

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年5月27日(27.05.2022)



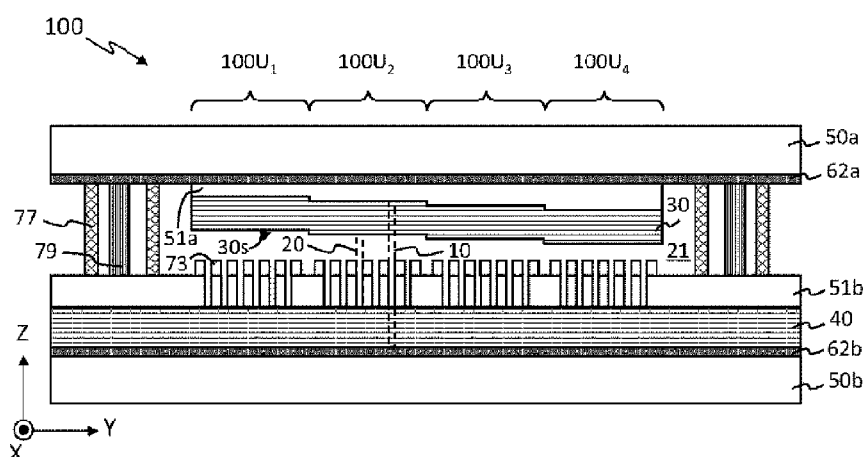
(10) 国際公開番号

WO 2022/107397 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/295 (2006.01) *G02B 6/122* (2006.01)
G01S 7/481 (2006.01) *G02B 6/124* (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/028693
- (22) 国際出願日: 2021年8月3日(03.08.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2020-192981 2020年11月20日(20.11.2020) JP
- (71) 出願人: パナソニックIPマネジメント株式会社(PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 佃 雅彦(TSUKUDA Masahiko). 橋谷 享(HASHIYA Akira). 中村 和樹(NAKAMURA Kazuki). 稲田 安寿(INADA Yasuhisa).
- (74) 代理人: 鎌田 健司, 外(KAMATA Kenji et al.); 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 パナソニックIPマネジメント株式会社内 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: OPTICAL DEVICE AND OPTICAL DETECTION SYSTEM

(54) 発明の名称: 光デバイスおよび光検出システム



(57) Abstract: This optical device is provided with multiple optical waveguide units (100U₁, 100U₂, 100U₃, 100U₄) which are aligned in a first direction (the Y direction). Each of the multiple optical waveguide units (100U₁, 100U₂, 100U₃, 100U₄) is provided with a first mirror (30) with a first reflective surface (30s), a second mirror (40) with a second reflective surface (40s) facing the first reflective surface, and at least one optical waveguide region (20) positioned between the first mirror (30) and the second mirror (40). The distance between the first reflective surface (30s) and the second reflective surface (40s) is different for each of the optical waveguide units (100U₁, 100U₂, 100U₃, 100U₄).



WO 2022/107397 A1

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 光デバイスは、第1の方向(Y方向)に沿って並ぶ複数の光導波路ユニット(100U₁、100U₂、100U₃、100U₄)を含む。前記複数の光導波路ユニット(100U₁、100U₂、100U₃、100U₄)の各々は、第1反射面(30s)を有する第1ミラー(30)と、前記第1反射面に対向する第2反射面(40s)を有する第2ミラー(40)と、前記第1ミラー(30)と前記第2ミラー(40)との間に位置する少なくとも1つの光導波領域(20)と、を備える。前記第1反射面(30s)と前記第2反射面(40s)との距離は、前記光導波路ユニット(100U₁、100U₂、100U₃、100U₄)ごとに異なっている。

明 細 書

発明の名称：光デバイスおよび光検出システム

技術分野

[0001] 本開示は、光デバイスおよび光検出システムに関する。

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。

[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。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：国際公開第2013/168266号

特許文献2：特表2016-508235号公報

特許文献3：特開2013-16591号公報

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、光によるスキャンを実現し得る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の方向に沿って並ぶ複数の光導波路ユニットを含む光デバイスであって、前記複数の光導波路ユニットの各々は、第1反射面を有する第1ミラーと、前記第1反射面に対向する第2反射面を有する第2ミラーと、前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間に位置する少なくとも1つの光導波領域と、を備え、前記第1反射面と前記第2反射面との距離は、前記光導波路ユニットごとに異なっている。

[0009] 本開示の包括的または具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な記録ディスク等の記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意の組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばCD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory) 等の不揮発性の記録媒体を含み得る。装置は、1つ以上の装置で構成されてもよい。装置が2つ以上の装置で構成される場合、当該2つ以上の装置は、1つの機器内に配置されてもよく、分離した2つ以上の機器内に分かれて配置されてもよい。本明細書および特許請求の範囲では、「装置」とは、1つの装置を意味し得るだけでなく、複数の装置からなるシステムも意味し得る。

発明の効果

[0010] 本開示の一態様によれば、比較的簡単な構成で、光による1次元スキャンまたは2次元スキャンを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、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。

[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、本開示の実施形態による光デバイスの例を模式的に示す平面図である。

[図6B]図6Bは、図6Aに示す構造から上部構造体を除いた状態を示す平面図である。

[図6C]図6Cは、図6Bに示す第2光導波路ユニットの一部を拡大した平面図である。

[図7A]図7Aは、図6Aに示す上部構造体と下部構造体とを貼り合わせる前の状態における、図6AのA-A線断面の構造を模式的に示す図である。

[図7B]図7Bは、図6Aに示す上部構造体と下部構造体とを貼り合わせる前の状態における、図6AのB-B線断面の構造を模式的に示す図である。

[図7C]図7Cは、図6Aに示す上部構造体と下部構造体とを貼り合わせる前の状態における、図6AのC-C線断面の構造を模式的に示す図である。

[図8A]図8Aは、図6Aに示す上部構造体と下部構造体とが貼り合わせられた状態における、図6AのA-A線断面の構造を模式的に示す図である。

[図8B]図8Bは、図6Aに示す上部構造体と下部構造体とが貼り合わせられた状態における、図6AのB-B線断面の構造を模式的に示す図である。

[図8C]図8Cは、図6Aに示す上部構造体と下部構造体とが貼り合わせられた状態における、図6AのC-C線断面の構造を模式的に示す図である。

[図8D]図8Dは、図8Cに示す第2光導波路ユニットを拡大した断面図である。

[図9]図9は、光デバイスからの光が出射される様子を模式的に示す断面図で

ある。

[図10]図10は、光デバイスから出射される光の出射角度と、光導波領域の厚さとの関係を示すグラフである。

[図11]図11は、本実施形態による光デバイスの例を模式的に示す平面図である。

[図12]図12は、本実施形態による光デバイスを用いた広範囲な光スキャンの例を模式的に示す斜視図である。

[図13A]図13Aは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13B]図13Bは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13C]図13Cは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13D]図13Dは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13E]図13Eは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13F]図13Fは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13G]図13Gは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13H]図13Hは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13I]図13Iは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13J]図13Jは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13K]図13Kは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13L]図13Lは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13M]図13Mは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図13N]図13Nは、上部構造体の製造工程の例を説明するための図である。

[図14A]図14Aは、Z方向から見たときの、本変形例による光デバイスの例を模式的に示す平面図である。

[図14B]図14Bは、図14Aに示す構造から上部構造体を除去した状態を示す平面図である。

[図14C]図14Cは、図14AのA-A線断面の構造を模式的に示す図である。

[図15]図15は、回路基板上に図11に示す構成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16]図16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17]図17は、測距画像を生成することが可能なL i D A R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

[0012] 以下で説明される実施形態は、いずれも包括的または具体的な例を示すものである。以下の実施形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置および接続形態、ステップ、およびステップの順序は、一例であり、本開示の技術を限定する趣旨ではない。以下の実施形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。さらに、各図において、実質的に同一または類似の構成要素には同一の符号が付されている。重複する説明は省略または簡略化されることがある。

[0013] (本開示の基礎となった知見)

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。

[0014] 本発明者は、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。

[0015] 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。

[0016] 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トを接続し、位相シフト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。

[0017] 本発明者は、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。

[0018] 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。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つを同期して同量だけ変化させることにより、2次元的なスキャンを行うことができる。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。

[0019] 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つまたはすべ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。

[0020] 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タ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。

[0021] 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。

[0022] 以下、光デバイスの基本的な構成例およびその動作原理を説明する。

[0023] <光スキャンデバイスの基本的な構成例>

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。

[0024] 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。

[0025] 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。

[0026] 図1は、光スキャンデバイス100の構成を模式的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、X方向に延びた形状を有する。複数の導波路素子10は、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、X方向に光を伝搬させながら、XY平面に平行な仮想的な平面に交差する方向D3に光を出射させる。本実施形態では、導波路素子10が延びる方向と導波路素子10の配列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。

[0027] 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、本実施形態が現実に実施されるとき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。

[0028] 複数の導波路素子10のそれぞれは、互いに対向する第1ミラー30およ

び第2ミラー40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、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、X方向に延びた形状を有している。

[0029] なお、後述するように、複数の導波路素子10の複数の第1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ミラー30が他の第1ミラー30と別体に構成されているか、(2)各第2ミラー40が他の第2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、物理的に空間を隔てて配置されていることのみならず、間に屈折率が異なる材料を隔てて分離されていることも含む。

[0030] 第1ミラー30の反射面と第2ミラー40の反射面とはほぼ平行に対向している。2つのミラー30および40のうち、少なくとも第1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ミラー30は、当該光について、第2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。

[0031] 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。

[0032] 本発明者は、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1

0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。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 以下、光スキャンデバイス100の動作原理を説明する。

[0036] <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。

る。導波路素子10において、第1ミラー30と第2ミラー40が光導波層20を挟むように配置されている。第1ミラー30は第1反射面30sを有する。第2ミラー40は、第1反射面30sに対向する第2反射面40sを有する。光導波層20のX方向における一端から導入された光20L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ミラー30の第1反射面30s、および下面（図2における下側の表面）に設けられた第2ミラー40の第2反射面40s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ミラー30の光透過率は第2ミラー40の光透過率よりも高い。このため、主に第1ミラー30から光の一部を出力することができる。

[0037] 一般的な光ファイバなどの導波路では、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。

[0038] 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。

[0039]

[数1]

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

[0040] 式(1)からわかるように、空気中での光の波長 λ 、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。

[0041] 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 λ 、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。

[0042] そこで、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 λ 、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つを制御することにより、光の出射方向を制御する。光の波長 λ 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 λ は、特に限定されない。例えば、波長 λ 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 (すなわち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 λ は、光ファイバまたは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。

- 。
- [0043] 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。
- [0044] 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 λ 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。
- [0045] 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いてもよい。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。
- [0046] 光導波層20の厚さを調整するために、例えば、ミラー30およびミラー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ミラー30とミラー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。
- [0047] <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。
- [0048] 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3A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3A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3A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。

[0049] 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3B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（ $\Delta\phi$ ）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 $\Delta\phi$ 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。隣り合う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。

[0050] [数2]

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

[0051] 図2に示す例において、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3Aおよび図3Bに示す例において、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、 $\theta = 0^\circ$ である。しかし、一般に、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、 $\theta \neq 0^\circ$ および $\alpha_0 \neq 0^\circ$ である。

[0052] 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。 θ は、光の出射方向とYZ平面とがなす角度である。 θ 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。 α_0 は式(2)を満たす。

[0053] <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。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」とも称する。

[0054] 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、すべての位相シフタ80が同じ伝搬特性を有し、すべての導波路素子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70aと、各位相シフタ80を駆動する第2駆動回路70b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70aと第2駆動

回路70b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70a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70bは、第2調整素子の1つの要素として機能する。

[0055] 第1駆動回路70a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70bは、各位相シフタ80における光導波層20の屈折率を変化させることにより、光導波層20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。

[0056] 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、すべての位相シフタ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70b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。

[0057] 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の全体を本明細書に援用する。

[0058] <貼り合わせによる光デバイスの製造>

光デバイス100は、例えば、第1ミラー30を備える上部構造体と、第2ミラー40を備える下部構造体とを貼り合わせることによって製造され得る。貼り合わせには、例えば、紫外線硬化樹脂または熱硬化樹脂などのシー

ル部材が用いられ得る。上部構造体と下部構造体との間に、前述の光導波層に相当する領域が形成される。当該領域を「光導波領域」と称する。電圧印加による光スキャンを可能にするために、光導波領域は、例えば液晶材料を含み得る。液晶材料を光デバイス100に注入するために、例えば真空封入が利用され得る。上記のシール部材によって囲まれた空間に液晶材料が注入され得る。そのような方法によれば、液晶材料の注入の際に真空漏れを防ぐことができる。

[0059] この貼り合わせによる製法では、貼り合わせの精度に依存して、上部構造体と下部構造体との間隔が設計値通りにならず誤差が生じ得る。当該誤差に起因して、製造された光デバイスは、例えば出射角度および／または出射光の強度に関して、設計通りの性能を実現できない可能性がある。

[0060] 本開示の実施形態による光デバイスは、この課題を解決するために、以下の構成を備える。光デバイスは、複数の光導波路ユニットを含む。複数の光導波路ユニットの各々は、第1ミラー30と、第2ミラー40と、それらの間に位置する少なくとも1つの光導波領域とを含む。第1ミラー30の反射面30sと第2ミラー40の反射面40sとの距離は、光導波路ユニットごとに異なっている。各光導波路ユニットにおける第1ミラー30の反射面30sと第2ミラー40の反射面40sとの距離（以下、「ミラー間隔」とも称する。）は、光導波路ユニットごとにわずかに異なるように設計され得る。例えば、ミラー間隔の設計値が光導波路ユニットごとに一定の量 Δd ずつ異なるように、各光導波路ユニットが設計され得る。 Δd は、後に詳しく説明するように、光導波路ユニットの個数、および許容される誤差の大きさの最大値に応じて適切な値に設定される。そのような設計により、ある光導波路ユニットについては製造誤差に起因してミラー間隔が許容範囲から外れたとしても、他の少なくとも1つの光導波路ユニットにおいて、ミラー間隔が許容範囲内に収まる可能性を高くすることができる。複数の光導波路ユニットのうち、ミラー間隔が許容範囲内に収まっている光導波路ユニットを選択的に使用することにより、設計通りに光を光デバイス100から出射するこ

とができる。

[0061] 以下に、本開示の実施形態による光デバイスおよび光検出システムの概要を説明する。

[0062] 第1の項目に係る光デバイスは、第1の方向に沿って並ぶ複数の光導波路ユニットを含む。前記複数の光導波路ユニットの各々は、第1反射面を有する第1ミラーと、前記第1反射面に対向する第2反射面を有する第2ミラーと、前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間に位置する少なくとも1つの光導波領域と、を備える。前記第1反射面と前記第2反射面との距離は、前記光導波路ユニットごとに異なっている。

[0063] この光デバイスでは、製造誤差が生じて、複数の光導波路ユニットの少なくとも1つにおいて、第1ミラーと第2ミラーとの間隔が許容範囲内に収まる可能性を高くすることができる。

[0064] 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、前記複数の光導波路ユニットの少なくとも1つが、前記光導波領域に光学的に結合され、前記光導波領域に光を入力する少なくとも1つの光入力導波路を備える。

[0065] この光デバイスでは、複数の光導波路ユニットの各々における光導波領域に光を入力することができる。

[0066] 第3の項目に係る光デバイスは、第2の項目に係る光デバイスにおいて、前記光入力導波路が、モードコンバータを介して前記光導波領域に接続される。

[0067] この光デバイスでは、モードコンバータにより、光入力導波路から光導波領域への光結合の効率を向上させることができる。

[0068] 第4の項目に係る光デバイスは、第3の項目に係る光デバイスにおいて、前記モードコンバータが、グレーティングを含む。前記グレーティングは、前記第1の方向に交差する第2の方向に沿って屈折率が周期的に変化する構造を備える。

[0069] この光デバイスでは、グレーティングの構成を適切に設計することにより

、光入力導波路から光導波領域への光結合の効率を向上させることができる。

[0070] 第5の項目に係る光デバイスは、第3または4の項目に係る光デバイスにおいて、前記複数の光導波路ユニットの少なくとも1つにおける前記光入力導波路から前記光導波領域への前記モードコンバータを介した光結合の効率が80%以上である。

[0071] この光デバイスでは、複数の光導波路ユニットの少なくとも1つにおける光導波路領域に高い効率で光を結合させることができる。

[0072] 第6の項目に係る光デバイスは、第5の項目に係る光デバイスにおいて、前記複数の光導波路ユニットの前記少なくとも1つに隣り合う光導波路ユニットにおける前記光結合の効率が80%未満である。

[0073] この光デバイスでは、複数の光導波路ユニットのうち、一部の光導波路ユニットでのみ、光導波路領域に高い効率で光を結合させることができる。

[0074] 第7の項目に係る光デバイスは、第1から第6の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記第1反射面と前記第2反射面との前記距離が、前記第1の方向に沿って単調に変化する。

[0075] この光デバイスでは、多段構造を有するミラーにより、第1ミラーと第2ミラーとの間隔を光導波路ユニットごとに異ならせることができる。

[0076] 第8の項目に係る光デバイスは、第7の項目に係る光デバイスにおいて、前記第1反射面と前記第2反射面との前記距離が、前記第1の方向に沿って一定量ずつ変化する。

[0077] この光デバイスでは、多段構造を有するミラーを容易に作製することができる。

[0078] 第9の項目に係る光デバイスは、第1から第8の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記第1ミラーが、前記第2ミラーよりも高い透過率を有する。

[0079] この光デバイスでは、光導波領域を伝搬する光の一部を、第1ミラーを介して外部に出射させることができる。

- [0080] 第10の項目に係る光デバイスは、第9の項目に係る光デバイスにおいて、前記複数の光導波路ユニットの各々が、第1電極および第2電極を含み、前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間に液晶材料を含む。前記光導波領域は前記液晶材料で満たされている。前記第1電極および前記第2電極に印加される電圧を変化させることにより、前記光導波領域から前記第1ミラーを介して出射する光の方向、または、前記第1ミラーを介して前記光導波領域に取り込まれる光の入射方向が変化する。
- [0081] この光デバイスでは、第1電極と第2電極との間に電圧を印加することにより、第1ミラーを介して出射する光の方向、または第1ミラーを介して前記光導波領域に取り込まれる光の入射方向を変化させることができる。
- [0082] 第11の項目に係る光デバイスは、第1から第10の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記複数の光導波路ユニットの各々に含まれる前記第1ミラーを備える第1構造体と、前記複数の光導波路ユニットの各々に含まれる前記第2ミラーを備える第2構造体と、前記第1構造体および前記第2構造体によって挟持され、前記第1反射面と前記第2反射面との前記距離を規定する少なくとも1つの支持部材と、を備える。
- [0083] この光デバイスでは、支持部材を介して第1構造体と第2構造体とを貼り合わせることにより、第1反射面と第2反射面とをほぼ平行にすることができる。
- [0084] 第12の項目に係る光デバイスは、第11の項目に係る光デバイスにおいて、前記支持部材が、弾性材料から形成されている。
- [0085] この光デバイスでは、弾性材料から形成された支持部材により、第1反射面と第2反射面をほぼ平行にすることができる。
- [0086] 第13の項目に係る光デバイスは、第1から第12の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記複数の光導波路ユニットのうちの少なくとも1つに含まれる前記光導波領域に光を選択的に供給することが可能な光スイッチを備える。
- [0087] この光デバイスでは、複数の光導波路ユニットの少なくとも1つを選択的

に使用することができる。

[0088] 第14の項目に係る光デバイスは、第1から第13の項目のいずれかに係る光デバイスにおいて、前記複数の光導波路ユニットのうち、一部の光導波路ユニットのみに光が供給され、他の光導波路ユニットには光が供給されない。

[0089] この光デバイスでは、一部の光導波路ユニットのみが使用される。

[0090] 第15の項目に係る光デバイスは、第14の項目に係る光デバイスにおいて、前記一部の光導波路ユニットにおける前記光導波領域への光結合の効率が80%以上である。

[0091] この光デバイスでは、光導波領域への光結合の効率が80%以上である光導波路ユニットのみを使用することができる。

[0092] 第16の項目に係る光デバイスは、第1から第15の項目のいずれかに係る光デバイスと、前記光デバイスから出射され、対象物から反射された光を検出する光検出器と、前記光検出器の出力に基づいて、距離分布データを生成する信号処理回路と、を備える。

[0093] この光検出システムでは、距離画像を生成することができる。

[0094] 本開示において、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部、またはブロック図における機能ブロックの全部または一部は、例えば、半導体装置、半導体集積回路（IC）、またはLSI（large scale integration）を含む1つまたは複数の電子回路によって実行され得る。LSIまたはICは、1つのチップに集積されてもよいし、複数のチップを組み合わせて構成されてもよい。例えば、記憶素子以外の機能ブロックは、1つのチップに集積されてもよい。ここでは、LSIまたはICと呼んでいるが、集積の度合いによって呼び方が変わり、システムLSI、VLSI（very large scale integration）、もしくはULSI（ultra large scale integration）と呼ばれるものであってもよい。LSIの製造後にプログラムされる、Field Programmable Gate Array

(FPGA)、またはLSI内部の接合関係の再構成またはLSI内部の回路区画のセットアップができるreconfigurable logic deviceも同じ目的で使うことができる。

[0095] さらに、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部の機能または動作は、ソフトウェア処理によって実行することが可能である。この場合、ソフトウェアは1つまたは複数のROM、光学ディスク、ハードディスクドライブなどの非一時的記録媒体に記録され、ソフトウェアが処理装置(processor)によって実行されたときに、そのソフトウェアで特定された機能が処理装置(processor)および周辺装置によって実行される。システムまたは装置は、ソフトウェアが記録されている1つまたは複数の非一時的記録媒体、処理装置(processor)、および必要とされるハードウェアデバイス、例えばインターフェースを備えていてもよい。

