放出光の発光特性が変化する。広角干渉の概念図を図 7 に示す。発光点 201 からは、光取り出し側への発光 206 と反射面側への発光 207 が生じる。光反射側への発光 207 は、第 1 反射面である反射電極 102 によって上方に反射されて反射光 208 となり、光取り出し側への発光 206 との間で干渉を起こす。次に、多重干渉の概念図を図 8 に示す。発光点 201 からの発光は、第 1 反射面と第 2 反射面との間で複数回反射され、共振器中の多数の反射光との間で多重干渉を起こす。

#### 【0025】

光共振器を有する有機 EL 素子の波長（波数  $k = 2\pi/\lambda$ ）に対する発光強度  $I(k)$  は、数 1 の右辺に比例する。但し、光取り出し側となる第 2 反射面の複素反射係数を  $r_+ = |r_+| \exp(i\phi_+)$ 、光反射側となる第 1 反射面の複素反射係数を  $r_- = |r_-| \exp(i\phi_-)$ 、有機層 101 の屈折率を  $n$  とする。また、膜厚を  $d$ 、発光点 201 から第 1 反射面までの距離を  $d_1$ 、基板法線方向からの角度を  $\theta$  とする。数 1 右辺の分子は広角干渉の効果を表し、数 1 右辺の分母は多重干渉の効果を表している。

#### 【0026】

【数 1】

$$I(\lambda) \propto \left| \frac{1 + r_- \exp[i2nkd_- \cos \theta]}{1 - r_+ r_- \exp[i2nkd \cos \theta]} \right|^2$$

【0027】

数 1 の分子より、広角干渉の強め合いの干渉条件が、整数  $m_-$  として、数 2 で与えられる。また、数 1 の分母より、多重干渉の強め合いの干渉条件が、整数  $m$  として、数 3 で与えられる。ここで、 $\phi_-$  は第 1 反射面での位相シフト、 $\phi_+$  は第 2 反射面での位相シフトである。

10

【0028】

【数 2】

$$\frac{2nd_-}{\lambda} \cos \theta + \frac{\phi_-}{2\pi} = m_-$$

【0029】

【数 3】

$$\frac{2nd}{\lambda} \cos \theta + \frac{\phi_- + \phi_+}{2\pi} = m$$

20

【0030】

数 2、数 3 の干渉条件は、角度  $\theta$  が大きくなるにつれて、干渉を生じる波長  $\lambda$  が短波長シフト (Blue Shift) していくことを示している。よって、図 4 に示すように、周期構造 300 が存在しない部分では、1 次元的な光共振器のため、伝播光 202 は基板法線方向からの視野角  $\theta$  が大きくなるに伴い、短波長シフト (Blue Shift) を生じる。

【0031】

30

一方、周期構造 300 が存在する部分では、導波光 203 が周期構造 300 により回折光 204 として、素子外部に取り出される。ここで、回折光 204 が負回折となるための周期構造 300 の考察を行う。

【0032】

図 2 に示すように、本実施形態 1 では、周期構造 300 が存在する部分と存在しない部分から構成される。ここで、周期構造 300 の周期を規定する 2 つの基本格子ベクトルを  $a_1$ 、 $a_2$  とする。また、これらの基本格子ベクトル  $a_1$ 、 $a_2$  に対し、数 4 の関係を満たす基本逆格子ベクトルを  $b_1$ 、 $b_2$  とする。図 2 の例では、周期構造 300 が存在する部分と存在しない部分が、より大きな周期で配列された階層構造となっている。ここで、より大きな周期を規定する 2 つの基本格子ベクトルは  $A_1$ 、 $A_2$  である。導波光 203 が減衰により強度が半減する距離 (半減距離) は  $10 \mu\text{m}$  程度である。よって、周期構造 300 が存在しない部分で発光した光が、周期構造 300 まで到達して素子外部に取り出されるためには、2 つの基本格子ベクトル  $A_1$ 、 $A_2$  の大きさが、それぞれ  $10 \mu\text{m}$  以下であることが望ましい。さらに、図 2 の例では、上下左右で同じ視野角特性となるように、周期構造 300 が 4 回対称性を有する構造となっている。

40

【0033】

【数 4】

$$\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{b}_j = 2\pi \delta_{ij}, \quad (i, j = 1, 2)$$

【0034】

50

有機層 1 0 1 中の発光層からの発光ピーク波長を  $\lambda$  とし、波数を  $k = 2\pi / \lambda$  とする。  
また、発光層の屈折率を  $n$ 、光取り出し側媒体（通常は空気）の屈折率を  $n_{ext}$  とし、条件  $n > n_{ext}$  を満たすとする。

【 0 0 3 5 】

光導波路 3 0 1 を伝播する導波光 2 0 3 に対する基板 1 0 0 の水平方向への伝播係数を  $\beta$  とし、導波光 2 0 3 に対する有効屈折率  $n_{eff}$  及び有効吸収係数  $\kappa_{eff}$  を、数 5 により定義する。有効屈折率  $n_{eff}$  は、条件  $n_{ext} < n_{eff} < n$  を満たす。

【 0 0 3 6 】

【数 5】

$$\beta = (n_{eff} + i\kappa_{eff})k$$

10

【 0 0 3 7 】

このとき、回折条件は水平方向の位相整合条件から、2つの整数  $m_1$ 、 $m_2$  を回折次数とし、基板法線方向に対する回折角度を  $\theta$  として、条件  $n_{ext} < n_{eff} < n$  のもとで、数 6 で与えられる。

【 0 0 3 8 】

【数 6】

$$n_{eff} - n_{ext} \sin \theta = \frac{\lambda}{2\pi} |m_1 \mathbf{b}_1 + m_2 \mathbf{b}_2|$$

20

【 0 0 3 9 】

図 5 において、回折光 2 0 4 が負回折となる条件は、数 6 の回折条件より、概ね数 7 で与えられる。但し、周期構造を介して外部に取り出したい光のスペクトルのピーク波長を  $\lambda$ 、2つの整数  $m_1$ 、 $m_2$  を回折次数、基板法線方向に対する回折角度を  $\theta$  として、条件  $n_{ext} < n_{eff} < n$  のもととする。

【 0 0 4 0 】

ここで、負回折とは、導波光 2 0 3 の導波方向に対して、 $90^\circ$  よりも大きく、 $180^\circ$  未満の角度を有することである。さらに、周期構造を介して外部に取り出される光が、光導波路の導波方向に対して  $90^\circ$  よりも大きく  $180^\circ$  未満の方向で最大強度もしくは最大輝度となることが望ましい。

【 0 0 4 1 】

【数 7】

$$n_{ext} < \frac{\lambda}{2\pi} |m_1 \mathbf{b}_1 + m_2 \mathbf{b}_2| < n + n_{ext}$$

30

【 0 0 4 2 】

正方格子の場合は、周期を  $a$  として、基本格子ベクトル  $\mathbf{a}_1$ 、 $\mathbf{a}_2$  は数 8 となり、基本逆格子ベクトル  $\mathbf{b}_1$ 、 $\mathbf{b}_2$  は数 9 となる。

【 0 0 4 3 】

【数 8】

$$\mathbf{a}_1 = \begin{pmatrix} a \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{a}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ a \end{pmatrix}$$

【 0 0 4 4 】

40

【数 9】

$$\mathbf{b}_1 = \frac{2\pi}{a} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b}_2 = \frac{2\pi}{a} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

【0045】

この時、数6の回折条件は、数10となる。また、数7で表される負回折が生じるための条件は、数11となる。

【0046】

【数10】

10

$$n_{\text{eff}} - n_{\text{ext}} \sin \theta = \frac{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}{a} \lambda$$

【0047】

【数11】

$$\frac{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}{n + n_{\text{ext}}} \lambda < a < \frac{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}{n_{\text{ext}}} \lambda$$

20

【0048】

ここで、どちらか一方の1次元方向に着目し、 $m_2 = 0$ （もしくは、 $m_1 = 0$ ）および、 $|m_1| = m > 0$ （もしくは、 $|m_2| = m > 0$ ）とする。この時、数10の回折条件は、簡略化され数12となる。また、負回折が生じるための条件である数11は、簡略化され数13となる。

【0049】

【数12】

$$n_{\text{eff}} - n_{\text{ext}} \sin \theta = m \frac{\lambda}{a}$$

30

【0050】

【数13】

$$\frac{m}{n + n_{\text{ext}}} \lambda < a < \frac{m}{n_{\text{ext}}} \lambda$$

【0051】

40

有機EL素子の発光パターンや効率、色度などの制御を可能とするには、1次の負回折光のみを発生させ、また、導波光のモード数を少なくすることが望ましい。1次の負回折光のみを発生させる場合の条件式は、概ね数14で与えられる。有機EL素子では、通常、発光層の屈折率は $n = 1.6 \sim 2.0$ 程度、光取り出し側の屈折率は $n_{\text{ext}} = 1.0$ である。よって、主に1次の負回折光のみを利用する場合は、周期構造300の周期 $a$ は、概ね発光ピーク波長の $0.33$ 倍から $1.0$ 倍が望ましい。可視光の波長域が $380 \text{ nm}$ から $780 \text{ nm}$ であることから、周期構造300の周期 $a$ は、 $125 \text{ nm}$ 以上から $780 \text{ nm}$ 以下であることが望ましい。また、数3の多重干渉の強め合い条件を考慮した上で、導波光のモード数を少なくするには、第1反射面と第2反射面との間の光路長が、発光ピーク波長の $0.375$ 倍から $1.375$ 倍程度であることが望ましい。有機EL素子

