(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
2025年1月2日(02.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/004207 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/05 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/023921

(22) 国際出願日： 2023年6月28日(28.06.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 株式会社ニコン (**NIKON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1086290 東京都港区港南二丁目１５番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 岡▲崎▼ 雅英 (**OKAZAKI, Masahide**); 〒1086290 東京都港区港南二丁目１５番３号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

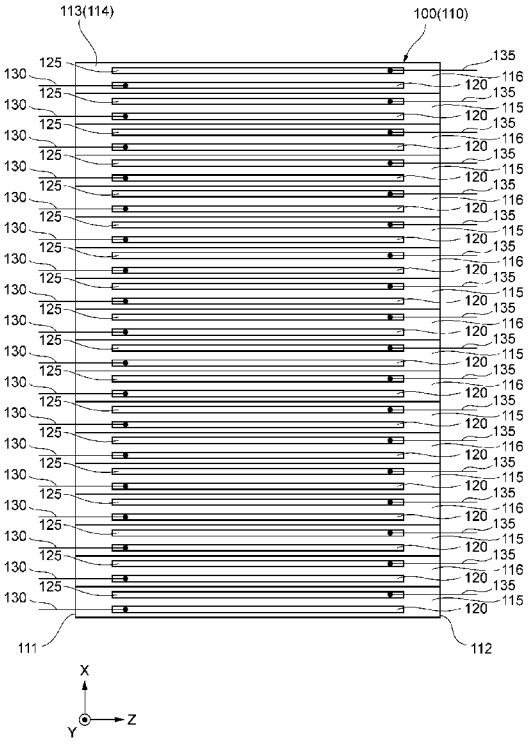
(74) 代理人: 大西 正悟，外 (**OHNISHI, Shogo** et al.); 〒1700013 東京都豊島区東池袋３－２０－３、東池袋ＳＳビル１階 大西国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,

WO 2025/004207 A1

(54) **Title:** SPATIAL LIGHT MODULATION ELEMENT, OPTICAL UNIT, AND LIGHT PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称： 空間光変調素子、光学ユニット、及び光加工装置



(57) **Abstract:** A spatial light modulation element (100) is provided with: an optical member (110) which is formed using a ferroelectric material having light transmissivity, and on which processing light traveling along a Z direction is incident as incident light; positive and negative electrodes (120, 125) that are disposed on a disposition surface (113) of the optical member (110) along an X direction; and wiring (positive lines (130) and ground lines (135)) that applies voltage to the positive electrodes (120) such that a potential difference is generated between the positive and negative electrodes (120, 125). When the potential difference has been generated between the positive and negative electrodes (120, 125), the refractive index in the optical member (110) changes along the X direction.

(57) 要約：空間光変調素子（１００）は、入射光としてＺ方向に沿って進行する加工光が入射し、透光性を有する強誘電体材料を用いて形成される光学部材（１１０）と、Ｘ方向に沿って、光学部材（１１０）の配置面（１１３）に配置されるプラス及びマイナスの電極（１２０，１２５）と、プラス及びマイナスの電極（１２０，１２５）間に電位差を付けられるようにプラスの電極（１２０）に電圧を印加する配線（プラス線（１３０）及びグランド線（１３５））とを備える。プラス及びマイナスの電極（１２０，１２５）間に電位差を発生させた場合には、光学部材（１１０）内の屈折率がＸ方向に沿って変化する。

［続葉有］

SL, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

明　細　書

発明の名称 ： 空間光変調素子、光学ユニット、及び光加工装置

技術分野

[0001]　本発明は、空間光変調素子、光学ユニット、及び光加工装置に関する。

背景技術

[0002]　電気光学型空間光変調素子には、光を伝搬させる光学部材の片面に電極が設けられた空間光変調素子（例えば、特許文献１を参照）や、光を伝搬させる光学部材の両面に電極が設けられた空間光変調素子が知られている。このような空間光変調素子においては、高速に光の変調を行うことが求められている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許第６１６９５６５号明細書

発明の概要

[0004]　第１の本発明に係る空間光変調素子は、入射光を変調して射出する空間光変調素子であって、第１軸に沿って進行する前記入射光が入射し、透光性を有する強誘電体材料を用いて形成される光学部材と、前記第１軸と交差する第２軸に沿って、前記光学部材の面に配置される第１及び第２電極と、前記第１及び第２電極間に電位差を付けられるように前記第１及び第２電極のうち少なくとも一方に電圧を印加する配線とを備える。

[0005]　第２の本発明に係る空間光変調素子は、入射光を変調して射出する空間光変調素子であって、第１軸に沿って進行する前記入射光が入射し、透光性を有する強誘電体材料を用いて形成される光学部材と、前記第１軸と交差する第２軸に沿って、前記光学部材の面に配置される第１及び第２電極とを備え、前記第１及び第２電極間に電位差を発生させた場合に、前記光学部材内の屈折率が前記第２軸に沿って変化する。

[0006]　本発明に係る光学ユニットは、上述の空間光変調素子と、前記空間光変調

素子から射出される回折光が入射する光学系とを備え、前記光学系は、前記回折光における０次回折光及び前記０次回折光とは異なる次数の回折光のうち少なくとも一方を減光する減光部を有する。

[0007] 本発明に係る光加工装置は、光源からの加工光で物体を加工する光加工装置であって、上述の光学ユニットと、前記光学ユニットを介した前記光源からの加工光を前記物体に照射する照射装置とを備える。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]光加工装置を示す概略構成図である。

[図2]光加工装置の一部を示す断面図である。

[図3]空間光変調素子ユニットを入射面側から見た模式図である。

[図4]レンズアレイの正面図である。

[図5]光加工装置の第１の変形例を示す概略構成図である。

[図6]光加工装置の第２の変形例を示す概略構成図である。

[図7]第１実施形態に係る空間光変調素子の平面図である。

[図8]第１実施形態に係る空間光変調素子に加工光が入射する状態を示す平面図である。

[図9]第１実施形態に係る空間光変調素子の側面図である。

[図10]第１実施形態に係る空間光変調素子の断面図である。

[図11]従来の空間光変調素子の平面図である。

[図12]従来の空間光変調素子の側面図である。

[図13]従来の空間光変調素子の断面図である。

[図14]従来の空間光変調素子において電極間の距離が狭くなる場合を示す断面図である。

[図15]従来の空間光変調素子において電極間の距離が広くなる場合を示す断面図である。

[図16]第１実施形態に係る空間光変調素子の第１の変形例を示す側面図である。

[図17]第１実施形態に係る空間光変調素子の第２の変形例を示す側面図であ

る。

[図18]第２実施形態に係る空間光変調素子の平面図である。

[図19]第２実施形態に係る空間光変調素子に加工光が入射する状態を示す平面図である。

[図20]第２実施形態に係る空間光変調素子の側面図である。

[図21]第２実施形態に係る空間光変調素子の断面図である。

[図22]第３実施形態に係る空間光変調素子の平面図である。

[図23]第３実施形態に係る空間光変調素子の側面図である。

[図24]第３実施形態に係る空間光変調素子の変形例を示す平面図である。

[図25]第４実施形態に係る空間光変調素子の平面図である。

[図26]第４実施形態に係る空間光変調素子の側面図である。

[図27]第４実施形態に係る空間光変調素子の変形例を示す平面図である。

[図28]第５実施形態に係る空間光変調素子の平面図である。

[図29]第６実施形態に係る空間光変調素子の平面図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、好ましい実施形態について説明する。まず、各実施形態に係る空間光変調素子を備える光学ユニット及び光加工装置について、図１～図４を用いて説明する。光加工装置の説明において、図１の各矢印で示す方向をそれぞれ、Ｘ方向、Ｙ方向、Ｚ方向と称することがある。Ｘ方向とＹ方向とＺ方向とは、互いに直交する方向である。

[0010] ［光加工装置］

図１に示すように、光加工装置１は、光源５と、加工光学系１０と、照射装置３０と、制御装置４０とを備える。光加工装置１は、加工光ＥＬを所定位置（例えば、ステージＳＴの上面）に配置されたワークＷ１に照射することにより、ワークＷ１に対して除去加工を行う。

[0011] 光源５は、例えばレーザ光等の加工光ＥＬを発光させる。光源５は、加工光ＥＬとしてパルス光を発光させるレーザ光源であってもよい。この場合、パルス光は、フェムト秒レーザとも称されるパルス光であってもよい。なお

、加工光ＥＬは、ワークＷ１に照射されることでワークＷ１を加工可能であれば、レーザ光と異なる種類の光であってもよい。また、加工光ＥＬの波長域は、ワークＷ１に照射されることでワークＷ１を加工可能であれば、いずれの波長域であってもよい。例えば、加工光ＥＬの波長域は、可視光線の波長域であってもよく、赤外線の波長域であってもよく、紫外線の波長域であってもよい。

[0012] 加工光学系１０には、光源５から発光した加工光ＥＬが入射する。加工光学系１０は、加工光学系１０に入射した加工光ＥＬを複数の加工光（例えば、縦横に３つずつ並ぶ９つの加工光）に分割し、照射装置３０に向けて射出する。加工光学系１０から射出された複数の加工光ＥＬは、照射装置３０のガルバノミラー３１及び走査光学系３５を介してワークＷ１に照射される。なお、加工光学系１０の光軸に沿った方向をＺ方向とする。また、Ｚ方向と直交する水平方向をＸ方向としてもよく、Ｚ方向及びＸ方向と直交する方向をＹ方向としてもよい。

[0013] 加工光学系１０は、光源５側から順に並んだ、回折光学素子１１と、コレクタレンズ１２と、コリメータレンズ１３と、光アイソレータ１４と、シリンドリカルエキスパンダ１５と、シリンドリカルレンズ１６と、空間光変調機能を有する光学ユニット２０と、集光レンズ２９とを備える。回折光学素子１１には、光源５から発光した加工光ＥＬが入射する。回折光学素子１１は、回折現象により、回折光学素子１１に入射した加工光ＥＬを複数の加工光に分割する。図１に示す例において、回折光学素子１１は、回折光学素子１１に入射した加工光ＥＬを、加工光学系１０の光軸に沿って進む加工光ＥＬと、加工光学系１０の光軸に対して±Ｙ方向に傾斜して進む２つの加工光ＥＬとに分割する。

[0014] 図１に示す例において、回折光学素子１１は、回折光学素子１１に入射した加工光ＥＬを３つの加工光に分割しているが、これに限られるものではない。回折光学素子１１は、回折光学素子１１に入射した加工光ＥＬを５つの加工光に分割してもよく、回折光学素子１１に入射した加工光ＥＬを２つ以

上の加工光に分割できればよい。

[0015] コレクタレンズ１２には、回折光学素子１１から射出された複数の加工光ＥＬが入射する。コレクタレンズ１２の前側焦点位置は、回折光学素子１１の格子面に位置してもよい。コレクタレンズ１２は、コレクタレンズ１２を透過する複数の加工光ＥＬの進行方向を互いに平行にする。また、コレクタレンズ１２は、コレクタレンズ１２を透過する各加工光ＥＬを集光する。

[0016] コリメータレンズ１３は、複数の加工光ＥＬと位置整合してＹ方向に複数並んで配置される。図１に示すように、回折光学素子１１が加工光ＥＬを３本の光に分割する場合、コリメータレンズ１３は、Ｙ方向に３つ並んで配置されてもよい。複数のコリメータレンズ１３には、コレクタレンズ１２を透過した複数の加工光ＥＬが入射する。コリメータレンズ１３は、コレクタレンズ１２を透過する加工光ＥＬを平行光にする。

[0017] 光アイソレータ１４には、複数のコリメータレンズ１３を透過した複数の加工光ＥＬが入射する。光アイソレータ１４は、複数のコリメータレンズ１３から光アイソレータ１４に入射した複数の加工光ＥＬを透過させる。一方、光アイソレータ１４は、ワークＷ１で反射した加工光ＥＬを遮光する。

[0018] シリンドリカルエキスパンダ１５は、複数のコリメータレンズ１３と位置整合してＹ方向に複数並んで配置される。図１に示すように、回折光学素子１１が加工光ＥＬを３本の光に分割する場合、シリンドリカルエキスパンダ１５は、Ｙ方向に３つ並んで配置されてもよい。複数のシリンドリカルエキスパンダ１５には、光アイソレータ１４を透過した複数の加工光ＥＬが入射する。シリンドリカルエキスパンダ１５は、シリンドリカルエキスパンダ１５を透過する加工光ＥＬの幅をＸ方向に広げる（図２を参照）。

[0019] シリンドリカルレンズ１６には、複数のシリンドリカルエキスパンダ１５を透過した複数の加工光ＥＬが入射する。シリンドリカルレンズ１６は、シリンドリカルレンズ１６を透過する各加工光ＥＬをＹ方向に集光する。これにより、光学ユニット２０の空間光変調素子１００に入射する加工光ＥＬの断面形状は、Ｙ方向の幅がＸ方向の幅より小さい楕円形状になる（図３を参

照）。なお、空間光変調素子１００に入射する断面視楕円形状の加工光ＥＬを、シート状の加工光ＥＬと称してもよい。光源５からの加工光ＥＬのビーム断面形状を楕円形状に整形するシリンドリカルエキスパンダ１５及びシリンドリカルレンズ１６を、整形光学系と称してもよい。

[0020] 光学ユニット２０には、シリンドリカルレンズ１６を透過した複数の加工光ＥＬが入射する。光学ユニット２０は、光源５側から順に並んだ、空間光変調素子ユニット２１と、レンズアレイ２３と、シュリーレン光学系２５とを備える。空間光変調素子ユニット２１は、Ｙ方向に重なって設けられた複数の空間光変調素子１００と、駆動回路２２とを備える。複数の空間光変調素子１００は、コレクタレンズ１２の後側焦点位置に配置されてもよい。図１に示すように、回折光学素子１１が加工光ＥＬを３本の光に分割する場合、空間光変調素子ユニット２１は、Ｙ方向に重なって設けられた３つの空間光変調素子１００を備えてもよい。空間光変調素子１００の詳細については、後で説明する。駆動回路２２は、配線ＥＷを介して複数の空間光変調素子１００に設けられた複数の電極と電気的に接続され、空間光変調素子１００の各電極に電圧を印加することができるようになっている。

[0021] 複数の空間光変調素子１００には、シリンドリカルレンズ１６を透過した複数の加工光ＥＬが入射する。空間光変調素子１００の各電極に電圧が印加されていない状態で、空間光変調素子１００は、空間光変調素子１００に入射した加工光ＥＬを０次回折光としてレンズアレイ２３に向けて射出する。空間光変調素子１００の各電極に電圧が印加されると、空間光変調素子１００に入射した加工光ＥＬが回折して所定次数（例えば、＋１次または－１次）の回折光が生じる。また、空間光変調素子１００の一部の電極に電圧が印加されると、空間光変調素子１００に入射した加工光ＥＬの一部が回折して所定次数の回折光が生じる。

[0022] 例えば、空間光変調素子１００の中央側に位置する電極に電圧が印加されると、空間光変調素子１００は、図２に示すように、空間光変調素子１００に入射した断面視楕円形状（シート状）の加工光ＥＬのうち、加工光ＥＬの

中央側の部分の光が回折して生じる所定次数の回折光ＤＬをレンズアレイ２３に向けて射出し、加工光ＥＬの他の部分（±Ｘ方向の端部側の部分）の光を０次回折光としてレンズアレイ２３に向けて射出する。また、空間光変調素子１００の＋Ｘ方向（もしくは－Ｘ方向）の端部側に位置する電極に電圧が印加されると、空間光変調素子１００は、空間光変調素子１００に入射した加工光ＥＬのうち、加工光ＥＬの＋Ｘ方向（もしくは－Ｘ方向）の端部側の部分の光が回折して生じる所定次数の回折光をレンズアレイ２３に向けて射出し、加工光ＥＬの他の部分の光を０次回折光としてレンズアレイ２３に向けて射出する。

[0023] 図２に示す例において、空間光変調素子１００の電極に電圧が印加されると、加工光ＥＬ（０次回折光）に代えて２つの回折光ＤＬ（例えば、±１次回折光）が空間光変調素子１００から射出されるようになっているが、これに限られるものではない。例えば、空間光変調素子１００の電極に電圧が印加されると、加工光ＥＬ（０次回折光）に代えて１つの回折光（例えば、＋１次の回折光や、－１次の回折光）が空間光変調素子１００から射出されるようにしてもよい。また、所定次数の回折光は、例えば、＋１次の回折光であってもよく、－１次の回折光であってもよく、０次回折光と異なる次数の回折光であればよい。

[0024] レンズアレイ２３には、複数の空間光変調素子１００から射出された加工光ＥＬまたは回折光ＤＬが入射する。レンズアレイ２３は、図４に示すように、Ｘ方向とＹ方向の２方向に並ぶ複数のレンズ２４を有する。レンズアレイ２３の各レンズ２４は、一般的にはＸ方向とＹ方向のパワーが異なるレンズ（アナモルフィックレンズ）で構成されており、複数の空間光変調素子１００と位置整合してＹ方向に複数並んで配置される。図１に示すように、回折光学素子１１が加工光ＥＬを３本の光に分割する場合、レンズアレイ２３の各レンズ２４は、３つの空間光変調素子１００と位置整合してＹ方向に３つ並んで配置されてもよい。

[0025] また、レンズアレイ２３の各レンズ２４は、空間光変調素子１００のＸ方

向の幅の範囲内で、Ｘ方向に複数並んで配置される。図２及び図４に示す例において、レンズアレイ２３の各レンズ２４は、空間光変調素子１００のＸ方向の幅の範囲内で、Ｘ方向に３つ並んで配置され、空間光変調素子１００において３つの制御グループにグループ分けされる各電極と位置整合するようになっている。これにより、レンズアレイ２３は、レンズアレイ２３に入射した加工光ＥＬをＸ方向で３分割してシュリーレン光学系２５に入射させる。また、図２に示すように、レンズアレイ２３は、レンズアレイ２３に入射した回折光ＤＬをシュリーレン光学系２５に入射させる。なお、図２に示す例において、レンズアレイ２３の±Ｘ方向の端部側のレンズ２４から射出される加工光ＥＬについては主光線並びに周縁光線（上光線及び下光線）を示している。

[0026] 図２及び図４に示す例において、レンズアレイ２３の各レンズ２４は、Ｘ方向に３つ並んで配置されているが、これに限られるものではない。レンズアレイ２３の各レンズ２４は、空間光変調素子１００のＸ方向の幅の範囲内で、Ｘ方向に５つ並んで配置されてもよく、Ｘ方向に２つ以上並んで配置されてもよい。また、レンズアレイ２３の各レンズ２４は、Ｘ方向に１つだけ配置されてもよく、すなわちＹ方向に１列に並んで配置されてもよい。さらには、レンズアレイ２３を設けずに、シュリーレン光学系２５の前側焦点面に位置する中間像の位置と空間光変調素子１００の射出端の位置とを一致させるようにしてもよい。

[0027] シュリーレン光学系２５は、図１及び図２に示すように、光源５側から順に並んだ、第１リレーレンズ２６と、絞り２７と、第２リレーレンズ２８とを備える。第１リレーレンズ２６には、レンズアレイ２３の各レンズ２４を透過した加工光ＥＬまたは回折光ＤＬが入射する。第１リレーレンズ２６は、第１リレーレンズ２６に入射した複数の加工光ＥＬを、絞り２７の中央部に向けて集める。

[0028] 絞り２７は、第１リレーレンズ２６の後側焦点位置に配置される。絞り２７の中央部には、第１リレーレンズ２６を透過して集まる複数の加工光ＥＬ

が通過可能な開口部２７ａが形成される。絞り２７は、第１リレーレンズ２６を透過した空間光変調素子ユニット２１からの回折光ＤＬを遮光する。

[0029] 第２リレーレンズ２８には、絞り２７の開口部２７ａを通過した複数の加工光ＥＬが入射する。第２リレーレンズ２８は、第２リレーレンズ２８を透過する複数の加工光ＥＬの進行方向を互いに平行にする。第２リレーレンズ２８の前側焦点位置が第１リレーレンズ２６の後側焦点位置に位置するように、第２リレーレンズ２８が配置されている。

[0030] 集光レンズ２９には、第２リレーレンズ２８を透過した複数の加工光ＥＬが入射する。集光レンズ２９は、集光レンズ２９に入射した複数の加工光ＥＬを照射装置３０のガルバノミラー３１に向けて集める。集光レンズ２９の前側焦点位置が第２リレーレンズ２８の後側焦点位置に位置するように、集光レンズ２９が配置されてもよい。

[0031] 照射装置３０（ガルバノミラー３１）には、集光レンズ２９を透過した複数の加工光ＥＬが入射する。照射装置３０は、照射装置３０に入射した複数の加工光ＥＬをワークＷ１に照射する。照射装置３０は、図１に示すように、光源５側から順に並んだ、ガルバノミラー３１と、走査光学系３５とを備える。

[0032] ガルバノミラー３１は、反射面を揺動または回転させて加工光ＥＬの光路に対する角度を変更することで、複数の加工光ＥＬの射出方向を変更する。ガルバノミラー３１による複数の加工光ＥＬの射出方向の変化は、走査光学系３５によって、複数の加工光ＥＬの照射位置の変化に変換される。従って、ガルバノミラー３１が複数の加工光ＥＬの射出方向を変更することにより、ワークＷ１に対する加工光ＥＬの照射位置（集光位置）を変化させることができる。これにより、ガルバノミラー３１は、複数の加工光ＥＬでワークＷ１の表面を走査することができる。なお、ガルバノミラー３１に代えて、ポリゴンスキャナや音響光学素子等を用いて、複数の加工光ＥＬでワークＷ１の表面を走査するようにしてもよい。

[0033] 走査光学系３５には、ガルバノミラー３１から射出された加工光ＥＬが入

射する。走査光学系３５は、ガルバノミラー３１からの加工光ＥＬをワークＷ１の表面に集光する。すなわち、走査光学系３５は、収斂状態の加工光ＥＬをワークＷ１の表面に照射する。

[0034] 制御装置４０は、例えばＣＰＵ（中央処理装置）やメモリ（図示せず）等を用いて構成される。制御装置４０は、メモリに記憶された制御プログラムに基づいて、光源５、駆動回路２２、ガルバノミラー３１等の作動を制御する。

[0035] 以上のように構成される光加工装置１において、光源５から発光した加工光ＥＬは、加工光学系１０に入射する。加工光学系１０は、加工光学系１０に入射した加工光ＥＬを複数の加工光（例えば、縦横に３つずつ並ぶ９つの加工光）に分割し、照射装置３０に向けて射出する。加工光学系１０から射出された複数の加工光ＥＬは、照射装置３０のガルバノミラー３１及び走査光学系３５を介してワークＷ１に照射される。このとき、ガルバノミラー３１が複数の加工光ＥＬの射出方向を変更することにより、ワークＷ１に対する加工光ＥＬの照射位置（集光位置）を変化させる。これにより、ガルバノミラー３１は、複数の加工光ＥＬでワークＷ１の表面を走査する。

[0036] 加工光学系１０において、コレクタレンズ１２には、回折光学素子１１から射出された複数の加工光ＥＬが入射する。コレクタレンズ１２を透過した複数の加工光ＥＬは、複数のコリメータレンズ１３に入射する。複数のコリメータレンズ１３を透過した複数の加工光ＥＬは、光アイソレータ１４に入射する。光アイソレータ１４を透過した複数の加工光ＥＬは、複数のシリンドリカルエキスパンダ１５に入射する。複数のシリンドリカルエキスパンダ１５を透過した複数の加工光ＥＬは、シリンドリカルレンズ１６に入射する。シリンドリカルレンズ１６を透過した複数の加工光ＥＬは、光学ユニット２０（空間光変調素子ユニット２１）の複数の空間光変調素子１００に入射する。なお、各空間光変調素子１００に入射する加工光ＥＬの断面形状は、Ｙ方向の幅がＸ方向の幅より小さい楕円形状になる（図３を参照）。

[0037] 複数の空間光変調素子１００の各電極に電圧が印加されていない状態で、

空間光変調素子１００に入射した加工光ＥＬは、０次回折光として空間光変調素子１００から射出され、レンズアレイ２３に入射する。レンズアレイ２３の各レンズ２４を透過して分割された複数の加工光ＥＬ（例えば、Ｘ方向とＹ方向に３つずつ並ぶ９つの加工光ＥＬ）は、レンズアレイ２３の焦点位置（第１の中間像ＩＭ１の位置）で一旦集光して複数の（９つの）離散した集光ビームを形成する。レンズアレイ２３の焦点位置で一旦集光した複数の加工光ＥＬは、シュリーレン光学系２５の第１リレーレンズ２６に入射する。第１リレーレンズ２６を透過した複数の加工光ＥＬは、絞り２７の開口部２７ａを通過して第２リレーレンズ２８に入射する。第２リレーレンズ２８を透過した複数の加工光ＥＬは、第２リレーレンズ２８の後側焦点位置（第２の中間像ＩＭ２の位置）で再び集光して複数の（９つの）離散した集光ビームを形成する。第２リレーレンズ２８の後側焦点位置で再び集光した複数の加工光ＥＬは、集光レンズ２９に入射する。集光レンズ２９を透過した複数の加工光ＥＬは、照射装置３０のガルバノミラー３１に集められる。

