

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7519584号
(P7519584)

(45)発行日 令和6年7月22日(2024.7.22)

(24)登録日 令和6年7月11日(2024.7.11)

| | | | | | |
|------------|----------------|---------|-------|-------|---|
| (51)国際特許分類 | | F I | | | |
| G 0 2 F | 1/295(2006.01) | G 0 2 F | 1/295 | | |
| G 0 2 F | 1/13 (2006.01) | G 0 2 F | 1/13 | 5 0 5 | |
| G 0 1 S | 7/481(2006.01) | G 0 1 S | 7/481 | | A |

請求項の数 10 (全36頁)

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------|--------------------|
| (21)出願番号 | 特願2021-501635(P2021-501635) | (73)特許権者 | 314012076 |
| (86)(22)出願日 | 令和1年12月23日(2019.12.23) | | パナソニックIPマネジメント株式会社 |
| (86)国際出願番号 | PCT/JP2019/050336 | | 大阪府門真市元町2番6号 |
| (87)国際公開番号 | WO2020/170596 | (74)代理人 | 100101683 |
| (87)国際公開日 | 令和2年8月27日(2020.8.27) | | 弁理士 奥田 誠司 |
| 審査請求日 | 令和4年12月19日(2022.12.19) | (74)代理人 | 100155000 |
| (31)優先権主張番号 | 特願2019-26288(P2019-26288) | | 弁理士 喜多 修市 |
| (32)優先日 | 平成31年2月18日(2019.2.18) | (74)代理人 | 100180529 |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 日本国(JP) | | 弁理士 梶谷 美道 |
| | | (74)代理人 | 100125922 |
| | | | 弁理士 三宅 章子 |
| | | (74)代理人 | 100188813 |
| | | | 弁理士 川喜田 徹 |
| | | (74)代理人 | 100184985 |
| | | | 弁理士 田中 悠 |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光デバイス

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の方向および前記第1の方向に交差する第2の方向に沿って拡がる第1の反射面を備え、透光性を有する第1のミラーであって、配向膜が設けられていない第1のミラーと、前記第1の反射面に対向する第2の反射面を備える第2のミラーであって、配向膜が設けられていない第2のミラーと、

前記第1のミラーと前記第2のミラーとの間に位置する光導波層であって、

前記第2の方向に沿って並ぶ複数の非導波領域、および前記複数の非導波領域の間に位置する1つ以上の光導波領域を含み、

前記光導波領域は、液晶材料を含み、且つ前記第1の方向に沿って光を伝搬させる、光導波層と、

前記光導波層を介して互いに対向する2つの電極層であって、少なくとも一方が前記第2の方向に沿って並ぶ複数の電極を含む、2つの電極層と、を備え、

前記複数の電極は、前記第1の反射面または前記第2の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部および前記配向膜が設けられていない前記第1のミラーの少なくとも一部に重なる電極を含む、光デバイス。

【請求項2】

前記2つの電極層に含まれる前記複数の電極の各々に接続された制御回路をさらに備え、前記制御回路は、動作中、前記複数の電極のうちの一部の電極と他の少なくとも一部の電極とに電位差を設ける第1の動作、および前記2つの電極層の一方に含まれる電極と、

前記 2 つの電極層の他方に含まれる電極との間に電位差を設ける第 2 の動作の少なくとも一方を実行する、請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 3】

前記 2 つの電極層の一方は、前記光導波層と前記第 1 の反射面との間、第 1 のミラーの内部、または、前記第 1 のミラーの前記第 1 の反射面とは反対の側の面上に位置し、

前記 2 つの電極層の他方は、前記光導波層と前記第 2 の反射面との間、第 2 のミラーの内部、または、前記第 2 のミラーの前記第 2 の反射面とは反対の側の面上に位置する、請求項 1 または 2 に記載の光デバイス。

【請求項 4】

第 1 の方向および前記第 1 の方向に交差する第 2 の方向に沿って広がる第 1 の反射面を備え、透光性を有する第 1 のミラーであって、配向膜が設けられていない第 1 のミラーと、前記第 1 の反射面に対向する第 2 の反射面を備える第 2 のミラーであって、配向膜が設けられていない第 2 のミラーと、

10

前記第 1 のミラーと前記第 2 のミラーとの間に位置する光導波層であって、

前記第 2 の方向に沿って並ぶ複数の非導波領域、および前記複数の非導波領域の間に位置する 1 つ以上の光導波領域を含み、

前記光導波領域は、液晶材料を含み、且つ前記第 1 の方向に沿って光を伝搬させる、光導波層と、

前記光導波層を介して互いに対向する 2 つの電極層であって、少なくとも一方が前記第 2 の方向に沿って並ぶ複数の電極を含む、2 つの電極層と、を備え、

20

前記複数の電極は、前記第 1 の反射面または前記第 2 の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部に重なる電極を含み、

前記 1 つ以上の光導波領域は、前記第 2 の方向における幅が 5 μm 以下である光導波領域を含む、光デバイス。

【請求項 5】

前記 2 つの電極層に含まれる各電極に接続された制御回路をさらに備え、

前記複数の電極は、前記第 1 の反射面または前記第 2 の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なり、

前記制御回路は、動作中、前記複数の電極のうちの隣接する任意の 2 つの電極に電位差を設ける第 1 の動作、および前記 2 つの電極層の一方に含まれる電極と、前記 2 つの電極層の他方に含まれる電極との間に電位差を設ける第 2 の動作の少なくとも一方を実行する、請求項 1 に記載の光デバイス。

30

【請求項 6】

前記複数の電極は、前記第 1 の反射面または前記第 2 の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる複数の第 1 の電極と、前記 1 つ以上の光導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる 1 つ以上の第 2 の電極とを含む、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の光デバイス。

【請求項 7】

前記 2 つの電極層に含まれる各電極に接続された制御回路をさらに備え、

前記複数の電極は、前記第 1 の反射面または前記第 2 の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる複数の第 1 の電極と、前記 1 つ以上の光導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる 1 つ以上の第 2 の電極とを含み、

40

前記制御回路は、動作中、前記複数の第 1 の電極のうちの隣接する任意の 2 つの電極に電位差を設ける第 1 の動作、および前記 2 つの電極層の一方に含まれる電極と、前記 2 つの電極層の他方に含まれる電極との間に電位差を設ける第 2 の動作の少なくとも一方を実行する、請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 8】

前記 2 つの電極層の一方は、前記複数の電極を含み、

前記 2 つの電極層の他方は、単一の電極を含む、請求項 1 から 7 のいずれかに記載の光デバイス。

50

【請求項 9】

前記 2 つの電極層の両方が、前記複数の電極を含む、請求項 1 から 7 のいずれかに記載の光デバイス。

【請求項 10】

前記複数の非導波領域は、互いに隣り合う第 1 の非導波領域および第 2 の非導波領域を含み、

前記複数の電極は、互いに隣り合う 2 つの第 1 の電極を含み、

前記第 1 の反射面または前記第 2 の反射面に垂直な方向から見たとき、前記 2 つの第 1 の電極の一方と前記第 1 の非導波領域は、互いに少なくとも部分的に重なり、

前記第 1 の反射面または前記第 2 の反射面に垂直な方向から見たとき、前記 2 つの第 1 の電極の他方と前記第 2 の非導波領域は、互いに少なくとも部分的に重なる、請求項 1 から 5 のいずれかに記載の光デバイス。

10

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本開示は、光学デバイスに関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、光で空間を走査（スキャン）できる種々のデバイスが提案されている。

【0003】

特許文献 1 は、ミラーを回転させる駆動装置を用いて、光によるスキャンを行うことができる構成を開示している。

20

【0004】

特許文献 2 は、2 次元的に配列された複数のナノフォトニックアンテナ素子を有する光フェーズドアレイを開示している。それぞれのアンテナ素子は可変光遅延線（すなわち、位相シフタ）に光学的に結合される。この光フェーズドアレイでは、コヒーレント光ビームが導波路によってそれぞれのアンテナ素子に誘導され、位相シフタによって光ビームの位相がシフトされる。これにより、遠視野放射パターンの振幅分布を変化させることができる。

【0005】

特許文献 3 は、内部を光が導波する光導波層、および光導波層の上面および下面に形成された第 1 分布ブラッグ反射鏡を備える導波路と、導波路内に光を入射させるための光入射口と、光入射口から入射して導波路内を導波する光を出射させるために導波路の表面に形成された光出射口とを備える光偏向素子を開示している。

30

【先行技術文献】**【特許文献】****【0006】**

【文献】国際公開第 2013 / 168266 号

【文献】特表 2016 - 508235 号公報

【文献】特開 2013 - 16591 号公報

40

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

本開示の一態様は、比較的簡単な構成での新規な光デバイスを提供する。

【課題を解決するための手段】**【0008】**

本開示の一態様に係る光デバイスは、第 1 の方向および前記第 1 の方向に交差する第 2 の方向に沿って拡がる第 1 の反射面を備え、透光性を有する第 1 のミラーと、前記第 1 の反射面に対向する第 2 の反射面を備える第 2 のミラーと、前記第 1 のミラーと前記第 2 のミラーとの間に位置する光導波層であって、前記第 2 の方向に沿って並ぶ複数の非導波領

50

域、および前記複数の非導波領域の間に位置する1つ以上の光導波領域を含み、前記光導波領域は、液晶材料を含み、且つ前記第1の方向に沿って光を伝搬させる、光導波層と、前記光導波層を介して互いに対向する2つの電極層であって、少なくとも一方が前記第2の方向に沿って並ぶ複数の電極を含む、2つの電極層と、を備え、前記複数の電極は、前記第1の反射面または前記第2の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部に重なる電極を含む。

【発明の効果】

【0009】

本開示の一態様によれば、比較的簡単な構成を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0010】

【図1】図1は、本開示の例示的な実施形態における光スキャンデバイスの構成を模式的に示す斜視図である。

【図2】図2は、1つの導波路素子の断面の構造および伝搬する光の例を模式的に示す図である。

【図3A】図3Aは、導波路アレイの出射面に垂直な方向に光を出射する導波路アレイの断面を示す図である。

【図3B】図3Bは、導波路アレイの出射面に垂直な方向とは異なる方向に光を出射する導波路アレイの断面を示す図である。

【図4】図4は、3次元空間における導波路アレイを模式的に示す斜視図である。

20

【図5】図5は、導波路アレイおよび位相シフタアレイを、光出射面の法線方向（Z方向）から見た模式図である。

【図6A】図6Aは、本開示の例示的な実施形態における光デバイスの斜視図である。

【図6B】図6Bは、図6Aに示す光デバイスのYZ面における断面図である。

【図7A】図7Aは、図6Bに示す例において液晶材料がY方向に配向した第1の状態を模式的に示す図である。

【図7B】図7Bは、図6Bに示す例において液晶材料がZ方向に配向した第2の状態を模式的に示す図である。

【図8A】図8Aは、本開示の例示的な実施形態における光デバイスの斜視図である。

【図8B】図8Bは、図8Aに示す光デバイスのYZ面における断面図である。

30

【図9A】図9Aは、図8Bに示す例において液晶材料がY方向に配向した第1の状態を模式的に示す図である。

【図9B】図9Bは、図8Bに示す例において液晶材料がZ方向に配向した第2の状態を模式的に示す図である。

【図10A】図10Aは、本開示の例示的な実施形態における光デバイスの斜視図である。

【図10B】図10Bは、図10Aに示す光デバイスのYZ面における断面図である。

【図11A】図11Aは、図10Bに示す例において液晶材料がY方向に配向した第1の状態を模式的に示す図である。

【図11B】図11Bは、図10Bに示す例において液晶材料がZ方向に配向した第2の状態を模式的に示す図である。

40

【図11C】図11Cは、図10Bに示す例において液晶材料がZ方向に配向した第2の状態を模式的に示す図である。

【図12A】図12Aは、本開示の例示的な実施形態における光デバイスの斜視図である。

【図12B】図12Bは、図12Aに示す光デバイスのYZ面における断面図である。

【図13A】図13Aは、図12Bに示す例において液晶材料がY方向に配向した第1の状態を模式的に示す図である。

【図13B】図13Bは、図12Bに示す例において液晶材料がZ方向に配向した第2の状態を模式的に示す図である。

【図13C】図13Cは、図12Bに示す例において液晶材料がZ方向に配向した第2の状態を模式的に示す図である。

50

【図14A】図14Aは、本開示の例示的な実施形態における光デバイスの斜視図である。

【図14B】図14Bは、図14Aに示す光デバイスのYZ面における断面図である。

【図15A】図15Aは、本開示の例示的な実施形態における光デバイスの斜視図である。

【図15B】図15Bは、図15Aに示す光デバイスのYZ面における断面図である。

【図16】図16は、回路基板上に光分岐器、導波路アレイ、位相シフタアレイ、および光源などの素子を集積した光スキャンデバイスの構成例を示す図である。

【図17】図17は、光スキャンデバイスから遠方にレーザなどの光ビームを照射して2次元スキャンを実行している様子を示す模式図である。

【図18】図18は、測距画像を生成することが可能なLiDARシステムの構成例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本開示の実施形態を説明する前に、本開示の基礎となった知見を説明する。

【0012】

本発明者らは、従来の光スキャンデバイスには、装置の構成を複雑にすることなく、光で空間をスキャンすることが困難であるという課題があることを見出した。

【0013】

例えば、特許文献1に開示されている技術では、ミラーを回転させる駆動装置が必要である。このため、装置の構成が複雑になり、振動に対してロバストでないという課題がある。

【0014】

特許文献2に記載の光フェーズドアレイでは、光を分岐して複数の列導波路および複数の行導波路に導入し、2次元的に配列された複数のアンテナ素子に光を誘導する必要がある。このため、光を誘導するための導波路の配線が非常に複雑になる。また、2次元スキャンの範囲を大きくすることができない。さらに、遠視野における出射光の振幅分布を2次元的に変化させるためには、2次元的に配列された複数のアンテナ素子の各々に位相シフタを接続し、位相シフタに位相制御用の配線を取り付ける必要がある。これにより、2次元的に配列された複数のアンテナ素子に入射する光の位相をそれぞれ異なる量変化させる。このため、素子の構成が非常に複雑になる。

【0015】

本発明者らは、従来技術における上記の課題に着目し、これらの課題を解決するための構成を検討した。本発明者らは、対向する一对のミラーと、それらのミラーに挟まれた光導波層とを有する導波路素子を用いることにより、上記の課題を解決し得ることを見出した。導波路素子における一对のミラーの一方は、他方に比べて高い光透過率を有し、光導波層を伝搬する光の一部を外部に出射させる。出射した光の方向（または出射角度）は、後述するように、光導波層の屈折率もしくは厚さ、または光導波層に入力される光の波長を調整することにより、変化させることができる。より具体的には、屈折率、厚さ、または波長を変化させることにより、出射光の波数ベクトル(wave vector)の、光導波層の長手方向に沿った方向の成分を変化させることができる。これにより、1次元的なスキャンが実現される。