50

では、第1反射面と第2反射面との間の屈折率は  $n = 1.5 \sim 2.0$  程度であるから、第1反射面と第2反射面との間の膜厚は、70 nm以上から715 nm以下であることが望ましい。

【0052】

【数14】

$$\frac{\lambda}{n + n_{ext}} < a < \frac{\lambda}{n_{ext}}$$

10

【0053】

数12の回折条件を波長  $\lambda$  で微分し、有効屈折率  $n_{eff}$  の波長依存性が少ないとして、 $dn_{eff}/d\lambda = 0$  と近似すると、数15となる。

【0054】

【数15】

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = - \frac{1}{n_{eff} \cos \theta} \frac{m}{a}$$

20

【0055】

負回折光が生じる場合は  $\theta < 0$  であるから、数15は絶対値  $|\theta|$  として数16となる。数16は、負回折を生じる場合、波長  $\lambda$  の増加に伴い回折角度の絶対値  $|\theta|$  が大きくなることを示す。よって、負回折光は視野角の増加に伴い、長波長シフト (Red Shift) を生じる。

【0056】

【数16】

$$\frac{d|\theta|}{d\lambda} = \frac{1}{n_{eff} \cos |\theta|} \frac{m}{a}$$

30

【0057】

したがって、負回折光の発生に伴い発光効率が向上すると同時に、光共振器による伝播光の短波長シフト (Blue Shift) と周期構造による負回折光の長波長シフト (Red Shift) により、発光色の視野角変化を抑制することが可能となる。

【0058】

以下、数値計算による評価例及び比較例を示す。電磁波の数値計算には、有機EL発光装置の断面を考え、FDTD法を用いた。波長範囲  $\lambda = 380 \text{ nm} \sim 780 \text{ nm}$  で、5 nm刻みで計算を行った。電磁波モードは、TE、TMモードで計算を行った。

40

【0059】

< 比較例1 >

比較例として、図4に、負回折光を生じる周期構造を有さない場合の構造を示す。基板100上に反射電極102 (Ag合金、膜厚200 nm)、反射電極上の透明電極103B (膜厚20 nm) が積層されている。ホール輸送層106 (膜厚155 nm)、G発光層121 (膜厚30 nm)、電子輸送層 (膜厚10 nm)、電子注入層 (膜厚30 nm) が積層されている。さらに金属半透明電極 (Ag合金、膜厚24 nm) が積層された構造である。

【0060】

図9に、波長  $\lambda = 540 \text{ nm}$ 、TEモードでの数値計算結果を示す。発光点から放出さ

50



れた光のうち、多くの部分が導波光 203 として素子内部に閉じ込められてしまうことが理解される。

#### 【0061】

ここで、導波光 203 の有効屈折率  $n_{\text{eff}}$  は約 1.62 であった。波長  $\lambda = 540 \text{ nm}$  での G 発光層 121 の屈折率  $n$  は約 1.94 であり、光取り出し側は空気で屈折率  $n_{\text{ext}}$  は 1.0 である。よって、条件  $n_{\text{ext}} < n_{\text{eff}} < n$  を満足している。

#### 【0062】

< 評価例 1 >

次に、本発明の評価例として、図 1 に示した反射電極 102 と反射電極上の透明電極 103B との界面に周期構造 300 が存在する構造の数値計算を行った。周期構造 300 の周期  $a$  が、250 nm、深さ 40 nm、幅 140 nm である。10 周期ごとに、周期構造 300 が存在する領域と平坦な領域とが交互に並んでいる。周期構造 300 以外の膜厚構成は、比較例 1 と同様である。

#### 【0063】

ここで、陽極と有機層 101 界面の平坦性を向上するために、反射電極上の透明電極 103B の膜厚を 80 nm 程度と厚めにし、これに伴い光路長を調整するためにホール輸送層 106 の膜厚を 85 nm 程度と薄くしてもよい。

#### 【0064】

図 11 に、発光波長  $\lambda = 540 \text{ nm}$ 、TE モードでの数値計算結果を示す。回折光波面 205 から、約  $-34^\circ$  方向へ負回折光が生じていることがわかる。これは、位相整合条件である数 12 から計算される 1 次回折光の回折角である約  $-33^\circ$  と良く一致する。

#### 【0065】

発光波長を  $\lambda = 520 \text{ nm}$ 、 $540 \text{ nm}$ 、 $560 \text{ nm}$  と変化させたときの TE モードでの数値計算結果を、図 10、図 11、図 12 にそれぞれ示す。回折波面 205 から求めた回折角を表 1 に示す。数 16 で示されているように、発光波長が長くなるのに伴い、回折角度の絶対値  $|\theta|$  が大きくなることがわかる。

#### 【0066】

##### 【表 1】

| 発光波長 | $\lambda = 520 \text{ nm}$ | $\lambda = 540 \text{ nm}$ | $\lambda = 560 \text{ nm}$ |
|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 回折角  | $\theta = -27^\circ$       | $\theta = -34^\circ$       | $\theta = -37^\circ$       |

#### 【0067】

評価例 1（周期構造あり）と比較例 1（周期構造なし）の発光スペクトルを図 13 に示す。評価例 1 のピーク強度が、比較例 1 のピーク強度に対して、約 1.8 倍となり、発光効率が向上することがわかる。

#### 【0068】

次に、評価例 1（周期構造あり）と比較例 1（周期構造なし）の視野角  $\theta$  に対する発光色の CIE 色度変化量  $\Delta u' v'$  の値を表 2 に、グラフを図 14 に示す。全ての視野角で、評価例 1 の CIE 色度変化量の方が、比較例 1 の CIE 色度変化量よりも小さく抑えられることがわかる。特に、評価例 1 では、視野角  $60^\circ$  以内での CIE 色度変化量  $\Delta u' v'$  が、全て 0.05 以下に抑えられている。さらに、視野角  $40^\circ$  以内での CIE 色度変化量  $\Delta u' v'$  が、全て 0.02 以下に抑えられている。

#### 【0069】

##### 【表 2】

| CIE 色度変化量 | $\Delta u' v' (\theta = 20^\circ)$ | $\Delta u' v' (\theta = 40^\circ)$ | $\Delta u' v' (\theta = 60^\circ)$ |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 評価例 1     | 0.008                              | 0.019                              | 0.044                              |
| 比較例 1     | 0.013                              | 0.037                              | 0.052                              |

10

20

30

40

50

## 【0070】

したがって、本発明により、発光素子の光取り出し効率を向上し、発光色の視野角依存性を低減することが可能となる。

## 【0071】

なお、これまでは、基板側を陽極、光取り出し側を陰極とする構成で説明してきたが、基板側を陰極、光取り出し側を陽極とし、ホール輸送層、発光層、電子輸送層を逆順に積層した構成においても本発明を実施することは可能である。したがって、本発明にかかる発光装置は基板側を陽極、光取り出し側を陰極とする構成に限定されるものではない。

## 【0072】

また、図3のホール輸送層106、発光層105、電子輸送層107、ホール注入層108、電子注入層109に用いられる有機化合物としては、低分子材料、高分子材料若しくはその両方により構成され、特に限定されるものではない。さらに、必要に応じて無機化合物を用いてもよい。

## 【0073】

さらに、周期構造300は、上述したように2次元的なフォトニック結晶構造に限定されず、1次元的な回折格子の組み合わせや3次元的なフォトニック結晶構造でもよい。また、図1では凹型のフォトニック結晶構造を示したが、図15のように凸型のフォトニック結晶構造でもよい。また、図40のように、周期構造を反射界面から離れた位置に構成しても良い。

## 【0074】

また、図16のように、異なる基本格子ベクトルを持つ複数種類の周期構造300を混在させてもよい。図16の例は、基本格子ベクトル $a_1$ 、 $a_2$ の周期構造と基本格子ベクトル $a'_1$ 、 $a'_2$ の周期構造を組み合わせた場合である。 $a'_1$ は $(a_1 + a_2) / 2^{1/2}$ 方向のベクトルであり、 $a'_2$ は $(-a_1 + a_2) / 2^{1/2}$ 方向のベクトルである。つまり、周期構造は、4回対称性を有する周期構造1と、周期構造1を45°回転した周期構造2を組み合わせた構造になっている。図16のように周期構造を配置することにより、発光素子の上下方向と左右方向の視野角特性だけでなく、発光素子の斜め方向の視野角特性も同じにすることができる。また、同様に、周期構造は、Nを自然数として、N回対称性を有する周期構造1と、周期構造1を180°/N回転した周期構造2を組み合わせた構造とすることができる。