[0038] 空間光変調素子１００の各電極に電圧が印加されると、空間光変調素子１００に入射した加工光ＥＬが回折して所定次数の回折光が生じる。また、空間光変調素子１００においてレンズアレイ２３のうち一部のレンズ２４に対応する制御グループの電極に電圧が印加されると、空間光変調素子１００に入射した加工光ＥＬの一部が回折して所定次数の回折光が生じる。例えば、空間光変調素子１００においてレンズアレイ２３の中央のレンズ２４に対応する制御グループの電極に電圧が印加されると、空間光変調素子１００に入射した断面視楕円形状（シート状）の加工光ＥＬのうち、加工光ＥＬの中央側の部分の光は印加される電圧に応じた回折効率で回折して所定次数の回折光ＤＬが空間光変調素子１００から射出される。なおこのとき、加工光ＥＬの中央側の部分の光の一部は０次回折光として空間光変調素子１００から射出される。電極に回折効率が１００％となる適切な電圧が印加される場合、加工光ＥＬの中央側の部分の光の全てが回折して所定次数の回折光ＤＬが空間光変調素子１００から射出される（０次回折光は射出されない）。また、

空間光変調素子１００においてレンズアレイ２３の中央のレンズ２４に対応する制御グループの電極に電圧が印加され、レンズアレイ２３の両端側のレンズ２４に対応する制御グループの電極に電圧が印加されないと、加工光ＥＬの他の部分（±Ｘ方向の端部側の部分）の光は０次回折光として空間光変調素子１００から射出される。

[0039] 空間光変調素子１００から射出された回折光ＤＬは、レンズアレイ２３を透過して加工光学系１０の光軸に対してＸ方向に傾斜して進み、シュリーレン光学系２５の第１リレーレンズ２６に入射する。加工光学系１０の光軸に対して傾斜して進んで第１リレーレンズ２６を透過した回折光ＤＬは、絞り２７で遮光される。言い換えると、加工光ＥＬは、空間光変調素子１００で回折することにより、絞り２７で減光される。これにより、空間光変調素子１００の電極のうち少なくとも一部に電圧を印加することで、複数の加工光ＥＬ（例えば、縦横に３つずつ並ぶ９つの加工光）のうち少なくとも１つを選択して（電極に回折効率が１００％となる電圧を印加する場合）ワークＷ１に照射しないようにすることができる。また、複数の加工光ＥＬのうち一部の光の強度を連続的または段階的に変更してワークＷ１に照射することもできる。

[0040] 従って、制御装置４０により駆動回路２２を制御して、複数の空間光変調素子１００に設けられた複数の電極のうち電圧を印加する電極を変更することで、複数の加工光ＥＬのうちワークＷ１に照射する加工光を短時間で選択的に変更することができる。また、ワークＷ１に照射する加工光の強度を連続的または段階的に変更することもできる。そのため、光学ユニット２０（空間光変調素子１００）を備える光加工装置１によれば、ワークＷ１に照射する加工光の形状を電圧の制御ができる範囲の短時間で変更することができ、より多様な加工を行うことが可能になる。

[0041] また、光源５からの加工光ＥＬのビーム断面形状を楕円形状に整形する整形光学系（シリンドリカルエキスパンダ１５及びシリンドリカルレンズ１６）が設けられてもよい。これにより、空間光変調素子１００は、空間光変調

素子１００に入射した断面視楕円形状の加工光ＥＬのうち、加工光ＥＬの一部が回折して生じる所定次数の回折光ＤＬを射出し、加工光ＥＬの他の部分を０次回折光として射出することができる。そのため、比較的少数の空間光変調素子１００を用いて、複数の加工光ＥＬ（例えば、縦横に３つずつ並ぶ９つの加工光）のうちワークＷ１に照射する加工光を選択的に変更することができる。

[0042] なお、空間光変調素子１００から射出された０次回折光が絞り２７の開口部２７ａを通過し、空間光変調素子１００から射出された所定次数の回折光が絞り２７で遮光されるように構成されているが、これに限られるものではない。例えば、空間光変調素子１００から射出された所定次数の回折光が絞り２７の開口部２７ａを通過し、空間光変調素子１００から射出された０次回折光が絞り２７で遮光されるように構成されてもよい。また、絞り２７に代えて、中央に開口部を有する減光フィルタを設け、回折光の光量が減光フィルタで大幅に低減されるようにしてもよい。回折光を遮光する絞り２７や、回折光の光量を低減する減光フィルタは、回折光を減光する減光部であるともいえる。

[0043] 上述の光加工装置１において、レンズアレイ２３と集光レンズ２９との間のシュリーレン光学系２５を省略してもよい。この場合、集光レンズ２９により複数の加工光ＥＬが集まるガルバノミラー３１に、空間光変調素子１００から射出された所定次数の回折光を減光する減光部を設けてもよい、このような減光部として、例えば、空間光変調素子１００から射出された所定次数の回折光が入射しない大きさ或いは形状の反射面を有するガルバノミラーを用いてもよい。

[0044] ［光加工装置の変形例］

空間光変調素子１００を備える光加工装置は、上述の除去加工を行う光加工装置１に限られるものではなく、付加加工を行う光加工装置５１（図５を参照）であってもよい。第１の変形例に係る光加工装置５１は、図５に示すように、光源５と、加工光学系１０と、照射装置３０と、制御装置４０と、

供給機構５５とを備える。光加工装置５１は、加工光ＥＬを供給機構５５により供給される造形材料Ｍ１に照射して付加加工を行うことにより、３次元の造形物ＳＣを形成する。造形材料Ｍ１は、例えば、チタンやステンレス等の金属材料、エンジニアリングプラスチック等の樹脂材料、セラミック材料等を用いて、粉末状に形成される。

[0045] 光源５、加工光学系１０、照射装置３０、及び制御装置４０は、前述の光加工装置１の光源５、加工光学系１０、照射装置３０、及び制御装置４０と同様の構成であるため、同一の符号を付して詳細な説明を省略する。なお、光源５は、加工光ＥＬとしてパルス光を発光させるレーザ光源であってもよい。この場合、パルス光は、フェムト秒レーザよりもパルス幅が長いパルス光であってもよい。また、加工光ＥＬの波長は、赤外線の波長域（例えば、１０６４ｎｍ）であってもよい。

[0046] 供給機構５５は、ビルドピストン５６Ａ及びビルドシリンダ５６Ｂと、フィードピストン５７Ａ及びフィードシリンダ５７Ｂと、レベリングローラ５８とを備える。ビルドピストン５６Ａ及びビルドシリンダ５６Ｂは、走査光学系３５の下方に配置される。ビルドピストン５６Ａは、ビルドシリンダ５６Ｂの内部に、上下方向に往復移動可能に取りつけらる。フィードピストン５７Ａ及びフィードシリンダ５７Ｂは、ビルドピストン５６Ａ及びビルドシリンダ５６Ｂの側方に並んで配置される。フィードピストン５７Ａは、フィードシリンダ５７Ｂの内部に、上下方向に往復移動可能に配置される。フィードシリンダ５７Ｂの内部におけるフィードピストン５７Ａの上方に、造形材料Ｍ１が貯留される。レベリングローラ５８は、フィードシリンダ５７Ｂの上縁部とビルドシリンダ５６Ｂの上縁部との間で略水平方向に往復移動可能に配置される。レベリングローラ５８は、フィードシリンダ５７Ｂの上縁部からビルドシリンダ５６Ｂの上縁部へ転がり移動することにより、フィードピストン５７Ａの上方に貯留された造形材料Ｍ１をビルドピストン５６Ａの上方に押し出して供給することができるようになっている。なお、制御装置４０は、光源５、駆動回路２２、ガルバノミラー３１等に加えて、供給機

構５５の作動を制御する。また、供給機構５５は、レベリングローラ５８に代えて、スキージを備えてもよい。

[0047] 第１の変形例に係る光加工装置５１において、供給機構５５は、所定の厚さの造形材料Ｍ１の層を、加工光ＥＬが照射されるごとに、ビルドシリンダ５６Ｂの内部におけるビルドピストン５６Ａの上方に繰り返し供給する。このとき、所定の厚さと同じ長さ分だけ、ビルドピストン５６Ａが下方に移動し、フィードピストン５７Ａがフィードピストン５７Ａの上方に貯留された造形材料Ｍ１とともに上方に移動する。そして、レベリングローラ５８が、フィードシリンダ５７Ｂの上縁部から突出した造形材料Ｍ１を、ビルドピストン５６Ａの上方に押し出す。これにより、所定の厚さの造形材料Ｍ１の層が、ビルドシリンダ５６Ｂの内部におけるビルドピストン５６Ａの上方に供給される。なお、所定の厚さとは、加工光ＥＬの照射により３次元の造形物ＳＣの一部を形成することが可能な造形材料Ｍ１の層の厚さである。

[0048] 前述の光加工装置１の場合と同様に、光源５から発光した加工光ＥＬは、加工光学系１０に入射する。加工光学系１０は、加工光学系１０に入射した加工光ＥＬを複数の加工光（例えば、縦横に３つずつ並ぶ９つの加工光）に分割し、照射装置３０に向けて射出する。加工光学系１０から射出された複数の加工光ＥＬは、照射装置３０のガルバノミラー３１及び走査光学系３５を介して、ビルドシリンダ５６Ｂの内部におけるビルドピストン５６Ａの上方に供給された造形材料Ｍ１の最上層に照射される。このとき、ガルバノミラー３１が複数の加工光ＥＬの射出方向を変更することにより、造形材料Ｍ１に対する加工光ＥＬの照射位置（集光位置）を変化させる。これにより、ガルバノミラー３１は、複数の加工光ＥＬで造形材料Ｍ１の最上層を走査する。

[0049] 前述したように、光源５、加工光学系１０、照射装置３０、及び制御装置４０は、前述の光加工装置１の光源５、加工光学系１０、照射装置３０、及び制御装置４０と同様の構成である。従って、前述の光加工装置１と同様に、制御装置４０により駆動回路２２を制御して、複数の空間光変調素子１０

０に設けられた複数の電極のうち電圧を印加する電極を変更することで、複数の加工光ＥＬ（例えば、縦横に３つずつ並ぶ９つの加工光）のうち造形材料Ｍ１に照射する加工光を短時間で選択的に変更することができる。また、造形材料Ｍ１に照射する加工光の強度を連続的または段階的に変更することもできる。そのため、前述の光加工装置１と同様の効果を得ることができる。

[0050] また、空間光変調素子１００を備える光加工装置は、付加加工としてレーザ肉盛溶接法（ＬＭＤ：Laser Metal Deposition）により造形物を形成可能な光加工装置６１（図６を参照）であってもよい。第２の変形例に係る光加工装置６１は、図６に示すように、造形ヘッド７１と、ヘッド駆動系７６と、ステージ８１と、計測装置８６と、制御装置９１とを備える。光加工装置６１は、加工光ＥＬを造形ヘッド７１の供給ノズル７３より供給される造形材料Ｍ２に照射し、ワークＷ２に対して付加加工を行うことにより、３次元の造形物を形成する。

[0051] なお、光加工装置６１は、造形物を形成するための基礎（すなわち、母材）となるワークＷ２上に、３次元の造形物を形成する。ワークＷ２がステージ８１である場合、光加工装置６１は、ステージ８１上に、３次元の造形物を形成することが可能である。造形材料Ｍ２は、所定強度以上の加工光ＥＬの照射によって溶融可能な材料である。造形材料Ｍ２は、例えば、金属材料および樹脂材料のうち少なくとも一方を用いて、粉状または粒状に形成される。

[0052] 造形ヘッド７１は、照射ユニット７２と、供給ノズル７３とを備える。照射ユニット７２は、加工光学系（図示せず）と、照射装置（図示せず）とを備える。照射ユニット７２の加工光学系及び照射装置は、前述の光加工装置１の加工光学系１０及び照射装置３０と同様の構成である。すなわち、照射ユニット７２には、前述の光学ユニット２０及び空間光変調素子１００と同様の光学ユニット及び空間光変調素子が設けられる。照射ユニット７２は、光ファイバ等の光伝送部材（図示せず）を介して、光源（図示せず）と光学

的に接続されている。光源は、例えばレーザ光等の加工光ＥＬを発光させる。加工光ＥＬの波長域は、例えば、可視光線の波長域であってもよく、赤外線の波長域であってもよく、紫外線の波長域であってもよい。照射ユニット７２は、光伝送部材を介して光源から伝送される加工光ＥＬを複数の加工光に分割し、下方に向けて照射する。

[0053] 照射ユニット７２の下方には、ステージ８１が配置される。ステージ８１にワークＷ２が保持されている場合、照射ユニット７２は、（複数の）加工光ＥＬをワークＷ２に向けて照射することが可能である。具体的には、照射ユニット７２は、加工光が照射される（集光される）領域としてワークＷ２上に設定される所定形状の照射領域ＥＡに、加工光ＥＬを照射する。

[0054] 供給ノズル７３は、供給ノズル７３の先端に形成された供給口７４から造形材料Ｍ２を供給する。具体的には、供給ノズル７３は、供給ノズル７３の先端に形成された供給口７４から造形材料Ｍ２を噴射、噴出、または射出する。供給ノズル７３は、パイプ等の材料搬送部材（図示せず）を介して、造形材料Ｍ２の供給源である材料供給装置（図示せず）と物理的に接続されている。供給ノズル７３は、搬送部材を介して材料供給装置から搬送される造形材料Ｍ２を下方に向けて供給する。

[0055] 供給ノズル７３の下方には、ステージ８１が配置される。ステージ８１にワークＷ２が保持されている場合、供給ノズル７３は、造形材料Ｍ２をワークＷ２に向けて照射することが可能である。また、供給ノズル７３は、照射ユニット７２が加工光ＥＬを照射する照射領域ＥＡに向けて造形材料Ｍ２を供給するように、照射ユニット７２に対して位置合わせされている。すなわち、供給ノズル７３が造形材料Ｍ２を供給する領域としてワークＷ２上に設定される供給領域ＭＡと照射領域ＥＡとが一致するように（あるいは、少なくとも部分的に重複するように）、供給ノズル７３と照射ユニット７２とが位置合わせされている。

[0056] ヘッド駆動系７６は、例えばモータ等を用いて構成される。ヘッド駆動系７６は、造形ヘッド７１を３次元方向に移動させる。ヘッド駆動系７６は、

造形ヘッド７１を移動させることで、ワークＷ２と照射領域ＥＡとの位置関係を変更可能である。また、ヘッド駆動系７６は、造形ヘッド７１を移動させることで、ワークＷ２と供給領域ＭＡとの位置関係を変更可能である。

[0057] ステージ８１は、造形ヘッド７１と対向可能な上面８２において、ワークＷ２を着脱可能に保持する。計測装置８６は、ステージ８１上の計測対象物の状態を計測する。計測対象物は、ワークＷ２と、ステージ８１上に形成されたテストマーク（図示せず）とを含んでもよい。計測対象物は、計測対象物の状態の一例として、テージ８１上の計測対象物の位置を計測する。例えば、計測対象物は、テージ８１上のテストマークの絶対的な位置を計測してもよい。計測対象物は、テージ８１上のワークＷ２に対するテストマークの相対的な位置を計測してもよい。

[0058] 制御装置９１は、例えばＣＰＵ（中央処理装置）やメモリ（図示せず）等を用いて構成される。制御装置９１は、メモリに記憶された制御プログラムに基づいて、照射ユニット７２、供給ノズル７３、ヘッド駆動系７６、計測装置８６等の作動を制御する。

[0059] 第２の変形例に係る光加工装置６１において、前述したように、照射ユニット７２の加工光学系及び照射装置は、前述の光加工装置１の加工光学系１０及び照射装置３０と同様の構成である。従って、前述の光加工装置１と同様に、制御装置９１により電圧発生器（図示せず）を制御して、複数の空間光変調素子に設けられた複数の電極のうち電圧を印加する電極を変更することで、複数の加工光（例えば、縦横に３つずつ並ぶ９つの加工光）のうち造形材料Ｍ２に照射する加工光を短時間で選択的に変更することができる。また、造形材料Ｍ２に照射する加工光の強度を連続的または段階的に変更することもできる。そのため、前述の光加工装置１と同様の効果を得ることができる。

[0060] ［第１実施形態］

次に、第１実施形態に係る空間光変調素子１００について説明する。第１実施形態に係る空間光変調素子１００は、ライン型（リニア型とも称される

）の電気光学型空間光変調素子であり、ラマン・ナス回折に有利な構成である。図７～図９に示すように、第１実施形態に係る空間光変調素子１００は、光学部材１１０と、複数のプラスの電極１２０と、複数のマイナスの電極１２５と、複数のプラス線１３０と、複数のマイナス線１３５とを備える。空間光変調素子１００は、断面形状が扁平な楕円形状に整形されたシート状の加工光ＥＬを変調して射出する。第１実施形態において、図７の各矢印で示す方向をそれぞれ、Ｘ方向、Ｙ方向、Ｚ方向と称することがある。Ｘ方向とＹ方向とＺ方向とは、互いに直交する方向である。

[0061] 光学部材１１０は、透光性を有する強誘電体材料を用いて、扁平な直方体状に形成される。なお、強誘電体とは、誘電体の一種で、外部に電場がなくても電気双極子が整列しており、かつ双極子の方向が電場によって変化できる光学結晶を指す。透光性を有する強誘電体材料には、例えば、ニオブ酸リチウム（Lithium Niobate）、タンタル酸リチウム（Lithium Tantalate）、MgO:LN（MgO doped Lithium Niobate）、MgO:SLT（MgO doped Stoichiometric Lithium Tantalate）等がある。光学部材１１０の一方の（－Ｚ方向の）端部に、入射面１１１が形成される。入射面１１１には、入射光としてＺ方向に進むシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。なお、Ｚ方向は第１軸方向と称されてもよく、入射面１１１は第１軸と交差してもよい。光学部材１１０における入射面１１１と反対側の（＋Ｚ方向の）端部に、射出面１１２が形成される。入射面１１１から光学部材１１０の内部に入射した光は、射出面１１２から射出される。

[0062] 光学部材１１０の＋Ｙ方向側の側面部に、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５が配置される配置面１１３が形成される。配置面１１３には、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５の対がＸ方向に沿って複数配置される。プラス及びマイナスの電極１２０，１２５は、例えば金（Au）を含む金属材料を用いて形成される。配置面１１３と複数のプラス及びマイナスの電極１２０，１２５の対との間に、バッファ層１１４（図１０を参照）が形成される。バッファ層１１４は、例えば二酸化ケイ素（SiO_2）を用いて形成され

る。なお、Ｘ方向は第２軸方向と称されてもよく、Ｙ方向は第３軸方向と称されてもよい。また、配置面１１３は第３軸と交差してもよい。

[0063] 光学部材１１０は、周期分極反転構造を有する。光学部材１１０には、Ｚ方向に延びる第１分極部１１５と、第１分極部１１５に隣接してＺ方向に延びる第２分極部１１６とが、Ｘ方向に沿って交互に複数並んで設けられる。例えば、光加工装置のレンズアレイ２３の各レンズ２４がＸ方向に３つ並んで配置される場合、光学部材１１０は、少なくとも１８個の第１及び第２分極部１１５，１１６を有してもよい。光加工装置のレンズアレイ２３の各レンズ２４がＸ方向に５つ並んで配置される場合、光学部材１１０は、少なくとも３０個の第１及び第２分極部１１５，１１６を有してもよい。第２分極部１１６は、第１分極部１１５とは異なる方向（具体的には、反対の向き）に分極している。光学部材１１０に周期分極反転構造を設けるには、直方体状に形成された分極（誘電分極）が一様の光学部材に対して、第２分極部１１６に相当する部分の分極の向きを１８０°反転させる。例えば「電界印加法」と称される既知の方法を用いる場合、第２分極部１１６に相当する部分に電極を付け、或る一定以上の電圧（分極反転電圧または抗電界とも称される）を印加することにより、第２分極部１１６の分極の向きを反転させる。なお、第２分極部１１６に限らず、第１分極部１１５の分極の向きを反転させるようにしてもよい。

[0064] 配置面１１３における第１分極部１１５が位置する部分にそれぞれ、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５の対が設けられる。配置面１１３における第１分極部１１５が位置する部分において、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５は、第１分極部１１５の一端側から他端側まで、Ｚ方向に平行に延びて形成される。また、マイナスの電極１２５は、プラスの電極１２０の＋Ｘ方向側に隣り合って配置される。第１分極部１１５のプラス及びマイナスの電極１２０，１２５は、第１及び第２電極と称されてもよい。

[0065] また、配置面１１３における第２分極部１１６が位置する部分にそれぞれ、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５の対が設けられる。配置面１１

３における第２分極部１１６が位置する部分において、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５は、第２分極部１１６の一端側から他端側まで、Ｚ方向に平行に延びて形成される。また、マイナスの電極１２５は、プラスの電極１２０の＋Ｘ方向側に隣り合って配置される。第２分極部１１６のプラス及びマイナスの電極１２０，１２５は、第３及び第４電極と称されてもよい。

[0066] 複数のプラスの電極１２０は、個別に複数のプラス線１３０と電気的に接続される。複数のプラス線１３０は、前述の駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線１３０は、駆動回路２２から供給される電圧を個別に複数のプラスの電極１２０に印加する。プラス線１３０を介してプラスの電極１２０に電圧を印加することで、隣り合うプラス及びマイナスの電極１２０，１２５間に電位差を付けることができる。複数のマイナスの電極１２５は、個別に複数のグランド線１３５と電気的に接続される。複数のグランド線１３５は、駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線１３０及び複数のグランド線１３５は、前述の配線ＥＷを構成する。

[0067] 以上のように構成される空間光変調素子１００において、光学部材１１０の入射面１１１には、図８及び図９に示すように、入射光としてシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。プラス及びマイナスの電極１２０，１２５に電圧が印加されていない状態で、入射面１１１から光学部材１１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、配置面１１３におけるプラス及びマイナスの電極１２０，１２５の位置で全反射して、０次回折光として射出面１１２から射出される。

[0068] 図１０に示すように、プラス線１３０を介してプラスの電極１２０に電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、隣り合うプラス及びマイナスの電極１２０，１２５間に電位差が生じ、光学部材１１０の内部でプラスの電極１２０からマイナスの電極１２５に向かう電界が発生する。前述したように、光学部材１１０は、周期分極反転構造を有する。図１０において、第１分極部１１５及び第２分極部１１６における分極の向きを太い矢

印で模式的に示す。また、図１０に示すグラフは、第１分極部１１５及び第２分極部１１６における屈折率の変化を示す。

[0069] 配置面１１３における第１分極部１１５が位置する部分において、プラスの電極１２０に電圧を印加すると、プラスの電極１２０から第１分極部１１５に向けて電界が発生し、徐々に電界が向きを変えてマイナスの電極１２５に向かう。電界がプラスの電極１２０からマイナスの電極１２５に向かう過程で電気光学効果により第１分極部１１５内の屈折率が変化する。第１分極部１１５の内部における配置面１１３の近傍の領域の屈折率は、例えば、プラスの電極１２０に近い位置ほど高く、マイナスの電極１２５に近い位置ほど低くなるように、Ｘ方向に沿って変化する。

[0070] 配置面１１３における第２分極部１１６が位置する部分において、プラスの電極１２０に電圧を印加すると、プラスの電極１２０から第２分極部１１６に向けて電界が発生し、徐々に電界が向きを変えてマイナスの電極１２５に向かう。電界がプラスの電極１２０からマイナスの電極１２５に向かう過程で電気光学効果により第２分極部１１６内の屈折率が変化する。第２分極部１１６は、第１分極部１１５とは異なる方向（具体的には、反対の向き）に分極している。そのため、第２分極部１１６の内部における配置面１１３の近傍の領域の屈折率は、例えば、プラスの電極１２０に近い位置ほど低く、マイナスの電極１２５に近い位置ほど高くなるように、Ｘ方向に沿って変化する。光学部材１１０（第１分極部１１５及び第２分極部１１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ方向に沿ったピッチ方向を有する回折格子１１７が生成される。

[0071] プラスの電極１２０に電圧が印加されている状態で、入射面１１１から光学部材１１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、回折格子１１７が生成されている領域（すなわち、屈折率が変化している領域）においてラマン・ナス回折により回折する。ラマン・ナス回折により生じる回折光ＤＬ（例えば、±１次の回折光）は、配置面１１３におけるプラス及びマイナスの電極１２０，１２５の位置で全反射して、射出面１１２から射出される。こ

のようにして、空間光変調素子１００は、隣り合うプラス及びマイナスの電極１２０，１２５間の電位差により、光学部材１１０の入射面１１１に入射する加工光ＥＬを変調し、射出面１１２から回折光ＤＬを射出する。

[0072] ここで、従来の空間光変調素子について説明する。図１１～図１３に例示する従来の空間光変調素子１５０は、全反射（TIR：Total Internal Reflection）を利用したライン型の電気光学型空間光変調素子である。全反射（TIR）を利用した空間光変調素子は、例えば米国特許第６１６９５６５号明細書に開示されている。従来の空間光変調素子１５０は、光学部材１６０と、複数のプラスの電極１７０と、複数のマイナスの電極１７５とを備える。

[0073] 光学部材１６０は、透光性を有する強誘電体材料を用いて、扁平な直方体形状に形成される。光学部材１６０には、入射面１６１と、射出面１６２と、配置面１６３とが形成される。入射面１６１には、入射光としてシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。入射面１６１から光学部材１６０の内部に入射した光は、射出面１６２から射出される。配置面１６３には、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５が複数配置される。プラス及びマイナスの電極１７０，１７５は、例えば金（Au）を含む金属材料を用いて形成される。配置面１６３と複数のプラス及びマイナスの電極１７０，１７５の対との間に、バッファ層１６４が形成される。バッファ層１６４は、例えば二酸化ケイ素（SiO_2）を用いて形成される。なお、プラスの電極１７０は、プラス線（図示せず）と電気的に接続される。マイナスの電極１７５は、グランド線（図示せず）と電気的に接続される。