【0016】

さらに、複数の導波路素子のアレイを用いた場合には、2次元的なスキャンを実現することもできる。より具体的には、複数の導波路素子に供給する光に適切な位相差を与え、その位相差を調整することにより、複数の導波路素子から出射する光が強め合う方向を変化させることができる。位相差の変化により、出射光の波数ベクトルの、光導波層の長手方向に沿った方向に交差する方向の成分が変化する。これにより、2次元的なスキャンを実現することができる。なお、2次元的なスキャンを行う場合でも、複数の光導波層の屈折率、厚さ、または光の波長を異なる量変化させる必要はない。すなわち、複数の光導波層に供給する光に適切な位相差を与え、かつ、複数の光導波層の屈折率、厚さ、および波長の少なくとも1つを同期して同量変化させることにより、2次元的なスキャンを行うこ

10

20

30

40

50

とができる。このように、本開示の実施形態によれば、比較的簡単な構成で、光による2次元スキャンを実現することができる。

【0017】

本明細書において、「屈折率、厚さ、および波長の少なくとも1つ」とは、光導波層の屈折率、光導波層の厚さ、および光導波層に入力される光の波長からなる群から選択される少なくとも1つを意味する。光の出射方向を変化させるために、屈折率、厚さ、および波長のいずれか1つを単独で制御してもよい。あるいは、これらの3つのうちの任意の2つまたは全てを制御して光の出射方向を変化させてもよい。以下の各実施形態において、屈折率または厚さの制御に代えて、または加えて、光導波層に入力される光の波長を制御してもよい。

10

【0018】

以上の基本原理は、光を出射する用途だけでなく、光信号を受信する用途にも同様に適用できる。屈折率、厚さ、および波長の少なくとも1つを変化させることにより、受信できる光の方向を1次元的に変化させることができる。さらに、一方向に配列された複数の導波路素子にそれぞれ接続された複数の位相シフトによって光の位相差を変化させれば、受信できる光の方向を2次元的に変化させることができる。

【0019】

本開示の実施形態による光スキャンデバイスおよび光受信デバイスは、例えば、LiDAR (Light Detection and Ranging) システムなどの光検出システムにおけるアンテナとして用いられ得る。LiDARシステムは、ミリ波などの電波を用いたレーダシステムと比較して、短波長の電磁波(可視光、赤外線、または紫外線)を用いるため、高い分解能で物体の距離分布を検出することができる。そのようなLiDARシステムは、例えば自動車、UAV (Unmanned Aerial Vehicle、所謂ドローン)、AGV (Automated Guided Vehicle) などの移動体に搭載され、衝突回避技術の1つとして使用され得る。本明細書において、光スキャンデバイスと光受信デバイスを「光デバイス」と総称することがある。また、光スキャンデバイスまたは光受信デバイスに使用されるデバイスについても「光デバイス」と称することがある。

20

【0020】

<光スキャンデバイスの構成例>

以下、一例として、2次元スキャンを行う光スキャンデバイスの構成を説明する。ただし、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明および実質的に同一の構成に対する重複する説明を省略することがある。これは、以下の説明が不必要に冗長になることを避け、当業者の理解を容易にするためである。なお、本発明者らは、当業者が本開示を十分に理解するために添付図面および以下の説明を提供するのであって、これらによって特許請求の範囲に記載の主題を限定することを意図するものではない。以下の説明において、同一または類似する構成要素については、同じ参照符号を付している。

30

【0021】

本開示において、「光」とは、可視光(波長が約400nm~約700nm)だけでなく、紫外線(波長が約10nm~約400nm)および赤外線(波長が約700nm~約1mm)を含む電磁波を意味する。本明細書において、紫外線を「紫外光」と称し、赤外線を「赤外光」と称することがある。

40

【0022】

本開示において、光による「スキャン」とは、光の方向を変化させることを意味する。「1次元スキャン」とは、光の方向を、当該方向に交差する方向に沿って直線的に変化させることを意味する。「2次元スキャン」とは、光の方向を、当該方向に交差する平面に沿って2次元的に変化させることを意味する。

【0023】

図1は、本開示の例示的な実施形態における光スキャンデバイス100の構成を模式的

50

に示す斜視図である。光スキャンデバイス100は、複数の導波路素子10を含む導波路アレイを備える。複数の導波路素子10の各々は、第1の方向(図1におけるX方向)に伸びた形状を有する。複数の導波路素子10は、第1の方向に交差する第2の方向(図1におけるY方向)に規則的に配列されている。複数の導波路素子10は、第1の方向に光を伝搬させながら、第1および第2の方向に平行な仮想的な平面に交差する第3の方向D3に光を出射させる。本実施形態では、第1の方向(X方向)と第2の方向(Y方向)とが直交しているが、両者が直交していなくてもよい。本実施形態では、複数の導波路素子10がY方向に等間隔で並んでいるが、必ずしも等間隔に並んでいる必要はない。

【0024】

なお、本願の図面に示される構造物の向きは、説明のわかりやすさを考慮して設定されており、本開示の実施形態が現実実施されるときにその向きをなんら制限するものではない。また、図面に示されている構造物の全体または一部分の形状および大きさも、現実の形状および大きさを制限するものではない。

10

【0025】

複数の導波路素子10のそれぞれは、互いに対向する第1のミラー30および第2のミラー40(以下、それぞれを単に「ミラー」と称する場合がある)と、ミラー30とミラー40の間に位置する光導波層20とを有する。ミラー30およびミラー40の各々は、第3の方向D3に交差する反射面を、光導波層20との界面に有する。ミラー30およびミラー40、ならびに光導波層20は、第1の方向(X方向)に伸びた形状を有している。

【0026】

なお、後述するように、複数の導波路素子10の複数の第1のミラー30は、一体に構成されたミラーの複数の部分であってもよい。また、複数の導波路素子10の複数の第2のミラー40は、一体に構成されたミラーの複数の部分であってもよい。さらに、複数の導波路素子10の複数の光導波層20は、一体に構成された光導波層の複数の部分であってもよい。少なくとも、(1)各第1のミラー30が他の第1のミラー30と別体に構成されているか、(2)各第2のミラー40が他の第2のミラー40と別体に構成されているか、(3)各光導波層20が他の光導波層20と別体に構成されていることにより、複数の導波路を形成することができる。「別体に構成されている」とは、物理的に空間を設けることのみならず、間に屈折率が異なる材料を挟み、分離することも含む。

20

【0027】

第1のミラー30の反射面と第2のミラー40の反射面とは略平行に対向している。2つのミラー30およびミラー40のうち、少なくとも第1のミラー30は、光導波層20を伝搬する光の一部を透過させる特性を有する。言い換えれば、第1のミラー30は、当該光について、第2のミラー40よりも高い光透過率を有する。このため、光導波層20を伝搬する光の一部は、第1のミラー30から外部に出射される。このようなミラー30および40は、例えば誘電体による多層膜(「多層反射膜」と称することもある。)によって形成される多層膜ミラーであり得る。

30

【0028】

それぞれの導波路素子10に入力する光の位相を制御し、さらに、これらの導波路素子10における光導波層20の屈折率もしくは厚さ、または光導波層20に入力される光の波長を同期して同時に変化させることで、光による2次元スキャンを実現することができる。本発明者らは、そのような2次元スキャンを実現するために、導波路素子10の動作原理について分析を行った。その結果に基づき、複数の導波路素子10を同期して駆動することで、光による2次元スキャンを実現することに成功した。

40

【0029】

図1に示すように、各導波路素子10に光を入力すると、各導波路素子10の出射面から光が出射される。出射面は、第1のミラー30の反射面の反対側に位置する。その出射光の方向D3は、光導波層の屈折率、厚さ、および光の波長に依存する。本実施形態では、各導波路素子10から出射される光が概ね同じ方向になるように、各光導波層の屈折率、厚さ、および波長の少なくとも1つが同期して制御される。これにより、複数の導波路

50

素子 10 から出射される光の波数ベクトルの X 方向の成分を変化させることができる。言い換えれば、出射光の方向 D3 を、図 1 に示される方向 101 に沿って変化させることができる。

【0030】

さらに、複数の導波路素子 10 から出射される光は同じ方向を向いているので、出射光は互いに干渉する。それぞれの導波路素子 10 から出射される光の位相を制御することにより、干渉によって光が強め合う方向を変化させることができる。例えば、同じサイズの複数の導波路素子 10 が Y 方向に等間隔で並んでいる場合、複数の導波路素子 10 には、一定量ずつ位相の異なる光が入力される。その位相差を変化させることにより、出射光の波数ベクトルの、Y 方向の成分を変化させることができる。言い換えれば、複数の導波路素子 10 に導入される光の位相差をそれぞれ変化させることにより、干渉によって出射光が強め合う方向 D3 を、図 1 に示される方向 102 に沿って変化させることができる。これにより、光による 2 次元スキャンを実現することができる。

10

【0031】

以下、光スキャンデバイス 100 の動作原理を説明する。

【0032】

< 導波路素子の動作原理 >

図 2 は、1つの導波路素子 10 の断面の構造および伝搬する光の例を模式的に示す図である。図 2 では、図 1 に示す X 方向および Y 方向に垂直な方向を Z 方向とし、導波路素子 10 の XZ 面に平行な断面が模式的に示されている。導波路素子 10 において、一対のミラー 30 とミラー 40 が光導波層 20 を挟むように配置されている。光導波層 20 の X 方向における一端から導入された光 22 は、光導波層 20 の上面（図 2 における上側の表面）に設けられた第 1 のミラー 30 および下面（図 2 における下側の表面）に設けられた第 2 のミラー 40 によって反射を繰り返しながら光導波層 20 内を伝搬する。第 1 のミラー 30 の光透過率は第 2 のミラー 40 の光透過率よりも高い。このため、主に第 1 のミラー 30 から光の一部を出力することができる。

20

【0033】

通常の光ファイバーなどの導波路では、全反射を繰り返しながら光が導波路に沿って伝搬する。これに対して、本実施形態における導波路素子 10 では、光は光導波層 20 の上下に配置されたミラー 30 および 40 によって反射を繰り返しながら伝搬する。このため、光の伝搬角度に制約がない。ここで光の伝搬角度とは、ミラー 30 またはミラー 40 と光導波層 20 との界面への入射角度を意味する。ミラー 30 またはミラー 40 に対して、より垂直に近い角度で入射する光も伝搬できる。すなわち、全反射の臨界角よりも小さい角度で界面に入射する光も伝搬できる。このため、光の伝搬方向における光の群速度は自由空間における光速に比べて大きく低下する。これにより、導波路素子 10 は、光の波長、光導波層 20 の厚さ、および光導波層 20 の屈折率の変化に対して光の伝搬条件が大きく変化するという性質を持つ。このような導波路を、「反射型導波路」または「スローライト導波路」と称する。

30

【0034】

導波路素子 10 から空気中に出射される光の出射角度 θ は、以下の式 (1) によって表される。

40

【数 1】

$$\sin\theta = \sqrt{n_w^2 - \left(\frac{m\lambda}{2d}\right)^2} \quad (1)$$

【0035】

50

式(1)からわかるように、空気中の光の波長、光導波層20の屈折率 n_w および光導波層20の厚さ d のいずれかを変えることで光の出射方向を変えることができる。

【0036】

例えば、 $n_w = 2$ 、 $d = 387 \text{ nm}$ 、 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ 、 $m = 1$ の場合、出射角度は 0° である。この状態から、屈折率を $n_w = 2.2$ に変化させると、出射角度は約 66° に変化する。一方、屈折率を変えずに厚さを $d = 420 \text{ nm}$ に変化させると、出射角度は約 51° に変化する。屈折率も厚さも変化させずに波長を $\lambda = 1500 \text{ nm}$ に変化させると、出射角度は約 30° に変化する。このように、光の波長、光導波層20の屈折率 n_w 、および光導波層20の厚さ d のいずれかを変えることにより、光の出射方向を大きく変えることができる。

10

【0037】

そこで、本開示の実施形態における光スキャンデバイス100は、光導波層20に入力される光の波長、光導波層20の屈折率 n_w 、および光導波層20の厚さ d の少なくとも1つを制御することで、光の出射方向を制御する。光の波長は、動作中に変化させず、一定に維持されてもよい。その場合、よりシンプルな構成で光のスキャンを実現できる。波長は、特に限定されない。例えば、波長は、一般的なシリコン(Si)により光を吸収することで光を検出するフォトディテクタまたはイメージセンサで高い検出感度が得られる 400 nm から 1100 nm (可視光から近赤外光)の波長域に含まれ得る。他の例では、波長は、光ファイバーまたはSi導波路において伝送損失の比較的小さい 1260 nm から 1625 nm の近赤外光の波長域に含まれ得る。なお、これらの波長範囲は一例である。使用される光の波長域は、可視光または赤外光の波長域に限定されず、例えば紫外光の波長域であってもよい。

20

【0038】

出射光の方向を変化させるために、光スキャンデバイス100は、各導波路素子10における光導波層20の屈折率、厚さ、および波長の少なくとも1つを変化させる第1調整素子を備え得る。

【0039】

以上のように、導波路素子10を用いれば、光導波層20の屈折率 n_w 、厚さ d 、および波長の少なくとも1つを変化させることにより、光の出射方向を大きく変えることができる。これにより、ミラー30から出射される光の出射角度を、導波路素子10に沿った方向に変化させることができる。少なくとも1つの導波路素子10を用いることにより、このような1次元のスキャンを実現することができる。

30

【0040】

光導波層20の少なくとも一部の屈折率を調整するために、光導波層20は、液晶材料または電気光学材料を含んでもよい。光導波層20は、一对の電極によって挟まれ得る。一对の電極に電圧を印加することにより、光導波層20の屈折率を変化させることができる。

【0041】

光導波層20の厚さを調整するために、例えば、第1のミラー30および第2のミラー40の少なくとも一方に少なくとも1つのアクチュエータが接続されてもよい。少なくとも1つのアクチュエータによって第1のミラー30と第2のミラー40との距離を変化させることにより、光導波層20の厚さを変化させることができる。光導波層20が液体から形成されていれば、光導波層20の厚さは容易に変化し得る。

40

【0042】

< 2次元スキャンの動作原理 >

複数の導波路素子10が一方向に配列された導波路アレイにおいて、それぞれの導波路素子10から出射される光の干渉により、光の出射方向は変化する。各導波路素子10に供給する光の位相を調整することにより、光の出射方向を変化させることができる。以下、その原理を説明する。

【0043】

50

図3 Aは、導波路アレイの出射面に垂直な方向に光を出射する導波路アレイの断面を示す図である。図3 Aには、各導波路素子10を伝搬する光の位相シフト量も記載されている。ここで、位相シフト量は、左端の導波路素子10を伝搬する光の位相を基準にした値である。本実施形態における導波路アレイは、等間隔に配列された複数の導波路素子10を含んでいる。図3 Aにおいて、破線の円弧は、各導波路素子10から出射される光の波面を示している。直線は、光の干渉によって形成される波面を示している。矢印は、導波路アレイから出射される光の方向（すなわち、波数ベクトルの方向）を示している。図3 Aの例では、各導波路素子10における光導波層20を伝搬する光の位相はいずれも同じである。この場合、光は導波路素子10の配列方向（Y方向）および光導波層20が延びる方向（X方向）の両方に垂直な方向（Z方向）に出射される。