## 【0075】

周期構造300は、完全に周期的である必要はなく、準結晶構造やフラクタル構造、連続的に周期構造が変化する構造、不規則な散乱構造、若しくは周期構造とこれらを組み合わせたものでもよい。

## 【0076】

さらに、光取り出し側の電極を金属半透明電極とする構成で説明してきたが、図17に示すように、光取り出し側の電極を透明電極（光透過電極）103とする構成においても本発明を実施可能である。この場合、透明電極103と空気との界面を第2反射面としている。さらに、図18に示すような金属半透明電極104と誘電体層104Bとの組み合わせでもよい。さらには、第1反射面と第2反射面のうち光取出し側に位置する反射面を、金属、透明電極、誘電体層のいずれかもしくは全部の組み合わせによる多層干渉膜とすることも可能である。

## 【0077】

さらに、基板側が光取出し側となるボトムエミッション構成においても本発明を実施可能である。図19では、発光層より基板側に位置する反射面に周期構造を配置する例としている。すなわち、基板100上に周期構造300を有する金属半透明電極104と反射電極上の透明電極103Bを形成し、その上に有機層101、反射電極102を積層したボトムエミッション構成を示している。

## 【0078】

さらに、図2において、金属からなる反射電極102と可視光の波長領域では誘電体と

10

20

30

40

50

みなせる反射電極上の透明電極 103B との界面（金属反射面）を基板水平方向に伝播し、導波光の一種と考えられる表面プラズモンが生じる。よって、反射電極 102 と反射電極上の透明電極 103B との界面を光導波路として利用可能である。表面プラズモンの伝播係数  $s_p$  を、数 5 の伝播係数 とすると、通常の導波光と同様に回折条件は数 6 で与えられる。表面プラズモンを生じる界面としては、金属と透明電極界面に限られず、金属と有機層界面や金属と誘電体層界面でも可能である。

#### 【0079】

##### <実施形態 2>

図 20 に、共振器構造と素子側面に周期構造を合わせ持った有機 EL 発光装置の概略断面図を示す。なお、図示例では有機 EL 発光装置を示したが、無機 EL 発光装置や QD-LED 発光装置などであっても実施できる。

10

#### 【0080】

図 20 に示した有機 EL 発光装置を構成する有機 EL 素子（発光素子）は、基板 100 上に陽極である反射電極（第 1 電極）102 と反射電極上の透明電極 103B が形成されている。この陽極の周縁を覆うように絶縁部材から成る素子分離膜（光透過部材）110 が形成されている。

#### 【0081】

さらに、素子分離膜 110 の基板 100 とは反対側の面に周期構造 300 が形成されている。さらに、素子分離膜 110 の開口部から露出する陽極の露出部上に、蛍光性有機化合物若しくは燐光性有機化合物を含む有機層 101 が積層され、陰極である透明電極（第 2 電極）103 が形成されている。

20

#### 【0082】

本実施形態 2 の周期構造 300 は、図 21 に示すように、EL 発光領域 302 の周辺に 2 次元的なフォトリソニック結晶構造をとる。なお、図 1 の反射電極 102、有機層 101、透明電極 103 が積層された部分に対応するのが、図 21 の EL 発光領域 302 である。

#### 【0083】

さらに前記周期構造 300 の底部と前記反射電極 102 との間に光導波路 301 が形成されている。この光導波路 301 はプレーナ型とされており、周期構造 300 のエッチングの深さを調整することで形成される。

#### 【0084】

有機層 101 は、図 3 に示すように、通常、ホール輸送層 106、発光層 105（R 発光層 115、G 発光層 125、B 発光層 135）、電子輸送層 107 が積層された構成をとる。発光層 105 は、それぞれの発光色に応じた蛍光性有機化合物若しくは燐光性有機化合物を含む。また、必要に応じて陽極とホール輸送層 106 との間にホール注入層 108 を、陰極と電子輸送層 107 との間に電子注入層 109 を挟持してもよい。

30

#### 【0085】

これらの有機 EL 素子に電圧を印加すると、陽極から正孔が、陰極から電子が有機層 101 に注入される。注入された正孔と電子は発光層 105 において励起子を形成し、励起子が再結合する際に光（自然放出光）を放射する。ここで、図 20 に示した有機 EL 素子の構成例では、発光点 201 に対して透明電極 103 側が、光取り出し側となる。

40

#### 【0086】

図 20 に示した構成例では、有機層 101 を挟んで反射電極 102 が第 1 反射面に、透明電極 103 と空気との界面が第 2 反射面となり、基板垂直方向に対して 1 次元的光共振器が構成されている。発光点 201 に対して、透明電極 103 側が光取り出し側、反射電極 102 側が反射面側となる。光共振器は、同時に、基板水平方向に対しては、プレーナ型の光導波路としても機能し、素子分離膜 110 に形成されている光導波路 301 と連結している。

#### 【0087】

発光点 201 から発せられた光は、光取り出し側への伝播光 202 と光導波路 301 を基板水平方向に伝わる導波光 203 となる。導波光 203 は、周期構造 300 よって、光

50

取り出し側に回折光 204 として素子外部に取り出される。よって、図 22 に示すように、周期構造 300 が存在せず、導波光 203 が外部に取り出すことができない場合と比較して、素子外部へ取り出される光の割合（光取り出し効率）を向上させることができる。

【0088】

周期構造 300 の周期は、実施形態 1 と同様に、外部に取り出したい導波光に対して負回折光を生じるように構成される。

【0089】

周期構造 300 が存在する部分では、図 23 に示すように、負回折光として素子外部へ放射される光は視野角の増加に伴い、長波長シフト (Red Shift) を生じる。一方、素子分離膜 110 の開口部では、図 24 に示すように、素子外部へ放射される伝播光 202 は、光共振器のため視野角の増加に伴い、短波長シフト (Blue Shift) を生じる。よって、この 2 つの効果を相殺させることにより、発光素子の視野角変化を抑制することができる。

【0090】

したがって、本発明では、発光素子の光取り出し効率を向上し、発光色の視野角依存性を低減することが可能となる。数 1 から数 16 までの詳細な説明は、実施形態 1 と同様である。

【0091】

以下、数値計算による評価例及び比較例を示す。電磁波の数値計算には、有機 EL 発光装置の断面を考え、FDTD 法を用いた。波長範囲 = 380 nm ~ 780 nm で、5 nm 刻みで計算を行った。電磁波モードは、TE、TM モードで計算を行った。

【0092】

< 比較例 2 >

比較例として、図 22 に、素子側面の素子分離膜 110 に周期構造を有さない場合の構造を示す。基板 100 上に反射電極 102 (Ag 合金、膜厚 200 nm)、反射電極上の透明電極 103B (膜厚 20 nm) が積層されている。ホール輸送層 106 (膜厚 20 nm)、B 発光層 131 (膜厚 20 nm)、電子輸送層 (膜厚 10 nm)、電子注入層 (膜厚 20 nm) が積層されている。さらに透明電極 103 (膜厚 60 nm) が積層された構造である。

【0093】

図 25 に、波長 = 460 nm、TE モードでの数値計算結果を示す。発光点から放出された光のうち、多くの部分が導波光 203 として素子内部に閉じ込められてしまうことが理解される。

【0094】

ここで、導波光 203 の有効屈折率  $n_{eff}$  は約 1.65 であった。波長 = 460 nm での B 発光層 131 の屈折率  $n$  は約 1.98 であり、光取り出し側は空気で屈折率  $n_{ext}$  は 1.0 である。よって、条件  $n_{ext} < n_{eff} < n$  を満足している。

【0095】

< 評価例 2 >

次に、本発明の評価例として、図 20 に示した素子側面の素子分離膜 110 に周期構造 300 が存在する構造の数値計算を行った。周期構造 300 の周期  $a$  が 230 nm、高さ 115 nm、幅 77 nm である。周期構造 300 以外の膜厚構成は、比較例 2 と同様である。

【0096】

図 27 に、発光波長 = 460 nm、TE モードでの数値計算結果を示す。回折光波面 205 から、約 -18° 方向へ負回折光が生じていることがわかる。これは、位相整合条件である数 12 から計算される 1 次回折光の回折角である約 -20° と良く一致する。

【0097】

発光波長を = 440 nm、460 nm、480 nm と変化したときの TE モードでの数値計算結果を、図 26、図 27、図 28 にそれぞれ示す。回折波面 205 から求めた

10

20

30

40

50

回折角を表 3 に示す。数 1 6 で示されているように、発光波長が長くなるのに伴い、回折角度の絶対値  $|\theta|$  が大きくなることわかる。

【 0 0 9 8 】

【表 3】

|      |                          |                          |                          |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 発光波長 | $\lambda = 440\text{nm}$ | $\lambda = 460\text{nm}$ | $\lambda = 480\text{nm}$ |
| 回折角  | $\theta = -11^\circ$     | $\theta = -18^\circ$     | $\theta = -23^\circ$     |

【 0 0 9 9 】

評価例 2（周期構造あり）と比較例 2（周期構造なし）の発光スペクトルを図 2 9 に示す。評価例 2 のピーク強度が、比較例 2 のピーク強度に対して、約 1 . 6 倍となり、発光効率が向上することがわかる。

