

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6566313号
(P6566313)

(45) 発行日 令和1年8月28日(2019.8.28)

(24) 登録日 令和1年8月9日(2019.8.9)

(51) Int. Cl. F 1
G02F 1/13357 (2006.01) GO2F 1/13357
G09F 9/00 (2006.01) GO9F 9/00 336J

請求項の数 16 (全 72 頁)

(21) 出願番号	特願2015-167712 (P2015-167712)	(73) 特許権者	314012076
(22) 出願日	平成27年8月27日 (2015.8.27)		パナソニックIPマネジメント株式会社
(65) 公開番号	特開2016-170382 (P2016-170382A)		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(43) 公開日	平成28年9月23日 (2016.9.23)	(74) 代理人	100101683
審査請求日	平成30年3月9日 (2018.3.9)		弁理士 奥田 誠司
(31) 優先権主張番号	特願2015-50679 (P2015-50679)	(74) 代理人	100155000
(32) 優先日	平成27年3月13日 (2015.3.13)		弁理士 喜多 修市
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)	(74) 代理人	100180529
			弁理士 梶谷 美道
		(74) 代理人	100125922
			弁理士 三宅 章子
		(74) 代理人	100135703
			弁理士 岡部 英隆
		(74) 代理人	100188813
			弁理士 川喜田 徹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表示装置および発光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

励起光源と、
 前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、
 前記発光素子からの光の光路上に位置する光学シャッタと、を備え、
 前記発光素子は、
 前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第1の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、
 前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、
 前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成された表面構造と、を有し、
 前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、
 前記表面構造における隣接する2つの凸部または隣接する2つの凹部の中心間距離を D_{int} とし、前記第1の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係が成り立つ、
 表示装置。

【請求項2】

前記フォトルミネッセンス層と前記透光層とが互いに接している、請求項1に記載の表示装置。

【請求項3】

励起光源と、

前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、

前記発光素子からの光の光路上に位置する光学シャッタと、を備え、

前記発光素子は、

前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネセンス層と、

前記フォトルミネセンス層の表面に設けられた表面構造と、を有し、

前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、

前記表面構造における隣接する 2 つの凸部または隣接する 2 つの凹部の中心間距離を D_{int} とし、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係が成り立つ、

表示装置。

【請求項 4】

前記光学シャッタにおける前記発光素子からの光が入射する側または前記光が出射する側に、透過波長帯域の異なる複数のカラーフィルタを含むカラーフィルタアレイをさらに備える、請求項 1 に記載の表示装置。

【請求項 5】

前記発光素子からの光を前記光学シャッタに伝播させる導光板をさらに備える、請求項 1 に記載の表示装置。

【請求項 6】

前記励起光源からの前記励起光を前記フォトルミネセンス層に伝播させる導光板をさらに備える、請求項 1 に記載の表示装置。

【請求項 7】

前記光学シャッタを画像信号に応じて駆動する駆動回路をさらに備える、請求項 1 に記載の表示装置。

【請求項 8】

前記光学シャッタにおける前記発光素子からの光が出射する側に、タッチスクリーンをさらに備える、請求項 7 に記載の表示装置。

【請求項 9】

前記表面構造は、少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_a とし、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、 $\lambda_a / n_{wav-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ第 1 周期構造を含む、請求項 1 から 8 のいずれかに記載の表示装置。

【請求項 10】

前記フォトルミネセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a と異なる λ_b の第 2 の光を含み、前記第 2 の光に対する前記フォトルミネセンス層の屈折率を n_{wav-b} とするとき、

前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_b とすると、 $\lambda_b / n_{wav-b} < p_b < \lambda_b$ の関係が成り立つ第 2 周期構造をさらに含み、

前記波長 λ_a は、赤色の波長帯域に属し、

前記波長 λ_b は、緑色の波長帯域に属する、

請求項 9 に記載の表示装置。

【請求項 11】

空気中の波長が λ_a および λ_b と異なる λ_c の第 3 の光に対する前記フォトルミネセンス層の屈折率を n_{wav-c} とするとき、

前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_c とすると、 $\lambda_c / n_{wav-c} < p_c < \lambda_c$ の関係が成り立つ第 3 周期構造をさらに含み、

前記波長 λ_c は、青色の波長帯域に属する、

請求項 10 に記載の表示装置。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

前記励起光源は、青色の波長帯域の光を発する、請求項 10 に記載の表示装置。

【請求項 13】

前記表面構造は、少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造の周期は、前記フォトルミネッセンス層内部の電場振幅の最大値の周期と同じである請求項 1 に記載の表示装置。

【請求項 14】

前記表面構造は、少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造の周期は、前記フォトルミネッセンス層内部の電場振幅の最大値の周期と同じである請求項 3 に記載の表示装置。

【請求項 15】

前記フォトルミネッセンス層は、当該フォトルミネッセンス層内に擬似導波モードを発生させる厚みを有する請求項 1 に記載の表示装置。

【請求項 16】

前記フォトルミネッセンス層は、当該フォトルミネッセンス層内に擬似導波モードを発生させる厚みを有する請求項 3 に記載の表示装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、表示装置および発光装置に関し、特に、フォトルミネッセンス層を有する発光素子を備えた表示装置および発光装置に関する。

【背景技術】

【0002】

照明器具、ディスプレイ、プロジェクターといった光学デバイスでは、多くの用途において、必要な方向に光を出射することが求められる。蛍光灯、白色 LED などで使用されるフォトルミネッセンス材料は等方的に発光する。よって、このような材料は、特定の方向のみに光を出射させるために、リフレクターやレンズなどの光学部品とともに用いられる。例えば、特許文献 1 は、配光板および補助反射板を用いて指向性を確保した照明システムを開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2010 - 231941 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

光学デバイスにおいて、特定の方向に光を出射するためにリフレクターやレンズなどの光学部品を配置すると、そのスペースを確保するために、光学デバイス自身のサイズを大きくする必要がある。これらの光学部品は無くすか、少しでも小型化することが望ましい。

【0005】

本開示は、フォトルミネッセンス材料を利用する新規な構造を有する発光装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の一態様に係る表示装置は、励起光源と、発光素子と、光学シャッタまたは導光板と、を備え、前記発光素子は、励起光を受けて空気中の波長が λ_0 の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、前記フォトルミネッセンス層および透光層の少なくとも一方の表面に形成された表面構造と、を有し、前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_0 の前記第 1 の光の指向角を制限する。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

上記の包括的または具体的な態様は、素子、装置、システム、方法、またはこれらの任意の組み合わせで実現されてもよい。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 8 】

本開示のある実施形態によれば、フォトルミネッセンス材料を利用する新規な構造を有する発光装置を提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図 1 A 】ある実施形態による発光素子の構成を示す斜視図である。

10

【 図 1 B 】図 1 A に示す発光素子の部分断面図である。

【 図 1 C 】他の実施形態による発光素子の構成を示す斜視図である。

【 図 1 D 】図 1 C に示す発光素子の部分断面図である。

【 図 2 】発光波長および周期構造の高さをそれぞれ変えて、正面方向に出射する光の増強度を計算した結果を示す図である。

【 図 3 】式 (1 0) における $m = 1$ および $m = 3$ の条件を図示したグラフである。

【 図 4 】発光波長およびフォトルミネッセンス層の厚さ t を変えて正面方向に出力する光の増強度を計算した結果を示す図である。

【 図 5 A 】厚さ $t = 238 \text{ nm}$ のときに、 x 方向に導波するモードの電場分布を計算した結果を示す図である。

20

【 図 5 B 】厚さ $t = 539 \text{ nm}$ のときに、 x 方向に導波するモードの電場分布を計算した結果を示す図である。

【 図 5 C 】厚さ $t = 300 \text{ nm}$ のときに、 x 方向に導波するモードの電場分布を計算した結果を示す図である。

【 図 6 】図 2 の計算と同じ条件で、光の偏光が y 方向に垂直な電場成分を有する TE モードである場合について光の増強度を計算した結果を示す図である。

【 図 7 A 】2次元の周期構造の例を示す平面図である。

【 図 7 B 】2次元周期構造に関して図 2 と同様の計算を行った結果を示す図である。

【 図 8 】発光波長および周期構造の屈折率を変えて正面方向に出力する光の増強度を計算した結果を示す図である。

30

【 図 9 】図 8 と同様の条件でフォトルミネッセンス層の膜厚を 1000 nm にした場合の結果を示す図である。

【 図 1 0 】発光波長および周期構造の高さを変えて正面方向に出力する光の増強度を計算した結果を示す図である。

【 図 1 1 】図 1 0 と同様の条件で、周期構造の屈折率を $n_p = 2.0$ とした場合の計算結果を示す図である。

【 図 1 2 】光の偏光が y 方向に垂直な電場成分を有する TE モードであるものとして図 9 に示す計算と同様の計算を行った結果を示す図である。

【 図 1 3 】図 9 に示す計算と同様の条件で、フォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav} を 1.5 に変更した場合の結果を示す図である。

40

【 図 1 4 】屈折率が 1.5 の透明基板の上に、図 2 に示す計算と同じ条件のフォトルミネッセンス層および周期構造を設けた場合の計算結果を示す図である。

【 図 1 5 】式 (1 5) の条件を図示したグラフである。

【 図 1 6 】図 1 A、1 B に示す発光素子 1 0 0 と、励起光をフォトルミネッセンス層 1 1 0 に入射させる光源 1 8 0 とを備える発光装置 2 0 0 の構成例を示す図である。

【 図 1 7 A 】 x 方向の周期 p_x を有する 1 次元周期構造を示す図である。

【 図 1 7 B 】 x 方向の周期 p_x 、 y 方向の周期 p_y を有する 2 次元周期構造を示す図である。

。

【 図 1 7 C 】図 1 7 A の構成における光の吸収率の波長依存性を示す図である。

【 図 1 7 D 】図 1 7 B の構成における光の吸収率の波長依存性を示す図である。

50

- 【図18A】2次元周期構造の一例を示す図である。
- 【図18B】2次元周期構造の他の例を示す図である。
- 【図19A】透明基板上に周期構造を形成した変形例を示す図である。
- 【図19B】透明基板上に周期構造を形成した他の変形例を示す図である。
- 【図19C】図19Aの構成において、発光波長および周期構造の周期を変えて正面方向に出力する光の増強度を計算した結果を示す図である。
- 【図20】複数の粉末状の発光素子を混ぜた構成を示す図である。
- 【図21】フォトルミネッセンス層の上に周期の異なる複数の周期構造を2次元に配列した例を示す平面図である。
- 【図22】表面に凹凸構造が形成された複数のフォトルミネッセンス層110が積層された構造を有する発光素子の一例を示す図である。 10
- 【図23】フォトルミネッセンス層110と周期構造120との間に保護層150を設けた構成例を示す断面図である。
- 【図24】フォトルミネッセンス層110の一部のみを加工することによって周期構造120を形成した例を示す図である。
- 【図25】周期構造を有するガラス基板上に形成されたフォトルミネッセンス層の断面TEM像を示す図である。
- 【図26】試作した発光素子の出射光の正面方向のスペクトルを測定した結果を示すグラフである。
- 【図27A】TMモードの直線偏光を出射する発光素子を、1次元周期構造120のライン方向と平行な軸を回転軸として回転させている状況を示す図である。 20
- 【図27B】試作した発光素子を図27Aに示すように回転させたときの出射光の角度依存性を測定した結果を示すグラフである。
- 【図27C】試作した発光素子を図27Aに示すように回転させたときの出射光の角度依存性を計算した結果を示すグラフである。
- 【図27D】TEモードの直線偏光を出射する発光素子を、1次元周期構造120のライン方向と平行な軸を回転軸として回転させている状況を示す図である。
- 【図27E】試作した発光素子を図27Dに示すように回転させたときの出射光の角度依存性を測定した結果を示すグラフである。
- 【図27F】試作した発光素子を図27Dに示すように回転させたときの出射光の角度依存性を計算した結果を示すグラフである。 30
- 【図28A】TEモードの直線偏光を出射する発光素子を、1次元周期構造120のライン方向に垂直な軸を回転軸として回転させている状況を示す図である。
- 【図28B】試作した発光素子を図28Aに示すように回転させたときの出射光の角度依存性を測定した結果を示すグラフである。
- 【図28C】試作した発光素子を図28Aに示すように回転させたときの出射光の角度依存性を計算した結果を示すグラフである。
- 【図28D】TMモードの直線偏光を出射する発光素子を、1次元周期構造120のライン方向と垂直な軸を回転軸として回転させている状況を示す図である。
- 【図28E】試作した発光素子を図28Dに示すように回転させたときの出射光の角度依存性を測定した結果を示すグラフである。 40
- 【図28F】試作した発光素子を図28Dに示すように回転させたときの出射光の角度依存性を計算した結果を示すグラフである。
- 【図29】試作した発光素子の出射光(波長610nm)の角度依存性を測定した結果を示すグラフである。
- 【図30】スラブ型導波路の一例を模式的に示す斜視図である。
- 【図31】フォトルミネッセンス層110上に周期構造120を有する発光素子における発光増強効果を受ける光の波長および出射方向との関係を説明するための模式図である。
- 【図32A】発光増強効果を示す波長が異なる複数の周期構造を配列した構成の例を示す模式的な平面図である。 50

【図 3 2 B】一次元周期構造の凸部が延びる方位が異なる複数の周期構造を配列した構成の例を示す模式的な平面図である。

【図 3 2 C】複数の 2 次元周期構造を配列した構成の例を示す模式的な平面図である。

【図 3 3】マイクロレンズを備える発光素子の模式的な断面図である。

【図 3 4 A】発光波長が異なる複数のフォトルミネッセンス層を有する発光素子の模式的な断面図である。

【図 3 4 B】発光波長が異なる複数のフォトルミネッセンス層を有する他の発光素子の模式的な断面図である。

【図 3 5 A】フォトルミネッセンス層の下に拡散防止層（バリア層）を有する発光素子の一例を示す模式的な断面図である。

10

【図 3 5 B】フォトルミネッセンス層の下に拡散防止層（バリア層）を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 5 C】フォトルミネッセンス層の下に拡散防止層（バリア層）を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 5 D】フォトルミネッセンス層の下に拡散防止層（バリア層）を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 6 A】フォトルミネッセンス層の下に、結晶成長層（シード層）を有する発光素子の一例を示す模式的な断面図である。

【図 3 6 B】フォトルミネッセンス層の下に、結晶成長層（シード層）を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

20

【図 3 6 C】フォトルミネッセンス層の下に、結晶成長層（シード層）を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 7 A】周期構造を保護するための表面保護層を有する発光素子の一例を示す模式的な断面図である。

【図 3 7 B】周期構造を保護するための表面保護層を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 8 A】透明高熱伝導層を有する発光素子の一例を示す模式的な断面図である。

【図 3 8 B】透明高熱伝導層を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 8 C】透明高熱伝導層を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 8 D】透明高熱伝導層を有する発光素子の他の例を示す模式的な断面図である。

30

【図 3 9 A】放熱特性が改善された発光装置の一例を示す模式的な断面図である。

【図 3 9 B】放熱特性が改善された発光装置の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 9 C】放熱特性が改善された発光装置の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 3 9 D】放熱特性が改善された発光装置の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 4 0 A】高熱伝導部材を有する発光素子の一例を示す模式断面図である。

【図 4 0 B】図 4 0 A に示す発光素子の平面図である。

【図 4 0 C】高熱伝導部材を有する発光素子の他の例を示す模式断面図である。

【図 4 0 D】図 4 0 C に示す発光素子の平面図である。

【図 4 1 A】タイリングされた複数の発光素子における高熱伝導部材の配置の例を示す模式図である。

40

【図 4 1 B】図 4 1 A に示す発光素子の平面図である。

【図 4 2 A】インターロック回路を備える発光装置の例を示す模式図である。

【図 4 2 B】インターロック回路を備える発光装置の構成を示す模式図である。

【図 4 3 A】ビーズを用いたサブミクロン構造の形成方法を説明するための第 1 の図である。

【図 4 3 B】ビーズを用いたサブミクロン構造の形成方法を説明するための第 2 の図である。

【図 4 3 C】ビーズの充填状態の一例を模式的に示す図と、この充填状態のビーズから得られる光散乱のパターンを示す図である。

【図 4 3 D】ビーズの充填状態の他の例を模式的に示す図と、この充填状態のビーズから

50

得られる光散乱のパターンを示す図である。

【図 4 3 E】ビーズの充填状態の他の例を模式的に示す図と、この充填状態のビーズから得られる光散乱のパターンを示す図である。

【図 4 3 F】ビーズの充填状態の他の例を模式的に示す図と、この充填状態のビーズから得られる光散乱のパターンを示す図である。

【図 4 4】ある実施形態における表示装置を模式的に示す斜視図である。

【図 4 5】液晶モジュールによって実現される光学シャッタ 3 5 0 を有する表示装置 3 0 0 a の構成を模式的に示す断面図である。

【図 4 6】タッチスクリーン 3 7 0 をさらに備えた表示装置 3 0 0 b の一例を示す模式斜視図である。

10

【図 4 7】導光板 3 3 0 が、励起光源 3 1 0 からの励起光をフォトルミネッセンス層 3 2 1 に伝播させるように配置された表示装置 3 0 0 c の構成の一部を示す模式断面図である。

【図 4 8】表示装置のさらに他の実施形態を示す模式斜視図である。

【図 4 9】表示装置のさらに他の実施形態の一部を示す模式断面図である。

【図 5 0】ある実施形態における照明装置を模式的に示す斜視図である。

【図 5 1】他の実施形態における照明装置を模式的に示す部分断面図である。

【図 5 2】さらに他の実施形態における照明装置を模式的に示す断面図である。

【図 5 3】複数の発光素子を有する照明装置の構成例を示す断面図である。

【図 5 4】マイクロミラーによる配光制御が可能な照明装置（ヘッドライト）の概略構成を示す図である。

20

【図 5 5】回転機構およびホイール状の発光素子 3 2 0 を有する発光装置の一例を簡略化して示す図である。

【図 5 6】発光素子 3 2 0 を軸方向から見た場合の構成を示す図である。

【図 5 7】本開示の可視光通信システムの一例を示す図である。

【図 5 8】本開示の発光素子をスクリーンとして備える透明ディスプレイの構成を示す模式図である。

【図 5 9】信号機への応用例を示す図である。

【図 6 0】信号機のより詳細な構成を示す図である。

【図 6 1】植物用光源装置への応用例を示す図である。

30

【図 6 2】距離センサーへの応用例を示す図である。

【図 6 3 A】距離センサーにおける発光装置の概略構成を示す図である。

【図 6 3 B】制御回路 8 2 0 によるパルス光の発生を説明するための図である。

【図 6 3 C】駆動信号および受光信号の時間変化の一例を示す図である。

【図 6 4 A】発光素子 8 4 0 の光出射側に、光学シャッタ 8 5 0 を配置した変形例を示す図である。

【図 6 4 B】図 6 4 A に示す構成におけるパルス光の発生を説明するための図である。

【図 6 4 C】発光素子 8 4 0 と光学シャッタ 8 5 0 との間、および光学シャッタ 8 5 0 の光出射側にレンズ 8 6 0 a、8 6 0 b を設けた例を示す図である。

【図 6 5】複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を有する表面構造の一例を示す模式的な断面図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0010】

[1 . 本開示の実施形態の概要]

本開示は、以下の項目に記載の発光素子、発光装置、表示装置、信号機、植物用発光装置、および距離センサーを含む。

【0011】

[項目 1]

フォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、

50

前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方に形成され、前記フォトルミネッセンス層または前記透光層の面内に広がるサブミクロン構造と、を有し、前記サブミクロン構造は、複数の凸部または複数の凹部を含み、前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含み、隣接する凸部間または凹部間の距離を D_{int} とし、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係が成り立つ、発光素子。

【 0 0 1 2 】

[項目 2]

前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_a とすると、 $\lambda_a / n_{wav-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ第 1 周期構造を含む、項目 1 に記載の発光素子。

10

【 0 0 1 3 】

[項目 3]

前記第 1 の光に対する前記透光層の屈折率 n_{t-a} は、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav-a} よりも小さい、項目 1 または 2 に記載の発光素子。

【 0 0 1 4 】

[項目 4]

前記第 1 の光は、前記サブミクロン構造によって予め決められた第 1 の方向において強度が最大になる、項目 1 から 3 のいずれかに記載の発光素子。

20

【 0 0 1 5 】

[項目 5]

前記第 1 の方向は、前記フォトルミネッセンス層の法線方向である、項目 4 に記載の発光素子。

【 0 0 1 6 】

[項目 6]

前記第 1 の方向に出射された前記第 1 の光は、直線偏光である、項目 4 または 5 に記載の発光素子。

【 0 0 1 7 】

[項目 7]

前記第 1 の光の前記第 1 の方向を基準としたときの指向角は、 15° 未満である、項目 4 から 6 のいずれかに記載の発光素子。

30

【 0 0 1 8 】

[項目 8]

前記第 1 の光の波長 λ_a と異なる波長 λ_b を有する第 2 の光は、前記第 1 の方向と異なる第 2 の方向において強度が最大となる、項目 4 から 7 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 1 9 】

[項目 9]

前記透光層が前記サブミクロン構造を有する、項目 1 から 8 のいずれかに記載の発光素子。

40

【 0 0 2 0 】

[項目 1 0]

前記フォトルミネッセンス層が前記サブミクロン構造を有する、項目 1 から 9 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 2 1 】

[項目 1 1]

前記フォトルミネッセンス層は、平坦な主面を有し、前記透光層は前記フォトルミネッセンス層の前記平坦な主面上に形成されており、かつ、前記サブミクロン構造を有する、項目 1 から 8 のいずれかに記載の発光素子。

50

【 0 0 2 2 】

[項目 1 2]

前記フォトルミネッセンス層は、透明基板に支持されている、項目 1 1 に記載の発光素子。

【 0 0 2 3 】

[項目 1 3]

前記透光層は、前記サブミクロン構造を一方の主面に有する透明基板であって、前記フォトルミネッセンス層は、前記サブミクロン構造の上に形成されている、項目 1 から 8 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 2 4 】

[項目 1 4]

前記第 1 の光に対する前記透光層の屈折率 n_{t-a} は、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav-a} 以上であって、前記サブミクロン構造が有する前記複数の凸部の高さまたは前記複数の凹部の深さは 150 nm 以下である、項目 1 または 2 に記載の発光素子。

10

【 0 0 2 5 】

[項目 1 5]

前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_a とすると、 $\lambda_a / n_{wav-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ第 1 周期構造を含み、

20

前記第 1 周期構造は、1 次元周期構造である、項目 1 および 3 から 1 4 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 2 6 】

[項目 1 6]

前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a と異なる λ_b の第 2 の光を含み、前記第 2 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-b} とすると

、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_b とすると、 $\lambda_b / n_{wav-b} < p_b < \lambda_b$ の関係が成り立つ第 2 周期構造をさらに含み、

前記第 2 周期構造は、1 次元周期構造である、項目 1 5 に記載の発光素子。

30

【 0 0 2 7 】

[項目 1 7]

前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された少なくとも 2 つの周期構造を含み、前記少なくとも 2 つの周期構造は、互いに異なる方向に周期性を有する 2 次元周期構造を含む、項目 1 および 3 から 1 4 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 2 8 】

[項目 1 8]

前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された複数の周期構造を含み、

40

前記複数の周期構造は、マトリクス状に配列された複数の周期構造を含む、項目 1 および 3 から 1 4 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 2 9 】

[項目 1 9]

前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された複数の周期構造を含み、

前記フォトルミネッセンス層が有するフォトルミネッセンス材料の励起光の空気中における波長を λ_{ex} とし、前記励起光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-ex} とすると、

前記複数の周期構造は、周期 p_{ex} が、 $\lambda_{ex} / n_{wav-ex} < p_{ex} < \lambda_{ex}$ の関係が成り立つ周

50

期構造を含む、項目 1 および 3 から 1 4 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 3 0 】

[項目 2 0]

複数のフォトルミネッセンス層と、複数の透光層とを有し、
前記複数のフォトルミネッセンス層の少なくとも 2 つと前記複数の透光層の少なくとも 2 つとは、それぞれ独立に、項目 1 から 1 9 のいずれかに記載の前記フォトルミネッセンス層と前記透光層とにそれぞれ該当する、発光素子。

【 0 0 3 1 】

[項目 2 1]

前記複数のフォトルミネッセンス層と前記複数の透光層は、積層されている、項目 2 0 に記載の発光素子。 10

【 0 0 3 2 】

[項目 2 2]

フォトルミネッセンス層と、
前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、
前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方に形成され、前記フォトルミネッセンス層または前記透光層の面内に広がるサブミクロン構造と、を有し、
前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の内部に擬似導波モードを形成する光を出射する、発光素子。

【 0 0 3 3 】

[項目 2 3]

光が導波することができる導波層と、
前記導波層に近接して配置された周期構造と
を備え、
前記導波層はフォトルミネッセンス材料を有し、
前記導波層において、前記フォトルミネッセンス材料から発せられた光が前記周期構造と作用しながら導波する擬似導波モードが存在する、発光素子。 20

【 0 0 3 4 】

[項目 2 4]

フォトルミネッセンス層と、 30
前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、
前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方に形成され、前記フォトルミネッセンス層または前記透光層の面内に広がるサブミクロン構造と、を有し、
前記サブミクロン構造は、複数の凸部または複数の凹部を含み、
隣接する凸部間または凹部間の距離を D_{int} とし、前記フォトルミネッセンス層が有するフォトルミネッセンス材料の励起光の空気中における波長を λ_{ex} とし、前記励起光に対する前記フォトルミネッセンス層または前記透光層に至る光路に存在する媒質の内で最も屈折率の大きい媒質の屈折率を n_{wav-ex} とすると、 $\lambda_{ex} / n_{wav-ex} < D_{int} < \lambda_{ex}$ の関係が成り立つ、発光素子。

【 0 0 3 5 】

[項目 2 5]

前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_{ex} とすると、 $\lambda_{ex} / n_{wav-ex} < p_{ex} < \lambda_{ex}$ の関係が成り立つ第 1 周期構造を含む、項目 2 4 に記載の発光素子。 40

【 0 0 3 6 】

[項目 2 6]

透光層と、
前記透光層に形成され、前記透光層の面内に広がるサブミクロン構造と、
前記サブミクロン構造に近接して配置されたフォトルミネッセンス層と、を有し、 50

前記サブミクロン構造は、複数の凸部または複数の凹部を含み、
 前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含み、
 前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された少なくとも 1 つの周期構造を含み、
 前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav}-a}$ とし、前記少なくとも 1 つの周期構造の周期を p_a とすると、 $\lambda_a / n_{\text{wav}-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ、発光素子。

【 0 0 3 7 】

[項目 2 7]

フォトルミネッセンス層と、
 前記フォトルミネッセンス層よりも高い屈折率を有する透光層と、
 前記透光層に形成され、前記透光層の面内に広がるサブミクロン構造と、を有し、
 前記サブミクロン構造は、複数の凸部または複数の凹部を含み、
 前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含み、
 前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された少なくとも 1 つの周期構造を含み、
 前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav}-a}$ とし、前記少なくとも 1 つの周期構造の周期を p_a とすると、 $\lambda_a / n_{\text{wav}-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ、発光素子。

10

【 0 0 3 8 】

[項目 2 8]