10

【0044】

図3 Bは、導波路アレイの出射面に垂直な方向とは異なる方向に光を出射する導波路アレイの断面を示す図である。図3 Bに示す例では、複数の導波路素子10における光導波層20を伝搬する光の位相が、配列方向に一定量（ ）ずつ異なっている。この場合、光は、Z方向とは異なる方向に出射される。この を変化させることにより、光の波数ベクトルのY方向の成分を変化させることができる。隣接する2つの導波路素子10の間の中心間距離をpとすると、光の出射角度 α_0 は、以下の式(2)によって表される。

【数2】

$$\sin\alpha_0 = \frac{\Delta\phi\lambda}{2\pi p} \quad (2)$$

20

【0045】

図2に示す例では、光の出射方向は、XZ平面に平行である。すなわち、 $\alpha_0 = 0^\circ$ である。図3 Aおよび図3 Bに示す例では、光スキャンデバイス100から出射される光の方向は、YZ平面に平行である。すなわち、 $\beta_0 = 0^\circ$ である。しかし、一般には、光スキャンデバイス100から出射される光の方向は、XZ平面にも、YZ平面にも平行ではない。すなわち、 $\alpha_0 = 0^\circ$ および $\beta_0 = 0^\circ$ である。

30

【0046】

図4は、3次元空間における導波路アレイを模式的に示す斜視図である。図4に示す太い矢印は、光スキャンデバイス100から出射される光の方向を表す。 α_0 は、光の出射方向とYZ平面とがなす角度である。 β_0 は式(1)を満たす。 α_0 は、光の出射方向とXZ平面とがなす角度である。 β_0 は式(2)を満たす。

【0047】

<導波路アレイに導入する光の位相制御>

それぞれの導波路素子10から出射される光の位相を制御するために、例えば、導波路素子10に光を導入する前段に、光の位相を変化させる位相シフタが設けられ得る。本実施形態における光スキャンデバイス100は、複数の導波路素子10のそれぞれに接続された複数の位相シフタと、各位相シフタを伝搬する光の位相を調整する第2調整素子とを備える。各位相シフタは、複数の導波路素子10の対応する1つにおける光導波層20に直接的にまたは他の導波路を介して繋がる導波路を含む。第2調整素子は、複数の位相シフタから複数の導波路素子10へ伝搬する光の位相の差をそれぞれ変化させることにより、複数の導波路素子10から出射される光の方向（すなわち、第3の方向D3）を変化させる。以下の説明では、導波路アレイと同様に、配列された複数の位相シフタを「位相シフタアレイ」と称することがある。

40

【0048】

図5は、導波路アレイ10Aおよび位相シフタアレイ80Aを、光出射面の法線方向（Z方向）から見た模式図である。図5に示される例では、全ての位相シフタ80が同じ伝

50

搬特性を有し、全ての導波路素子 10 が同じ伝搬特性を有する。それぞれの位相シフタ 80 およびそれぞれの導波路素子 10 は同じ長さであってもよいし、長さが異なってもよい。それぞれの位相シフタ 80 の長さが等しい場合は、例えば、駆動電圧によってそれぞれの位相シフト量を調整することができる。また、それぞれの位相シフタ 80 の長さを等ステップで変化させた構造にすることにより、同じ駆動電圧で等ステップの位相シフトを与えることもできる。さらに、この光スキャンデバイス 100 は、複数の位相シフタ 80 に光を分岐して供給する光分岐器 90 と、各導波路素子 10 を駆動する第 1 駆動回路 110 と、各位相シフタ 80 を駆動する第 2 駆動回路 210 とをさらに備える。図 5 における直線の矢印は光の入力を示している。別々に設けられた第 1 駆動回路 110 と第 2 駆動回路 210 とをそれぞれ独立に制御することにより、2 次元スキャンを実現できる。この例では、第 1 駆動回路 110 は、第 1 調整素子の 1 つの要素として機能し、第 2 駆動回路 210 は、第 2 調整素子の 1 つの要素として機能する。

10

【0049】

第 1 駆動回路 110 は、各導波路素子 10 における光導波層 20 の屈折率および厚さの少なくとも一方を変化させることにより、光導波層 20 から出射する光の角度を変化させる。第 2 駆動回路 210 は、各位相シフタ 80 における導波路 20 a の屈折率を変化させることにより、導波路 20 a の内部を伝搬する光の位相を変化させる。光分岐器 90 は、全反射によって光が伝搬する導波路で構成してもよいし、導波路素子 10 と同様の反射型導波路で構成してもよい。

【0050】

なお、光分岐器 90 で分岐したそれぞれの光に対して位相を制御した後に、それぞれの光を位相シフタ 80 に導入してもよい。この位相制御には、例えば、位相シフタ 80 に至るまでの導波路の長さを調整することによるパッシブな位相制御構造を用いることができる。あるいは、位相シフタ 80 と同様の機能を有する電気信号で制御可能な位相シフタを用いても良い。このような方法により、例えば、全ての位相シフタ 80 に等位相の光が供給されるように、位相シフタ 80 に導入される前に位相を調整してもよい。そのような調整により、第 2 駆動回路 210 による各位相シフタ 80 の制御をシンプルにすることができる。

20

【0051】

上記の光スキャンデバイス 100 と同様の構成を有する光デバイスは、光受信デバイスとしても利用できる。光デバイスの動作原理、および動作方法などの詳細は、米国特許出願公開第 2018/0224709 号に開示されている。この文献の開示内容全体を本明細書に援用する。

30

【0052】

< 応用例 >

図 16 は、回路基板（たとえば、チップ）上に光分岐器 90、導波路アレイ 10 A、位相シフタアレイ 80 A、および光源 130 などの素子を集積した光スキャンデバイス 100 の構成例を示す図である。光源 130 は、例えば、半導体レーザなどの発光素子であり得る。この例における光源 130 は、自由空間における波長が λ である単一波長の光を出射する。光分岐器 90 は、光源 130 からの光を分岐して複数の位相シフタ 80 における導波路に導入する。図 16 に示す例において、チップ上には電極 62 A と、複数の電極 62 B とが設けられている。導波路アレイ 10 A には、電極 62 A から制御信号が供給される。位相シフタアレイ 80 A における複数の位相シフタ 80 には、複数の電極 62 B から制御信号がそれぞれ送られる。電極 62 A、および複数の電極 62 B は、上記の制御信号を生成する不図示の制御回路に接続され得る。制御回路は、図 16 に示すチップ上に設けられていてもよいし、光スキャンデバイス 100 における他のチップに設けられていてもよい。

40

【0053】

図 16 に示すように、全てのコンポーネントをチップ上に集積することで、小型のデバイスで広範囲の光スキャンが実現できる。例えば 2 mm x 1 mm 程度のチップに、図 16

50

に示される全てのコンポーネントを集積することができる。

【0054】

図17は、光スキャンデバイス100から遠方にレーザなどの光ビームを照射して2次元スキャンを実行している様子を示す模式図である。2次元スキャンは、ビームスポット310を水平および垂直方向に移動させることによって実行される。例えば、公知のTOF (Time Of Flight) 法と組み合わせることで、2次元の測距画像を取得することができる。TOF法は、レーザを照射して対象物からの反射光を観測することで、光の飛行時間を算出し、距離を求める方法である。

【0055】

図18は、そのような測距画像を生成することが可能な光検出システムの一例であるLiDARシステム300の構成例を示すブロック図である。LiDARシステム300は、光スキャンデバイス100と、光検出器400と、信号処理回路600と、制御ユニット(例えば制御回路)500とを備える。光検出器400は、光スキャンデバイス100から出射され、対象物から反射された光を検出する。光検出器400は、例えば光スキャンデバイス100から出射される光の波長に感度を有するイメージセンサ、またはフォトダイオードなどの受光素子を含むフォトディテクタであり得る。光検出器400は、受光した光の量に応じた電気信号を出力する。信号処理回路600は、光検出器400から出力された電気信号に基づいて、対象物までの距離を計算し、距離分布データを生成する。距離分布データは、距離の2次元分布を示すデータ(すなわち、測距画像)である。制御ユニット500は、光スキャンデバイス100、光検出器400、および信号処理回路600を制御するプロセッサである。制御ユニット500は、光スキャンデバイス100からの光ビームの照射のタイミングおよび光検出器400の露光および信号読出しのタイミングを制御し、信号処理回路600に、測距画像の生成を指示する。また、制御ユニット500からは、光スキャンのために光スキャンデバイス100の電極に印加する電圧も制御している。

【0056】

2次元スキャンにおいて、測距画像を取得するフレームレートとして、例えば一般的に動画でよく使われる60fps、50fps、30fps、25fps、24fpsなどから選択することができる。また、車載システムへの応用を考慮すると、フレームレートが大きいほど測距画像を取得する頻度が上がり、精度よく障害物を検知できる。例えば、60km/hでの走行時において、60fpsのフレームレートでは車が約28cm移動するごとに画像を取得することができる。120fpsのフレームレートでは、車が約14cm移動するごとに画像を取得することができる。180fpsのフレームレートでは車が、約9.3cm移動するごとに、画像を取得することができる。

【0057】

1つの測距画像を取得するために必要な時間は、ビームスキャンの速度に依存する。例えば、解像点数が100×100のイメージを60fpsで取得するためには1点につき1.67μs以下でビームスキャンをする必要がある。この場合、制御ユニット500は、600kHzの動作速度で、光スキャンデバイス100による光ビームの出射、および光検出器400による信号蓄積・読出しを制御する。

【0058】

<光受信デバイスへの応用例>

本開示の前述の各実施形態における光スキャンデバイスは、ほぼ同一の構成で、光受信デバイスとしても用いることができる。光受信デバイスは、光スキャンデバイスと同一の導波路アレイ10Aと、受信可能な光の方向を調整する第1調整素子とを備える。導波路アレイ10Aの各第1のミラー30は、第3の方向から第1の反射面の反対側に入射する光を透過させる。導波路アレイ10Aの各光導波層20は、第2の方向に第1のミラー30を透過した光を伝搬させる。第1調整素子が各導波路素子10における前記光導波層20の屈折率および厚さ、ならびに光の波長の少なくとも1つを変化させることにより、受信可能な光の方向を変化させることができる。さらに、光受信デバイスが、光スキャンデ

10

20

30

40

50

デバイスと同一の複数の位相シフタ 80、または 80 a および 80 b と、複数の導波路素子 10 から複数の位相シフタ 80、または 80 a および 80 b を通過して出力される光の位相の差をそれぞれ変化させる第 2 調整素子を備える場合には、受信可能な光の方向を 2 次元的に変化させることができる。

【0059】

例えば図 16 に示す光スキャンデバイス 100 における光源 130 を受信回路に置換した光受信デバイスを構成することができる。導波路アレイ 10 A に波長 λ の光が入射すると、その光は位相シフタアレイ 80 A を通じて光分岐器 90 へ送られ、最終的に一箇所に集められ、受信回路に送られる。その一箇所に集められた光の強度は、光受信デバイスの感度を表すといえる。光受信デバイスの感度は、導波路アレイ 10 A および位相シフタアレイ 80 A に別々に組み込まれた調整素子によって調整することができる。光受信デバイスでは、例えば図 4 において、波数ベクトル（図中の太い矢印）の方向が反対になる。入射光は、導波路素子 10 が延びる方向（図中の X 方向）の光成分と、導波路素子 10 の配列方向（図中の Y 方向）の光成分とを有している。X 方向の光成分の感度は、導波路アレイ 10 A に組み込まれた調整素子によって調整できる。一方、導波路素子 10 の配列方向の光成分の感度は、位相シフタアレイ 80 A に組み込まれた調整素子によって調整できる。光受信デバイスの感度が最大になるときの光の位相差 $\Delta\phi$ 、光導波層 20 の屈折率 n_w および厚さ d から、図 4 に示す θ および ϕ_0 がわかる。これにより、光の入射方向を特定することができる。

【0060】

（光導波層内の液晶材料の配向制御）

液晶材料を含む光導波層 20 に外部から電界を印加することにより、光デバイス 100 から出射される光の方向を変化させることができる。液晶を駆動させるためには、一般に、光導波層 20 内の少なくとも一部に配向処理が施される。従来の配向処理として、例えば、光導波層 20 内の当該少なくとも一部に、ポリイミドなどの樹脂層が設けられる。当該樹脂層は、配向膜と呼ばれる。ラビング処理などの方法によって当該配向膜上に所望のキズを付けると、液晶材料の配向方向はキズに沿って並ぶ。これにより、電界が与えられていないときの液晶材料の初期配向が実現される。

【0061】

一方、本開示では、後述するように、光が導波する領域は、ミラー 30 とミラー 40 との間であり、かつ、Y 方向に隣り合う 2 つの誘電体部材の間に位置する。隣り合う 2 つの誘電体部材の間隔は狭く、 $5\ \mu\text{m}$ 以下になる場合がある。この場合、当該隣り合う 2 つの誘電体部材に囲まれた領域に、配向膜を均一に形成したり、形成した当該配向膜にラビング処理を施したりすることは容易ではない。

【0062】

本発明者らは、以上の検討に基づき、以下の項目に記載の光デバイスに想到した。

【0063】

第 1 の項目に係る光デバイスは、第 1 の方向および前記第 1 の方向に交差する第 2 の方向に沿って拡がる第 1 の反射面を備え、透光性を有する第 1 のミラーと、前記第 1 の反射面に対向する第 2 の反射面を備える第 2 のミラーと、前記第 1 のミラーと前記第 2 のミラーとの間に位置する光導波層であって、前記第 2 の方向に沿って並ぶ複数の非導波領域、および前記複数の非導波領域の間に位置する 1 つ以上の光導波領域を含み、前記光導波領域は、液晶材料を含み、且つ前記第 1 の方向に沿って光を伝搬させる、光導波層と、前記光導波層を介して互いに対向する 2 つの電極層であって、少なくとも一方が前記第 2 の方向に沿って並ぶ複数の電極を含む、2 つの電極層と、を備える。前記複数の電極は、前記第 1 の反射面または前記第 2 の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部に重なる電極を含む。

【0064】

この光デバイスでは、2 つの電極層の一方に含まれる電極、および / または他方に含まれる電極に印加された電圧によって形成される電界により、光導波領域に含まれる液晶材

料の屈折率を変化させることができる。これにより、第1のミラーから出射される光の方向が変化する。

【0065】

第2の項目に係る光デバイスは、第1の項目に係る光デバイスにおいて、前記2つの電極層に含まれる前記複数の電極の各々に接続された制御回路をさらに備える。前記制御回路は、動作中、前記複数の電極のうちの一部の電極と他の少なくとも一部の電極とに電位差を設ける第1の動作、および前記2つの電極層の一方に含まれる電極と、前記2つの電極層の他方に含まれる電極との間に電位差を設ける第2の動作の少なくとも一方を実行する。

【0066】

この光デバイスでは、制御回路の上記の動作により、光導波領域に含まれる液晶材料の屈折率を連続的に変化させることができる。これに伴い、第1のミラーから出射される光の出射角度も連続的に変化する。