【 0 1 0 0 】

本実施形態 2 のように、素子分離膜 1 1 0 に周期構造 3 0 0 を設置した場合に、回折光 2 0 4 として外部に取り出せる光は、導波光 2 0 3 の減衰のため素子分離膜と有機層との境界から約 1 0  $\mu\text{m}$  以内での発光に限定される。したがって、図 2 1 において、回折光領域 3 0 3 の拡大範囲も境界から約 1 0  $\mu\text{m}$  程度である。よって、E L 発光領域 3 0 2 の面積が非常に大きい場合には、周辺部の取り出し効率向上の寄与はほとんどない。逆に、1 5 0 p p i から 3 0 0 p p i 程度の高精細化に伴い、副画素サイズが百数十  $\mu\text{m}$  から数十  $\mu\text{m}$  四方に微細化されると、周辺部の取り出し効率向上の寄与が大きくなり、発光効率を向上することが可能となる。また、図 3 0 のように一つの副画素に、E L 発光領域 3 0 2 を複数存在させることで、周辺部の寄与を増加させ、発光効率を向上させてもよい。

【 0 1 0 1 】

次に、評価例 2（周期構造あり）と比較例 2（周期構造なし）の視野角  $\theta$  に対する発光色の C I E 色度変化量  $\Delta u' v'$  の値を表 4 に、グラフを図 3 1 に示す。全ての視野角で、評価例 2 の C I E 色度変化量の方が、比較例 2 の C I E 色度変化量よりも小さく抑えられることわかる。

【 0 1 0 2 】

【表 4】

|          |                                    |                                    |                                    |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| CIE色度変化量 | $\Delta u' v' (\theta = 20^\circ)$ | $\Delta u' v' (\theta = 40^\circ)$ | $\Delta u' v' (\theta = 60^\circ)$ |
| 評価例2     | 0.007                              | 0.052                              | 0.093                              |
| 比較例2     | 0.020                              | 0.071                              | 0.108                              |

【 0 1 0 3 】

したがって、本発明により、発光素子の光取り出し効率を向上し、発光色の視野角依存性を低減することが可能となる。

【 0 1 0 4 】

なお、これまでは、基板側を陽極、光取り出し側を陰極とする構成で説明してきたが、基板側を陰極、光取り出し側を陽極とし、ホール輸送層、発光層、電子輸送層を逆順に積層した構成においても本発明を実施することは可能である。したがって、本発明にかかる発光装置は基板側を陽極、光取り出し側を陰極とする構成に限定されるものではない。

【 0 1 0 5 】

また、図 3 のホール輸送層 1 0 6、発光層 1 0 5、電子輸送層 1 0 7、ホール注入層 1 0 8、電子注入層 1 0 9 に用いられる有機化合物としては、低分子材料、高分子材料若しくはその両方により構成され、特に限定されるものではない。さらに、必要に応じて無機化合物を用いてもよい。

【 0 1 0 6 】

さらに、周期構造 3 0 0 は、図 2 1 や図 3 2 のような 2 次元的なフォトニック結晶構造に限定されず、図 3 3 のような 1 次元的な回折格子の組み合わせや 3 次元的なフォトニッ

ク結晶構造でもよい。また、異なる基本格子ベクトルを持つ複数種類の周期構造 300 を混在させてもよい。周期構造 300 は、完全に周期的である必要はなく、準結晶構造やフラクタル構造、連続的に周期構造が変化する構造、不規則な散乱構造、若しくは周期構造とこれらを組み合わせたものでもよい。

【0107】

さらに、光取り出し側の電極を透明電極とする構成で説明してきたが、図34に示すように、光取り出し側の電極を金属半透明電極 104 とする構成においても本発明を実施可能である。さらには、光取り出し側に位置する半透明電極を、金属、透明電極、誘電体層のいずれかもしくは全部の組み合わせによる多層干渉膜とすることも可能である。

【0108】

さらに、図35に示すように、基板側が光取り出し側となるボトムエミッション構成においても本発明を実施可能である。

【0109】

さらに、図35において、金属からなる反射電極 102 と有機層 101 との界面や、反射電極 102 と素子分離膜 110 との界面を基板水平方向に伝播し、導波光の一種と考えられる表面プラズモンが生じる。よって、反射電極 102 と有機層 101 との界面や、反射電極 102 と素子分離膜 110 との界面を光導波路として利用可能である。表面プラズモンの伝播係数  $\kappa_{sp}$  を、数5の伝播係数  $\kappa$  とすると、通常の導波光と同様に回折条件は数6で与えられる。表面プラズモンを生じる界面としては、金属と透明電極界面に限られず、金属と有機層界面や金属と誘電体層界面でも可能である。

【0110】

なお、これまでは、有機EL素子で説明してきたが、半導体LEDや無機EL素子、QD-LEDでも本発明を実施することは可能である。

【実施例】

【0111】

以下、本発明の実施例について説明するが、本発明は本実施例によって何ら限定されるものではない。

【0112】

< 実施例 1 >

図36に示す構成のフルカラー有機EL発光装置を以下に示す方法で作製する。つまり、本実施例1の発光装置は、複数の画素を有し、前記画素が複数色（赤色発光、緑色発光、青色発光）の副画素からなる有機EL発光装置であって、前記副画素の少なくとも1つが有機EL素子により構成されている。

【0113】

まず、支持体としてのガラス基板上に、低温ポリシリコンからなるTFT駆動回路を形成し、その上にアクリル樹脂からなる平坦化膜を形成して基板 100 とする。基板 100 上に、反射電極 102 として、スパッタリングによりAg合金を約150nmの膜厚で形成する。Ag合金からなる反射電極 102 は、可視光の波長域（ $\lambda = 380\text{nm} \sim 780\text{nm}$ ）で分光反射率80%以上の高反射電極である。Ag合金以外に、Al合金などを用いてもよい。

【0114】

この反射電極 102 上に、まず、ポジ型のレジストをスピンコートしプリベークを行う。その後、レジストに図2に示すような正方格子の周期構造パターンを露光し、現像、ポストベークを行いレジストパターンを形成する。

【0115】

エッチング加工により、反射電極 102 表面に周期構造 300 を形成する。本実施例1では、R周期構造 310 は周期345nm、一辺の長さ200nm、エッチング深さ40nmとされる。G周期構造 320 は周期250nm、一辺の長さ140nm、エッチング深さ40nmとされる。B周期構造 330 は周期200nm、一辺の長さ145nm、エッチング深さ40nmとされる。また、各RGBで、10周期ごとに周期構造 300 が存

10

20

30

40

50

在する領域と平坦な領域とが交互に並んでいる。

【0116】

次に、IZOのリフトオフ加工により、周期構造300の凹状にへこんだエッチング部分を平坦化する。レジストパターンを残した状態で、スパッタリングにより透明導電性材料のIZOを40nmの膜厚で形成する。エッチング部分ではAg合金上にIZOを、エッチング部分以外ではレジスト上にIZOを形成する。その後、レジストを剥離し、レジスト上のIZOごとに取り除いて平坦化する。この上に、スパッタリングによりIZOを20nmの膜厚で形成して電極のパターニングをし、フォトニック結晶付きの陽極を形成する。

【0117】

図2のような正方格子では、各副画素の上下方向と左右方向とで周期構造310(320、330)の周期(配列)が等しい。そのため、発光装置を視認した場合、上下方向と左右方向とで同様の光学特性を得ることができ、視認性を高めることができる。また、逆に、上下方向と左右方向の周期が異なる四角格子としてもよい。この場合は、方向によって視認性を調整することが可能となる。さらに、図16のように、異なる正方格子を組み合わせることにより、上下方向、左右方向と斜め方向とで同様の光学特性を得ることができ、視認性を高めることができる。

【0118】

さらに、SiNxOyの素子分離膜110を320nmの膜厚で形成した後、各副画素にEL発光領域となる開口部をエッチングし、フォトニック結晶を配置した陽極基板を製作する。

【0119】

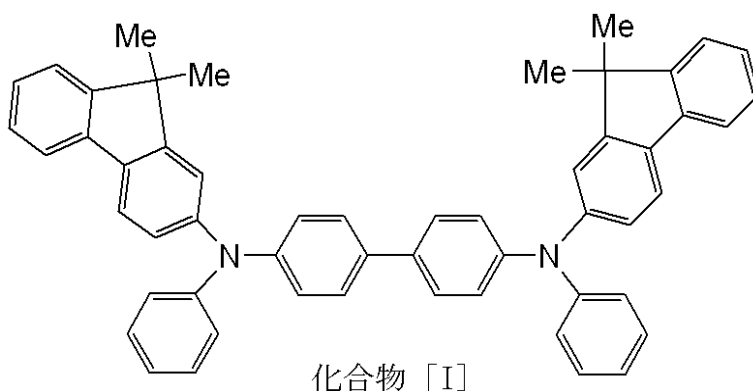
これをイソプロピルアルコール(IPA)で超音波洗浄し、次いで、煮沸洗浄後乾燥する。その後、UV/オゾン洗浄してからR、G、Bそれぞれの有機層111、121、131を真空蒸着により形成する。