フォトルミネッセンス層と、
 前記フォトルミネッセンス層に形成され、前記フォトルミネッセンス層の面内に広がるサブミクロン構造と、を有し、
 前記サブミクロン構造は、複数の凸部または複数の凹部を含み、
 前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含み、
 前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部または前記複数の凹部によって形成された少なくとも 1 つの周期構造を含み、
 前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav}-a}$ とし、前記少なくとも 1 つの周期構造の周期を p_a とすると、 $\lambda_a / n_{\text{wav}-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ、発光素子。

20

30

【 0 0 3 9 】

[項目 2 9]

前記サブミクロン構造は、前記複数の凸部と前記複数の凹部との双方を含む、項目 1 から 2 1、2 4 から 2 8 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 4 0 】

[項目 3 0]

前記フォトルミネッセンス層と前記透光層とが互いに接している、項目 1 から 2 2、2 4 から 2 7 のいずれかに記載の発光素子。

【 0 0 4 1 】

[項目 3 1]

前記導波層と前記周期構造とが互いに接している、項目 2 3 に記載の発光素子。

40

【 0 0 4 2 】

[項目 3 2]

項目 1 から 3 1 のいずれかに記載の発光素子と、
 前記フォトルミネッセンス層に励起光を照射する、励起光源と、
 を備える発光装置。

【 0 0 4 3 】

[項目 3 3]

励起光源と、

50

前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、
前記発光素子からの光の光路上に位置する光学シャッタと、を備え、
前記発光素子は、

前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、

前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成された表面構造と、を有し、

前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、

表示装置。

【 0 0 4 4 】

[項目 3 4]

前記フォトルミネッセンス層と前記透光層とが互いに接している、項目 3 3 に記載の表示装置。

【 0 0 4 5 】

[項目 3 5]

励起光源と、

前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、

前記発光素子からの光の光路上に位置する光学シャッタと、を備え、

前記発光素子は、

前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層の表面に設けられた表面構造と、を有し、

前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、

表示装置。

【 0 0 4 6 】

[項目 3 6]

前記表面構造における隣接する 2 つの凸部または隣接する 2 つの凹部の中心間距離を D_{int} とし、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係が成り立つ、項目 3 3 から 3 5 のいずれかに記載の表示装置。

【 0 0 4 7 】

[項目 3 7]

前記光学シャッタにおける前記発光素子からの光が入射する側または前記光が出射する側に、透過波長帯域の異なる複数のカラーフィルタを含むカラーフィルタアレイをさらに備える、項目 3 3 から 3 6 のいずれかに記載の表示装置。

【 0 0 4 8 】

[項目 3 8]

前記発光素子からの光を前記光学シャッタに伝播させる導光板をさらに備える、項目 3 3 から 3 7 のいずれかに記載の表示装置。

【 0 0 4 9 】

[項目 3 9]

前記励起光源からの前記励起光を前記フォトルミネッセンス層に伝播させる導光板をさらに備える、項目 3 3 から 3 7 のいずれかに記載の表示装置。

【 0 0 5 0 】

[項目 4 0]

前記光学シャッタを画像信号に応じて駆動する駆動回路をさらに備える、項目 3 3 から 3 9 のいずれかに記載の表示装置。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

[項目 4 1]

前記光学シャッタにおける前記発光素子からの光が出射する側に、タッチスクリーンをさらに備える、項目 4 0 に記載の表示装置。

【 0 0 5 2 】

[項目 4 2]

前記表面構造は、少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_a とすると、 $\lambda_a / n_{\text{wav-a}} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ第 1 周期構造を含む、項目 3 3 から 4 1 のいずれかに記載の表示装置。

【 0 0 5 3 】

[項目 4 3]

前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a と異なる λ_b の第 2 の光を含み、前記第 2 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav-b}}$ とするとき、

前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_b とすると、 $\lambda_b / n_{\text{wav-b}} < p_b < \lambda_b$ の関係が成り立つ第 2 周期構造をさらに含み、

前記波長 λ_a は、赤色の波長帯域に属し、

前記波長 λ_b は、緑色の波長帯域に属する、

項目 4 2 に記載の表示装置。

【 0 0 5 4 】

[項目 4 4]

空気中の波長が λ_a および λ_b と異なる λ_c の第 3 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav-c}}$ とするとき、

前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_c とすると、 $\lambda_c / n_{\text{wav-c}} < p_c < \lambda_c$ の関係が成り立つ第 3 周期構造をさらに含み、

前記波長 λ_c は、青色の波長帯域に属する、

項目 4 3 に記載の表示装置。

【 0 0 5 5 】

[項目 4 5]

前記励起光源は、青色の波長帯域の光を発する、項目 4 3 または 4 4 に記載の表示装置

。

【 0 0 5 6 】

[項目 4 6]

励起光源と、

前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、

前記発光素子からの光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板と、を備え

、

前記発光素子は、

前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、

前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成された表面構造と、を有し、

前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、発光装置。

【 0 0 5 7 】

[項目 4 7]

励起光源と、

前記励起光源からの励起光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板と、

10

20

30

40

50

前記導光板から出射された前記励起光の光路上に位置する発光素子と、を備え、
前記発光素子は、

前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、

前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成された表面構造と、を有し、

前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
発光装置。 10

【 0 0 5 8 】

[項目 4 8]

前記フォトルミネッセンス層と前記透光層とが互いに接している、項目 4 6 または 4 7 に記載の発光装置。

【 0 0 5 9 】

[項目 4 9]

励起光源と、

前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、

前記発光素子からの光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板と、を備え、 20

前記発光素子は、

前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層の表面に形成された表面構造と、を有し、

前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
発光装置。

【 0 0 6 0 】

[項目 5 0]

励起光源と、 30

前記励起光源からの励起光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板と、

前記導光板から出射された前記励起光の光路上に位置する発光素子と、を備え、

前記発光素子は、

前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層の表面に形成された表面構造と、を有し、

前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
発光装置。

【 0 0 6 1 】 40

[項目 5 1]

前記表面構造における隣接する 2 つの凸部または隣接する 2 つの凹部の中心間距離を D_{int} とし、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係が成り立つ、項目 4 6 から 5 0 のいずれかに記載の発光装置。

【 0 0 6 2 】

[項目 5 2]

前記表面構造は、少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_a とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ第 1 周期構造を含む、
項目 4 6 から 5 1 のいずれかに記載の発光装置。 50

【 0 0 6 3 】

[項目 5 3]

前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a と異なる λ_b の第 2 の光を含み、前記第 2 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav-b}}$ とするとき、

前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_b とすると、 $\lambda_b / n_{\text{wav-b}} < p_b < \lambda_b$ の関係が成り立つ第 2 周期構造をさらに含み、

前記波長 λ_a は、赤色の波長帯域に属し、

前記波長 λ_b は、緑色の波長帯域に属する、

項目 5 2 に記載の発光装置。

10

【 0 0 6 4 】

[項目 5 4]

空気中の波長が λ_a および λ_b と異なる λ_c の第 3 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav-c}}$ とするとき、

前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_c とすると、 $\lambda_c / n_{\text{wav-c}} < p_c < \lambda_c$ の関係が成り立つ第 3 周期構造をさらに含み、

前記波長 λ_c は、青色または黄色の波長帯域に属する、

項目 5 3 に記載の発光装置。

【 0 0 6 5 】

[項目 5 5]

前記励起光源は、青色の波長帯域の光を発する、項目 5 3 または 5 4 に記載の発光装置。

20

【 0 0 6 6 】

[項目 5 6]

項目 5 4 に記載の発光装置と、

前記発光装置を収納する筐体と、

を備え、

前記波長 λ_c は、黄色の波長帯域に属する、
信号機。

【 0 0 6 7 】

[項目 5 7]

励起光源と、

前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、

前記発光素子からの光の光路上に位置する光学シャッタと、を備え、

前記発光素子は、

透光層と、

前記透光層の表面に形成され、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、

前記表面構造に近接して配置され、前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、を有し、

前記表面構造は、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
表示装置。

40

【 0 0 6 8 】

[項目 5 8]

励起光源と、

前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、

前記発光素子からの光の光路上に位置する光学シャッタと、を備え、

前記発光素子は、

前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、

50

前記フォトルミネッセンス層よりも高い屈折率を有する透光層と、
 前記透光層の表面に形成され、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、を有し、
 前記表面構造は、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
 表示装置。

【 0 0 6 9 】

[項目 5 9]

前記フォトルミネッセンス層と前記透光層とが互いに接している、項目 5 7 または 5 8 に記載の表示装置。

【 0 0 7 0 】

[項目 6 0]

前記表面構造における隣接する 2 つの凸部または隣接する 2 つの凹部の中心間距離を D_{int} とし、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係が成り立つ、項目 5 7 から 5 9 のいずれかに記載の表示装置。

【 0 0 7 1 】

[項目 6 1]

前記表面構造は、少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_a とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ第 1 周期構造を含む、
 項目 5 7 から 5 9 のいずれかに記載の表示装置。

【 0 0 7 2 】

[項目 6 2]

励起光源と、
 前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、
 前記発光素子からの光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板と、を備え

、
 前記発光素子は、
 透光層と、
 前記透光層の表面に形成され、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、

前記表面構造に近接して配置され、前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、を有し、

前記表面構造は、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
 発光装置。

【 0 0 7 3 】

[項目 6 3]

励起光源と、
 前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、
 前記発光素子からの光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板と、を備え

、
 前記発光素子は、
 前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層よりも高い屈折率を有する透光層と、
 前記透光層の表面に形成され、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、を有し、

前記表面構造は、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
 発光装置。

【 0 0 7 4 】

[項目 6 4]

10

20

30

40

50

励起光源と、
 前記励起光源からの励起光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板と、
 前記導光板から出射された前記励起光の光路上に位置する発光素子と、を備え、
 前記発光素子は、
 透光層と、
 前記透光層の表面に形成され、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、
 前記表面構造に近接して配置され、前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、を有し、
 前記表面構造は、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
 発光装置。 10

【 0 0 7 5 】

[項目 6 5]

励起光源と、
 前記励起光源からの励起光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板と、
 前記導光板から出射された前記励起光の光路上に位置する発光素子と、を備え、
 前記発光素子は、
 前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、
 前記フォトルミネッセンス層よりも高い屈折率を有する透光層と、 20
 前記透光層の表面に形成され、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、を有し、
 前記表面構造は、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
 発光装置。

【 0 0 7 6 】

[項目 6 6]

前記フォトルミネッセンス層と前記透光層とが互いに接している、項目 6 2 から 6 5 のいずれかに記載の発光装置。

【 0 0 7 7 】

[項目 6 7] 30

励起光源と、
 前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、
 前記発光素子からの光の光路上に位置する反射ミラーと、を備え、
 前記発光素子は、
 前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセンス層と、
 前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、
 前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成された表面構造と、を有し、
 前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
 発光装置。 40

【 0 0 7 8 】

[項目 6 8]

励起光源と、
 前記励起光源からの励起光の光路上に位置するマイクロミラーと、
 前記マイクロミラーによって反射された前記励起光の光路上に位置する発光素子と、を備え、
 前記発光素子は、
 前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含む光を発するフォトルミネッセ 50

センス層と、

前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、

前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成された表面構造と、を有し、

前記表面構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記第 1 の光の指向角を制限する、
発光装置。

【 0 0 7 9 】

[項目 6 9]

前記表面構造における隣接する 2 つの凸部または隣接する 2 つの凹部の中心間距離を D_{int} とし、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係が成り立つ、項目 6 2 から 6 8 のいずれかに記載の発光装置。

10

【 0 0 8 0 】

[項目 7 0]

前記表面構造は、少なくとも 1 つの周期構造を含み、前記少なくとも 1 つの周期構造は、周期を p_a とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ第 1 周期構造を含む、
項目 6 2 から 6 8 のいずれかに記載の発光装置。

【 0 0 8 1 】

[項目 7 1]

励起光源と、

前記励起光源からの励起光の光路上に位置する発光素子と、

前記発光素子を回転させる機構と、を備え、

前記発光素子は、

前記機構に連結された中心部と、

前記中心部の周囲に位置する第 1 から第 3 の領域と、を有し、

前記第 1 および第 2 の領域の各々は、

前記励起光によって発光するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、

前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方に形成された少なくとも 1 つの周期構造と、を有し、

20

前記周期構造は、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、

前記第 1 の領域における前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a の第 1 の光を含み、前記第 1 の領域における隣接する凸部間または凹部間の距離を D_{int-a} とし、前記第 1 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-a} とすると、
 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int-a} < \lambda_a$ の関係が成り立ち、

前記第 2 の領域における前記フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_b の第 2 の光を含み、前記第 2 の領域における隣接する凸部間または凹部間の距離を D_{int-b} とし、前記第 2 の光に対する前記フォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-b} とすると、
 $\lambda_b / n_{wav-b} < D_{int-b} < \lambda_b$ の関係が成り立ち、

30

40

前記第 3 の領域は、透明領域であり、

前記励起光源は、前記機構が前記発光素子を回転させているとき、前記第 1 から第 3 の領域に前記励起光を順次入射させる、

照明装置。

【 0 0 8 2 】

[項目 7 2]

前記波長 λ_a は、赤の波長帯域に含まれ、

前記波長 λ_b は、緑の波長帯域に含まれ、

前記励起光は、青の波長帯域の光を出射する、

項目 7 1 に記載の照明装置。

50

【 0 0 8 3 】

[項目 7 3]

一列に配列された第 1 から第 3 の発光領域を有するフォトルミネッセンス層と、
前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、
前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成され、複
数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、
を有し、

前記第 1 の発光領域は、励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を発生させ、
前記第 2 の発光領域は、励起光を受けて空気中の波長が λ_b の第 2 の光を発生させ、
前記第 3 の発光領域は、励起光を受けて空気中の波長が λ_c の第 3 の光を発生させ、
前記表面構造は、前記第 1 の発光領域から生じた前記第 1 の光の指向角を制限する第 1
の部分と、前記第 2 の発光領域から生じた前記第 2 の光の指向角を制限する第 2 の部分と
、前記第 3 の発光領域から生じた前記第 3 の光の指向角を制限する第 3 の部分と、を有し
、

前記波長 λ_a は、赤の波長帯域に含まれ、
前記波長 λ_b は、緑の波長帯域に含まれ、
前記波長 λ_c は、黄の波長帯域に含まれる、
信号機。

【 0 0 8 4 】

[項目 7 4]

一列に配列された第 1 および第 2 の発光領域を有するフォトルミネッセンス層と、
前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、
前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成され、複
数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、
を有し、

前記第 1 の発光領域は、励起光を受けて空気中の波長が λ_a の第 1 の光を発生させ、
前記第 2 の発光領域は、励起光を受けて空気中の波長が λ_b の第 2 の光を発生させ、
前記表面構造は、前記第 1 の発光領域から生じた前記第 1 の光の指向角を制限する第 1
の部分と、前記第 2 の発光領域から生じた前記第 2 の光の指向角を制限する第 2 の部分と
、を有し、

前記波長 λ_a は、赤の波長帯域に含まれ、
前記波長 λ_b は、緑の波長帯域に含まれる、
信号機。

【 0 0 8 5 】

[項目 7 5]

植物を載置する載置台と、
前記植物に向けて光を照射する発光素子と、
を備え、

前記発光素子は、
空気中の波長が λ_a の光を発するフォトルミネッセンス層と、
前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、
前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成された表
面構造であって、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が
 λ_a の前記光の指向角を制限する表面構造と、
を有する、
植物用発光装置。

【 0 0 8 6 】

[項目 7 6]

植物を載置する載置台と、
前記植物に向けて第 1 の光を照射する第 1 の発光素子と、

前記植物に向けて第2の光を照射する第2の発光素子と、
を備え、

前記第1の発光素子は、

空気中の波長が λ_a の光を発する第1のフォトルミネッセンス層と、

前記第1のフォトルミネッセンス層に近接して配置された第1の透光層と、

前記第1のフォトルミネッセンス層および前記第1の透光層の少なくとも一方の表面に形成された第1の表面構造であって、複数の第1凸部および複数の第1凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記光の指向角を制限する第1の表面構造と、
を有し、

前記第2の発光素子は、

空気中の波長が λ_b とは異なる λ_b の光を発する第2のフォトルミネッセンス層と、

前記第2のフォトルミネッセンス層に近接して配置された第2の透光層と、

前記第2のフォトルミネッセンス層および前記第2の透光層の少なくとも一方の表面に形成された第2の表面構造であって、複数の第2凸部および複数の第2凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_b の前記光の指向角を制限する第2の表面構造と、
を有する、

植物用発光装置。

【0087】

[項目77]

発光装置と、

イメージセンサーと、

前記発光装置および前記イメージセンサーを制御する制御回路と、
を備え、

前記発光装置は、

空気中の波長が λ_a の光を発するフォトルミネッセンス層と、

前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、

前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成された表面構造であって、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含み、空気中の波長が λ_a の前記光の指向角を制限する表面構造と、
を有し、

前記制御回路は、前記発光装置に前記波長 λ_a を含む波長帯域のパルス光を出射させながら、前記イメージセンサーに撮像させ、前記発光装置から出射された前記パルス光と、前記パルス光が対象物で反射されて前記イメージセンサーで検出された光との間の位相差に基づいて、前記対象物までの距離を検出する、
距離センサー。

【0088】

[項目78]

前記波長 λ_a は、近赤外線の波長帯域に属する、項目77に記載の距離センサー。

【0089】

本開示の実施形態による発光素子は、前記励起光を受けて空気中の波長が λ_a の光を発するフォトルミネッセンス層と、前記フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、前記フォトルミネッセンス層および前記透光層の少なくとも一方の表面に形成され、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造と、を有し、前記表面構造は、前記フォトルミネッセンス層が発する空気中の波長が λ_a の前記光の指向角を制限する。波長 λ_a は、例えば、可視光の波長範囲内（例えば、380nm以上780nm以下）にある。赤外線を利用する用途では、波長 λ_a は、780nmを超える場合もあり得る。一方、紫外線を利用する用途では、波長 λ_a は、380nm未満の場合もあり得る。本開示では、赤外線および紫外線を含めた電磁波全般を、便宜上「光」と表現する。

【0090】

フォトルミネッセンス層は、フォトルミネッセンス材料を含む。フォトルミネッセンス

10

20

30

40

50

材料は、励起光を受けて発光する材料を意味する。フォトルミネッセンス材料は、狭義の蛍光材料および燐光材料を包含し、無機材料だけでなく、有機材料（例えば色素）を包含し、さらには、量子ドット（即ち、半導体微粒子）を包含する。フォトルミネッセンス層は、フォトルミネッセンス材料に加えて、マトリクス材料（即ち、ホスト材料）を含んでもよい。マトリクス材料は、例えば、ガラスや酸化物などの無機材料や樹脂である。

【0091】

フォトルミネッセンス層に近接して配置される透光層は、フォトルミネッセンス層が発する光に対して透過率が高い材料、例えば、無機材料や樹脂で形成される。透光層は、例えば誘電体（特に、光の吸収が少ない絶縁体）で形成され得る。透光層は、例えば、フォトルミネッセンス層を支持する基板であってよい。フォトルミネッセンス層の空気側の表面がサブミクロン構造を有する場合、空気層が透光層となり得る。

10

【0092】

フォトルミネッセンス層および透光層の少なくとも一方の表面には、複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方を含む表面構造が形成される。ここで「表面」とは、他の物質と接している部分（即ち界面）を意味する。透光層が空気等の気体の層である場合は、その気体の層と他の物質（例えばフォトルミネッセンス層）との間の界面が、透光層の表面である。この表面構造は、「凹凸構造」と称することもできる。表面構造は、典型的には、複数の凸部または複数の凹部が一次元または二次元に周期的に配列された部分を含む。そのような表面構造は、「周期構造」と称することができる。複数の凸部および複数の凹部は、互いに接する2つの屈折率の異なる部材（または媒質）の境界に形成される。したがって、「周期構造」は、ある方向に屈折率が周期的に変動する部分を含む構造といえる。ここで「周期的」とは、厳密に周期的である態様に限定されず、近似的に周期的であるといえる態様を含む。本明細書において、連続する複数の凸部または凹部のうち、隣接する2つの中心間の距離（以下、「中心間隔」と称することがある。）が、いずれの2つの隣接する凸部または凹部についても、ある値 p の $\pm 15\%$ 以内の範囲に収まっているとき、その部分は、周期 p を有する周期構造であると考えられる。

20

【0093】

本明細書において「凸部」は、基準の高さの部分に対して盛り上がった部分を意味する。「凹部」は、基準の高さの部分に対して窪んだ部分を意味する。凸部および凹部の形状、サイズ、分布によっては、いずれが凸部でいずれが凹部かが容易に判断できない場合があり得る。例えば、図65に示す断面図では、部材610が凹部を有し、部材620が凸部を有していると解釈することもできれば、その逆の解釈も可能である。どのように解釈したとしても、部材610および部材620の各々が、複数の凸部および凹部の少なくとも一方を有するといえることには変わりはない。

30

【0094】

表面構造における隣接する2つの凸部または隣接する2つの凹部の中心間の距離（周期構造においては周期 p ）は、典型的にはフォトルミネッセンス層が発する光の空気中における波長よりも短い。フォトルミネッセンス層から発せられる光が可視光、短波長の近赤外線、または紫外線の場合、その距離はマイクロメートルのオーダー（即ちミクロンオーダー）よりも短い。よって、そのような表面構造を、「サブミクロン構造」と称することがある。「サブミクロン構造」が一部に1マイクロメートル（ μm ）を超える中心間隔または周期を有する部分を含んでいてもよい。以下の説明では、可視光を発するフォトルミネッセンス層を主に想定し、表面構造を意味する用語として「サブミクロン構造」の用語を主に用いる。しかし、サブミクロンオーダーを超える微細構造（例えば、赤外線を利用する用途で使用されるミクロンオーダーの微細構造）を有する表面構造についても、以下の議論は全く同様に成立する。

40

【0095】

本開示の実施形態による発光素子においては、後に計算結果および実験結果を参照して詳述するように、フォトルミネッセンス層および透光層の内部に、ユニークな電場分布を形成する。これは、導波光がサブミクロン構造（即ち表面構造）と相互作用して形成され

50

る。このような電場分布を形成する光のモードを「擬似導波モード」と表現することができる。この擬似導波モードを活用することで、以下で説明するように、フォトルミネッセンスの発光効率の増大、指向性の向上、偏光の選択性の効果を得ることができる。なお、以下の説明において、擬似導波モードという用語を使って、本発明者らが見出した、新規な構成および/または新規なメカニズムを説明することがある。その説明は、1つの例示的な説明に過ぎず、本開示をいかなる意味においても限定するものではない。

【0096】

サブミクロン構造は、例えば複数の凸部を含み、隣接する凸部間の中心間距離を D_{int} とすると、 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係を満足し得る。サブミクロン構造は、複数の凸部に代えて複数の凹部を含んでもよい。以下では、簡単のために、サブミクロン構造が複数の凸部を有するものとして説明する。 λ_a は光の波長を表し、 λ_a は空気中での光の波長であることを表現する。 n_{wav} はフォトルミネッセンス層の屈折率である。フォトルミネッセンス層が複数の材料を混合した媒質である場合、各材料の屈折率をそれぞれの体積比率で重み付けした平均屈折率を n_{wav} とする。一般に屈折率 n は波長に依存するので、 λ_a の光に対する屈折率であることを n_{wav-a} と明示することが望ましいが、簡単のために省略することがある。 n_{wav} は基本的にフォトルミネッセンス層の屈折率であるが、フォトルミネッセンス層に隣接する層の屈折率がフォトルミネッセンス層の屈折率よりも大きい場合、当該屈折率が大きい層の屈折率およびフォトルミネッセンス層の屈折率をそれぞれの体積比率で重み付けした平均屈折率を n_{wav} とする。この場合は、光学的には、フォトルミネッセンス層が複数の異なる材料の層で構成されている場合と等価であるからである。

【0097】

擬似導波モードの光に対する媒質の有効屈折率を n_{eff} とすると、 $n_a < n_{eff} < n_{wav}$ を満たす。ここで、 n_a は空気の屈折率である。擬似導波モードの光を、フォトルミネッセンス層の内部を入射角 θ で全反射しながら伝搬する光であると考え、有効屈折率 n_{eff} は、 $n_{eff} = n_{wav} \sin \theta$ と書ける。また、有効屈折率 n_{eff} は、擬似導波モードの電場が分布する領域に存在する媒質の屈折率によって決まるので、例えば、サブミクロン構造が透光層に形成されている場合、フォトルミネッセンス層の屈折率だけでなく、透光層の屈折率にも依存する。また、擬似導波モードの偏光方向 (TEモードとTMモード) により、電場の分布は異なるので、TEモードとTMモードとでは有効屈折率 n_{eff} は異なり得る。

【0098】

サブミクロン構造は、フォトルミネッセンス層および透光層の少なくとも一方に形成される。フォトルミネッセンス層と透光層とが互いに接するとき、フォトルミネッセンス層と透光層との界面にサブミクロン構造が形成されてもよい。このとき、フォトルミネッセンス層および透光層がサブミクロン構造を有する。フォトルミネッセンス層はサブミクロン構造を有さなくてもよい。このとき、サブミクロン構造を有する透光層がフォトルミネッセンス層に近接して配置される。ここで、透光層 (またはそのサブミクロン構造) がフォトルミネッセンス層に近接するとは、典型的には、これらの間の距離が、波長 λ_a の半分以下であることをいう。これにより、導波モードの電場がサブミクロン構造に到達し、擬似導波モードが形成される。ただし、透光層の屈折率がフォトルミネッセンス層の屈折率よりも大きいときには上記の関係を満足しなくても透光層まで光が到達するため、透光層のサブミクロン構造とフォトルミネッセンス層との間の距離は、波長 λ_a の半分超であってもよい。本明細書では、フォトルミネッセンス層と透光層とが、導波モードの電場がサブミクロン構造に到達し、擬似導波モードが形成されるような配置関係にあるとき、両者が互いに関連付けられていると表現することがある。

【0099】

サブミクロン構造が、上記のように、 $\lambda_a / n_{wav-a} < D_{int} < \lambda_a$ の関係を満足するとき、可視光を利用する用途では、サブミクロンオーダーの大きさで特徴づけられる。サブミクロン構造は、例えば、以下に詳細に説明する実施形態の発光素子におけるように、少な

10

20

30

40

50

くとも1つの周期構造を含み得る。少なくとも1つの周期構造は、周期を p_a とすると、 $\lambda_a / n_{\text{wav-a}} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ。すなわち、サブミクロン構造は、隣接する凸部間の距離 D_{int} が p_a で一定の周期構造を含み得る。サブミクロン構造がこのような周期構造を含むと、擬似導波モードの光は、伝搬しながら周期構造と相互作用を繰り返すことにより、サブミクロン構造によって回折される。これは、自由空間を伝播する光が周期構造により回折する現象とは異なり、光が導波しながら（即ち、全反射を繰り返しながら）周期構造と作用する現象である。したがって、周期構造による位相シフトが小さくても（即ち、周期構造の高さが小さくても）効率よく光の回折を起こすことができる。