[0096] (実施形態)

図6Aは、本開示の実施形態による光デバイス100の例を模式的に示す平面図である。この光デバイス100は、上部構造体100aと下部構造体100bとを備える。図6Bは、図6Aに示す構造から上部構造体100aを除いた状態を示す平面図である。

[0097] 本明細書において、上部構造体100aが位置する側を「上部」、下部構造体100bが位置する側を「下部」とする。「上部」および「下部」の用語は、説明の便宜のために用いられており、光デバイス100の使用時における姿勢を制限するものではない。これらの用語に関わらず、光デバイス100の姿勢は、用途に応じて任意に決定され得る。本明細書において、上部構造体100aを「第1構造体」とも称し、下部構造体100bを「第2構造体」とも称する。

[0098] 図6Aおよび図6Bに示すように、本実施形態の光デバイス100は、第1光導波路ユニット100U₁、第2光導波路ユニット100U₂、第3光導波路ユニット100U₃、および第4光導波路ユニット100U₄を備える。

以下、これらの光導波路ユニットを、区別せずに「光導波路ユニット100U」とも総称する。図6Aおよび図6Bに示す破線によって囲まれた領域に、第1光導波路ユニット100U₁から第4光導波路ユニット100U₄が配置されている。光導波路ユニット100Uの個数は4個に限定されず、2以上の任意の数でよい。

[0099] 図6Cは、図6Bに示す第2光導波路ユニット100U₂の一部を拡大した平面図である。

[0100] 図7A、図7B、および図7Cは、図6Aに示す上部構造体100aと下部構造体100bとを貼り合わせる前の状態における光デバイス100の断面構造を模式的に示す図である。図7Aから図7Cに示されている断面は、それぞれ、図6AのA-A線断面、B-B線断面、およびC-C線断面に相当する。図7Aから図7Cに示す下向きの矢印は、上部構造体100aが下部構造体100bに貼り合わせられることを表している。

[0101] 図8Aから図8Cは、上部構造体100aと下部構造体100bとが貼り合わせられた状態における光デバイス100の断面構造を模式的に示す図である。図8Aから図8Cは、それぞれ、図6AにおけるA-A線断面、B-B線断面、およびC-C線断面の構造を示している。図8Dは、図8Cに示す第2光導波路ユニット100U₂を拡大した断面図である。

[0102] 図7Aから図8Dに示すように、上部構造体100aは、第1基板50a、第1電極62a、誘電体層51a、および第1ミラー30を備える。第1基板50aに、第1電極62a、第1誘電体層51a、および第1ミラー30がこの順に設けられている。図8Cに示すように、誘電体層51aおよび第1ミラー30は、光導波路ユニット100Uの境界部分に段差を有する多段構造を備える。

[0103] 下部構造体100bは、第2基板50b、第2電極62b、第2ミラー40、第2誘電体層51b、複数の隔壁73、複数の弾性スペーサ77、シール部材79、および複数の光導波路11を備える。第2基板50b上には、第2電極62bが設けられている。第2電極62b上に第2ミラー40が設

けられている。第2ミラー40の反射面40sは、第1ミラー30の反射面30sに対向している。第2ミラー40上には、第2誘電体層51bが設けられている。第2誘電体層51bの一部が除去されてミラー40の反射面40sの一部が露出している。第2誘電体層51b上には、複数の隔壁73と、複数の弾性スペーサ77と、シール部材79と、複数の光導波路11とが設けられている。

[0104] 上部構造体100aおよび下部構造体100bは、例えば半導体プロセスによって製造することができる。半導体プロセスは、例えば、スパッタリングおよび蒸着などによる成膜、フォトリソグラフィ、およびエッチングなどの工程を含み得る。

[0105] 図7Aから図7Cに示すように、光デバイス100の製造工程において、上部構造体100aと下部構造体100bとが貼り合わせられる。さらに、図8Aから図8Cに示すように、上部構造体100aと下部構造体100bとで挟まれた空間が液晶材料21で満たされる。このようにして、光デバイス100が製造される。液晶材料21で満たされた空間の一部が光導波領域20である。後述するように、複数の弾性スペーサ77は、貼り合わせ工程において、第1基板50aと第2基板50bとを、所定の間隔で平行に配置することに役立つ。ただし、基板50aと基板50bとの間隔には誤差が生じ得る。この誤差に起因して、各光導波路ユニット100Uにおける第1ミラー30と第2ミラー40との間隔が許容範囲から外れる可能性がある。その場合、光導波路ユニット100Uから出射する光の方向または強度が設計値からずれることになり、所望の性能を実現できなくなる。

[0106] 図8Cおよび図8Dに示すように、第1ミラー30の反射面30sと第2ミラー40の反射面40sとの間に複数の光導波領域20が形成される。これらの光導波領域20は、隔壁73によって区画されている。各光導波領域20のZ方向における寸法、すなわち厚さは、第1ミラー30の反射面30sと第2ミラー40の反射面40sとの距離に等しい。各光導波領域20のY方向における寸法、すなわち幅は、その両側に位置する2つの隔壁73の

側面間の距離に等しい。第1ミラー30のうち、Z方向からみて光導波領域20に重なる部分と、第2ミラー40のうち、Z方向からみて光導波領域20に重なる部分と、光導波領域20とは、光導波路を形成する。当該光導波路は、前述の導波路素子10、すなわちスローライト導波路として機能する。以下の説明では、この光導波路を「光導波路10」と称する。

[0107] 図6Cおよび図8Dは、一例として、第2光導波路ユニット100U₂の構造を模式的に示している。他の光導波路ユニット100U₁、100U₃、100U₄も、ミラー間隔が異なる点を除けば、同様の構造を備える。各光導波路ユニット100Uは、図8Dに示すように、第1基板50a、第1電極62a、第1誘電体層51a、第1ミラー30、第2基板50b、第2電極62b、第2ミラー40、第2誘電体層51b、複数の光導波領域20、および複数の隔壁73を備える。各光導波路ユニット100Uは、さらに、図6Cに示すように、複数の光導波領域20に接続された複数の光導波路11を備える。なお、各光導波路ユニット100Uに含まれる第1ミラー30は、光デバイス100が備える第1ミラー30の一部である。各光導波路ユニット100Uに含まれる第2ミラー40、第1電極62a、第2電極62b、第1基板50a、第2基板50b、第1誘電体層51a、第2誘電体層51bについても同様である。各光導波路ユニット100Uに含まれる複数の光導波領域20は、光デバイス100が備える複数の光導波領域20の一部である。各光導波路ユニット100Uに含まれる複数の隔壁73および複数の光導波路11についても同様である。

[0108] 本実施形態の光デバイス100においては、ミラー30の反射面30sとミラー40の反射面40sとの距離、すなわちミラー間隔が光導波路ユニット100Uごとに異なっている。図8Cに示すように、第1光導波路ユニット100U₁のミラー間隔が最も広く、第2光導波路ユニット100U₂、第3光導波路ユニット100U₃、第4光導波路ユニット100U₄の順に、次第にミラー間隔が狭くなる。このような構造が実現されるように、第1誘電体層51aに複数の段差が形成されている。この段差により、第1ミラー30

0の表面にも同様の段差が生じ、ミラー間隔が光導波路ユニット100Uごとに異なる構造が実現される。各光導波路ユニット100Uのミラー間隔の設計値は、例えば一定の値 Δd ずつ異なる値に設定され得る。 Δd は、後に詳しく説明するように、光導波路ユニットの個数、および許容される誤差の大きさの最大値に応じて適切な値に設定される。そのような設計により、第1基板50aと第2基板50bとの間隔に誤差が生じたとしても、少なくとも1つの光導波路ユニット100Uにおいて、第1ミラー30の反射面30sと第2ミラー40の反射面40sとの距離を許容範囲に収められる可能性を高くすることができる。複数の光導波路ユニット100Uのうち、ミラー間隔が許容範囲内に収まっている光導波路ユニットを選択的に使用することにより、例えば出射角度および/または出射光の強度に関して、設計通りに光を光デバイス100から出射することができる。

[0109] 本実施形態においては、複数の光導波路ユニット100Uのうち、選択された一部の光導波路ユニットにのみ光を供給し、他の光導波路ユニットには光を供給しなくてもよい。当該一部の光導波路ユニットは、例えば光導波領域20への光結合効率が80%以上である光導波路ユニットである。あるいは、当該一部の光導波路ユニットは、スキャン可能な角度幅が30°以上である光導波路ユニットである。光が供給されない光導波路ユニット100Uはダミーであり、使用されない。光が供給されない光導波路ユニット100Uは、光を入力する光源から切り離されている。

[0110] なお、本実施形態における複数の光導波路ユニット100Uは、互いに繋がっており、単一の構造体を形成している。このような構造に限定されず、複数の光導波路ユニット100Uは、物理的に分離されていてもよい。図8Cに示すように、本実施形態における複数の光導波路ユニット100Uは、Y方向に沿って間隔をあけずに並んでいるが、間隔をあけて並んでもよい。各光導波路ユニット100UのY方向における寸法は均一であってもよいし、不均一であってもよい。光導波路ユニット100Uの個数は4個に限らず、2以上の任意の数でよい。光導波路ユニット100Uの個数は、例え

ば2個以上10個以下であり得る。

[0111] <光デバイス100の構成要素の詳細>

以下に、本実施形態による光デバイス100の構成をより詳しく説明する。ここより以下の説明において、「第1」および「第2」の用語は省略され得る。

[0112] 基板50aおよび50bのうち、光が出射される側の基板は、透光性を有する。基板50aおよび50bの両方が、透光性を有していてもよい。同様に、電極62aおよび62bのうち、光が出射される側の電極は、透光性を有する。電極62aおよび62bの両方が、透光性を有していてもよい。電極62aおよび62bの少なくとも一方は、例えば、透明電極から形成され得る。誘電体層51aおよび51bのうち、光が出射される側の誘電体層は、透光性を有する。誘電体層51aおよび51bの両方が、透光性を有していてもよい。図8Cに示す例では、上部構造体100aにおける誘電体層51a、電極62a、および基板50aを介して、複数の光導波路10から光が出射される。

[0113] 複数の隔壁73は、誘電体層51b上に設けられる。複数の隔壁73は、Y方向に並んでいる。複数の隔壁73の各々は、X方向に沿って延びた構造を有する。誘電体層51bのうち、Z方向から見た場合に複数の隔壁73の間に位置する部分の一部が除去される。その結果、ミラー40の反射面40sのうち、複数の部分が露出する。複数の露出した部分はY方向に並ぶ。複数の露出した部分の各々は、X方向に沿って延びる形状を有する。図8Cに示すように、誘電体層51bのうち、除去されなかった部分と、その直上の隔壁73とは、X方向に沿って延びる凸部を形成する。したがって、ミラー40上にはY方向に並ぶ複数の凸部が形成される。図8Cに示す例において、凸部の上面はミラー30の反射面に接触していないが、接触していてもよい。複数の凸部の間には複数の凹部が形成される。凹部もまたX方向に沿って延びる構造を有する。各凹部の深さ、すなわち各凹部の両側の凸部の高さは、例えば1 μ m以上10 μ m以下であり得る。ここで、凹部の深さ、およ

び凸部の高さは、図中のZ方向に沿って測ったそれぞれの寸法を意味する。

[0114] 複数の光導波領域20は、Z方向から見て、複数の凹部が位置する領域に規定される。光導波領域20は、ミラー30の反射面30s、ミラー40の反射面40s、隣り合う2つの凸部、および隣り合う2つの凸部とミラー30との間の空間によって包囲された領域である。凸部の上面がミラー30の反射面30sに接触する構成においては、ミラー30の反射面30s、ミラー40の反射面40s、および隣り合う2つの凸部によって囲まれた領域が光導波領域20である。光導波領域20は、液晶材料21を含む。本実施形態においては、液晶材料21が用いられるが、電圧の印加によって屈折率を変化させることが可能な他の種類の誘電体材料、例えば電気光学材料が用いられてもよい。反射面30sおよび／または反射面40sには、液晶材料の配向方向を規定する配向膜が形成されていてもよい。図8Dに示す例では、第2光導波路ユニット100U₂において、6個の光導波領域20がY方向に沿って配列されている。各光導波路ユニット100Uにおける光導波領域20の個数は6に限定されず、1以上の任意の数でよい。各光導波路ユニット100Uにおける光導波領域20の個数は、例えば1個以上128個以下であり得る。

[0115] 光導波領域20の屈折率は、隔壁73および誘電体層51bの屈折率よりも高い。光導波領域20内を伝搬する光は、光導波領域20の両側に位置する凸部には漏れない。光導波領域20内を伝搬する光は、光導波領域20と凸部との界面で全反射されるからである。凸部が存在する領域、および凸部とミラー30との間の領域を「非導波領域」と称することができる。複数の光導波領域20および複数の非導波領域が、ミラー30とミラー40との間でY方向に交互に並んでいる。この構成により、Y方向に並ぶ複数の光導波路10が形成される。

[0116] 電極62aおよび62bは、互いに対向し、光導波領域20を間接的に挟んでいる。「間接的に挟む」とは、他の部材を介して挟むことを意味する。本実施形態では、電極62aおよび62bの間には、ミラー30およびミラ

ー40が配置されている。電極62aとミラー30の位置関係は逆転していてもよい。その場合には、電極62aの表面に配向膜が形成されていてもよい。同様に、電極62bとミラー40の位置関係は逆転していてもよい。電極62aおよび62bに印加される電圧を調整することにより、液晶材料21の屈折率を調整することができる。当該電圧を変化させることにより、光導波路10から外部に出射される光の出射角度が変化する。

[0117] 複数の弾性スペーサ77は弾性材料から形成され、複数の光導波路10の周囲に位置する。図6Bに示す例では、複数の柱状の弾性スペーサ77が2次元的に配置されている。この配置は、規則的または周期的であってもよいし、不規則的であってもよい。図6Bに示す例では、弾性スペーサ77は、シール部材79によって囲まれた領域の内側および外側の両方に位置する。弾性スペーサ77は、当該領域の内側および外側の一方にのみ設けられていてもよい。このように、弾性スペーサ77は、当該領域の内側および外側の少なくとも一方に位置する。一部の弾性スペーサ77が、光導波層20内に設けられてもよい。弾性スペーサ77の個数は1以上の任意の数でよい。弾性スペーサ77は、シール部材79によって囲まれた領域の内側および／または外側において、1つの繋がった形状を有していてもよい。当該形状は、例えば、Z方向から見た場合に、直線状、曲線状、波線状、またはジグザグ線状の形状であり得る。

[0118] 図7Aから図7Cに示すように、上部構造体100aおよび下部構造体100bを貼り合わせる前の状態において、弾性スペーサ77のZ方向における寸法は、シール部材79のZ方向における寸法よりも大きい。したがって、上部構造体100aおよび下部構造体100bを貼り付ける際、上部構造体100aの電極62aは、下部構造体100bの弾性スペーサ77に最初に接触する。

[0119] 弾性スペーサ77では弾性変形が生じる。弾性体に力を加えてひずみが生じた場合、弾性率は、加えた力を生じたひずみで割ることによって定義される。弾性スペーサ77の弾性率は、例えばミラー30および隔壁73の弾性

率よりも小さい。すなわち、弾性スペーサ 77 は、ミラー 30 および隔壁 73 よりも変形しやすい。上部構造体 100 a および下部構造体 100 b を一定の圧力で貼り合わせたときに、弾性スペーサ 77 はバネのように作用して圧縮する。その結果、基板 50 a と基板 50 b とがほぼ平行になる。複数の弾性スペーサ 77 は、上部構造体 100 a および下部構造体 100 b によって挟持され、反射面 30 s と反射面 40 s との距離を規定する。図 8 C に示す例では、弾性スペーサ 77 は、上部構造体 100 a に含まれる電極 62 a と下部構造体 100 b に含まれる誘電体層 51 b とによって挟持される。本明細書では、弾性スペーサ 77 を「支持部材」とも称する。

[0120] 弾性スペーサ 77 がなければ、例えば電極 62 b とシール部材 79 とが最初に接触し、その接触箇所が支点になり、上部構造体 100 a が下部構造体 100 b に対して傾き得る。その結果、基板 50 a と基板 50 b とが平行にならない可能性がある。

[0121] 弾性スペーサ 77 によって基板 50 a と基板 50 b とがほぼ平行になる一方で、以下の理由により、基板 50 a と基板 50 b との間隔には誤差が生じ得る。1つの理由として考えられるのは、貼り合わせ前の弾性スペーサ 77 の Z 方向における寸法にばらつきが存在し得ることである。他の理由として考えられるのは、上部構造体 100 a および下部構造体 100 b を貼り合わせるときの圧力が変動することにより、弾性スペーサ 77 の変形量にばらつきが生じ得ることである。

[0122] シール部材 79 は、上部構造体 100 a と下部構造体 100 b との間隔を固定する。図 6 B に示すように、シール部材 79 は、Z 方向から見たときに、複数の光導波領域 20 および複数の隔壁 73 を囲む。シール部材 79 は、Y 方向に沿って延びる部分と、当該部分の両側から X 方向に沿って延びる部分とを含む。シール部材 79 は、誘電体層 51 b 上に配置され、Y 方向に沿って延びる部分が複数の光導波路 11 を跨ぐように設けられている。シール部材 79 の上面は、XY 平面に平行である。シール部材 79 のうち、誘電体層 51 b の直上に位置する部分の Z 方向における寸法は、図 8 B に示すよう

に、隔壁73、ミラー30、および誘電体層51aの厚さ（すなわちZ方向における寸法）の合計よりも大きい。シール部材79は、例えば、紫外線硬化樹脂などの光硬化樹脂、または熱硬化樹脂から形成され得る。硬化前の伸縮するシール部材79により、上部構造体100aと下部構造体100bとを隙間なく貼り合わせることができる。上部構造体100aと下部構造体100bとを貼り合わせた後に、シール部材79は光照射または加熱によって硬化される。基板50aと基板50bとの間隔を長期間維持できる部材であれば、シール部材79の材料は、光硬化樹脂または熱硬化樹脂である必要はない。液晶材料21は、例えば真空注入により、シール部材79によって囲まれた空間に注入され得る。当該空間に液晶材料21を注入することにより、液晶材料21の注入の際に真空漏れを防ぐことができる。

[0123] 複数の光導波路11は、それぞれ複数の光導波領域20に接続されている。光導波路11から光導波領域20に光が供給される。図8Aに示す例において、光導波路11は、誘電体層51b上に位置する。誘電体層51bのZ方向におけるサイズを調整することにより、光導波路11を伝搬する光を光導波路10に効率的に結合させることができる。誘電体層51bのZ方向におけるサイズは、例えば、光導波路11がZ方向における光導波領域20の中央付近に位置するように調整され得る。光導波路11は、全反射によって光を伝搬させる導波路である。このため、光導波路11の屈折率は、誘電体層51bの屈折率よりも高い。図6Aおよび図6Bに示す例において、各光導波路ユニット100Uにおいて、6個の光導波路11がY方向に配列されている。光導波路ユニット100Uにおける光導波路11の個数は6に限定されず、1以上の任意の数でよい。各光導波路ユニット100Uにおける光導波路11の個数は、例えば1個以上128個以下であり得る。なお、光導波路11は、全反射導波路に限らず、スローライト導波路であってもよい。

[0124] 各光導波路ユニット100Uにおける各光導波路11は、図6Cに示すように、複数の隔壁73のうちの隣り合う2つの隔壁の間に位置する先端部を備える。各光導波路11は、当該先端部において、グレーティング15を備

える。グレーティング15は、X方向に沿って表面の屈折率が周期的に変化する周期構造を備える。グレーティング15は、例えばX方向に周期的に並ぶ溝を含み得る。光導波路11を伝搬する光の伝搬定数は、光導波路10を伝搬する光の伝搬定数とは異なる。グレーティング15により、光導波路11を伝搬する光の一部が回折光に変換される。当該回折光の伝搬定数は、光導波路11を伝搬する光の伝搬定数が周期構造の逆格子分だけ、すなわち周期の逆数に 2π を掛けた値だけシフトした値に等しい。当該回折光の伝搬定数が光導波領域20を伝搬する光の伝搬定数と一致すれば、光導波路11を伝搬する光は光導波領域20に効率的に結合する。これら2つの伝搬定数が完全に一致しない場合でも、これら2つの伝搬定数の差を低減できれば、光導波路11から光導波領域20へのグレーティング15を介した光結合効率は向上する。当該光結合効率は、グレーティング15に含まれる溝の周期、デューティ比、および深さに依存する。光導波路11のうち、グレーティング15を含む先端部を別の構成要素と考えるもよい。本明細書では、グレーティング15に限らず、光結合効率を向上させる任意の構成を「モードコンバータ」と称する。そのような構成は、例えば、先端部が光導波領域20に向かって細くなるテーパ構造であってもよい。光導波路11は、モードコンバータを介して光導波領域20に接続される。

[0125] 各光導波路11は、Z方向から見たとき、基板50bとは重なるが、基板50aとは重ならない部分を含む。各光導波路11は、図6Cに示すように、当該重ならない部分において、グレーティング13を備えていてもよい。図6Cに示す例において、各光導波路11は、グレーティング15が設けられた先端部の反対側の先端部にグレーティング13を備える。光導波路11のうち、グレーティング13を含む部分を別の構成要素と考えるもよい。グレーティング13を介して入力された光は、より高い効率で光導波路11に結合させることができる。光導波路11は、本実施形態のように基板50bと重なるが基板50aとは重ならない部分を含んでいてもよいし、基板50aおよび基板50bの両方と重ならない部分を含んでいてもよい。このよう