【0067】

第3の項目に係る光デバイスは、第1または第2の項目に係る光デバイスにおいて、前記2つの電極層の一方が、前記光導波層と前記第1の反射面との間、第1のミラーの内部、または、前記第1のミラーの前記第1の反射面とは反対の側の面上に位置し、前記2つの電極層の他方が、前記光導波層と前記第2の反射面との間、第2のミラーの内部、または、前記第2のミラーの前記第2の反射面とは反対の側の面上に位置する。

【0068】

この光デバイスでは、2つの電極層を上記の位置に設けることにより、第1または第2の項目に係る光デバイスと同じ効果を得ることができる。

【0069】

第4の項目に係る光デバイスは、第1から第3の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記1つ以上の光導波領域が、前記第2の方向における幅が5 μm以下である光導波領域を含む。

【0070】

この光デバイスでは、光導波領域の第2の方向における幅が5 μm以下であっても、第1または第3の項目に係る光デバイスと同じ効果を得ることができる。

【0071】

第5の項目に係る光デバイスは、第1の項目に係る光デバイスにおいて、前記2つの電極層に含まれる各電極に接続された制御回路をさらに備える。前記複数の電極は、前記第1の反射面または前記第2の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる。前記制御回路は、動作中、前記複数の電極のうち隣接する任意の2つの電極に電位差を設ける第1の動作、および前記2つの電極層の一方に含まれる電極と、前記2つの電極層の他方に含まれる電極との間に電位差を設ける第2の動作の少なくとも一方を実行する。

【0072】

この光デバイスでは、複数の電極への制御回路の上記の動作により、光導波領域に含まれる液晶材料の屈折率を連続的に変化させることができる。これに伴い、第1のミラーから出射される光の出射角度も連続的に変化する。

【0073】

第6の項目に係る光デバイスは、第1から第4の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記複数の電極が、前記第1の反射面または前記第2の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる複数の第1の電極と、前記1つ以上の光導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる1つ以上の第2の電極とを含む。

【0074】

この光デバイスでは、複数の電極を上記のように設けることにより、第1から第4の項目のいずれかに係る光デバイスと同じ効果を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 5 】

第7の項目に係る光デバイスは、第1の項目に係る光デバイスにおいて、前記2つの電極層に含まれる各電極に接続された制御回路をさらに備える。前記複数の電極は、前記第1の反射面または前記第2の反射面に垂直な方向から見たとき、前記複数の非導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる複数の第1の電極と、前記1つ以上の光導波領域の少なくとも一部にそれぞれ重なる1つ以上の第2の電極とを含む。前記制御回路は、動作中、前記複数の第1の電極のうちの隣接する任意の2つの電極に電位差を設ける第1の動作、および前記2つの電極層の一方に含まれる電極と、前記2つの電極層の他方に含まれる電極との間に電位差を設ける第2の動作の少なくとも一方を実行する。

【 0 0 7 6 】

この光デバイスでは、複数の電極への制御回路の上記の動作により、光導波領域に含まれる液晶材料の屈折率を連続的に変化させることができる。これに伴い、第1のミラーから出射される光の出射角度も連続的に変化する。

【 0 0 7 7 】

第8の項目に係る光デバイスは、第1から第7の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記2つの電極層の一方が、前記複数の電極を含み、前記2つの電極層の他方が、単一の電極を含む。

【 0 0 7 8 】

この光デバイスでは、2つの電極層を上記のように設けることにより、第1から第7の項目のいずれかに係る光デバイスと同じ効果を得ることができる。

【 0 0 7 9 】

第9の項目に係る光デバイスは、第1から第7の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記2つの電極層の両方が、前記複数の電極を含む。

【 0 0 8 0 】

この光デバイスでは、2つの電極層を上記のように設けることにより、第1から第7の項目のいずれかに係る光デバイスと同じ効果を得ることができる。

【 0 0 8 1 】

以下において、実施形態1から実施形態6における光デバイス100を説明する。

【 0 0 8 2 】

(実施形態1)

ここでは、光が導波する領域内の液晶材料を駆動させることにより、光スキャンを実施する例を説明する。

【 0 0 8 3 】

図6Aは、本開示の例示的な実施形態における光デバイス100の斜視図である。図6Bは、図6Aに示す光デバイス100のYZ面における断面図である。図6Aおよび図6Bでは、簡単のために、光デバイス100の一部が示されている。なお、便宜上、互いに直交するX方向、Y方向、およびZ方向が示されているが、実際の光デバイス100の方向を限定するものではない。

【 0 0 8 4 】

本実施形態における光デバイス100は、ミラー30およびミラー40と、光導波層20と、電極層60aおよび電極層60bと、を備える。光デバイス100は、不図示の制御回路をさらに備えてもよい。

【 0 0 8 5 】

ミラー30は、X方向およびY方向に沿って広がる第1の反射面32を備える。ミラー30は、透光性を有する。ミラー40は、第1の反射面32に対向する第2の反射面42を備える。ミラー30とミラー40とは、略平行になるように支持部材70によって支持されている。支持部材70は、例えば、SiO₂などの誘電体材料、または樹脂から形成される。支持部材70は、柱状、または壁状の形状を有し得る。支持部材70は、ミラー30とミラー40との間の光導波層20以外の領域において、広範囲に配置される。光デバイス100は、ミラー30およびミラー40を貼り合わせて作製してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 6 】

光導波層 2 0 は、ミラー 3 0 とミラー 4 0 との間に位置する。光導波層 2 0 において、複数の誘電体部材 2 4 が Y 方向に沿って並んでいる。Z 方向から見たとき、光導波層 2 0 のうち、複数の誘電体部材 2 4 に重なる領域を「複数の非導波領域 2 0 n」と称する。光導波層 2 0 のうち、Y 方向に沿って並ぶ複数の非導波領域 2 0 n の間に位置する 1 つ以上の領域を、「1 つ以上の光導波領域 2 0 g」と称する。言い換えれば、光導波層 2 0 は、複数の非導波領域 2 0 n と、1 つ以上の光導波領域 2 0 g とを含む。1 つ以上の光導波領域 2 0 g の平均屈折率は、複数の非導波領域 2 0 n の平均屈折率よりも高い。これにより、1 つ以上の光導波領域 2 0 g は、X 方向に沿って光を導波させることができる。1 つ以上の光導波領域 2 0 g の各々は、液晶材料 2 3 を含む。複数の非導波領域 2 0 n は、それぞれ複数の誘電体部材 2 4 を含む。図 6 A および図 6 B に示す例では、誘電体部材 2 4 とミラー 3 0 との間にギャップが存在する。隣り合う任意の 2 つ光導波領域 2 0 g の一方を伝搬する光が、他方に漏れなければ、ギャップが存在していてもよい。当該ギャップが存在することにより、複数の誘電体部材 2 4 の Z 方向における高さが同じでなくても、ミラー 3 0 およびミラー 4 0 を容易に貼り合わせることができる。図 6 A および図 6 B に示す光導波層 2 0 は、複数の誘電体部材 2 4 以外では、液晶材料 2 3 で満たされている

10

【 0 0 8 7 】

電極層 6 0 a および電極層 6 0 b は、光導波層 2 0 を介して、互いに対向する。図 6 A および図 6 B に示す例では、一方の電極層 6 0 a が、Y 方向に沿って並ぶ複数の電極を含み、他方の電極層 6 0 b が、単一の電極を含む。図 6 A に示すように、電極層 6 0 a における複数の電極のうち、一部の電極は、Y 方向に延びる 2 つの平行な電極のうちの一側の電極から他方の電極に向けて突出し、他の部分の電極は、上記他方の電極から上記一方の電極に向けて突出し、上記一部の電極の間に位置していてもよい。図 6 A および図 6 B に示す例では、電極層 6 0 a は、ミラー 3 0 の第 1 の反射面 3 2 とは反対の側の面上に位置し、電極層 6 0 b は、ミラー 4 0 の第 2 の反射面 4 2 とは反対の側の面上に位置する。電極層 6 0 a は、光導波層 2 0 とミラー 3 0 の第 1 の反射面 3 2 との間、またはミラー 3 0 の内部に位置していてもよい。同様に、電極層 6 0 b は、光導波層 2 0 とミラー 4 0 の第 2 の反射面 4 2 との間、またはミラー 4 0 の内部に位置していてもよい。図 6 A および図 6 B に示す例では、電極層 6 0 a における複数の電極は、それぞれ、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 2 0 n の少なくとも一部に重なる。より具体的には、電極層 6 0 a における複数の電極は、それぞれ、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 2 0 n に含まれている。電極層 6 0 a における複数の電極は、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内を伝搬する光の波長に透光性を有する電極材料から形成され得る。当該電極材料は、例えば、ITO などの透明電極である。ただし、光の透過を妨げなければ、どのような電極材料でもよい。電極層 6 0 a における複数の電極が、Z 方向から見たとき、1 つ以上の光導波領域 2 0 g に重ならなければ、当該電極材料は、Al などの導電性の金属を含んでいてもよい。電極層 6 0 b における単一の電極は、透明電極および / または導電性の金属を含んでいてもよい。

20

30

【 0 0 8 8 】

不図示の制御回路は、電極層 6 0 a および電極層 6 0 b に含まれる複数の電極の各々に接続されている。図 6 A および図 6 B に示す例では、不図示の制御回路は、Y 方向に延びる 2 つの平行な電極のうちの一つを介して、電極層 6 0 a における複数の電極の各々に接続されている。当該制御回路は、電極層 6 0 a における複数の電極の各々、および電極層 6 0 b における単一の電極に、独立して任意の電圧を印加することができる。図 6 A および図 6 B に示す例では、電極層 6 0 a における複数の電極に、異なる 2 つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。電極層 6 0 a における複数の電極、および電極層 6 0 b における単一の電極から所望の電界をミラー 3 0 とミラー 4 0 との間に生じさせることにより、ミラー 3 0 とミラー 4 0 との間に満たされた液晶材料 2 3 が駆動される。これにより、液晶材料 2 3 の屈折率が変化する。

40

【 0 0 8 9 】

50

次に、本実施形態における液晶材料 2 3 の配向制御を、図 7 A および図 7 B を参照して説明する。

【 0 0 9 0 】

図 7 A は、図 6 B に示す例において液晶材料 2 3 が Y 方向に配向した第 1 の状態を模式的に示す図である。図 7 B は、図 6 B に示す例において液晶材料 2 3 が Z 方向に配向した第 2 の状態を模式的に示す図である。図 7 A および図 7 B に示す符号 2 3 o は、液晶材料 2 3 の配向状態を模式的に表している。電極層 6 0 a における複数の電極、および電極層 6 0 b における単一の電極に印加された電圧によって形成される電界により、ミラー 3 0 およびミラー 4 0 によって挟まれた液晶材料 2 3 の配向方向が制御される。

【 0 0 9 1 】

図 7 A に示す例では、電極層 6 0 a における複数の電極のうち、隣接する任意の 2 つの電極に電位差が設けられ、電極層 6 0 b における単一の電極は電氣的に開放された状態にある。この状態では、図 7 A に示すように、隣接する 2 つの電極の間に生じる電位差により、Y 方向にほぼ平行な電気力線が、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内に生じる。この電界により、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内の液晶材料 2 3 は Y 方向に配向される。

【 0 0 9 2 】

図 7 B に示す例では、電極層 6 0 a における複数の電極がほぼ同電位であり、電極層 6 0 a における複数の電極と、電極層 6 0 a における単一の電極との間に電位差が設けられた状態にある。この状態では、図 7 B に示すように、ミラー 3 0 から、ミラー 4 0 に向かって Z 方向にほぼ平行な電気力線が生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内の液晶材料 2 3 は、Z 方向に配向される。図 7 B に示す例では、電気力線がミラー 3 0 からミラー 4 0 に向かって生じているが、逆であってもよい。

【 0 0 9 3 】

このように電極層 6 0 a における複数の電極、および電極層 6 0 b における単一の電極に電圧を印加することにより、図 7 A に示す第 1 の状態と、図 7 B に示す第 2 の状態とを任意に作り出すことができる。第 1 の状態と第 2 の状態とでは、1 つ以上の光導波領域 2 0 g に含まれる液晶材料 2 3 の屈折率が異なる。第 1 の状態から第 2 の状態への推移、および、第 2 の状態から第 1 の状態への推移の過程において、液晶材料 2 3 の屈折率が連続的に変化する。これに伴い、ミラー 3 0 から出射される光の出射角度が変化する。その結果、光スキャンを実現することができる。

【 0 0 9 4 】

第 1 の状態から第 2 の状態への推移、および、第 2 の状態から第 1 の状態への推移を実現するために、不図示の制御回路は、動作中、電極層 6 0 a における複数の電極のうちの一部の電極と他の少なくとも一部の電極とに電位差を設ける第 1 の動作、ならびに、電極層 6 0 a および電極層 6 0 b の一方に含まれる電極と、他方に含まれる電極との間に電位差を設ける第 2 の動作の少なくとも一方を実行する。

【 0 0 9 5 】

電極層 6 0 a における各電極の Y 方向における幅は、1 つの非導波領域 2 0 n の Y 方向における幅よりも狭くてもよい。これにより、図 7 A に示す第 1 の状態において、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内に形成される電気力線が、より Y 方向に平行になる。

【 0 0 9 6 】

図 7 A および図 7 B に示す例とは反対に、ミラー 3 0 上の電極層 6 0 a が単一の電極を含み、ミラー 4 0 上の電極層 6 0 b が複数の電極を含んでいてもよい。この構成でも、図 7 A および図 7 B に示す例と同様の効果を得ることができる。

【 0 0 9 7 】

なお、電極層 6 0 a における複数の電極のすべてが、それぞれ、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 2 0 n の少なくとも一部に重なる必要はない。図 7 A および図 7 B に示す例と同様の効果が得られるのであれば、電極層 6 0 a における複数の電極の一部は、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 2 0 n の少なくとも一部に重なる電極を含み、他の部分は、そのような電極を含んでいなくてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

(実施形態 2)

以下の説明において、実施形態 1 に示す例と同じ構成については、説明を省略する。

【 0 0 9 9 】

図 8 A は、本開示の例示的な実施形態における光デバイス 1 0 0 の斜視図である。図 8 B は、図 8 A に示す光デバイス 1 0 0 の Y Z 面における断面図である。図 8 A および図 8 B では、簡単のために、光デバイス 1 0 0 の一部が示されている。

【 0 1 0 0 】

図 8 A および図 8 B に示す例では、実施形態 1 に示す例とは異なり、電極層 6 0 b が、電極層 6 0 a と同様に、複数の電極を含む。電極層 6 0 a における複数の電極の各々、および電極層 6 0 b における複数の電極の各々に、独立して任意の電圧を印加することができる。

10

【 0 1 0 1 】

次に、本実施形態における液晶材料 2 3 の配向制御を、図 9 A および図 9 B を参照して説明する。

【 0 1 0 2 】

図 9 A は、図 8 B に示す例において液晶材料 2 3 が Y 方向に配向した第 1 の状態を模式的に示す図である。図 9 B は、図 8 B に示す例において液晶材料 2 3 が Z 方向に配向した第 2 の状態を模式的に示す図である。電極層 6 0 a における複数の電極、および電極層 6 0 b における複数の電極に印加した電圧によって形成される電界により、ミラー 3 0 およびミラー 4 0 によって挟まれた液晶材料 2 3 の配向方向が制御される。