【0100】

以上のようなメカニズムを利用すれば、擬似導波モードにより電場が増強される効果によって、フォトルミネッセンスの発光効率が增大するとともに、発生した光が擬似導波モードに結合する。擬似導波モードの光は、周期構造で規定される回折角度だけ進行角度が曲げられる。これを利用することによって、特定の波長の光を特定の方向に出射することができる。すなわち、周期構造が存在しない場合と比較して、指向性が顕著に向上する。さらに、TEモードとTMモードとで有効屈折率 $n_{\text{eff}} (= n_{\text{wav}} \sin \theta)$ が異なるので、高い偏光の選択性を同時に得ることもできる。例えば、後に実験例を示すように、特定の波長（例えば610nm）の直線偏光（例えばTMモード）を正面方向に強く出射する発光素子を得ることができる。このとき、正面方向に出射する光の指向角は例えば15°未満である。ここで「指向角」とは、出射する特定の波長の直線偏光について、強度が最大である方向と、強度が最大強度の50%になる方向との間の角度と定義される。すなわち、指向角は強度が最大である方向を0°とした場合の片側の角度である。このように、本開示の実施形態における周期構造（即ち表面構造）は、特定の波長 λ_a の光の指向角を制限する。言い換えれば、当該波長 λ_a の光の配光を、周期構造がない場合と比較して狭角にする。このような、周期構造が存在しない場合と比較して指向角が低減された配光を、「狭角配光」と称することがある。本開示の実施形態における周期構造は、波長 λ_a の光の指向角を制限するが、波長 λ_a の光の全てを狭角に出射するのではない。例えば後述する図29に示す例では、強度が最大になる方向から離れた角度（例えば20°～70°）の方向にも波長 λ_a の光が僅かに出射する。しかし、全体的には、波長 λ_a の出射光が0°～20°の範囲に集中しており、指向角が制限されている。

【0101】

なお、本開示の典型的な実施形態における周期構造は、一般的な回折格子とは異なり、光の波長 λ_a よりも短い周期を有する。一般的な回折格子は、光の波長 λ_a よりも十分に長い周期を有し、その結果、特定の波長の光を0次光（即ち透過光）、±1次回折光などの複数の回折光に分けて出射させる。そのような回折格子は、高次の回折光が0次光の両側に発生する。回折格子における、0次光の両側に発生する高次の回折光は、狭角配光の実現を困難にする。言い換えれば、従来の回折格子は、光の指向角を所定の角度（例えば15°程度）に制限するという本開示の実施形態に特有の効果を奏しない。この点で、本開示の実施形態における周期構造は、従来の回折格子とは顕著に異なる性質を有する。

【0102】

サブミクロン構造の周期性が低くなると、指向性、発光効率、偏光度および波長選択性が弱くなる。必要に応じて、サブミクロン構造の周期性を調整すればよい。周期構造は、偏光の選択性が高い1次元周期構造であってもよいし、偏光度を小さくできる2次元周期構造であってもよい。

【0103】

サブミクロン構造は、複数の周期構造を含み得る。複数の周期構造は、例えば、周期（ピッチ）が互いに異なる。あるいは、複数の周期構造は、例えば、周期性を有する方向（軸）が互いに異なる。複数の周期構造は、同一面内に形成されてもよいし、積層されてもよい。もちろん、発光素子は、複数のフォトルミネッセンス層と複数の透光層とを有し、これらが複数のサブミクロン構造を有してもよい。

【0104】

サブミクロン構造は、フォトルミネッセンス層が発する光を制御するためだけでなく、励起光を効率よくフォトルミネッセンス層に導くためにも用いることができる。すなわち、励起光がサブミクロン構造により回折されフォトルミネッセンス層および透光層を導波する擬似導波モードに結合することで、効率よくフォトルミネッセンス層を励起することができる。フォトルミネッセンス材料を励起する光の空気中における波長を λ_{ex} とし、この励起光に対するフォトルミネッセンス層の屈折率を n_{wav-ex} とすると、 $\lambda_{ex} / n_{wav-ex} < D_{int} < \lambda_{ex}$ の関係が成り立つサブミクロン構造を用いればよい。 n_{wav-ex} はフォトルミネッセンス材料の励起波長における屈折率である。周期を p_{ex} とすると、 $\lambda_{ex} / n_{wav-ex} < p_{ex} < \lambda_{ex}$ の関係が成り立つ周期構造を有するサブミクロン構造を用いてもよい。励起光の波長 λ_{ex} は、例えば、450 nm であるが、可視光よりも短波長であってもよい。励起光の波長が可視光の範囲内にある場合、フォトルミネッセンス層が発する光とともに、励起光を出射するようにしてもよい。

10

【0105】

[2. 本開示の基礎となった知見]

本開示の具体的な実施形態を説明する前に、まず、本開示の基礎となった知見を説明する。上述のように、蛍光灯、白色LEDなどで使われるフォトルミネッセンス材料は等方的に発光する。特定の方向を光で照らすためには、リフレクターやレンズなどの光学部品が必要である。しかしながら、もしフォトルミネッセンス層自身が指向性をもって発光すれば、上記のような光学部品は不要になる（若しくは小さくできる）。これにより、光学デバイスや器具の大きさを大幅に小さくすることができる。本発明者らは、このような着想に基づき、指向性発光を得るために、フォトルミネッセンス層の構成を詳細に検討した。

20

【0106】

本発明者らは、まず、フォトルミネッセンス層からの光が特定の方向に偏るようにするため、発光自体に特定の方向性をもたせることを考えた。発光を特徴付ける指標である発光レート Γ は、フェルミの黄金則により、以下の式(1)で表される。

$$\Gamma(\mathbf{r}) = \frac{2\pi}{\hbar} \langle (\mathbf{d} \cdot \mathbf{E}(\mathbf{r})) \rangle^2 \rho(\lambda) \quad (1)$$

30

【0107】

式(1)において、 \mathbf{r} は位置を表すベクトル、 λ は光の波長、 \mathbf{d} は双極子ベクトル、 \mathbf{E} は電場ベクトル、 ρ は状態密度である。一部の結晶性物質を除く多くの物質では、双極子ベクトル \mathbf{d} はランダムな方向性を有している。また、フォトルミネッセンス層のサイズと厚さが光の波長よりも十分に大きい場合、電場 \mathbf{E} の大きさも向きに依らずほとんど一定である。よって、ほとんどの場合、 $\langle (\mathbf{d} \cdot \mathbf{E}(\mathbf{r})) \rangle^2$ の値は方向に依らない。即ち、発光レート Γ は方向に依らず一定である。このため、ほとんどの場合においてフォトルミネッセンス層は等方的に発光する。

40

【0108】

一方、式(1)から、異方的な発光を得るためには、双極子ベクトル \mathbf{d} を特定の方向に揃えるか、電場ベクトルの特定方向の成分を増強するかいずれかの工夫が必要である。これらのいずれかの工夫を行うことで、指向性発光を実現できる。本開示の実施形態では、フォトルミネッセンス層へ光を閉じ込める効果により、特定方向の電場成分が増強された擬似導波モードを利用する。そのための構成について検討し、詳細に分析した結果を以下に説明する。

【0109】

[3. 特定の方向の電場のみを強くする構成]

本願発明者らは、電場が強い導波モードを用いて、発光の制御を行うことを考えた。導波構造自体がフォトルミネッセンス材料を含む構成とすることで、発生した光を導波モー

50

ドに結合させることができる。しかし、ただ単にフォトルミネッセンス材料を用いて導波構造を形成しただけでは、発せられた光が導波モードとなるため、正面方向へはほとんど光は出てこない。そこで、本願発明者らは、フォトルミネッセンス材料を含む導波路と周期構造とを組み合わせることを考えた。導波路に周期構造が近接し、光の電場が周期構造と重なりながら導波する場合、周期構造の作用により擬似導波モードが存在する。つまり、この擬似導波モードは、周期構造により制限された導波モードであり、電場振幅の腹が周期構造の周期と同じ周期で発生することを特徴とする。このモードは、光が導波構造に閉じ込められることにより特定方向への電場が強められたモードである。さらに、このモードは周期構造と相互作用することで、回折効果により特定方向の伝播光へと変換されるため、導波路外部へと光を出射することができる。さらに、擬似導波モード以外の光は導波路内に閉じ込められる効果が小さいため、電場は増強されない。よって、発光のほとんどは大きな電場成分を有する擬似導波モードへと結合することになる。

10

【0110】

つまり、本願発明者らは、周期構造が近接して設けられた導波路を、フォトルミネッセンス材料を含むフォトルミネッセンス層（あるいはフォトルミネッセンス層を有する導波層）によって構成することで、発生した光を、特定方向の伝播光に変換される擬似導波モードに結合させ、指向性のある光源を実現することを考えた。

【0111】

導波構造の簡便な構成として、スラブ型導波路に着目した。スラブ型導波路とは、光の導波部分が平板構造を有する導波路のことである。図30は、スラブ型導波路110Sの一例を模式的に示す斜視図である。導波路110Sの屈折率が導波路110Sを支持する透明基板140の屈折率よりも高いとき、導波路110S内を伝播する光のモードが存在する。このようなスラブ型導波路をフォトルミネッセンス層を含む構成とすることで、発光点から生じた光の電場が導波モードの電場と大きく重なるので、フォトルミネッセンス層で生じた光の大部分を導波モードに結合させることができる。さらに、フォトルミネッセンス層の厚さを光の波長程度とすることにより、電場振幅の大きい導波モードのみが存在する状況を作り出すことができる。

20

【0112】

さらに、フォトルミネッセンス層に周期構造が近接する場合には、導波モードの電場が周期構造と相互作用することで擬似導波モードが形成される。フォトルミネッセンス層が複数の層で構成されている場合でも、導波モードの電場が周期構造に達していれば、擬似導波モードが形成されることになる。フォトルミネッセンス層の全てがフォトルミネッセンス材料である必要はなく、その少なくとも一部の領域が発光する機能を有していればよい。

30

【0113】

周期構造を金属で形成した場合には、導波モードとプラズモン共鳴の効果によるモードが形成される。このモードは、上で述べた擬似導波モードとは異なる性質を有する。また、このモードは金属による吸収が大きいためロスが大きくなり、発光増強の効果は小さくなる。したがって、周期構造としては、吸収の少ない誘電体を用いるのが望ましい。

【0114】

本発明者らは、まずこのような導波路の表面に、周期構造を形成することで、特定の角度方向の伝播光として出射することのできる擬似導波モードに、発生した光を結合させることを検討した。図1Aは、そのような導波路（例えば、フォトルミネッセンス層）110と周期構造（例えば、透光層の一部）120とを有する発光素子100の一例を模式的に示す斜視図である。以下、透光層が周期構造を有している場合（即ち、透光層に周期的なサブミクロン構造が形成されている場合）、周期構造120を透光層120とすることがある。この例では、周期構造120は、各々がy方向に延びるストライプ状の複数の凸部がx方向に等間隔に並んだ1次元周期構造である。図1Bは、この発光素子100をxz面に平行な平面で切断したときの断面図である。導波路110に接するように周期pの周期構造120を設けると、面内方向の波数 k_{wav} をもつ擬似導波モードは、導波路外の

40

50

伝播光へと変換され、その波数 k_{out} は以下の式 (2) で表すことができる。

【数 2】

$$k_{out} = k_{wav} - m \frac{2\pi}{p} \quad (2)$$

【0115】

式 (2) における m は整数であり、回折の次数を表す。

【0116】

ここで、簡単のため、近似的に導波路内を導波する光を角度 θ_{wav} で伝播する光線であると考へ、以下の式 (3) および (4) が成立するとする。

10

【数 3】

$$\frac{k_{wav}\lambda_0}{2\pi} = n_{wav} \sin \theta_{wav} \quad (3)$$

【数 4】

$$\frac{k_{out}\lambda_0}{2\pi} = n_{out} \sin \theta_{out} \quad (4)$$

20

【0117】

これらの式において、 λ_0 は光の空気中の波長、 n_{wav} は導波路の屈折率、 n_{out} は出射側の媒質の屈折率、 θ_{out} は光が導波路外の基板または空気に出射するときの出射角度である。式 (2) ~ (4) から、出射角度 θ_{out} は、以下の式 (5) で表すことができる。

【数 5】

$$n_{out} \sin \theta_{out} = n_{wav} \sin \theta_{wav} - m\lambda_0/p \quad (5)$$

30

【0118】

式 (5) より、 $n_{wav} \sin \theta_{wav} = m\lambda_0/p$ が成立するとき、 $\theta_{out} = 0$ となり、導波路の面に垂直な方向 (即ち、正面) に光を出射させることができることがわかる。

【0119】

以上のような原理に基づけば、発生した光を特定の擬似導波モードに結合させ、さらに周期構造を利用して特定の出射角度の光に変換することにより、その方向に強い光を出射させることができると考えられる。

【0120】

上記のような状況を実現するためには、いくつかの制約条件がある。まず、擬似導波モードが存在するためには、導波路内で伝播する光が全反射することが必要である。このための条件は、以下の式 (6) で表される。

40

【数 6】

$$n_{out} < n_{wav} \sin \theta_{wav} \quad (6)$$

【0121】

この擬似導波モードを周期構造によって回折させて導波路外に光を出射させるためには、式 (5) において $-1 < \sin \theta_{out} < 1$ である必要がある。よって、以下の式 (7)

50

を満足する必要がある。

【数 7】

$$-1 < \frac{n_{wav}}{n_{out}} \sin \theta_{wav} - \frac{m\lambda_0}{n_{out}p} < 1 \quad (7)$$

【 0 1 2 2 】

これに対し、式 (6) を考慮すると、以下の式 (8) が成立すればよいことがわかる。

【数 8】

$$\frac{m\lambda_0}{2n_{out}} < p \quad (8)$$

10

【 0 1 2 3 】

さらに、導波路 1 1 0 から出射される光の方向を正面方向 ($\theta_{out} = 0$) にするためには、式 (5) から、以下の式 (9) が必要であることがわかる。

【数 9】

$$p = m\lambda_0 / (n_{wav} \sin \theta_{wav}) \quad (9)$$

20

【 0 1 2 4 】

式 (9) および式 (6) から、必要な条件は、以下の式 (1 0) であることがわかる。

【数 1 0】

$$\frac{m\lambda_0}{n_{wav}} < p < \frac{m\lambda_0}{n_{out}} \quad (10)$$

30

【 0 1 2 5 】

なお、図 1 A および図 1 B に示すような周期構造を設けた場合には、 m が 2 以上の高次の回折効率は低いいため、 $m = 1$ である 1 次の回折光を主眼に設計すると良い。このため、本実施形態における周期構造では、 $m = 1$ として、式 (1 0) を変形した以下の式 (1 1) を満足するように周期 p が決定される。

【数 1 1】

$$\frac{\lambda_0}{n_{wav}} < p < \frac{\lambda_0}{n_{out}} \quad (11)$$

40

【 0 1 2 6 】

図 1 A および図 1 B に示すように、導波路 (フォトルミネッセンス層) 1 1 0 が透明基板に接していない場合には、 n_{out} は空気の屈折率 (約 1 . 0) となるため、以下の式 (1 2) を満足するように周期 p を決定すればよい。

【数 1 2】

$$\frac{\lambda_0}{n_{wav}} < p < \lambda_0 \quad (12)$$

【0 1 2 7】

一方、図 1 C および図 1 D に例示するような透明基板 1 4 0 上にフォトルミネッセンス層 1 1 0 および周期構造 1 2 0 を形成した構造を採用してもよい。この場合には、透明基板 1 4 0 の屈折率 n_s が空気の屈折率よりも大きいことから、式 (1 1) において $n_{out} = n_s$ とした次式 (1 3) を満足するように周期 p を決定すればよい。

10

【数 1 3】

$$\frac{\lambda_0}{n_{wav}} < p < \frac{\lambda_0}{n_s} \quad (13)$$

【0 1 2 8】

なお、式 (1 2)、(1 3) では、式 (1 0) において $m = 1$ の場合を想定したが、 $m = 2$ であってもよい。すなわち、図 1 A および図 1 B に示すように発光素子 1 0 0 の両面が空気層に接している場合には、 m を 1 以上の整数として、以下の式 (1 4) を満足するように周期 p が設定されていればよい。

20

【数 1 4】

$$\frac{m\lambda_0}{n_{wav}} < p < m\lambda_0 \quad (14)$$

30

【0 1 2 9】

同様に、図 1 C および図 1 D に示す発光素子 1 0 0 a のようにフォトルミネッセンス層 1 1 0 が透明基板 1 4 0 上に形成されている場合には、以下の式 (1 5) を満足するように周期 p が設定されていればよい。

【数 1 5】

$$\frac{m\lambda_0}{n_{wav}} < p < \frac{m\lambda_0}{n_s} \quad (15)$$

40

【0 1 3 0】

以上の不等式を満足するように周期構造の周期 p を決定することにより、フォトルミネッセンス層 1 1 0 から発生した光を正面方向に出射させることができるため、指向性を有する発光装置を実現できる。

【0 1 3 1】

[4 . 計算による検証]

[4 - 1 . 周期、波長依存性]

本発明者らは、以上のような特定方向への光の出射が実際に可能であるかを光学解析によって検証した。光学解析は、サイバネット社の DiffractMOD を用いた計算によって行っ

50

た。これらの計算では、発光素子に対して外部から垂直に光を入射したときに、フォトルミネッセンス層における光の吸収の増減を計算することで、外部へ垂直に出射する光の増強度を求めた。外部から入射した光が擬似導波モードに結合しフォトルミネッセンス層で吸収されるという過程は、フォトルミネッセンス層における発光が擬似導波モードへと結合し、外部へ垂直に出射する伝播光へと変換される過程と逆の過程を計算していることに対応する。また、擬似導波モードの電場分布の計算においても、同様に外部から光を入射した場合における電場を計算した。

【 0 1 3 2 】

フォトルミネッセンス層の膜厚を $1 \mu\text{m}$ 、フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav}} = 1.8$ 、周期構造の高さを 50 nm 、周期構造の屈折率を 1.5 とし、発光波長および周期構造の周期をそれぞれ変えて、正面方向に出射する光の増強度を計算した結果を図 2 に示す。計算モデルは、図 1 A に示すように、 y 方向には均一な 1 次元周期構造とし、光の偏光は y 方向に平行な電場成分を有する TM モードであるとして計算を行った。図 2 の結果から、増強度のピークが、ある特定の波長と周期との組み合わせにおいて存在することがわかる。なお、図 2 において、増強度の大きさは色の濃淡で表されており、濃い（即ち黒い）方が増強度が大きく、淡い（即ち白い）方が増強度が小さい。

10

【 0 1 3 3 】

上記の計算において、周期構造の断面は、図 1 B に示すような矩形であるものとしている。式 (10) における $m = 1$ および $m = 3$ の条件を図示したグラフを図 3 に示す。図 2 と図 3 とを比較すると、図 2 におけるピーク位置は $m = 1$ と $m = 3$ に対応するところに存在することがわかる。 $m = 1$ の方が強度が強いのは、3 次以上の高次の回折光よりも 1 次の回折光の回折効率の方が高いからである。 $m = 2$ のピークが存在しないのは、周期構造における回折効率が低いからである。

20

【 0 1 3 4 】

図 3 で示した $m = 1$ および $m = 3$ のそれぞれに対応する領域内において、図 2 では複数のラインが存在することが確認できる。これは、擬似導波モードが複数存在するからであると考えられる。

【 0 1 3 5 】

[4 - 2 . 厚さ依存性]

図 4 は、フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav}} = 1.8$ 、周期構造の周期を 400 nm 、高さを 50 nm 、屈折率を 1.5 とし、発光波長およびフォトルミネッセンス層の厚さ t を変えて正面方向に出力する光の増強度を計算した結果を示す図である。フォトルミネッセンス層の厚さ t が特定の値であるときに光の増強度がピークに達することがわかる。

30

【 0 1 3 6 】

図 4 においてピークが存在する波長 600 nm 、厚さ $t = 238 \text{ nm}$ 、 539 nm のときに、 x 方向に導波するモードの電場分布を計算した結果を図 5 A および図 5 B にそれぞれ示す。比較のため、ピークが存在しない $t = 300 \text{ nm}$ の場合について同様の計算を行った結果を図 5 C に示す。計算モデルは、上記と同様、 y 方向に均一な 1 次元周期構造であるとした。各図において、黒い領域ほど電場強度が高く、白い領域ほど電場強度が低いことを表している。 $t = 238 \text{ nm}$ 、 539 nm の場合には高い電場強度の分布があるのに対して、 $t = 300 \text{ nm}$ では全体的に電場強度が低い。これは、 $t = 238 \text{ nm}$ 、 539 nm の場合には、導波モードが存在し、光が強く閉じ込められているからである。さらに、凸部または凸部の直下に電場が最も強い部分（腹）が必ず存在しており、周期構造 120 と相関のある電場が発生している特徴が見て取れる。つまり、周期構造 120 の配置に従って、導波するモードが得られていることがわかる。また、 $t = 238 \text{ nm}$ の場合と $t = 539 \text{ nm}$ の場合とを比較すると、 z 方向の電場の節（白い部分）の数が 1 つだけ異なるモードであることが分かる。

40

【 0 1 3 7 】

[4 - 3 . 偏光依存性]

50

次に偏光依存性を確認するために、図2の計算と同じ条件で、光の偏光がy方向に垂直な電場成分を有するTEモードである場合について光の増強度の計算を行った。本計算の結果を図6に示す。TMモードのとき(図2)に比べ、ピーク位置は多少変化しているものの、図3で示した領域内にピーク位置が納まっている。よって、本実施形態の構成は、TMモード、TEモードのいずれの偏光についても有効であることが確認できた。

【0138】

[4-4. 2次元周期構造]

さらに、2次元の周期構造による効果の検討を行った。図7Aは、x方向およびy方向の両方向に凹部および凸部が配列された2次元の周期構造120'の一部を示す平面図である。図中の黒い領域が凸部、白い領域が凹部を示している。このような2次元周期構造では、x方向とy方向の両方の回折を考慮する必要がある。x方向のみ、あるいはy方向のみの回折に関しては1次元の場合と同様であるが、x、y両方の成分を有する方向(例えば、斜め45°方向)の回折も存在するため、1次元の場合とは異なる結果が得られることが期待できる。このような2次元周期構造に関して光の増強度を計算した結果を図7Bに示す。周期構造以外の計算条件は図2の条件と同じである。図7Bに示すように、図2に示すTMモードのピーク位置に加えて、図6に示すTEモードにおけるピーク位置と一致するピーク位置も観測された。この結果は、2次元周期構造により、TEモードも、回折により変換されて出力されていることを示している。また、2次元周期構造については、x方向およびy方向の両方について、同時に1次の回折条件を満足する回折も考慮する必要がある。このような回折光は、周期pの2倍(即ち、 $2^{1/2}$ 倍)の周期に対応する角度の方向に出射する。よって、1次元周期構造の場合のピークに加えて、周期pの2倍の周期についてもピークが発生すると考えられる。図7Bでは、このようなピークも確認できる。

【0139】

2次元周期構造としては、図7Aに示すようなx方向およびy方向の周期が等しい正方格子の構造に限らず、図18Aおよび図18Bのような六角形や三角形を並べた格子構造であってもよい。また、方位方向によって(例えば、正方格子の場合x方向およびy方向)の周期が異なる構造であってもよい。

【0140】

以上のように、本実施形態では、周期構造とフォトルミネッセンス層とによって形成される特徴的な擬似導波モードの光を、周期構造による回折現象を利用して、正面方向にのみ選択的に出射できることが確認できた。このような構成で、フォトルミネッセンス層を紫外線や青色光などの励起光で励起させることにより、指向性を有する発光が得られる。

【0141】

[5. 周期構造およびフォトルミネッセンス層の構成の検討]

次に、周期構造およびフォトルミネッセンス層の構成や屈折率などの各種条件を変えたときの効果について説明する。

【0142】

[5-1. 周期構造の屈折率]

まず、周期構造の屈折率に関して検討を行った。フォトルミネッセンス層の膜厚を200nm、フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav}} = 1.8$ 、周期構造は図1Aに示すようなy方向に均一な1次元周期構造とし、高さを50nm、周期を400nmとし、光の偏光はy方向に平行な電場成分を有するTMモードであるものとして計算を行った。発光波長および周期構造の屈折率を変えて正面方向に出力する光の増強度を計算した結果を図8に示す。また、同様の条件でフォトルミネッセンス層の膜厚を1000nmにした場合の結果を図9に示す。

【0143】

まず、フォトルミネッセンス層の膜厚に着目すると、膜厚が200nmの場合(図8)に比べ、膜厚が1000nmの場合(図9)のほうが、周期構造の屈折率の変化に対する光強度がピークとなる波長(ピーク波長と称する。)のシフトが小さいことがわかる。こ

れは、フォトルミネッセンス層の膜厚が小さいほど、擬似導波モードが周期構造の屈折率の影響を受けやすいからである。即ち、周期構造の屈折率が高いほど、有効屈折率が大きくなり、その分ピーク波長が長波長側にシフトするが、この影響は、膜厚が小さいほど顕著になる。なお、有効屈折率は、擬似導波モードの電場が分布する領域に存在する媒質の屈折率によって決まる。

【 0 1 4 4 】

次に、周期構造の屈折率の変化に対するピークの変化に着目すると、屈折率が高いほどピークが広がり強度が下がっていることがわかる。これは、周期構造の屈折率が高いほど擬似導波モードの光を外部に放出するレートが高いため、光を閉じ込める効果が減少する、すなわちQ値が低くなることが原因である。ピーク強度を高く保つためには、光を閉じ込める効果が高い（即ちQ値が高い）擬似導波モードを利用して、適度に光を外部に放出する構成にすればよい。これを実現するためには、屈折率がフォトルミネッセンス層の屈折率に比べて大き過ぎる材料を周期構造に用いるのは望ましくないことがわかる。したがって、ピーク強度およびQ値をある程度高くするためには、周期構造を構成する誘電体（即ち、透光層）の屈折率を、フォトルミネッセンス層の屈折率と同等以下にすればよい。フォトルミネッセンス層がフォトルミネッセンス材料以外の材料を含むときも同様である。

10

【 0 1 4 5 】

[5 - 2 . 周期構造の高さ]

次に、周期構造の高さに関して検討を行った。フォトルミネッセンス層の膜厚を1000 nm、フォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav}} = 1.8$ 、周期構造は図1Aに示すようなy方向に均一な1次元周期構造で屈折率を $n_p = 1.5$ 、周期を400 nmとし、光の偏光はy方向に平行な電場成分を有するTMモードであるものとして計算を行った。発光波長および周期構造の高さを変えて正面方向に出力する光の増強度を計算した結果を図10に示す。同様の条件で、周期構造の屈折率を $n_p = 2.0$ とした場合の計算結果を図11に示す。図10に示す結果では、ある程度以上の高さではピーク強度やQ値（即ち、ピークの線幅）が変化していないのに対して、図11に示す結果では、周期構造の高さが大きいほどピーク強度およびQ値が低下していることがわかる。これは、フォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav} が周期構造の屈折率 n_p よりも高い場合（図10）には、光が全反射するので、擬似導波モードの電場の染み出し（エバネッセント）部分のみが周期構造と相互作用することに起因する。電場のエバネッセント部分と周期構造との相互作用の影響は、周期構造の高さが十分大きい場合には、それ以上高さが変化しても一定である。一方、フォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav} が周期構造の屈折率 n_p よりも低い場合（図11）は、全反射せずに周期構造の表面にまで光が到達するので、周期構造の高さが大きいほどその影響を受ける。図11を見る限り、高さは100 nm程度あれば十分であり、150 nmを超える領域ではピーク強度およびQ値が低下していることがわかる。したがって、フォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav} が周期構造の屈折率 n_p よりも低い場合に、ピーク強度およびQ値をある程度高くするためには、周期構造の高さを150 nm以下に設定すればよい。

20

30

【 0 1 4 6 】

[5 - 3 . 偏光方向]