に、光導波路 11 は、各基板の表面に垂直な方向から見た場合に、基板 50 a および基板 50 b の少なくとも一方と重ならない部分を備え得る。なお、光導波路 11 を用いずに、光導波領域 20 の端部に光源から光を直接入力してもよい。

[0126] <光導波領域 20 の厚さの設計範囲>

次に、図 9 および図 10 を参照して、光デバイス 100 から出射される光の出射角度と、光導波領域 20 の厚さとの関係、および光導波路 11 から光導波領域 20 への光結合効率と、光導波領域 20 の厚さとの関係を説明する。

[0127] 図 9 は、光デバイス 100 からの光が出射される様子を模式的に示す断面図である。図 9 に示すように、グレーティング 13 を介して入力された光が光導波路 11 を伝搬し、グレーティング 15 を介して光導波領域 20 に入力される。入力された光は、上部構造体 100 a を介して外部に出射される。図 9 に示す例において、光の出射方向は XZ 平面に平行であり、その出射角度は θ である。

[0128] 図 10 は、光デバイス 100 から出射される光の出射角度と、光導波領域 20 の厚さとの関係を示すグラフである。光導波領域 20 の厚さは、第 1 ミラー 30 と第 2 ミラー 40 との距離である。光導波領域 20 には複数の導波モードが存在する。図 10 は、第 7 次の導波モードについて計算された出射角度と厚さとの関係の例を示している。図 10 に示す例では、光導波領域 20 を構成する液晶材料の常光屈折率が 1.512 であり、異常光屈折率が 1.665 である。この場合、光導波領域 20 の屈折率は、液晶材料への電圧印加によって 1.512 から 1.665 の範囲で変化する。図 10 に示す例において、光導波領域 20 を伝搬する光の波長は 940 nm である。図 10 に示す実線は、光導波領域 20 の屈折率が上限値 1.665 である場合を表し、図 10 に示す破線は、光導波領域 20 の屈折率が下限値 1.512 である場合を表す。図 10 に示す実線と破線との間の角度範囲が、スキャン可能な出射角度の範囲である。スキャン可能な出射角度の範囲は、光導波領域 2

0の厚さに依存する。例えば、光導波領域20の厚さが $2.10\mu\text{m}$ である場合、スキャン可能な出射角度の範囲は 17° 以上 44° 以下の範囲である。この場合のスキャン可能な角度幅は 27° である。スキャン可能な角度幅が広いほど、多くの用途に光デバイス100を利用することができる。光デバイス100を例えば車載用のLiDARシステムに適用する場合、スキャン可能な角度幅は 30° 以上であることが望ましい。図10に示す例では、光導波領域20の屈折率が下限値 1.512 である場合、光導波領域20の厚さが $2.05\mu\text{m}$ 以下であれば光が出射されない。光導波領域20の屈折率を 1.512 よりも高くすれば、厚さが $2.05\mu\text{m}$ 以下の場合でも光を出射させることができる。しかし、出射角が 0° に近い場合、光導波領域20を伝搬する光の伝搬長が短くなる。短い伝搬長により、ミラー30の外側表面のうち、光が出射される領域のX方向における寸法は短くなる。このため、出射光が遠方において過度に広がる可能性がある。そこで、出射光が遠方において過度に広がることを抑制するために、本実施形態による光デバイス100では、出射角度が 5° を下回らないように光導波領域20の屈折率が調整される。図10に示す例において、光導波領域20の厚さが $2.020\mu\text{m}$ 以上 $2.075\mu\text{m}$ 以下である場合、スキャン可能な角度幅を 30° 以上にすることができる。図10において、その範囲が領域64として示されている。なお、目的および用途によっては、スキャン可能な角度幅は必ずしも 30° 以上である必要はない。

[0129] 光導波領域20の厚さは、光導波路11から光導波領域20への光結合効率にも影響を及ぼす。光導波路11から光導波領域20に光を効率的に結合させるために、光結合効率は例えば 80% 以上であることが望ましい。図9に示す例において、モードコンバータとして機能するグレーティング15は、例えば周期 670nm 、デューティ比 $1:1$ 、および深さ 45nm の溝を有する。図10において、領域66は、光結合効率を 80% 以上にできる光導波領域20の厚さの範囲($2.010\mu\text{m}$ 以上 $2.085\mu\text{m}$ 以下)範囲を示している。領域66において、スキャン可能な角度幅は必ずしも 30°

以上ではない。領域66における光導波領域20の厚さの範囲は、領域64における光導波領域20の厚さの範囲を含む。領域64と領域66とが重なる領域では、光結合効率が80%以上であり、かつ、スキャン可能な角度幅が30°以上である。図10に示す例では、30°以上のスキャン可能な角度幅が実現される場合、80%以上の光結合率も実現される。なお、目的および用途によっては、光結合効率は必ずしも80%以上である必要はない。

[0130] 80%以上の光結合効率、または80%以上の光結合効率に加えて30°以上のスキャン可能な角度幅を実現する場合、光導波領域20の厚さの範囲には、領域64または領域66の横幅のように許容幅がある。上部構造体100aおよび下部構造体100bの貼り合わせにおいて、基板50aと基板50bとの間隔には製造誤差が生じ得る。当該製造誤差を光導波領域20の厚さの許容幅以下にすることは必ずしも容易ではない。この課題を解決するために、本実施形態による光デバイス100では、図8Cに示すように、ミラー30の反射面30sとミラー40の反射面40sとの距離が、光導波路ユニット100Uごとに異なっている。各光導波路ユニット100Uの内部においては、反射面30sと反射面40sとの距離はほぼ均一である。図8Cに示す例において、複数の光導波路ユニット100Uにおける反射面30sと反射面40sとの距離は、Y方向に沿って一定量ずつ単調に変化する。図8Cに示す例において、第1光ユニット領域100U₁における反射面30sと反射面40sとの距離は、第2光ユニット領域100U₂における反射面30sと反射面40sとの距離よりも大きい。第2光ユニット領域100U₂における反射面30sと反射面40sとの距離は、第3光ユニット領域100U₃における反射面30sと反射面40sとの距離よりも大きい。第3光ユニット領域100U₃における反射面30sと反射面40sとの距離は、第4光ユニット領域100U₄における反射面30sと反射面40sとの距離よりも大きい。

[0131] 複数の光導波路ユニット100Uにおける反射面30sと反射面40sとの距離、すなわちミラー間隔は、Y方向に沿って一定量ずつ変化している必

要はない。ミラー間隔は、Y方向に沿って単調に変化している必要もない。言い換えれば、複数の光導波路ユニット100Uにおける反射面30sと反射面40sとの距離は、Y方向に沿って増加した後減少してもよいし、Y方向に沿って減少した後増加してもよい。

[0132] 図10に示す例において、80%以上の光結合効率を実現できる光導波領域20の厚さは、 $2.010\mu\text{m}$ 以上 $2.085\mu\text{m}$ 以下であり、その厚さの範囲の許容幅は75nmである。この場合、光導波領域20の厚さの中央設計値を $2.0475\mu\text{m}$ として、当該中央設計値が第2光導波路ユニット100U₂におけるミラー間隔の設計値と第3光導波路ユニット00U₃におけるミラー間隔の設計値との中間の値になるように各ユニットが設計され得る。さらに、複数の光導波路ユニット100Uにおけるミラー間隔が、例えばY方向に沿って75nmの許容幅の分だけ一定量ずつ変化するように設計され得る。この場合、第1光導波路ユニット100U₁における光導波領域20の厚さの設計値は $2.160\mu\text{m}$ であり、第2光導波路ユニット100U₂における光導波領域20の厚さの設計値は $2.085\mu\text{m}$ であり、第3光導波路ユニット100U₃における光導波領域20の厚さの設計値は $2.010\mu\text{m}$ であり、第4光導波路ユニット100U₄における光導波領域20の厚さの設計値は $1.935\mu\text{m}$ である。そのような構成により、基板50aと基板50bとの間隔の誤差がある程度大きくても、第1光導波路ユニット100U₁から第4光導波路ユニット100U₄の1つにおいて、80%以上の光結合効率を実現することができる。どの光導波路ユニット100Uが80%以上の光結合効率を実現できるかは、例えば光デバイス100の製造後に行われる試験によって特定することができる。80%以上の光結合効率を実現される光導波路ユニットが選択的に光スキャンに使用される。

[0133] 上記の例において、基板50aと基板50bとの間隔の誤差の絶対値が0nmよりも大きく75nm以下であれば、第2光導波路ユニット100U₂または第3光導波路ユニット100U₃において、80%以上の光結合効率を実現される。基板50aと基板50bとの間隔の誤差の絶対値が75nmより

も大きく150nm以下であれば、第1光導波路ユニット100U₁または第4光導波路ユニット100U₄において、80%以上の光結合効率が実現される。すなわち、基板50aと基板50bとの間隔の誤差の絶対値が0nmよりも大きく150nm以下であれば、第1光導波路ユニット100U₁から第4光導波路ユニット100U₄のいずれか1つにおいて、80%以上の光結合効率を実現することができる。ある光導波路ユニットにおいて光結合効率が80%以上である場合、その隣の光導波路ユニットにおいて光結合効率は80%未満である。

[0134] 80%以上の光結合効率に加えて30°以上のスキャン可能な角度幅を実現することもできる。図10に示す例において、80%以上の光結合効率に加えて30°以上のスキャン可能な角度幅を実現できる光導波領域20の厚さは、2.020μm以上2.075μm以下であり、その厚さの範囲の許容幅は55nmである。光導波領域20の厚さの中央設計値を2.0475μmとして、当該中央設計値が第2光導波路ユニット100U₂におけるミラー間隔の設計値と第3光導波路ユニット100U₃におけるミラー間隔の設計値との中間の値になるように各ユニットが設計され得る。さらに、複数の光導波路ユニット100Uにおけるミラー間隔が、Y方向に沿って55nmの許容幅の分だけ一定量ずつ変化するように設計され得る。そのような構成により、基板50aと基板50bとの間隔の誤差がある程度大きくても、第1光導波路ユニット100U₁から第4光導波路ユニット100U₄のいずれか1つにおいて、80%以上の光結合効率に加えて30°以上のスキャン可能な角度幅を実現することができる。80%以上の光結合効率に加えて30°以上のスキャン可能な角度幅が実現された光導波路ユニットが選択的に光スキャンに使用される。

[0135] 前述の例において、複数の光導波路ユニット100Uの個数が4個である場合、基板50aと基板50bとの間隔の誤差の絶対値の許容上限値は、上記の許容幅の2倍である。複数の光導波路ユニット100Uの個数が6個である場合、当該許容上限値は、上記の許容幅の3倍である。複数の光導波路

ユニット100Uの個数が2N個（Nは整数）である場合、当該許容上限値は、上記の許容幅のN倍である。複数の光導波路ユニット100Uの個数を増加させることにより、当該許容上限値を増加させることができる。

[0136] 前述の例では、複数の光導波路ユニット100Uの1つだけで、80%以上の光結合効率、または80%以上の光結合効率に加えて30°以上のスキャン可能な角度幅が実現される。目的および用途に応じたそのような性能は、複数の光導波路ユニットの2つ以上において実現されてもよい。本実施形態による光デバイス100によれば、基板50aと基板50bとの間隔に生じる製造誤差がある程度大きくても、複数の光導波路ユニットの少なくとも1つにおいて、そのような性能を実現することができる。

[0137] 前述の例において、光導波領域20の厚さの中央設計値は、第2光導波路ユニット100U₂のミラー間隔の設計値と第3光導波路ユニット00U₃のミラー間隔の設計値との中間の値に設定されているが、そのような例に限定されない。前述の例において、隣り合う2つの光導波路ユニットにおける光導波領域20の厚さの差は上記の許容幅に等しくなるように設計されている。隣り合う2つの光導波路ユニットにおける光導波領域20の厚さの差は上記の許容幅よりも小さく設計されていてもよいし、上記の許容幅よりも大きく設計されていてもよい。

[0138] <複数の光導波路ユニットへの選択的な光入力>

次に、図11および図12を参照して、本実施形態による光デバイス100に含まれる複数の光導波路ユニット100Uの少なくとも1つに光を選択的に供給する構成の例を説明する。

[0139] 図11は、本実施形態による光デバイス100の例を模式的に示す平面図である。図11に示す例において、光デバイス100は、各光導波路ユニット100Uにおいて、複数の光導波路10と、複数の光導波路10にそれぞれ接続された複数の光導波路11と、複数の光導波路11にそれぞれ接続された複数の位相シフタ80と、複数の光導波路10を駆動する第1駆動回路70aと、複数の光導波路11を駆動する第2駆動回路70bとを備える。

図11では、図8Aから図8Cに示す構成要素のうち、複数の光導波路10および複数の光導波路11以外の構成要素の図示が省略されている。図11に示す各光導波路ユニット100Uにおいて、第1駆動回路70aによって複数の光導波路10を駆動することにより、出射光の波数ベクトルのうち、X方向の成分が変化する。第2駆動回路70bによって複数の位相シフタ80を駆動することにより、出射光の波数ベクトルのうち、Y方向の成分が変化する。

[0140] 図11に示す例において、光デバイス100は、複数の光分岐器90および光スイッチ92を備える。各光分岐器90は、1つの光導波路ユニット100Uに含まれる複数の位相シフタ80に光を分岐して供給する。光スイッチ92は、不図示の光源から入力された光を複数の光分岐器90の少なくとも1つに選択的に供給する。その結果、光スイッチ92は、複数の光導波路ユニット100Uの少なくとも1つに含まれる複数の光導波領域20に入力光を選択的に供給することが可能である。

[0141] 光スイッチ92は、複数の光導波路ユニット100Uのうち、一部の光導波路ユニットにのみ光を供給し、他の光導波路ユニットには光を供給しない。当該一部の光導波路ユニットは、例えば光導波領域20への光結合効率が80%以上である光導波路ユニットである。あるいは、当該一部の光導波路ユニットは、スキャン可能な角度幅が 30° 以上である光導波路ユニットである。光が供給されない光導波路ユニット100Uはダミーであり、使用されない。光が供給されない光導波路ユニット100Uは、光スイッチ92に光を入力する光源から切り離されている。

[0142] 図12は、本実施形態による光デバイス100を用いた広範囲な光スキャンの例を模式的に示す斜視図である。図12に示すように、複数の光導波路ユニット100Uから出射される光のスキャン範囲は互いに異なる。図12に示す両矢印付きの扇型の形状は、各光導波路ユニット100Uから出射される光のスキャン範囲を表す。図12に示す例では、第1光導波路ユニット100U₁から第4光導波路ユニット100U₄のうち、第3光導波路ユニッ

ト100U₃において、30°以上のスキャン可能な角度幅が実現されているとする。第3光導波路ユニット100U₃以外の光導波路ユニットでは、30°以上のスキャン可能な角度幅が実現されないものの、第3光導波路ユニット100U₃とは異なる出射角度で光を出射することができる。したがって、第3光導波路ユニット100U₃だけでなく、それ以外の光導波路ユニットも用いることにより、図12に示す複数のスキャン範囲のように、より広範囲の出射角度でスキャンをすることができる。図11に示す光スイッチ92により、図12の黒い矢印によって表される光を第1光導波路ユニット100U₁から第4光導波路ユニット100U₄に選択的に入力することができる。第1光導波路ユニット100U₁から第4光導波路ユニット100U₄の順に光を入力してもよいし、不規則な順に光を入力してもよい。

[0143] <上部構造体100aの製造工程>

次に、図13Aから図13Nを参照して、上部構造体100aの製造工程の例を説明する。図13Aから図13Nは、上部構造体100aの製造工程の例を説明するための図である。

[0144] 最初の工程において、図13Aに示すように、スパッタリング法または蒸着法により、基板50aに、電極62aおよび誘電体層52がこの順に成膜される。

[0145] 次の工程において、図13Bに示すように、フォトリジストを塗布し、所定のパターンで露光および現像することにより、誘電体層52上にフォトリジストパターン53が形成される。

[0146] 次の工程において、図13Cに示すように、フォトリジストパターン53をマスクとして、誘電体層52のうち、フォトリジストパターン53に重ならない部分がエッチングによって除去される。エッチング量は、例えば、前述の75nmまたは55nmの許容幅であり得る。

[0147] 次の工程において、図13Dに示すように、図13Cに示すフォトリジストパターン53が剥離され、再度、フォトリジストの塗布、露光、および現像によって、別のパターンを有するフォトリジストパターン53が形成され

る。

- [0148] 次の工程において、図13Eに示すように、フォトレジストパターン53をマスクとして、誘電体層52のうち、フォトレジストパターン53に重ならない部分がエッチングによって除去される。その結果、誘電体層52のうち、フォトレジストパターン53と重なる部分は2段構造を有する。
- [0149] 図13Fから図13Iに示すように、誘電体層52に同様の工程を繰り返すことにより、4段構造を有する誘電体層52が形成される。電極62aのうち、誘電体層52と重ならない部分は露出している。このような多段構造を有する誘電体層52が、誘電体層51aになる。
- [0150] 次の工程において、図13Jに示すように、図13Iに示すフォトレジストパターン53が剥離される。
- [0151] 次の工程において、図13Kに示すように、電極62aの露出する部分および誘電体層51aの上に多層反射膜32が成膜される。
- [0152] 次の工程において、図13Lに示すように、基板50aに垂直な方向から見て、フォトレジストパターン53が、誘電体層51aと重なるように多層反射膜32上に形成される。
- [0153] 次の工程において、図13Mに示すように、多層反射膜32のうち、フォトレジストパターン53と重ならない部分がエッチングによって除去される。多層反射膜32のうち、除去されなかった部分が、多段構造を有するミラー30になる。
- [0154] 次の工程において、図13Nに示すように、図13Mに示すフォトレジストパターン53が剥離される。
- [0155] 以上の工程により、上部構造体100aが製造される。
- [0156] 前述した例では、ミラー30が多段構造を有する。反射面30sと反射面40sとの距離が光導波路ユニット100Uごとに異なれば、ミラー30ではなくミラー40が多段構造を有してもよい。あるいは、ミラー30およびミラー40の両方が多段構造を有してもよい。反射面30sと反射面40sとの距離が光導波路ユニット100Uごとに異なれば、図13Aから図13

Nを参照して説明した工程とは別の工程によって上部構造体100aを製造してもよい。

[0157] <光デバイス100の製造に用いられる構成要素の材料およびサイズ>

以下に、本実施形態による光デバイス100の製造に用いられる構成要素の材料および寸法の具体例を説明する。以下、Z方向における寸法を「厚さ」または「高さ」と称する。

[0158] まず、上部構造体100aの構成要素の材料および寸法の具体例を説明する。

[0159] 基板50aは、例えばSiO₂層から形成され得る。X方向およびY方向における基板50bの寸法は、例えばそれぞれ8mmおよび20mmであり、基板50aの厚さは、例えば0.7mmであり得る。

[0160] 電極62aは、例えばITOスパッタ層から形成され得る。電極62aの厚さは、例えば50nmであり得る。

[0161] 多段構造を有する誘電体層51aは、例えばSiO₂蒸着層から形成され得る。SiO₂蒸着層は、屈折率 $n=1.468$ を有する。多段構造のうち、SiO₂蒸着層の最小の厚さは例えば440 μm 程度であり、SiO₂蒸着層の最大の厚さは例えば665 μm 程度であり得る。

[0162] ミラー30は、多層反射膜であり得る。多層反射膜は、Nb₂O₅層とSiO₂層とを交互に蒸着して積層することによって形成され得る。Nb₂O₅層は、屈折率 $n=2.282$ を有する。Nb₂O₅層の厚さは、例えば100nm程度であり得る。SiO₂層は、屈折率 $n=1.468$ を有する。SiO₂層の厚さは、例えば200nm程度であり得る。ミラー30は、例えば7層のNb₂O₅層、および6層のSiO₂層の合計13層を有する。ミラー30の厚さは、例えば1.9 μm であり得る。

[0163] 次に、下部構造体100bの構成要素の材料および寸法の例を説明する。

[0164] 基板50bは、例えばSiO₂層から形成され得る。X方向およびY方向における基板50bの寸法は、例えば両方とも15mmであり得る。基板50bの厚さは、例えば0.7mmであり得る。

- [0165] 電極62bは、例えばITOスパッタ層から形成され得る。電極62bの厚さは、例えば50nmであり得る。
- [0166] ミラー40は、多層反射膜であり得る。多層反射膜は、例えばNb₂O₅層とSiO₂層とを交互に蒸着して積層することによって形成され得る。Nb₂O₅層は、屈折率 $n=2.282$ を有する。Nb₂O₅層の厚さは、例えば100nm程度であり得る。SiO₂層は、屈折率 $n=1.468$ を有する。SiO₂層の厚さは、例えば200nm程度であり得る。ミラー40は、例えば31層のNb₂O₅層、および30層のSiO₂層の合計61層を有する。ミラー40の厚さは、例えば9.1 μm であり得る。
- [0167] 誘電体層51bは、例えばSiO₂蒸着層から形成され得る。SiO₂蒸着層は、屈折率 $n=1.468$ を有する。SiO₂蒸着層の厚さは、例えば1.0 μm 程度であり得る。
- [0168] 光導波路11は、例えばNb₂O₅蒸着層から形成され得る。Nb₂O₅蒸着層は、屈折率 $n=2.282$ を有する。Nb₂O₅蒸着層の厚さは、例えば300nm程度であり得る。光導波路11には、グレーティング15およびグレーティング13が形成され得る。グレーティング15は、例えば周期670nm、デューティ比1:1、および深さ40nmの溝を有する。グレーティング13は、例えば周期680nm、デューティ比1:1、および深さ40nmの溝を有する。グレーティング15およびグレーティング13は、フォトリソグラフィ法によるパターニングによって形成され得る。Y方向における光導波路11の寸法は、例えば10 μm であり得る。
- [0169] 隔壁73は、SiO₂蒸着層から形成され得る。SiO₂蒸着層は、屈折率 $n=1.468$ を有する。SiO₂蒸着層の厚さは、例えば1.0 μm であり得る。Y方向における隔壁73の寸法は、例えば50 μm であり得る。
- [0170] 光導波領域20において、誘電体層51bの一部は、例えばフォトリソグラフィ法によるパターニングによって除去され得る。光導波領域20の厚さは、例えば2.0 μm であり得る。Y方向における光導波領域20の寸法は、例えば10 μm であり得る。