20

【 0 1 0 3 】

図 9 A に示す例では、電極層 6 0 a における複数の電極のうち、隣接する任意の 2 つの電極に電位差が設けられ、電極層 6 0 b における複数の電極のうち、隣接する任意の 2 つの電極に電位差が設けられた状態にある。光導波層 2 0 を介して対向する 2 つの電極は、同電位であってもよい。この状態では、図 9 A に示すように、隣接する 2 つの電極の間に生じる電位差により、Y 方向にほぼ平行な電気力線が、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内に生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内の液晶材料 2 3 は Y 方向に配向される。

【 0 1 0 4 】

図 9 B に示す例では、電極層 6 0 a における複数の電極がほぼ同電位であり、電極層 6 0 b における複数の電極がほぼ同電位であり、電極層 6 0 a における複数の電極と、電極層 6 0 b における複数の電極との間に電位差が設けられた状態にある。この状態では、図 9 B に示すように、ミラー 3 0 から、ミラー 4 0 に向かって Z 方向にほぼ平行な電気力線が生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内の液晶材料 2 3 は、Z 方向に配向される。図 9 B に示す例では、電気力線がミラー 3 0 からミラー 4 0 に向かって生じているが、逆であってもよい。

30

【 0 1 0 5 】

このように電極層 6 0 a における複数の電極、および電極層 6 0 b における複数の電極に電圧を印加することにより、図 9 A に示す第 1 の状態と、図 9 B に示す第 2 の状態とを任意に作り出すことができる。第 1 の状態と第 2 の状態とでは、1 つ以上の光導波領域 2 0 g の液晶材料 2 3 の屈折率が異なる。第 1 の状態から第 2 の状態への推移、および、第 2 の状態から第 1 の状態への推移の過程において、液晶材料 2 3 の屈折率が連続的に変化する。これに伴い、ミラー 3 0 から出射される光の出射角度が変化する。その結果、光スキャンを実現することができる。

40

【 0 1 0 6 】

電極層 6 0 a における各電極の Y 方向における幅は、各非導波領域 2 0 n の Y 方向における幅よりも狭くてもよい。これにより、図 9 A に示す第 1 の状態において、1 つ以上の光導波領域 2 0 g 内に形成される電気力線が、より Y 方向に平行になる。

【 0 1 0 7 】

50

なお、電極層 60b における複数の電極のすべてが、それぞれ、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 20n の少なくとも一部に重なる必要はない。図 9A および図 9B に示す例と同様の効果が得られるのであれば、電極層 60b における複数の電極の一部は、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 20n の少なくとも一部に重なる電極を含み、他の部分は、そのような電極を含んでいなくてもよい。

【0108】

(実施形態 3)

以下の説明において、実施形態 1 に示す例と同じ構成については、説明を省略する。

【0109】

図 10A は、本開示の例示的な実施形態における光デバイス 100 の斜視図である。図 10B は、図 10A に示す光デバイス 100 の YZ 面における断面図である。図 10A および図 10B では、簡単のために、光デバイス 100 の一部が示されている。

10

【0110】

図 10A および図 10B に示す例では、実施形態 1 に示す例とは異なり、電極層 60a における複数の電極が、複数の第 1 の電極 60a1、および 1 つ以上の第 2 の電極 60a2 を含む。複数の第 1 の電極 60a1 は、図 6A および図 6B に示す電極層 60a における複数の電極に相当する。1 つ以上の第 2 の電極 60a2 は、それぞれ、Z 方向から見たとき、1 つ以上の光導波領域 20g の少なくとも一部に重なる。より具体的には、1 つ以上の第 2 の電極 60a2 は、それぞれ、Z 方向から見たとき、1 つ以上の光導波領域 20g に含まれる。

20

【0111】

図 10A に示すように、1 つ以上の第 2 の電極 60a2 は、複数の第 1 の電極 60a1 の隙間に配置された連続的な 1 つの電極の一部であってもよい。電極層 60a における複数の電極の各々、および電極層 60b における単一の電極に、独立して任意の電圧を印加することができる。図 10A および図 10B に示す例では、電極層 60a における複数の第 1 の電極 60a1 に、異なる 2 つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。電極層 60a における 1 つ以上の第 2 の電極 60a2 には、同じ値の電圧が印加される。

【0112】

次に、本実施形態における液晶材料 23 の配向制御を、図 11A および図 11B を参照して説明する。

30

【0113】

図 11A は、図 10B に示す例において液晶材料 23 が Y 方向に配向した第 1 の状態を模式的に示す図である。図 11B および図 11C は、図 10B に示す例において液晶材料 23 が Z 方向に配向した第 2 の状態を模式的に示す図である。電極層 60a における複数の第 1 の電極 60a1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60a2、ならびに電極層 60b における単一の電極に印加した電圧によって形成される電界により、ミラー 30 およびミラー 40 によって挟まれた液晶材料 23 の配向方向が制御される。

【0114】

図 11A に示す例では、電極層 60a における複数の第 1 の電極 60a1 のうち、隣接する任意の 2 つの電極に電位差が設けられ、電極層 60a における 1 つ以上の第 2 の電極 60a2、および電極層 60b における単一の電極は電氣的に開放された状態にある。この状態では、図 11A に示すように、隣接する 2 つの電極の間に生じる電位差により、Y 方向にほぼ平行な電気力線が、1 つ以上の光導波領域 20g 内に生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 20g 内の液晶材料 23 は Y 方向に配向される。

40

【0115】

図 11B に示す例では、電極層 60a における複数の第 1 の電極 60a1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60a2 がほぼ同電位であり、電極層 60a における複数の第 1 の電極 60a1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60a2 と、電極層 60b における単一の電極との間に電位差が設けられた状態にある。この状態では、図 11B に示すように、ミラー 30 が

50

ら、ミラー 40 に向かって Z 方向にほぼ平行な電気力線が生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 20 g 内の液晶材料 23 は、Z 方向に配向される。図 11B に示す例では、電気力線がミラー 30 からミラー 40 に向かって生じているが、逆であってもよい。

【0116】

図 11C に示す例では、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 のうち、隣り合う任意の 2 つの電極に第 1 の電位差が設けられ、かつ、電極層 60 a における 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 と、電極層 60 b における単一の電極との間に第 2 の電位差が設けられた状態にある。第 1 の電位差は、図 11A に示す例における電位差よりも小さくてもよく、第 2 の電位差よりも小さくてもよい。この状態では、図 11C に示すように、ミラー 30 から、ミラー 40 に向かって Z 方向にほぼ平行な電気力線が生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 20 g 内の液晶材料 23 は、Z 方向に配向される。図 11C に示す例では、電気力線がミラー 30 からミラー 40 に向かって生じているが、逆であってもよい。図 11C に示す状態も、電極層 60 a における 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 と、電極層 60 b における単一の電極との間に生じる電界により、1 つ以上の光導波領域 20 g 内の液晶材料 23 が Z 方向に配向された第 2 の状態であると言える。

10

【0117】

このように電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2、ならびに電極層 60 b における単一の電極に電圧を印加することにより、図 11A に示す第 1 の状態と、図 11B または図 11C に示す第 2 の状態とを任意に作り出すことができる。第 1 の状態と第 2 の状態とでは、1 つ以上の光導波領域 20 g の液晶材料 23 の屈折率が異なる。第 1 の状態から第 2 の状態への推移、および、第 2 の状態から第 1 の状態への推移の過程において、液晶材料 23 の屈折率が連続的に変化する。これに伴い、ミラー 30 から出射される光の出射角度が変化する。その結果、光スキャンを実現することができる。

20

【0118】

電極層 60 a における各第 1 の電極 60 a 1 の Y 方向における幅は、各非導波領域 20 n の Y 方向における幅よりも狭くてもよい。これにより、図 11A に示す第 1 の状態において、1 つ以上の光導波領域 20 g 内に形成される電気力線が、より Y 方向に平行になる。

【0119】

なお、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 のすべてが、それぞれ、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 20 n の少なくとも一部に重なる必要はない。図 11A および図 11B に示す例と同様の効果が得られるのであれば、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 の一部は、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 20 n の少なくとも一部に重なる電極を含み、他の部分は、そのような電極を含んでいなくてもよい。

30

【0120】

同様に、電極層 60 a における 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 のすべてが、それぞれ、Z 方向から見たとき、複数の光導波領域 20 g の少なくとも一部に重なる必要はない。図 11A および図 11B に示す例と同様の効果が得られるのであれば、電極層 60 a における複 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 の一部は、Z 方向から見たとき、複数の光導波領域 20 g の少なくとも一部に重なる電極を含み、他の部分は、そのような電極を含んでいなくてもよい。

40

【0121】

(実施形態 4)

以下の説明において、実施形態 3 に示す例と同じ構成については、説明を省略する。

【0122】

図 12A は、本開示の例示的な実施形態における光デバイス 100 の斜視図である。図 12B は、図 12A に示す光デバイス 100 の YZ 面における断面図である。図 12A および図 12B では、簡単のために、光デバイス 100 の一部が示されている。

【0123】

図 12A および図 12B に示す例では、実施形態 3 に示す例とは異なり、電極層 60 b

50

における複数の電極が、電極層 60 a と同様に、複数の第 1 の電極 60 b 1、および 1 つ以上の第 2 の電極 60 b 2 を含む。電極層 60 a における複数の電極の各々、および電極層 60 b における複数の電極の各々に、独立して任意の電圧を印加することができる。図 1 2 A および図 1 2 B に示す例では、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 に、異なる 2 つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。電極層 60 b における複数の電極についても、同様である。

【 0 1 2 4 】

次に、本実施形態における液晶材料 2 3 の配向制御を、図 1 3 A および図 1 3 B を参照して説明する。

【 0 1 2 5 】

図 1 3 A は、図 1 2 B に示す例において液晶材料 2 3 が Y 方向に配向した第 1 の状態を模式的に示す図である。図 1 3 B および図 1 3 C は、図 1 2 B に示す例において液晶材料 2 3 が Z 方向に配向した第 2 の状態を模式的に示す図である。電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2、ならびに電極層 60 b における複数の第 1 の電極 60 b 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 b 2 に印加した電圧によって形成される電界により、ミラー 30 およびミラー 40 によって挟まれた液晶材料 2 3 の配向方向が制御される。

【 0 1 2 6 】

図 1 3 A に示す例では、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 のうち、隣接する任意の 2 つの電極に電位差が設けられ、電極層 60 a における 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 は電氣的に開放された状態にある。電極層 60 b における複数の第 1 の電極 60 b 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 b 2 についても、同様である。この状態では、図 1 3 A に示すように、隣接する 2 つの電極の間に生じる電位差により、Y 方向にほぼ平行な電気力線が、1 つ以上の光導波領域 20 g 内に生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 20 g 内の液晶材料 2 3 は Y 方向に配向される。

【 0 1 2 7 】

図 1 3 B に示す例では、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 がほぼ同電位であり、電極層 60 b における複数の第 1 の電極 60 b 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 b 2 がほぼ同電位であり、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 と、電極層 60 b における複数の第 1 の電極 60 b 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 b 2 との間に電位差が設けられた状態にある。この状態では、図 1 3 B に示すように、ミラー 30 から、ミラー 40 に向かって Z 方向にほぼ平行な電気力線が生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 20 g 内の液晶材料 2 3 は、Z 方向に配向される。図 1 3 B に示す例では、電気力線がミラー 30 からミラー 40 に向かって生じているが、逆であってもよい。

【 0 1 2 8 】

図 1 3 C に示す例では、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 のうち、隣り合う任意の 2 つの電極に第 1 の電位差が設けられ、かつ、電極層 60 b における複数の第 1 の電極 60 b 1 のうち、隣り合う任意の 2 つの電極に第 1 の電位差が設けられ、かつ、電極層 60 a における 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 と、電極層 60 b における 1 つ以上の第 2 の電極 60 b 2 との間に第 2 の電位差が設けられた状態にある。第 1 の電位差は、図 1 3 A に示す例における電位差よりも小さくてもよく、第 2 の電位差よりも小さくてもよい。この状態では、図 1 3 C に示すように、ミラー 30 から、ミラー 40 に向かって Z 方向にほぼ平行な電気力線が生じる。これにより、1 つ以上の光導波領域 20 g 内の液晶材料 2 3 は、Z 方向に配向される。図 1 3 C に示す例では、電気力線がミラー 30 からミラー 40 に向かって生じているが、逆であってもよい。図 1 3 C に示す状態も、電極層 60 a における 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2 と、電極層 60 b における 1 つ以上の第 2 の電極 60 b 2 との間に生じる電界により、1 つ以上の光導波領域 20 g 内の液晶材料 2 3 が Z 方向に配向された第 2 の状態であると言えることができる。

【 0 1 2 9 】

10

20

30

40

50

このように電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 a 2、ならびに電極層 60 b における複数の第 1 の電極 60 b 1 および 1 つ以上の第 2 の電極 60 b 2 に電圧を印加することにより、図 13 A に示す第 1 の状態と、図 13 B または図 13 C に示す第 2 の状態とを任意に作り出すことができる。第 1 の状態と第 2 の状態とでは、1 つ以上の光導波領域 20 g の液晶材料 23 の屈折率が異なる。第 1 の状態から第 2 の状態への推移、および、第 2 の状態から第 1 の状態への推移の過程において、液晶材料 23 の屈折率が連続的に変化する。これに伴い、ミラー 30 から出射される光の出射角度が変化する。その結果、光スキャンを実現することができる。

【0130】

電極層 60 a における各第 1 の電極 60 a 1 の Y 方向における幅、および / または、電極層 60 b における各第 1 の電極 60 b 1 の Y 方向における幅は、各非導波領域 20 n の Y 方向における幅よりも狭くてもよい。これにより、図 13 A に示す第 1 の状態において、1 つ以上の光導波領域 20 g 内に形成される電気力線が、より Y 方向に平行になる。

10

【0131】

(実施形態 5)

以下の説明において、実施形態 1 に示す例と同じ構成については、説明を省略する。

【0132】

図 14 A は、本開示の例示的な実施形態における光デバイス 100 の斜視図である。図 14 B は、図 14 A に示す光デバイス 100 の YZ 面における断面図である。図 14 A および図 14 B では、簡単のために、光デバイス 100 の一部が示されている。

20

【0133】

図 14 A および図 14 B に示す例では、実施形態 1 に示す例とは異なり、電極層 60 a における複数の電極が、複数の第 1 の電極 60 a 1、および複数の第 3 の電極 60 a 3 を含む。複数の第 1 の電極 60 a 1 は、図 6 A および図 6 B に示す電極層 60 a における複数の電極に相当する。複数の第 3 の電極 60 a 3 は、複数の第 1 の電極 60 a 1 に略直交する。複数の第 1 の電極 60 a 1 と複数の第 3 の電極 60 a 3 とを絶縁するために、複数の第 1 の電極 60 a 1 と複数の第 3 の電極 60 a 3 との間に絶縁層 50 a が位置する。電極層 60 a における複数の電極の各々、および電極層 60 b における単一の電極に、独立して任意の電圧を印加することができる。図 14 A および図 14 B に示す例では、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 に、異なる 2 つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。電極層 60 a における複数の第 3 の電極 60 a 3 にも、異なる 2 つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。