[0074] プラスの電極１７０に電圧を印加すると、プラスの電極１７０から光学部材１６０に向けて電界が発生し、徐々に電界が向きを変えてマイナスの電極１７５に向かう。電界がプラスの電極１７０からマイナスの電極１７５に向かう過程で電気光学効果により光学部材１６０内の屈折率が変化する。光学部材１６０の内部において屈折率が変化している領域に、回折格子１６７が生成される。従来の空間光変調素子１５０において、例えば、層厚が１μｍ程度のバッファ層１６４の上に、金（Au）を用いて形成されたプラス及びマ

イナスの電極１７０，１７５を配設する場合、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５間の距離を約２０μｍにすることで、光学部材１６０に対する電界の透過深さを最大にすることができる。図１３に、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５間の距離を２０μｍとした場合の従来の空間光変調素子１５０を模式的に示す。図１３において、光学部材１６０おける分極（誘電分極）の向きを太い矢印で模式的に示す。また、図１３に示すグラフは、光学部材１６０における屈折率の変化を示す。

[0075] 図１４に示すように、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５間の距離を２０μｍより狭くすると、電界の透過深さが浅くなっていく。一方、図１５に示すように、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５間の距離を２０μｍより広くすると、電界の透過深さは大きく変化しない。しかしながら、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５の面部に一様な電界が必要であるにも拘らず、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５のエッジ部分に電界が集中し、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５の中央部分において電界が減少する現象が生じるため、所望の屈折率の変化が得られない。

[0076] ここで、入射光（加工光）の波長をλとし、回折格子の周期（格子ピッチ）をΛとし、回折格子の厚さ（相互作用長）をＬとし、波長λにおける結晶（光学部材）の屈折率をｎとする。入射光と回折格子の相互作用で生じる回折の傾向は、Ｑパラメータとして次式（１）で表される。

[0077] [数1]

$$Q = \frac{2\pi\lambda L}{n\Lambda^2} \quad \cdots(1)$$

[0078] 式（１）において、Ｑ＞１０の条件での光の回折がブラッグ回折となり、Ｑ＜１の条件での光の回折がラマン・ナス回折となることが知れられている。従来の空間光変調素子１５０において、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５間の距離を２０μｍとした場合、回折格子１６７の周期Λは４０μｍとなる。ここで、入射光（加工光）の波長λを１μｍとし、波長λ（λ＝１μｍ）における結晶（光学部材１６０）の屈折率ｎを２．２とする。この

場合、従来の空間光変調素子１５０にラマン・ナス回折型の回折格子を生成するには、式（１）より、回折格子１６７の厚さ（相互作用長）Ｌを０．５６ｍｍより小さくしなければならない。その結果、回折格子１６７の厚さは、０．５ｍｍ程度までしか取れないことがわかる。

[0079] これに対し、第１実施形態に係る空間光変調素子１００は、周期分極反転構造を有しており、第１分極部１１５と第２分極部１１６とで、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５間の電位差による屈折率の変化の仕方が逆になる。そのため、第１実施形態に係る空間光変調素子１００において、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５間の距離を２０μｍとした場合、回折格子１１７の周期Λは８０μｍになる。すなわち、第１実施形態に係る空間光変調素子１００における回折格子１１７の周期は、従来の空間光変調素子１５０における回折格子１６７の周期の２倍になる。なお、周期が８０μｍでデューティ比が１：１の周期分極反転構造は、周期が比較的長いため、容易に製作することが可能である。ここで、入射光（加工光）の波長λを１μｍとし、波長λ（λ＝１μｍ）における結晶（光学部材１１０）の屈折率ｎを２．２とする。この場合、第１実施形態に係る空間光変調素子１００にラマン・ナス回折型の回折格子を生成するには、式（１）より、回折格子１１７の厚さ（相互作用長）Ｌを２．２４ｍｍより小さくすればよい。その結果、第１実施形態に係る空間光変調素子１００で生成可能な回折格子１１７の厚さは、２．２ｍｍ程度であり、従来の空間光変調素子１５０で生成可能な回折格子１６７の厚さの約４倍になる。

[0080] また、ラマン・ナス回折の回折効率η_qは、次式（２）で表される。

[0081] [数2]

$$\eta_q = \left\{J_q(2\kappa L)\right\}^2 \quad \cdots(2)$$

[0082] 式（２）において、J_q（２κＬ）は、回折格子の厚さ（相互作用長）Ｌのベッセル関数（ｑ＝０，±１，±２，±３，…）であることを示す。また、κは、次式（３）で表される。

[0083] [数3]

$$\kappa = \frac{\pi \Delta n_e}{\lambda} \quad \cdots (3)$$

[0084] 式（３）において、Δｎ$_e$は、次式（４）で表される。

[0085] [数4]

$$\Delta n_e = \frac{-2 n_e^3 r_{33} V}{\pi c g} \quad \cdots (4)$$

[0086] 式（４）において、ｎ$_e$は、波長λにおける結晶（光学部材）の屈折率である。ｒ$_{33}$は、ポッケルス定数である。ｇは、電極間隔距離である。ｃは、電界の透過深さの換算係数である。Ｖは、電極に印加される電圧である。

[0087] 式（２）から分かるように、回折効率は、回折格子の厚さ（相互作用長）Ｌのベッセル関数の２乗に比例する。そのため、第１実施形態に係る空間光変調素子１００を用いれば、従来の空間光変調素子１５０を用いる場合の約１／４の電圧で所望の回折効率を得ることができる。また、低い電圧で所望の回折効率を得ることができるため、駆動回路への負担が少なく高速に加工光ＥＬの変調を行うことができる。なお、所望の回折効率を得るのに必要な電圧は、従来の空間光変調素子１５０では８０Ｖ程度であるのに対して、第１実施形態に係る空間光変調素子１００では１／４の２０Ｖ程度である。このように、強誘電体材料を用いて形成される光学部材１１０に、製作が容易な周期の長い分極反転構造を付加することで、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。

[0088] なお、例えば特許第５０５８９３５号公報等に開示されるように、光学部材の両面に電極が設けられた空間光変調素子も知られている。このような空間光変調素子では、薄型の光学部材の両側に電極を敷設して、各電極に電圧を印加することで、光学部材の厚さ方向の全体に亘り電界を透過させることができる。これにより、光学部材の片面に電極が設けられた従来の空間光変調素子１５０と比較して、電界の透過深さを考慮する必要がなく、相互作用

長Ｌの短いラマン・ナス型の回折格子においても光学部材を薄くすることで電界の強度を高めることができる。そのため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能である。

[0089] しかしながら、光学部材の両面に電極が設けられた空間光変調素子を、高出力のレーザ光を利用した光加工装置等に適用しようとすると、薄型の光学部材内では光パワーの密度が上昇するため、光パワー耐性が低い材料を使用することが難しくなる。また、光学部材の薄型化や、光学部材の両面への電極の敷設、光学部材の薄型化に伴う補強部材の接合を行う必要があり、空間光変調素子の製造が難しくなる。これに対し、第１実施形態に係る空間光変調素子１００を用いれば、光学部材１１０の片面（配置面１１３）にだけプラス及びマイナスの電極１２０，１２５が設けられるため、光学部材１１０を厚くすることができ、加工光ＥＬとして高出力のレーザ光を用いた場合でも、光学部材１１０内での光パワーの密度の上昇を抑えることができる。光学部材１１０の片面にだけプラス及びマイナスの電極１２０，１２５が設けられるため、光学部材１１０の薄型化や、光学部材１１０の両面への電極の敷設、光学部材１１０の薄型化に伴う補強部材の接合を行う必要がなく、空間光変調素子の製造が容易になる。

[0090] また、文献「Masahide Okazaki, and Toshiaki Suhara, “High-performance 1024-pixel EO spatial light modulator using cascaded periodically-poled Raman-Nath gratings,” IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol.33, no.24, pp.5195-5200, Nov.2015.」に開示されるように、入射光の一部を独立して変調するには、光源の広がり角を考慮すると、回折格子における３周期以上の屈折率の変化、すなわち第１実施形態では少なくとも６対のプラス及びマイナスの電極をまとめて制御する必要がある。第１実施形態に係る空間光変調素子１００において、複数のプラスの電極１２０は、個別に複数のプラス線１３０を介して駆動回路２２と電気的に接続される。複数のマイナスの電極１２５は、個別に複数のグラ

ンド線１３５を介して駆動回路２２と電気的に接続される。駆動回路２２により、少なくとも６対のプラス及びマイナスの電極１２０，１２５からなる制御クループごとに独立して電圧制御を行うことで、入射光（加工光ＥＬ）の一部を独立して変調することができる。

[0091] 例えば、光加工装置のレンズアレイ２３の各レンズ２４がＸ方向に３つ並んで配置される場合、図７の紙面の下から数えて１～６対目のプラス及びマイナスの電極１２０，１２５におけるプラスの電極１２０に電圧を印加することで、シート状の加工光ＥＬにおける－Ｘ方向の端部側１／３の部分の光を独立して変調し、射出面１１２から回折光ＤＬを射出するようにしてもよい。図７の紙面の下から数えて７～１２対目のプラス及びマイナスの電極１２０，１２５におけるプラスの電極１２０に電圧を印加することで、シート状の加工光ＥＬにおける中央側１／３の部分の光を独立して変調し、射出面１１２から回折光ＤＬを射出するようにしてもよい。図７の紙面の下から数えて１３～１８対目のプラス及びマイナスの電極１２０，１２５におけるプラスの電極１２０に電圧を印加することで、シート状の加工光ＥＬにおける＋Ｘ方向の端部側１／３の部分の光を独立して変調し、射出面１１２から回折光ＤＬを射出するようにしてもよい。

[0092] ［第１実施形態の特徴構成］

第１実施形態に係る空間光変調素子１００は、入射光としてＺ方向（第１軸）に沿って進行する加工光ＥＬが入射し、透光性を有する強誘電体材料を用いて形成される光学部材１１０と、Ｘ方向（第２軸）に沿って、光学部材１１０の配置面１１３に配置されるプラス及びマイナスの電極１２０，１２５と、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５間に電位差を付けられるようにプラスの電極１２０に電圧を印加する配線（プラス線１３０及びグランド線１３５）とを備える。言い換えると、第１実施形態に係る空間光変調素子１００は、光学部材１１０と、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５とを備え、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５間に電位差を発生させた場合に、光学部材１１０内の屈折率がＸ方向に沿って変化する。

[0093] これにより、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５間の電位差により加工光ＥＬの変調を行うことで、高速に加工光ＥＬ（入射光）の変調を行うことが可能になる。また、光学部材１１０の片面（配置面１１３）にだけプラス及びマイナスの電極１２０，１２５が設けられるため、光学部材１１０を厚くすることができ、加工光ＥＬとして高出力のレーザ光を用いた場合でも、光学部材１１０内での光パワーの密度の上昇を抑えることができる。光学部材１１０の片面にだけプラス及びマイナスの電極１２０，１２５が設けられるため、光学部材１１０の薄型化や、光学部材１１０の両面への電極の敷設、光学部材１１０の薄型化に伴う補強部材の接合を行う必要がなく、空間光変調素子の製造が容易になる。なお、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５は、Ｘ方向に沿って隣り合うように配置されてもよい。光学部材１１０の配置面１１３は、Ｙ方向の軸（第３軸）と交差してもよい。

[0094] また、光学部材１１０は、Ｚ方向に沿って延びた第１分極部１１５と、Ｚ方向に沿って延び且つ第１分極部１１５とは異なる方向に分極し、第１分極部１１５に対してＸ方向側に隣接して位置する第２分極部１１６とを有する。なお、プラスの電極１２０が設けられている光学部材１１０内の位置と、マイナスの電極１２５が設けられている光学部材１１０内の位置とで屈折率が異なる。光学部材１１０内での屈折率の変化によって、光学部材１１０内でＸ方向に沿ったピッチ方向を有する回折格子１１７が生成される。強誘電体材料を用いて形成される光学部材１１０に、製作が容易な周期の長い分極反転構造を付加することで、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。

[0095] また、光学部材１１０の配置面１１３における第１分極部１１５が位置する部分に、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５（第１及び第２電極）が設けられる。第１分極部１１５には、プラスの電極１２０からマイナスの電極１２５に向かう電界が発生する。光学部材１１０の配置面１１３における第２分極部１１６が位置する部分に、プラス及びマイナスの電極１２０，１２５（第３及び第４電極）が設けられる。第２分極部１１６には、プラス

の電極１２０からマイナスの電極１２５に向かう電界が発生する。これにより、電極が配置される周期を狭めることなく、周期（格子ピッチ）の長い回折格子１１７を生成することができる。従って、ラマン・ナス回折型の回折格子が得られるＱパラメータの条件を満たしつつ、回折格子の厚さ（相互作用長）を大きくすることができるため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。

[0096] また、光学部材１１０に入射した加工光ＥＬは、Ｘ方向と交差する方向に沿って光学部材１１０内の屈折率が変化している領域を通過する。このとき、光学部材１１０の入射面１１１から入射した加工光ＥＬは、配置面１１３におけるプラス及びマイナスの電極１２０，１２５の位置で全反射して射出面１１２から射出される。これにより、加工光ＥＬと電界との相互作用を得やすくなるため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。

[0097] 上述の第１実施形態において、光学部材１１０の入射面１１１から入射した加工光ＥＬは、配置面１１３におけるプラス及びマイナスの電極１２０，１２５の位置で全反射しているが、これに限られるものではない。光学部材１１０は、入射面１１１から入射する加工光ＥＬが光学部材１１０内の屈折率が変化している領域を通過するように設けられたスラブ導波路を備えてもよい。スラブ導波路により加工光ＥＬの光路が電極に近い位置で続くため、加工光ＥＬと電界との相互作用を長い距離に亘って得ることができる。そのため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。この場合、図１６に示す空間光変調素子１００Ａのように、スラブ導波路１１９Ａは、入射面１１１から入射する加工光ＥＬが配置面１１３と平行に直線的に通過するように設けられてもよい。図１７に示す空間光変調素子１００Ｂのように、スラブ導波路１１９Ｂは、入射面１１１から入射する加工光ＥＬが配置面１１３におけるプラス及びマイナスの電極１２０，１２５の位置で全反射して通過するように

設けられてもよい。

[0098] 上述の第１実施形態において、空間光変調素子１００に、ラマン・ナス回折型の回折格子を生成しているが、これに限られるものではなく、ブラッグ回折型の回折格子を生成することも可能である。

[0099] ［第２実施形態］

前述の光加工装置１，５１，６１に適用可能な空間光変調素子は、第１実施形態に係る空間光変調素子１００に限られるものではなく、以降の第２～第６実施形態に係る空間光変調素子であってもよい。次に、第２実施形態に係る空間光変調素子について説明する。第２実施形態に係る空間光変調素子は、ライン型の電気光学型空間光変調素子であり、ブラッグ回折に有利な構成である。図１８～図２０に示すように、第２実施形態に係る空間光変調素子２００は、光学部材２１０と、複数のプラスの電極２２０と、複数のマイナスの電極２２５と、複数のプラス線２３０と、複数のマイナス線２３５とを備える。空間光変調素子２００は、断面形状が扁平な楕円形状に整形されたシート状の加工光ＥＬを変調して射出する。

[0100] 第２実施形態において、図１８の各矢印で示す方向をそれぞれ、Ｘ方向、Ｙ方向、Ｚ方向と称することがある。Ｘ方向とＹ方向とＺ方向とは、互いに直交する方向である。第２実施形態に係る空間光変調素子２００は、加工光ＥＬの進む方向（Ｚ方向）に対してブラッグ角だけＹ軸周りに傾斜（回転）して配置される。Ｚ方向に対してブラッグ角だけ傾斜する方向をＺ１方向と称し、Ｘ方向に対してブラッグ角だけ傾斜する方向をＸ１方向と称することがある。Ｘ１方向とＹ方向とＺ１方向とは、互いに直交する方向である。

[0101] 光学部材２１０は、第１実施形態に係る光学部材１１０と同様に形成される。光学部材１１０の一方の（－Ｚ１方向の）端部に、入射面２１１が形成される。入射面２１１には、入射光としてＺ方向に進むシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。なお、Ｚ方向は第１軸方向と称されてもよく、入射面１１１は第１軸と交差してもよい。また、Ｚ１方向は第１軸に沿った方向と称されてもよい。光学部材２１０における入射面２１１と反対

側の（＋Ｚ１方向の）端部に、射出面２１２が形成される。入射面２１１から光学部材２１０の内部に入射した光は、射出面２１２から射出される。

[0102] 光学部材２１０の＋Ｙ方向側の側面部に、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５が配置される配置面２１３が形成される。配置面２１３には、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５の対がＸ１方向に沿って複数配置される。プラス及びマイナスの電極２２０，２２５は、例えば金（Au）を含む金属材料を用いて形成される。配置面２１３と複数のプラス及びマイナスの電極２２０，２２５の対との間に、バッファ層２１４（図２１を参照）が形成される。バッファ層２１４は、例えば二酸化ケイ素（SiO_2）を用いて形成される。なお、Ｘ１方向は第２軸方向と称されてもよく、Ｙ方向は第３軸方向と称されてもよい。また、配置面２１３は第３軸と交差してもよい。

[0103] 光学部材２１０は、第１実施形態に係る光学部材１１０と同様に、周期分極反転構造を有する。光学部材２１０には、Ｚ１方向に延びる第１分極部２１５と、第１分極部２１５に隣接してＺ１方向に延びる第２分極部２１６とが、Ｘ１方向に沿って交互に複数並んで設けられる。例えば、光加工装置のレンズアレイ２３の各レンズ２４がＸ方向に３つ並んで配置される場合、光学部材２１０は、少なくとも９個の第１分極部２１５を有してもよく、少なくとも８個の第２分極部２１６を有してもよい。光加工装置のレンズアレイ２３の各レンズ２４がＸ方向に５つ並んで配置される場合、光学部材２１０は、少なくとも１５個の第１分極部２１５を有してもよく、少なくとも１４個の第２分極部２１６を有してもよい。第２分極部２１６は、第１分極部２１５とは異なる方向（具体的には、反対の向き）に分極している。なお、第１実施形態に係る光学部材１１０と同様にして、光学部材２１０に周期分極反転構造が設けられる。第１分極部２１５に対して－Ｘ１方向側に隣接して位置する第２分極部２１６を、第３分極部と称する場合がある。

[0104] 第１分極部２１５と当該第１分極部２１５に対して－Ｘ１方向側に隣接して位置する第２分極部２１６（第３分極部）とに跨る配置面２１３上の位置に、プラスの電極２２０が設けられる。プラスの電極２２０は、第１分極部

２１５（および第３分極部）の一端側から他端側まで、Ｚ１方向に延びて形成される。第１分極部２１５と当該第１分極部２１５に対して＋Ｘ１方向側に隣接して位置する第２分極部２１６とに跨る配置面２１３上の位置に、マイナスの電極２２５が設けられる。マイナスの電極２２５は、第１分極部２１５（および第２分極部２１６）の一端側から他端側まで、プラスの電極２２０と平行にＺ１方向に延びて形成される。なお、第２分極部２１６と当該第２分極部２１６に対して＋Ｘ１方向側（マイナスの電極２２５と反対側）に隣接して位置する第１分極部２１５とに跨る配置面２１３上の位置に、プラスの電極２２０が設けられるとも言える。第２分極部２１６と当該第２分極部２１６に対して＋Ｘ１方向側（マイナスの電極２２５と反対側）に隣接して位置する第１分極部２１５とに跨るプラスの電極２２０は、第３電極と称されてもよい。

[0105] 複数のプラスの電極２２０は、個別に複数のプラス線２３０と電気的に接続される。複数のプラス線２３０は、前述の駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線２３０は、駆動回路２２から供給される電圧を個別に複数のプラスの電極２２０に印加する。プラス線２３０を介してプラスの電極２２０に電圧を印加することで、隣り合うプラス及びマイナスの電極２２０，２２５間に電位差を付けることができる。複数のマイナスの電極２２５は、個別に複数のグランド線２３５と電気的に接続される。複数のグランド線２３５は、駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線２３０及び複数のグランド線２３５は、前述の配線ＥＷを構成する。

[0106] 以上のように構成される空間光変調素子２００において、光学部材２１０の入射面２１１には、図１９及び図２０に示すように、入射光としてシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。プラス及びマイナスの電極２２０，２２５に電圧が印加されていない状態で、入射面２１１から光学部材２１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、配置面２１３におけるプラス及びマイナスの電極２２０，２２５の位置で全反射して、０次回折光として射出面２１２から射出される。

[0107] 図２１に示すように、プラス線２３０を介してプラスの電極２２０に電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、隣り合うプラス及びマイナスの電極２２０，２２５間に電位差が生じ、光学部材２１０の内部でプラスの電極２２０からマイナスの電極２２５に向かう電界が発生する。前述したように、光学部材２１０は、周期分極反転構造を有する。図２１において、第１分極部２１５及び第２分極部２１６における分極の向きを太い矢印で模式的に示す。また、図２１に示すグラフは、第１分極部２１５及び第２分極部２１６における屈折率の変化を示す。

[0108] 第１分極部２１５と当該第１分極部２１５に対して－Ｘ１方向側に隣接して位置する第２分極部２１６（第３分極部）とに跨るプラスの電極２２０に電圧を印加する。そうすると、配置面２１３における第１分極部２１５が位置する部分において、プラスの電極２２０から第１分極部２１５に向けて電界が発生し、徐々に電界が向きを変えて＋Ｘ１方向側に隣り合うマイナスの電極２２５に向かう。電界がプラスの電極２２０から＋Ｘ１方向側に隣り合うマイナスの電極２２５に向かう過程で電気光学効果により第１分極部２１５内の屈折率が変化する。第１分極部２１５の内部における配置面２１３の近傍の領域の屈折率は、例えば、プラスの電極２２０に近い位置ほど高く、マイナスの電極２２５に近い位置ほど低くなるように、Ｘ１方向に沿って変化する。

[0109] 第２分極部２１６と当該第２分極部２１６に対して＋Ｘ１方向側に隣接して位置する第１分極部２１５とに跨るプラスの電極２２０（第３電極）に電圧を印加する。そうすると、配置面２１３における第２分極部２１６が位置する部分において、プラスの電極２２０からマイナスの電極２２５に向けて電界が発生し、徐々に電界が向きを変えて－Ｘ１方向側に隣り合うマイナスの電極２２５に向かう。電界がプラスの電極２２０から－Ｘ１方向側に隣り合うマイナスの電極２２５に向かう過程で電気光学効果により第２分極部２１６内の屈折率が変化する。第２分極部２１６は、第１分極部２１５とは異なる方向（具体的には、反対の向き）に分極している。そのため、第２分極

部２１６の内部における配置面２１３の近傍の領域の屈折率は、例えば、プラスの電極２２０に近い位置ほど低く、マイナスの電極２２５に近い位置ほど高くなるように、Ｘ１方向に沿って変化する。光学部材２１０（第１分極部２１５及び第２分極部２１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有する回折格子２１７が生成される。

[0110] プラスの電極２２０に電圧が印加されている状態で、入射面２１１から光学部材２１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、回折格子２１７が生成されている領域（すなわち、屈折率が変化している領域）においてブラッグ回折により回折する。ブラッグ回折により生じる回折光ＤＬ（例えば、＋１次の回折光）は、配置面２１３におけるプラス及びマイナスの電極２２０，２２５の位置で全反射して、射出面２１２から射出される。このようにして、空間光変調素子２００は、隣り合うプラス及びマイナスの電極２２０，２２５間の電位差により、光学部材２１０の入射面２１１に入射する加工光ＥＬを変調し、射出面２１２から回折光ＤＬを射出する。

[0111] ここで、第１実施形態で述べた従来の空間光変調素子１５０との比較を行う。前述したように、従来の空間光変調素子１５０において、プラス及びマイナスの電極１７０，１７５間の距離を２０μｍとした場合、回折格子１６７の周期Λは４０μｍとなる。

[0112] 第２実施形態に係る空間光変調素子２００は、周期分極反転構造を有しており、第１分極部２１５と第２分極部２１６とで、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５間の電位差による屈折率の変化の仕方が同じになる。そのため、第２実施形態に係る空間光変調素子２００において、周期が４０μｍでデューティ比が１：１の周期分極反転構造とし、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５間の距離を２０μｍに保つ。この場合、回折格子２１７の周期Λは２０μｍになる。すなわち、第２実施形態に係る空間光変調素子２００における回折格子２１７の周期は、従来の空間光変調素子１５０における回折格子１６７の周期の１／２倍になる。なお、周期が４０μｍでデューティ比が１：１の周期分極反転構造は、周期が比較的長いため、容易に製作

することが可能である。ここで、入射光（加工光）の波長λを１μｍとし、波長λ（λ＝１μｍ）における結晶（光学部材２１０）の屈折率ｎを２．２とする。また、回折格子２１７の厚さ（相互作用長）Ｌを、第１実施形態に係る回折格子１１７の厚さ（相互作用長）Ｌと同様の２．２４ｍｍとする。この場合、第２実施形態に係る空間光変調素子２００では、前述の式（１）より、Ｑ≒１６となり、ブラッグ回折型の回折格子を生成することができる。