- [0171] 液晶材料 21 の材料には、例えば 5CB 液晶が用いられ得る。
- [0172] 弾性スペーサ 77 は、例えば、フォトレジスト材料に用いられる感光性樹脂から形成され得る。弾性スペーサ 77 の製造方法は以下の通りである。感光性樹脂を有機溶媒によって所定の濃度および粘度に希釈した溶液が用意される。当該溶液をスピコート法などの塗布技術によって誘電体層 51b 上に塗布することにより、誘電体層 51b 上に均一な厚さの溶液層が形成される。溶液層の厚さは、上部構造体 100a および下部構造体 100b を貼り合わせる場合に弾性スペーサ 77 が圧縮される量を考慮して決定される。塗布後のプリベークにより、溶液層に含まれる有機溶媒が揮発される。その後、レーザ直描装置またはマスクアライナなどの露光装置により、溶液層に弾性スペーサ 77 のパターンが露光される。溶液層のうち、不要な部分がアルカリ現像液によって除去される。その後、ポストベークにより、所定の高さおよび形状有する複数の弾性スペーサ 77 が、誘電体層 51b に固定された状態で形成される。
- [0173] 弾性スペーサ 77 は、例えば直径 30 μm 程度の円柱形状を有し得る。複数の弾性スペーサ 77 は、誘電体層 51b の一部の表面上にほぼ均一なピッチで 2 次元的に配置され得る。ピッチは例えば 400 μm 程度であり得る。誘電体層 51b の一部の表面は、上部構造体 100a に含まれる露出した電極 62a に対向する表面である。可能な限りこの全表面に複数の弾性スペーサ 77 を均一に配置すれば、基板 50a と基板 50b との間隔をより正確に規定することができる。
- [0174] シール部材 79 には、例えばスリーボンド製の紫外線硬化接着剤 3026E が用いられ得る。シール部材 79 は、例えばディスペンサを用いて誘電体層 51b 上の所定の領域に設けられる。ある例において、波長 365 nm およびエネルギー密度 100 mJ/cm^2 の紫外線照射によってシール部材 79 を硬化して、上部構造体 100a および下部構造体 100b が貼り合わせられる。この貼り合わせにより、本実施形態による光デバイス 100 が得られる。

[0175] なお、基板50aおよび50bは、 SiO_2 以外の材料から形成されていてもよい。基板50aおよび50bは、例えば、ガラスもしくはサファイアなどの無機基板、または、アクリルもしくはポリカーボネートなどの樹脂基板であってもよい。これらの無機基板および樹脂基板は、透光性を有するため、基板50aおよび50bとして用いることができる。

[0176] 光が出射されるミラー30の反射率は、例えば99.9%であり、光が出射されないミラー40の反射率は、例えば99.99%である。この条件は、多層反射膜の層数の調整によって実現することができる。多層反射膜内の2つの層の組み合わせとして、例えば、一方の層の屈折率は2以上であり、他方の層の屈折率は2未満である。2つの屈折率の差が大きければ、高い反射率を得ることができる。屈折率が2以上の層は、例えば、 SiN_x 、 AlN_x 、 TiO_x 、 ZrO_x ($1.7 \leq x \leq 2.0$)、 NbO_y 、および TaO_y ($2.2 \leq y \leq 2.5$) からなる群から選択される少なくとも1つから形成される。屈折率が2未満の層は、例えば、 SiO_x および AlO_x からなる群から選択される少なくとも1つから形成される。

[0177] 誘電体層51bの屈折率は、例えば2未満であり得る。各光導波路11の屈折率は例えば2以上であり得る。2つの屈折率の差が十分に大きければ、各光導波路11から誘電体層51bに染み出すエバネッセント光を低減することができる。

[0178] (変形例)

本実施形態による光デバイス100では、各光導波路ユニット100UにおいてY方向に並ぶ複数の光導波領域20が設けられている。しかし、各光導波路ユニット10Uにおいて、複数の光導波領域20を設けることは必須の要件ではなく、1つの光導波領域20が設けられていてもよい。そのような光導波領域20は、例えば1つの平面光導波路であってもよい。以下では、図14Aから図14Cを参照して、本実施形態による光デバイス100の変形例を説明する。

[0179] 図14Aは、Z方向から見たときの、本変形例による光デバイス110の

例を模式的に示す平面図である。本変形例による光デバイス110は、上部構造体110aおよび下部構造体110bを備える。図14Bは、図14Aに示す構造から上部構造体110bを除去した状態を示す平面図である。図14Cは、図14AのA-A線断面の構造を模式的に示す図である。

[0180] 本変形例における上部構造体110aは、本実施形態における上部構造体100aと同じ構造を有する。これに対して、本変形例における下部構造体110bでは、本実施形態における下部構造体100bとは異なり、図14Bに示すように、各光導波路ユニット100Uにおいて、2つの隔壁73が1つの光導波領域20の両サイドに配置されている。図14Cに示すように、下部構造体100bは、各光導波路ユニット100Uにおいて比較的幅の広い凹部を有する。このような構造により、ミラー40の反射面40sが、X方向およびY方向に沿って広がる比較的広い範囲にわたって露出している。図14Cに示すように、凹部は、X方向に延びる2つの凸部の間に位置する。図14Cに示す例では、ミラー30の反射面30sと、ミラー40の反射面40sと、両者の間に位置するX方向およびY方向に沿って広がる1つの光導波領域20とによって平面光導波路が形成される。光導波領域20は、ミラー30の反射面30s、ミラー40の反射面40s、隔壁73によって形成される2つの凸部、および2つの凸部とミラー30との間の空間によって包囲されている。光導波領域20は、液晶材料を含む液晶材料21で満たされている。

[0181] 図14Bに示すように、複数の光導波路11は、平面光導波路10における光導波領域20に接続されている。複数の光導波路11を伝搬する光は光導波領域20に結合される。結合された光は、光導波領域20内で干渉して光ビームを形成する。光導波領域20内で形成された光ビームは、上部構造体110aを介して外部に出射される。変形例による光デバイス110でも、出射光の波数ベクトルの、X方向の成分およびY方向の成分を変化させることができる。

[0182] 本実施形態および本変形例において、光導波路10はスローライト導波路

である。しかし、光導波路10はスローライト導波路である必要はない。光導波路10は、例えば、ミラー30およびミラー40を含まず、基板50aの表面および基板50bの表面での全反射によって光導波領域20内で光を伝搬させる光導波路であってもよい。当該光導波路を伝搬する光は、基板50aまたは基板50bを介してではなく、例えば光導波路10の端部から外部に出射され得る。

[0183] (応用例)

＜光スキャンデバイスへの応用例＞

図15は、回路基板（たとえば、チップ）上に図11に示す構成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。図15に示す光源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。光源130から出射された光は、光スイッチ92により、第1光導波路ユニット100U₁から第4光導波路ユニット100U₄の少なくとも1つに選択的に供給される。図15に示す例において、チップ上には電極62Aと、複数の電極62Bとが設けられている。導波路アレイ10Aには、電極62Aから制御信号が供給される。位相シフタアレイ80Aにおける複数の位相シフタ80には、複数の電極62Bから制御信号がそれぞれ送られる。電極62Aおよび複数の電極62B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15に示すチップ上に設けられていてもよいし、光デバイス100における他のチップに設けられていてもよい。

[0184] 図15に示すように、すべ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2mm×1mm程度のチップに、図15に示すすべてのコンポーネントを集積することができる。

[0185] 図16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。

[0186] 図17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 λ 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。制御回路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。制御回路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。

[0187] 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。

[0188] 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、制御回路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。

[0189] <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または光デバイスは、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ミラー30は、第1の反射面の反対側の表面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1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、各光導波層20に取り込まれる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、光スキャンデバイスと同一の複数の位相シフタ80、または80aおよび80bと、複数の導波路素子10から複数の位相シフタ80、または80aおよび80b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次的に変化させることができる。

[0190] 例えば図15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10Aに波長λの光が入射すると、その光は位相シフタアレイ80A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 α_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。

産業上の利用可能性

[0191] 本開示の実施形態における光スキャンデバイスおよび光受信デバイスは、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

[0192]

10	導波路素子、光導波路
11	光導波路
10A	導波路アレイ
13、15	グレーティング
20	光導波層
20L	光
21	液晶材料
30	第 1 ミラー
32	多層反射膜
40	第 2 ミラー
50a、50b	基板
51a、51b、52	誘電体層

- 53 フォトレジストパターン
- 62 a、62 b 電極
- 70 a 導波路アレイの駆動回路
- 70 b 位相シフタアレイの駆動回路
- 73 複数の隔壁
- 80 位相シフタ
- 80 A 位相シフタアレイ
- 90 光分岐器
- 92 光スイッチ
- 100、110 光デバイス
- 100 a、110 a 上部構造体
- 100 b、110 b 下部構造体
- 100 U 光導波路ユニット
- 101、102 方向
- 130 光源
- 310 ビームスポット
- 400 光検出器
- 500 制御回路
- 600 信号処理回路

請求の範囲

- [請求項1] 第1の方向に沿って並ぶ複数の光導波路ユニットを含む光デバイスであって、
- 前記複数の光導波路ユニットの各々は、
- 第1反射面を有する第1ミラーと、
- 前記第1反射面に対向する第2反射面を有する第2ミラーと、
- 前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間に位置する少なくとも1つの光導波領域と、
- を備え、
- 前記第1反射面と前記第2反射面との距離は、前記光導波路ユニットごとに異なっている、
- 光デバイス。
- [請求項2] 前記複数の光導波路ユニットの少なくとも1つは、前記光導波領域に光学的に結合され、前記光導波領域に光を入力する少なくとも1つの光入力導波路を備える、
- 請求項1に記載の光デバイス。
- [請求項3] 前記光入力導波路は、モードコンバータを介して前記光導波領域に接続される、
- 請求項2に記載の光デバイス。
- [請求項4] 前記モードコンバータは、グレーティングを含み、
- 前記グレーティングは、前記第1の方向に交差する第2の方向に沿って屈折率が周期的に変化する構造を備える、
- 請求項3に記載の光デバイス。
- [請求項5] 前記複数の光導波路ユニットの少なくとも1つにおける前記光入力導波路から前記光導波領域への前記モードコンバータを介した光結合の効率は80%以上である、
- 請求項3または4に記載の光デバイス。
- [請求項6] 前記複数の光導波路ユニットの前記少なくとも1つに隣り合う光導

波路ユニットにおける前記光結合の効率は80%未満である、
請求項5に記載の光デバイス。

[請求項7] 前記第1反射面と前記第2反射面との前記距離は、前記第1の方向に沿って単調に変化する、
請求項1から6のいずれかに記載の光デバイス。

[請求項8] 前記第1反射面と前記第2反射面との前記距離は、前記第1の方向に沿って一定量ずつ変化する、
請求項7に記載の光デバイス。

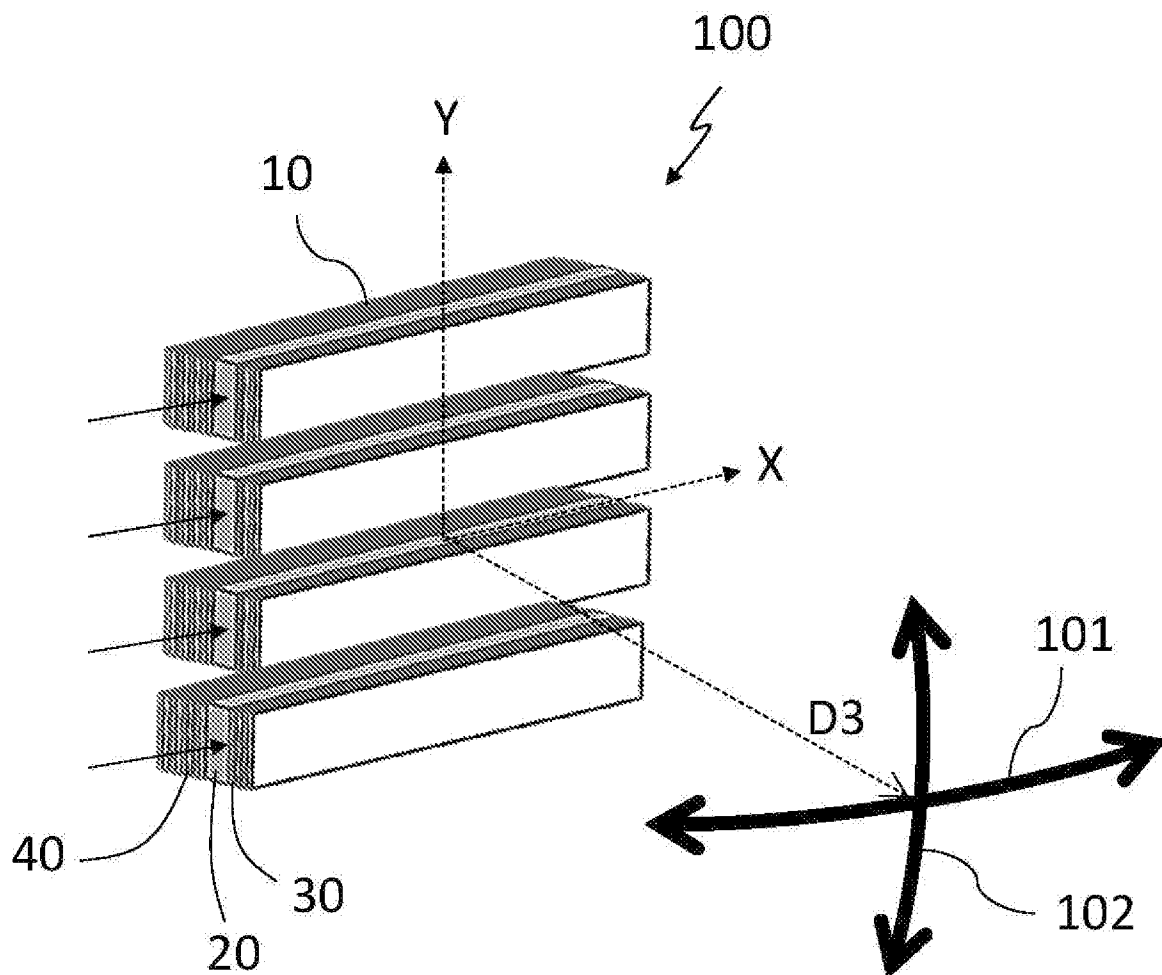
[請求項9] 前記第1ミラーは、前記第2ミラーよりも高い透過率を有する、
請求項1から8のいずれかに記載の光デバイス。

[請求項10] 前記複数の光導波路ユニットの各々は、第1電極および第2電極を含み、
前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間に液晶材料を含み、
前記光導波領域は前記液晶材料で満たされており、
前記第1電極および前記第2電極に印加される電圧を変化させることにより、前記光導波領域から前記第1ミラーを介して出射する光の方向、または、前記第1ミラーを介して前記光導波領域に取り込まれる光の入射方向が変化する、
請求項9に記載の光デバイス。

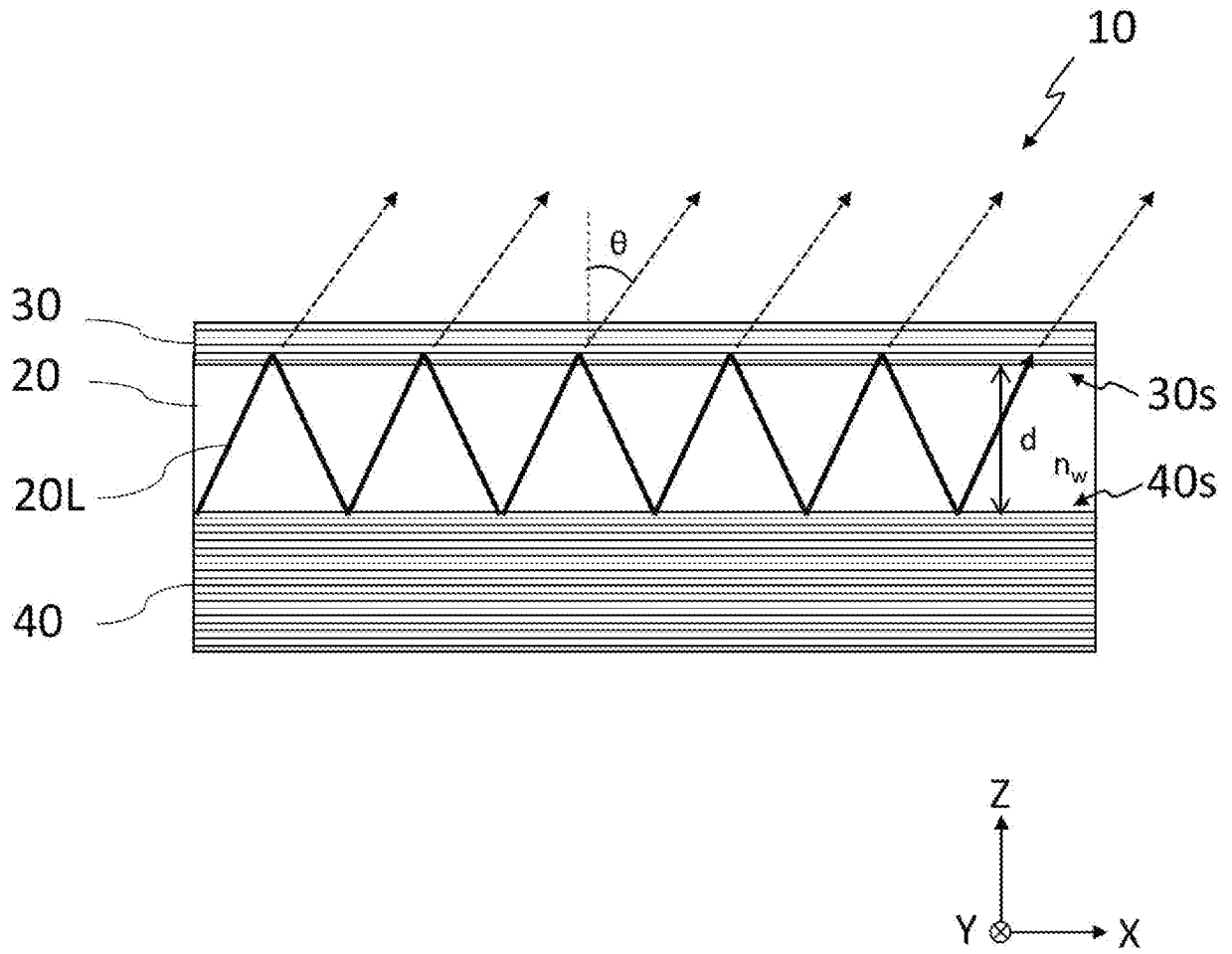
[請求項11] 前記複数の光導波路ユニットの各々に含まれる前記第1ミラーを備える第1構造体と、
前記複数の光導波路ユニットの各々に含まれる前記第2ミラーを備える第2構造体と、
前記第1構造体および前記第2構造体によって挟持され、前記第1反射面と前記第2反射面との前記距離を規定する少なくとも1つの支持部材と、
を備える、
請求項1から10のいずれかに記載の光デバイス。

- [請求項12] 前記支持部材は、弾性材料から形成されている、
請求項 1 1 に記載の光デバイス。
- [請求項13] 前記複数の光導波路ユニットのうちの少なくとも1つに含まれる前記光導波領域に光を選択的に供給することが可能な光スイッチを備える、
請求項 1 から 1 2 のいずれかに記載の光デバイス。
- [請求項14] 前記複数の光導波路ユニットのうち、一部の光導波路ユニットのみに光が供給され、他の光導波路ユニットには光が供給されない、
請求項 1 から 1 3 のいずれかに記載の光デバイス。
- [請求項15] 前記一部の光導波路ユニットにおける前記光導波領域への光結合効率は80%以上である、請求項 1 4 に記載の光デバイス。
- [請求項16] 請求項 1 から 1 5 のいずれかに記載の光デバイスと、
前記光デバイスから出射され、対象物から反射された光を検出する光検出器と、
前記光検出器の出力に基づいて、距離分布データを生成する信号処理回路と、
を備える、
光検出システム。