【0120】

まず、下記構造式で示される化合物[I]を、シャドーマスクを用いて各副画素に、Rホール輸送層として215nmの膜厚、Gホール輸送層として155nmの膜厚、Bホール輸送層として105nmの膜厚で形成する。この際の真空度は $1 \times 10^{-4}$ Pa、蒸着レートは、0.2nm/secである。

【0121】

【化1】



【0122】

次に、発光層として、シャドーマスクを用いて、R、G、Bそれぞれの発光層を形成する。R発光層としては、以下に示すホストと燐光発光性化合物とを共蒸着して膜厚30nmの発光層を形成する。

ホスト：4,4'-Bis(N-carbazole)biphenyl(以下、CBPと呼ぶ)

燐光発光性化合物：Bis[2-(2'-benzothienyl)pyridi

nato - N , C 3 ] ( a c e t y l a c e t o n a t o ) I r i d i u m ( 以下、B t p<sub>2</sub>Ir ( a c a c ) と呼ぶ )

G 発光層としては、以下に示すホストと発光性化合物とを共蒸着して 3 0 n m の膜厚で発光層を形成する。

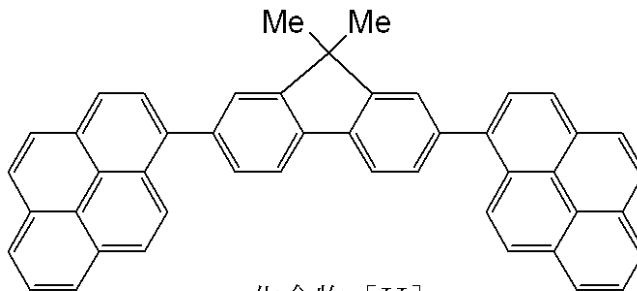
ホスト : t r i s - ( 8 - h y d r o x y q u i n o l i n e ) A l u m i n u m ( 以下、A l q<sub>3</sub> と呼ぶ )

発光性化合物 : 3 - ( 2 ' - B e n z o t h i a z o l y l ) - 7 - N , N - d i e t h y l a m i n o c o u m a r i n ( 以下、クマリン 6 と呼ぶ )

B 発光層としては、ホストとして下記に示す化合物 [ I I ] と発光性化合物 [ I I I ] とを共蒸着して 3 0 n m の膜厚で発光層を形成する。蒸着時の真空度は  $1 \times 10^{-4}$  P a 、成膜速度は 0 . 2 n m / s e c である。

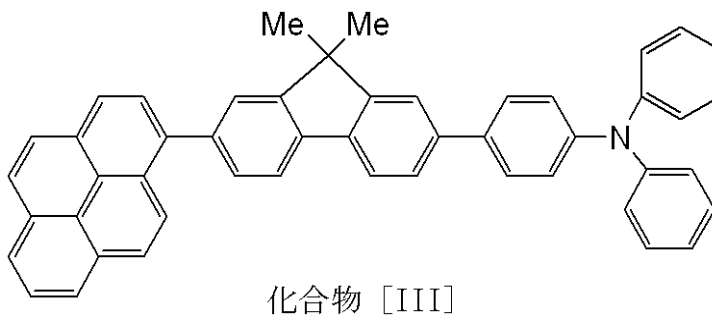
【 0 1 2 3 】

【 化 2 】



【 0 1 2 4 】

【 化 3 】



【 0 1 2 5 】

さらに、共通の電子輸送層として、1、10 - B a t h o p h e n a n t h r o l i n e ( 以下、B P h e n と呼ぶ ) を真空蒸着法にて 1 0 n m の膜厚で形成する。蒸着時の真空度は  $1 \times 10^{-4}$  P a 、成膜速度は 0 . 2 n m / s e c である。次に、共通の電子注入層として、B P h e n と C s<sub>2</sub>C O<sub>3</sub> とを共蒸着 ( 重量比 9 0 : 1 0 ) し、3 0 n m の膜厚で形成する。蒸着時の真空度は  $3 \times 10^{-4}$  P a 、成膜速度は 0 . 2 n m / s e c である。

【 0 1 2 6 】

電子注入層まで形成した基板を、真空を破ること無しにスパッタ装置に移動し、金属半透明電極 1 0 4 として、スパッタリングにより A g 合金を 2 4 n m の膜厚で形成する。

【 0 1 2 7 】

さらに、図 1 8 のように誘電体層 1 0 4 B として、スパッタリングによりシリカを 2 9 0 n m の膜厚で形成する。

【 0 1 2 8 】

さらに、発光装置の周辺部に吸湿剤を配置し、エッチングされたキャップガラスで封止することにより、有機 E L 発光装置を得る。

【 0 1 2 9 】

< 実施例 2 >

10

20

30

40

50



レジストパターンの形成までは、実施例 1 と同様である。

#### 【0130】

リフトオフ加工によって、反射電極 102 表面に、図 15 に示すような上に凸型の周期構造 300 を形成する。スパッタリングにより Ag 合金を 20 nm の膜厚で形成する。ポジ型レジストの露光部分では反射電極 102 上に Ag 合金が、ポジ型レジストの露光部分以外ではレジスト上に Ag 合金が形成される。その後、レジストを剥離し、レジスト上の Ag 合金ごとに取り除いて、上に凸型の周期構造 300 を形成する。

#### 【0131】

本実施例 2 では、R 周期構造 310 は周期 345 nm、一辺の長さ径 200 nm、高さ 20 nm とされる。G 周期構造 320 は周期 250 nm、一辺の長さ径 140 nm、高さ 20 nm とされる。B 周期構造 330 は周期 200 nm、一辺の長さ 145 nm、高さ 20 nm とされる。また、各 RGB で、10 周期ごとに周期構造 300 が存在する領域と平坦な領域とが交互に並んでいる。

10

#### 【0132】

次に、剥離剤によりレジストパターンを取り除く。スパッタリングにより透明導電性材料の IZO を 80 nm の膜厚で形成して電極のパターニングをし、フォトリソグラフィ付きの陽極を形成する。反射電極上の周期構造 300 の高さを低くし、反射電極上の透明電極 103B の膜厚を厚くすることで、平坦性を向上させる。

#### 【0133】

さらに、 $\text{SiN}_x\text{O}_y$  の素子分離膜 110 を 320 nm の膜厚で形成した後、各副画素に EL 発光領域となる開口部をエッチングし、フォトリソグラフィ付きの陽極基板を作製する。

20

#### 【0134】

これをイソプロピルアルコール (IPA) で超音波洗浄し、次いで、煮沸洗浄後乾燥する。その後、UV / オゾン洗浄してから R、G、B それぞれの有機層 111、121、131 を真空蒸着により形成する。

#### 【0135】

化合物 [I] を、シャドーマスクを用いて各副画素に、R ホール輸送層として 150 nm の膜厚、G ホール輸送層として 90 nm の膜厚、B ホール輸送層として 40 nm の膜厚で形成する。この際の真空度は  $1 \times 10^{-4}$  Pa、蒸着レートは、0.2 nm / sec である。発光層の形成から電子注入層の形成までは、実施例 1 と同様である。

30

#### 【0136】

電子注入層まで形成した基板を、真空を破ること無しにスパッタ装置に移動し、金属半透明電極 104 として、スパッタリングにより Ag 合金を 20 nm の膜厚で形成する。

#### 【0137】

さらに、図 18 のように誘電体層 104B として、スパッタリングによりシリカを 70 nm の膜厚で形成する。

#### 【0138】

さらに、発光装置の周辺部に吸湿剤を配置し、エッチングされたキャップガラスで封止することにより、有機 EL 発光装置を得る。

40

#### 【0139】

##### < 実施例 3 >

図 37 に実施例 3 の有機 EL 発光装置の構成図を示す。ホール輸送層の形成までは、実施例 1 と同様である。次に、CBP と Bis [ (4,6-difluorophenyl) pyridinato - N, C<sub>2</sub> ] (picolinato) Iridium (以下、F Ir pic と呼ぶ) (重量比 94 : 6) とを共蒸着する。これにより共通の 3 色積層型白色 (W) 発光層を膜厚 25 nm で形成する。そして、CBP と Btp<sub>2</sub>Ir (acac) (重量比 92 : 8) とを共蒸着により 2 nm の膜厚で形成する。さらに、CBP と Bis (2-phenylbenzothiazolato - N - C<sub>2</sub>) Iridium (acetylacetonate) (以下、Btp<sub>2</sub>Ir (acac) と呼ぶ) (重量比 92

50

： 8 ）とを共蒸着により 2 n m の膜厚で形成し積層構造とする。電子輸送層の形成以降は、実施例 1 と同様である。

#### 【 0 1 4 0 】

つまり、本実施例の有機 E L 発光装置は各副画素に W 有機層 1 7 1 が形成されており、白色の有機 E L 素子を有する構成とされている。

#### 【 0 1 4 1 】

##### < 比較例 3 >

反射電極 1 0 2 の形成までは、実施例 1 と同様である。スパッタリングにより I Z O を 2 0 n m の膜厚で形成して電極のパターニングをし、陽極を形成する。ホール輸送層の形成以降は、実施例 1 と同様である。つまり、周期構造を有さない構成とされている。