次に、偏光方向に関して検討を行った。図9に示す計算と同じ条件で、光の偏光がy方向に垂直な電場成分を有するTEモードであるものとして計算した結果を図12に示す。TEモードでは、擬似導波モードの電場の染み出しがTMモードに比べて大きいため、周期構造による影響を受けやすい。よって、周期構造の屈折率 n_p がフォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav} よりも大きい領域では、ピーク強度およびQ値の低下がTMモードよりも著しい。

40

【 0 1 4 7 】

[5 - 4 . フォトルミネッセンス層の屈折率]

次に、フォトルミネッセンス層の屈折率に関して検討を行った。図9に示す計算と同様

50

の条件で、フォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav} を 1.5 に変更した場合の結果を図 13 に示す。フォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav} が 1.5 の場合においても概ね図 9 と同様の効果が得られていることがわかる。ただし、波長が 600 nm 以上の光は正面方向に出射していないことがわかる。これは、式 (10) より、 $n_0 < n_{wav} \times p / m = 1.5 \times 400 \text{ nm} / 1 = 600 \text{ nm}$ となるからである。

【0148】

以上の分析から、周期構造の屈折率はフォトルミネッセンス層の屈折率と同等以下にするか、周期構造の屈折率がフォトルミネッセンス層の屈折率以上の場合には、高さを 150 nm 以下にすれば、ピーク強度および Q 値を高くできることがわかる。

【0149】

[6. 変形例]

以下、本実施形態の変形例を説明する。

【0150】

[6-1. 基板を有する構成]

上述のように、発光素子は、図 1C および図 1D に示すように、透明基板 140 の上にフォトルミネッセンス層 110 および周期構造 120 が形成された構造を有していてもよい。このような発光素子 100a を作製するには、まず、透明基板 140 上にフォトルミネッセンス層 110 を構成するフォトルミネッセンス材料（必要に応じて、マトリクス材料を含む、以下同じ。）で薄膜を形成し、その上に周期構造 120 を形成する方法が考えられる。このような構成において、フォトルミネッセンス層 110 と周期構造 120 とにより、光を特定の方向に出射する機能をもたせるためには、透明基板 140 の屈折率 n_s はフォトルミネッセンス層の屈折率 n_{wav} 以下にする必要がある。透明基板 140 をフォトルミネッセンス層 110 に接するように設けた場合、式 (10) における出射媒質の屈折率 n_{out} を n_s とした式 (15) を満足するように周期 p を設定する必要がある。

【0151】

このことを確認するために、屈折率が 1.5 の透明基板 140 の上に、図 2 に示す計算と同じ条件のフォトルミネッセンス層 110 および周期構造 120 を設けた場合の計算を行った。本計算の結果を図 14 に示す。図 2 の結果と同様、波長ごとに特定の周期において光強度のピークが現れることが確認できるが、ピークが現れる周期の範囲が図 2 の結果とは異なることがわかる。これに対して、式 (10) の条件を $n_{out} = n_s$ とした式 (15) の条件を図 15 に示す。図 14 において、図 15 に示される範囲に対応する領域内に、光強度のピークが現れていることがわかる。

【0152】

したがって、透明基板 140 上にフォトルミネッセンス層 110 と周期構造 120 とを設けた発光素子 100a では、式 (15) を満足する周期 p の範囲において効果が得られ、式 (13) を満足する周期 p の範囲において特に顕著な効果が得られる。

【0153】

[6-2. 励起光源を有する発光装置]

図 16 は、図 1A、1B に示す発光素子 100 と、励起光をフォトルミネッセンス層 110 に入射させる光源 180 とを備える発光装置 200 の構成例を示す図である。上述のように、本開示の構成では、フォトルミネッセンス層を紫外線や青色光などの励起光で励起させることにより、指向性をもつ発光が得られる。そのような励起光を出射するように構成された光源 180 を設けることにより、指向性をもつ発光装置 200 を実現できる。光源 180 から出射される励起光の波長は、典型的には紫外または青色領域の波長であるが、これらに限らず、フォトルミネッセンス層 110 を構成するフォトルミネッセンス材料に応じて適宜決定される。なお、図 16 では、光源 180 がフォトルミネッセンス層 110 の下面から励起光を入射させるように配置されているが、このような例に限定されず、例えば、フォトルミネッセンス層 110 の上面から励起光を入射させてもよい。励起光は、フォトルミネッセンス層 110 の主面（即ち、上面または下面）に垂直な方向に対して傾斜した方向から（即ち、斜めに）入射させてもよい。励起光を、フォトルミネッセン

10

20

30

40

50

ス層 110 内で全反射が生じる角度で斜めに入射させることにより、より効率的に発光させることができる。

【0154】

励起光を擬似導波モードに結合させることで、効率よく光を出射させる方法もある。図 17A から図 17D は、そのような方法を説明するための図である。この例では、図 1C、1D に示す構成と同様、透明基板 140 上にフォトルミネッセンス層 110 および周期構造 120 が形成されている。まず、図 17A に示すように、発光増強のために x 方向の周期 p_x を決定し、続いて、図 17B に示すように、励起光を擬似導波モードに結合させるために y 方向の周期 p_y を決定する。周期 p_x は、式 (10) において p を p_x に置き換えた条件を満足するように決定される。一方、周期 p_y は、 m を 1 以上の整数、励起光の波長を λ_{ex} 、フォトルミネッセンス層 110 に接する媒質のうち、周期構造 120 を除く最も屈折率の高い媒質の屈折率を n_{out} とし、以下の式 (16) を満足するように決定される。

10

$$\frac{m\lambda_{ex}}{n_{wav}} < p_y < \frac{m\lambda_{ex}}{n_{out}} \quad (16)$$

【0155】

ここで、 n_{out} は、図 17B の例では透明基板 140 の n_s であるが、図 16 のように透明基板 140 を設けない構成では、空気の屈折率 (約 1.0) である。

20

【0156】

特に、 $m = 1$ とし、次の式 (17) を満足するように周期 p_y を決定すれば、励起光を擬似導波モードに変換する効果をより高くすることができる。

【数 17】

$$\frac{\lambda_{ex}}{n_{wav}} < p_y < \frac{\lambda_{ex}}{n_{out}} \quad (17)$$

30

【0157】

このように、式 (16) の条件 (特に式 (17) の条件) を満足するように周期 p_y を設定することで、励起光を擬似導波モードに変換することができる。その結果、フォトルミネッセンス層 110 に効率的に波長 λ_{ex} の励起光を吸収させることができる。

【0158】

図 17C および図 17D は、それぞれ、図 17A および図 17B に示す構造に対して光を入射したときに光が吸収される割合を波長ごとに計算した結果を示す図である。この計算では、 $p_x = 365 \text{ nm}$ 、 $p_y = 265 \text{ nm}$ とし、フォトルミネッセンス層 110 からの発光波長 λ_{em} を約 600 nm 、励起光の波長 λ_{ex} を約 450 nm 、フォトルミネッセンス層 110 の消衰係数を 0.003 としている。図 17D に示すように、フォトルミネッセンス層 110 から生じた光だけでなく、励起光である約 450 nm の光に対して高い吸収率を示している。これは、入射した光が効果的に擬似導波モードに変換されることで、フォトルミネッセンス層に吸収される割合を増大させることができているためである。また、発光波長である約 600 nm に対しても吸収率が増大しているが、これは、もし約 600 nm の波長の光をこの構造に入射した場合には、同様に効果的に擬似導波モードに変換されるということである。このように、図 17B に示す周期構造 120 は、x 方向および y 方向のそれぞれに周期の異なる構造 (周期成分と称する。) を有する 2 次元周期構造であ

40

50

る。このように、複数の周期成分を有する2次元周期構造を用いることにより、励起効率を高めつつ、出射強度を高めることが可能になる。なお、図17A、17Bでは励起光を基板140側から入射させているが、周期構造120側から入射させても同じ効果が得られる。

【0159】

さらに、複数の周期成分を有する2次元周期構造としては、図18Aまたは図18Bに示すような構成を採用してもよい。図18Aに示すように六角形の平面形状を有する複数の凸部または凹部を周期的に並べた構成や、図18Bに示すように三角形の平面形状を有する複数の凸部または凹部を周期的に並べた構成とすることにより、周期とみなすことのできる複数の主軸(図の例では軸1~3)を定めることができる。このため、それぞれの軸方向について異なる周期を割り当てることができる。これらの周期の各々を、複数の波長の光の指向性を高めるために設定してもよいし、励起光を効率よく吸収させるために設定してもよい。いずれの場合も、式(10)に相当する条件を満足するように各周期が設定される。

【0160】

[6-3. 透明基板上の周期構造]

図19Aおよび図19Bに示すように、透明基板140上に周期構造120aを形成し、その上にフォトルミネッセンス層110を設けてもよい。図19Aの構成例では、基板140上の凹凸からなる周期構造120aに追従するようにフォトルミネッセンス層110が形成されている。その結果、フォトルミネッセンス層110の表面にも同じ周期の周期構造120bが形成されている。一方、図19Bの構成例では、フォトルミネッセンス層110の表面は平坦になるように処理されている。これらの構成例においても、周期構造120aの周期 p を式(15)を満足するように設定することにより、指向性発光を実現できる。

【0161】

この効果を検証するため、図19Aの構成において、発光波長および周期構造の周期を変えて正面方向に出力する光の増強度を計算した。ここで、フォトルミネッセンス層110の膜厚を1000nm、フォトルミネッセンス層110の屈折率を $n_{\text{wav}} = 1.8$ 、周期構造120aは y 方向に均一な1次元周期構造で高さを50nm、屈折率を $n_p = 1.5$ 、周期を400nmとし、光の偏光は y 方向に平行な電場成分を有するTMモードであるものとした。本計算の結果を図19Cに示す。本計算においても、式(15)の条件を満足する周期で光強度のピークが観測された。

【0162】

[6-4. 粉体]

以上の実施形態によれば、周期構造の周期や、フォトルミネッセンス層の膜厚を調整することで任意の波長の発光を強調することができる。例えば、広い帯域で発光するフォトルミネッセンス材料を用いて図1A、1Bのような構成にすれば、ある波長の光のみを強調することが可能である。よって、図1A、1Bのような発光素子100の構成を粉末状にして、蛍光材料として利用してもよい。また、図1A、1Bのような発光素子100を樹脂やガラスなどに埋め込んで利用してもよい。

【0163】

図1A、1Bのような単体の構成では、ある特定の波長しか特定の方向に出射できないため、例えば広い波長域のスペクトルを持つ白色などの発光を実現することは難しい。そこで、図20に示すように周期構造の周期やフォトルミネッセンス層の膜厚などの条件の異なる複数の粉末状の発光素子100を混ぜたものを用いることにより、広い波長域のスペクトルを持つ発光装置を実現できる。この場合、個々の発光素子100の一方向のサイズは、例えば数 μm ~数 mm 程度であり、その中に例えば数周期~数百周期の1次元または2次元の周期構造を含み得る。

【0164】

[6-5. 周期の異なる構造を配列]

図 2 1 は、フォトルミネッセンス層の上に周期の異なる複数の周期構造を 2 次元に配列した例を示す平面図である。この例では、3 種類の周期構造 1 2 0 a、1 2 0 b、1 2 0 c が隙間なく配列されている。周期構造 1 2 0 a、1 2 0 b、1 2 0 c は、例えば、赤、緑、青の波長域の光をそれぞれ正面に出射するように周期が設定されている。このように、フォトルミネッセンス層の上に周期の異なる複数の構造を並べることによっても広い波長域のスペクトルに対し指向性を発揮させることができる。なお、複数の周期構造の構成は、上記のものに限定されず、任意に設定してよい。

【 0 1 6 5 】

[6 - 6 . 積層構造]

図 2 2 は、表面に凹凸構造が形成された複数のフォトルミネッセンス層 1 1 0 が積層された構造を有する発光素子の一例を示している。複数のフォトルミネッセンス層 1 1 0 の間には、透明基板 1 4 0 が設けられ、各層のフォトルミネッセンス層 1 1 0 の表面に形成された凹凸構造が上記の周期構造またはサブミクロン構造に相当する。図 2 2 に示す例では、3 層の周期の異なる周期構造が形成されており、それぞれ、赤、青、緑の波長域の光を正面に出射するように周期が設定されている。また、各周期構造の周期に対応する色の光を発するように各層のフォトルミネッセンス層 1 1 0 の材料が選択されている。このように、周期の異なる複数の周期構造を積層することによっても、広い波長域のスペクトルに対し指向性を発揮させることができる。

【 0 1 6 6 】

なお、層数や各層のフォトルミネッセンス層 1 1 0 および周期構造の構成は上記のものに限定されず、任意に設定してよい。例えば 2 層の構成では、透光性の基板を介して第 1 のフォトルミネッセンス層と第 2 のフォトルミネッセンス層とが対向するように形成され、第 1 および第 2 のフォトルミネッセンス層の表面に、それぞれ第 1 および第 2 の周期構造が形成されることになる。この場合、第 1 のフォトルミネッセンス層および第 1 の周期構造の対と、第 2 のフォトルミネッセンス層および第 2 の周期構造の対のそれぞれについて、式 (1 5) に相当する条件を満足していればよい。3 層以上の構成においても同様に、各層におけるフォトルミネッセンス層および周期構造について、式 (1 5) に相当する条件を満足していればよい。フォトルミネッセンス層と周期構造との位置関係が図 2 2 に示すものとは逆転していてもよい。図 2 2 に示す例では、各層の周期が異なっているが、これらを全て同じ周期にしてもよい。その場合、スペクトルを広くすることはできないが、発光強度を大きくすることができる。

【 0 1 6 7 】

[6 - 7 . 保護層を有する構成]

図 2 3 は、フォトルミネッセンス層 1 1 0 と周期構造 1 2 0 との間に保護層 1 5 0 を設けた構成例を示す断面図である。このように、フォトルミネッセンス層 1 1 0 を保護するための保護層 1 5 0 を設けても良い。ただし、保護層 1 5 0 の屈折率がフォトルミネッセンス層 1 1 0 の屈折率よりも低い場合は、保護層 1 5 0 の内部に波長の半分程度しか光の電場が染み出さない。よって、保護層 1 5 0 が波長よりも厚い場合には、周期構造 1 2 0 に光が届かない。このため、擬似導波モードが存在せず、光を特定方向に放出する機能を得ることができない。保護層 1 5 0 の屈折率がフォトルミネッセンス層 1 1 0 の屈折率と同程度あるいはそれ以上の場合には、保護層 1 5 0 の内部にまで光が到達する。よって、保護層 1 5 0 に厚さの制約は無い。ただし、その場合でも、光が導波する部分 (以下、この部分を「導波層」と呼ぶ。) の大部分をフォトルミネッセンス材料で形成したほうが大きな光の出力が得られる。よって、この場合でも保護層 1 5 0 は薄いほうが望ましい。なお、保護層 1 5 0 を周期構造 (透光層) 1 2 0 と同じ材料を用いて形成してもよい。このとき、周期構造を有する透光層が保護層を兼ねる。透光層 1 2 0 の屈折率はフォトルミネッセンス層 1 1 0 よりも小さいことが望ましい。

【 0 1 6 8 】

[7 . 材料]

以上のような条件を満たす材料でフォトルミネッセンス層 (あるいは導波層) および周

10

20

30

40

50

期構造を構成すれば、指向性発光を実現できる。周期構造には任意の材料を用いることができる。しかしながら、フォトルミネッセンス層（あるいは導波層）や周期構造を形成する媒質の光吸収性が高いと、光を閉じ込める効果が低下し、ピーク強度およびQ値が低下する。よって、フォトルミネッセンス層（あるいは導波層）および周期構造を形成する媒質として、光吸収性の比較的低いものが用いられ得る。

【0169】

周期構造の材料としては、例えば、光吸収性の低い誘電体を使用され得る。周期構造の材料の候補としては、例えば、 MgF_2 （フッ化マグネシウム）、 LiF （フッ化リチウム）、 CaF_2 （フッ化カルシウム）、 SiO_2 （石英）、ガラス、樹脂、 MgO （酸化マグネシウム）、 ITO （酸化インジウム錫）、 TiO_2 （酸化チタン）、 SiN （窒化シリコン）、 Ta_2O_5 （五酸化タンタル）、 ZrO_2 （ジルコニア）、 $ZnSe$ （セレン化亜鉛）、 ZnS （硫化亜鉛）などが挙げられる。ただし、前述のとおり周期構造の屈折率をフォトルミネッセンス層の屈折率よりも低くする場合、屈折率が1.3～1.5程度である MgF_2 、 LiF 、 CaF_2 、 SiO_2 、ガラス、樹脂を用いることができる。

【0170】

フォトルミネッセンス材料は、狭義の蛍光材料および燐光材料を包含し、無機材料だけでなく、有機材料（例えば色素）を包含し、さらには、量子ドット（即ち、半導体微粒子）を包含する。一般に、無機材料をホストとする蛍光材料は屈折率が高い傾向にある。青色に発光する蛍光材料としては、例えば、 $M_{10}(PO_4)_6Cl_2:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ 、 $M_3MgSi_2O_8:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $M_5SiO_4Cl_6:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）を用いることができる。緑色に発光する蛍光材料としては、例えば、 $M_2MgSi_2O_7:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $SrSi_5AlO_2N_7:Eu^{2+}$ 、 $SrSi_2O_2N_2:Eu^{2+}$ 、 $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ 、 $BaZrSi_3O_9:Eu^{2+}$ 、 $M_2SiO_4:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $BaSi_3O_4N_2:Eu^{2+}$ 、 $Ca_8Mg(SiO_4)_4Cl_2:Eu^{2+}$ 、 $Ca_3SiO_4Cl_2:Eu^{2+}$ 、 $CaSi_{12-(m+n)}Al_{(m+n)}O_nN_{16-n}:Ce^{3+}$ 、 $-SiAlON:Eu^{2+}$ を用いることができる。赤色に発光する蛍光材料としては、例えば、 $CaAlSiN_3:Eu^{2+}$ 、 $SrAlSi_4O_7:Eu^{2+}$ 、 $M_2Si_5N_8:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $MSiN_2:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $MSi_2O_2N_2:Yb^{2+}$ （ $M = Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $Y_2O_2S:Eu^{3+}$ 、 Sm^{3+} 、 $La_2O_2S:Eu^{3+}$ 、 Sm^{3+} 、 $CaWO_4:Li^{1+}$ 、 Eu^{3+} 、 Sm^{3+} 、 $M_2SiS_4:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $M_3SiO_5:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）を用いることができる。黄色に発光する蛍光材料としては、例えば、 $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ 、 $CaSi_2O_2N_2:Eu^{2+}$ 、 $Ca_3Sc_2Si_3O_{12}:Ce^{3+}$ 、 $CaSc_2O_4:Ce^{3+}$ 、 $-SiAlON:Eu^{2+}$ 、 $MSi_2O_2N_2:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）、 $M_7(SiO_3)_6Cl_2:Eu^{2+}$ （ $M = Ba, Sr$ および Ca から選ばれる少なくとも1種）を用いることができる。

【0171】

量子ドットについては、例えば、 CdS 、 $CdSe$ 、コア・シェル型 $CdSe/ZnS$ 、合金型 $CdSSe/ZnS$ などの材料を用いることができ、材質によって様々な発光波長を得ることができる。量子ドットのマトリクスとしては、例えば、ガラスや樹脂を用いることができる。

【0172】

図1C、1Dなどに示す透明基板140は、フォトルミネッセンス層110の屈折率よりも低い透光性材料によって構成される。そのような材料として、例えば、 MgF_2 （フッ化マグネシウム）、 LiF （フッ化リチウム）、 CaF_2 （フッ化カルシウム）、 SiO_2 （石英）、ガラス、樹脂が挙げられる。なお、基板140を介さずにフォトルミネッセ

10

20

30

40

50

センス層 110 に励起光を入射させるような構成においては、基板 140 が透明であることは必須ではない。基板 140 は、例えば、 BaF_2 、 SrF_2 、 MgO 、 $MgAl_2O_4$ 、サファイア (Al_2O_3)、 $SrTiO_3$ 、 $LaAlO_3$ 、 TiO_2 、 $Gd_3Ga_5O_{12}$ 、 $LaSrAlO_4$ 、 $LaSrGaO_4$ 、 $LaTaO_3$ 、 SrO 、 $YSZ (ZrO_2 \cdot Y_2O_3)$ 、 YAG 、 $Tb_3Ga_5O_{12}$ を用いて形成されてもよい。

【0173】

[8 . 製造方法]

続いて、製造方法の一例を説明する。

【0174】

図 1 C、1 D に示す構成を実現する方法として、例えば、透明基板 140 上に蛍光材料を蒸着、スパッタリング、塗布などの工程によってフォトルミネセンス層 110 の薄膜を形成し、その後、誘電体を成膜し、フォトリソグラフィなどの方法によってパターンングすることによって周期構造 120 を形成する方法がある。上記方法の代わりに、ナノインプリントによって周期構造 120 を形成してもよい。また、図 2 4 に示すように、フォトルミネセンス層 110 の一部のみを加工することによって周期構造 120 を形成してもよい。その場合、周期構造 120 はフォトルミネセンス層 110 と同じ材料で形成されることになる。

10

【0175】

図 1 A、1 B に示す発光素子 100 は、例えば、図 1 C、1 D に示す発光素子 100 a を作製した後、基板 140 からフォトルミネセンス層 110 および周期構造 120 の部分を剥がす工程を行うことで実現可能である。

20

【0176】

図 1 9 A に示す構成は、例えば、透明基板 140 上に半導体プロセスやナノインプリントなどの方法で周期構造 120 a を形成した後、その上にフォトルミネセンス層 110 を構成する材料を蒸着やスパッタリングなどの方法で形成することによって実現可能である。あるいは、塗布などの方法を用いて周期構造 120 a の凹部をフォトルミネセンス層 110 で埋め込むことによって図 1 9 B に示す構成を実現することもできる。

【0177】

なお、上記の製造方法は一例であり、本開示の発光素子は上記の製造方法に限定されない。

30

【0178】

[9 . 実験例]

以下に、本開示の実施形態による発光素子を作製した例を説明する。

【0179】

図 1 9 A と同様の構成を有する発光素子のサンプルを試作し、特性を評価した。発光素子は以下の様にして作製した。

【0180】

ガラス基板に、周期 400 nm、高さ 40 nm の 1 次元周期構造 (ストライプ状の凸部) を設け、その上からフォトルミネセンス材料である $YAG : Ce$ を 210 nm 成膜した。この断面図の TEM 像を図 2 5 に示し、これを 450 nm の LED で励起することで $YAG : Ce$ を発光させたときの、正面方向のスペクトルを測定した結果を図 2 6 に示す。図 2 6 には、周期構造がない場合の測定結果 (ref) と、1 次元周期構造に対して平行な偏光成分を持つ TM モードと、垂直な偏光成分を持つ TE モードを測定した結果について示した。周期構造がある場合は、周期構造がない場合に対して、特定の波長の光が著しく増加していることが見て取れる。また、1 次元周期構造に対して平行な偏光成分を持つ TM モードの方が、光の増強効果が大きいことが分かる。

40

【0181】

さらに、同じサンプルにおいて、出射光強度の角度依存性を測定した結果および計算結果を図 2 7 A ~ 2 7 F および図 2 8 A ~ 2 8 F に示す。図 2 7 A は、TM モードの直線偏光を出射する発光素子を、1 次元周期構造 120 のライン方向と平行な軸を回転軸として

50

回転させている状況を示している。図 27B および図 27C は、このように回転させた場合についての測定結果および計算結果をそれぞれ示している。一方、図 27D は、TE モードの直線偏光を出射する発光素子を、1次元周期構造 120 のライン方向と平行な軸を回転軸として回転させている状況を示している。図 27E および図 27F は、この場合の測定結果および計算結果をそれぞれ示している。図 28A は、TE モードの直線偏光を出射する発光素子を、1次元周期構造 120 のライン方向に垂直な軸を回転軸として回転させている状況を示している。図 28B および図 28C は、この場合の測定結果および計算結果をそれぞれ示している。一方、図 28D は、TM モードの直線偏光を出射する発光素子を、1次元周期構造 120 のライン方向と垂直な軸を回転軸として回転させている状況を示している。図 28E および図 28F は、この場合の測定結果および計算結果をそれぞれ示している。図 27A ~ 27F および図 28A ~ 28F から明らかなように、TM モードの方が増強される効果が高い。また、増強される光の波長は角度によってシフトすることがわかる。例えば、波長 610 nm の光については、TM モードでかつ正面方向にしか光が存在しないため、指向性が高くかつ偏光発光していることがわかる。また、図 27B と図 27C、図 27E と図 27F、図 28B と図 28C、図 28E と図 28F のそれぞれの測定結果と計算結果とが整合していることから、上述の計算の妥当性が実験によって裏付けられた。

10

【0182】

図 29 は、波長 610 nm の光について、図 28D に示すように、ライン方向に対して垂直な方向を回転軸として回転させた場合の強度の角度依存性を示している。正面方向に強い発光増強が起きており、そのほかの角度に対しては、ほとんど光が増強されていない様子がみてとれる。正面方向に出射される光の指向角は 15° 未満であることがわかる。なお、指向角は、前述のように、強度が最大強度の 50% となる角度であり、最大強度の方向を中心に片側の角度で表す。図 29 に示す結果から、指向性発光が実現していることがわかる。さらに、出射される光は全て TM モードの成分であるため、同時に偏光発光も実現していることがわかる。

20

【0183】

以上の検証のための実験は、広帯域の波長帯で発光する YAG : Ce を使って行った。狭帯域の光を発するフォトルミネセンス材料を用いて同様の構成で実験を行ったとしても、その波長の光に対して高い指向性および偏光発光を実現することができる。さらに、そのようなフォトルミネセンス材料を用いた場合、他の波長の光は発生しないために他の方向や他の偏光状態の光は発生しない光源を実現することができる。

30

【0184】

[10. 他の変形例]

次に、本開示の発光素子および発光装置の他の変形例を説明する。

【0185】

上述したように、本開示の発光素子が有するサブミクロン構造によって、発光増強効果を受ける光の波長および出射方向は、サブミクロン構造の構成に依存する。図 31 に示す、フォトルミネセンス層 110 上に周期構造 120 を有する発光素子を考える。ここでは、周期構造 120 はフォトルミネセンス層 110 と同じ材料で形成されており、図 1A に示した 1次元周期構造 120 を有する場合を例示する。1次元周期構造 120 によって発光増強を受ける光は、1次元周期構造 120 の周期 p (nm)、フォトルミネセンス層 110 の屈折率 n_{wav} 、光が出射される外部の媒質の屈折率 n_{out} とし、1次元周期構造 120 への入射角を θ_{wav} 、1次元周期構造 120 から外部の媒質への出射角を θ_{out} とすると、 $p \times n_{\text{wav}} \times \sin \theta_{\text{wav}} - p \times n_{\text{out}} \times \sin \theta_{\text{out}} = m$ の関係を満足する(上記の式(5)参照)。ここで、 λ は空気中における光の波長であり、 m は整数である。

40

【0186】

上記式から、 $\theta_{\text{out}} = \arcsin[(n_{\text{wav}} \times \sin \theta_{\text{wav}} - m / p) / n_{\text{out}}]$ が得られる。したがって、一般に、波長 λ が異なると、発光増強を受けた光の出射角 θ_{out} が異なる。その結果、図 31 に模式的に示すように、観察する方向によって、見える光の色