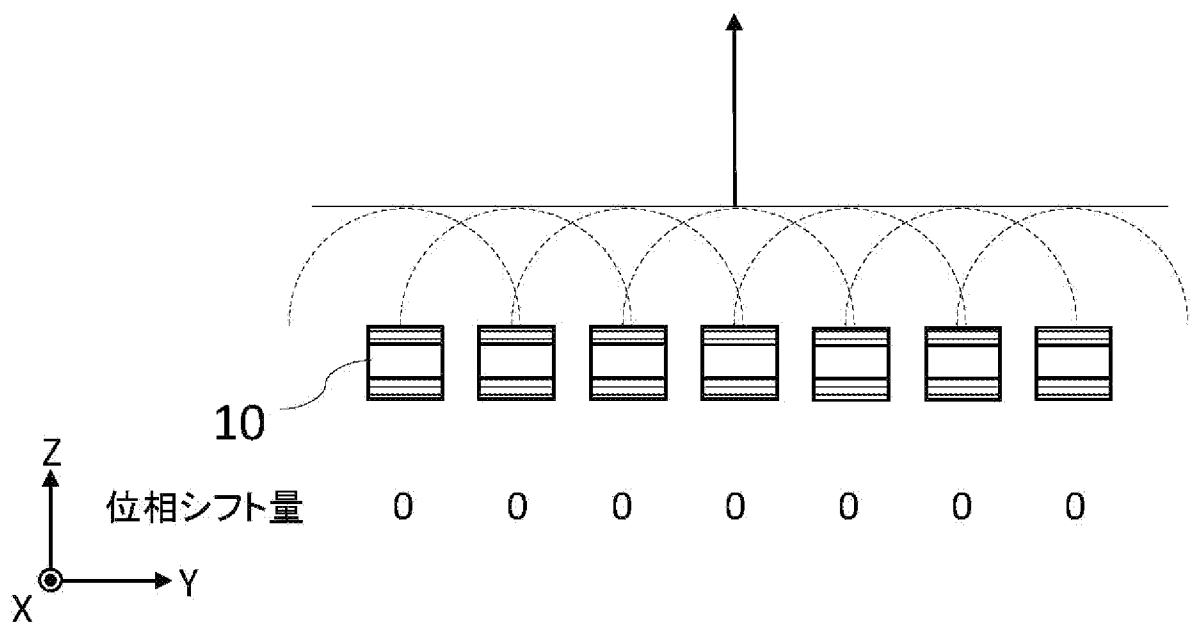
[図1]



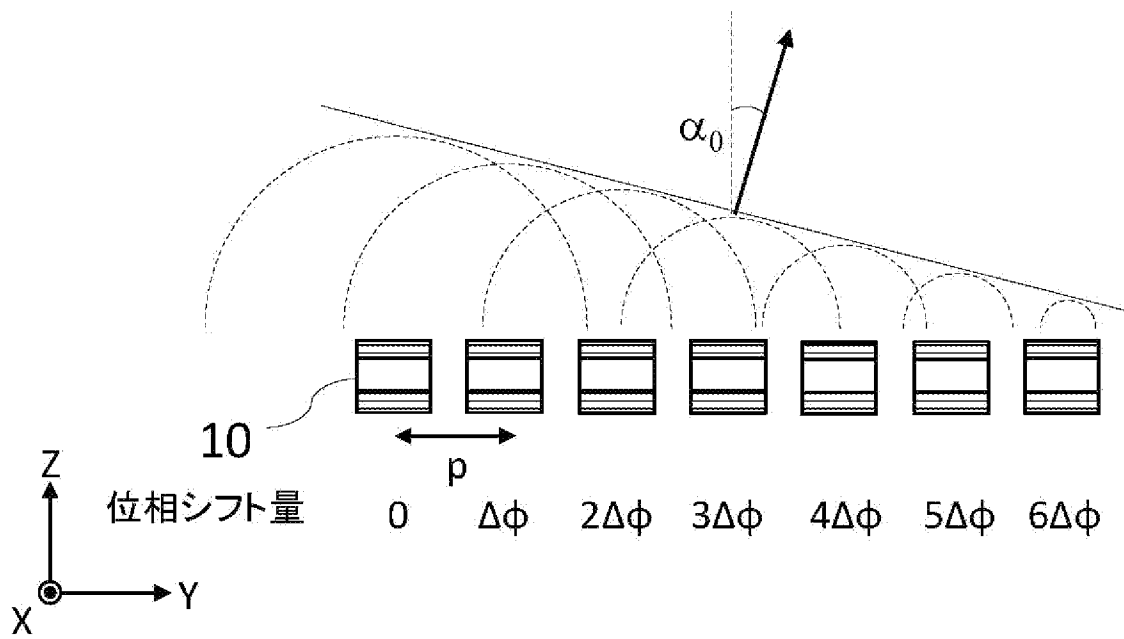
[図2]



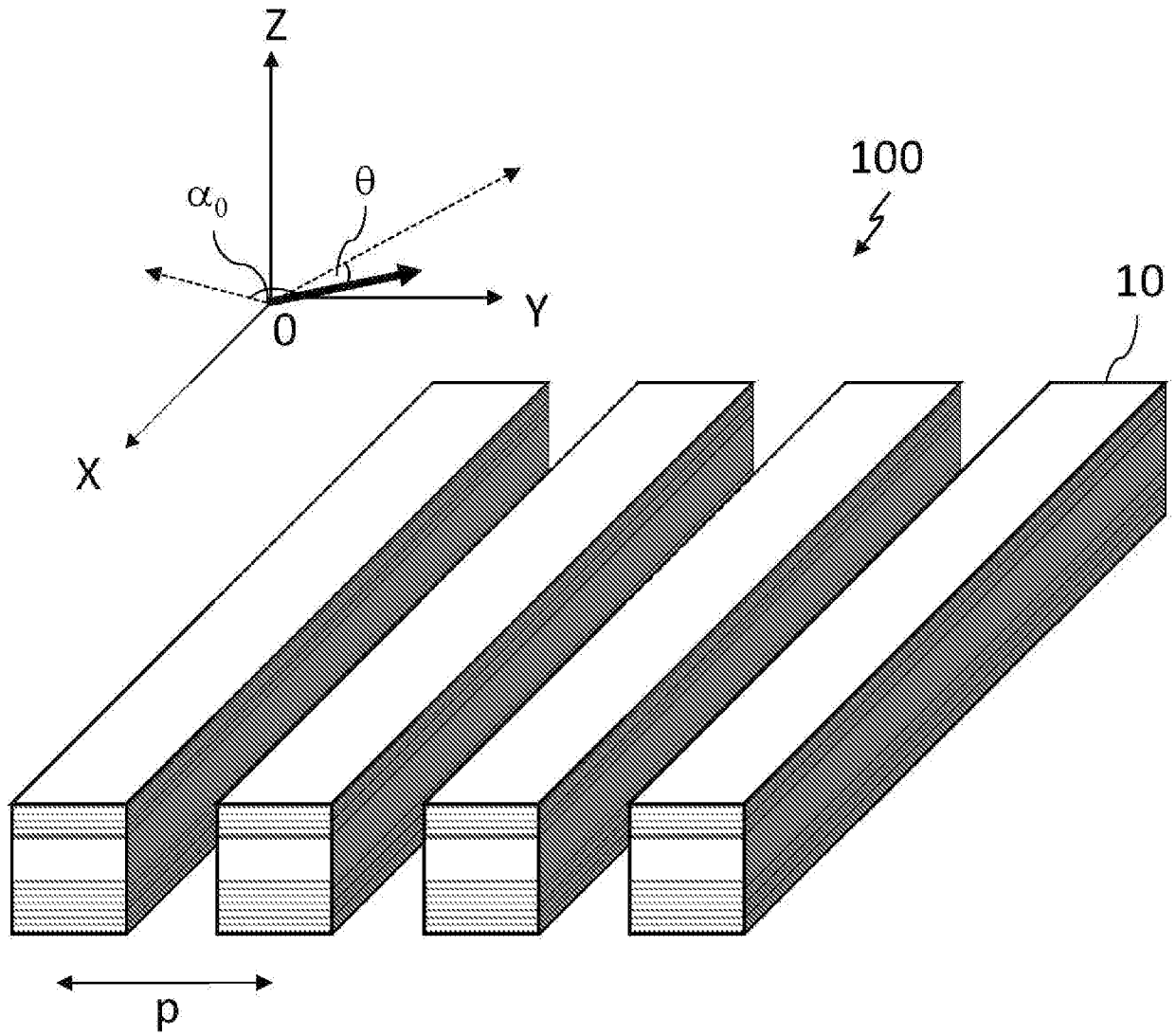
[図3A]



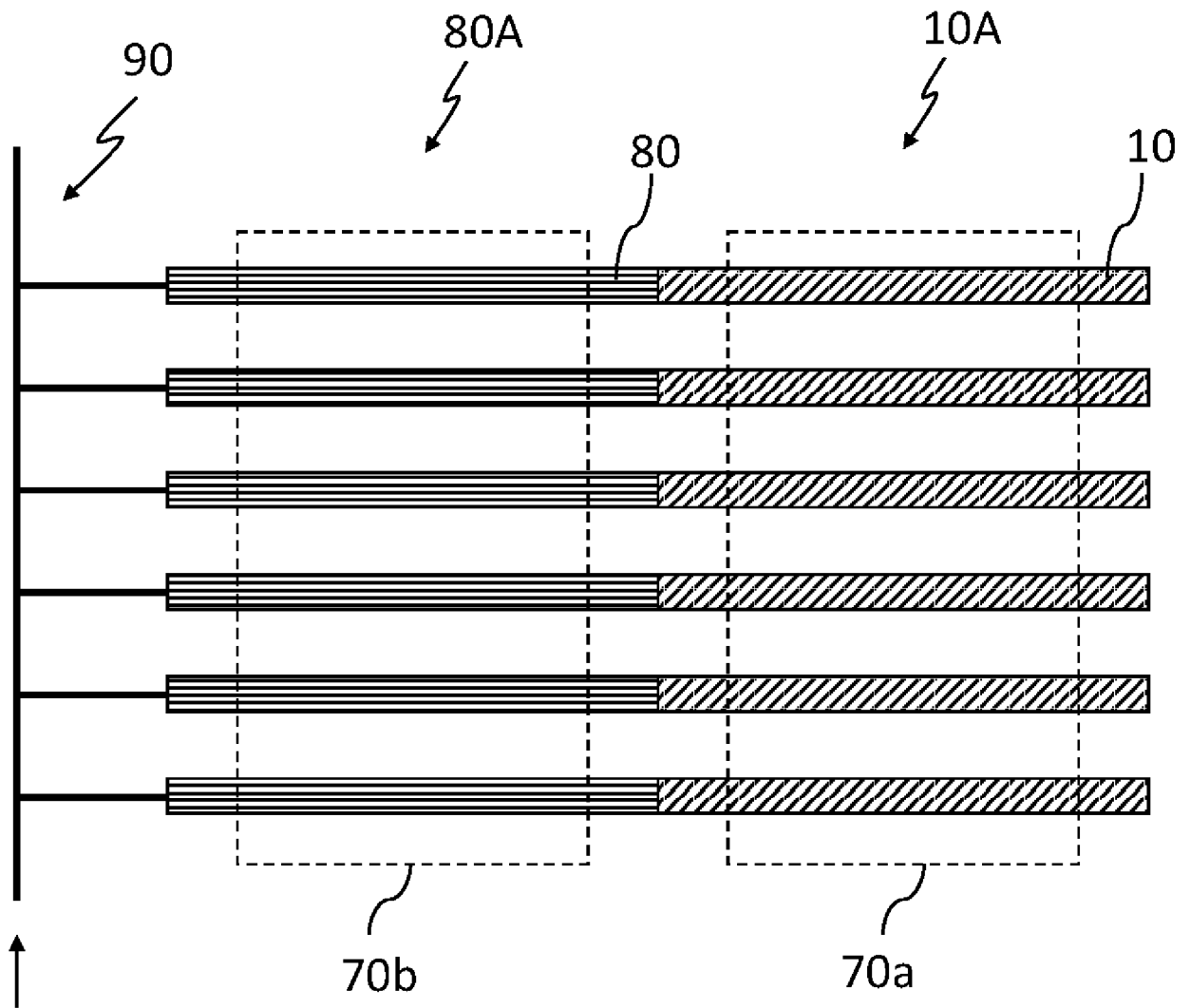
[図3B]



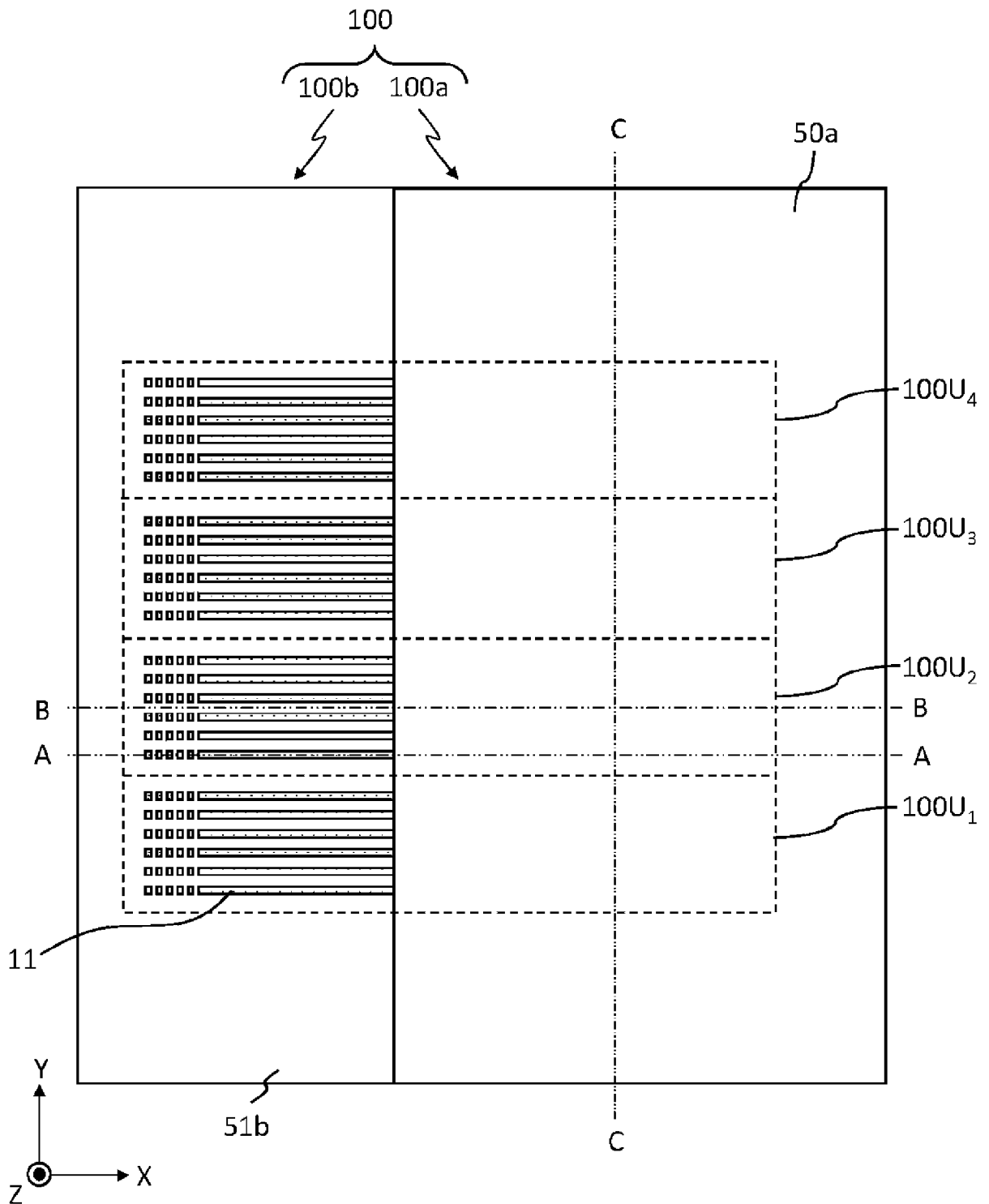
[図4]



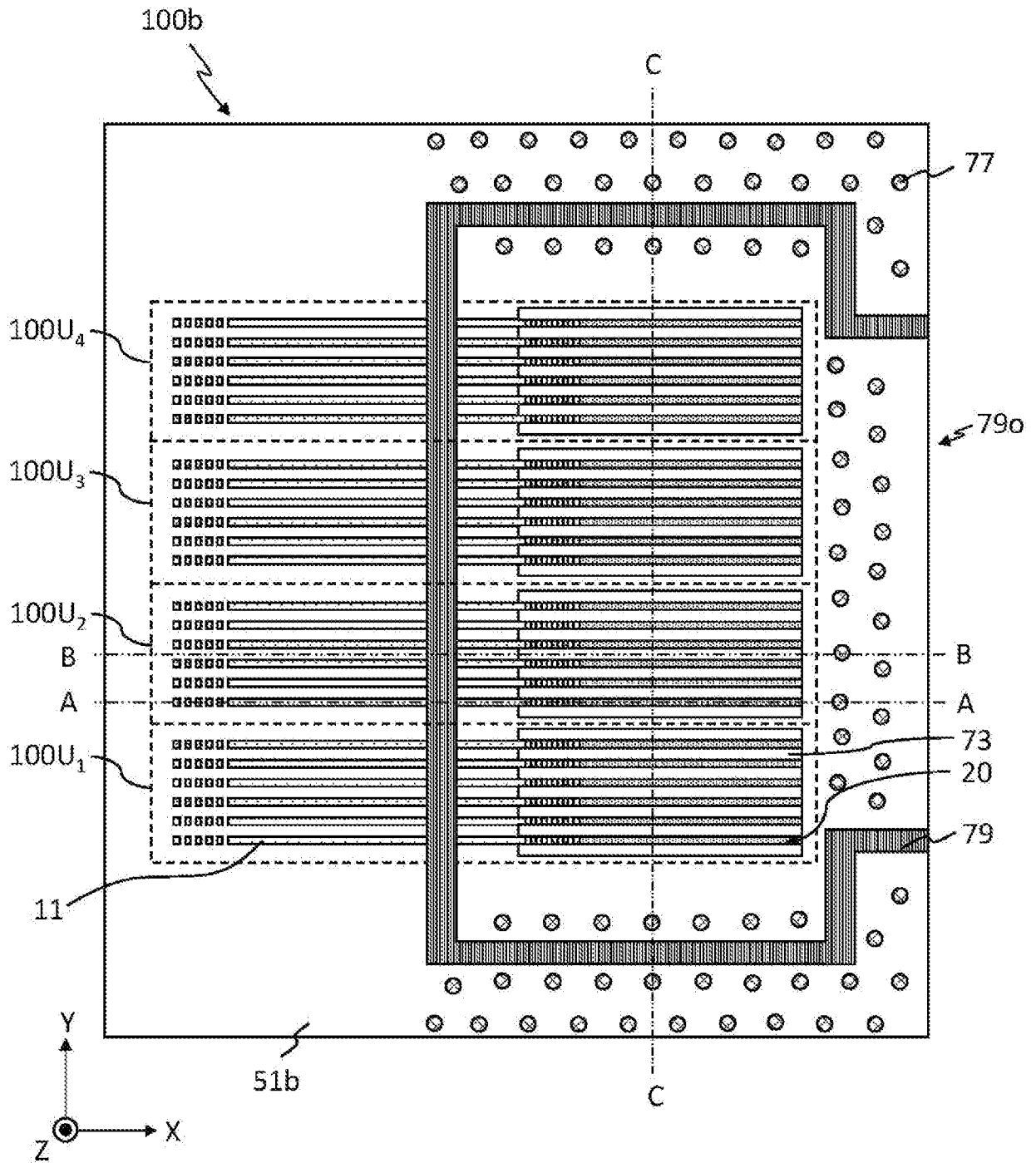
[図5]



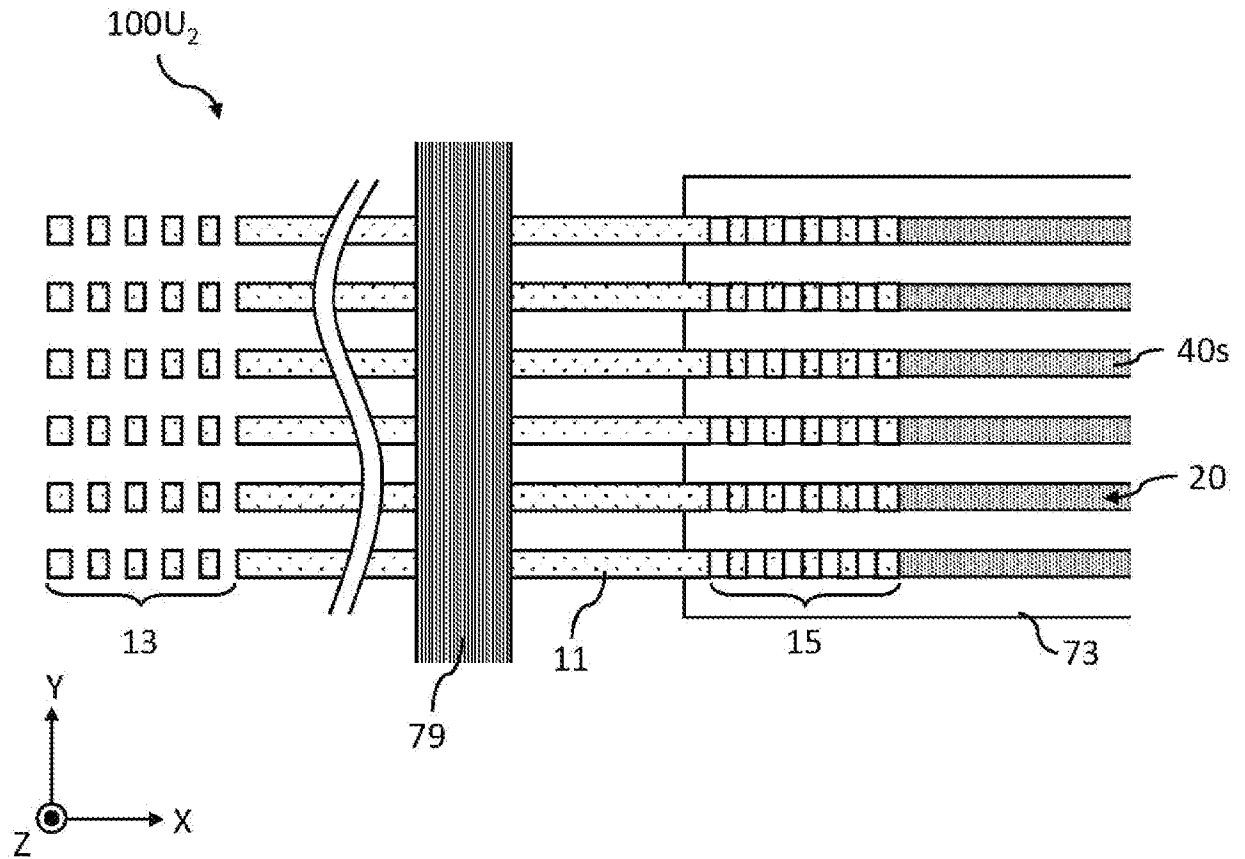
[図6A]