30

【0134】

電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 に、異なる 2 つの値の電圧を交互に印加することにより、液晶材料 23 の Y 方向の配向制御が可能になる。電極層 60 a における複数の第 3 の電極 60 a 3 に、異なる 2 つの値の電圧を交互に印加することにより、液晶材料 23 の X 方向の配向制御が可能になる。すなわち、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 および複数の第 3 の電極 60 a 3 により、液晶材料 23 の XY 平面内での任意の方向の配向制御が可能になる。当然、電極層 60 a における複数の第 1 の電極 60 a 1 および複数の第 3 の電極 60 a 3 と、電極層 60 b における単一の電極との間に電位差を設けることにより、液晶材料 23 の配向方向を Z 方向に並べることが可能になる。

40

【0135】

電極層 60 a における各第 1 の電極 60 a 1 の Y 方向における幅は、各非導波領域 20 n の Y 方向における幅よりも狭くてもよい。これにより、1 つ以上の光導波領域 20 g 内に形成される電気力線が、より Y 方向に平行になる。同様に、電極層 60 a における各第 3 の電極 60 a 3 の X 方向における幅は、電極層 60 a における各第 1 の電極 60 a 1 の Y 方向における幅と同程度に狭くてもよい。これにより、1 つ以上の光導波領域 20 g 内に形成される電気力線が、より X 方向に平行になる。

【0136】

50

(実施形態6)

以下の説明において、実施形態5に示す例と同じ構成については、説明を省略する。

【0137】

図15Aは、本開示の例示的な実施形態における光デバイス100の斜視図である。図15Bは、図15Aに示す光デバイス100のYZ面における断面図である。図15Aおよび図15Bでは、簡単のために、光デバイス100の一部が示されている。

【0138】

図15Aおよび図15Bに示す例では、実施形態5に示す例とは異なり、電極層60bにおける複数の電極が、電極層60aと同様に、複数の第1の電極60b1、および複数の第3の電極60b3を含む。複数の第1の電極60b1と複数の第3の電極60b3とを絶縁するために、複数の第1の電極60b1と複数の第3の電極60b3との間に絶縁層50bが位置する。電極層60aにおける複数の電極の各々、および電極層60bにおける複数の電極の各々に、独立して任意の電圧を印加することができる。図15Aおよび図15Bに示す例では、電極層60aにおける複数の第1の電極60a1に、異なる2つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。電極層60aにおける複数の第3の電極60a3にも、異なる2つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。電極層60bにおける複数の第1の電極60b1にも、異なる2つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。電極層60bにおける複数の第3の電極60b3にも、異なる2つの値の電圧が交互に印加されるか、または、同じ値の電圧が印加される。

【0139】

電極層60aにおける複数の第1の電極60a1に異なる2つの値の電圧を交互に印加し、および/または、電極層60bにおける複数の第1の電極60b1に異なる2つの値の電圧を交互に印加することにより、液晶材料23のY方向の配向制御が可能になる。電極層60aにおける複数の第3の電極60a3に異なる2つの値の電圧を交互に印加し、および/または、電極層60bにおける複数の第3の電極60b3に異なる2つの値の電圧を交互に印加することにより、液晶材料23のX方向の配向制御が可能になる。すなわち、電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および複数の第3の電極60a3、ならびに、電極層60bにおける複数の第1の電極60b1および複数の第3の電極60b3により、液晶材料23のXY平面内での任意の方向の配向制御が可能になる。当然、電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および複数の第3の電極60a3と、電極層60bにおける複数の第1の電極60b1および複数の第3の電極60b3との間に電位差を設けることにより、液晶材料23の配向方向をZ方向の方向に並べることが可能になる。

【0140】

電極層60aにおける各第1の電極60a1のY方向における幅、および/または、電極層60bにおける各第1の電極60b1のY方向における幅は、各非導波領域20nのY方向における幅よりも狭くてもよい。これにより、1つ以上の光導波領域20g内に形成される電気力線が、よりY方向に平行になる。同様に、電極層60aにおける各第3の電極60a3のX方向における幅、および/または、電極層60bにおける各第3の電極60b3のX方向における幅は、電極層60aにおける各第1の電極60a1のY方向における幅、および/または、電極層60bにおける各第1の電極60b1のY方向における幅と同程度に狭くてもよい。これにより、1つ以上の光導波領域20g内に形成される電気力線が、よりX方向に平行になる。

【0141】

次に、実施形態1から実施形態6における光デバイス100の効果を説明する。

【0142】

1つ以上の光導波領域20gの各々のY方向における幅が広い場合、前述の従来の配向処理により、液晶材料23の初期の配向方向を決定することができる。しかし、1つ以上の光導波領域20gが、Y方向における5 μ m以下の幅の光導波領域を含む場合、従来の

配向処理により、液晶材料 2 3 の初期の配向方向を決定することは容易ではない。このような場合でも、実施形態 1 から実施形態 6 における電極配置により、液晶材料 2 3 の Y Z 平面内、X Y 平面内、または X Y Z 空間内の任意の方向の配向制御が可能になるという効果が得られる。

【 0 1 4 3 】

(実施例 1)

本実施例 1 では、実施形態 1 において説明した光デバイス 1 0 0 を用いて液晶材料 2 3 の配向状態を確認した。ミラー 3 0 およびミラー 4 0 には、 Nb_2O_5 および SiO_2 の誘電体層が交互に積層された誘電体多層膜ミラーが用いられた。ミラー 3 0 の光透光性は、ミラー 4 0 の光透光性よりも高い。波長 9 4 0 nm の光の垂直入射では、ミラー 3 0 の反射率は 9 9 . 6 % に設計され、ミラー 4 0 の反射率は 9 9 . 9 % に設計された。複数の誘電体部材 2 4 は、 SiO_2 から形成された。複数の誘電体部材 2 4 の各々の Z 方向における高さは約 $1 \mu m$ とし、Y 方向における幅は約 $30 \mu m$ とした。複数の誘電体部材 2 4 は Y 方向に沿って等間隔に配置された。1 つ以上の光導波領域 2 0 g の各々の Y 方向における幅は $5 \mu m$ とした。ミラー 3 0 上に、フォトリソグラフィの技術を用いて、ITO から形成された電極パターンが設けられた。電極層 6 0 a における複数の電極の Y 方向における幅は、それぞれ、複数の非導波領域 2 0 n の Y 方向における幅よりも狭くした。電極層 6 0 a における複数の電極の各々の Y 方向における幅は約 $20 \mu m$ とした。電極層 6 0 a における複数の電極の X 方向における長さは、1 つ以上の光導波領域 2 0 g の X 方向における長さと同様長さとした。1 つ以上の光導波領域 2 0 g は、アレイ状に配置された。電極層 6 0 a における複数の電極は、かみ合うように配置された 2 つの歯状の電極から形成された。当該複数の電極は、それぞれ、Z 方向から見たとき、複数の非導波領域 2 0 n に重なるように設けられた。電極層 6 0 b における単一の電極は、ミラー 4 0 上に ITO を成膜することによって設けられた。

【 0 1 4 4 】

図 6 A および図 6 B には示していないが、光デバイス 1 0 0 は、厚さ $0.625 \mu m$ の石英基板上に設けられた。当該石英基板上に電極層 6 0 b における単一の電極が設けられ、当該単一の電極上に、ミラー 4 0 として誘電体多層膜が設けられ、ミラー 4 0 上に、複数の誘電体部材 2 4、および樹脂から形成された支持部材 7 0 が設けられた。ミラー 3 0 およびミラー 4 0 は、支持部材 7 0 を介して貼り合わせることによって設けられた。支持部材 7 0 の Z 方向における高さは、約 $2 \mu m$ である。図 6 A および図 6 B には示していないが、ミラー 3 0 とミラー 4 0 との間に、液晶材料 2 3 が封入される領域を囲むように、UV 硬化性の接着材が塗布された。ミラー 3 0 およびミラー 4 0 は、当該接着材を UV 照射することによって貼りあわせられた。液晶材料 2 3 は、当該接着剤のうち、開放された一部の領域から真空注入された。液晶材料 2 3 には、BK7 と呼ばれる材料が用いられた。液晶材料 2 3 の注入後、開放された当該一部の領域に接着剤を塗布することにより、液晶材料 2 3 が封止された。不図示の制御回路は、電極層 6 0 a における複数の電極、および電極層 6 0 b における単一の電極に、それぞれ電氣的な配線を介して接続された。これにより、電極層 6 0 a における複数の電極、および電極層 6 0 b における単一の電極に、個別に電圧を給電することができる。

【 0 1 4 5 】

液晶材料 2 3 の配向状態は、次のようにして確認した。偏光顕微鏡において、クロスニコル配置の 2 つの偏光板の間に、光デバイス 1 0 0 が、当該 2 つの偏光板に平行になるように設置された。光入射側の偏光板を透過する光の偏光方向を基準として、光デバイス 1 0 0 は、その光導波方向を上記の 2 つの偏光板に平行な面内に 45° 回転させて顕微鏡に設置された。光デバイス 1 0 0 を透過した光は、光出射側の偏光板を通して、顕微鏡によって像として確認することができる。

【 0 1 4 6 】

図 7 A において説明した第 1 の状態を確認した。電極層 6 0 a における複数の電極に、交互に 1 0 V の電位差が設定された。電極層 6 0 b における単一の電極は、電氣的に開放

10

20

30

40

50

された状態にある。この状態では、液晶材料23がY方向に配向する。すなわち、入射側の偏光板を透過して光デバイス100を介した光の偏光方向が45°傾いた状態になる。これにより、光デバイス100を介した当該光の一部が出射側の偏光板を透過する。その結果、偏光顕微鏡によって観察された像は明るかった。

【0147】

次に、図7Bにおいて説明した第2の状態を確認した。電極層60aにおける複数の電極に、同じ値の電圧が印加され、電極層60aにおける複数の電極と、電極層60bにおける単一の電極との間に、10Vの電位差が設けられた。この状態では、液晶材料23がZ方向に配向する。これにより、入射側の偏光板を透過して光デバイス100を介した光は、その偏光方向を維持したまま、出射側の偏光板に到達する。2つの偏光板はクロスニコル配置であることから、光デバイス100を介した当該光は、出射側の偏光板を透過することができない。その結果、顕微鏡によって観察された像は暗かった。第1の状態、および第2の状態を切り替えることにより、1つ以上の光導波領域20gの明暗が反転することを確認した。

10

【0148】

(実施例2)

本実施例2では、実施形態2において説明した光デバイス100を用いて液晶材料23の配向状態を確認した。本実施例2では、実施例1とは異なり、電極層60bが複数の電極を含む。電極層60bにおける当該複数の電極は、電極層60aにおける複数の電極と同様に設計された。

20

【0149】

液晶材料23の配向状態の確認方法は、実施例1において説明した通りである。

【0150】

図9Aにおいて説明した第1の状態を確認した。電極層60aにおける複数の電極に交互に10Vの電位差が設定され、同様に、電極層60bにおける複数の電極に交互に10Vの電位差が設定された。このとき、偏光顕微鏡によって観察された像は明るかった。

【0151】

次に、図9Bにおいて説明した第2の状態を確認した。電極層60aにおける複数の電極に、同じ値の電圧が印加され、電極層60bにおける複数の電極に、同じ値の電圧が印加され、電極層60aにおける複数の電極と、電極層60bにおける複数の電極との間に、10Vの電位差が設けられた。このとき、偏光顕微鏡によって観察された像は暗かった。

30

【0152】

したがって、第1の状態では、液晶材料23がY方向に沿って配向し、第2の状態では、液晶材料23がZ方向に沿って配向していることが確認できた。

【0153】

(実施例3)

本実施例3では、実施形態3において説明した光デバイス100を用いて液晶材料23の配向状態を確認した。本実施例3では、実施例1に加えて、電極層60aにおいて、2つの歯状の電極の隙間に、他の電極が設けられた。当該2つの歯状の電極が図10Aおよび図10Bに示す複数の第1の電極60a1に相当し、当該他の電極が図10Aおよび図10Bに示す1つ以上の第2の電極60a2に相当する。当該他の電極のX方向に延びる1つ以上の部分は、それぞれ、Z方向から見たとき、1つ以上の光導波領域20gの少なくとも一部に重なる。当該1つ以上の部分は、それぞれ1つ以上の光導波領域20gのY方向における幅の5μmよりも狭くした。当該複数の部分の各々のY方向における幅は3μmとした。

40

【0154】

液晶材料23の配向状態の確認方法は、実施例1において説明した通りである。

【0155】

図11Aにおいて説明した第1の状態を確認した。電極層60aにおける複数の第1の電極60a1に、交互に10Vの電位差が設定された。電極層60aにおける1つ以上の

50

第2の電極60a2、および電極層60bにおける単一の電極は、電氣的に開放された状態にある。このとき、偏光顕微鏡によって観察された像は明るかった。

【0156】

次に、図11Bにおいて説明した第2の状態を確認した。電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および1つ以上の第2の電極60a2に、同じ値の電圧が印加され、電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および1つ以上の第2の電極60a2と、電極層60bにおける単一の電極との間に、10Vの電位差が設けられた。このとき、偏光顕微鏡によって観察された像は暗かった。

【0157】

次に、図11Aにおいて説明した第1の状態に戻した後、図11Cにおいて説明した第2の状態を確認した。電極層60aにおける複数の第1の電極60a1に、交互に設けられた電圧差を10Vから1Vに低下させるとほぼ同時に、電極層60aにおける1つ以上の第2の電極60a2と、電極層60bにおける単一の電極との間に9.5Vの電位差が設けられた。この状態は、例えば、以下のようにして実現される。(1)電極層60aにおける複数の第1の電極60a1のうち、隣り合う任意の2つの電極の一方および他方にそれぞれ10Vおよび9Vの電圧が印加され、(2)電極層60aにおける1つ以上の第2の電極60a2に9.5Vの電圧が印加され、(3)電極層60bにおける単一の電極に0Vの電圧が印加される。この状態でも、偏光顕微鏡によって観察された像は暗かった。したがって、図11Bに示す構成であっても、図11Cに示す構成であっても、第2の状態を実現するのに問題はない。

【0158】

(実施例4)

本実施例4では、実施形態4において説明した光デバイス100を用いて液晶材料23の配向状態を確認した。本実施例4では、実施例3とは異なり、電極層60bにおける複数の電極が、電極層60aと同様に、複数の第1の電極60b1および1つ以上の第2の電極60b2を含む。電極層60bにおける複数の第1の電極60b1および1つ以上の第2の電極60b2は、電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および1つ以上の第2の電極60a2と同様に設計された。