[0113] 前述の式（２）から分かるように、回折効率は、回折格子の厚さ（相互作用長）Ｌのベッセル関数の２乗に比例する。第２実施形態に係る空間光変調素子２００において、ブラッグ回折型の回折格子を生成する場合、回折格子２１７の厚さ（相互作用長）Ｌを２．２４ｍｍよりも大きくすることができるため、従来の空間光変調素子１５０を用いる場合よりも低い電圧で所望の回折効率を得ることができる。また、低い電圧で所望の回折効率を得ることができるため、駆動回路への負担が少なく高速に加工光ＥＬの変調を行うことができる。また、回折格子２１７の周期が短くなるため、精細に加工光ＥＬの変調を行うことができる。

[0114] 第１実施形態でも述べたように、入射光の一部を独立して変調するには、光源の広がり角を考慮すると、回折格子における３周期以上の屈折率の変化、すなわち第２実施形態では少なくとも３対のプラス及びマイナスの電極をまとめて制御する必要がある。第２実施形態に係る空間光変調素子２００において、複数のプラスの電極２２０は、個別に複数のプラス線２３０を介して駆動回路２２と電気的に接続される。複数のマイナスの電極２２５は、個別に複数のグランド線２３５を介して駆動回路２２と電気的に接続される。駆動回路２２により、少なくとも３対のプラス及びマイナスの電極２２０，２２５からなる制御クループごとに独立して電圧制御を行うことで、入射光（加工光ＥＬ）の一部を独立して変調することができる。

[0115] 例えば、光加工装置のレンズアレイ２３の各レンズ２４がＸ方向に３つ並んで配置される場合、図１９の紙面の下から数えて１～３対目のプラス及び

マイナスの電極２２０，２２５におけるプラスの電極２２０に電圧を印加することで、シート状の加工光ＥＬにおける－Ｘ方向の端部側１／３の部分の光を独立して変調し、射出面２１２から回折光ＤＬを射出するようにしてもよい。図１９の紙面の下から数えて４～６対目のプラス及びマイナスの電極２２０，２２５におけるプラスの電極２２０に電圧を印加することで、シート状の加工光ＥＬにおける中央側１／３の部分の光を独立して変調し、射出面２１２から回折光ＤＬを射出するようにしてもよい。図１９の紙面の下から数えて７～９対目のプラス及びマイナスの電極２２０，２２５におけるプラスの電極２２０に電圧を印加することで、シート状の加工光ＥＬにおける＋Ｘ方向の端部側１／３の部分の光を独立して変調し、射出面２１２から回折光ＤＬを射出するようにしてもよい。

[0116] なお、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５は、レンズアレイ２３の各レンズ２４が並ぶＸ方向に対してブラッグ角だけ傾斜するＸ１方向に並んで配置される。レンズアレイ２３の各レンズ２４がＸ方向に３つ並んで配置される場合、－Ｘ方向の端部側に位置するレンズ２４は、光学部材２１０における前述の１～３対目のプラス及びマイナスの電極２２０，２２５が配置される部分（射出面２１２）と対向して配置されてもよい。中央側に位置するレンズ２４は、光学部材２１０における前述の４～６対目のプラス及びマイナスの電極２２０，２２５が配置される部分（射出面２１２）と対向して配置されてもよい。＋Ｘ方向の端部側に位置するレンズ２４は、光学部材２１０における前述の７～９対目のプラス及びマイナスの電極２２０，２２５が配置される部分（射出面２１２）と対向して配置されてもよい。

[0117] ［第２実施形態の特徴構成］

第２実施形態に係る空間光変調素子２００は、入射光としてＺ方向（第１軸）に沿って進行する加工光ＥＬが入射し、透光性を有する強誘電体材料を用いて形成される光学部材２１０と、Ｘ１方向（第２軸）に沿って、光学部材２１０の配置面２１３に配置されるプラス及びマイナスの電極２２０，２２５と、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５間に電位差を付けられる

ようにプラスの電極２２０に電圧を印加する配線（プラス線２３０及びグランド線２３５）とを備える。言い換えると、第２実施形態に係る空間光変調素子２００は、光学部材２１０と、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５とを備え、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５間に電位差を発生させた場合に、光学部材２１０内の屈折率がＸ方向に沿って変化する。

[0118] これにより、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５間の電位差により加工光ＥＬの変調を行うことで、高速に加工光ＥＬ（入射光）の変調を行うことが可能になる。また、光学部材２１０の片面（配置面２１３）にだけプラス及びマイナスの電極２２０，２２５が設けられるため、光学部材２１０を厚くすることができ、加工光ＥＬとして高出力のレーザ光を用いた場合でも、光学部材２１０内での光パワーの密度の上昇を抑えることができる。光学部材２１０の片面にだけプラス及びマイナスの電極２２０，２２５が設けられるため、光学部材２１０の薄型化や、光学部材２１０の両面への電極の敷設、光学部材２１０の薄型化に伴う補強部材の接合を行う必要がなく、空間光変調素子の製造が容易になる。なお、プラス及びマイナスの電極２２０，２２５は、Ｘ１方向に沿って隣り合うように配置されてもよい。光学部材２１０の配置面２１３は、Ｙ方向の軸（第３軸）と交差してもよい。

[0119] また、光学部材２１０は、Ｚ１方向に沿って延びた第１分極部２１５と、Ｚ１方向に沿って延び且つ第１分極部２１５とは異なる方向に分極し、第１分極部２１５に対してＸ１方向側に隣接して位置する第２分極部２１６とを有する。なお、プラスの電極２２０が設けられている光学部材２１０内の位置と、マイナスの電極２２５が設けられている光学部材２１０内の位置とで屈折率が異なる。光学部材２１０内での屈折率の変化によって、光学部材２１０内でＸ方向に沿ったピッチ方向を有する回折格子２１７が生成される。強誘電体材料を用いて形成される光学部材２１０に、製作が容易な周期の長い分極反転構造を付加することで、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。

[0120] また、第１分極部２１５と当該第１分極部２１５に対して－Ｘ１方向側に

隣接して位置する第２分極部２１６（第３分極部）とに跨る配置面２１３上の位置に、プラスの電極２２０が設けられる。第１分極部２１５と当該第１分極部２１５に対して＋Ｘ１方向側に隣接して位置する第２分極部２１６とに跨る配置面２１３上の位置に、マイナスの電極２２５が設けられる。第１分極部２１５には、プラスの電極２２０からマイナスの電極２２５に向かう電界が発生する。また、第２分極部２１６のマイナスの電極２２５と反対側における配置面２１３上の位置に、プラスの電極２２０（第３電極部）が設けられる。第２分極部１１６には、プラスの電極２２０からマイナスの電極２２５に向かう電界が発生する。これにより、周期（格子ピッチ）の短い回折格子２１７を生成することができる。従って、ブラッグ回折型の回折格子が得られるＱパラメータの条件を満たしつつ、回折格子の厚さ（相互作用長）を大きくすることができるため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。また、回折格子２１７の周期が短くなるため、精細に加工光ＥＬの変調を行うことができる。

[0121] また、光学部材２１０に入射した加工光ＥＬは、Ｘ１方向と交差する方向に沿って光学部材２１０内の屈折率が変化している領域を通過する。このとき、光学部材２１０の入射面２１１から入射した加工光ＥＬは、配置面２１３におけるプラス及びマイナスの電極２２０，２２５の位置で全反射して射出面２１２から射出される。これにより、加工光ＥＬと電界との相互作用を得やすくなるため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。

[0122] 上述の第２実施形態において、第１実施形態と同様に、光学部材２１０は、入射面２１１から入射する加工光ＥＬが光学部材２１０内の屈折率が変化している領域を通過するように設けられたスラブ導波路を備えてもよい。スラブ導波路により加工光ＥＬの光路が電極に近い位置で続くため、加工光ＥＬと電界との相互作用を長い距離に亘って得ることができる。そのため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光Ｅ

Ｌの変調を行うことが可能になる。

[0123] 上述の第２実施形態において、空間光変調素子２００に、ブラッグ回折型の回折格子を生成しているが、これに限られるものではなく、ラマン・ナス回折型の回折格子を生成することも可能である。

[0124] ［第３実施形態］

次に、第３実施形態に係る空間光変調素子について説明する。第３実施形態に係る空間光変調素子は、ライン型の電気光学型空間光変調素子であり、ブラッグ回折型の回折格子を生成する。図２２及び図２３に示すように、第３実施形態に係る空間光変調素子３００は、光学部材３１０と、複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃと、複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃと、複数のプラス線（図示せず）と、複数のマイナス線（図示せず）とを備える。空間光変調素子３００は、断面形状が扁平な楕円形状に整形されたシート状の加工光ＥＬを変調して射出する。

[0125] 第３実施形態において、図２２の各矢印で示す方向をそれぞれ、Ｘ方向、Ｙ方向、Ｚ方向と称することがある。Ｘ方向とＹ方向とＺ方向とは、互いに直交する方向である。第３実施形態に係る空間光変調素子３００は、加工光ＥＬの進む方向（Ｚ方向）に対してブラッグ角だけＹ軸周りに傾斜（回転）して配置される。Ｚ方向に対してブラッグ角だけ傾斜する方向をＺ１方向と称し、Ｘ方向に対してブラッグ角だけ傾斜する方向をＸ１方向と称することがある。Ｘ１方向とＹ方向とＺ１方向とは、互いに直交する方向である。

[0126] 光学部材３１０は、第１実施形態に係る光学部材１１０と同様に形成される。光学部材３１０の一方の（－Ｚ１方向の）端部に、入射面３１１が形成される。入射面３１１には、入射光としてＺ方向に進むシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。なお、Ｚ方向は第１軸方向と称されてもよく、入射面３１１は第１軸と交差してもよい。また、Ｚ１方向は第１軸に沿った方向と称されてもよい。光学部材３１０における入射面３１１と反対側の（＋Ｚ１方向の）端部に、射出面３１２が形成される。入射面３１１から光学部材３１０の内部に入射した光は、射出面３１２から射出される。

[0127] 光学部材３１０の＋Ｙ方向側の側面部に、複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃ及び複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃが配置される配置面３１３が形成される。複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃ及び複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃは、例えば金（Au）を含む金属材料を用いて形成される。配置面３１３と複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃ及び複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃとの間に、第１実施形態と同様にバッファ層３１４が形成される。

[0128] 光学部材３１０は、第１実施形態に係る光学部材１１０と同様に、周期分極反転構造を有する。光学部材３１０には、Ｚ１方向に延びる第１分極部３１５と、第１分極部３１５に隣接してＺ１方向に延びる第２分極部３１６とが、Ｘ１方向に沿って交互に複数並んで設けられる。第２分極部３１６は、第１分極部３１５とは異なる方向（具体的には、反対の向き）に分極している。なお、Ｘ１方向は第２軸方向と称されてもよく、Ｙ方向は第３軸方向と称されてもよい。また、配置面３１３は第３軸と交差してもよい。

[0129] 配置面３１３における－Ｚ１方向の端部側の第１領域３０１Ａにおいて、第１分極部３１５が位置する部分にそれぞれ、プラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａの対が設けられる。第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａは、配置面３１３における第１分極部３１５が位置する部分において、第１領域３０１Ａの一端側から他端側まで、Ｚ１方向に平行に延びて形成される。また、第１領域３０１Ａのマイナスの電極３２５Ａは、第１領域３０１Ａのプラスの電極３２０Ａの＋Ｘ１方向側に隣り合って配置される。第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａは、配置面３１３における第１分極部３１５が位置する部分において、第１領域３０１Ａの第１及び第２電極と称されてもよい。

[0130] また、配置面３１３における第１領域３０１Ａにおいて、第２分極部３１６が位置する部分にそれぞれ、プラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａの対が設けられる。第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０

Ａ，３２５Ａは、配置面３１３における第２分極部３１６が位置する部分において、第１領域３０１Ａの一端側から他端側まで、Ｚ１方向に平行に延びて形成される。また、第１領域３０１Ａのマイナスの電極３２５Ａは、第１領域３０１Ａのプラスの電極３２０Ａの＋Ｘ１方向側に隣り合って配置される。第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａは、配置面３１３における第２分極部３１６が位置する部分において、第１領域３０１Ａの第３及び第４電極と称されてもよい。

[0131] 配置面３１３における第１領域３０１Ａの＋Ｚ１方向側に隣接する（配置面３１３における中央側の）第２領域３０１Ｂにおいて、第１分極部３１５が位置する部分にそれぞれ、プラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂの対が設けられる。第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂは、配置面３１３における第１分極部３１５が位置する部分において、第２領域３０１Ｂの一端側から他端側まで、Ｚ１方向に平行に延びて形成される。また、第２領域３０１Ｂのマイナスの電極３２５Ｂは、第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂの＋Ｘ１方向側に隣り合って配置される。第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂは、配置面３１３における第１分極部３１５が位置する部分において、第２領域３０１Ｂの第１及び第２電極と称されてもよい。

[0132] また、配置面３１３における第２領域３０１Ｂにおいて、第２分極部３１６が位置する部分にそれぞれ、プラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂの対が設けられる。第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂは、配置面３１３における第２分極部３１６が位置する部分において、第２領域３０１Ｂの一端側から他端側まで、Ｚ１方向に平行に延びて形成される。また、第２領域３０１Ｂのマイナスの電極３２５Ｂは、第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂの＋Ｘ１方向側に隣り合って配置される。第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂは、配置面３１３における第２分極部３１６が位置する部分において、第２領域３０１Ｂの第３及び第４電極と称されてもよい。

[0133] 配置面３１３における第２領域３０１Ｂの＋Ｚ１方向側に隣接する（配置面３１３における＋Ｚ１方向の端部側の）第３領域３０１Ｃにおいて、第１分極部３１５が位置する部分にそれぞれ、プラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃの対が設けられる。第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃは、配置面３１３における第１分極部３１５が位置する部分において、第３領域３０１Ｃの一端側から他端側まで、Ｚ１方向に平行に延びて形成される。また、第３領域３０１Ｃのマイナスの電極３２５Ｃは、第３領域３０１Ｃのプラスの電極３２０Ｃの＋Ｘ１方向側に隣り合って配置される。第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃは、配置面３１３における第１分極部３１５が位置する部分において、第３領域３０１Ｃの第１及び第２電極と称されてもよい。

[0134] また、配置面３１３における第３領域３０１Ｃにおいて、第２分極部３１６が位置する部分にそれぞれ、プラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃの対が設けられる。第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃは、配置面３１３における第２分極部３１６が位置する部分において、第３領域３０１Ｃの一端側から他端側まで、Ｚ１方向に平行に延びて形成される。また、第３領域３０１Ｃのマイナスの電極３２５Ｃは、第３領域３０１Ｃのプラスの電極３２０Ｃの＋Ｘ１方向側に隣り合って配置される。第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃは、配置面３１３における第２分極部３１６が位置する部分において、第３領域３０１Ｃの第３及び第４電極と称されてもよい。

[0135] 第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａと、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃとは、Ｚ１方向に沿って互いに分離して設けられる。また、図２２のハッチングで示すように、第１分極部３１５における第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａと、当該第１分極部３１５の＋Ｘ１方向側に隣接する第２分極部３１６における第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３

２０Ｂ，３２５Ｂと、当該第２分極部３１６の＋Ｘ１方向側に隣接する他の第１分極部３１５における第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃとは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで配置される。第２分極部３１６における第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａと、当該第２分極部３１６の＋Ｘ１方向側に隣接する第１分極部３１５における第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂと、当該第１分極部３１５の＋Ｘ１方向側に隣接する他の第２分極部３１６における第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃとは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで配置される。

[0136] 複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃは、個別に複数のプラス線（図示せず）と電気的に接続される。複数のプラス線は、前述の駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線は、駆動回路２２から供給される電圧を個別に複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃに印加する。プラス線を介してプラスの電極に電圧を印加することで、隣り合うプラス及びマイナスの電極間に電位差を付けることができる。複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃは、個別に複数のグランド線（図示せず）と電気的に接続される。複数のグランド線は、駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線及び複数のグランド線は、前述の配線ＥＷを構成する。

[0137] 以上のように構成される空間光変調素子３００において、光学部材３１０の入射面３１１には、図２２及び図２３に示すように、入射光としてシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃ及び複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃに電圧が印加されていない状態で、入射面３１１から光学部材３１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、光学部材３１０の内部における配置面３１３の箇所で全反射して、０次回折光として射出面３１２から射出される。

[0138] プラス線（図示せず）を介して第１領域３０１Ａのプラスの電極３２０Ａに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第１実施形態と同様に、第１領域３０１Ａのプラスの電極３２０Ａからマイナスの電極３２５Ａに向けて電界が発生し、電気光学効果により第１領域３０１Ａに位置する第１分極部３１５及び第２分極部３１６内の屈折率が変化する。第３実施形態では、第１領域３０１Ａに位置する光学部材３１０（第１分極部３１５及び第２分極部３１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第１の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0139] プラス線（図示せず）を介して第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第１実施形態と同様に、第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂからマイナスの電極３２５Ｂに向けて電界が発生し、電気光学効果により第２領域３０１Ｂに位置する第１分極部３１５及び第２分極部３１６内の屈折率が変化する。第３実施形態では、第２領域３０１Ｂに位置する光学部材３１０（第１分極部３１５及び第２分極部３１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第２の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0140] プラス線（図示せず）を介して第３領域３０１Ｃのプラスの電極３２０Ｃに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第１実施形態と同様に、第３領域３０１Ｃのプラスの電極３２０Ｃからマイナスの電極３２５Ｃに向けて電界が発生し、電気光学効果により第３領域３０１Ｃに位置する第１分極部３１５及び第２分極部３１６内の屈折率が変化する。第３実施形態では、第３領域３０１Ｃに位置する光学部材３１０（第１分極部３１５及び第２分極部３１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第３の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0141] プラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃに電圧が印加されている状態

で、入射面３１１から光学部材３１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、第１～第３の回折格子が生成されている領域（すなわち、屈折率が変化している領域）においてブラッグ回折により回折する。ブラッグ回折により生じる回折光ＤＬ（例えば、＋１次の回折光）は、光学部材３１０の内部における配置面３１３の箇所で全反射して、射出面３１２から射出される。このようにして、空間光変調素子３００は、隣り合うプラス及びマイナスの電極間の電位差により、光学部材３１０の入射面３１１に入射する加工光ＥＬを変調し、射出面３１２から回折光ＤＬを射出する。

[0142] 文献「Masahide Okazaki, Syuhei Yoshimoto, Takao Chichibu, and Toshiaki Suhara, “Electro-optic spatial light modulator using periodically-poled MgO:s-LiTaO3 waveguide”, IEEE Photonics Technology Letters, vol.27, no.15, pp.1646-1648, Aug.2015.」に開示されるように、ブラッグ回折では光が回折する方向に電極を回転させることが望ましい。第３実施形態では、第１分極部３１５における第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａと、当該第１分極部３１５の＋Ｘ１方向側に隣接する第２分極部３１６における第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂと、当該第２分極部３１６の＋Ｘ１方向側に隣接する他の第１分極部３１５における第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃとは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで配置される。第２分極部３１６における第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａと、当該第２分極部３１６の＋Ｘ１方向側に隣接する第１分極部３１５における第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂと、当該第１分極部３１５の＋Ｘ１方向側に隣接する他の第２分極部３１６における第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃとは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで配置される。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向から視認したときの電圧の印加の境界を明瞭にすることができる。

[0143] 第１実施形態でも述べたように、入射光の一部を独立して変調するには、回折格子における３周期以上の屈折率の変化、すなわち第３実施形態では少なくとも６対のプラス及びマイナスの電極をまとめて制御する必要がある。第３実施形態に係る空間光変調素子３００において、複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃは、個別に複数のプラス線（図示せず）を介して駆動回路２２と電気的に接続される。複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃは、個別に複数のグランド線（図示せず）を介して駆動回路２２と電気的に接続される。駆動回路２２により、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａの対と、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂの対と、第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃの対の組合せについて、少なくとも６対の組合せからなる制御クループごとに独立して電圧制御を行うことで、入射光（加工光ＥＬ）の一部を独立して変調することができる。

[0144] ［第３実施形態の特徴構成］

第３実施形態によれば、第１実施形態と同様の効果を得ることができる。また、第３実施形態に係る空間光変調素子３００において、光学部材３１０の配置面３１３における第１領域３０１Ａには、第１の回折格子を生成する複数のプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５ＡがＸ１方向（第２軸）に沿って設けられる。光学部材３１０の配置面３１３における第２領域３０１Ｂには、第２の回折格子を生成する複数のプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５ＢがＸ１方向に沿って設けられる。光学部材３１０の配置面３１３における第３領域３０１Ｃには、第３の回折格子を生成する複数のプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５ＣがＸ１方向に沿って設けられる。

[0145] 第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａと、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃとは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで配置される。このような配

置（例えば、図２２のハッチングで示す配置）において、第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａによって生成される第１の回折格子と、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂによって生成される第２の回折格子と、第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃによって生成される第３の回折格子とは、互いにＸ１方向における屈折率変化の位相が異なる。但し、第２の回折格子及び第３の回折格子の屈折率変化の位相は、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向と直交する方向において第１の回折格子の屈折率変化の位相と等しくなる。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向から視認したときの電圧の印加の境界を明瞭にすることができる。

[0146] ［第３実施形態の変形例］

上述の第３実施形態において、第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａと、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃとは、Ｚ１方向に沿って互いに分離して設けられているが、これに限られるものではない。例えば、図２４に示す空間光変調素子３５０のように、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３７０Ａ，３７５Ａと、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３７０Ｂ，３７５Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３７０Ｃ，３７５Ｃのうち、Ｘ１方向の位置が同じ電極同士が繋がって形成されてもよい。

[0147] 具体的には、図２４のハッチングで示す電極の配置において、Ｘ１方向に数えて２番目の対のプラス及びマイナスの電極では、第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３７０Ａ，３７５Ａと、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３７０Ｂ，３７５Ｂとが繋がって形成されてもよい。Ｘ１方向に数えて３～６番目の対のプラス及びマイナスの電極では、第１領域３０１Ａのプラス及びマイナスの電極３７０Ａ，３７５Ａと、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３７０Ｂ，３７５Ｂと、第３領域３０１Ｃ

のプラス及びマイナスの電極３７０Ｃ，３７５Ｃとが繋がって形成されてもよい。Ｘ１方向に数えて７番目の対のプラス及びマイナスの電極では、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３７０Ｂ，３７５Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３７０Ｃ，３７５Ｃとが繋がって形成されてもよい。

[0148] 上述の第３実施形態において、第１実施形態と同様に、光学部材３１０は、入射面３１１から入射する加工光ＥＬが光学部材３１０内の屈折率が変化している領域を通過するように設けられたスラブ導波路を備えてもよい。スラブ導波路により加工光ＥＬの光路が電極に近い位置で続くため、加工光ＥＬと電界との相互作用を長い距離に亘って得ることができる。そのため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。

[0149] ［第４実施形態］

次に、第４実施形態に係る空間光変調素子について説明する。第４実施形態に係る空間光変調素子は、ライン型の電気光学型空間光変調素子であり、ブラッグ回折型の回折格子を生成する。図２５及び図２６に示すように、第４実施形態に係る空間光変調素子４００は、光学部材４１０と、複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅと、複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅと、複数のプラス線（図示せず）と、複数のマイナス線（図示せず）とを備える。空間光変調素子４００は、断面形状が扁平な楕円形状に整形されたシート状の加工光ＥＬを変調して射出する。

[0150] 第４実施形態において、図２５の各矢印で示す方向をそれぞれ、Ｘ方向、Ｙ方向、Ｚ方向と称することがある。Ｘ方向とＹ方向とＺ方向とは、互いに直交する方向である。第４実施形態に係る空間光変調素子４００は、加工光ＥＬの進む方向（Ｚ方向）に対してブラッグ角だけＹ軸周りに傾斜（回転）して配置される。Ｚ方向に対してブラッグ角だけ傾斜する方向をＺ１方向と称し、Ｘ方向に対してブラッグ角だけ傾斜する方向をＸ１方向と称することがある。Ｘ１方向とＹ方向とＺ１方向とは、互いに直交する方向である。

[0151] 光学部材４１０は、第２実施形態に係る光学部材２１０と同様に形成される。光学部材４１０の一方の（－Ｚ１方向の）端部に、入射面４１１が形成される。入射面４１１には、入射光としてＺ方向に進むシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。なお、Ｚ方向は第１軸方向と称されてもよく、入射面４１１は第１軸と交差してもよい。また、Ｚ１方向は第１軸に沿った方向と称されてもよい。光学部材４１０における入射面４１１と反対側の（＋Ｚ１方向の）端部に、射出面４１２が形成される。入射面４１１から光学部材４１０の内部に入射した光は、射出面４１２から射出される。

[0152] 光学部材４１０の＋Ｙ方向側の側面部に、複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅ及び複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅが配置される配置面４１３が形成される。複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅ及び複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅは、例えば金（Au）を含む金属材料を用いて形成される。配置面４１３と複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅ及び複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅとの間に、第２実施形態と同様にバッファ層４１４が形成される。

[0153] 光学部材４１０は、第２実施形態に係る光学部材２１０と同様に、周期分極反転構造を有する。光学部材４１０には、Ｚ１方向に延びる第１分極部４１５と、第１分極部４１５に隣接してＺ１方向に延びる第２分極部４１６とが、Ｘ１方向に沿って交互に複数並んで設けられる。第２分極部４１６は、第１分極部４１５とは異なる方向（具体的には、反対の向き）に分極している。なお、Ｘ１方向は第２軸方向と称されてもよく、Ｙ方向は第３軸方向と称されてもよい。また、配置面４１３は第３軸と交差してもよい。