50

が異なる。

【0187】

この視角依存性を低減させるためには、 $(n_{\text{wav}} \times \sin \theta_{\text{wav}} - m / p) / n_{\text{out}}$ が、波長に問わず一定となるように、 n_{wav} および n_{out} を選べばよい。物質の屈折率は、波長分散（波長依存性）を有しているので、 $(n_{\text{wav}} \times \sin \theta_{\text{wav}} - m / p) / n_{\text{out}}$ が波長に依存しないような、 n_{wav} および n_{out} の波長分散性を有する材料を選択すればよい。例えば、外部の媒質が空気の場合、 n_{out} は、波長によらずほぼ1.0なので、フォトルミネッセンス層110および一次元周期構造120を形成する材料として、屈折率 n_{wav} の波長分散が小さい材料を選択することが望ましい。さらに、屈折率 n_{wav} がより短い波長の光に対して屈折率が低くなるような逆分散の材料のほうが望ましい。

10

【0188】

また、図32Aに示すように、互いに発光増強効果を示す波長が異なる複数の周期構造を配列することによって、白色光を出射できるようにできる。図32Aに示す例では、赤色光（R）を増強できる周期構造120rと、緑色光（G）を増強できる周期構造120gと、青色光（B）を増強できる周期構造120bとがマトリクス状に配列されている。周期構造120r、120gおよび120bは、例えば、1次元周期構造で、それぞれの凸部は互いに平行に配列されている。したがって、偏光特性は、赤、緑、青の全ての色の光について同じである。周期構造120r、120gおよび120bによって、発光増強を受けた三原色の光が出射され、混色される結果、白色光、かつ、直線偏光が得られる。

【0189】

20

マトリクス状に配列された各周期構造120r、120gおよび120bを単位周期構造（または画素）と呼ぶと、単位周期構造の大きさ（即ち、一辺の長さ）は、例えば、周期の3倍以上である。また、混色の効果を得るためには人間の目で単位周期構造が認識されない方が望ましく、例えば、一辺の長さは1mmよりも小さいことが望ましい。ここでは、各単位周期構造を正方形に描いているが、これに限られず、例えば、互いに隣接する周期構造120r、120gおよび120bが長方形、三角形、六角形などの正方形以外の形状でもよい。

【0190】

また、周期構造120r、120gおよび120bの下に設けられているフォトルミネッセンス層は、周期構造120r、120gおよび120bに共通であってもよいし、それぞれの色の光に対応して異なるフォトルミネッセンス材料を有するフォトルミネッセンス層を設けてもよい。

30

【0191】

図32Bに示すように、1次元周期構造の凸部が延びる方位が異なる複数の周期構造（周期構造120h、120iおよび120jを含む）を配列してもよい。複数の周期構造が発光増強する光の波長は、同じでもよいし、異なってもよい。例えば、同じ周期構造を図32Bのように配列すると、偏光していない光を得ることができる。また、図32Aにおける周期構造120r、120gおよび120bのそれぞれについて、図32Bの配列を適用すると、全体として、非偏光の白色光を得ることができる。

【0192】

40

もちろん、周期構造は、1次元周期構造に限らず、図32Cに示すように、複数の2次元周期構造（周期構造120k、120mおよび120nを含む）を配列してもよい。このとき、周期構造120k、120mおよび120nの周期や方位は、上述したように、同じでもよいし、異なってもよく、必要に応じて適宜設定され得る。

【0193】

図33に示すように、例えば、発光素子の光の出射側にマイクロレンズ130のアレイを配置してもよい。マイクロレンズ130のアレイにより、斜め方向に出射される光を法線方向に曲げることによって、混色の効果を得ることができる。

【0194】

図33に示した発光素子は、図32Aにおける周期構造120r、120gおよび12

50

0 bをそれぞれ有する領域 R 1、R 2 および R 3 を有する。領域 R 1 においては、周期構造 1 2 0 r によって、赤色光 R が法線方向に出射され、例えば緑色光 G は斜め方向に出射される。マイクロレンズ 1 3 0 の屈折作用によって、斜め方向に出射された緑色光 G は法線方向に曲げられる。その結果、法線方向においては、赤色光 R と緑色光 G とが混色されて観察される。このように、マイクロレンズ 1 3 0 を設けることによって、出射される光の波長が角度によって異なるという現象が抑制される。ここでは、複数の周期構造に対応する複数のマイクロレンズを一体化したマイクロレンズアレイを例示しているが、これに限られない。もちろん、タイリングする周期構造は上記の例に限られず、同じ周期構造をタイリングした場合にも適用できるし、図 3 2 B または図 3 2 C に示した構成にも適用できる。

10

【0195】

斜め方向に出射される光を曲げる作用を有する光学素子は、マイクロレンズアレイに代えてレンチキュラーレンズであってもよい。また、レンズだけでなく、プリズムを用いることもできる。プリズムのアレイを用いてもよい。周期構造に対応して個々にプリズムを配置してもよい。プリズムの形状は、特に制限されない。例えば、三角プリズムまたはピラミッド型プリズムを用いることができる。

【0196】

白色光（あるいは、広いスペクトル幅を有する光）を得る方法は、上述の周期構造によるものの他、例えば、図 3 4 A および図 3 4 B に示すように、フォトルミネッセンス層によるものもある。図 3 4 A に示すように、発光波長が異なる複数のフォトルミネッセンス層 1 1 0 b、1 1 0 g、1 1 0 r を積層することによって、白色光を得ることができる。積層順は図示の例に限らない。また、図 3 4 B に示すように、青色の光を発するフォトルミネッセンス層 1 1 0 b の上に、黄色の光を発するフォトルミネッセンス層 1 1 0 y を積層してもよい。フォトルミネッセンス層 1 1 0 y は、例えば Y A G を用いて形成することができる。

20

【0197】

この他、蛍光色素などマトリクス（ホスト）材料に混合して用いられるフォトルミネッセンス材料を用いる場合には、発光波長が異なる複数のフォトルミネッセンス材料をマトリクス材料に混合し、単一のフォトルミネッセンス層で、白色光を発光するようにできる。この様な白色光を発光できるフォトルミネッセンス層は、図 3 2 A ~ 図 3 2 C を参照して説明した、単位周期構造をタイリングした構成に用いることができる。

30

【0198】

フォトルミネッセンス層 1 1 0 を形成する材料として、無機材料（例えば Y A G）を用いる場合、その製造過程で、1 0 0 0 を超える熱処理を経ることがある。その際、下地（典型的には、基板）から不純物が拡散し、フォトルミネッセンス層 1 1 0 の発光特性を低下させることがある。不純物がフォトルミネッセンス層に拡散するのを防止するために、例えば図 3 5 A ~ 3 5 D に示すように、フォトルミネッセンス層の下に、拡散防止層（バリア層）1 0 8 を設けてもよい。図 3 5 A ~ 3 5 D に示すように、拡散防止層 1 0 8 は、これまで例示した種々の構成において、フォトルミネッセンス層 1 1 0 の下層に形成される。

40

【0199】

例えば、図 3 5 A に示すように、基板 1 4 0 とフォトルミネッセンス層 1 1 0 との間に拡散防止層 1 0 8 が形成される。また、図 3 5 B に示すように、複数のフォトルミネッセンス層 1 1 0 a および 1 1 0 b を有する場合には、フォトルミネッセンス層 1 1 0 a および 1 1 0 b のそれぞれの下層に拡散防止層 1 0 8 a または 1 0 8 b が形成される。

【0200】

基板 1 4 0 の屈折率がフォトルミネッセンス層 1 1 0 の屈折率よりも大きい場合には、図 3 5 C、図 3 5 D に示すように、基板 1 4 0 上に低屈折率層 1 0 7 を形成すればよい。図 3 5 C に示すように、基板 1 4 0 の上に低屈折率層 1 0 7 を設けた場合、低屈折率層 1 0 7 とフォトルミネッセンス層 1 1 0 との間の拡散防止層 1 0 8 が形成される。さらに、

50

図35Dに示すように、複数のフォトルミネッセンス層110aおよび100bを有する場合には、フォトルミネッセンス層110aおよび110bの下層に拡散防止層108aおよび108bがそれぞれ形成される。

【0201】

なお、低屈折率層107は、基板140の屈折率がフォトルミネッセンス層110の屈折率と同等かそれよりも大きい場合に形成される。低屈折率層107の屈折率は、フォトルミネッセンス層110の屈折率よりも低い。低屈折率層107は、例えば、 MgF_2 、 LiF 、 CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 、石英、樹脂、HSQ・SOGなどの常温硬化ガラスを用いて形成される。低屈折率層107の厚さは、光の波長よりも大きいことが望ましい。基板140は、例えば、 MgF_2 、 LiF 、 CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 、ガラス、樹脂、 MgO 、 $MgAl_2O_4$ 、サファイア(Al_2O_3)、 $SrTiO_3$ 、 $LaAlO_3$ 、 TiO_2 、 $Gd_3Ga_5O_{12}$ 、 $LaSrAlO_4$ 、 $LaSrGaO_4$ 、 $LaTaO_3$ 、 SrO 、 $YSZ(ZrO_2 \cdot Y_2O_3)$ 、 YAG 、 $Tb_3Ga_5O_{12}$ を用いて形成される。

10

【0202】

拡散防止層108、108a、108bは、拡散を防止する対象の元素によって好適に選択されればよく、例えば、共有結合性の強い酸化物結晶や窒化物結晶を用いて形成することができる。拡散防止層108、108a、108bの厚さは、例えば、50nm以下である。

【0203】

なお、拡散防止層108や後述する結晶成長層106のような、フォトルミネッセンス層110に隣接する層を有する構成においては、隣接する層の屈折率がフォトルミネッセンス層の屈折率よりも大きい場合、当該屈折率が大きい層の屈折率およびフォトルミネッセンス層の屈折率をそれぞれの体積比率で重み付けした平均屈折率を n_{wav} とする。この場合は、光学的には、フォトルミネッセンス層が複数の異なる材料の層で構成されている場合と等価であるからである。

20

【0204】

また、無機材料を用いて形成されたフォトルミネッセンス層110においては、無機材料の結晶性が低いために、フォトルミネッセンス層110の発光特性が低いことがある。フォトルミネッセンス層110を構成する無機材料の結晶性を高めるために、図36Aに示すように、フォトルミネッセンス層110の下地に、結晶成長層(「シード層」ということもある。)106を形成してもよい。結晶成長層106は、その上に形成されるフォトルミネッセンス層110の結晶と格子整合する材料を用いて形成される。格子整合は、例えば $\pm 5\%$ 以内であることが望ましい。基板140の屈折率がフォトルミネッセンス層110の屈折率よりも大きい場合、結晶成長層106または106aの屈折率は、フォトルミネッセンス層110の屈折率よりも小さいことが望ましい。

30

【0205】

基板140の屈折率がフォトルミネッセンス層110の屈折率よりも大きい場合には、図36Bに示すように、基板140上に低屈折率層107を形成すればよい。結晶成長層106は、フォトルミネッセンス層110と接するので、基板140上に低屈折率層107が形成される場合には、低屈折率層107上に結晶成長層106が形成される。また、図36Cに示すように、複数のフォトルミネッセンス層110aおよび110bを有する構成においては、複数のフォトルミネッセンス層110aおよび110bのそれぞれに対応する結晶成長層106aまたは106bを形成することが望ましい。結晶成長層106、106aおよび106bの厚さは、例えば、例えば、50nm以下である。

40

【0206】

図37Aおよび図37Bに示すように、周期構造120を保護するために、表面保護層132を設けてもよい。

【0207】

表面保護層132は、図37Aに示すように、基板を有しないタイプのものであっても、図37Bに示すように、基板140を有するタイプのものにも設けられる。また、図3

50

7 Aに示した基板を有しないタイプの発光素子においては、フォトルミネッセンス層 1 1 0の下層にも表面保護層を設けてもよい。このように、表面保護層 1 3 2は、上述したいずれの発光素子の表面に設けてもよい。周期構造 1 2 0は、図 3 7 Aおよび図 3 7 Bに例示したものに限られず、上述したいずれのタイプであってもよい。

【 0 2 0 8 】

表面保護層 1 3 2は、例えば、樹脂、ハードコート材、 SiO_2 、 Al_2O_3 （アルミナ）、 SiOC 、 DLC を用いて形成することができる。表面保護層 1 3 2の厚さは、例えば、 $100\text{nm} \sim 10\mu\text{m}$ である。

【 0 2 0 9 】

表面保護層 1 3 2を設けることによって、発光素子を外部環境から保護し、発光素子の劣化を抑制することができる。表面保護層 1 3 2は、発光素子の表面を傷、水分、酸素、酸、アルカリ、または熱から保護する。表面保護層 1 3 2の材料や厚さは、用途に応じて適宜設定され得る。

【 0 2 1 0 】

また、フォトルミネッセンス材料は熱によって劣化することがある。熱は、主にフォトルミネッセンス層 1 1 0の非輻射ロスやストークスロスによって生じる。例えば、石英の熱伝導率（ $1.6\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ）は、 YAG の熱伝導率（ $11.4\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ）よりも約1桁小さい。したがって、フォトルミネッセンス層（例えば YAG 層）1 1 0で発生した熱が基板（例えば石英基板）1 4 0を通して外部に熱伝導して放熱されにくく、フォトルミネッセンス層 1 1 0の温度が上昇し、熱劣化を起こすことがある。

【 0 2 1 1 】

そこで、図 3 8 Aに示すように、フォトルミネッセンス層 1 1 0と基板 1 4 0との間に、透明高熱伝導層 1 0 5を形成することによって、フォトルミネッセンス層 1 1 0の熱を外部に効率よく伝導させ、温度上昇を防ぐことができる。このとき、透明高熱伝導層 1 0 5の屈折率は、フォトルミネッセンス層 1 1 0の屈折率よりも低いことが望ましい。なお、基板 1 4 0の屈折率がフォトルミネッセンス層 1 1 0の屈折率よりも低い場合には、透明高熱伝導層 1 0 5の屈折率は、フォトルミネッセンス層 1 1 0の屈折率よりも高くてもよい。ただし、この場合には、透明高熱伝導層 1 0 5は、フォトルミネッセンス層 1 1 0とともに導波層を形成するので、 50nm 以下であることが望ましい。図 3 8 Bに示すように、フォトルミネッセンス層 1 1 0と透明高熱伝導層 1 0 5との間に、低屈折率層 1 0 7を形成すれば、厚い透明高熱伝導層 1 0 5を利用できる。

【 0 2 1 2 】

また、図 3 8 Cに示すように、周期構造 1 2 0を高い熱伝導率を有する低屈折率層 1 0 7で覆ってもよい。さらに、図 3 8 Dに示すように、周期構造 1 2 0を低屈折率層 1 0 7で覆った上に、透明高熱伝導層 1 0 5を形成してもよい。この構成においては、低屈折率層 1 0 7が高い熱伝導率を有する必要はない。

【 0 2 1 3 】

透明高熱伝導層 1 0 5の材料としては、例えば、 Al_2O_3 、 MgO 、 Si_3N_4 、 ZnO 、 AlN 、 Y_2O_3 、ダイヤモンド、グラフェン、 CaF_2 、 BaF_2 を挙げることができる。これらの内、 CaF_2 、 BaF_2 は、屈折率が低いので、低屈折率層 1 0 7として利用することができる。

【 0 2 1 4 】

次に、図 3 9 A ~ 3 9 Dを参照して、発光素子 1 0 0と光源 1 8 0とを備える発光装置の放熱特性を高めた構造を説明する。

【 0 2 1 5 】

図 3 9 Aに示す発光装置は、光源 1 8 0としての LED チップ 1 8 0と、発光素子 1 0 0とを有している。発光素子 1 0 0は、上述のいずれのタイプでもよい。 LED チップ 1 8 0は、支持基板 1 9 0上に実装されており、発光素子 1 0 0は、 LED チップと所定の間隔をあけて配置されている。発光素子 1 0 0は、 LED チップから出射される励起光を受けて発光する。支持基板 1 9 0上において、 LED チップ 1 8 0および発光素子 1 0 0

10

20

30

40

50

は、封止部 1 4 2 に覆われている。

【 0 2 1 6 】

封止部 1 4 2 は、高熱伝導性と透光性とを備えている。封止部 1 4 2 を形成する材料（「封止材料」ということがある）は、例えば、高熱伝導性のフィラーと樹脂材料とを含む複合材料である。高熱伝導性フィラーとしては、 Al_2O_3 、 ZnO 、 Y_2O_3 、グラフェンおよび AlN を例示することができる。また、樹脂材料としては、エポキシ樹脂およびシリコン樹脂を例示することができる。特に、封止材料として、高熱伝導性フィラーのサイズがナノメートルサイズ（即ち、サブミクロンサイズ）を用いたナノコンポジット材料を用いることができる。ナノコンポジット材料を用いると、光の拡散反射（または散乱）を抑制することができる。ナノコンポジット材料としては、フィラーとして ZnO または Al_2O_3 を使い、樹脂として、エポキシ樹脂またはシリコン樹脂を用いたものを例示することができる。

10

【 0 2 1 7 】

なお、発光素子 1 0 0 が、図 3 9 A に例示したように、表面に周期構造が露出しているタイプの場合には、周期構造の周りの媒質の屈折率は、周期構造の屈折率よりも低いことが望ましい。すなわち、封止部 1 4 2 の屈折率は、周期構造が透光層によって形成されている場合は、透光層の屈折率よりも低く、周期構造がフォトルミネッセンス層と同じ材料で形成されている場合は、フォトルミネッセンス層の屈折率よりも低いことが望ましい。

【 0 2 1 8 】

封止部 1 4 2 は、図 3 9 B に示すように、発光素子 1 0 0 の表面近傍（例えば、周期構造を有する透光層またはフォトルミネッセンス層）を露出するように設けてもよい。このとき、封止部 1 4 2 の屈折率は特に制限されない。

20

【 0 2 1 9 】

また、図 3 9 C に示すように、発光素子 1 0 0 として、周期構造が低屈折率層 1 0 7（図 3 8 C 参照）で覆われているタイプのものを用いる場合にも、封止部 1 4 2 の屈折率は、周期構造の屈折率よりも高くてもよい。このような構成を採用することによって、封止部 1 4 2 の材料の選択範囲が広がる。

【 0 2 2 0 】

また、図 3 9 D に示すように、発光素子 1 0 0 の周辺を高熱伝導性を有するホルダー 1 5 2 に固定してもよい。ホルダー 1 5 2 は、例えば、金属で形成され得る。例えば、光源として、レーザーダイオード 1 8 2 を用いる場合のように、発光素子 1 0 0 と光源との間に封止材料を充填できない場合に、上記の構造を好適に用いられ得る。例えば、図 3 8 A ~ 3 8 D に例示した構成を有する発光素子 1 0 0 は、透明高熱伝導層 1 0 5 または高い熱伝導率を有する低屈折率層 1 0 7 を有するので、素子の面内の熱伝導性が高いので、効果的にホルダー 1 5 2 を介して放熱することができる。

30

【 0 2 2 1 】

図 4 0 A ~ 4 0 D に示すように、発光素子 1 0 0 の表面に、高熱伝導部材 1 4 4 又は 1 4 6 を配置してもよい。高熱伝導部材 1 4 4 又は 1 4 6 は、例えば、金属で形成される。

【 0 2 2 2 】

例えば、図 4 0 A に断面図を示し、図 4 0 B に平面図を示すように、発光素子 1 0 0 の周期構造 1 2 0 の一部を覆うように高熱伝導部材 1 4 4 を配置してもよい。図 4 0 A および 4 0 B には、1 次元周期構造を形成する複数の凸部の 1 つだけを覆う線状の高熱伝導部材 1 4 4 を示しているが、これに限られない。

40

【 0 2 2 3 】

また、図 4 0 C に断面図を示し、図 4 0 D に平面図を示すように、発光素子 1 0 0 の周期構造 1 2 0 の両端の凸部およびフォトルミネッセンス層 1 1 0 の端面を覆うように、高熱伝導部材 1 4 6 を形成してもよい。いずれの場合も、周期構造およびフォトルミネッセンス層の、高熱伝導部材 1 4 6 に覆われる部分の面積が大きくなると、発光素子 1 0 0 の特性に影響する恐れがあるので、発光素子 1 0 0 の表面に形成する高熱伝導部材 1 4 6 の面積は小さい方がよい。

50

【0224】

また、図41Aに断面図を示し、図41Bに平面図を示すように、異なる構造を有する複数の発光素子100r、100gおよび100bをタイリングする場合、隣接する発光素子の間に、それぞれの発光素子の端部を覆うように、高熱伝導部材148を配置してもよい。例えば、ここで例示するように、赤色光を増強する発光素子100r、緑色光を増強する100gおよび青色光を増強する100bを配列する場合、例えば、金属で形成された高熱伝導部材148を隣接する発光素子間に配置すると、高熱伝導部材148は遮光性を有しているため、混色を抑制することができる。このように、高熱伝導部材148を表示パネルにおけるブラックマトリクスのように使用することもできる。

【0225】

図42Aおよび42Bに、インターロック回路185を備える発光装置の例を示す。図42Aは発光素子100の裏面を示す模式図であり、図42Bは発光素子100の断面図を含む、発光装置の模式図である。図42Aおよび42Bに示すように、発光素子100が有する基板140の裏面に、環状配線172が形成されている。環状配線172は、発光素子100の裏面の外周近傍に形成されており、基板140が破損したら、断線するように形成されている。環状配線172は、例えば金属材料で形成されている。環状配線172の2つの端部は、インターロック回路185のリレー回路に電氣的に接続されている。環状配線172に断線が発生した場合、リレー回路は、光源182への電力の供給を遮断する。光源182が、特に、レーザーダイオードのように強度の強い光を発する場合には、安全性等の観点から、インターロック回路185を設けることが望ましい。

【0226】

上述の実施形態の発光素子が有するサブミクロン構造は、例えば周期構造であり、フォトリソグラフィ技術やナノプリント技術を用いて形成され得る。図43A~43Fを参照して、サブミクロン構造の他の形成方法を説明する。

【0227】

図43Aに示すように、基板140に支持されたフォトルミネッセンス層110の表面にビーズ122を配置する。ビーズ122の一部をフォトルミネッセンス層110に均等に埋め込むことで、ビーズ122をフォトルミネッセンス層110に固定することができる。このように、多数のビーズ122のそれぞれの一部分がフォトルミネッセンス層110に均等に埋め込まれて、残りの部分がフォトルミネッセンス層110から突き出ている場合、ビーズ122の屈折率は、フォトルミネッセンス層110の屈折率と等しくてもよいし、小さくてもよい。例えば、ビーズ122の屈折率がフォトルミネッセンス層110の屈折率よりも小さい場合、多数のビーズ122によって形成される層（フォトルミネッセンス層110から突き出た部分と埋め込まれた部分の両方）が、サブミクロン構造を有する透光層120として機能する。また、ビーズ122の屈折率がフォトルミネッセンス層110の屈折率と等しい場合、ビーズ122とフォトルミネッセンス層110とは実質的に一体となり、フォトルミネッセンス層110から突き出た部分が、サブミクロン構造を有する透光層120として機能する。

【0228】

あるいは、図43Bに示すように、基板140上に、多数のビーズ122を配置した上に、フォトルミネッセンス層110を形成してもよい。このとき、ビーズ122の屈折率は、フォトルミネッセンス層110の屈折率よりも低いことが望ましい。

【0229】

ここで、ビーズ122の直径は例えば上述の D_{int} と等しいかそれよりも小さい。ビーズ122が緻密に充填された場合には、ビーズ122の直径が D_{int} とほぼ一致する。隣接するビーズ122の間に間隙が形成される場合、ビーズ122の直径に間隙を加えた長さが D_{int} に対応することになる。

【0230】

また、ビーズ122としては、中空のビーズであっても、中実のビーズであってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 2 3 1 】

図 4 3 C ~ 4 3 F は、種々のビーズの充填状態を模式的に示す図と、それぞれ充填状態のビーズから得られる光散乱のパターンを示す図である。図 4 3 C ~ 4 3 F において、黒い部分は中実ビーズまたは中空ビーズ内の中実部分を示し、白い部分は、中空ビーズまたは、中空ビーズ内の空隙部分を示している。

【 0 2 3 2 】

図 4 3 C は、卵形の外形を有する中空ビーズが密に充填されている状態と、その光散乱のパターンを示している。この中空ビーズの空隙部分は、ほぼ球形で、卵の底の位置に形成されている。図 4 3 D は、ほぼ球形の外形を有する中空ビーズが密に充填されている状態と、その光散乱のパターンを示している。この中空ビーズの空隙部分は、ほぼ球形で、外形の球に接するように形成されている。図 4 3 E は、ほぼ球形の外形を有する中空ビーズが密に充填されている状態と、その光散乱のパターンを示している。この中空ビーズの空隙部分は、2つのほぼ球形の空隙を含んでおり、2つの球形の空隙は、外形の球の直径にそって配列されている。図 4 3 F は、ほぼ球形の外形を有する中空ビーズとほぼ球形の外形を有する中実ビーズとが密に充填されている状態と、その光散乱のパターンを示している。中空ビーズおよび中実ビーズはほぼ同じ直径を有しており、ほぼ同じ体積比率で混合されている。また、中空ビーズおよび中実ビーズの配置に規則性はなく、ほぼランダムである。

【 0 2 3 3 】

中空ビーズや中実ビーズは、種々のガラスまたは樹脂で形成されたものが市販されている。ここで例示したビーズは、例えば、研磨材料として広く市販されているアルミナの粉体や日鉄鉱業株式会社の中空シリカなどを用い、得られたビーズに分散剤を添加し、溶媒（例えば水やアルコール類など）に分散し、この分散液を基板 1 4 0 上またはフォトルミネッセンス層 1 1 0 上に付与し、乾燥することによって、多数のビーズが密に充填された層を形成することができる。

【 0 2 3 4 】

[1 1 . 応用例]

上述したように、本開示の発光素子およびそれを備える発光装置は、種々の利点を有しているので、種々の光学デバイスに適用することによって、有利な効果を奏し得る。以下に、応用例を挙げる。

【 0 2 3 5 】

[1 1 - 1 . 表示装置]

本開示の発光素子は、特定の方向に指向性の高い光を出射することができる。この高い指向性は、例えば、液晶表示装置の導光板を利用するエッジライト型のバックライトとして好適に用いられる。従来の指向性の低い光源を用いた表示装置では、光源から出射した光を、反射板および/または拡散材により、導光板へ導入することが必要であった。これに対し、特定方向の指向性が高い本開示の実施形態における光源を用いた表示装置では、これらの光学部品を省略または簡略化しても効率よく導光板へ光を導入することができる。

【 0 2 3 6 】

図 4 4 は、そのような表示装置の一例を模式的に示す斜視図である。この表示装置 3 0 0 は、励起光源 3 1 0 と、励起光源 3 1 0 から励起光の光路上に位置する発光素子 3 2 0 と、発光素子 3 2 0 から光の光路上に位置する光学シャッタ 3 5 0 とを備える。この実施形態では、表示装置 3 0 0 は、さらに、発光素子 3 2 0 から光を光学シャッタ 3 5 0 に伝播させる導光板 3 3 0 と、光学シャッタ 3 5 0 における発光素子 3 2 0 から光が入射する側に配置されたカラーフィルタアレイ 3 4 0 とを備える。

【 0 2 3 7 】

発光素子 3 2 0 は、励起光を受けて、赤、緑、青の波長帯域の光をフォトルミネッセンス層の法線方向にそれぞれ出射する複数の領域（R、G、B）を有する。図 4 4 には 6 個の領域しか描かれていないが、実際にはさらに多くの領域が存在し得る。