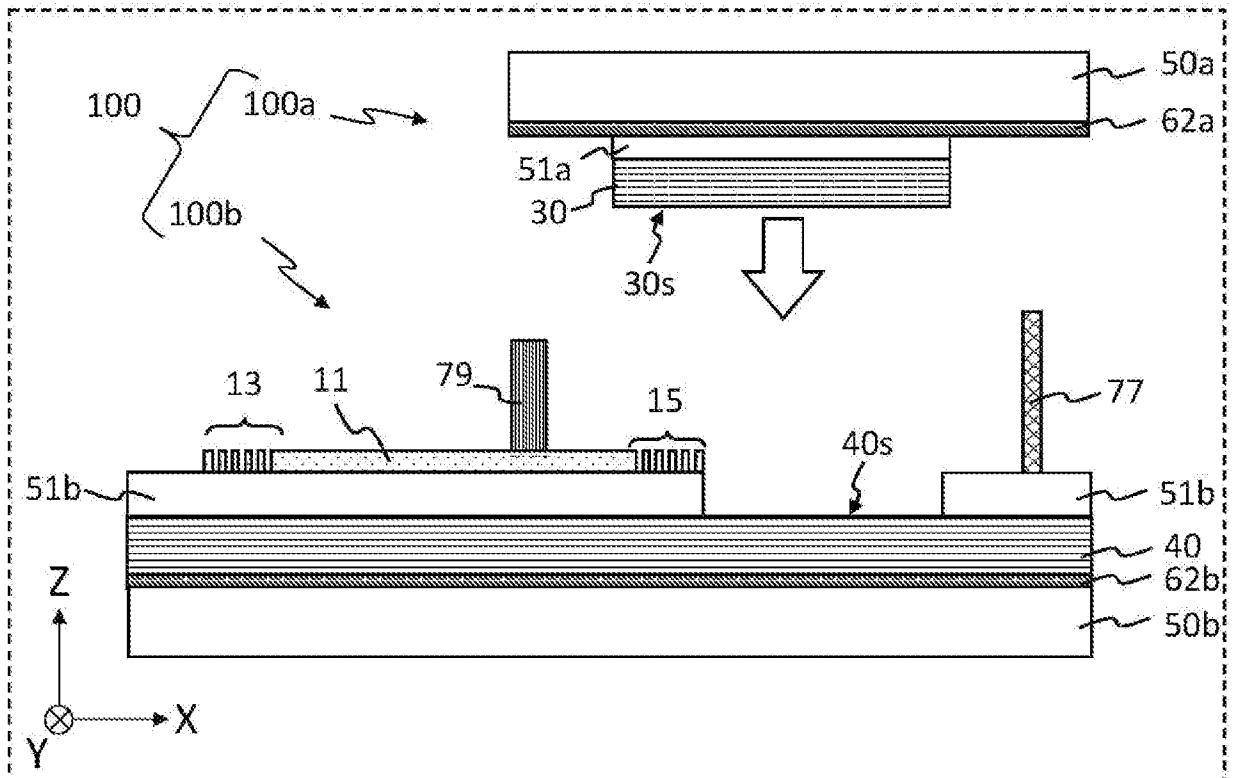
[図6B]



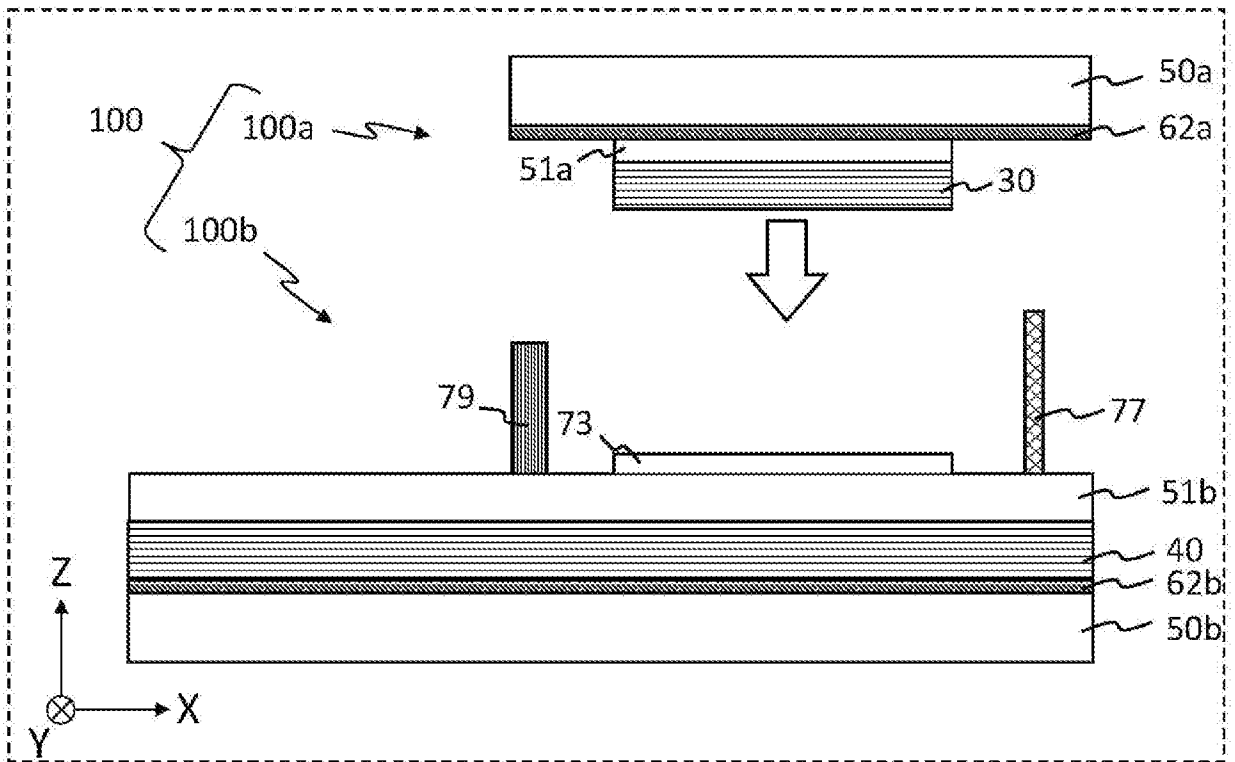
[図6C]



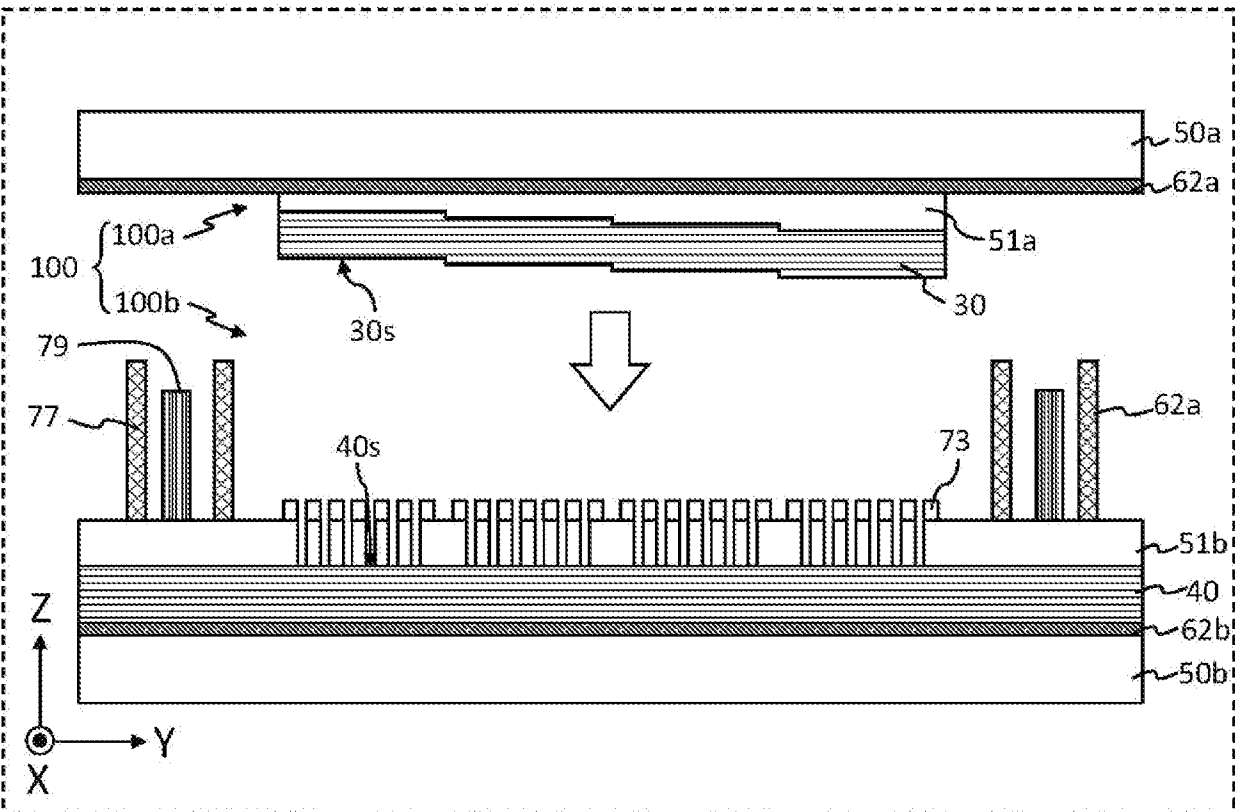
[図7A]



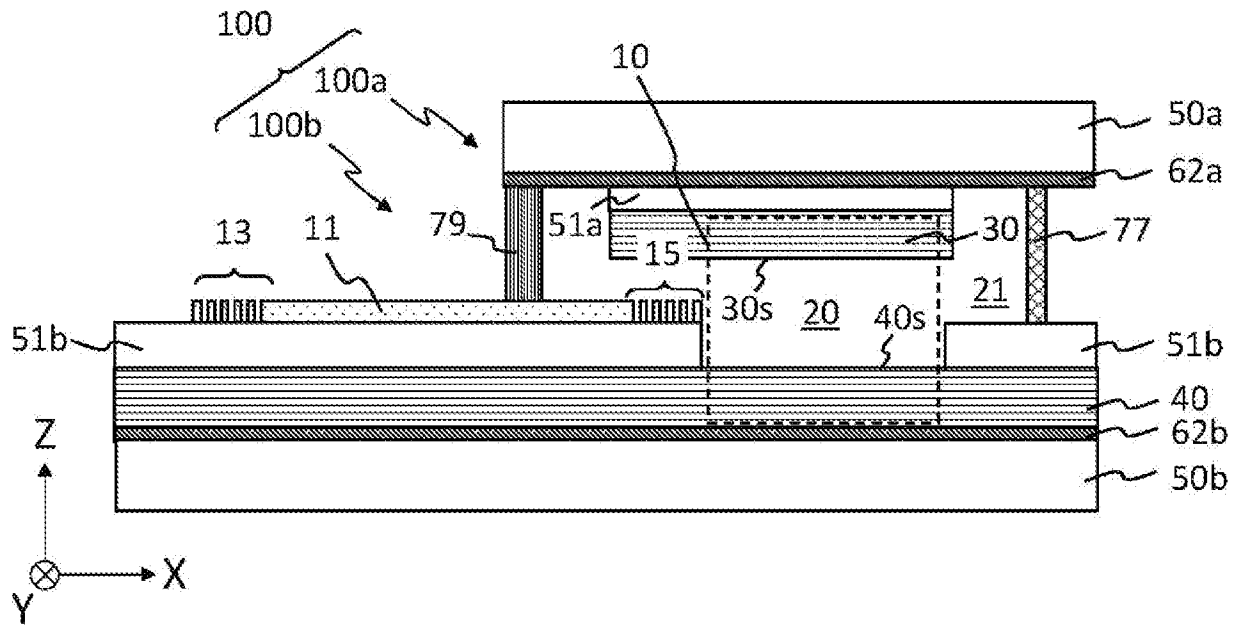
[図7B]



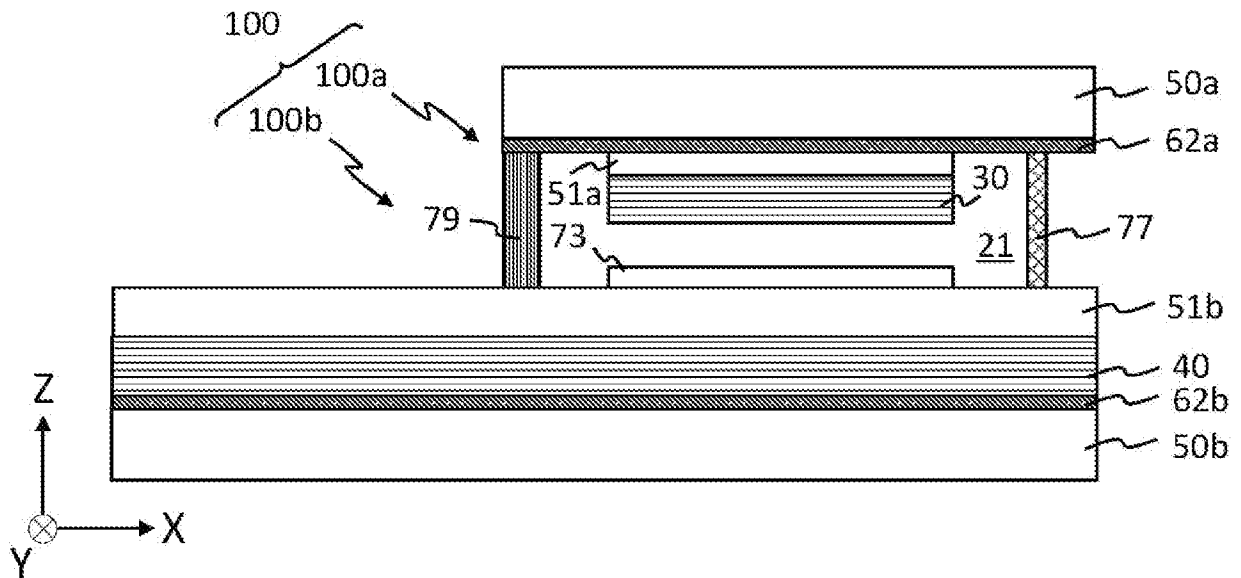
[図7C]



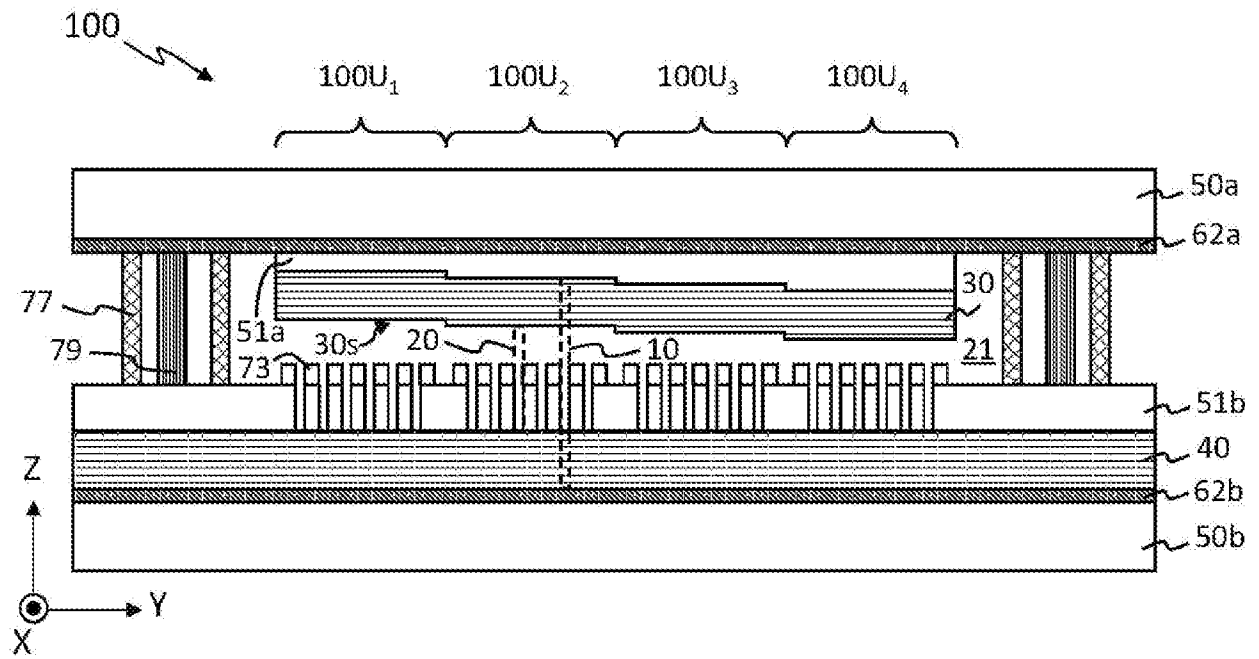
[図8A]



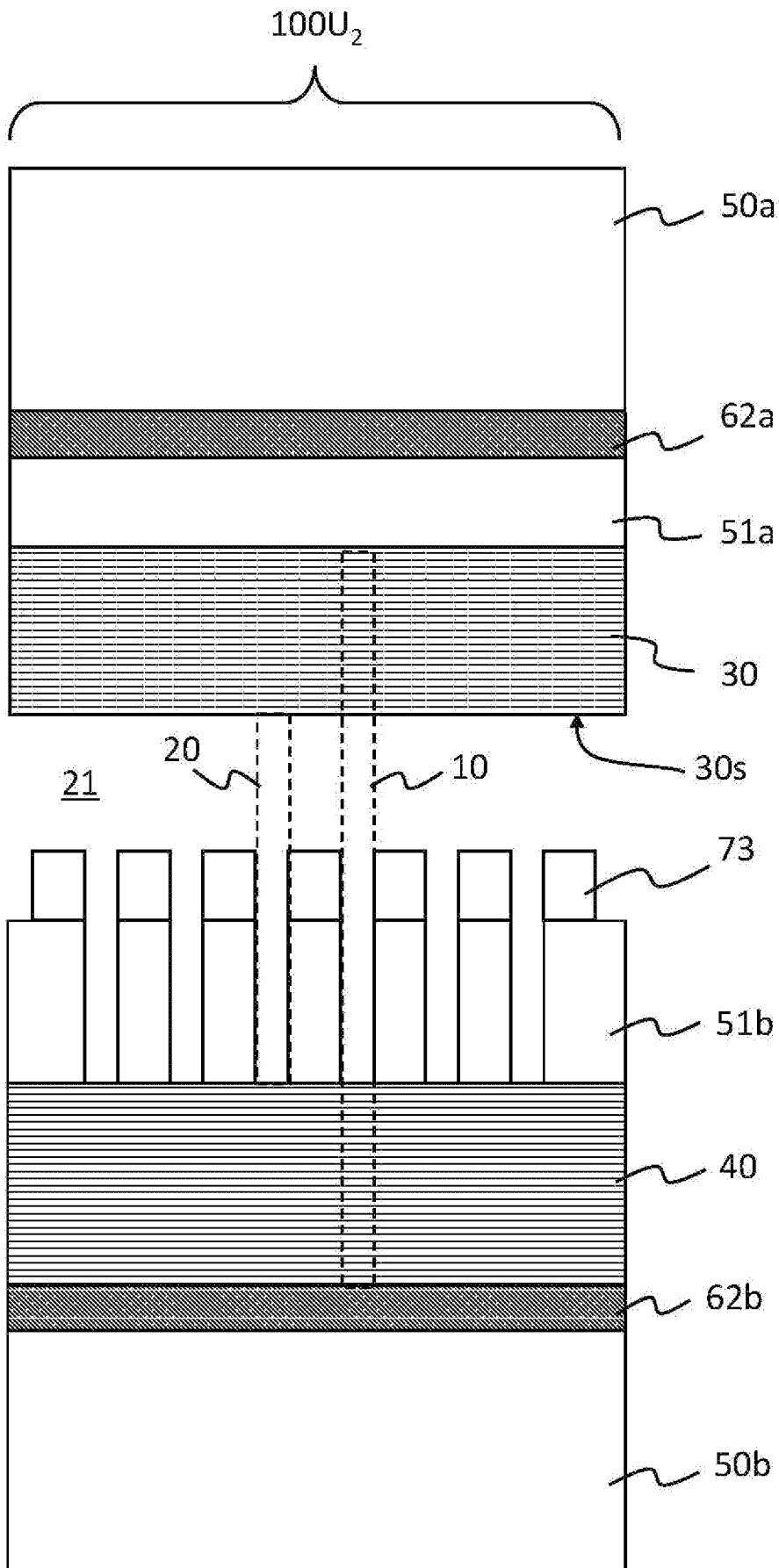
[図8B]