#### 【 0 1 4 2 】

表 5 に、実施例 1 と比較例 3 における各 R G B 副画素の発光強度比（発光スペクトルのピーク波長での強度比）と C I E 色度変化量  $u' v'$ （視野角 = 6 0 °）の数値計算による評価値を示す。R G B 副画素の全てで、発光効率が向上し、色度変化が低減している。

#### 【 0 1 4 3 】

##### 【表 5】

|      |          | R     | G     | B     |
|------|----------|-------|-------|-------|
| 実施例1 | 発光強度     | 1.79  | 1.78  | 1.77  |
|      | CIE色度変化量 | 0.014 | 0.044 | 0.069 |
| 比較例3 | 発光強度     | 1.0   | 1.0   | 1.0   |
|      | CIE色度変化量 | 0.024 | 0.052 | 0.084 |

#### 【 0 1 4 4 】

##### < 実施例 4 >

図 3 8 に示す構成のフルカラー有機 E L 発光装置を以下に示す方法で作製する。つまり、本実施例 4 の発光装置は、複数の画素を有し、前記画素が複数色（赤色発光、緑色発光、青色発光）の副画素からなる有機 E L 発光装置であって、前記副画素の少なくとも 1 つが有機 E L 素子により構成されている。

#### 【 0 1 4 5 】

まず、支持体としてのガラス基板上に、低温ポリシリコンからなる T F T 駆動回路を形成し、その上にアクリル樹脂からなる平坦化膜を形成して基板 1 0 0 とする。基板 1 0 0 上に、反射電極 1 0 2 として、スパッタリングにより A g 合金を約 1 5 0 n m の膜厚で形成する。A g 合金からなる反射電極 1 0 2 は、可視光の波長域（ = 3 8 0 n m ~ 7 8 0 n m ）で分光反射率 8 0 % 以上の高反射電極である。A g 合金以外に、A l 合金などを用いてもよい。

#### 【 0 1 4 6 】

この反射電極 1 0 2 上に、スパッタリングにより反射電極上の透明電極として I Z O を 2 0 n m の膜厚で形成して、電極のパターニングをし、陽極を形成する。

#### 【 0 1 4 7 】

次に、 $S i N_x O_y$  の素子分離膜 1 1 0 を 1 7 5 n m の膜厚で形成した後、各副画素に図 2 1 に示すような E L 発光領域 3 0 2 と正方格子の周期構造 3 1 0（3 2 0、3 3 0）とのエッチングを行い、フォトニック結晶付き陽極基板を作製する。

#### 【 0 1 4 8 】

ここで、E L 発光領域 3 0 2 は 5 0  $\mu m$  四方とする。本実施例 4 では、R 周期構造 3 1 0 は周期 2 9 0 n m、エッチング直径 2 0 0 n m、エッチング深さ 4 0 n m とされる。G 周期構造 3 2 0 は周期 2 5 0 n m、エッチング直径 1 7 5 n m、エッチング深さ 9 0 n m とされる。B 周期構造 3 3 0 は周期 2 3 0 n m、エッチング直径 1 5 5 n m、エッチング深さ 1 1 5 n m とされる。

## 【 0 1 4 9 】

図2のような正方格子では、各副画素の上下方向と左右方向とで周期構造3 1 0 ( 3 2 0、3 3 0 ) の周期 ( 配列 ) が等しい。そのため、発光装置を視認した場合、上下方向と左右方向とで同様の光学特性を得ることができ、視認性を高めることができる。また、逆に、上下方向と左右方向の周期が異なる四角格子としてもよい。この場合は、方向によって視認性を調整することが可能となる。さらに、異なる正方格子を組み合わせることにより、上下方向、左右方向と斜め方向とで同様の光学特性を得ることができ、視認性を高めることができる。

## 【 0 1 5 0 】

これをイソプロピルアルコール ( I P A ) で超音波洗浄し、次いで、煮沸洗浄後乾燥する。その後、UV / オゾン洗浄してからR、G、Bそれぞれの有機層1 1 1、1 2 1、1 3 1を真空蒸着により形成する。

10

## 【 0 1 5 1 】

化合物 [ I ] を、シャドーマスクを用いて各副画素に、Rホール輸送層として2 5 n mの膜厚、Gホール輸送層として2 5 n mの膜厚、Bホール輸送層として2 0 n mの膜厚で形成する。この際の真空度は $1 \times 10^{-4}$  P a、蒸着レートは、0 . 2 n m / s e cである。

## 【 0 1 5 2 】

次に、発光層として、シャドーマスクを用いて、R、G、Bそれぞれの発光層を形成する。R発光層としては、ホストとしてC B Pと、燐光発光性化合物B t p<sub>2</sub> I r ( a c a c ) とを共蒸着して5 0 n mの膜厚で発光層を形成する。G発光層としては、ホストとしてA l q<sub>3</sub>と、発光性化合物クマリリン6とを共蒸着して3 0 n mの膜厚で発光層を形成する。B発光層としては、ホストとして化合物 [ I I ] と発光性化合物 [ I I I ] とを共蒸着して2 0 n mの膜厚で発光層を形成する。蒸着時の真空度は $1 \times 10^{-4}$  P a、成膜速度は0 . 2 n m / s e cである。

20

## 【 0 1 5 3 】

さらに、共通の電子輸送層として、B P h e nを真空蒸着法にて1 0 n mの膜厚で形成する。蒸着時の真空度は $1 \times 10^{-4}$  P a、成膜速度は0 . 2 n m / s e cである。

## 【 0 1 5 4 】

次に、B P h e nとC s<sub>2</sub> C O<sub>3</sub> ( 重量比9 0 : 1 0 ) の共蒸着膜を、シャドーマスクを用いて各副画素に、R電子注入層として6 0 n mの膜厚、G電子注入層として3 0 n mの膜厚、B電子注入層として2 0 n mの膜厚で形成する。蒸着時の真空度は $3 \times 10^{-4}$  P a、成膜速度は0 . 2 n m / s e cである。

30

## 【 0 1 5 5 】

この電子注入層まで形成した基板を、真空を破ること無しにスパッタ装置に移動し、透明電極1 0 3として、スパッタリングによりI Z Oを6 0 n mの膜厚で形成する。

## 【 0 1 5 6 】

さらに、発光装置の周辺部に吸湿剤を配置し、エッチングされたキャップガラスで封止することにより、有機E L発光装置を得る。

## 【 0 1 5 7 】

## &lt; 実施例 5 &gt;

図3 9に実施例5の有機E L発光装置の構成図を示す。陽極基板の作製までは、実施例4と同様である。これをイソプロピルアルコール ( I P A ) で超音波洗浄し、次いで、煮沸洗浄後乾燥する。

40

## 【 0 1 5 8 】

化合物 [ I ] を、シャドーマスクを用いて各副画素に、Rホール輸送層として4 5 n mの膜厚、Gホール輸送層として2 5 n mの膜厚、Bホール輸送層として1 0 n mの膜厚で形成する。この際の真空度は $1 \times 10^{-4}$  P a、蒸着レートは、0 . 2 n m / s e cである。

## 【 0 1 5 9 】

50

次に、共通の３色積層型白色（Ｗ）発光層として、ＣＢＰとＦＩｒｐｉｃ（重量比９４：６）とを共蒸着により２５ｎｍの膜厚で形成する。そして、ＣＢＰとＢｔｐ<sub>２</sub>Ｉｒ（ａｃａｃ）（重量比９２：８）とを共蒸着により２ｎｍの膜厚で形成する。さらに、ＣＢＰとＢｔ<sub>２</sub>Ｉｒ（ａｃａｃ）（重量比９２：８）とを共蒸着により２ｎｍの膜厚で形成し積層構造とする。電子輸送層の形成以降は、実施例４と同様である。

#### 【０１６０】

つまり、本実施例５の有機ＥＬ発光装置は各副画素にＷ有機層１７１が形成されており、白色の有機ＥＬ素子を有する構成とされている。

#### 【０１６１】

< 比較例４ >

素子分離膜１１０が、周期構造を有さない構成とされている以外は、実施例４と同様である。

#### 【０１６２】

表６に、実施例４と比較例４における各ＲＧＢ副画素の発光強度比（発光スペクトルのピーク波長での強度比）とＣＩＥ色度変化量  $u'v'$ （視野角  $= 60^\circ$ ）の数値計算による評価値を示す。ＲＧＢ副画素の全てで、発光効率が向上し、色度変化が低減している。

#### 【０１６３】

#### 【表６】

|      |          | R     | G     | B     |
|------|----------|-------|-------|-------|
| 実施例４ | 発光強度     | 1.17  | 1.70  | 1.62  |
|      | CIE色度変化量 | 0.027 | 0.024 | 0.093 |
| 比較例４ | 発光強度     | 1.0   | 1.0   | 1.0   |
|      | CIE色度変化量 | 0.066 | 0.025 | 0.108 |