【0159】

液晶材料23の配向状態の確認方法は、実施例1において説明した通りである。

【0160】

図13Aにおいて説明した第1の状態を確認した。電極層60aにおける複数の第1の電極60a1に交互に10Vの電位差が設定され、電極層60bにおける複数の第1の電極60b1に交互に10Vの電位差が設定された。電極層60aにおける1つ以上の第2の電極60a2、および電極層60bにおける1つ以上の第2の電極60b2は、電氣的に開放された状態にある。このとき、偏光顕微鏡によって観察された像は明るかった。

【0161】

次に、図13Bにおいて説明した第2の状態を確認した。電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および1つ以上の第2の電極60a2に、同じ値の電圧が印加され、電極層60bにおける複数の第1の電極60b1および1つ以上の第2の電極60b2に、同じ値の電圧が印加され、電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および1つ以上の第2の電極60a2と、電極層60bにおける複数の第1の電極60b1および1つ以上の第2の電極60b2との間に、10Vの電位差が設けられた。このとき、偏光顕微鏡によって観察された像は暗かった。

【0162】

次に、図13Aにおいて説明した第1の状態に戻した後、図13Cにおいて説明した第2の状態を確認した。電極層60aにおける複数の第1の電極60a1に交互に設けられた電圧差、および電極層60bにおける複数の第1の電極60b1に交互に設けられた電圧差を10Vから1Vに低下させるとほぼ同時に、電極層60aにおける1つ以上の第2の電極60a2と、電極層60bにおける1つ以上の第2の電極60b2との間に9.5

Vの電位差が設けられた。この状態は、例えば、以下のようにして実現される。(1)電極層60aにおける複数の第1の電極60a1のうち、隣り合う任意の2つの電極の一方および他方にそれぞれ10Vおよび9Vの電圧が印加され、(2)電極層60aにおける1つ以上の第2の電極60a2に9.5Vの電圧が印加され、(3)電極層60bにおける複数の第1の電極60b1のうち、電極層60aにおいて10Vおよび9Vの電圧が印加された一方および他方の電極に対向する電極にそれぞれ0.5Vおよび-0.5Vの電圧が印加され、(4)電極層60bにおける1つ以上の第2の電極60b2に0Vの電圧が印加される。この状態でも、偏光顕微鏡によって観察された像は暗かった。したがって、図13Bに示す構成であっても、図13Cに示す構成であっても、第2の状態を実現するのに問題はない。

10

【0163】

(実施例5)

本実施例5では、実施形態5および実施形態6において説明した光デバイス100の具体的な構成を説明する。本実施例5では、実施例1に加えて、複数の第1の電極60a1上にSiO₂から形成された絶縁層50aが設けられた。絶縁層50aのZ方向における厚さは約200μmである。絶縁層50a上に、複数の第3の電極60a3が、複数の第1の電極60a1に略直交するように設けられた。電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および複数の第3の電極60a3の各々の幅は約20μmとし、隣接する任意の2つの電極の間隔は約50μmとした。図14Aでは、複数の第3の電極60a3として3つの電極のみが示されているが、1つ以上の光導波領域20gのX方向における長さを調整すると同様に、複数の第3の電極60a3の数を増やしてもよい。また、電極の幅および間隔についても、本実施例5と異なってもよい。

20

【0164】

電極層60aにおける複数の第3の電極60a3に異なる2つの値の電圧を交互に印加することにより、1つ以上の光導波領域20g内の液晶材料23を光導波方向に平行なX方向に配向させることが可能になる。あるいは、電極層60aにおける複数の第3の電極60a3に、X方向に沿って順次電圧が高くなる、または低くなるように電圧を印加してもよい。また、電極層60aにおける複数の第1の電極60a1に異なる2つの値の電圧を交互に印加することにより、1つ以上の光導波領域20g内の液晶材料23を光導波方向に平行なY方向に配向させることが可能になる。あるいは、電極層60aにおける複数の第1の電極60a1にY方向に沿って順次電圧が高くなる、または低くなるように電圧を印加してもよい。電極層60aにおける複数の第1の電極60a1および複数の第3の電極60a3に上記の電圧を同時に印加することにより、液晶材料23をXY平面内の任意の方向に配向させることも可能である。

30

【0165】

一方、実施形態6において説明した光デバイス100では、電極層60bにおける複数の電極が、電極層60aと同様に、複数の第1の電極60b1および複数の第3の電極60b3を含む。電極層60aおよび電極層60bの両方における複数の電極の各々に電圧を印加することにより、液晶材料23のより容易な配向制御が可能になる。

【産業上の利用可能性】

40

【0166】

本開示の実施形態における光デバイスは、例えば自動車、UAV、AGVなどの車両に搭載されるライダーシステムなどの用途に利用できる。

【符号の説明】

【0167】

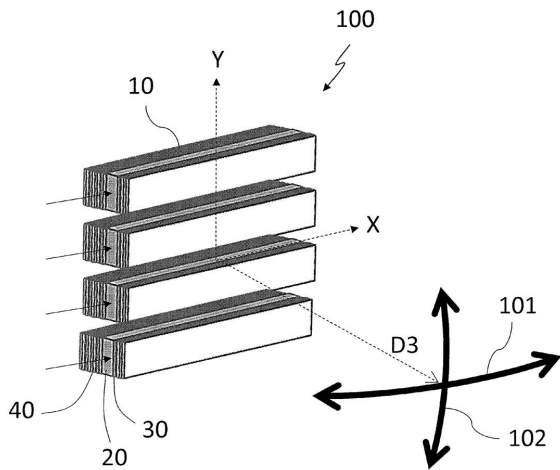
- 10 : 導波路素子
- 10A : 導波路アレイ
- 20 : 光導波層
- 20a : 導波路
- 20g : 光導波領域

50

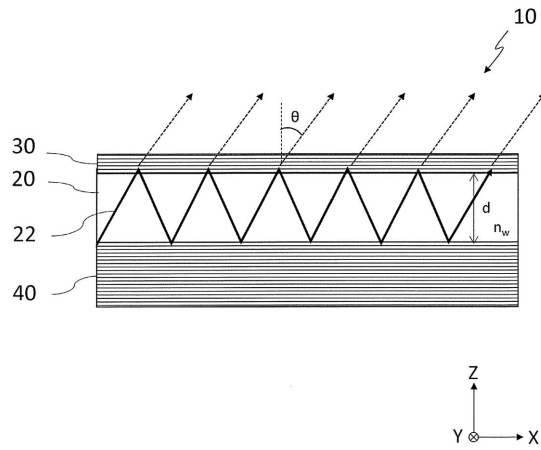
| | | |
|---------|-------------------|----|
| 2 0 n | : 非導波領域 | |
| 2 2 | : 光 | |
| 2 3 | : 液晶材料 | |
| 2 4 | : 誘電体部材 | |
| 3 0 | : 第 1 のミラー | |
| 3 2 | : 第 1 の反射面 | |
| 4 0 | : 第 2 のミラー | |
| 4 2 | : 第 2 の反射面 | |
| 5 0 a | : 絶縁層 | |
| 5 0 b | : 絶縁層 | 10 |
| 6 0 a | : 電極層 | |
| 6 0 a 1 | : 第 1 の電極 | |
| 6 0 a 2 | : 第 2 の電極 | |
| 6 0 a 3 | : 第 3 の電極 | |
| 6 0 b | : 電極層 | |
| 6 0 b 1 | : 第 1 の電極 | |
| 6 0 b 2 | : 第 2 の電極 | |
| 6 0 b 3 | : 第 3 の電極 | |
| 6 2 A | : 電極 | |
| 6 2 B | : 電極 | 20 |
| 7 0 | : 支持部材 | |
| 8 0 | : 位相シフタ | |
| 8 0 A | : 位相シフタアレイ | |
| 9 0 | : 光分岐器 | |
| 1 0 0 | : 光スキャンデバイス、光デバイス | |
| 1 0 1 | : 方向 | |
| 1 0 2 | : 方向 | |
| 1 1 0 | : 第 1 駆動回路 | |
| 1 3 0 | : 光源 | |
| 2 1 0 | : 第 2 駆動回路 | 30 |
| 3 0 0 | : L i D A R システム | |
| 3 1 0 | : ビームスポット | |
| 4 0 0 | : 光検出器 | |
| 5 0 0 | : 制御ユニット、制御回路 | |
| 6 0 0 | : 信号処理回路 | |