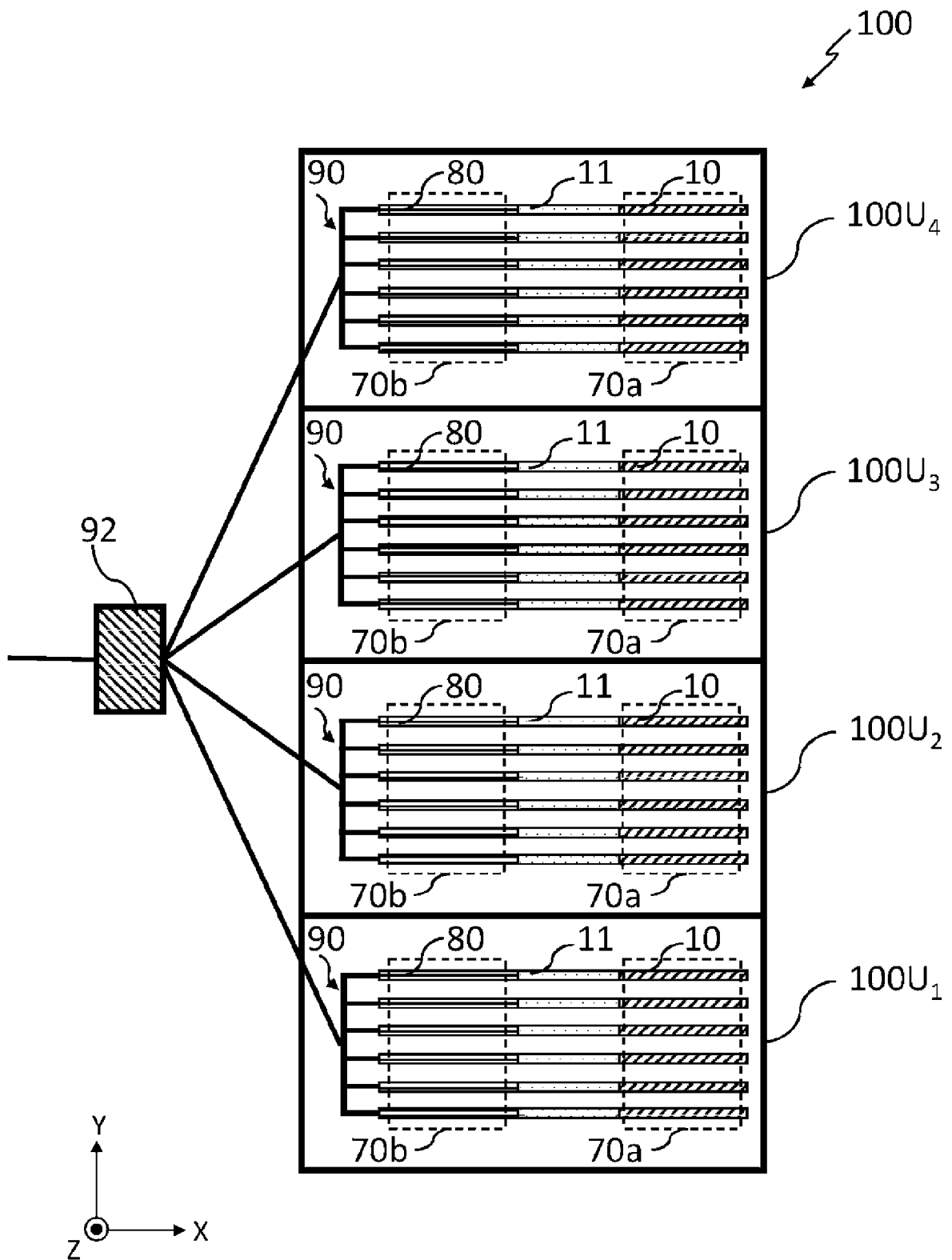
[図8C]



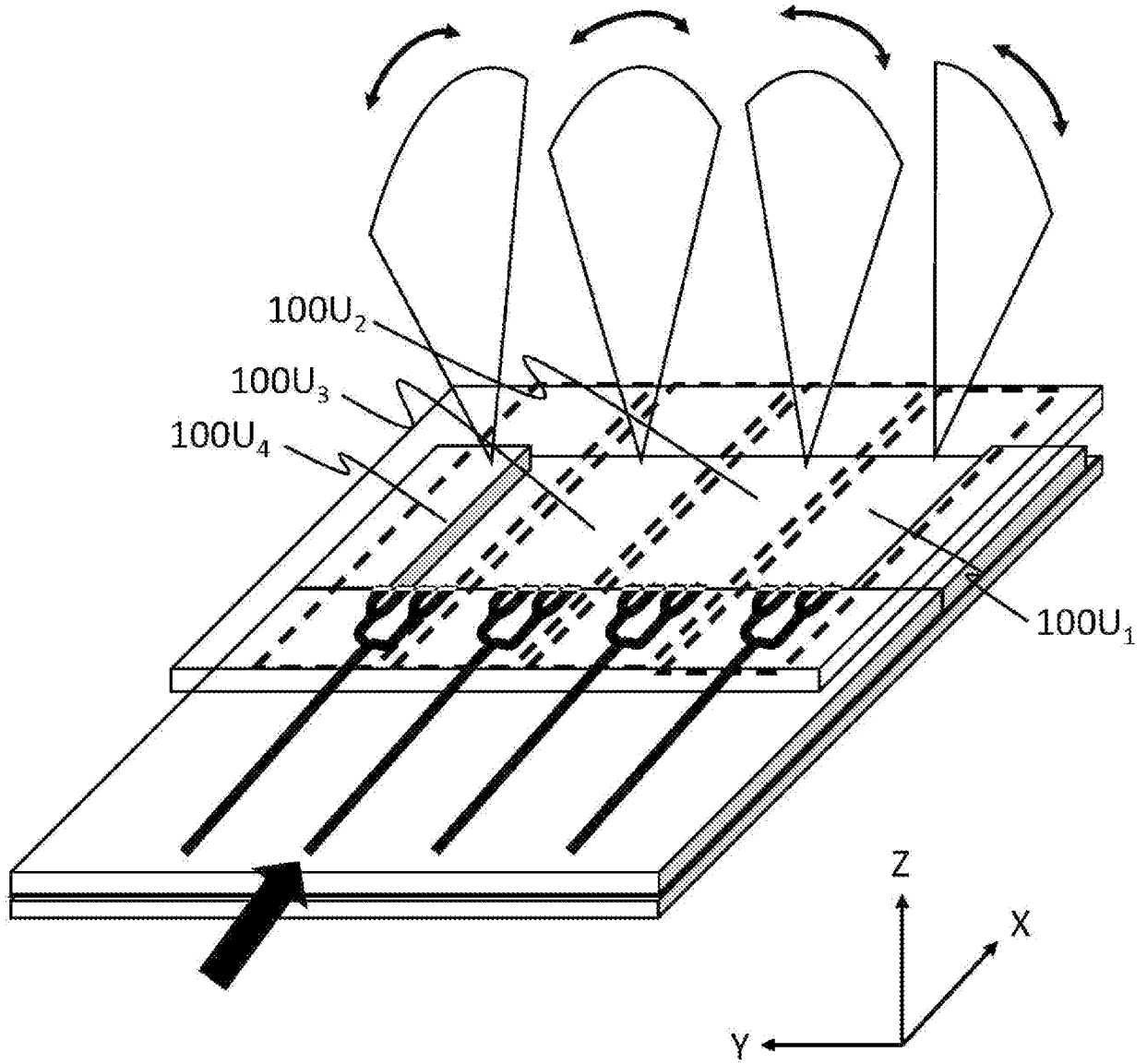
[図8D]



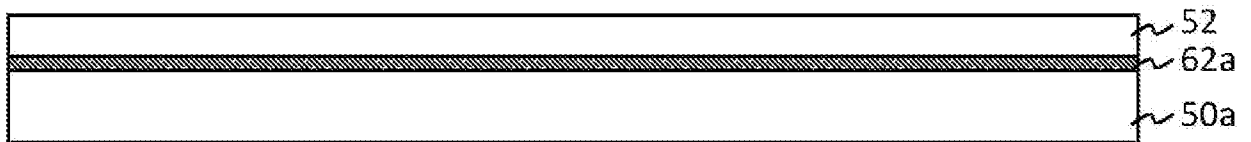
[図11]



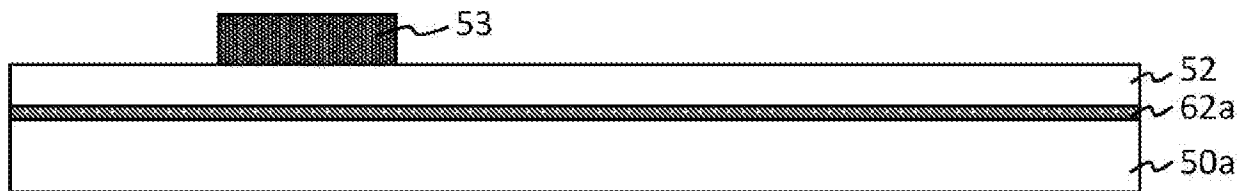
[図12]



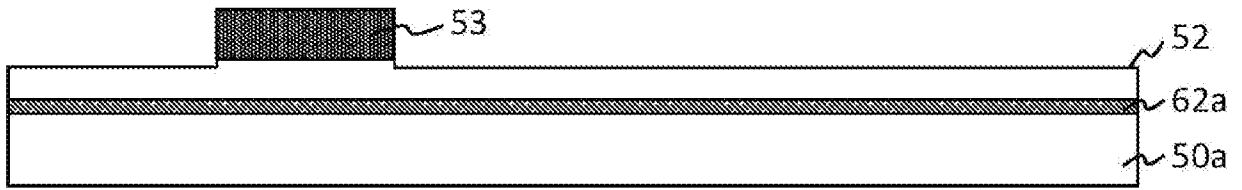
[図13A]



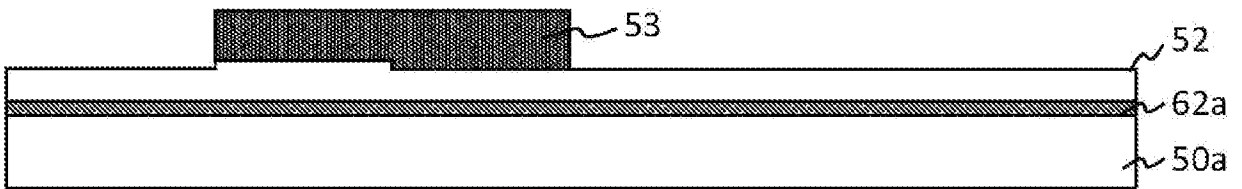
[図13B]



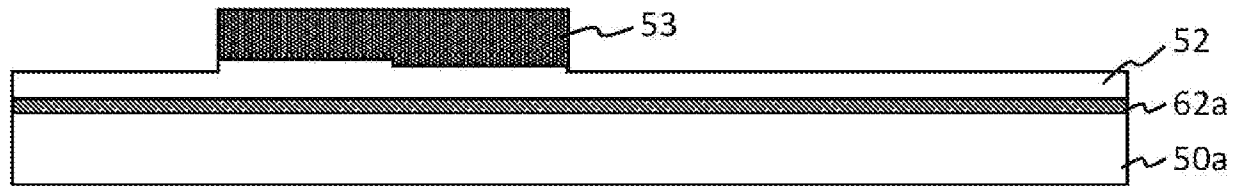
[図13C]



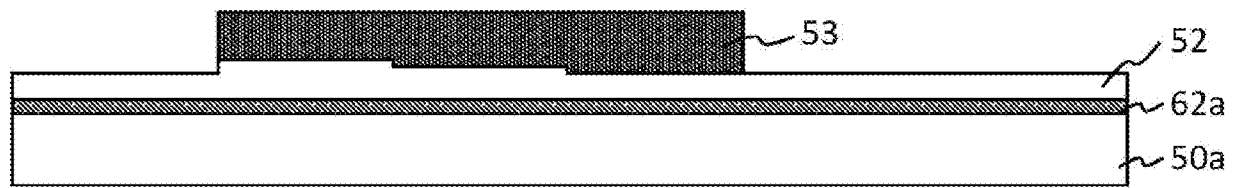
[図13D]



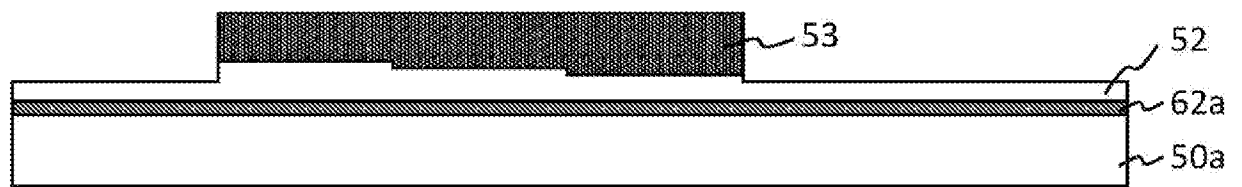
[図13E]



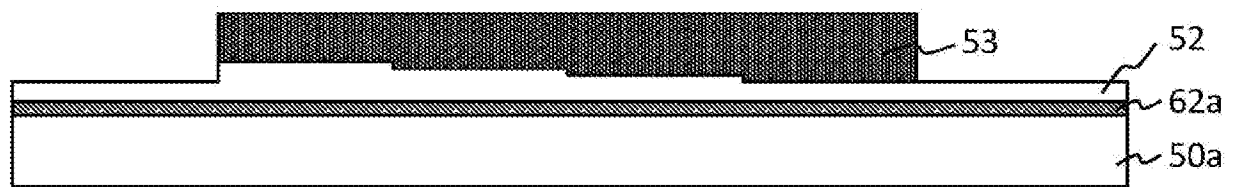
[図13F]



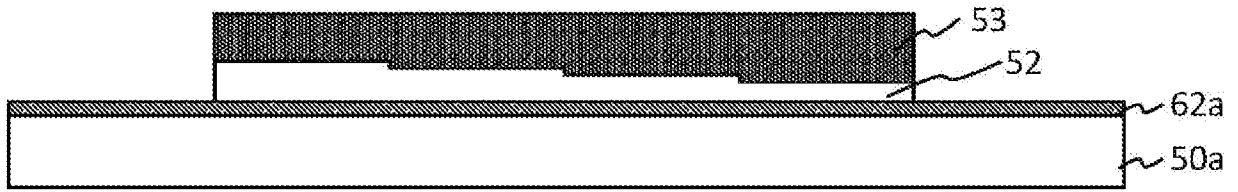
[図13G]



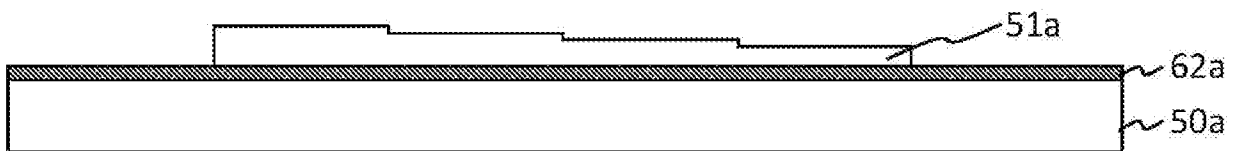
[図13H]



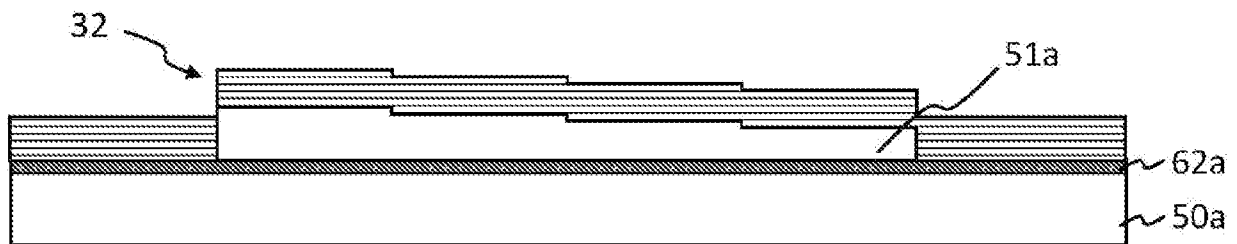
[図13I]



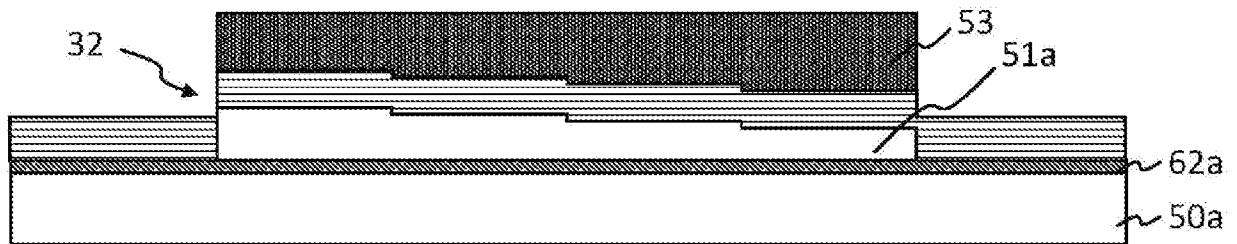
[図13J]



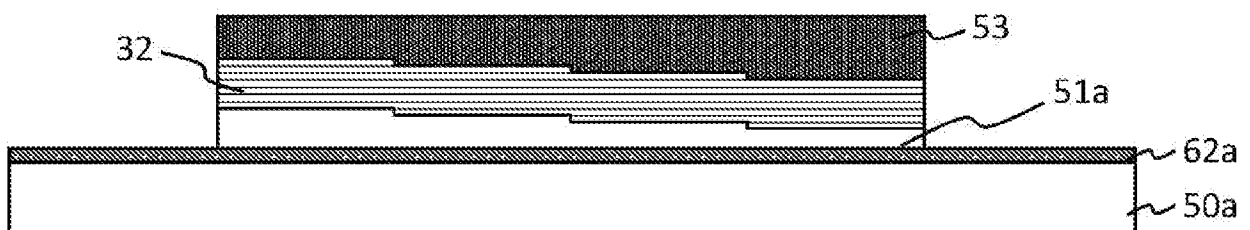
[図13K]



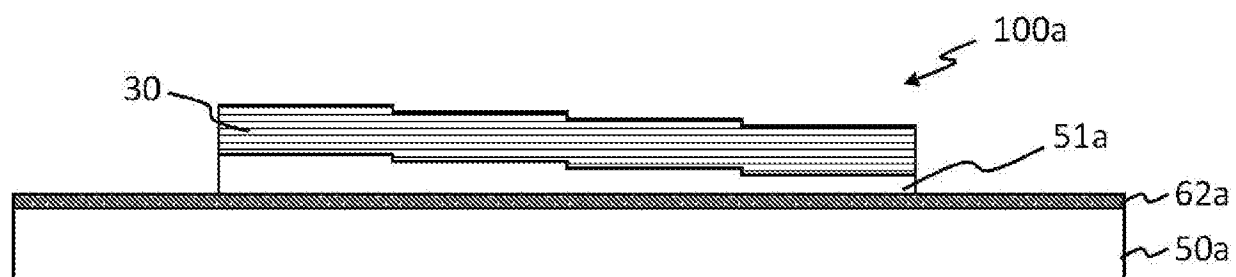
[図13L]



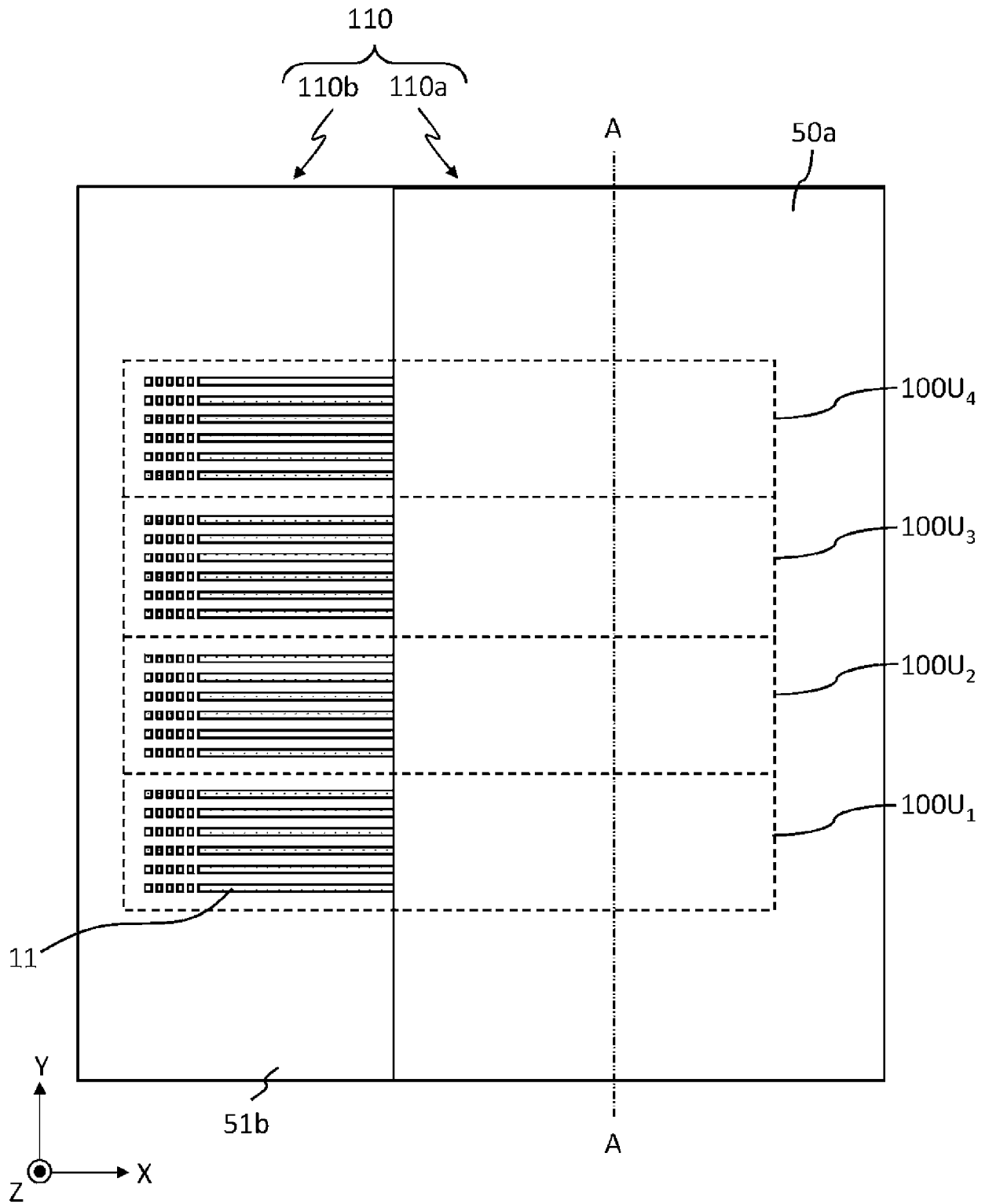
[図13M]