[0154] 配置面４１３における－Ｚ１方向の端部側の第１領域４０１Ａにおいて、第１分極部４１５と当該第１分極部４１５に対して－Ｘ１方向側に隣接して位置する第２分極部４１６（第３分極部）とに跨る位置に、プラスの電極４２０Ａが設けられる。第１領域４０１Ａのプラスの電極４２０Ａは、第１分極部４１５と第２分極部４１６（第３分極部）とに跨る位置において、第１領域４０１Ａの一端側から他端側まで、Ｚ１方向に延びて形成される。第１

領域４０１Ａにおいて、第１分極部４１５と当該第１分極部４１５に対して＋Ｘ１方向側に隣接して位置する第２分極部４１６とに跨る位置に、マイナスの電極４２５Ａが設けられる。第１領域４０１Ａのマイナスの電極４２５Ａは、第１分極部４１５と第２分極部４１６とに跨る位置において、第１領域４０１Ａの一端側から他端側まで、プラスの電極４２０Ａと平行にＺ１方向に延びて形成される。なお、第１領域４０１Ａにおいて、第２分極部４１６と当該第２分極部４１６に対して＋Ｘ１方向側（マイナスの電極４２５Ａと反対側）に隣接して位置する第１分極部４１５とに跨る位置に、プラスの電極４２０Ａが設けられるとも言える。第２分極部４１６と当該第２分極部４１６に対して＋Ｘ１方向側（マイナスの電極４２５と反対側）に隣接して位置する第１分極部４１５とに跨るプラスの電極４２０Ａは、第３電極と称されてもよい。

[0155] 配置面４１３における第１領域４０１Ａの＋Ｚ１方向側に隣接する第２領域４０１Ｂにおいて、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと同様に、第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４２０Ｂ，４２５Ｂが設けられる。配置面４１３における第２領域４０１Ｂの＋Ｚ１方向側に隣接する第３領域４０１Ｃにおいて、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと同様に、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４２０Ｃ，４２５Ｃが設けられる。配置面４１３における第３領域４０１Ｃの＋Ｚ１方向側に隣接する第４領域４０１Ｄにおいて、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと同様に、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５Ｄが設けられる。配置面４１３における第４領域４０１Ｄの＋Ｚ１方向側に隣接する（配置面４１３における＋Ｚ１方向の端部側の）第５領域４０１Ｅにおいて、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと同様に、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５Ｅが設けられる。

[0156] 第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと、第

２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４２０Ｂ，４２５Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４２０Ｃ，４２５Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５Ｄと、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５Ｅとは、Ｚ１方向に沿って互いに分離して設けられる。また、図２５のハッチングで示すように、第１分極部４１５における第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと、当該第１分極部４１５の（第２分極部４１６を介して）＋Ｘ１方向側に並ぶ第１分極部４１５における第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４２０Ｂ，４２５Ｂと、当該第１分極部４１５の（第２分極部４１６を介して）＋Ｘ１方向側に並ぶ第１分極部４１５における第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４２０Ｃ，４２５Ｃと、当該第１分極部４１５の（第２分極部４１６を介して）＋Ｘ１方向側に並ぶ第１分極部４１５における第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５Ｄと、当該第１分極部４１５の（第２分極部４１６を介して）＋Ｘ１方向側に並ぶ第１分極部４１５における第５領域５０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５Ｅとは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで配置される。

[0157] 複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅは、個別に複数のプラス線（図示せず）と電気的に接続される。複数のプラス線は、前述の駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線は、駆動回路２２から供給される電圧を個別に複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅに印加する。プラス線を介してプラスの電極に電圧を印加することで、隣り合うプラス及びマイナスの電極間に電位差を付けることができる。複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅは、個別に複数のグランド線（図示せず）と電気的に接続される。複数のグランド線は、駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線及び複数のグランド線は、前述の配線ＥＷを構成する。

[0158] 以上のように構成される空間光変調素子４００において、光学部材４１０の入射面４１１には、図２５及び図２６に示すように、入射光としてシート

状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅ及び複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅに電圧が印加されていない状態で、入射面４１１から光学部材４１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、光学部材４１０の内部における配置面４１３の箇所で全反射して、０次回折光として射出面４１２から射出される。

[0159] プラス線（図示せず）を介して第１領域４０１Ａのプラスの電極４２０Ａに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第２実施形態と同様に、第１領域４０１Ａのプラスの電極４２０Ａからマイナスの電極４２５Ａに向けて電界が発生し、電気光学効果により第１領域４０１Ａに位置する第１分極部４１５及び第２分極部４１６内の屈折率が変化する。第４実施形態では、第１領域４０１Ａに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第１の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0160] プラス線（図示せず）を介して第２領域４０１Ｂのプラスの電極４２０Ｂに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第２実施形態と同様に、第２領域４０１Ｂのプラスの電極４２０Ｂからマイナスの電極４２５Ｂに向けて電界が発生し、電気光学効果により第２領域４０１Ｂに位置する第１分極部４１５及び第２分極部４１６内の屈折率が変化する。第４実施形態では、第２領域４０１Ｂに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第２の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0161] プラス線（図示せず）を介して第３領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｃに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第２実施形態と同様に、第３領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｃからマイナスの電極４２５Ｃに向けて電界が発生し、電気光学効果により第３領域４０１Ｃに位置する第１分極部４１５及び第２分極部４１６内の屈折率が変化する。第４実

施形態では、第３領域４０１Ｃに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第３の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0162] プラス線（図示せず）を介して第４領域４０１Ｄのプラスの電極４２０Ｄに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第２実施形態と同様に、第４領域４０１Ｄのプラスの電極４２０Ｄからマイナスの電極４２５Ｄに向けて電界が発生し、電気光学効果により第４領域４０１Ｄに位置する第１分極部４１５及び第２分極部４１６内の屈折率が変化する。第４実施形態では、第４領域４０１Ｄに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第４の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0163] プラス線（図示せず）を介して第５領域４０１Ｅのプラスの電極４２０Ｅに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第２実施形態と同様に、第５領域４０１Ｅのプラスの電極４２０Ｅからマイナスの電極４２５Ｅに向けて電界が発生し、電気光学効果により第５領域４０１Ｅに位置する第１分極部４１５及び第２分極部４１６内の屈折率が変化する。第４実施形態では、第５領域４０１Ｅに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第５の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0164] プラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅに電圧が印加されている状態で、入射面４１１から光学部材４１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、第１～第５の回折格子が生成されている領域（すなわち、屈折率が変化している領域）においてブラッグ回折により回折する。ブラッグ回折により生じる回折光ＤＬ（例えば、＋１次の回折光）は、光学部材４１０の内部における配置面４１３の箇所で全反射して、射出面４１２から射出される。このように

して、空間光変調素子４００は、隣り合うプラス及びマイナスの電極間の電位差により、光学部材４１０の入射面４１１に入射する加工光ＥＬを変調し、射出面４１２から回折光ＤＬを射出する。

[0165] 第３実施形態でも述べたように、ブラッグ回折では光が回折する方向に電極を回転させることが望ましい。第４実施形態では、第１分極部４１５における第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと、当該第１分極部４１５の（第２分極部４１６を介して）＋Ｘ１方向側に並ぶ第１分極部４１５における第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４２０Ｂ，４２５Ｂと、当該第１分極部４１５の（第２分極部４１６を介して）＋Ｘ１方向側に並ぶ第１分極部４１５における第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４２０Ｃ，４２５Ｃと、当該第１分極部４１５の（第２分極部４１６を介して）＋Ｘ１方向側に並ぶ第１分極部４１５における第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５Ｄと、当該第１分極部４１５の（第２分極部４１６を介して）＋Ｘ１方向側に並ぶ第１分極部４１５における第５領域５０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５Ｅとは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで配置される。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向から視認したときの電圧の印加の境界を明瞭にすることができる。

[0166] 第１実施形態でも述べたように、入射光の一部を独立して変調するには、回折格子における３周期以上の屈折率の変化、すなわち第４実施形態では少なくとも３対のプラス及びマイナスの電極をまとめて制御する必要がある。第４実施形態に係る空間光変調素子４００において、複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅは、個別に複数のプラス線（図示せず）を介して駆動回路２２と電気的に接続される。複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅは、個別に複数のグランド線（図示せず）を介して駆動回路２２と電気的に接続される。駆動回路２２により、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａの対と、第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４２０Ｂ，４２

５Ｂの対と、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４２０Ｃ，４２５Ｃの対と、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５Ｄの対と、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５Ｅの対の組合せについて、少なくとも３対の組合せからなる制御グループごとに独立して電圧制御を行うことで、入射光（加工光ＥＬ）の一部を独立して変調することができる。

[0167] ［第４実施形態の特徴構成］

第４実施形態によれば、第２実施形態と同様の効果を得ることができる。また、第４実施形態に係る空間光変調素子４００において、光学部材４１０の配置面４１３における第１領域４０１Ａには、第１の回折格子を生成する複数のプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５ＡがＸ１方向（第２軸）に沿って設けられる。光学部材４１０の配置面４１３における第２領域４０１Ｂには、第２の回折格子を生成する複数のプラス及びマイナスの電極４２０Ｂ，４２５ＢがＸ１方向に沿って設けられる。光学部材４１０の配置面４１３における第３領域４０１Ｃには、第３の回折格子を生成する複数のプラス及びマイナスの電極４２０Ｃ，４２５ＣがＸ１方向に沿って設けられる。光学部材４１０の配置面４１３における第４領域４０１Ｄには、第４の回折格子を生成する複数のプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５ＤがＸ１方向に沿って設けられる。光学部材４１０の配置面４１３における第５領域４０１Ｅには、第５の回折格子を生成する複数のプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５ＥがＸ１方向に沿って設けられる。

[0168] 第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと、第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４２０Ｂ，４２５Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４２０Ｃ，４２５Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５Ｄと、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５Ｅとは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで配置される。このような配置（例えば、図２５のハッチングで示す配置）において、第１領域３０１Ａのプラス

及びマイナスの電極３２０Ａ，３２５Ａによって生成される第１の回折格子と、第２領域３０１Ｂのプラス及びマイナスの電極３２０Ｂ，３２５Ｂによって生成される第２の回折格子と、第３領域３０１Ｃのプラス及びマイナスの電極３２０Ｃ，３２５Ｃによって生成される第３の回折格子と、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５Ｄによって生成される第４の回折格子と、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５Ｅによって生成される第５の回折格子とは、互いにＸ１方向における屈折率変化の位相が異なる。但し、第２～第５の回折格子の屈折率変化の位相は、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向と直交する方向において第１の回折格子の屈折率変化の位相と等しくなる。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向から視認したときの電圧の印加の境界を明瞭にすることができる。

[0169] ［第４実施形態の変形例］

上述の第４実施形態において、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４２０Ａ，４２５Ａと、第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４２０Ｂ，４２５Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４２０Ｃ，４２５Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４２０Ｄ，４２５Ｄと、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４２０Ｅ，４２５Ｅとは、Ｚ１方向に沿って互いに分離して設けられているが、これに限られるものではない。例えば、図２７に示す空間光変調素子４５０のように、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４７０Ａ，４７５Ａと、第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４７０Ｂ，４７５Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４７０Ｃ，４７５Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４７０Ｄ，４７５Ｄと、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４７０Ｅ，４７５Ｅのうち、Ｘ１方向の位置が同じ電極同士が繋がって形成されてもよい。

[0170] 具体的には、図２７のハッチングで示す電極の配置において、Ｘ１方向に

数えて２番目の対のプラス及びマイナスの電極では、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４７０Ａ，４７５Ａと、第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４７０Ｂ，４７５Ｂとが繋がって形成されてもよい。Ｘ１方向に数えて３番目の対のプラス及びマイナスの電極では、第１領域４０１Ａのプラス及びマイナスの電極４７０Ａ，４７５Ａと、第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４７０Ｂ，４７５Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４７０Ｃ，４７５Ｃとが繋がって形成されてもよい。Ｘ１方向に数えて４番目の対のプラス及びマイナスの電極では、第２領域４０１Ｂのプラス及びマイナスの電極４７０Ｂ，４７５Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４７０Ｃ，４７５Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４７０Ｄ，４７５Ｄとが繋がって形成されてもよい。Ｘ１方向に数えて５番目の対のプラス及びマイナスの電極では、第３領域４０１Ｃのプラス及びマイナスの電極４７０Ｃ，４７５Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４７０Ｄ，４７５Ｄと、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４７０Ｅ，４７５Ｅとが繋がって形成されてもよい。Ｘ１方向に数えて６番目の対のプラス及びマイナスの電極では、第４領域４０１Ｄのプラス及びマイナスの電極４７０Ｄ，４７５Ｄと、第５領域４０１Ｅのプラス及びマイナスの電極４７０Ｅ，４７５Ｅとが繋がって形成されてもよい。

[0171] 上述の第４実施形態において、第１実施形態と同様に、光学部材４１０は、入射面４１１から入射する加工光ＥＬが光学部材４１０内の屈折率が変化している領域を通過するように設けられたスラブ導波路を備えてもよい。スラブ導波路により加工光ＥＬの光路が電極に近い位置で続くため、加工光ＥＬと電界との相互作用を長い距離に亘って得ることができる。そのため、所望の回折効率を得るための駆動電圧を低くすることができ、高速に加工光ＥＬの変調を行うことが可能になる。

[0172] ［第５実施形態］

次に、第５実施形態に係る空間光変調素子について説明する。第５実施形

態に係る空間光変調素子は、プラス側結線及びマイナス側結線をさらに備える他は、第３実施形態に係る空間光変調素子３００と要部が共通の構成である。そのため、第３実施形態と同様の構成については、第３実施形態と同一の符号を付して詳細な説明を省略する。図２８に示すように、第５実施形態に係る空間光変調素子５００は、光学部材３１０と、複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃと、複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃと、複数のプラス線（図示せず）と、複数のマイナス線（図示せず）と、第１及び第２のプラス側結線５４０Ａ，５４０Ｂと、第１及び第２のマイナス側結線５４５Ａ，５４５Ｂとを備える。空間光変調素子５００は、断面形状が扁平な楕円形状に整形されたシート状の加工光ＥＬを変調して射出する。

[0173] 第１のプラス側結線５４０Ａは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域３０１Ａのプラスの電極３２０Ａと、第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂとを電気的に接続する。第２のプラス側結線５４０Ｂは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラスの電極３２０Ｃとを電気的に接続する。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域３０１Ａのプラスの電極３２０Ａと、第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラスの電極３２０Ｃとは、第１及び第２のプラス側結線５４０Ａ，５４０Ｂにより電気的に接続される。

[0174] 第１のマイナス側結線５４５Ａは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域３０１Ａのマイナスの電極３２５Ａと、第２領域３０１Ｂのマイナスの電極３２５Ｂとを電気的に接続する。第２のマイナス側結線５４５Ｂは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第２領域３０１Ｂのマイナスの電極３２５Ｂと、第３領域３０１Ｃのマイナスの電極３２５Ｃとを電気的に接続する。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域３０１Ａのマイナスの電

極３２５Ａと、第２領域３０１Ｂのマイナスの電極３２５Ｂと、第３領域３０１Ｃのマイナスの電極３２５Ｃとは、第１及び第２のマイナス側結線５４５Ａ，５４５Ｂにより電気的に接続される。

[0175] ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで複数設けられた、第１領域３０１Ａのプラスの電極３２０Ａと、第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラスの電極３２０Ｃとの組は、複数のプラス線（図示せず）と電気的に接続される。複数のプラス線は、前述の駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線は、駆動回路２２から供給される電圧を個別に、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ複数の組のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃに印加する。プラス線を介してプラスの電極に電圧を印加することで、隣り合うプラス及びマイナスの電極間に電位差を付けることができる。ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで複数設けられた、第１領域３０１Ａのマイナスの電極３２５Ａと、第２領域３０１Ｂのマイナスの電極３２５Ｂと、第３領域３０１Ｃのマイナスの電極３２５Ｃとの組は、複数のグランド線（図示せず）と電気的に接続される。複数のグランド線は、駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線及び複数のグランド線は、前述の配線ＥＷを構成する。

[0176] 以上のように構成される空間光変調素子５００において、光学部材３１０の入射面３１１には、第３実施形態と同様に、入射光としてシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。複数のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃ及び複数のマイナスの電極３２５Ａ，３２５Ｂ，３２５Ｃに電圧が印加されていない状態で、入射面３１１から光学部材３１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、光学部材３１０の内部における配置面３１３の箇所で全反射して、０次回折光として射出面３１２から射出される。

[0177] 複数のプラス線（図示せず）を介して、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ複数の組のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第３実施形

態と同様に、第１領域３０１Ａに位置する光学部材３１０（第１分極部３１５及び第２分極部３１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第１の回折格子（図示せず）が生成される。第２領域３０１Ｂに位置する光学部材３１０（第１分極部３１５及び第２分極部３１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第２の回折格子（図示せず）が生成される。第３領域３０１Ｃに位置する光学部材３１０（第１分極部３１５及び第２分極部３１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第３の回折格子（図示せず）が生成される。

[0178] 複数の組のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃに電圧が印加されている状態で、入射面３１１から光学部材３１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、第１～第３の回折格子が生成されている領域（すなわち、屈折率が変化している領域）においてブラッグ回折により回折する。ブラッグ回折により生じる回折光ＤＬ（例えば、＋１次の回折光）は、光学部材３１０の内部における配置面３１３の箇所で全反射して、射出面３１２から射出される。このようにして、空間光変調素子５００は、隣り合うプラス及びマイナスの電極間の電位差により、光学部材３１０の入射面３１１に入射する加工光ＥＬを変調し、射出面３１２から回折光ＤＬを射出する。

[0179] ［第５実施形態の特徴構成］

第５実施形態によれば、第３実施形態と同様の効果を得ることができる。また、第５実施形態に係る空間光変調素子５００において、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域３０１Ａのプラスの電極３２０Ａと、第２領域３０１Ｂのプラスの電極３２０Ｂと、第３領域３０１Ｃのプラスの電極３２０Ｃとは、第１及び第２のプラス側結線５４０Ａ，５４０Ｂにより電気的に接続される。ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域３０１Ａのマイナスの電極３２５Ａと、第２領域３０１Ｂのマイナスの電極３２５Ｂと、第３領域３０１Ｃのマイナスの電極

３２５Ｃとは、第１及び第２のマイナス側結線５４５Ａ，５４５Ｂにより電気的に接続される。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向から視認したときの電圧の印加の境界を明瞭にすることができる。また、図２８のハッチングで示すように、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ少なくとも６組のプラスの電極３２０Ａ，３２０Ｂ，３２０Ｃ毎に電圧を印加することで、入射光（加工光ＥＬ）の一部を独立して変調することができる。

[0180] 上述の第５実施形態において、第３実施形態と同様に、光学部材３１０は、入射面３１１から入射する加工光ＥＬが光学部材３１０内の屈折率が変化している領域を通過するように設けられたスラブ導波路を備えてもよい。

[0181] ［第６実施形態］

次に、第６実施形態に係る空間光変調素子について説明する。第６実施形態に係る空間光変調素子は、プラス側結線及びマイナス側結線をさらに備える他は、第４実施形態に係る空間光変調素子４００と要部が共通の構成である。そのため、第４実施形態と同様の構成については、第４実施形態と同一の符号を付して詳細な説明を省略する。図２９に示すように、第６実施形態に係る空間光変調素子６００は、光学部材４１０と、複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅと、複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅと、複数のプラス線（図示せず）と、複数のマイナス線（図示せず）と、第１～第４のプラス側結線６４０Ａ～６４０Ｄと、第１～第４のマイナス側結線６４５Ａ～６４５Ｄとを備える。空間光変調素子６００は、断面形状が扁平な楕円形状に整形されたシート状の加工光ＥＬを変調して射出する。

[0182] 第１のプラス側結線６４０Ａは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域４０１Ａのプラスの電極４２０Ａと、第２領域４０１Ｂのプラスの電極４２０Ｂとを電気的に接続する。第２のプラス側結線６４０Ｂは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第２領域４０１Ｂのプラスの電極４２０Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｃとを電気的に接続する。第３のプラス側結線６４０Ｃは、ブラッグ

回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第３領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラスの電極４２０Ｄとを電気的に接続する。第４のプラス側結線６４０Ｄは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第４領域４０１Ｄのプラスの電極４２０Ｄと、第５領域４０１Ｅのプラスの電極４２０Ｅとを電気的に接続する。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域４０１Ａのプラスの電極４２０Ａと、第２領域４０１Ｂのプラスの電極４２０Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラスの電極４２０Ｄと、第５領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｅとは、第１～第４のプラス側結線６４０Ａ～６４０Ｄにより電気的に接続される。

[0183] 第１のマイナス側結線６４５Ａは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域４０１Ａのマイナスの電極４２５Ａと、第２領域４０１Ｂのマイナスの電極４２５Ｂとを電気的に接続する。第２のマイナス側結線６４５Ｂは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第２領域４０１Ｂのマイナスの電極４２５Ｂと、第３領域４０１Ｃのマイナスの電極４２５Ｃとを電気的に接続する。第３のマイナス側結線６４５Ｃは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第３領域４０１Ｃのマイナスの電極４２５Ｃと、第４領域４０１Ｄのマイナスの電極４２５Ｄとを電気的に接続する。第４のマイナス側結線６４５Ｄは、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第４領域４０１Ｄのマイナスの電極４２５Ｄと、第５領域４０１Ｅのマイナスの電極４２５Ｅとを電気的に接続する。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域４０１Ａのマイナスの電極４２５Ａと、第２領域４０１Ｂのマイナスの電極４２５Ｂと、第３領域４０１Ｃのマイナスの電極４２５Ｃと、第４領域４０１Ｅのマイナスの電極４２５Ｅと、第５領域４０１Ｅのマイナスの電極４２５Ｅとは、第１～第４のマイナス側結線６４５Ａ～６４５Ｄにより電気的に接続される。

[0184] ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで複数設けられた

、第１領域４０１Ａのプラスの電極４２０Ａと、第２領域４０１Ｂのプラスの電極４２０Ｂと、第３領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラスの電極４２０Ｄと、第５領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｅとの組は、複数のプラス線（図示せず）と電気的に接続される。複数のプラス線は、前述の駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線は、駆動回路２２から供給される電圧を個別に、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ複数の組のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅに印加する。プラス線を介してプラスの電極に電圧を印加することで、隣り合うプラス及びマイナスの電極間に電位差を付けることができる。ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並んで複数設けられた、第１領域４０１Ａのマイナスの電極４２５Ａと、第２領域４０１Ｂのマイナスの電極４２５Ｂと、第３領域４０１Ｃのマイナスの電極４２５Ｃと、第４領域４０１Ｅのマイナスの電極４２５Ｅと、第５領域４０１Ｅのマイナスの電極４２５Ｅとの組は、複数のグランド線（図示せず）と電気的に接続される。複数のグランド線は、駆動回路２２と電気的に接続される。複数のプラス線及び複数のグランド線は、前述の配線ＥＷを構成する。

[0185] 以上のように構成される空間光変調素子６００において、光学部材４１０の入射面４１１には、第４実施形態と同様に、入射光としてシート状（断面視楕円形状）の加工光ＥＬが入射する。複数のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅ及び複数のマイナスの電極４２５Ａ～４２５Ｅに電圧が印加されていない状態で、入射面４１１から光学部材４１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、光学部材４１０の内部における配置面４１３の箇所で全反射して、０次回折光として射出面４１２から射出される。

[0186] 複数のプラス線（図示せず）を介して、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ複数の組のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅに電圧（前述の分極反転電圧よりも低い電圧）を印加すると、第４実施形態と同様に、第１領域４０１Ａに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿

ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第１の回折格子（図示せず）が生成される。第２領域４０１Ｂに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第２の回折格子（図示せず）が生成される。第３領域４０１Ｃに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第３の回折格子（図示せず）が生成される。第４領域４０１Ｄに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第４の回折格子（図示せず）が生成される。第５領域４０１Ｅに位置する光学部材４１０（第１分極部４１５及び第２分極部４１６）の内部において屈折率が変化している領域に、Ｘ１方向に沿ったピッチ方向を有するブラッグ回折型の第５の回折格子（図示せず）が生成されるようになっている。

[0187] 複数の組のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅに電圧が印加されている状態で、入射面４１１から光学部材４１０の内部に入射したシート状の加工光ＥＬは、第１～第５の回折格子が生成されている領域（すなわち、屈折率が変化している領域）においてブラッグ回折により回折する。ブラッグ回折により生じる回折光ＤＬ（例えば、＋１次の回折光）は、光学部材４１０の内部における配置面４１３の箇所で全反射して、射出面４１２から射出される。このようにして、空間光変調素子６００は、隣り合うプラス及びマイナスの電極間の電位差により、光学部材４１０の入射面４１１に入射する加工光ＥＬを変調し、射出面４１２から回折光ＤＬを射出する。

[0188] ［第６実施形態の特徴構成］

第６実施形態によれば、第４実施形態と同様の効果を得ることができる。また、第６実施形態に係る空間光変調素子６００において、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域４０１Ａのプラスの電極４２０Ａと、第２領域４０１Ｂのプラスの電極４２０Ｂと、第３領域４０１