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【０１６４】

【図１】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置の模式図（断面概略図１）である。

【図２】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置の模式図（俯瞰概略図１）である。

【図３】有機層の模式図（断面概略図）である。

【図４】反射面に周期構造を有さない有機ＥＬ発光装置の模式図（断面概略図）である。

【図５】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置の負角度方向への回折光の角度依存性の模式図である。

【図６】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置の光共振器の角度依存性の模式図である。

【図７】光共振器中の光の広角干渉の模式図である。

【図８】光共振器中の光の多重干渉の模式図である。

【図９】反射面に周期構造を有さない有機ＥＬ発光装置の発光波長５４０ｎｍに関する数値計算の結果例である。

【図１０】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置の発光波長５２０ｎｍに関する数値計算の結果例である。

【図１１】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置の発光波長５４０ｎｍに関する数値計算の結果例である。

【図１２】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置の発光波長５６０ｎｍに関する数値計算の結果例である。

【図１３】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置と反射面に周期構造を有さない有機ＥＬ発光装置に関するＥＬスペクトルの計算結果例である。

【図１４】反射面に周期構造を有する有機ＥＬ発光装置と反射面に周期構造を有さない有機ＥＬ発光装置に関する色度変化角度依存性の計算結果例である。

【図 1 5】反射面に上に凸型の周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図 2）である。

【図 1 6】反射面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（俯瞰概略図 2）である。

【図 1 7】反射面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図 3）である。

【図 1 8】反射面に周期構造を有し、光取り出し側が金属電極と誘電体層から半透明電極を有する有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図 4）である。

【図 1 9】反射面に周期構造を有するボトムエミッション型有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図 5）である。

【図 2 0】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図 1）である。

【図 2 1】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（俯瞰概略図 1）である。

【図 2 2】素子側面に周期構造を有さない有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図）である。

【図 2 3】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の負角度方向への回折光の角度依存性の模式図である。

【図 2 4】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の光共振器の角度依存性の模式図である。

【図 2 5】素子側面に周期構造を有さない有機 E L 発光装置の発光波長 4 6 0 n m に関する数値計算の結果例である。

【図 2 6】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の発光波長 4 4 0 n m に関する数値計算の結果例である。

【図 2 7】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の発光波長 4 6 0 n m に関する数値計算の結果例である。

【図 2 8】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の発光波長 4 8 0 n m に関する数値計算の結果例である。

【図 2 9】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置と素子側面に周期構造を有さない有機 E L 発光装置に関する E L スペクトルの計算結果例である。

【図 3 0】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（俯瞰概略図 4）である。

【図 3 1】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置と素子側面に周期構造を有さない有機 E L 発光装置に関する色度変化角度依存性の計算結果例である。

【図 3 2】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（俯瞰概略図 2）である。

【図 3 3】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（俯瞰概略図 3）である。

【図 3 4】素子側面に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図 2）である。

【図 3 5】素子側面に周期構造を有するボトムエミッション型有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図 3）である。

【図 3 6】反射面に周期構造を有する R G B 発光層塗り分け構成の有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図）である。

【図 3 7】反射面に周期構造を有する W 発光層共通構成の有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図）である。

【図 3 8】素子側面に周期構造を有する R G B 発光層塗り分け構成の有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図）である。

【図 3 9】素子側面に周期構造を有する W 発光層共通構成の有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図）である。

10

20

30

40

50

【図 4 0】2つの反射面の間に周期構造を有する有機 E L 発光装置の模式図（断面概略図）である。

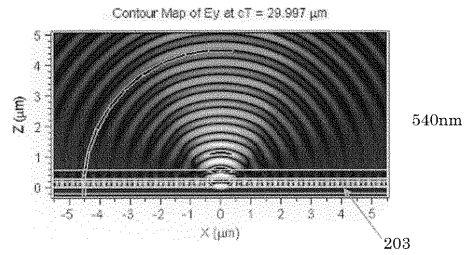
【符号の説明】

【 0 1 6 5 】

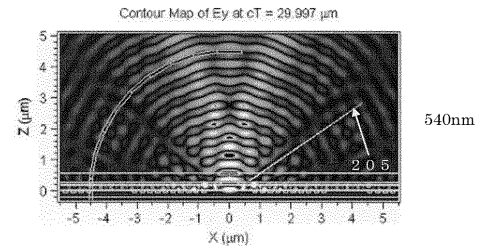
|         |            |    |
|---------|------------|----|
| 1 0 0   | 基板         |    |
| 1 0 1   | 有機層        |    |
| 1 0 2   | 反射電極       |    |
| 1 0 3   | 透明電極       |    |
| 1 0 3 B | 反射電極上の透明電極 |    |
| 1 0 4   | 金属半透明電極    | 10 |
| 1 0 4 B | 誘電体層       |    |
| 1 0 5   | 発光層        |    |
| 1 0 6   | ホール輸送層     |    |
| 1 0 7   | 電子輸送層      |    |
| 1 0 8   | ホール注入層     |    |
| 1 0 9   | 電子注入層      |    |
| 1 1 0   | 素子分離膜      |    |
| 1 1 1   | R 有機層      |    |
| 1 1 5   | R 発光層      |    |
| 1 2 1   | G 有機層      | 20 |
| 1 2 5   | G 発光層      |    |
| 1 3 1   | B 有機層      |    |
| 1 3 5   | B 発光層      |    |
| 1 7 1   | W 有機層      |    |
| 2 0 1   | 発光点        |    |
| 2 0 2   | 伝播光        |    |
| 2 0 3   | 導波光        |    |
| 2 0 4   | 回折光        |    |
| 2 0 5   | 回折光波面      |    |
| 2 0 6   | 光取り出し側への発光 | 30 |
| 2 0 7   | 光反射側への発光   |    |
| 2 0 8   | 反射光        |    |
| 2 0 9   | 多重反射光      |    |
| 3 0 0   | 周期構造       |    |
| 3 0 1   | 光導波路       |    |
| 3 0 2   | E L 発光領域   |    |
| 3 0 3   | 回折光領域      |    |
| 3 1 0   | R 周期構造     |    |
| 3 1 1   | R 光導波路     |    |
| 3 2 0   | G 周期構造     | 40 |
| 3 2 1   | G 光導波路     |    |
| 3 3 0   | B 周期構造     |    |
| 3 3 1   | B 光導波路     |    |