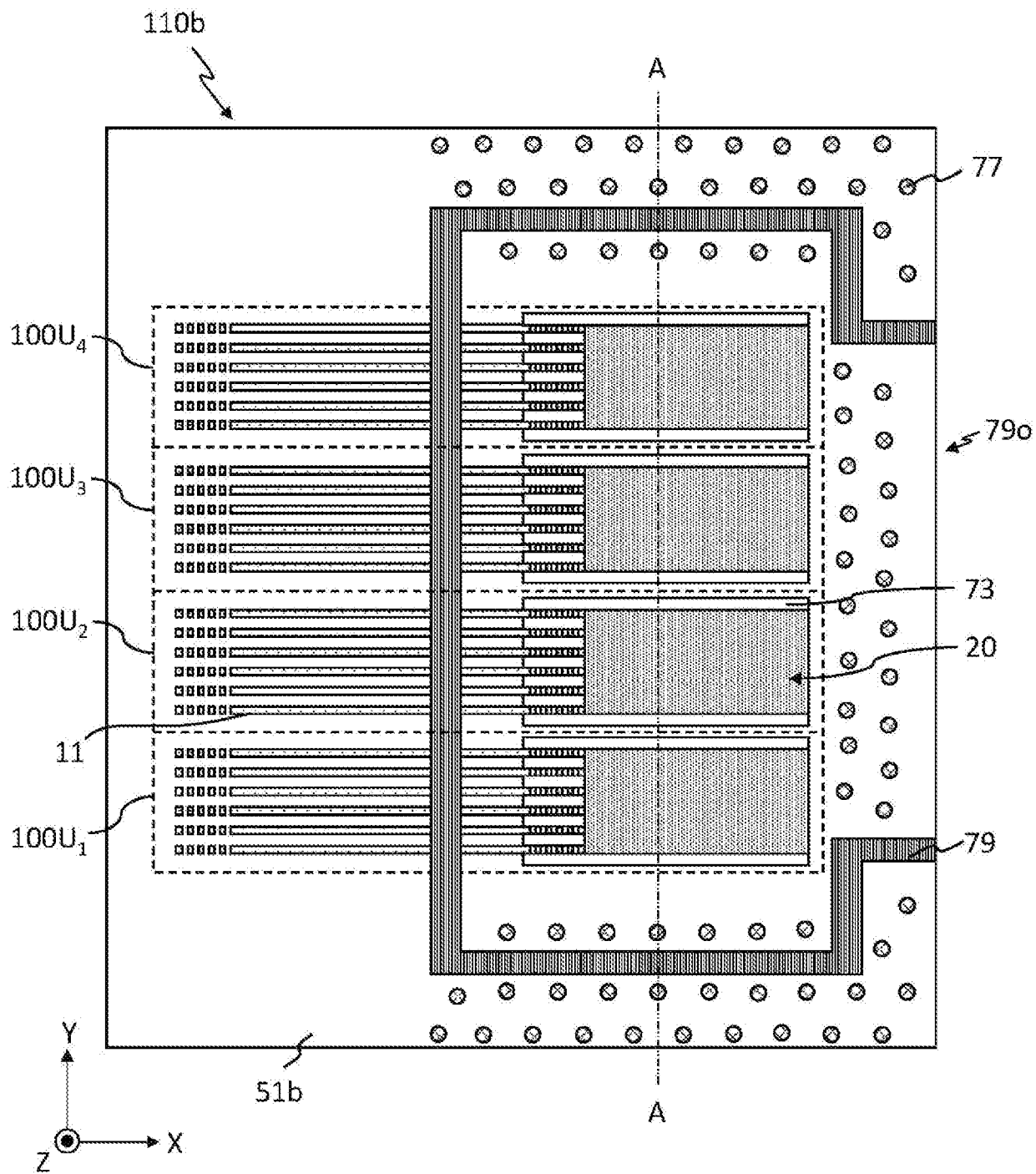
[図13N]



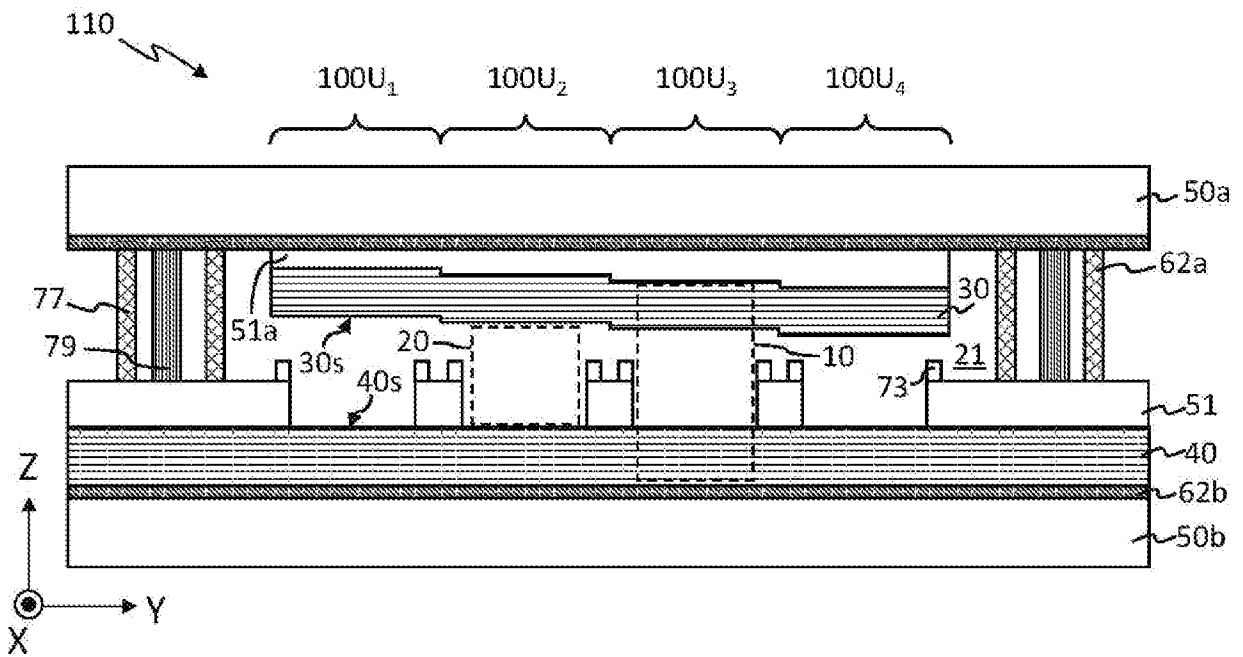
[図14A]



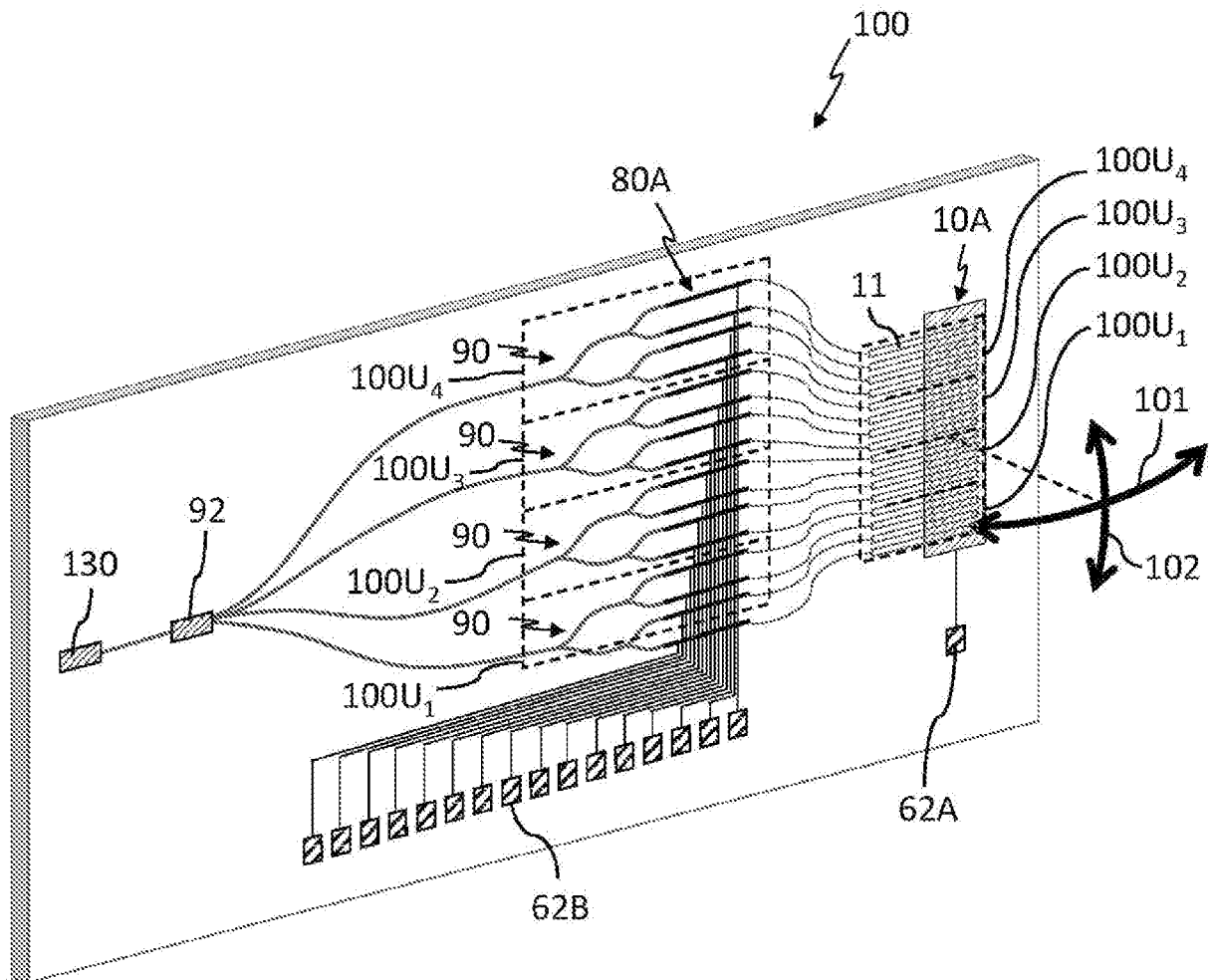
[図14B]



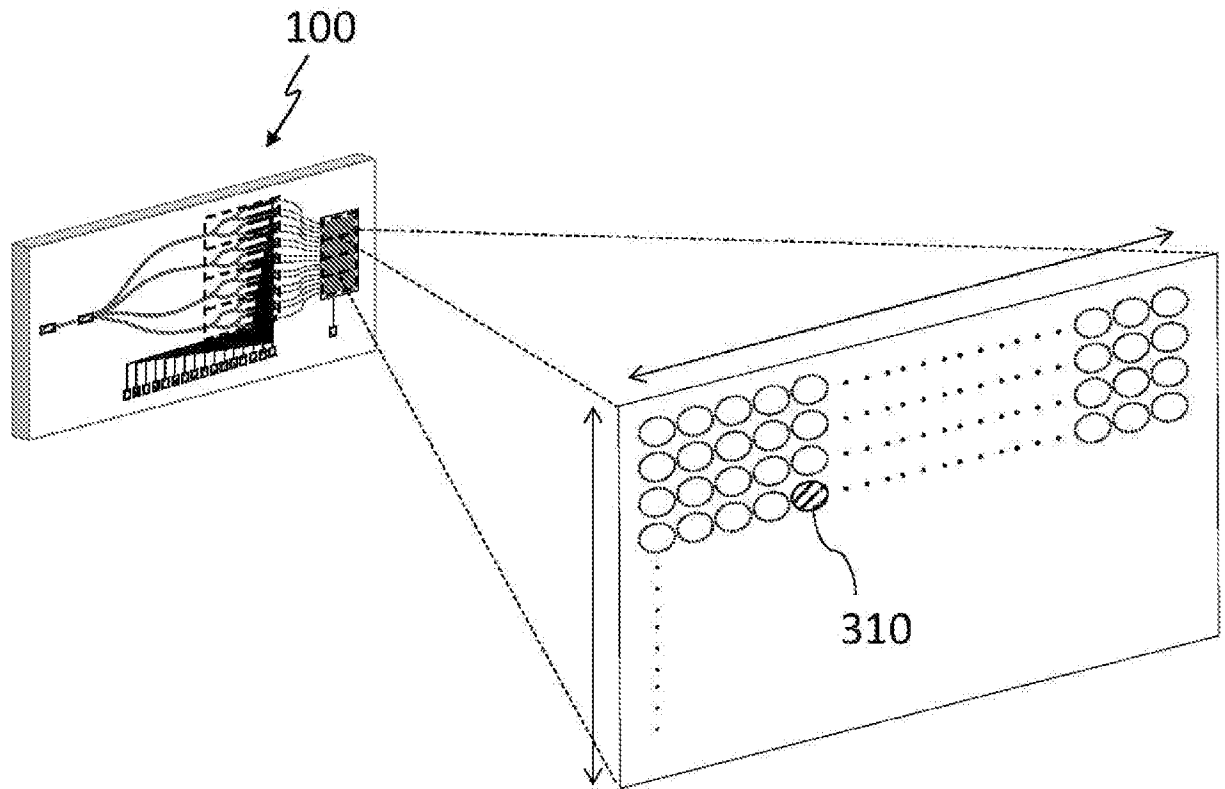
[図14C]



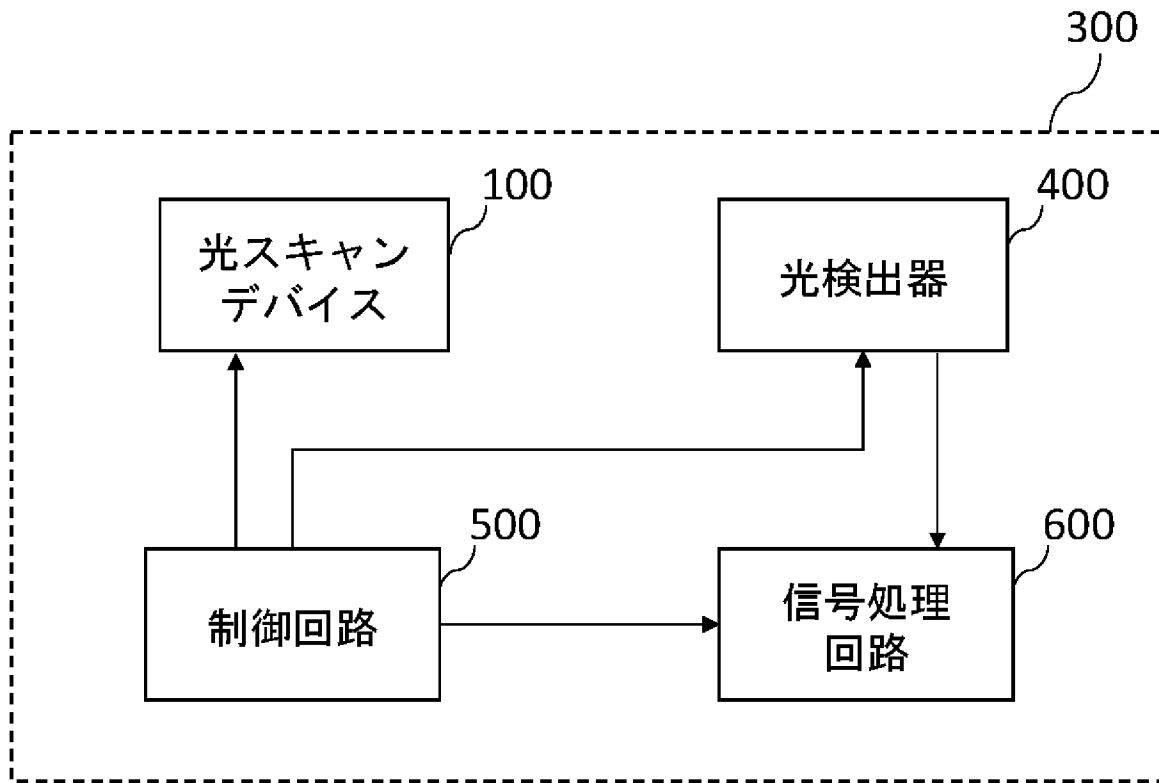
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/028693

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G02F 1/295</i> (2006.01)i; <i>G01S 7/481</i> (2006.01)i; <i>G02B 6/12</i> (2006.01)i; <i>G02B 6/122</i> (2006.01)i; <i>G02B 6/124</i> (2006.01)i FI: G02F1/295; G02B6/12 361; G01S7/481 A; G02B6/124; G02B6/122		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00; G02B6/12-6/14; G02B6/26-6/27; G02B6/30-6/34; G02B6/42-6/43; G01S7/48-7/51; G01S17/00-17/95		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Scopus		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2020/059226 A1 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 26 March 2020 (2020-03-26) paragraphs [0028], [0041]-[0043], [0095]-[0143], [0148]-[0162], fig. 9-11, 14-16, table 2	1-12, 14-16
Y		13
Y	JP 2020-072345 A (FUJITSU OPTICAL COMPONENTS LTD.) 07 May 2020 (2020-05-07) paragraphs [0031]-[0035], [0056]-[0065], fig. 2, 9	13
A	JP 2019-174538 A (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 10 October 2019 (2019-10-10) entire text, all drawings	1-16
A	JP 2013-016591 A (DENSO CORP.) 24 January 2013 (2013-01-24) entire text, all drawings	1-16
A	JP 2009-048021 A (RICOH CO., LTD.) 05 March 2009 (2009-03-05) entire text, all drawings	1-16
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 13 September 2021		Date of mailing of the international search report 05 October 2021
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/028693

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2010/0202734 A1 (THE GOVERNORS OF THE UNIVERSITY OF ALBERTA) 12 August 2010 (2010-08-12) entire text, all drawings	1-16
.....		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2021/028693

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2020/059226	A1	26 March 2020	US 2021/0149136 A1 paragraphs [0054], [0067]- [0069], [0121]-[0167], [0172]- [0186], fig. 9-11, 14-16, table 2 CN 112219161 A	
JP	2020-072345	A	07 May 2020	US 2020/0136728 A1 paragraphs [0051]-[0055], [0076]-[0085], fig. 2, 9 CN 111123447 A	
JP	2019-174538	A	10 October 2019	(Family: none)	
JP	2013-016591	A	24 January 2013	(Family: none)	
JP	2009-048021	A	05 March 2009	(Family: none)	
US	2010/0202734	A1	12 August 2010	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02F 1/295(2006.01)i; G01S 7/481(2006.01)i; G02B 6/12(2006.01)i; G02B 6/122(2006.01)i; G02B 6/124(2006.01)i FI: G02F1/295; G02B6/12 361; G01S7/481 A; G02B6/124; G02B6/122</p>										
<p>B. 調査を行った分野</p>										
<p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00; G02B6/12-6/14; G02B6/26-6/27; G02B6/30-6/34; G02B6/42-6/43; G01S7/48-7/51; G01S17/00-17/95</p>										
<p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2021年									
日本国実用新案登録公報	1996-2021年									
日本国登録実用新案公報	1994-2021年									
<p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） Scopus</p>										
<p>C. 関連すると認められる文献</p>										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	WO 2020/059226 A1（パナソニックIPマネジメント株式会社）26.03.2020（2020-03-26） 段落0028、0041-0043、0095-0143、0148-0162、図9-11、14-16、表2	1-12, 14-16								
Y		13								
Y	JP 2020-072345 A（富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社）07.05.2020（2020-05-07） 段落0031-0035、0056-0065、図2、9	13								
A	JP 2019-174538 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）10.10.2019（2019-10-10） 全文、全図	1-16								
A	JP 2013-016591 A（株式会社デンソー）24.01.2013（2013-01-24） 全文、全図	1-16								
A	JP 2009-048021 A（株式会社リコー）05.03.2009（2009-03-05） 全文、全図	1-16								
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>										
* 引用文献のカテゴリー	<p>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</p> <p>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</p> <p>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</p>									
国際調査を完了した日	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>13.09.2021 05.10.2021</p>									
名称及びあて先	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>井部 紗代子 2L 1170</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3295</p>									
<p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>										

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2010/0202734 A1 (THE GOVERNORS OF THE UNIVERSITY OF ALBERTA) 12.08.2010 (2010 - 08 - 12) 全文、全図	1-16
.....		

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/028693

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2020/059226	A1	26.03.2020	US 2021/0149136 A1 段落0054、0067- 0069、0121-0 167、0172-018 6、図9-11、14-1 6、表2 CN 112219161 A	
JP	2020-072345	A	07.05.2020	US 2020/0136728 A1 段落0051-0055、 0076-0085、図 2、9 CN 111123447 A	
JP	2019-174538	A	10.10.2019	(ファミリーなし)	
JP	2013-016591	A	24.01.2013	(ファミリーなし)	
JP	2009-048021	A	05.03.2009	(ファミリーなし)	
US	2010/0202734	A1	12.08.2010	(ファミリーなし)	