Ｃのプラスの電極４２０Ｃと、第４領域４０１Ｄのプラスの電極４２０Ｄと、第５領域４０１Ｃのプラスの電極４２０Ｅとは、第１～第４のプラス側結線６４０Ａ～６４０Ｄにより電気的に接続される。ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ、第１領域４０１Ａのマイナスの電極４２５Ａと、第２領域４０１Ｂのマイナスの電極４２５Ｂと、第３領域４０１Ｃのマイナスの電極４２５Ｃと、第４領域４０１Ｅのマイナスの電極４２５Ｅと、第５領域４０１Ｅのマイナスの電極４２５Ｅとは、第１～第４のマイナス側結線６４５Ａ～６４５Ｄにより電気的に接続される。これにより、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向から視認したときの電圧の印加の境界を明瞭にすることができる。また、図２９のハッチングで示すように、ブラッグ回折による回折光ＤＬの進行方向に沿って並ぶ少なくとも３組のプラスの電極４２０Ａ～４２０Ｅ毎に電圧を印加することで、入射光（加工光ＥＬ）の一部を独立して変調することができる。

[0189] 上述の第６実施形態において、第４実施形態と同様に、光学部材４１０は、入射面４１１から入射する加工光ＥＬが光学部材４１０内の屈折率が変化している領域を通過するように設けられたスラブ導波路を備えてもよい。

[0190] 上述の各実施形態において、マイナスの電極は、グランド線を介して駆動回路２２と電気的に接続されているが、これに限られるものではなく、マイナス線を介して駆動回路２２と電気的に接続されてもよい。

[0191] 以上説明した実施形態に関して、更に以下の付記を記載する。

［付記１］

入射光を変調して射出する空間光変調素子であって、

透光性を有する強誘電体材料を用いて形成され、第１軸に沿って延びた第１分極部と、前記第１軸に沿って延び且つ前記第１分極部とは異なる方向に分極し前記第１軸と交差する第２軸に沿った方向側に隣接して位置する第２分極部とを有する光学部材と、

前記光学部材の前記第１軸及び前記第２軸に交差する第３軸と交差する面に設けられた第１電極と、

前記第１電極の前記第２軸に沿った方向側の前記光学部材の前記面に配置された第２電極とを備え、

前記第１電極から前記第２電極に向かう電界を前記第１分極部に発生させて、前記第１分極部の屈折率を前記第２軸に沿って変化させる空間光変調素子。

［付記２］

前記入射光は、前記第２軸と交差する方向に沿って前記光学部材内の前記屈折率が変化している領域を通過する付記１に記載の空間光変調素子。

［付記３］

前記第１電極と前記第２電極とは、前記光学部材の前記面における前記第１分極部が位置する部分に設けられる付記１または２に記載の空間光変調素子。

［付記４］

前記第１分極部には、前記第１電極から前記第２電極に向かう電界が発生する付記３に記載の空間光変調素子。

［付記５］

前記第２軸の方向において前記第１電極が設けられている前記第１分極部内の位置と、前記第２軸の方向において前記第２電極が設けられている前記第１分極部内の位置とで前記屈折率が異なる付記４に記載の空間光変調素子。

［付記６］

前記第２電極の前記第２軸に沿った方向側の前記光学部材の前記面に配置された第３電極と、

前記第３電極の前記第２軸に沿った方向側の前記光学部材の前記面に配置された第４電極とをさらに備え、

前記第３電極と前記第４電極とは、前記光学部材の前記面における前記第２分極部が位置する部分に設けられる付記３～５のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

［付記７］

前記光学部材は、前記第１軸に沿って延び且つ前記第１分極部とは異なる方向に分極し、前記第１分極部に対して前記第２分極部と反対側に隣接して位置する第３分極部を有する付記１～５までのいずれか一項に記載の空間光変調素子。

［付記８］

前記第１電極は、前記第１分極部と前記第３分極部とに跨る前記光学部材の前記面上の位置に設けられ、

前記第２電極は、前記第１分極部と前記第２分極部とに跨る前記光学部材の前記面上の位置に設けられる付記７に記載の空間光変調素子。

［付記９］

前記第２分極部の前記２電極と反対側における前記光学部材の前記面上の位置に設けられた第３電極をさらに備え、

前記第１分極部には前記第１電極から前記第２電極に向かう電界が発生し、

前記第２分極部には前記第３電極から前記第２電極に向かう電界が発生する付記８に記載の空間光変調素子。

［付記１０］

前記第１電極と前記第３電極とは電気的に接続される付記６または９に記載の空間光変調素子。

［付記１１］

前記光学部材内での前記屈折率の変化によって、前記光学部材内で前記第２軸に沿ったピッチ方向を有する回折格子を生成する付記１～１０のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

［付記１２］

前記光学部材の前記面における第１領域には、前記回折格子を生成する複数の電極が前記第２軸方向に沿って設けられ、

前記光学部材の前記面における前記第１領域の前記第１軸に沿った方向側

に隣接する第２領域には、前記回折格子を生成する複数の電極が前記第２軸方向に沿って設けられる付記１１に記載の空間光変調素子。

［付記１３］

前記第１領域の前記複数の電極によって生成される第１の回折格子と、前記第２領域の前記複数の電極によって生成される第２の回折格子とは、互いに屈折率変化の位相が異なる付記１２に記載の空間光変調素子。

［付記１４］

前記光学部材に入射した前記入射光は、前記第１の回折格子においてブラッグ回折し、

前記第２の回折格子の前記屈折率変化の位相は、前記ブラッグ回折した回折光の進行方向と直交する方向において前記第１の回折格子の前記屈折率変化の位相と等しい付記１３に記載の空間光変調素子。

［付記１５］

前記光学部材は、前記第１軸と交差し且つ前記入射光が入射する入射面と、前記第１軸の方向において前記入射面と反対側に位置し前記光学部材からの光を射出する射出面とを備える付記１～１４のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

［付記１６］

前記入射面から入射する前記入射光は、前記光学部材の前記面における前記第１及び第２電極の位置で全反射して前記射出面から射出される付記１５に記載の空間光変調素子。

［付記１７］

前記光学部材は、前記入射面から入射する前記入射光が前記光学部材内の前記屈折率が変化している領域を通過するように設けられたスラブ導波路を備える付記１５に記載の空間光変調素子。

［付記１８］

付記１～１７のいずれか一項に記載の空間光変調素子と、

前記空間光変調素子から射出される回折光が入射する光学系とを備え、

前記光学系は、前記回折光における０次回折光及び前記０次回折光とは異なる次数の回折光のうち少なくとも一方を減光する減光部を有する光学ユニット。

［付記１９］

光源からの加工光で物体を加工する光加工装置であって、

付記１８に記載の光学ユニットと、

前記光学ユニットを介した前記光源からの加工光を前記物体に照射する照射装置と

を備える光加工装置。

[0192] 上述の各実施形態の構成要件の少なくとも一部は、上述の各実施形態の構成要件の少なくとも他の一部と適宜組み合わせることができる。上述の各実施形態の構成要件のうちの一部が用いられなくてもよい。

[0193] 本発明は、上述した実施形態に限られるものではなく、請求の範囲及び明細書全体から読み取れる発明の要旨或いは思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う空間光変調素子、光学ユニット、及び光加工装置もまた本発明の技術的範囲に含まれるものである。

符号の説明

[0194]

１　光加工装置

２０　光学ユニット

５１　光加工装置（第１の変形例）

６１　光加工装置（第２の変形例）

１００　空間光変調素子（第１実施形態）

１１０　光学部材

１１１　入射面　　１１２　射出面

１１３　配置面

１１５　第１分極部　　１１６　第２分極部

１１７　回折格子

１２０　プラスの電極　　１２５　マイナスの電極

１３０　プラス線　　１３５　グランド線

１１９Ａ，１１９Ｂ　スラブ導波路

１５０　従来の空間光変調素子

２００　空間光変調素子（第２実施形態）

２１０　光学部材

２１１　入射面　　２１２　射出面

２１３　配置面

２１５　第１分極部　　２１６　第２分極部

２１７　回折格子

２２０　プラスの電極　　２２５　マイナスの電極

２３０　プラス線　　２３５　グランド線

３００　空間光変調素子（第３実施形態）

３１０　光学部材

３１１　入射面　　３１２　射出面

３１３　配置面

３１５　第１分極部　　３１６　第２分極部

３２０Ａ～３２０Ｃ　プラスの電極

３２５Ａ～３２５Ｃ　マイナスの電極

３５０　空間光変調素子（第３実施形態の変形例）

３７０Ａ～３７０Ｃ　プラスの電極

３７５Ａ～３７５Ｃ　マイナスの電極

４００　空間光変調素子（第４実施形態）

４１０　光学部材

４１１　入射面　　４１２　射出面

４１３　配置面

４１５　第１分極部　　４１６　第２分極部

４２０Ａ～４２０Ｅ　プラスの電極

４２５Ａ～４２５Ｅ　マイナスの電極

４５０　空間光変調素子（第４実施形態の変形例）

４７０Ａ～４７０Ｅ　プラスの電極

４７５Ａ～４７５Ｅ　マイナスの電極

５００　空間光変調素子（第５実施形態）

５４０Ａ　第１のプラス側結線　　５４０Ｂ　第２のプラス側結線

５４５Ａ　第１のマイナス側結線　　５４５Ｂ　第２のマイナス側結線

６００　空間光変調素子（第６実施形態）

６４０Ａ　第１のプラス側結線　　６４０Ｂ　第２のプラス側結線

６４０Ｃ　第３のプラス側結線　　６４０Ｄ　第４のプラス側結線

６４５Ａ　第１のマイナス側結線　　６４５Ｂ　第２のマイナス側結線

６４５Ｃ　第３のマイナス側結線　　６４５Ｄ　第４のマイナス側結線

ＥＷ　配線

請求の範囲

[請求項1] 入射光を変調して射出する空間光変調素子であって、

第１軸に沿って進行する前記入射光が入射し、透光性を有する強誘電体材料を用いて形成される光学部材と、

前記第１軸と交差する第２軸に沿って、前記光学部材の面に配置される第１及び第２電極と、

前記第１及び第２電極間に電位差を付けられるように前記第１及び第２電極のうち少なくとも一方に電圧を印加する配線とを備える空間光変調素子。

[請求項2] 前記第１及び第２電極間の電位差により前記入射光の変調を行う請求項１に記載の空間光変調素子。

[請求項3] 前記第１及び第２電極は、前記第２軸に沿った方向において隣り合う請求項１または２に記載の空間光変調素子。

[請求項4] 前記光学部材の前記面は、前記第１軸及び前記第２軸に交差する第３軸と交差している請求項１～３のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

[請求項5] 前記配線からの前記電圧の印加により、前記光学部材内の屈折率が前記第２軸に沿って変化する請求項１～４のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

[請求項6] 入射光を変調して射出する空間光変調素子であって、

第１軸に沿って進行する前記入射光が入射し、透光性を有する強誘電体材料を用いて形成される光学部材と、

前記第１軸と交差する第２軸に沿って、前記光学部材の面に配置される第１及び第２電極とを備え、

前記第１及び第２電極間に電位差を発生させた場合に、前記光学部材内の屈折率が前記第２軸に沿って変化する空間光変調素子。

[請求項7] 前記第２軸の方向において前記第１電極が設けられている前記光学部材内の位置と、前記第２軸の方向において前記第２電極が設けられ

ている前記光学部材内の位置とで前記屈折率が異なる請求項５または６に記載の空間光変調素子。

[請求項8] 前記光学部材内での前記屈折率の変化によって、前記光学部材内で前記第２軸に沿ったピッチ方向を有する回折格子を生成する請求項５～７のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

[請求項9] 前記光学部材の前記面における第１領域には、前記回折格子を生成する複数の電極が前記第２軸に沿って設けられ、

前記光学部材の前記面における前記第１領域の前記第１軸に沿った方向側に隣接する第２領域には、前記回折格子を生成する複数の電極が前記第２軸に沿って設けられ、

前記複数の電極は、前記第１及び第２電極を含む請求項８に記載の空間光変調素子。

[請求項10] 前記第１領域の前記複数の電極によって生成される第１の回折格子と、前記第２領域の前記複数の電極によって生成される第２の回折格子とは、互いに屈折率変化の位相が異なる請求項９に記載の空間光変調素子。

[請求項11] 前記光学部材に入射した前記入射光は、前記第１の回折格子においてブラッグ回折し、

前記第２の回折格子の前記屈折率変化の位相は、前記ブラッグ回折した回折光の進行方向と直交する方向において前記第１の回折格子の前記屈折率変化の位相と等しい請求項１０に記載の空間光変調素子。

[請求項12] 前記光学部材に入射した前記入射光は、前記第２軸と交差する方向に沿って前記光学部材内の前記屈折率が変化している領域を通過する請求項５～１１のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

[請求項13] 前記光学部材は、

前記第１軸に沿って延びた第１分極部と、

前記第１軸に沿って延び且つ前記第１分極部とは異なる方向に分極し、前記第１分極部に対して前記第２軸に沿った方向側に隣接して位

置する第２分極部とを有する請求項１～１２のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

[請求項14] 前記第１及び第２電極は、前記光学部材の前記面における前記第１分極部が位置する部分に設けられる請求項１３に記載の空間光変調素子。

[請求項15] 前記第１分極部には、前記第１電極から前記第２電極に向かう電界が発生する請求項１４に記載の空間光変調素子。

[請求項16] 前記第２軸の方向において前記第１電極が設けられている前記光学部材内の位置と、前記第２軸の方向において前記第２電極が設けられている前記光学部材内の位置とで屈折率が異なる請求項１５に記載の空間光変調素子。

[請求項17] 前記光学部材の前記面における前記第２分極部が位置する部分に設けられる第３及び第４電極をさらに備える請求項１４～１６のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

[請求項18] 前記光学部材は、前記第１軸に沿って延び且つ前記第１分極部とは異なる方向に分極し、前記第１分極部に対して前記第２分極部と反対側に隣接して位置する第３分極部を有する請求項１３～１６のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

[請求項19] 前記第１電極は、前記第１分極部と前記第３分極部とに跨る前記光学部材の前記面上の位置に設けられ、

前記第２電極は、前記第１分極部と前記第２分極部とに跨る前記光学部材の前記面上の位置に設けられる請求項１８に記載の空間光変調素子。

[請求項20] 前記第２分極部の前記第２電極と反対側における前記光学部材の前記面上の位置に設けられる第３電極をさらに備え、

前記第１分極部には前記第１電極から前記第２電極に向かう電界が発生し、

前記第２分極部には前記第３電極から前記第２電極に向かう電界が

発生する請求項１８に記載の空間光変調素子。

[請求項21] 前記第１電極と前記第３電極とは電気的に接続される請求項１７または２０に記載の空間光変調素子。

[請求項22] 前記光学部材は、前記第１軸と交差し且つ前記入射光が入射する入射面と、前記第１軸の方向において前記入射面と反対側に位置し前記光学部材からの光を射出する射出面とを有する請求項１～２１のいずれか一項に記載の空間光変調素子。

[請求項23] 前記入射面から入射する前記入射光は、前記光学部材の前記面における前記第１及び第２電極の位置で全反射して前記射出面から射出される請求項２２に記載の空間光変調素子。

[請求項24] 前記光学部材内の屈折率は、前記第１及び第２電極のうち少なくとも一方への電圧の印加により前記第２軸に沿って変化し、

前記光学部材は、前記入射面から入射する前記入射光が前記光学部材内の前記屈折率が変化している領域を通過するように設けられたスラブ導波路を備える請求項２２に記載の空間光変調素子。

[請求項25] 請求項１～２４のいずれか一項に記載の空間光変調素子と、

前記空間光変調素子から射出される回折光が入射する光学系とを備え、

前記光学系は、前記回折光における０次回折光及び前記０次回折光とは異なる次数の回折光のうち少なくとも一方を減光する減光部を有する光学ユニット。

[請求項26] 光源からの加工光で物体を加工する光加工装置であって、

請求項２５に記載の光学ユニットと、

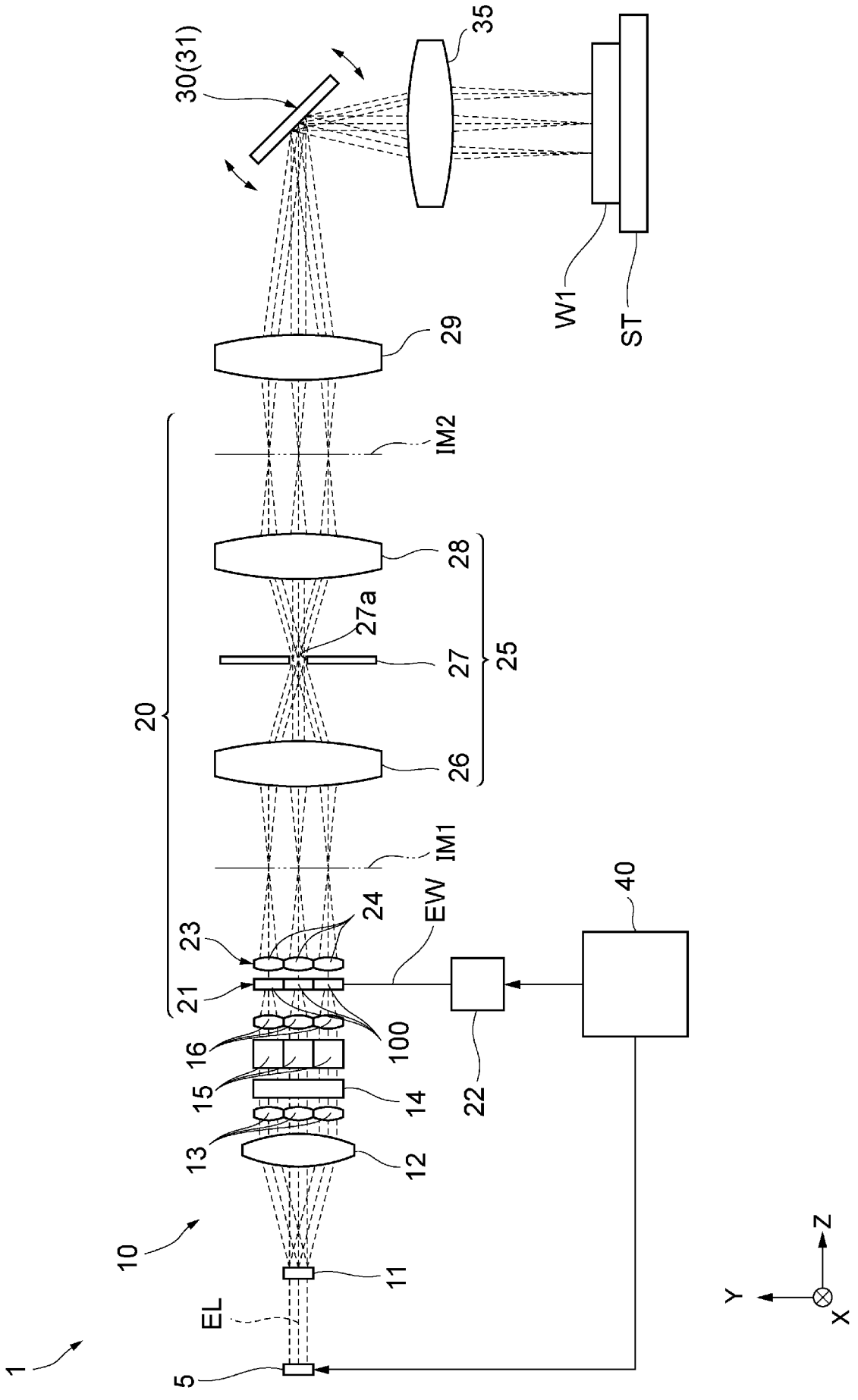
前記光学ユニットを介した前記光源からの加工光を前記物体に照射する照射装置とを備える光加工装置。

[請求項27] 前記光学部材内の屈折率は、前記第１及び第２電極のうち少なくとも一方への電圧の印加により前記第２軸に沿って変化し、

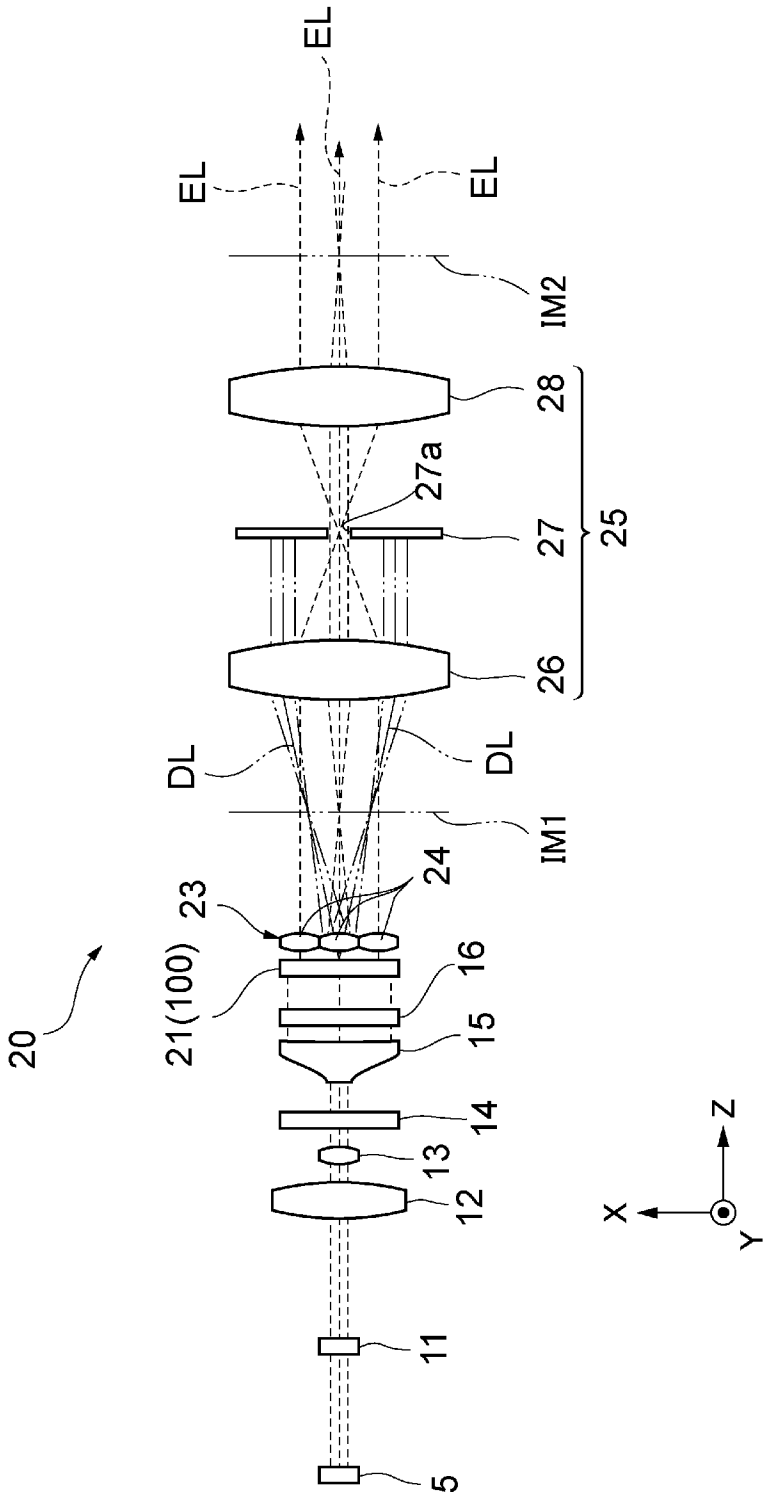
前記光源からの前記加工光が前記第２軸と交差する方向に沿って前

記光学部材内の前記屈折率が変化している領域を通過するように、前記光源からの前記加工光のビーム断面形状を整形する整形光学系をさらに備える請求項２６に記載の光加工装置。

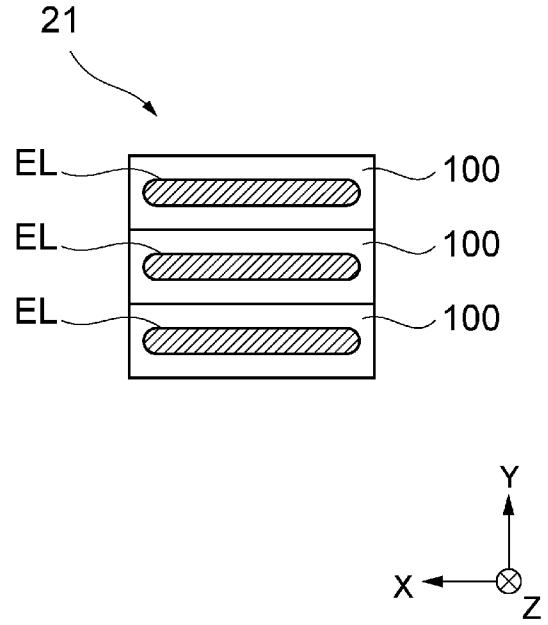
[図1]


30(31)
35
W1
ST
29
IM2
28
27a
27
25
26
20
IM1
24
EW
40
23
21
16
100
15
14
22
13
12
10
11
EL
5
1
Z
Y
X

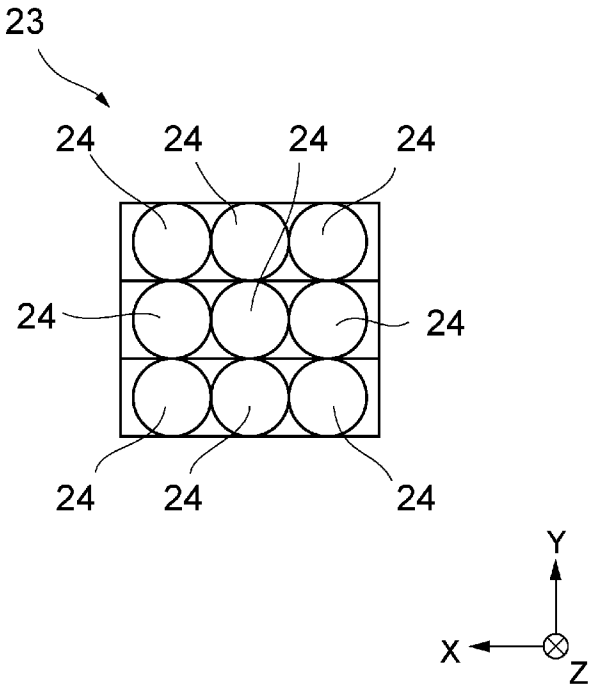
[図2]