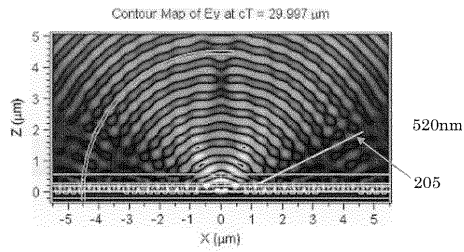
【図 9】



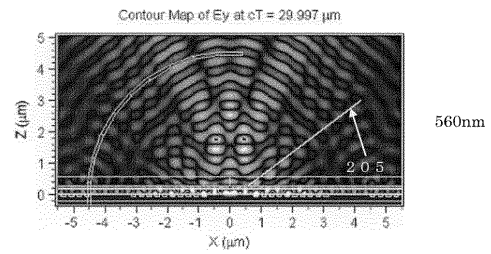
【図 11】



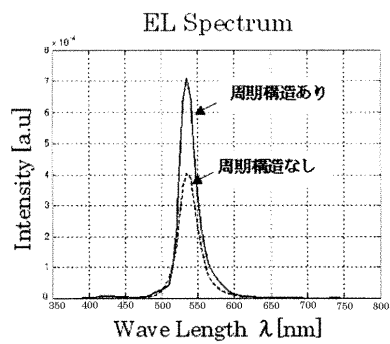
【図 10】



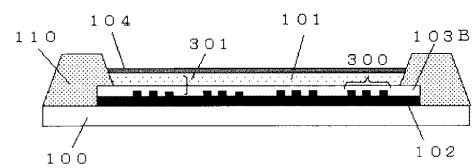
【図 12】



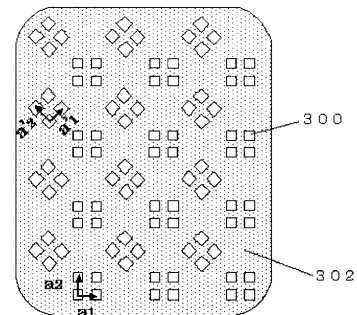
【図 13】



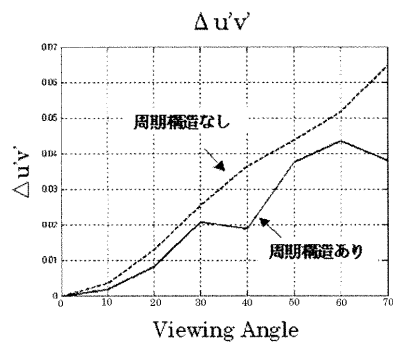
【図 15】



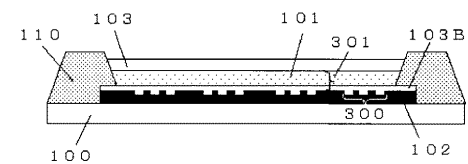
【図 16】



【図 14】

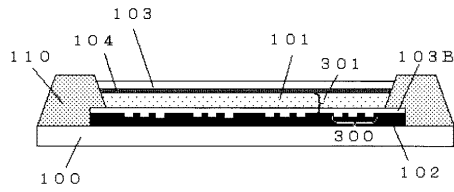


【図 17】

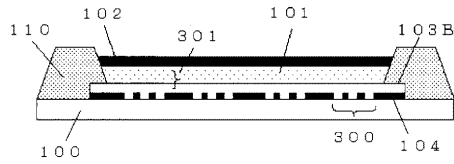




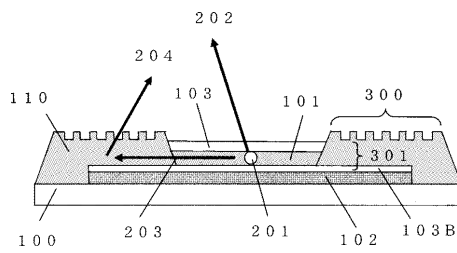
【図 18】



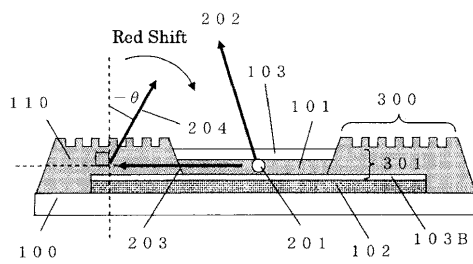
【図 19】



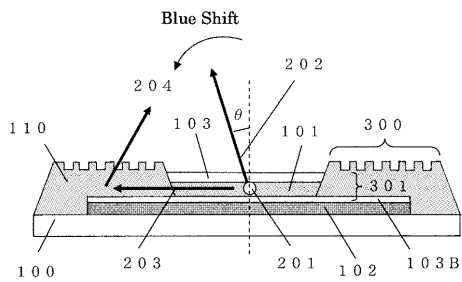
【図 20】



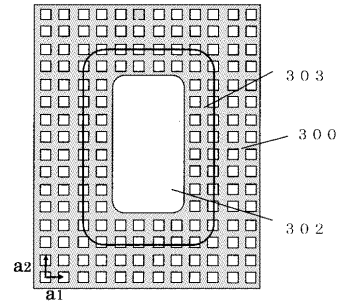
【図 23】



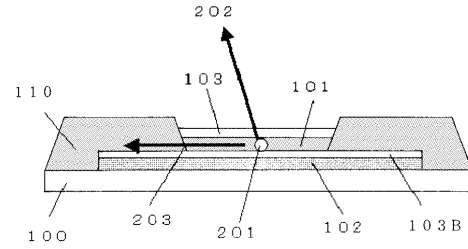
【図 24】



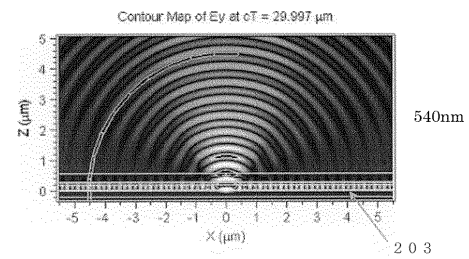
【図 21】



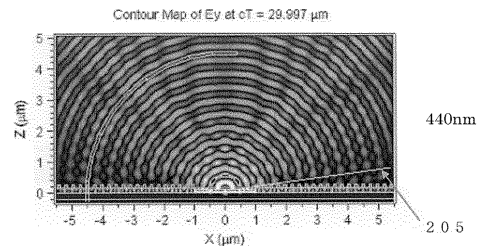
【図 22】



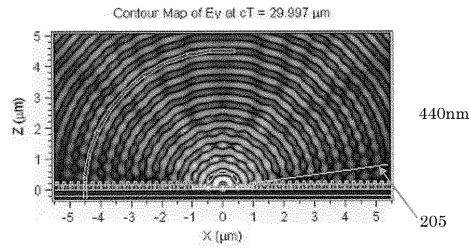
【図 25】



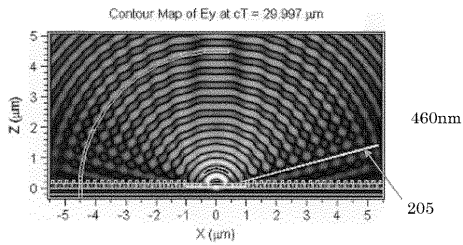
【図 26】



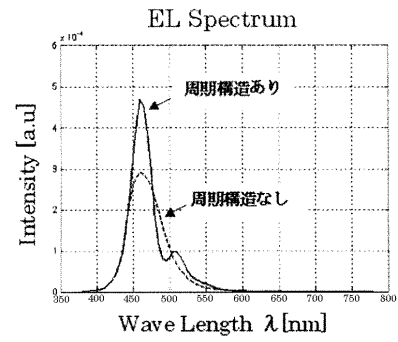
【図 27】



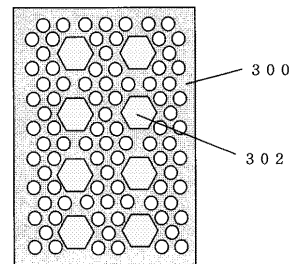
【図 28】



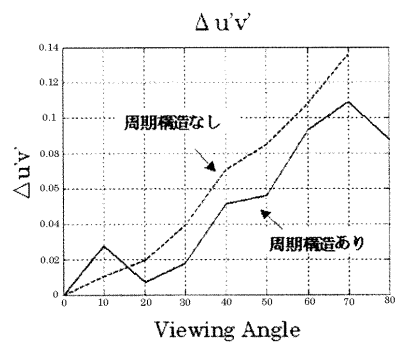
【図 29】



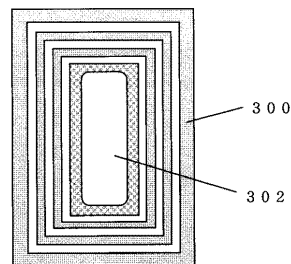
【図 30】



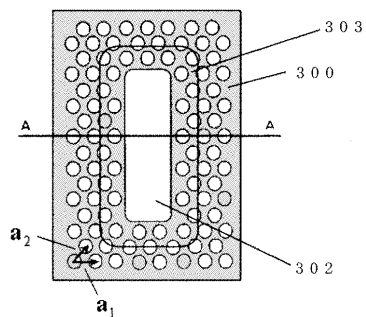
【図 31】



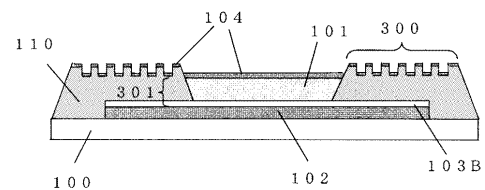
【図 33】



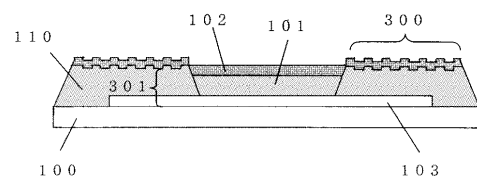
【図 32】



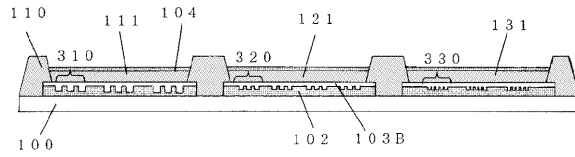
【図 34】



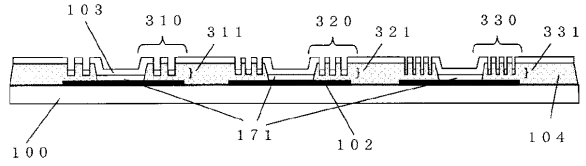
【図 35】



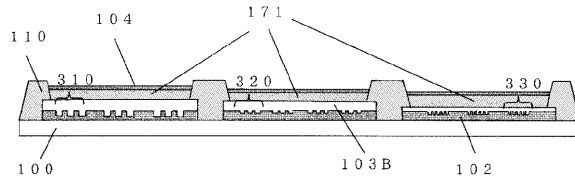
【図 36】



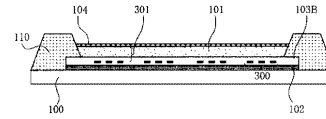
【図 39】



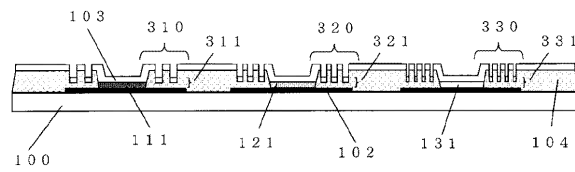
【図 37】



【図 40】



【図 38】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 1 1 - 2 8 3 7 5 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 1 0 0 1 8 7 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 1 0 9 7 4 9 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 1 0 0 4 3 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 7 - 1 5 7 7 3 2 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L     5 1 / 5 0 - 5 1 / 5 6  
H 0 1 L     2 7 / 3 2  
H 0 5 B     3 3 / 0 0 - 3 3 / 2 8