【図面】

【図 1】

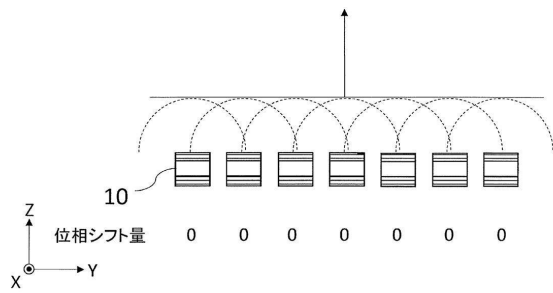


【図 2】

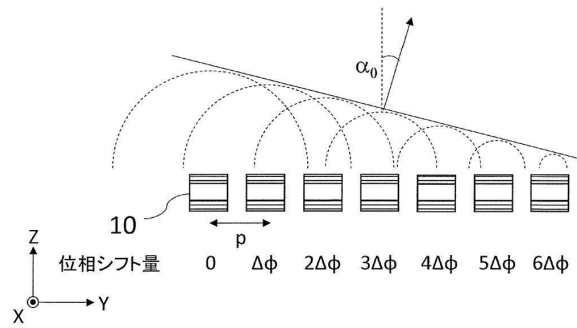


10

【図 3 A】



【図 3 B】



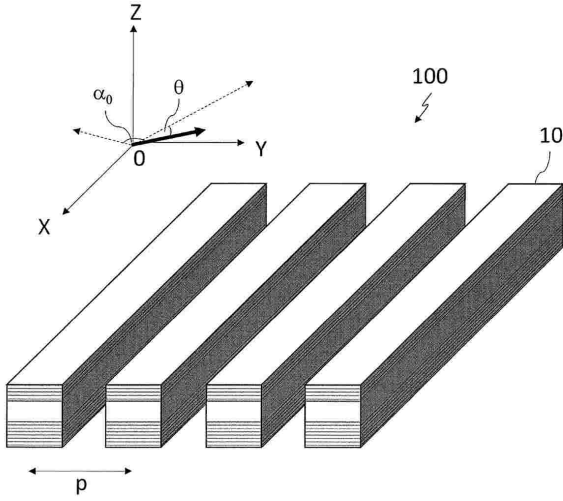
20

30

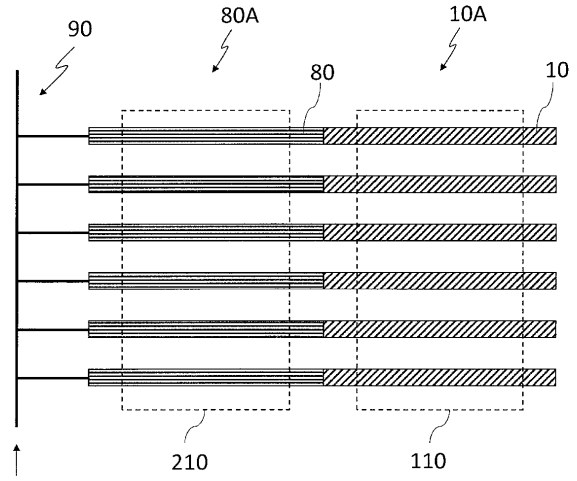
40

50

【 図 4 】

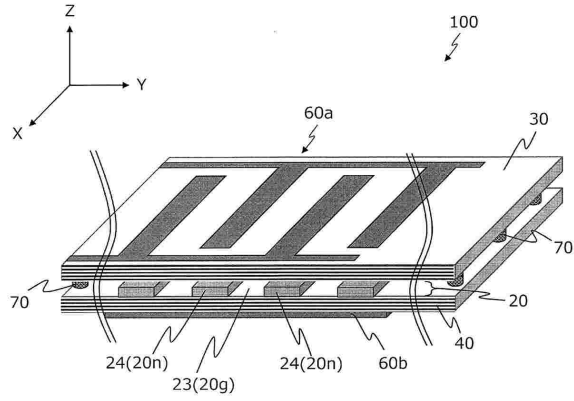


【 図 5 】

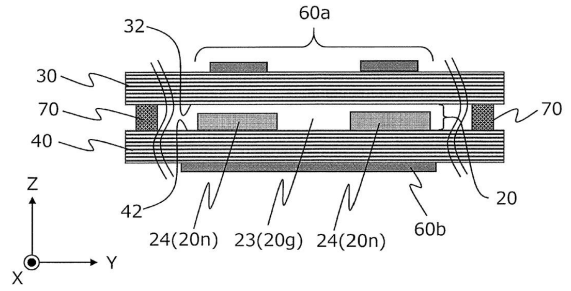


10

【 図 6 A 】



【 図 6 B 】



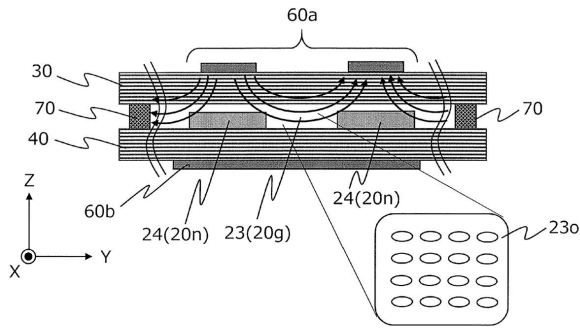
20

30

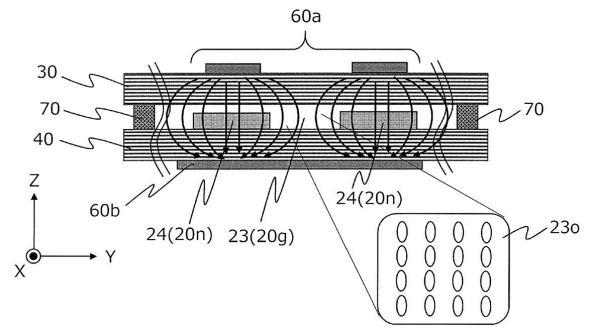
40

50

【図 7 A】

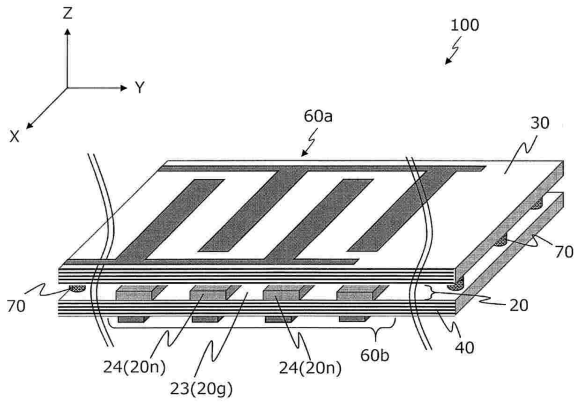


【図 7 B】

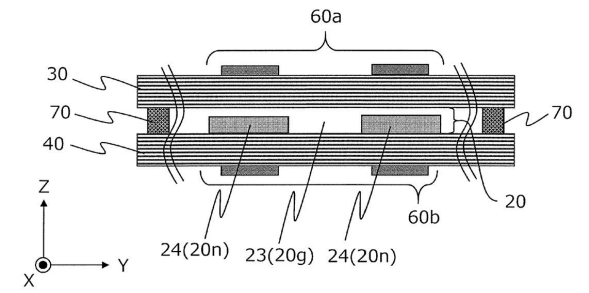


10

【図 8 A】

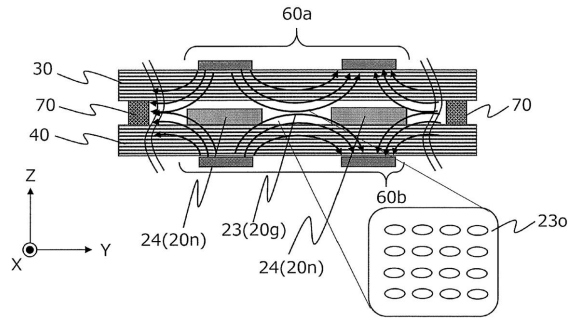


【図 8 B】

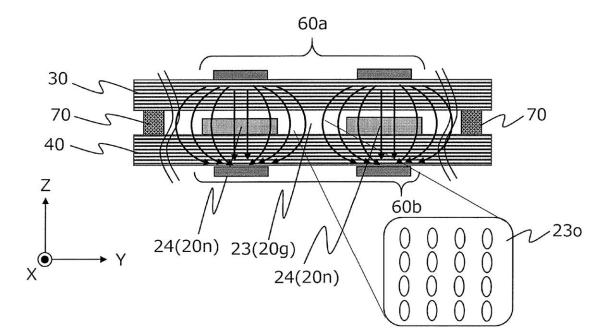


20

【図 9 A】



【図 9 B】

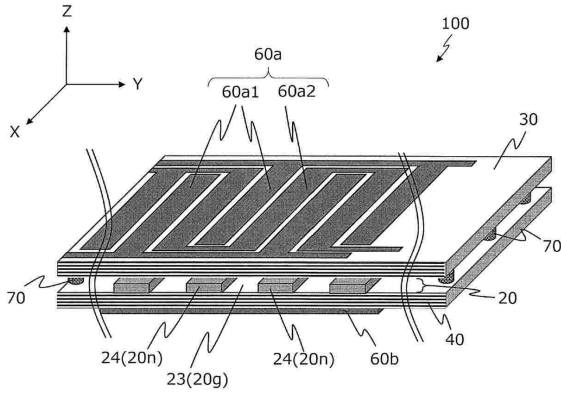


30

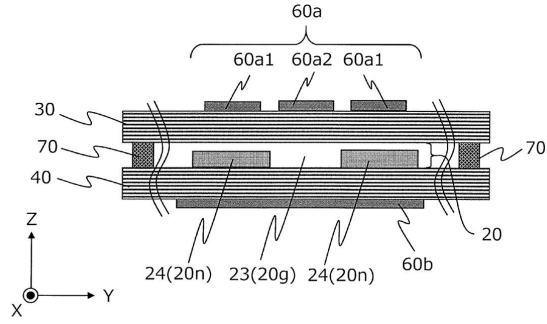
40

50

【図10A】

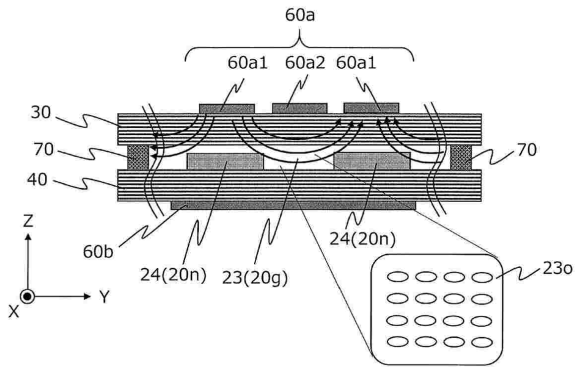


【図10B】

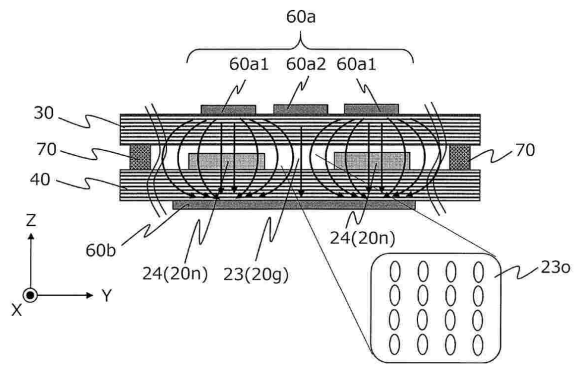


10

【図11A】

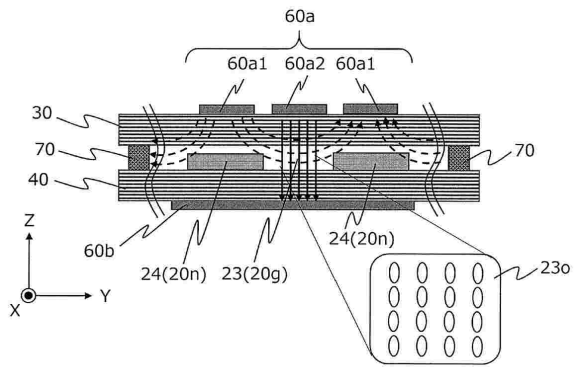


【図11B】

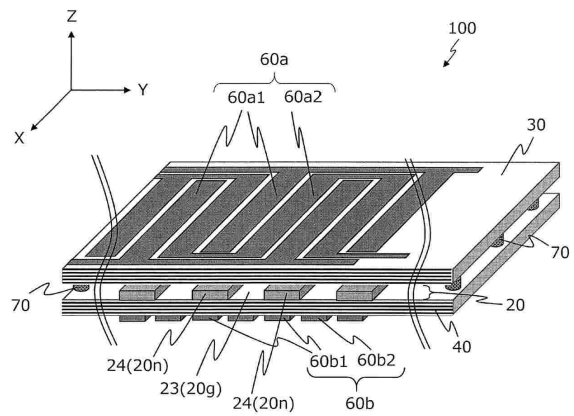


20

【図11C】



【図12A】

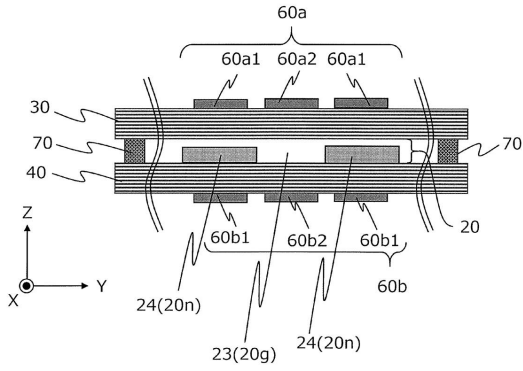


30

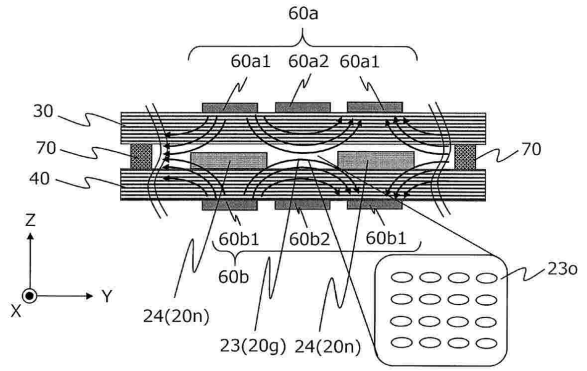
40

50

【図 1 2 B】

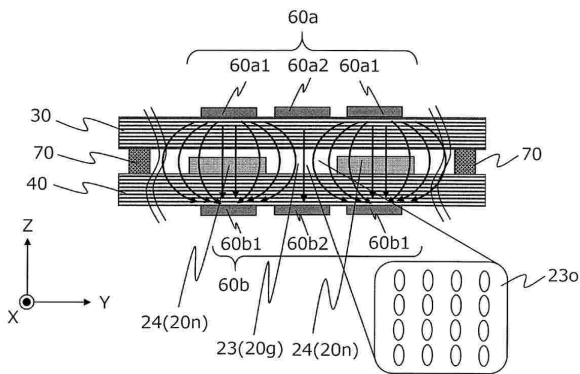


【図 1 3 A】

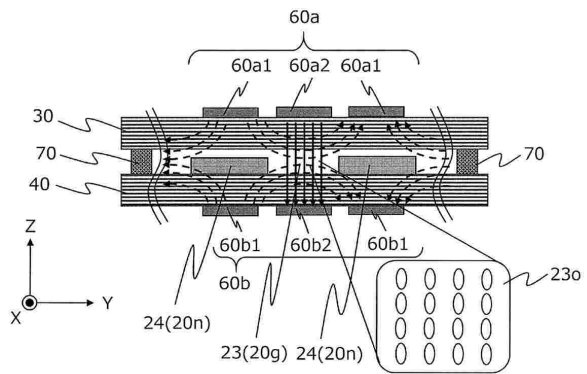


10

【図 1 3 B】

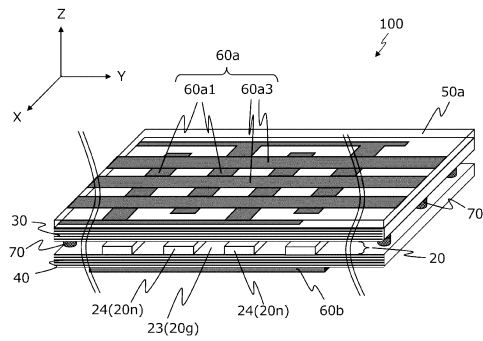


【図 1 3 C】

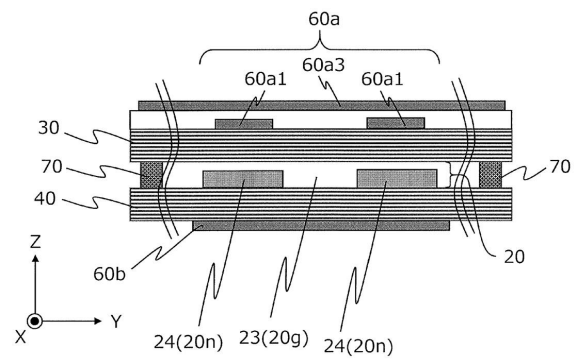


20

【図 1 4 A】



【図 1 4 B】

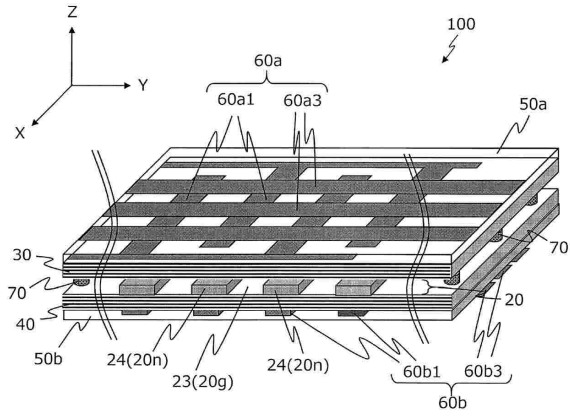


30

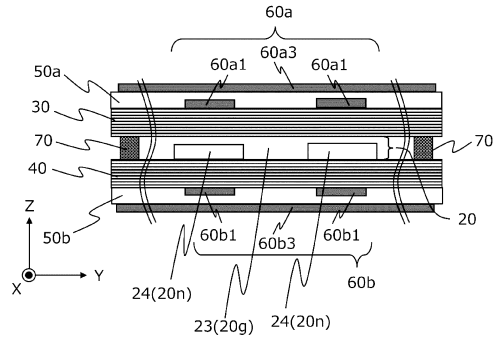
40

50

【図 15 A】

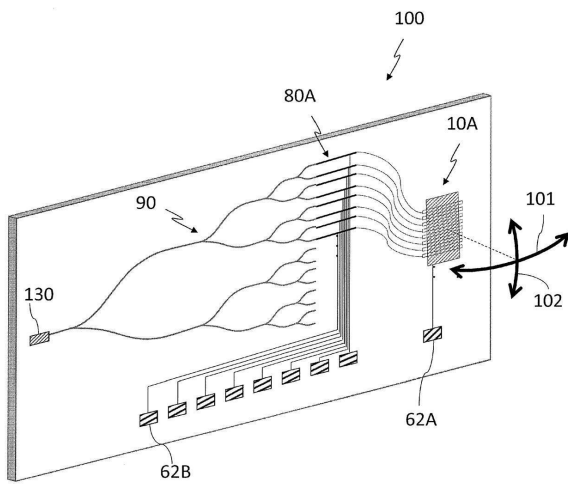


【図 15 B】

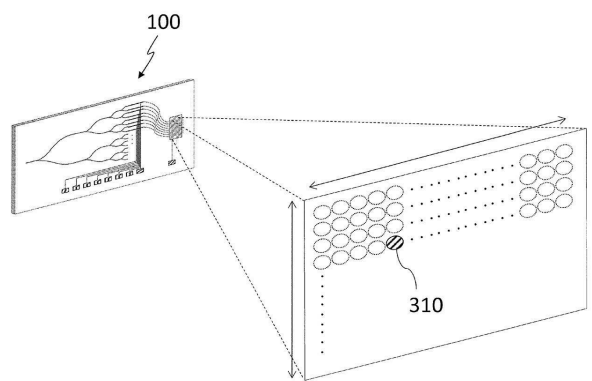


10

【図 16】



【図 17】



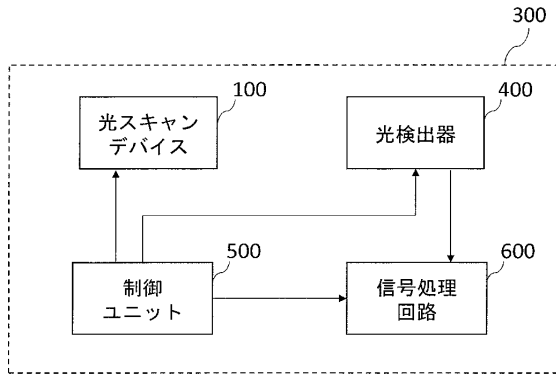
20

30

40

50

【図 18】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (74)代理人 100202197
弁理士 村瀬 成康
- (74)代理人 100218981
弁理士 武田 寛之
- (72)発明者 佃 雅彦
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 野村 幸生
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 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 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
- 審査官 大西 孝宣
- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 8 / 1 9 3 7 2 3 (W O , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 3 6 3 8 2 7 (U S , A 1)
特開 2 0 0 3 - 2 4 1 2 4 0 (J P , A)
米国特許第 0 8 9 9 5 0 3 8 (U S , B 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 2 9 9 3 9 4 (U S , A 1)
GU, Xiaodong et al. , Electro-Thermal Beam Steering Using Bragg Reflector Waveguide Amplifier , Japanese Journal of Applied Physics , 日本 , 日本応用物理学会 , 2012年 , Vol. 51 , p. 020206-1 - 020206-3 , DOI: 10.1143/JJAP.51.020206
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 2 F 1 / 2 9 5
G 0 2 F 1 / 1 3