EL
EL
EL
IM2
28
27a
27
25
26
DL
DL
IM1
24
23
21(100)
16
15
14
13
12
11
5
20
Z
X
Y

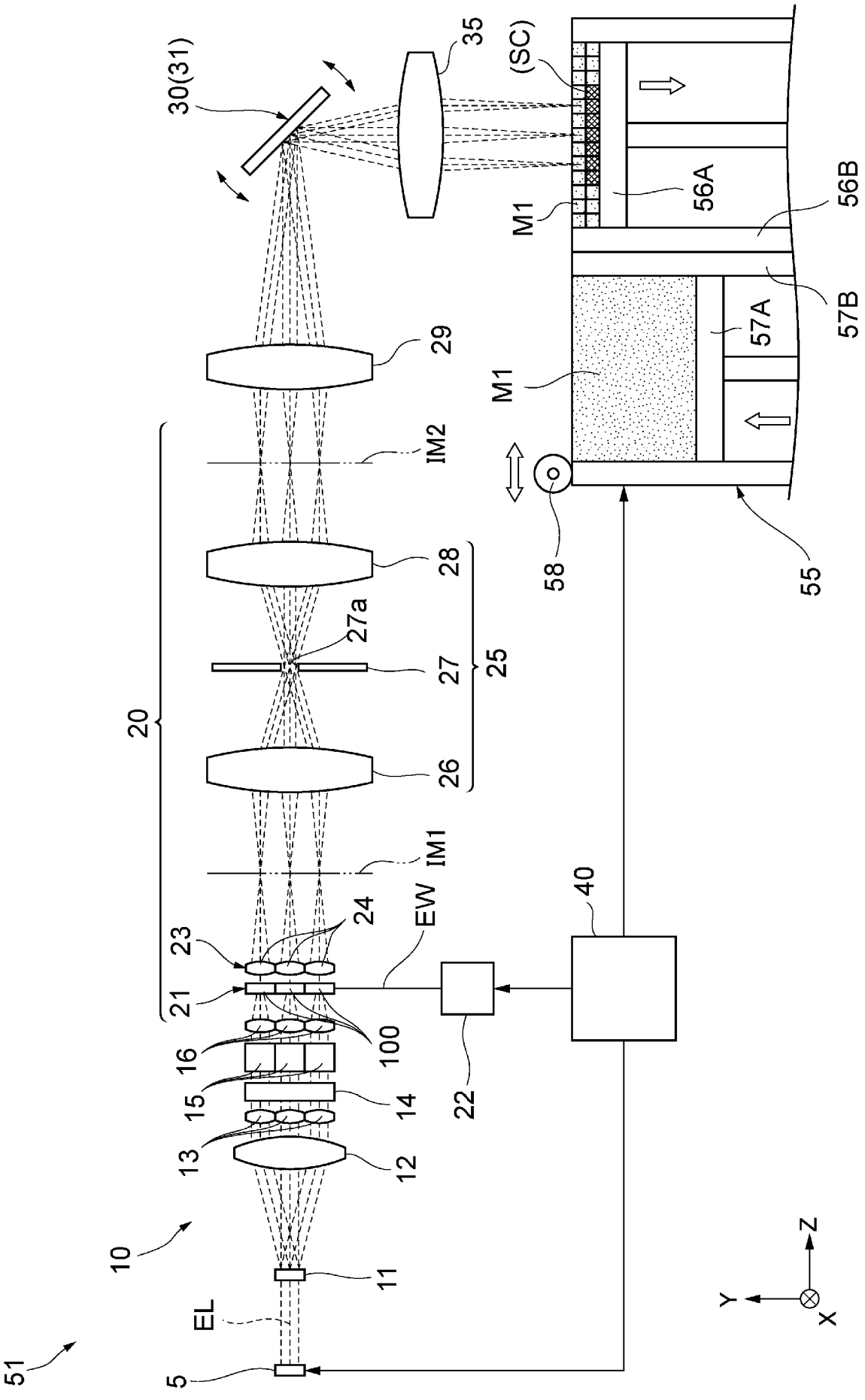
[図3]



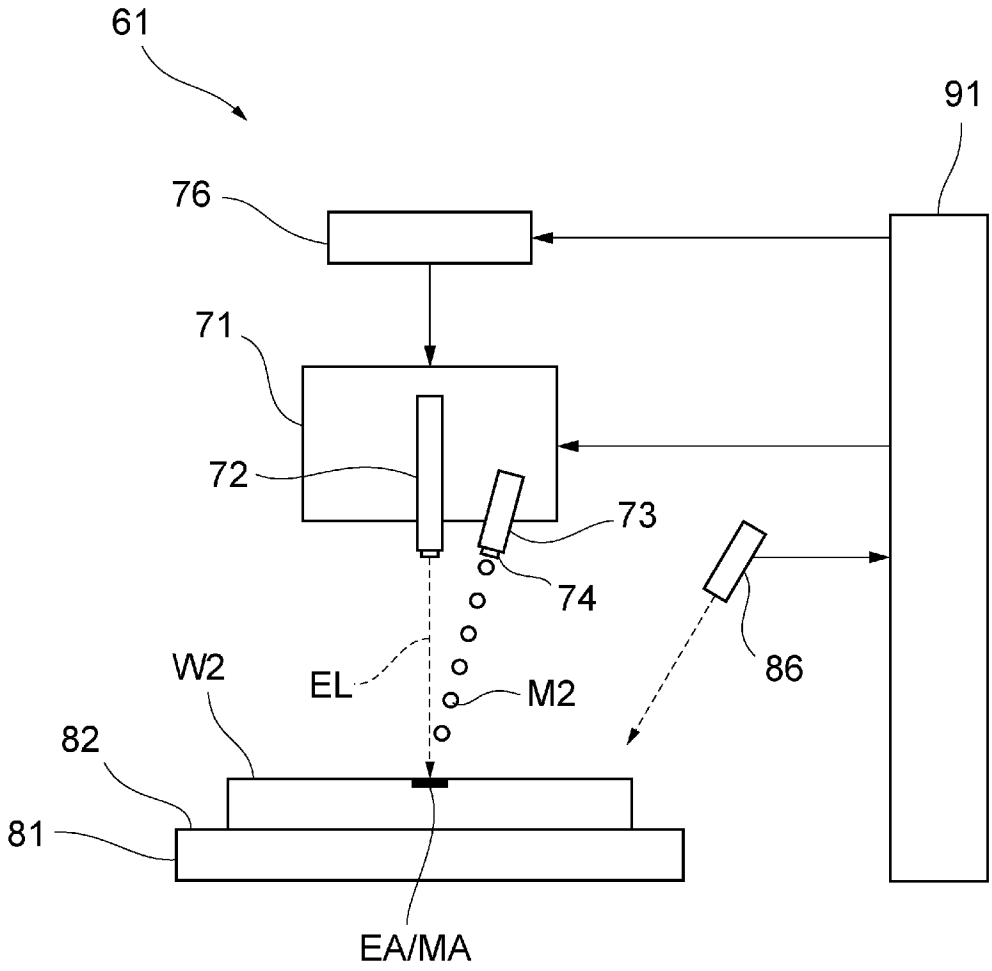
[図4]



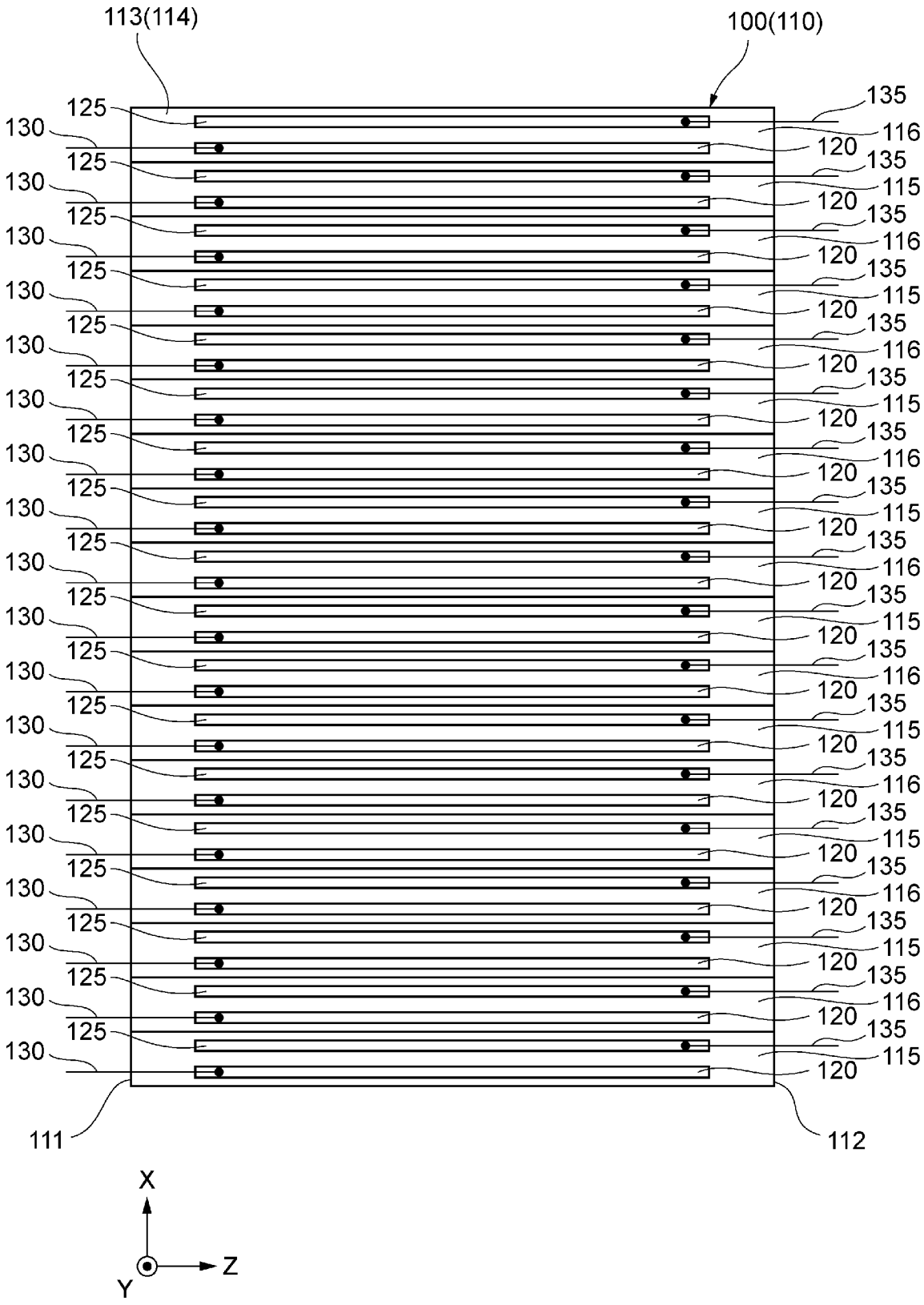
[図5]


30(31)
35
(SC)
M1
56A
56B
57A
57B
M1
29
IM2
28
27a
27
25
26
20
IM1
24
EW
23
21
16
100
15
14
13
12
22
40
58
55
10
11
EL
5
51
Z
Y
X

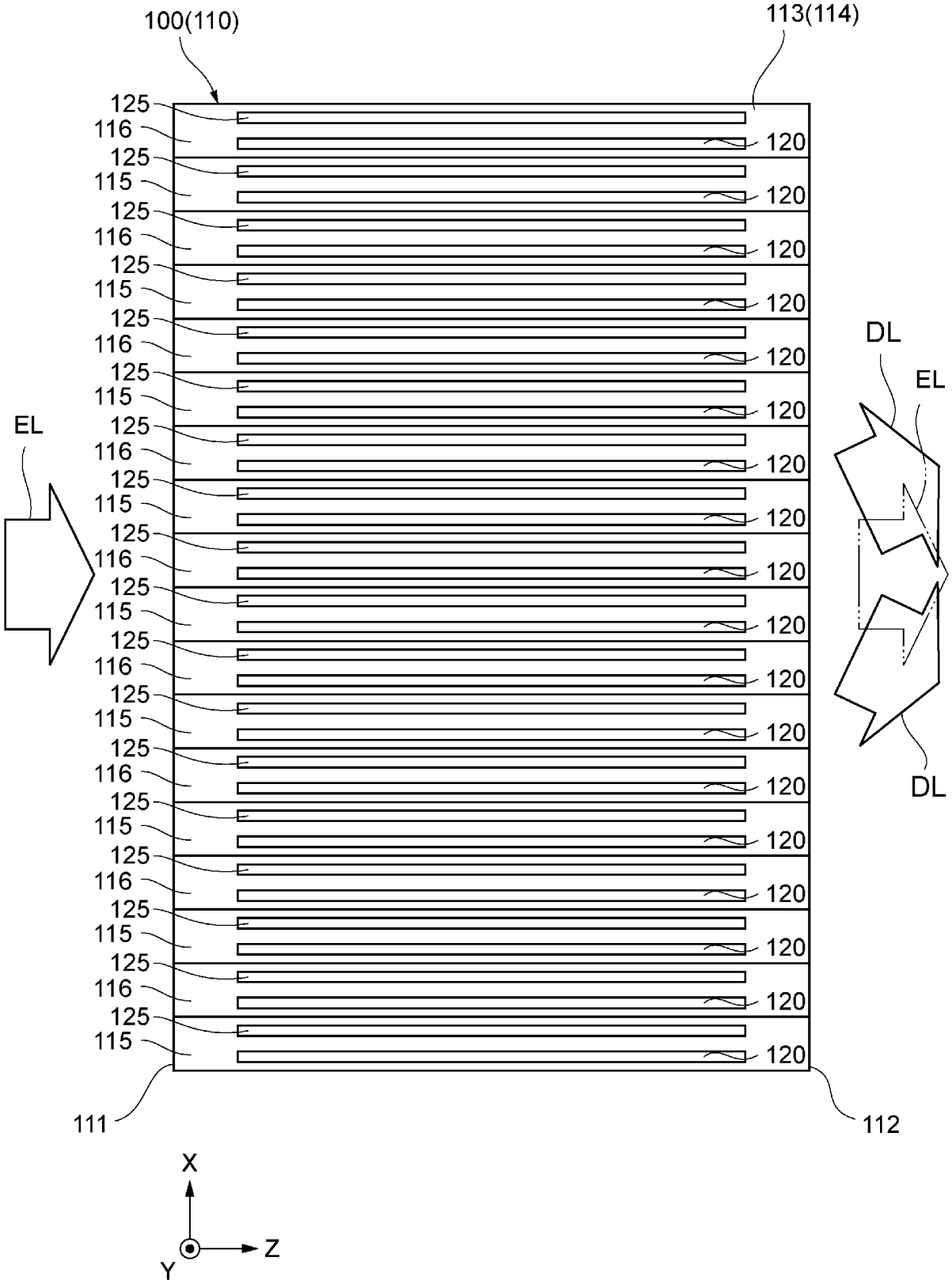
[図6]



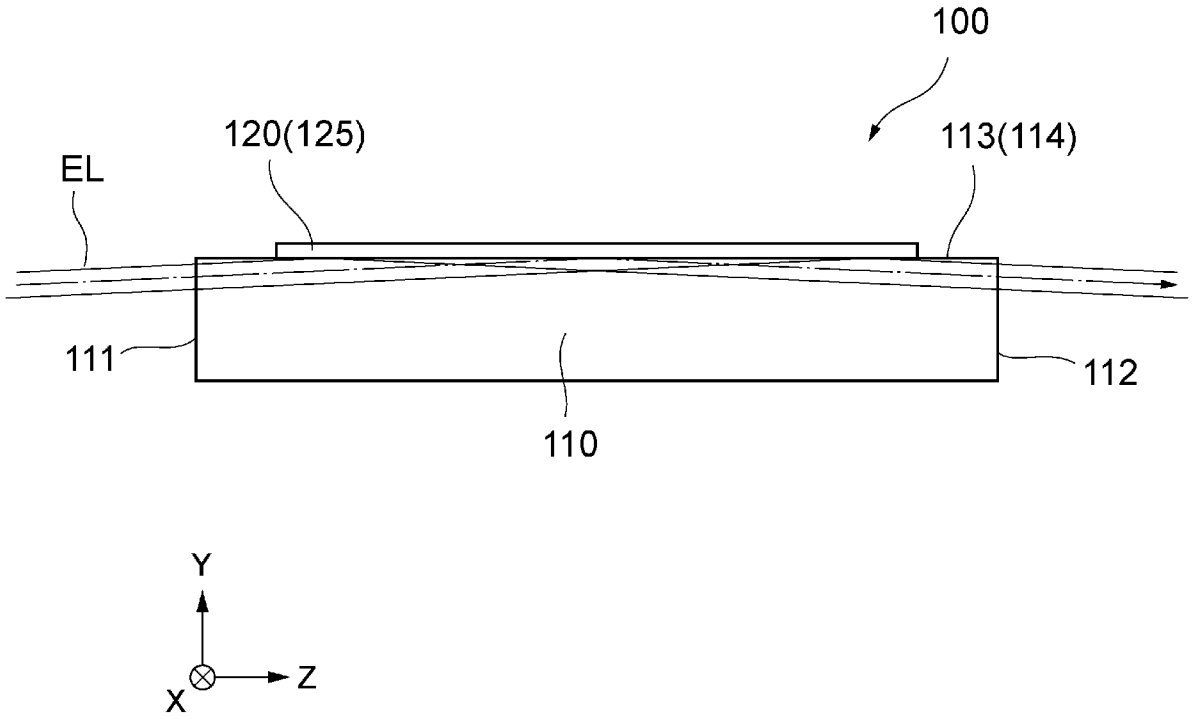
[図7]



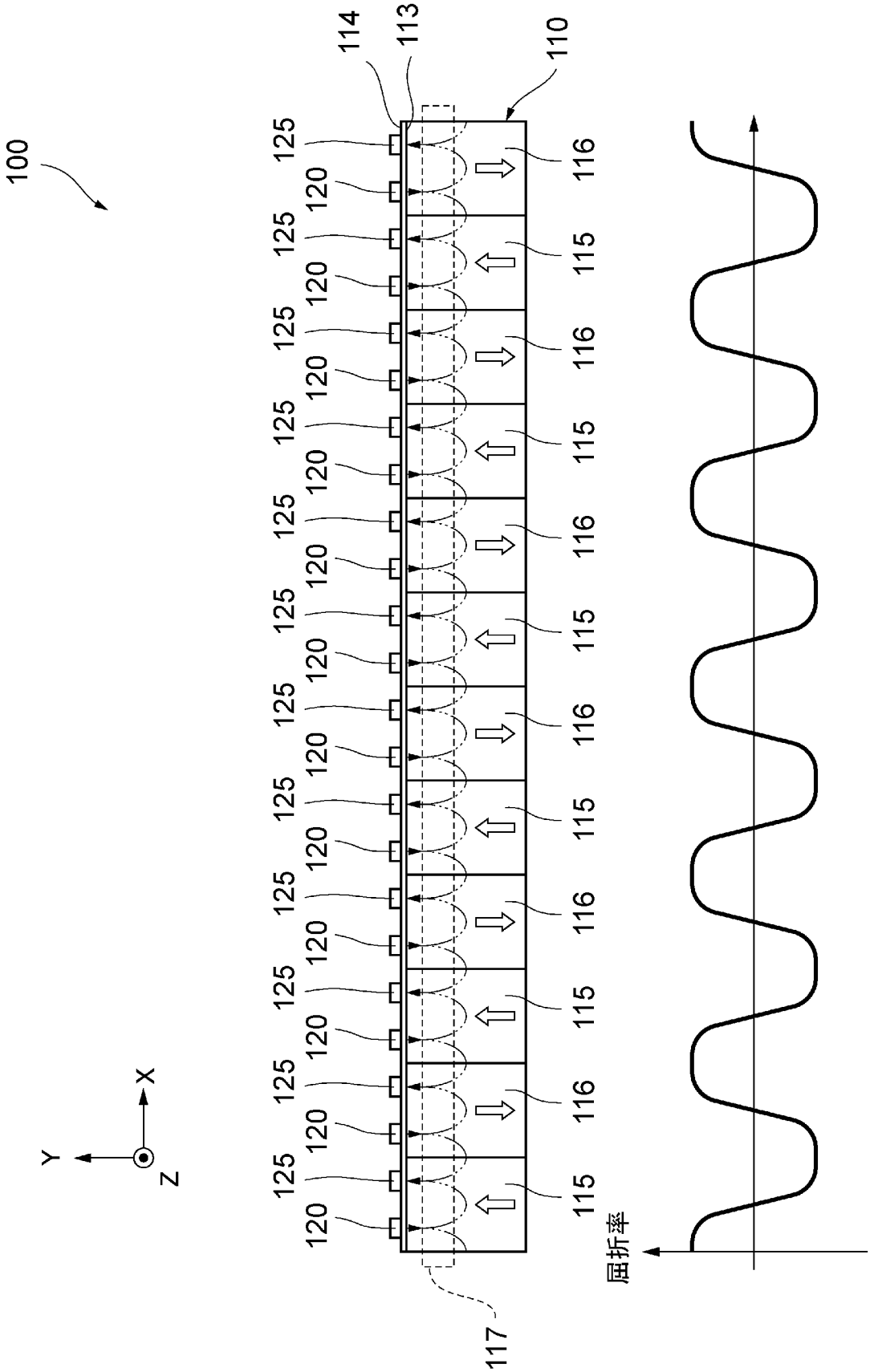
[図8]



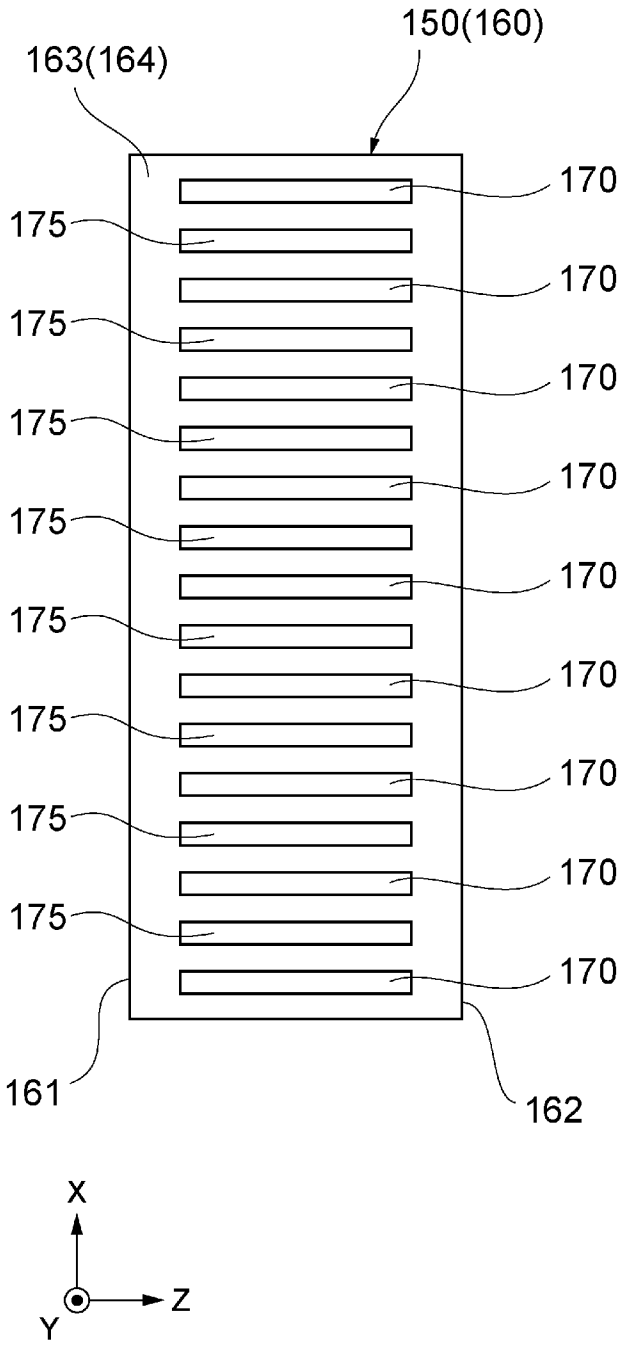
[図9]