【 0 2 3 8 】

10

20

30

40

50

ここで、赤、緑、青の波長帯域は、それぞれ、赤：600～750nm、緑：490～570nm、青：430nm～470nmとする。

【0239】

発光素子320は、上述した各実施形態と同様、励起光によって発光するフォトルミネッセンス層と、フォトルミネッセンス層に近接して配置された透光層と、フォトルミネッセンス層および透光層の少なくとも一方に形成され、フォトルミネッセンス層または透光層の面内に広がるサブミクロン構造とを有する。ここで「近接」とは、直接接することを含む。サブミクロン構造における複数の凸部および複数の凹部の少なくとも一方により、R、G、Bの各領域の周期構造が形成される。

【0240】

フォトルミネッセンス層が発する光は、空気中の波長が λ_a の第1の光と、空気中の波長が λ_b の第2の光と、空気中の波長が λ_c の第3の光とを含む。 λ_a 、 λ_b 、 λ_c は、それぞれ赤、緑、青の波長帯域に属する。領域Rでは、第1の光に対するフォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav-a}}$ とし、周期構造の周期を p_a とすると、 $\lambda_a / n_{\text{wav-a}} < p_a < \lambda_a$ の関係が成り立つ。領域Gでは、第2の光に対するフォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav-b}}$ とし、周期構造の周期を p_b とすると、 $\lambda_b / n_{\text{wav-b}} < p_b < \lambda_b$ の関係が成り立つ。領域Bでは、第3の光に対するフォトルミネッセンス層の屈折率を $n_{\text{wav-c}}$ とし、周期構造の周期を p_c とすると、 $\lambda_c / n_{\text{wav-c}} < p_c < \lambda_c$ の関係が成り立つ。

【0241】

導光板330は、その側面に発光素子320からの光が入射するように配置される。導光板330は、エッジライト方式のバックライトにおいて用いられる一般的な導光板と同様の構成を有する。例えば、特開平8-234200号公報に開示された導光板の構成を採用することができる。そのような構成では、導光板330の一方の面に反射板が設けられ、他方の面に拡散板が設けられる。導光板330中を光が伝播しながら、拡散板側の面から光がほぼ一様に出射する。

【0242】

カラーフィルタアレイ340は、2次元に配列された複数のカラーフィルタを有する。複数のカラーフィルタは、赤、緑、青の光をそれぞれ選択的に透過させる3種類のカラーフィルタを含む。互いに近接して配置された赤、緑、青の3つのカラーフィルタの集合は、格子状に配列されている。これらの集合は、1つの画素に対応し、1つのカラーフィルタはサブ画素に対応する。なお、カラーフィルタアレイ340は、光学シャッタ350における光の入射側に限らず、出射側に設けられていてもよい。後述する例のように、カラーフィルタアレイ340が光学シャッタ350の内部に設けられていてもよい。

【0243】

光学シャッタ350は、各々がサブ画素に対応する複数の単位領域に分割されている。単位領域ごとに光の透過率を変化させることができる。光学シャッタ350は、例えば液晶モジュールによって実現され得る。

【0244】

以下、液晶を用いた光学シャッタ350の例を説明する。以下の例では、カラーフィルタアレイ340が、光学シャッタ350（即ち、液晶モジュール）の内部に設けられている。

【0245】

図45は、液晶モジュールによって実現される光学シャッタ350を有する表示装置300aの構成を模式的に示す断面図である。なお、図45における各層の厚さおよび相互の間隔は、現実の厚さおよび間隔を反映していない。他の図についても同様である。この表示装置300aは、光学シャッタ350を画像信号に応じて駆動する駆動回路360をさらに備える。この例における光学シャッタ350は、偏光フィルタ351、透明基板352、透明電極353、液晶層355、透明電極356、カラーフィルタアレイ340、透明基板357、および偏光フィルタ358が、この順に形成された構造を有する。導光板330に近い偏光フィルタ351と、導光板330から遠い偏光フィルタ358とは

10

20

30

40

50

、偏光透過軸の方向が90度ずれている。2つの透明電極353、356は、駆動回路360に電氣的に接続される。駆動回路360が2つの透明電極353、356に印加する電圧を、サブ画素ごとに変化させることにより、液晶層355における液晶分子の配向を変化させる。これにより、サブ画素ごとに光透過率を変化させる。

【0246】

なお、導光板330から出射する光が直線偏光である場合には、偏光フィルタ351を省略することができる。液晶層355の両側には、配向層が設けられていてもよい。配向層は、液晶層355に電圧が印加されない場合に液晶分子を特定の方向に整列させる。

【0247】

次に、本実施形態における動作を説明する。

10

【0248】

励起光源310から出射した励起光は、発光素子320におけるフォトルミネッセンス層に入射する。フォトルミネッセンス層は、励起光を受けて、赤、緑、青の波長帯域の光を発生させる。赤、緑、青の光は、それぞれ、領域R、G、Bにおける周期構造をほぼ垂直に出射して導光板330に導入される。導光板330に導入された光は、導光板330の内部で反射を繰り返しながら導光する間に、混ざり合い、導光板330の一方の面からほぼ均一な白色光として出射する。導光板330からの出射光は、光学シャッタ350によってサブ画素ごとに強度が変調され、外部に出射される。これにより、駆動回路360に入力された画像信号に応じた画像が表示される。

【0249】

20

本実施形態における表示装置は、例えば、テレビ、PC用モニタ、スマートフォン、タブレット端末などの機器に利用され得る。スマートフォンまたはタブレット端末のような、タッチによる入力操作が可能な機器に利用される場合、表示装置は、タッチスクリーン（またはタッチパネル）をさらに備える。

【0250】

図46は、タッチスクリーン370をさらに備えた表示装置300bの一例を示す模式斜視図である。タッチスクリーン370は、光学シャッタ350の光出射面側に設けられる。タッチスクリーン370は、例えば静電容量方式などの公知の方式によって指などの接触を検出する。

【0251】

30

次に、表示装置の他の実施形態を説明する。

【0252】

図47は、導光板330が、励起光源310からの励起光をフォトルミネッセンス層321に伝播させるように配置された表示装置300cの構成の一部を示す模式断面図である。この表示装置300cでは、励起光源310から出射された励起光は、導光板330内を伝播しながら、フォトルミネッセンス層321にほぼ均一に入射する。フォトルミネッセンス層321、およびその表面に形成されたサブミクロン構造322は、白色光をフォトルミネッセンス層321とほぼ垂直に出射させるように設計されている。このため、サブミクロン構造322は、例えば図31～図33を参照しながら説明したいずれかの構造を有する。例えば、複数の単位周期構造をタイリングした構造、またはR、G、Bの3色にそれぞれ対応した3つのフォトルミネッセンス層を積層した構造などを有する。複数の単位周期構造をタイリングした構造においては、各単位周期構造のサイズは、サブ画素のサイズよりも小さい。

40

【0253】

本実施形態では、光学シャッタ350と偏光フィルタ358との間にカラーフィルタレイ340が設けられている。前述のように、カラーフィルタレイ340は、光学シャッタ350の光が入射する側、または光学シャッタ350の内部に設けられていてもよい。

【0254】

本実施形態におけるサブミクロン構造322は1次元周期構造である。よって、各单位

50

周期構造から出射される光は直線偏光である。このため、発光素子 320 と光学シャッタ 350 との間には偏光フィルタが設けられていない。サブミクロン構造 322 が 2 次元周期構造である場合には、偏光フィルタが必要である。

【0255】

発光素子 320 から出射した白色光は、光学シャッタ 350、カラーフィルタアレイ 340、および偏光フィルタ 358 を透過する。前述の実施形態と同様、光学シャッタ 350 は、画像信号に応じてサブ画素ごとに光の透過率を変化させる。これにより、画像を表示する。

【0256】

図 48 は、表示装置のさらに他の実施形態を示す模式斜視図である。この表示装置 300d は、図 44 に示す実施形態から、カラーフィルタアレイ 340 を除去した構造を有する。この実施形態では、発光素子 320 から出射された各色の光は、導光板 330 を他の色の光と混ざり合わないよう伝播し、伝播方向の位置に関わらずほぼ均一に光学シャッタ 350 に入射する。図 48 では簡略化して表されているが、R、G、B の各領域（即ち、単位周期構造）は微細であり、各領域の数は、表示される画像の一方向の画素数（例えば、数十～数万）と同程度であり得る。1 つの単位周期構造のサイズが例えば 100 μm で、画像の一方向の画素数が例えば 1000 である場合、全ての単位周期構造の配列の長さは、0.3 m (= 100 μm × 3 × 1000) 程度であり得る。発光素子 320 における R、G、B の各領域のサイズおよび数は、この例に限らず、表示される画像の精細度および製造の難易度に応じて適宜決定される。光学シャッタ 350 は、先に説明した実施形態と同様、画像信号に応じてサブ画素ごとに光の透過率を変化させる。これにより、カラーフィルタアレイ 340 を用いることなく、カラー画像を表示することができる。

【0257】

図 49 は、表示装置のさらに他の実施形態の一部を示す模式断面図である。この実施形態における表示装置 300e は、図 47 に示す表示装置 300c から、カラーフィルタアレイ 340 を除去した構造を有する。さらに、サブミクロン構造 322 が、赤の波長帯域の光をほぼ垂直方向に出射する周期構造 322R と、緑の波長帯域の光をほぼ垂直方向に出射する周期構造 322G と、青の波長帯域の光をほぼ垂直方向に出射する周期構造 322B とを有する。3 種類の周期構造 322R、322G、322B は、一方向に順に繰り返し配列されている。近接する 3 つの周期構造 322R、322G、322B の領域が、1 つの画素に対応し、各周期構造の領域が 1 つのサブ画素に対応する。

【0258】

光学シャッタ 350 は、サブ画素ごとに光の透過率を変化させることにより、各サブ画素から発する光の強度を変化させる。このような構造により、カラーフィルタアレイ 340 を設けることなく、図 47 に示す表示装置 300c と同様のカラー表示が可能である。

【0259】

この実施形態では、フォトルミネッセンス層 321 は、周期構造 322R に対応する領域では赤色の光を出射し、周期構造 322G に対応する領域では緑色の光を出射し、周期構造 322B に対応する領域では青色の光を出射するようにしてもよい。即ち、これらの領域ごとに発光材料を変えてもよい。励起光源 310 が青の波長帯域の励起光を出射する場合には、フォトルミネッセンス層 321 には、赤および緑（即ち黄）の波長帯域の光を出射する発光材料を用いることもできる。そのような発光材料には、例えば $Y_3Al_5O_{12} : Ce^{3+}$ などの YAG が挙げられる。

【0260】

以上のような表示装置によれば、従来の指向性の低い光源を用いた場合に必要な反射板または拡散材などの光学部品を省略または簡略化できる。また、従来のカラーフィルタは、白色の光から不要な光を吸収することによって、所望の青、緑、赤の光を透過させるため、ロスが生じる。一方、本方式は、必要な色の光のみを発生させるので、ロスを減らすことができる。これにより、表示装置の小型化、省電力化が可能である。

【0261】

10

20

30

40

50

[1 1 - 2 . 照明 (発光) 装置]

本開示の発光素子は、照明 (または発光) 装置に用いることもできる。従来の照明器具は、等方的に発せられた光を所望の方向に導くために、レンズおよび / または反射板を含む光学部品が用いられる。これに対して、本開示の発光素子を用いることによって、これらを省略することが可能となる。あるいは、等方的な光に対する複雑な設計を、指向性の高い光に対する単純な設計に置き換えることができる。その結果、照明器具を小型化、あるいは、設計工程を簡略化することができる。以下、そのような照明装置の例を説明する。

【 0 2 6 2 】

図 5 0 は、照明装置の一例を模式的に示す斜視図である。この照明装置 4 0 0 は、励起光源 3 1 0 と、励起光源 3 1 0 から励起光の光路上に位置する発光素子 3 2 0 と、発光素子 3 2 0 から光を取り込み、外部に放射する導光板 3 3 0 とを備える。導光板 3 3 0 は、その側面に、発光素子 3 2 0 から出射される光が入射するように配置される。

10

【 0 2 6 3 】

発光素子 3 2 0 は、既に説明したように、赤、緑、青の各波長帯域の光を出射する複数の領域を有する。図 5 0 では簡略化しているが、実際には、各領域は微細であり、巨視的にほぼ白色光が出射するように設計され得る。白色光を出射するための構成として、積層構造などの前述した他の構成を採用してもよい。あるいは、フォトルミネッセンス層またはサブミクロン構造の構成を変更することにより、白以外の色 (例えば、赤、緑、または青) の光を出射するようにしてもよい。狭帯域の単色光のみをフォトルミネッセンス層に垂直な方向に出射する用途では、サブミクロン構造は、1 つの周期構造のみを有していてもよい。導光板 3 3 0 の構成は、既に説明したものと同一である。

20

【 0 2 6 4 】

発光素子 3 2 0 から出射した光は、導光板 3 3 0 内を伝播しながら、一方の面から出射される。この出射光を照明として利用できる。

【 0 2 6 5 】

図 5 1 は、照明装置の他の例を模式的に示す部分断面図である。この照明装置 4 0 0 a は、励起光源 3 1 0 と、励起光源 3 1 0 から励起光を取り込み、外部に出射するように配置された導光板 3 3 0 と、導光板 3 3 0 から出射された励起光の光路上に位置する発光素子 3 2 0 とを備える。

30

【 0 2 6 6 】

励起光源 3 1 0 から出射された励起光は、導光板 3 3 0 内を伝播しながら、その一方の面からほぼ均一に出射する。出射した励起光は、フォトルミネッセンス層 3 2 1 に入射する。発光素子 3 2 0 におけるフォトルミネッセンス層 3 2 1 は、励起光によって発光する。フォトルミネッセンス層 3 2 1 およびサブミクロン構造 3 2 2 は、前述のいずれかの構成により、白色光を出射させる。この出射光を照明として利用できる。本実施形態でも、フォトルミネッセンス層またはサブミクロン構造の構成を変更することにより、白以外の色 (例えば、赤、緑、または青) の光を出射するようにしてもよい。

【 0 2 6 7 】

図 5 2 は、本開示における照明装置の他の例を示す断面図である。この照明装置 4 0 0 b は、放熱基板 4 2 0 と、放熱基板 4 2 0 に固定された 2 つの発光素子 3 2 0 と、発光素子 3 2 0 を取り囲む反射ミラー 4 1 0 とを備える。2 つの発光素子 3 2 0 の各々は、上述したいずれかの実施形態における発光素子と同様の構成を有する。放熱基板 4 2 0 は、発光素子 3 2 0 および反射ミラー 4 1 0 を支持するとともに、発光素子 3 2 0 から生じる熱を外部に放出する。

40

【 0 2 6 8 】

2 つの発光素子 3 2 0 から生じた光は、凹面を有する反射ミラー 4 1 0 で反射され、外部に出射される。このように、発光素子 3 2 0 と反射ミラー 4 1 0 とを組み合わせてもよい。

【 0 2 6 9 】

50

反射ミラーを用いた発光装置の構成は、上述のものに限定されない。発光素子からの発光が指向性を持つことにより、反射ミラーの面積を小さくすることができる。例えば、特表2013-533583号公報、特表2009-535775号公報、または特表2005-537665号公報に開示された他の反射ミラーの構成を採用してもよい。

【0270】

発光素子320から生じた熱を外部に放出する放熱機構は、上記の構成以外にも、様々な構成が可能である。例えば、特開2014-146509号公報に開示されているように、発光素子の周囲に設けられた反射ミラーの一部を覆うように設けられた放熱部材を用いてもよい。

【0271】

本開示における照明装置の光源は、プリント基板上に実装されてもよい。例えば、特表2010-537437号公報に開示されているLEDケーシングにおけるLEDチップの代わりに、本開示の発光素子を用いてもよい。あるいは、特開2014-183192号公報に開示されている偏光LEDモジュールにおけるLED素子の代わりに、本開示の発光素子を用いてもよい。

【0272】

複数の発光素子を並べて高輝度の照明を実現することもできる。例えば、特開2011-181429号公報に開示されている、10以上のLEDを設けた照明装置のように、10以上の発光素子を並べて高輝度の照明を実現してもよい。

【0273】

図53は、そのような照明装置400cの構成例を示す断面図である。この照明装置400cは、回路基板430と、その上に形成された複数の発光素子320と、凹面形状の反射ミラー410と、反射ミラー410の内部に形成された拡散板440と、反射ミラー410の外縁部に設けられたレンズ450とを備える。複数の発光素子320の各々は、上記のいずれかの発光素子と同様の構成を有する。一般に、レンズは中心軸付近に入射する光は、入射角度が小さく設計が容易である。指向性の発光により、発光した光を中心軸付近にすることができるので、光学設計を容易にすることができる。

【0274】

複数の発光素子320から出射された光は、拡散板440によって拡散され、レンズ450に到達する。レンズ450は、レンズに到達した光を屈折させ、広範囲に光を出射させる。

【0275】

なお、レンズを用いた構成は、上記の他にも、例えば特許第4632899号公報に開示された構成を採用してもよい。特開2012-059575号公報に開示されているように、複数のレンズを組み合わせてもよい。特許第4523100号公報に開示されているように、反射板とレンズとを組み合わせた他の構成を採用してもよい。

【0276】

本開示の発光素子は、車両用のヘッドライトにも適用できる。例えば、特表2013-526759号公報に開示されているような、マイクロミラーによる配光制御が可能なヘッドライトに適用できる。

【0277】

図54は、そのような照明装置(ヘッドライト)400dの概略構成を示す図である。この照明装置400dは、励起光源310と、発光素子320と、レンズ450と、マイクロミラー460とを備えている。マイクロミラー460には、不図示の駆動回路が接続される。

【0278】

励起光源310から出射した励起光は、マイクロミラー460によって反射され、発光素子320の特定の位置に入射する。発光素子320のその位置では、発光が生じ、特定の色の光がフォトルミネッセンス層に垂直な方向に出射する。この光は、レンズ450によって集束され、外部を照射する。

10

20

30

40

50

【0279】

マイクロミラー460は、駆動回路により、特定の軸（例えば水平軸）を中心に回転することができる。この回転により、励起光が到達する発光素子320の位置を変化させることができる。

【0280】

本実施形態の構成は、例えばハイビームとロービームとの切り替えに利用できる。不図示のセンサーと組み合わせれば、例えば前方に人または車両が存在しない場合はハイビームにし、前方に人または車両が存在する場合にはロービームに切り替えるといった制御を自動で行うこともできる。あるいは、前方に人がいる場合には励起光源310を自動で停止させて照明をオフにするといった制御も可能である。

10

【0281】

以上のように、本開示の照明装置によれば、等方的に発せられた光を所望の方向に導くための光学部品を省略または簡略化できる。このため、照明器具の小型化あるいは設計工程の簡略化が可能である。

【0282】

照明の分野では、彩光色照明および美光色照明という技術が開発されている。これらは、照明の対象の色を美しく見せるもので、彩光色照明は例えば野菜などの食品をよりおいしそうに見せる効果があり、美光色照明は、肌をより美しく見せる効果がある。これらは、いずれも光源のスペクトル（即ち、発光する光の波長の強度分布）を対象物に応じて制御することによって行われる。従来は、光学フィルタを用いて光源から出射された光を選択透過させることによって、照明に用いる光のスペクトルを制御していた。すなわち、不要な光を光学フィルタによって吸収させていたので、光の利用効率を低下させていた。これに対し、本開示の発光素子は、特定の波長の光を増強できるので、光学フィルタを必要とせず、その結果、光の利用効率を向上させることができる。

20

【0283】

本開示の発光素子は、偏光（直線偏光）を出射することができる。従来、直線偏光は、光源から出射された非偏光を構成する直交する2つの直線偏光の内の一方を偏光フィルタ（「偏光板」ともいわれる。）を用いて吸収させることによって作られていた。したがって、光の利用効率は50%以下であった。本開示の発光素子を偏光光源として用いれば、偏光フィルタを用いる必要がないので、光の利用効率を向上させることができる。偏光照明は、例えば、ショーウィンドウや展望レストランの窓ガラスなど、反射光を低減させたい場合に用いられる。また、皮膚表面の反射特性が偏光に依存することを利用した、洗面・化粧用の照明、さらには、内視鏡による病変部の観察を容易にするために用いられる。

30

【0284】

[11-3. プロジェクター用光源]

種々の光学デバイスにおいて、光源からの光を所定の方向に効率よく導く必要がある。そのために、前述のように、例えば、レンズ、プリズムまたは反射板が用いられることが多い。例えば、プロジェクターにおいては、光源からの光を表示パネルに導くために、ライトガイドを用いる構成が知られている（例えば、特開2010-156929号公報）。本開示の発光素子を光源に用いることによって、ライトガイドを省略することができる。

40

【0285】

偏光光源は、液晶プロジェクターの光源にも用いられ得る。液晶プロジェクターの光源として用いる場合には、上述の波長選択性と組み合わせ、3原色の偏光を出射できる光源を構成することができる。例えば、赤色の直線偏光を出射する発光素子と、緑色の直線偏光を出射する発光素子と、青色の直線偏光を出射する発光素子とをつなぎあわせて円盤を形成し、この円盤に励起光を照射しながら、円盤を回転させることによって、時系列に赤、緑、青の三原色の偏光を出射する光源を実現することができる。このような円盤は、蛍光体ホイールと呼ばれる。

【0286】

50

このように、本開示の発光素子は、プロジェクターに用いられる蛍光体ホイールにも用いられ得る。例えば、特開2012-8177号公報または特開2014-191003号公報に開示された蛍光体ホイールにおける蛍光体の代わりに、本開示の発光素子を利用することができる。一例として、特開2014-191003号公報に開示された構成における赤色蛍光体層および緑色蛍光体層の代わりに、赤色の光をフォトルミネッセンス層にほぼ垂直に出射する発光素子、および緑色の光をフォトルミネッセンス層にほぼ垂直に出射する発光素子を用いてもよい。

【0287】

図55は、そのような発光装置の一例を簡略化して示す図である。この発光装置500は、励起光源310と、ホイール状の発光素子320と、回転機構510とを備える。発光装置500は、他にも拡散板、レンズ、ミラー、制御回路などの構成要素を含み得るが、これらの構成要素の説明は省略する。

10

【0288】

発光素子320は、円板状（またはドーナツ状）であり、中心部が回転機構510に連結している。発光素子320の周辺部に励起光源310からの励起光が入射するように配置されている。回転機構510は、発光素子320を、その中心を軸として一方向又は双方向に回転させるためのモータを含む。回転機構510は、例えば、1/60秒に1回転の角速度で発光素子320を回転させる。

【0289】

図56は、発光素子320を軸方向から見た場合の構成を示す図である。発光素子320は、赤色の波長帯域の光をフォトルミネッセンス層にほぼ垂直な方向に出射させる領域320Rと、緑色の波長帯域の光をフォトルミネッセンス層にほぼ垂直な方向に出射させる領域320Gと、透明領域320Tとを有する。励起光が例えば青色の波長帯域の光である場合、透明領域320Tからは青色の光が出射する。

20

【0290】

回転機構510が発光素子320を回転させながら励起光源310が励起光を出射することにより、時系列に赤、緑、青の三原色の光を出射することができる。このような構成により、例えば回転機構510および励起光源310に接続された制御回路が、回転機構510のモータを回転させながら励起光源310の出力を調整することにより、プロジェクターから出射する光の色を変化させることができる。

30

【0291】

[11-4. 狭帯域イメージング]

本開示の発光素子は、特定の波長の光だけを增強することができる。したがって、必要とされる波長だけを射出する光源を容易に実現できる。また、フォトルミネッセンス層の材料を変えずに、周期構造を変更するだけで、射出される光の波長を変えることができる。さらに、周期構造に対する角度によって、異なる波長の光を射出させることもできる。このような波長選択性は、例えば、狭帯域イメージング(narrow band imaging: NBI、登録商標)という技術に用いられ得る。狭帯域イメージングは、青および緑の2つの狭帯域の波長の光を粘膜に照射することにより、粘膜表層の毛細血管および微細な模様を観察する技術である。狭帯域イメージングにより、内視鏡による病変部の観察を容易にすることができる。

40

【0292】

[11-5. 可視光通信]

本開示の発光素子は、可視光通信にも用いることができる。可視光通信は、照明光の強度を変調することによって信号を送信する技術である。そのような照明装置からの信号は、フォトダイオードまたは汎用のイメージセンサーを備えた受信器によって受信される。これにより、照明装置から受信装置に情報を送信することができる。可視光通信は、例えば特許第5179260号公報または特開2014-135716号公報などに開示されている。可視光通信システムでは、通常、光源として発光ダイオード(LED)が用いられる。LEDの代わりに、本開示における発光素子を利用することができる。

50

【 0 2 9 3 】

図 5 7 は、そのような可視光通信システムの一例を示す図である。この可視光通信システム 6 0 0 は、照明装置 6 1 0 と、受信装置 6 2 0 とを備える。照明装置 6 1 0 は、変調回路 6 1 2 と、励起光源 3 1 0 と、発光素子 3 2 0 とを備える。変調回路 6 1 2 は、受信装置 6 2 0 に送信する信号に応じて励起光源 3 1 0 から出射する励起光の強度を高い周波数で変調させる。これにより、発光素子 3 2 0 から出射される光の強度も、信号に応じて変調する。この光強度の変化を受信装置 6 2 0 が備えるイメージセンサーなどで検出することにより、信号を受信できる。

【 0 2 9 4 】

このようなシステムにおいては発光素子に指向性を持たせることにより、受光素子に効率的に光を届けることができる。

10

【 0 2 9 5 】

[1 1 - 6 . 透明表示装置]

本開示の発光素子は、図 5 8 に模式的に示すように、透明表示装置のスクリーン 1 0 0 S として用いることもできる。

【 0 2 9 6 】

スクリーン 1 0 0 S は、例えば、赤色光 (R) を増強する発光素子と、緑色光 (G) を増強する発光素子と、青色光 (B) を増強する発光素子とで構成される画素がマトリクス状に配列されている。これらの発光素子は、励起光源 1 8 0 S 1 から対応する励起光 (例えば紫外線) が照射されたときにだけ所定の色光を発光し、画像を表示することができる。各発光素子は、可視光を透過するので、観察者は、スクリーン 1 0 0 S を介して、背景を観察することができる。スクリーン 1 0 0 S に励起光が照射されないときは、透明な窓のように見える。励起光源 1 8 0 S 1 として、レーザーダイオードを用い画像データに合わせて、出力を変えながらスキャンさせることによって、高解像度の表示が可能となる。また、レーザー光はコヒーレント光であるので、周期構造と干渉させることによって、励起効率も高めることができる。また、紫外線などの好ましくない波長の光を励起光として用いる場合には、励起光源をスクリーン 1 0 0 S の観察者と反対側に設置し、スクリーン 1 0 0 S の観察者側に励起光をカットするフィルタを設けることによって、不要な光の漏洩を防止することができる。

20

【 0 2 9 7 】

スクリーン 1 0 0 S は、高い指向性を有し得るので、例えば、所定の方から観察する人だけが画像を観察できるように構成することができる。

30

【 0 2 9 8 】

励起光源 1 8 0 S 1 に代えて、励起光源 1 8 0 S 2 を用いることができる。このとき、スクリーン 1 0 0 S の背面 (即ち、観察者側とは反対側) に、導光シート S を配置し、導光シート S に励起光源 1 8 0 S 2 から励起光を照射する。導光シート S に入射した励起光は、導光シート S 内を伝播しながら、スクリーン 1 0 0 S を裏面から照射する。この時、表示したい画像の部分に合わせて発光素子を配置すると、任意の画像をアクティブに表示することはできないが、励起光が照射されていない場合は、窓のように透明であり、励起光が照射された時にのみ画像あるいは図形や文字などが表示される表示機器を構成することができる。

40

【 0 2 9 9 】

[1 1 - 7 . センサー]

本開示の発光素子では、例えば図 8 および図 9 を参照して上述したように、周期構造の屈折率が変化すると、増強される光の波長が変化し、増強される光の出射方向も変化する。フォトルミネッセンス層の屈折率によっても、増強される光の波長および出射方向が変化する。したがって、発光素子から出射される光の波長および出射方向の少なくとも一方に基づいて、発光素子の近傍の媒質の屈折率変化を容易に感度良く検知することができる。

【 0 3 0 0 】

50

例えば、以下の様にして、本開示の発光素子を用いて、様々な物質を検出するセンサーを構成することができる。

【0301】

本開示の発光素子の周期構造に近接して、測定対象の物質（タンパク質や匂い分子、ウイルスなど）と選択的に結合する物質（酵素など）を配置しておく。測定対象の物質が結合すると、発光素子の近傍の媒質の屈折率が変化する。この屈折率の変化を、上述の増強される光の波長または出射方向の変化に基づいて検出することによって、様々な物質の存在を検知することができる。

【0302】

[11-8. 信号機]

本開示の発光素子は、特定の方向に指向性の高い光を出射することができる。この高い指向性は、例えば、交通信号機や公共の表示装置のような特定の方向からの交通車両または人物にのみ限定して情報を提供する表示装置にも好適に用いられる。例えば、従来の指向性の低い光源を用いた場合には、光源から出射した光が側方にも射出されるため、側方から信号機や表示装置が視認され、誤認が生じる可能性があった。その為、特に誤認が生じると不具合がある信号機等の安全性に関わる表示装置には、例えば、登録実用新案公報第3014799号に開示されているような、側方への射出を防止する遮蔽部品（ルーバ）が用いられていた。本開示における発光装置のように特定方向の指向性の高い光源を用いた場合、所定の方向の交通車両または人物に情報を効率よく提供することができるため、これらの遮蔽部品を省略することができる。さらに、表示装置を小さくすることができるため、風雪から受ける力を小さくすることができる。よって、信号機等の表示装置を支持する構造を簡素化することができる。

【0303】

図59は、そのような指向性表示装置の一例である交通用の信号機700を模式的に示す図である。図示される信号機700は、赤、黄色、緑（または青）の波長帯域の光をそれぞれ出射する3つの表示部710r、710y、710gを含む発光装置710と、発光装置710を収納する筐体740とを有する。信号機700は、2本のアーム750およびポール760によって支持される。信号機700は、ケーブル720を介して、ポール760に固定された表示制御装置730内の制御回路732に接続されている。制御回路732によって表示部710r、710y、710gにおける発光が制御される。

【0304】

図60は、信号機700のより詳細な構成の例を示す模式図である。この例では、信号機700は、さらに、3つの励起光源180と、励起光源180からの励起光を表示部710r、710y、710gにそれぞれ導く3つの導光板330とを備える。励起光は、透明基板140を介して表示部710r、710y、710gにおけるフォトルミネッセンス層110r、110y、110gに入射する。フォトルミネッセンス層110r、110y、110gは、励起光を受けて、それぞれ、赤（R）、黄（Y）、緑（G）の波長帯域に属する光を出射する。フォトルミネッセンス層110r、110y、110gの表面にそれぞれ形成された表面構造120r、120y、120gは、それぞれ、赤、黄、緑の波長帯域に属する光を、所定の方向に狭角に出射する。制御回路732は、3つの励起光源180に接続されており、これらのオンおよびオフの制御を行う制御信号を供給する。これにより、表示部710r、710y、710gを順次点灯させたり、黄色の表示部710yを点滅させたりすることができる。

【0305】

前述のように、本明細書では、赤、緑、青の波長帯域は、それぞれ、赤：600～750nm、緑：490～570nm、青：430nm～470nmとする。黄色の波長帯域は、赤と緑の間の波長帯域である570nm～600nmとする。表示部710rは、例えば中心波長が642nmの光を所定の方向に出射するように設計され得る。表示部710yは、例えば中心波長が595nmの光を所定の方向に出射するように設計され得る。表示部710gは、例えば中心波長が500nmの光を所定の方向に出射するように設計

10

20

30

40

50

され得る。

【0306】

このように、表示部710r、710y、710gは、交通表示装置として求められる赤、黄、緑の光を高い指向性で出射するように設計される。表示制御装置730により、フォトルミネッセンス層110r、110y、110gのうち特定の1つを指向性をもって発光させることができる。これにより、特定の方向からのみ視認できる信号装置を実現できる。特定の方向からのみ視認できることにより、運転者による信号の誤認の可能性を低減させることができる。

【0307】

なお、図59、60に示す構成は一例であり、多様な変形が可能である。例えば、各表示部710r、710y、710gは、図60に示す構造に限らず、既に説明した他の発光素子の構造を有していてもよい。また、励起光源180を制御回路732の近傍に配置し、励起光源180から各表示部に光ファイバー等のライトガイドを介して励起光を供給してもよい。さらに、導光板330は、不要であれば省略してもよい。

10

【0308】

上記の例では、赤、黄、緑の3色の光を発する信号機700を説明したが、例えば赤および緑（または青）の2色の光を発する歩行者用の信号機にも同様の構成を適用できる。

【0309】

このような交通表示装置は、例えば画像によって交差点への侵入の可否を示す運転支援システムに適用することもできる。そのようなシステムは、例えば特開2013-114557に開示されている。そのようなシステムに上記交通表示装置を適用することにより、運転者の認識の精度を高めることができるため、安全性が向上する。

20

【0310】

[11-9. 植物工場用光源]

本開示における発光素子は、植物工場における光源としても利用され得る。植物工場では、植物の健全な生育のために、様々な波長帯域の光を植物に照射することが行われている。例えば、光合成による成長には、640nm～690nmの光が主に用いられる。葉の正常な形態形成（種子発芽、花芽分化、開花、子葉の展開、葉緑素合成、節間伸長などの植物の質的な変化）には、420nm～470nmの光が主に用いられる。植物工場における光源には、比較的狭帯域の光を出射することが要求される。

30

【0311】

従来の植物工場では、例えば蛍光灯、高圧ナトリウムランプ、LED等の光源が用いられていた。これらの光源は、線幅（即ち、波長の範囲）が広いので、光の利用効率が低いという課題がある。これらの光源に代えて、本開示における高い指向性の発光素子を利用することにより、光の利用効率を向上させることができる。

【0312】

植物工場において用いられる光源の例が、例えば特開2011-97900号公報に開示されている。この文献に開示されている光源の代わりに、本開示における発光素子を利用することができる。

【0313】

40

図61は、上記文献の図12と同様の構成を有する植物工場用の光源装置を示す図である。この光源装置は、植物を載置する載置台30と、植物の上方に設置された主光源ユニット10と、複数の補助光源ユニット20とを備える。主光源ユニット10は、例えば、赤色および青色の波長帯域の光を出射するように構成され得る。補助光源ユニット20は、例えば近赤外線、近紫外線、緑色、または黄色の波長帯域の光を出射するように構成され得る。ここで、近赤外線の波長帯域は、およそ700nm～2500nmであり、近紫外線の波長帯域は、およそ200nm～380nmである。主光源ユニット10および補助光源ユニット20を、本開示におけるいずれかの発光素子を用いて構成することにより、光を効率よく植物に照射することができる。なお、本開示における発光素子は、図61に示す例に限らず、任意の植物工場用光源に利用できる。使用される発光素子の数、配置

50

、および発光波長についても任意に決定してよい。

【0314】

[11-10. 光線力学治療]

本開示の発光素子の高い指向性は、光を用いて皮膚の疾患（例えば癌の病巣）を治療する光線力学治療にも有用である。例えば、表面近傍の皮膚疾患の治療には、400nm付近の光が用いられる。また、深部の皮膚疾患の治療には、600nm付近の光が用いられる。このような光線力学治療を行う際に、従来はランプ光源から特定の光をフィルタで取り出して利用していたため、光の損失を招いていた。これに対し、本開示における指向性の高い発光素子を光源に用いるようにすれば、光の利用効率を向上させることができる。本開示の発光素子は、光線力学的治療の他、光を用いてニキビの改善、肌の赤みの改善、

10

発毛の促進などを行う用途にも利用され得る。

【0315】

[11-11. 距離センサー]

本開示における発光素子は、距離センサーにも適用できる。距離センサーは、光源からパルス光を出射し、対象物から反射してきたパルス光を検出して、それらのパルス光の位相差に基づいて対象物までの距離を検出するセンサーである。距離センサーは、例えば撮影範囲全体の距離画像を生成する距離画像センサーまたは撮影範囲内の主要被写体の動きを検出するモーションセンサーに利用することができる。そのような距離センサーでは、従来、LED光源が主に用いられてきた。LED光源に代えて、本開示における高い指向性の発光素子を用いることができる。

20

【0316】

図62は、本開示における発光素子を用いた距離センサーの構成例を示す模式図である。この距離センサーは、発光装置800と、イメージセンサー810と、これらを制御する制御回路820とを備えている。

【0317】

図63Aは、発光装置800の概略構成を示す図である。発光装置800は、すでに説明したいずれかの構造を有する発光素子840と、励起光源830とを有する。発光素子840は、近赤外線または可視光を狭角に出射する表面構造を備えている。発光装置800は、制御回路820からの制御信号に応じて励起光源830を駆動し、近赤外線または可視光のパルス光を出射する。イメージセンサー810は、複数の光検出セルを有し、発光装置800から出射され、対象物から反射されたパルス光を検出する。制御回路820は、例えばマイクロコントローラ（マイコン）などの集積回路であり得る。制御回路820は、CPU等のプロセッサと、デジタルシグナルプロセッサ（DSP）等の画像処理回路との組み合わせであってもよい。制御回路820は、発光装置800の発光のタイミングとイメージセンサー810の信号電荷の蓄積および読み出しのタイミングとを制御する。制御回路820は、さらに、発光装置800が出射するパルス光の位相と、イメージセンサー810が検出したパルス光の位相との差分に基づいて、対象物までの距離を計測する。

30

【0318】

図63Bは、制御回路820によるパルス光の発生を説明するための図である。制御回路820は、励起光源830に、パルス信号である駆動信号を入力する。励起光源830は、駆動信号に応答して、パルスの強度が変化する励起光を発光素子840に入射させる。これに応じて、発光素子840から、励起光と同じ周期で強度が変化する光（パルス光と称する）が出射される。出射されたパルス光は、対象物で反射され、イメージセンサー810に入射する。イメージセンサー810は、複数の光検出セルによって、その反射光を検出し、光検出セル（画素ともいう）ごとに、受けた光の強度（受光量ともいう）に応じた電気信号を出力する。この電気信号を、受光信号と呼ぶ。

40

【0319】

図63Cは、駆動信号および受光信号の時間変化の一例を示す図である。制御回路820は、画素ごとに、駆動信号と受光信号との間の遅延時間 t に基づき、対象物までの距

50

離 L を測定する。距離 L は、次の式に基づいて計算される。

$$L = \text{光速 } c \times \text{遅延時間 } t / 2$$

【 0 3 2 0 】

制御回路 8 2 0 は、距離 L を画素ごとに求め、その値に応じて輝度が異なる画像を距離画像として生成することができる。この例における距離センサーは、高速撮影が可能なイメージセンサー 8 1 0 を使用し、パルス光の周波数を十分に高くすることにより、モーションセンサーとして利用することも可能である。

【 0 3 2 1 】

上記の例では、制御回路 8 2 0 が励起光源 8 3 0 を駆動することによってパルス光を発生させているが、他の方法を用いてもよい。例えば、図 6 4 A に示すように、発光素子 8 4 0 の光出射側に、光学シャッター 8 5 0 を配置し、制御回路 8 2 0 が光学シャッター 8 5 0 の光透過率を制御することによってパルス光を発生させてもよい。光学シャッター 8 5 0 は、例えば液晶層とその両側の電極層とを含み、駆動信号の印加によって光を透過させる状態（透光状態と呼ぶ）と、光を遮光する状態（遮光状態と呼ぶ）とを切り替えることができる。図 6 4 B に示すように、制御回路 8 2 0 が光学シャッター 8 5 0 にパルス状の駆動信号を入力し、それに応じて透光状態と遮光状態とが切り替わる。これにより、光学シャッター 8 5 0 からパルス光が出射される。

【 0 3 2 2 】

図 6 4 C に示すように、発光素子 8 4 0 と光学シャッター 8 5 0 との間、および光学シャッター 8 5 0 の光出射側にレンズ 8 6 0 a、8 6 0 b を設けてもよい。レンズ 8 6 0 a によって発光素子 8 4 0 からの光が結像する位置に光学シャッター 8 5 0 を配置することにより、光学シャッター 8 5 0 を小型にでき、より高速に透光状態と遮光状態とを切り替えることができる。このような小型のシャッターは、例えば MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) によって実現することができる。本開示における発光素子を用いることにより、特定の波長の近赤外線または可視光を正面方向に出射し、その周辺の波長の近赤外線をその周辺方向に出射できる。これらの波長帯域の光をイメージセンサー 8 1 0 が受光することにより、対象物までの距離を計測できる。

【 0 3 2 3 】

本開示の発光素子の応用例は上記に限られず、種々の光学デバイスに適用され得る。

【 0 3 2 4 】

以上の説明において引用した全ての特許文献の開示内容全体は、本願明細書に援用される。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 3 2 5 】

本開示の発光素子および発光装置は、照明器具、ディスプレイ、プロジェクターをはじめ、種々の光学デバイスに適用され得る。

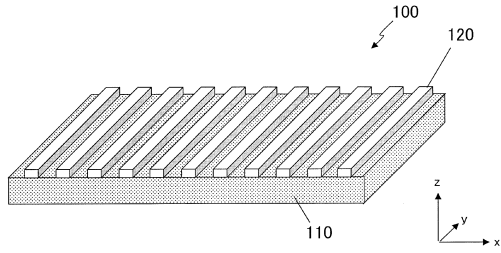
【 符号の説明 】

【 0 3 2 6 】

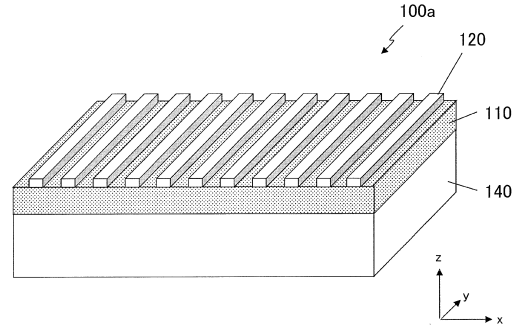
- | | | |
|---|---------------------|----|
| 1 0 | 主光源ユニット | |
| 2 0 | 補助光源ユニット | 40 |
| 3 0 | 載置台 | |
| 1 0 0、1 0 0 a | 発光素子 | |
| 1 1 0 | フォトルミネッセンス層（導波層） | |
| 1 2 0、1 2 0'、1 2 0 a、1 2 0 b、1 2 0 c | 透光層（周期構造、サブマイクロン構造） | |
| 1 4 0 | 透明基板 | |
| 1 5 0 | 保護層 | |
| 1 8 0 | 光源 | |
| 2 0 0 | 発光装置 | |
| 3 0 0、3 0 0 a、3 0 0 b、3 0 0 c、3 0 0 d、3 0 0 e | 表示装置 | 50 |

3 1 0	励起光源	
3 2 0	発光素子	
3 2 1	フォトルミネッセンス層	
3 2 2	サブミクロン構造（周期構造）	
3 3 0	導光板	
3 4 0	カラーフィルタアレイ	
3 5 0	光学シャッタ	
3 5 1	偏光フィルタ	
3 5 2	透明基板	
3 5 3	透明電極	10
3 5 5	液晶層	
3 5 7	透明基板	
3 5 8	偏光フィルタ	
3 6 0	駆動回路	
3 7 0	タッチスクリーン	
4 0 0	照明装置	
4 1 0	凹面反射鏡	
4 2 0	放熱基板	
4 3 0	回路基板	
4 4 0	拡散板	20
4 5 0	レンズ	
4 6 0	マイクロミラー	
5 0 0	発光装置	
5 1 0	回転機構	
6 0 0	可視光通信システム	
6 1 0	照明装置	
6 1 2	変調回路	
6 2 0	受信装置	
7 0 0	信号機	
7 1 0 r、7 1 0 y、7 1 0 b	表示部	30
7 2 0	ケーブル	
7 3 0	表示制御装置	
7 3 2	制御回路	
7 4 0	筐体	
7 5 0	アーム	
7 6 0	ボール	
8 0 0	発光装置	
8 1 0	イメージセンサー	
8 2 0	制御回路	
8 3 0	励起光源	40
8 4 0	発光素子	
8 5 0	光学シャッタ	
8 6 0 a、8 6 0 b	レンズ	

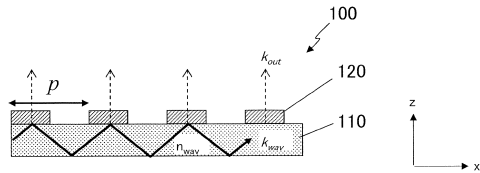
【図1A】



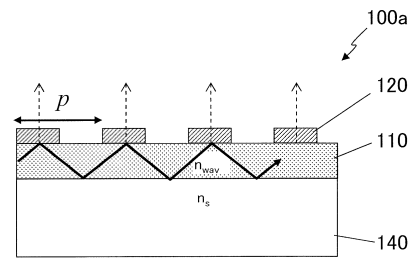
【図1C】



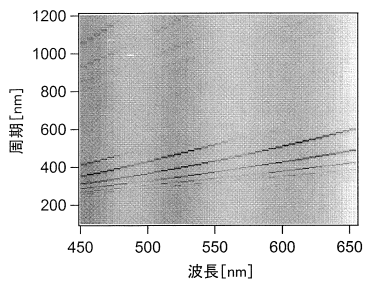
【図1B】



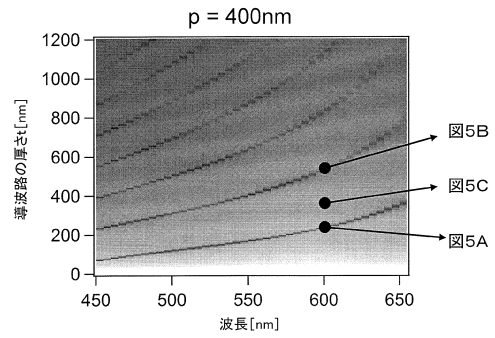
【図1D】



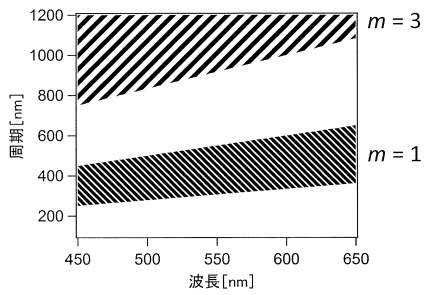
【図2】



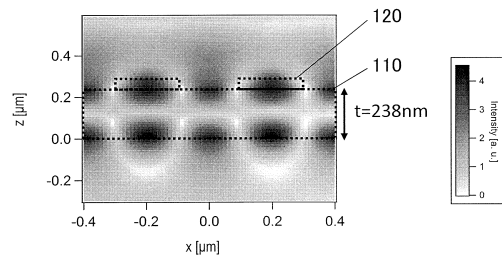
【図4】



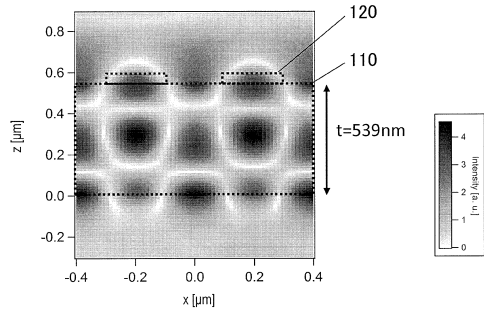
【図3】



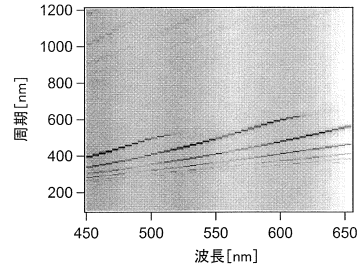
【図5A】



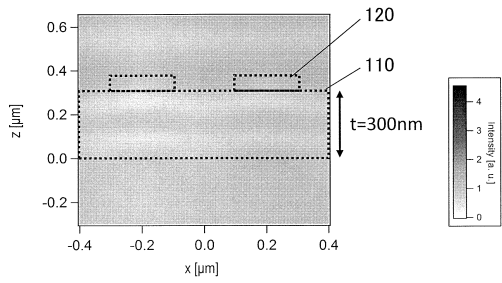
【図5B】



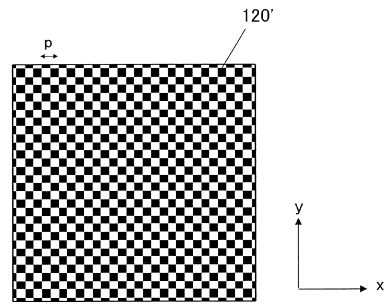
【図6】



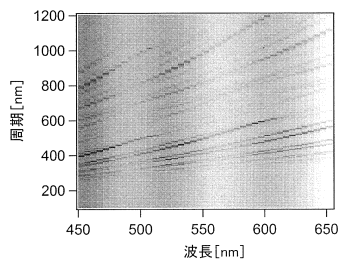
【図5C】



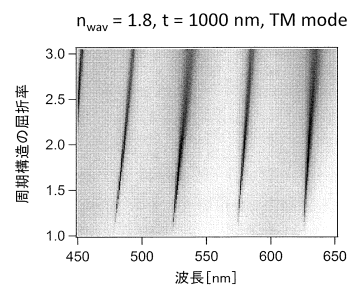
【図7A】



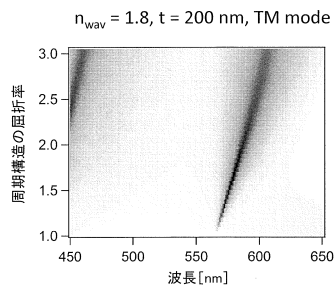
【図7B】



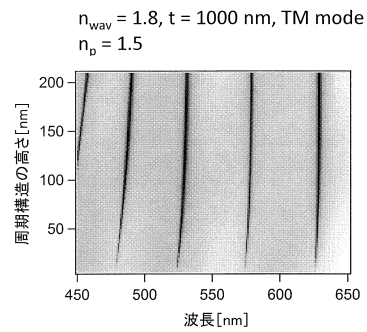
【図9】



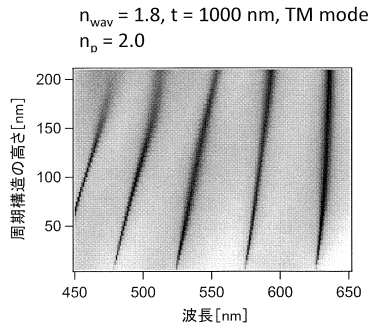
【図8】



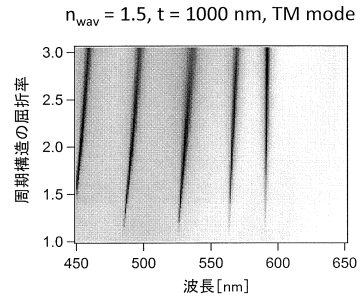
【図10】



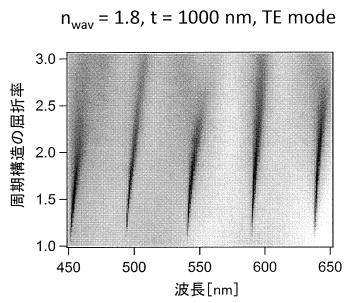
【図 1 1】



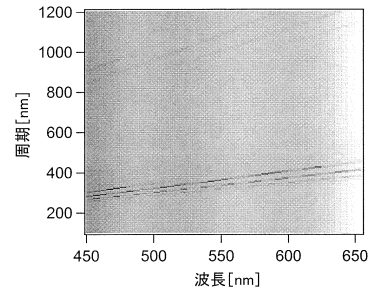
【図 1 3】



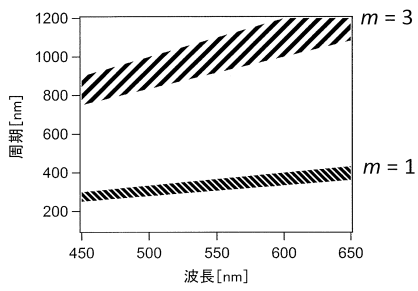
【図 1 2】



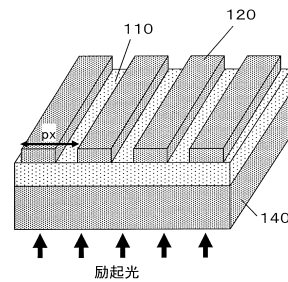
【図 1 4】



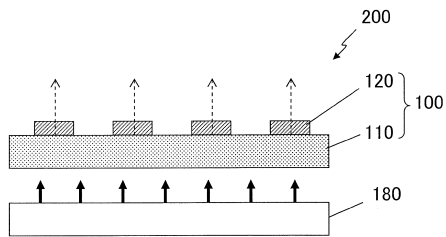
【図 1 5】



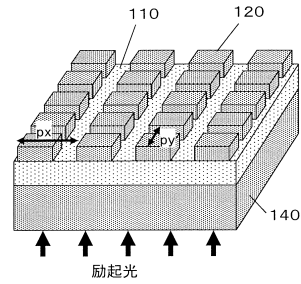
【図 1 7 A】



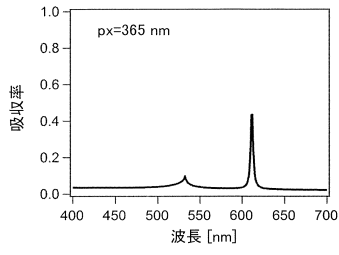
【図 1 6】



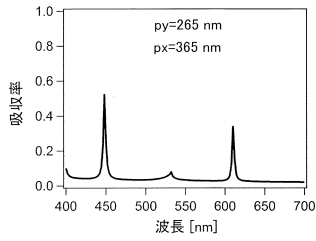
【図 1 7 B】



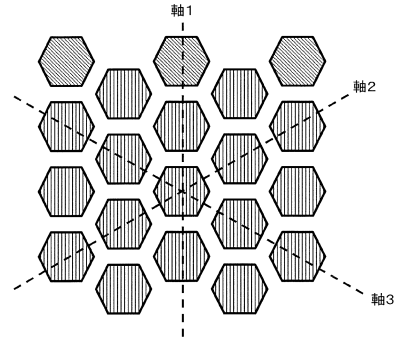
【図17C】



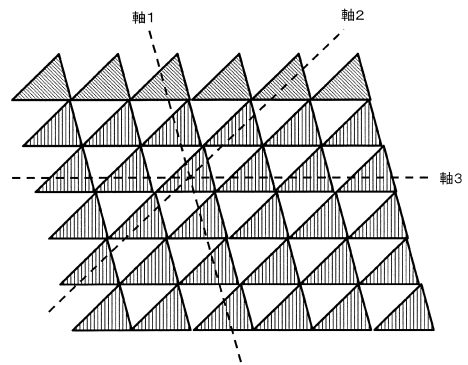
【図17D】



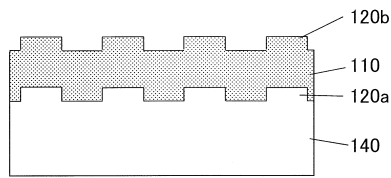
【図18A】



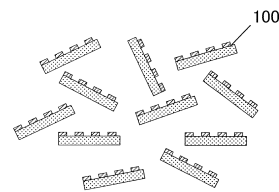
【図18B】



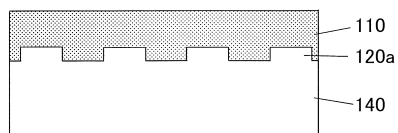
【図19A】



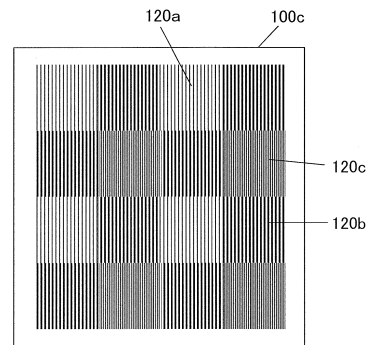
【図20】



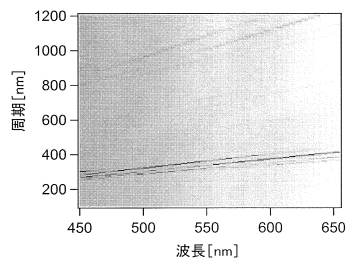
【図19B】



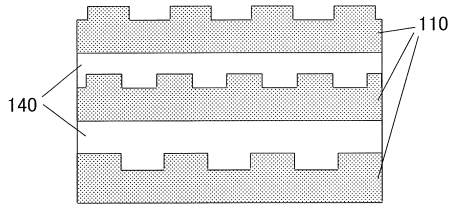
【図21】



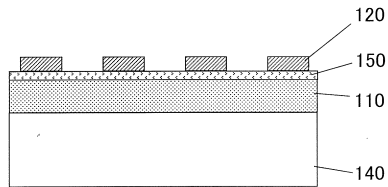
【図19C】



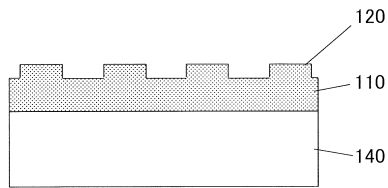
【図 2 2】



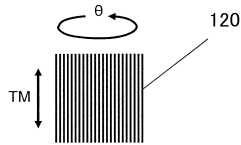
【図 2 3】



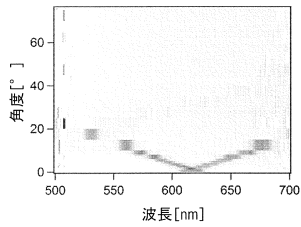
【図 2 4】



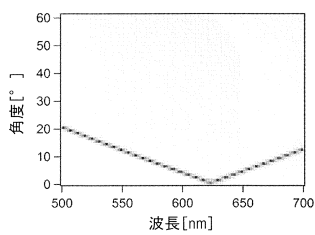
【図 2 7 A】



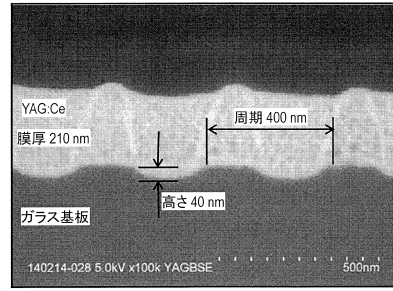
【図 2 7 B】



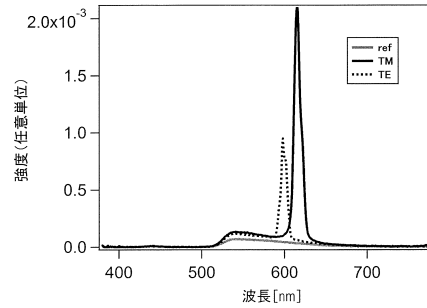
【図 2 7 C】



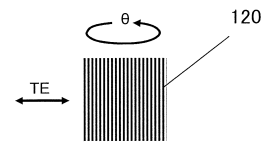
【図 2 5】



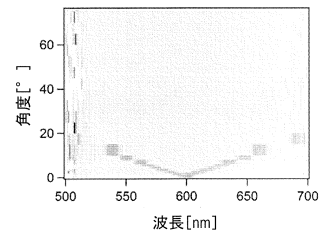
【図 2 6】



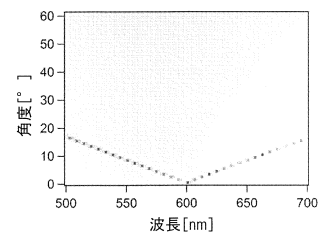
【図 2 7 D】



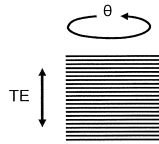
【図 2 7 E】



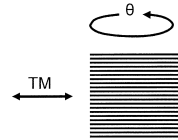
【図 2 7 F】



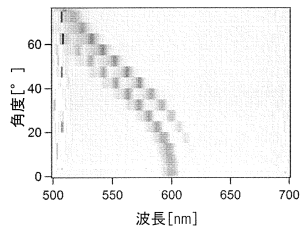
【図 28 A】



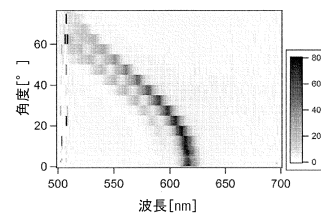
【図 28 D】



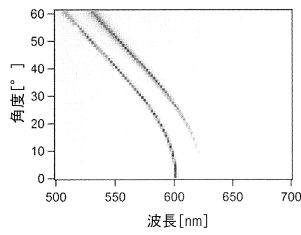
【図 28 B】



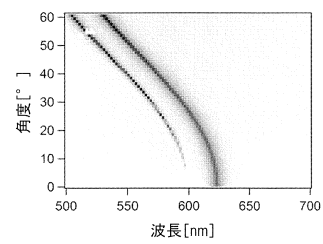
【図 28 E】



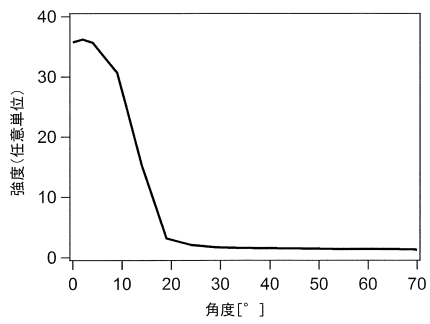
【図 28 C】



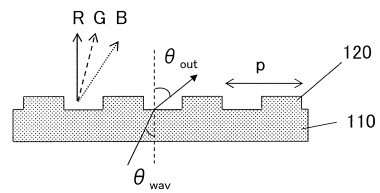
【図 28 F】



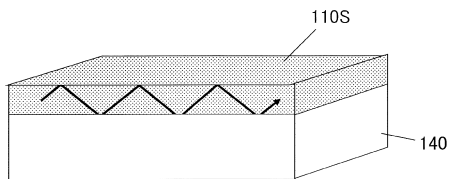
【図 29】



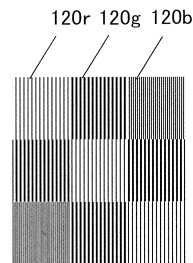
【図 31】



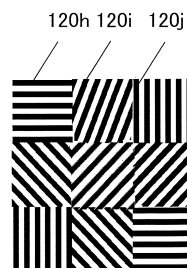
【図 30】



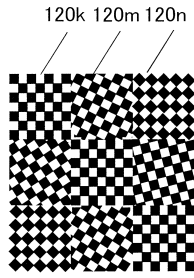
【図 32 A】



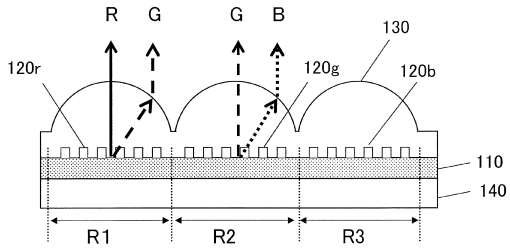
【図 32 B】



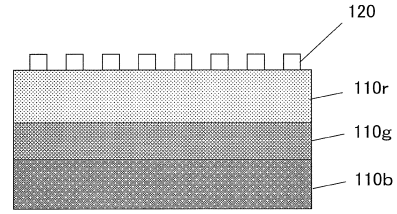
【図 3 2 C】



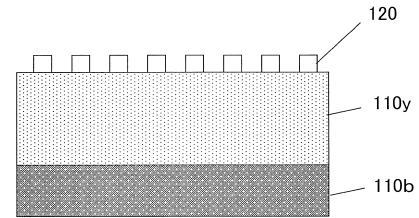
【図 3 3】



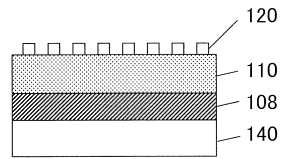
【図 3 4 A】



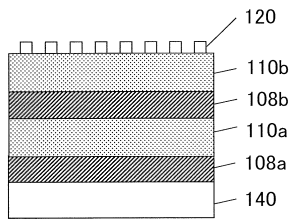
【図 3 4 B】



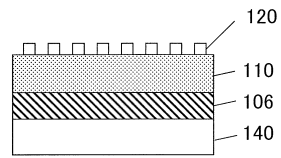
【図 3 5 A】



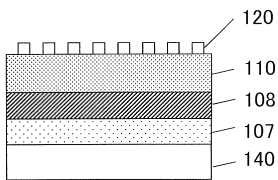
【図 3 5 B】



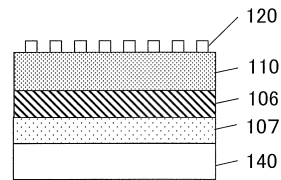
【図 3 6 A】



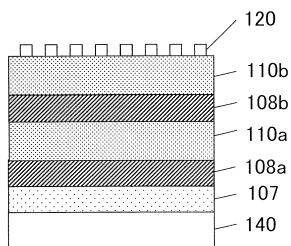
【図 3 5 C】



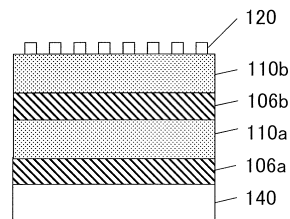
【図 3 6 B】



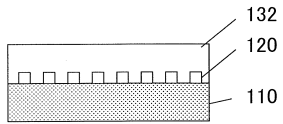
【図 3 5 D】



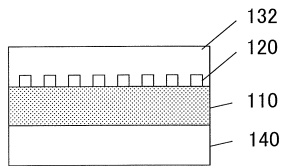
【図 3 6 C】



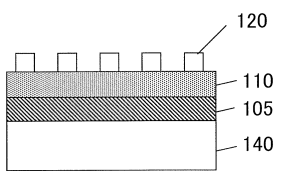
【図 37 A】



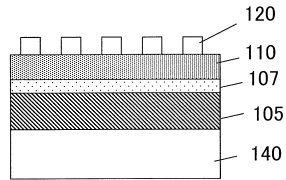
【図 37 B】



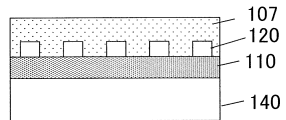
【図 38 A】



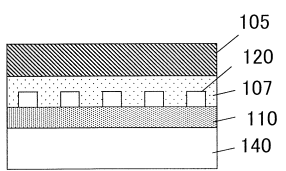
【図 38 B】



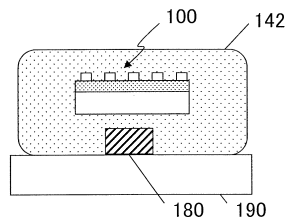
【図 38 C】



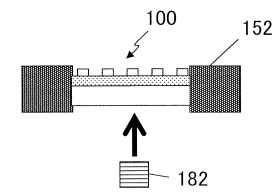
【図 38 D】



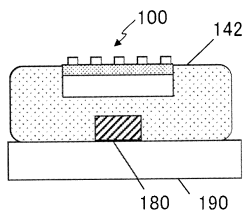
【図 39 A】



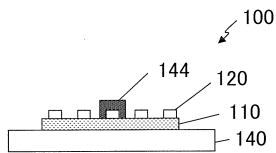
【図 39 D】



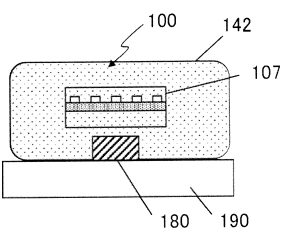
【図 39 B】



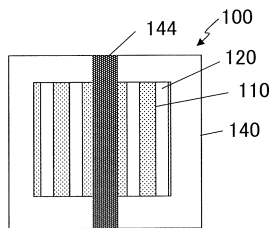
【図 40 A】



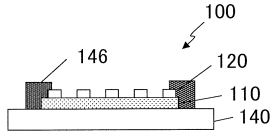
【図 39 C】



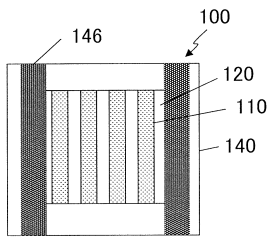
【図 40 B】



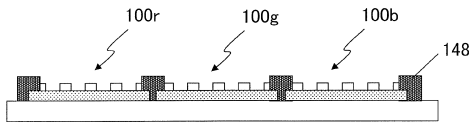
【図40C】



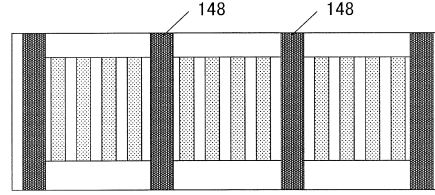
【図40D】



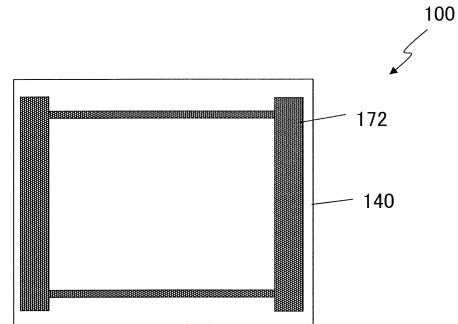
【図41A】



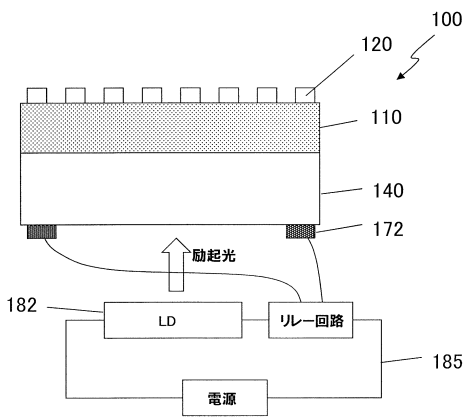
【図41B】



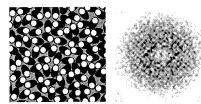
【図42A】



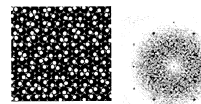
【図42B】



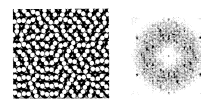
【図43C】



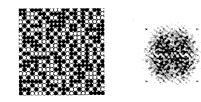
【図43D】



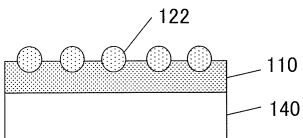
【図43E】



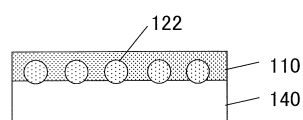
【図43F】



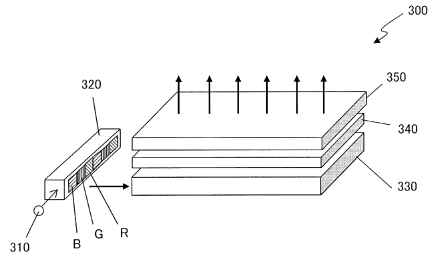
【図43A】



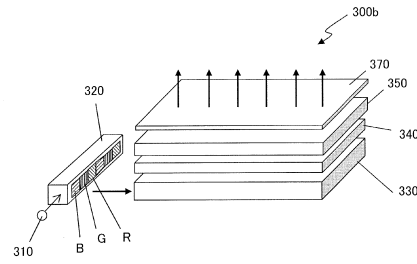
【図43B】



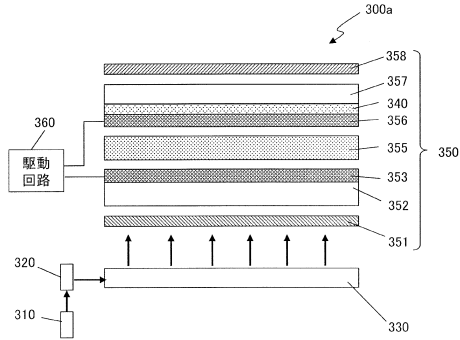
【図44】



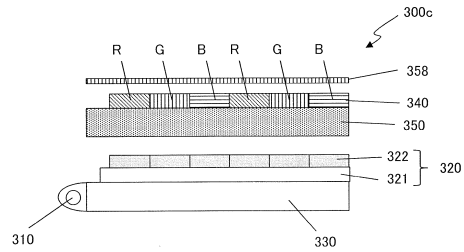
【図46】



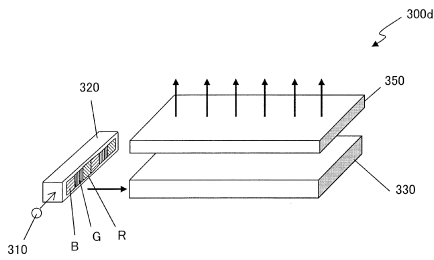
【図45】



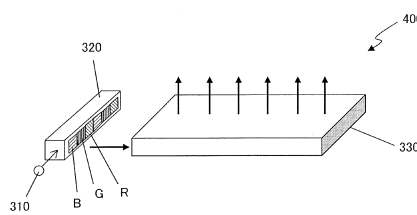
【図47】



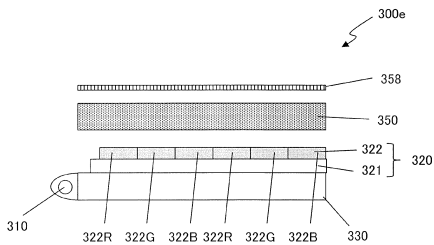
【図48】



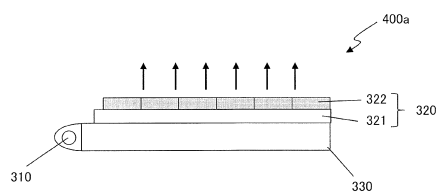
【図50】



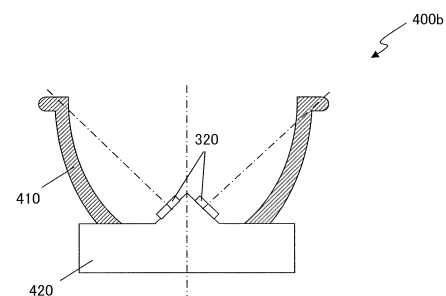
【図49】



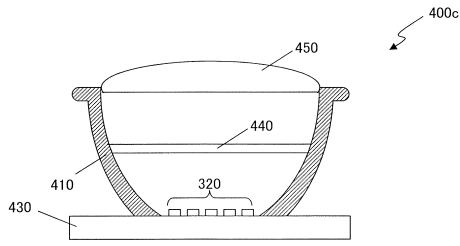
【図51】



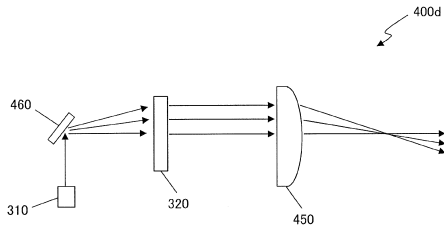
【図52】



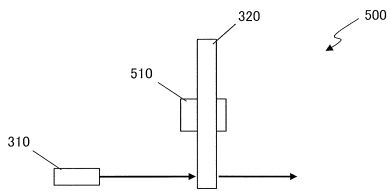
【図53】



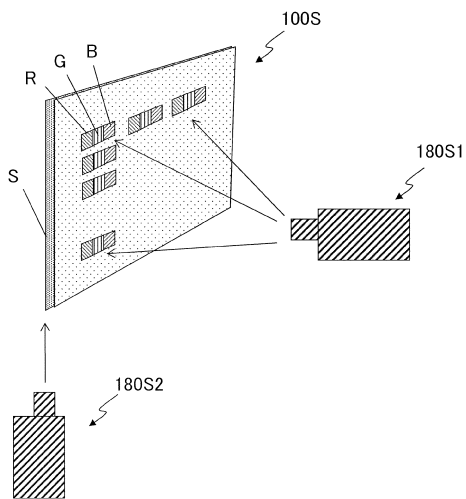
【図54】



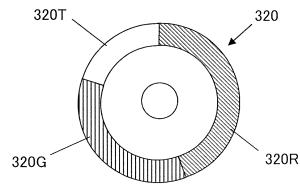
【図55】



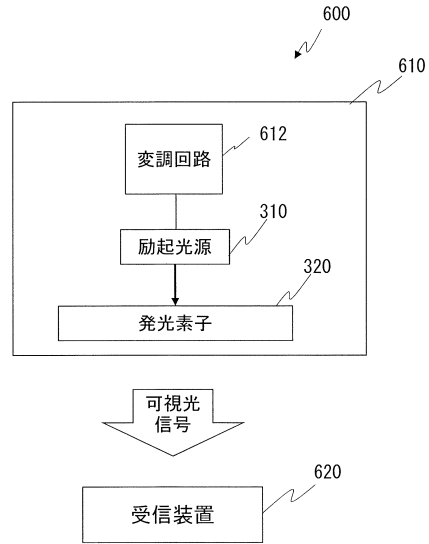
【図58】



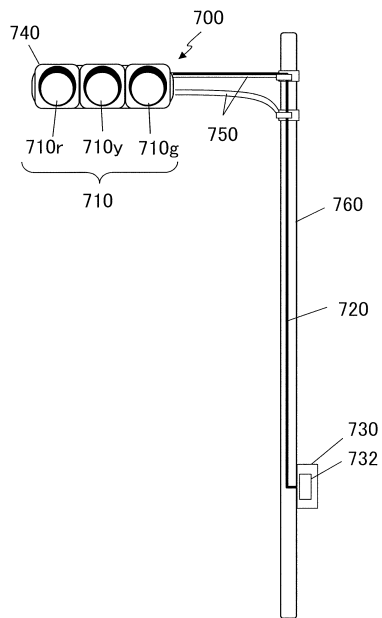
【図56】



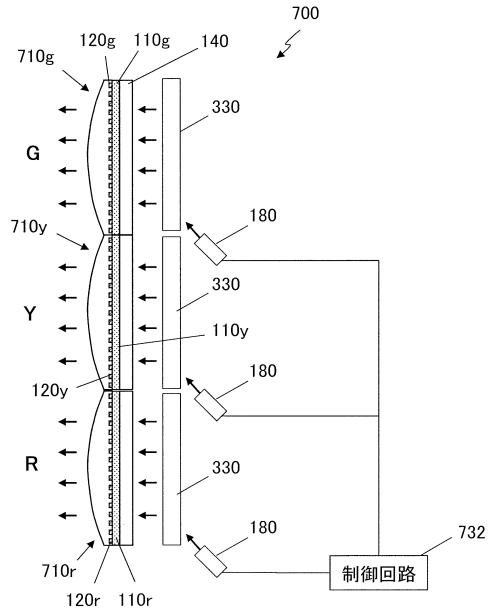
【図57】



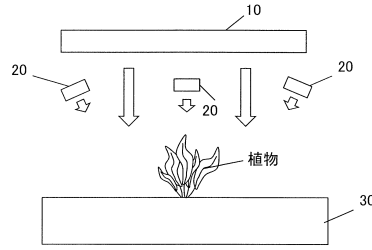
【図59】



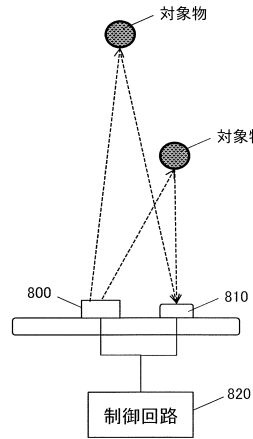
【図60】



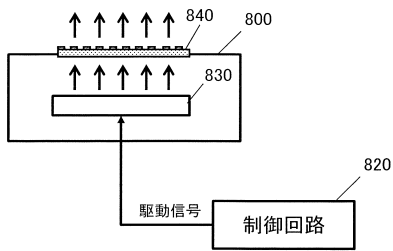
【図61】



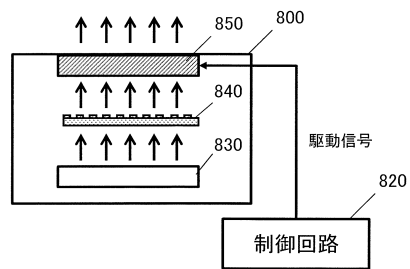
【図62】



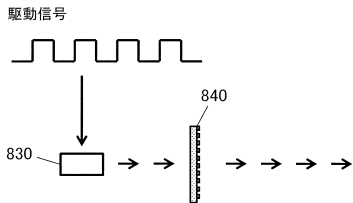
【図63A】



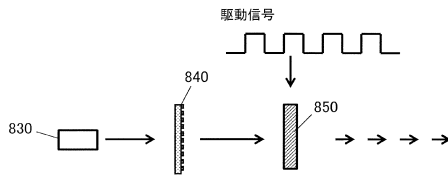
【図64A】



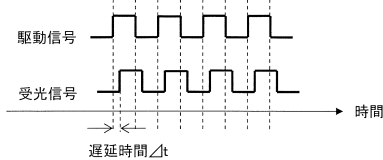
【図63B】



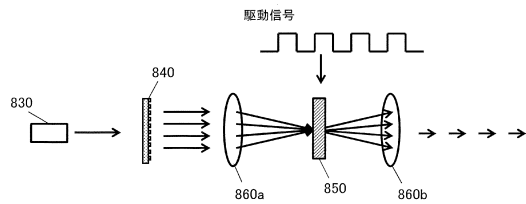
【図64B】




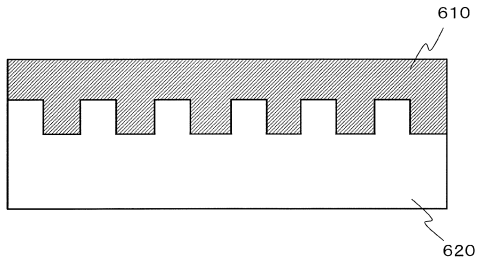
【図63C】



【図64C】



【 6 5】



フロントページの続き

- (74)代理人 100184985
弁理士 田中 悠
- (72)発明者 平澤 拓
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 稲田 安寿
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 橋谷 享
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 新田 充
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 山木 健之
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 岩村 貴

- (56)参考文献 国際公開第2012/137583(WO, A1)
特開2003-100126(JP, A)
特開2014-082401(JP, A)
特開2008-256853(JP, A)
特開2007-149665(JP, A)
特表2010-532910(JP, A)
特開2012-142107(JP, A)
米国特許出願公開第2004/0008504(US, A1)
特開2007-219030(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/13357
G09F 9/00
F21S 2/00
H01L 33/00