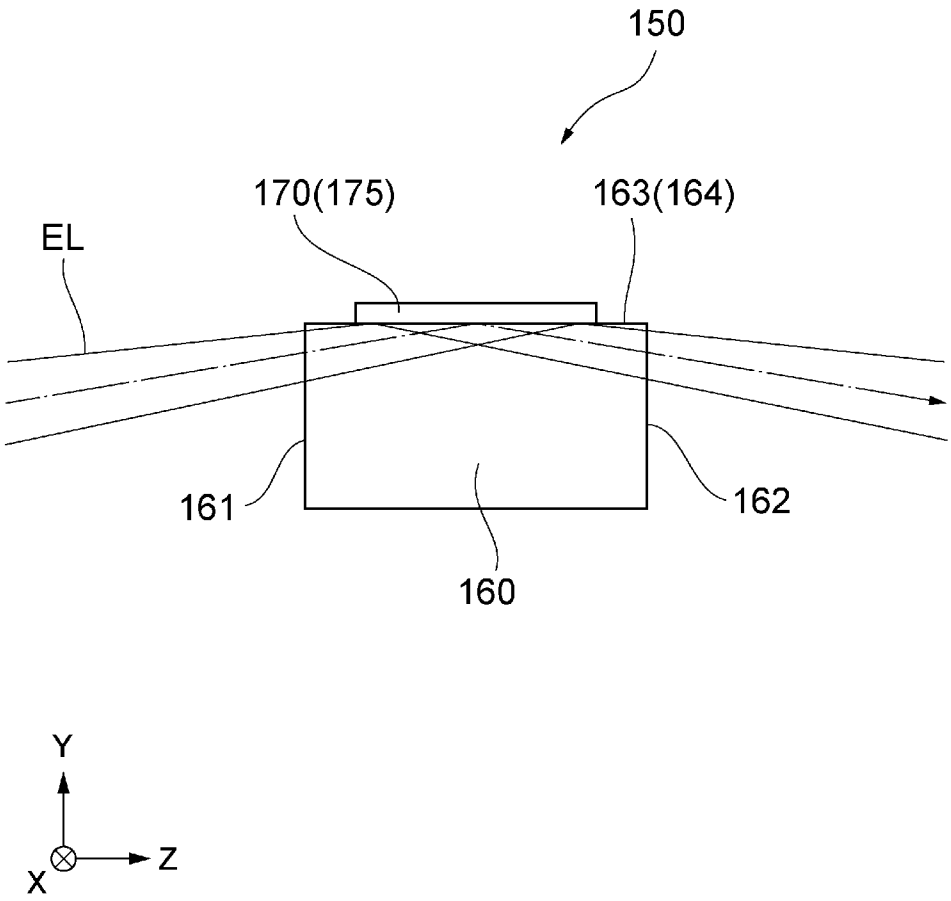
[図10]



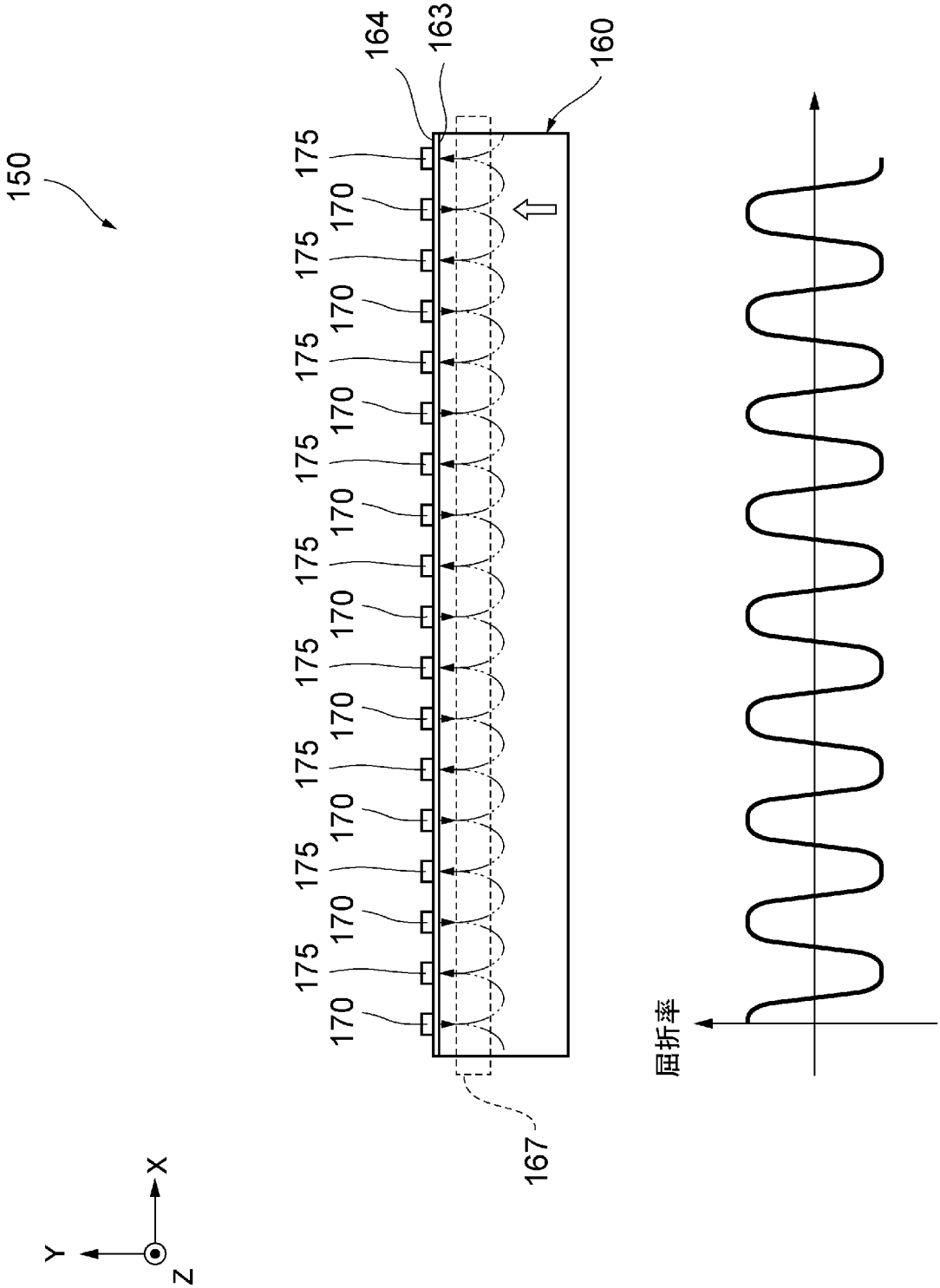
[図11]



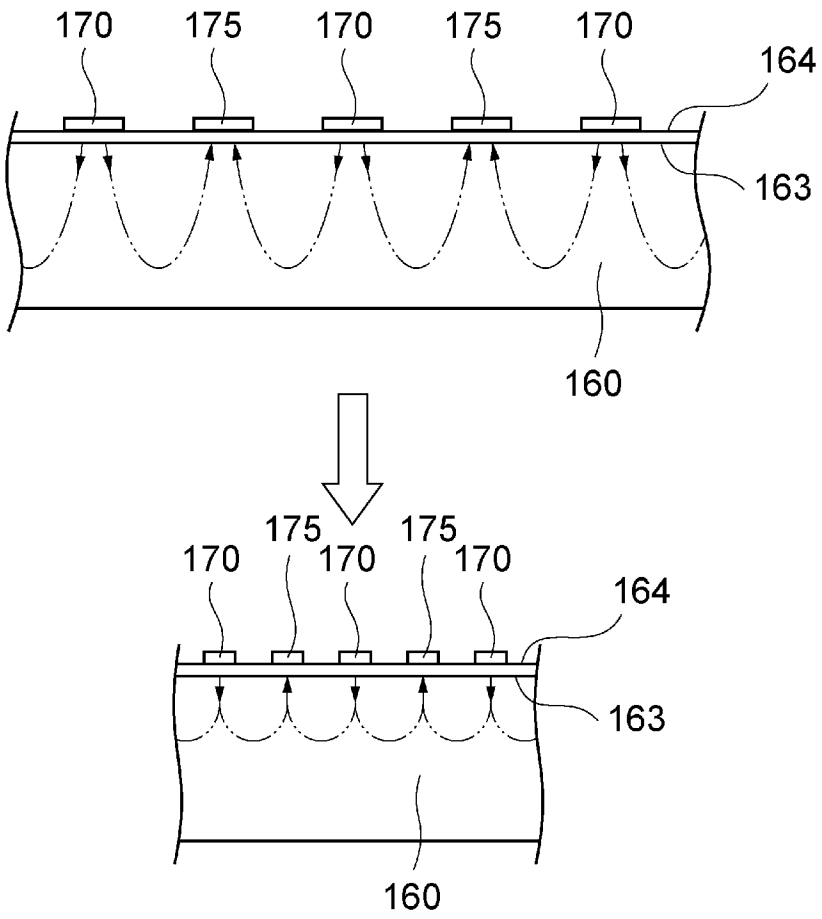
[図12]



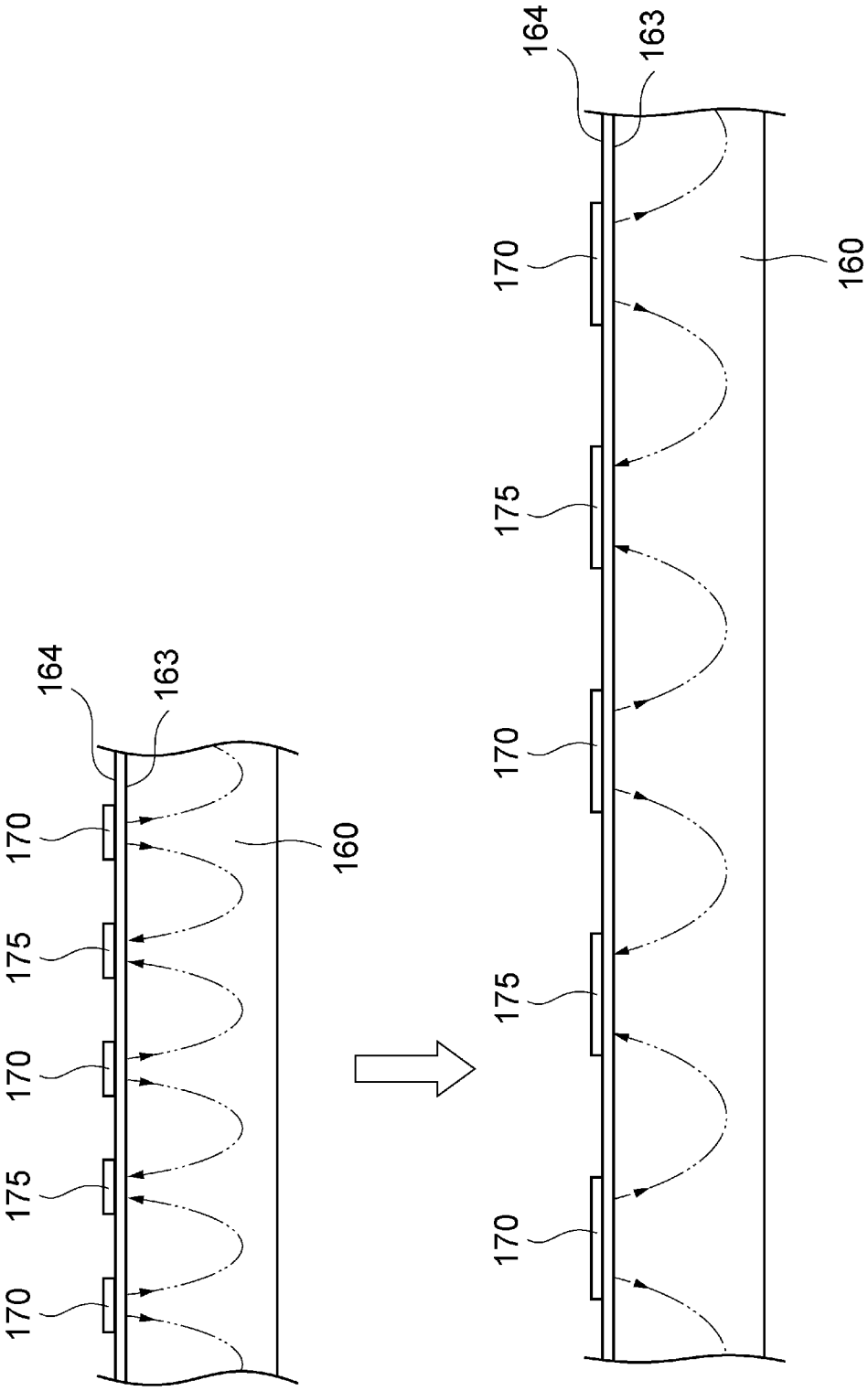
[図13]



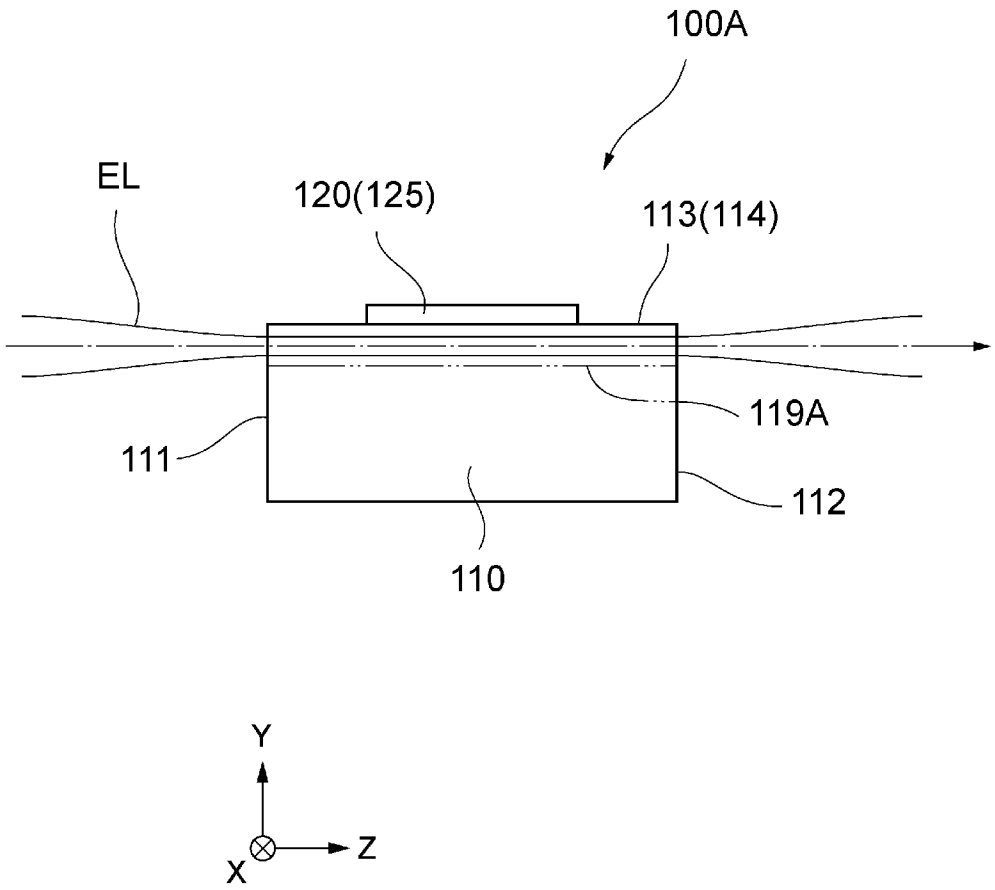
[図14]



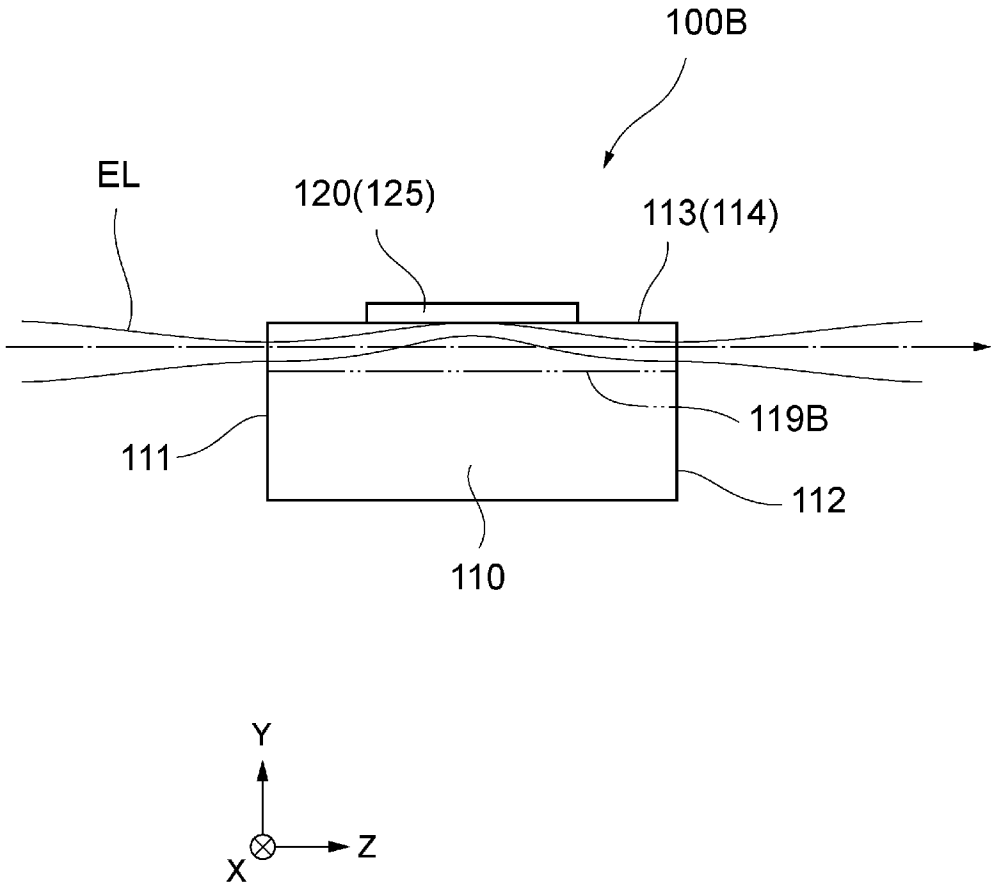
[図15]



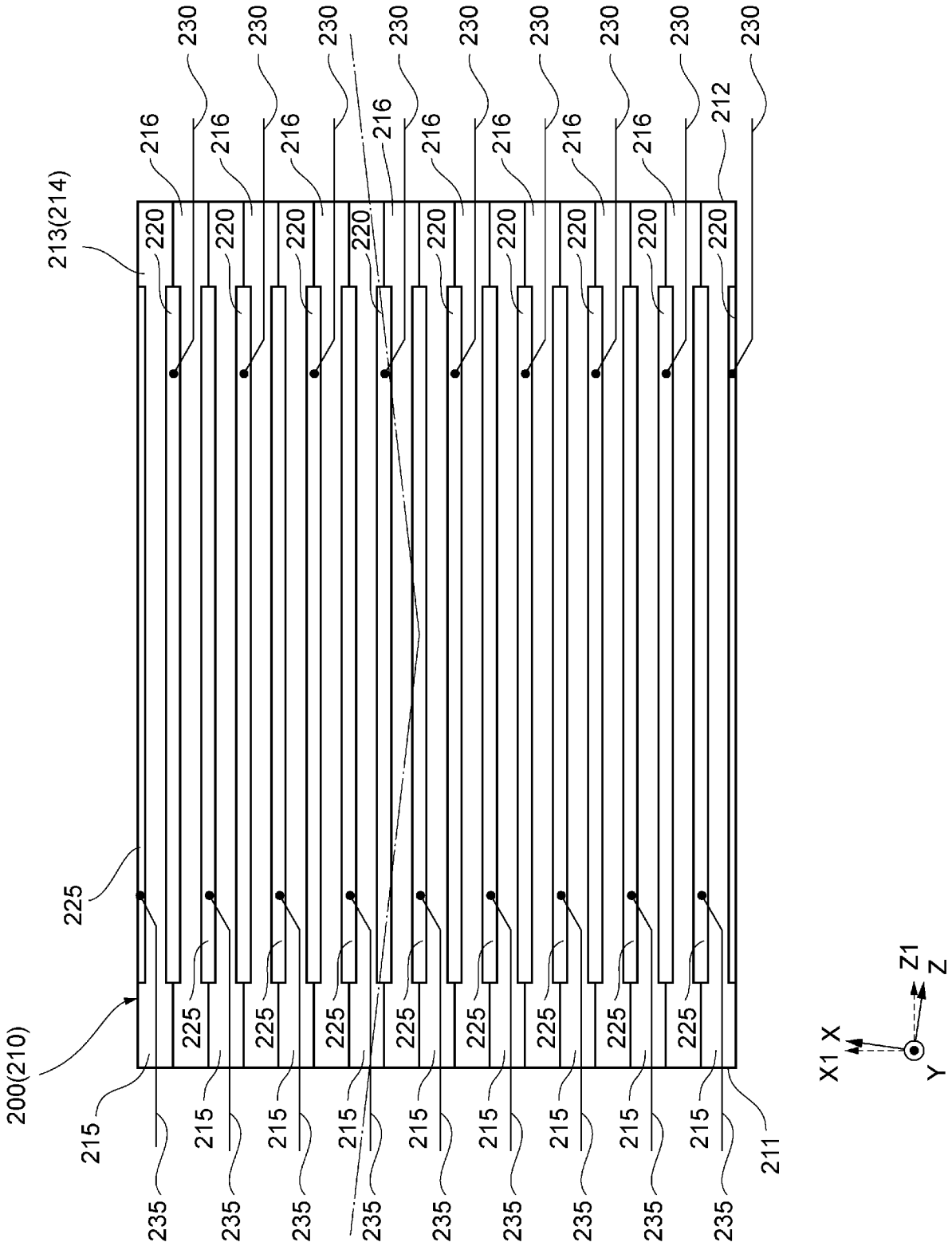
[図16]


100A
EL
120(125)
113(114)
119A
111
112
110
Y
Z
X

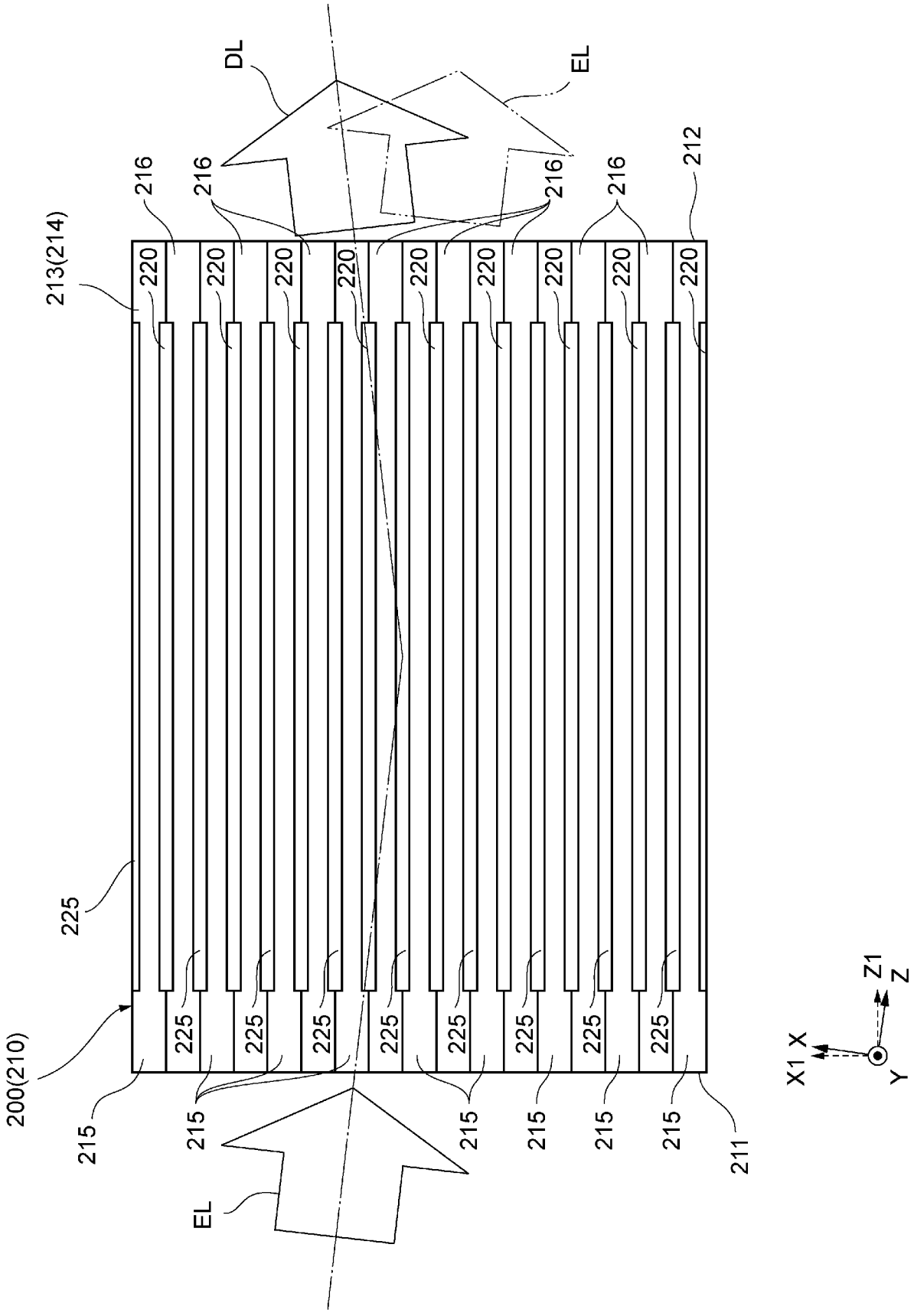
[図17]


100B
EL
120(125)
113(114)
119B
111
112
110
Y
Z
X

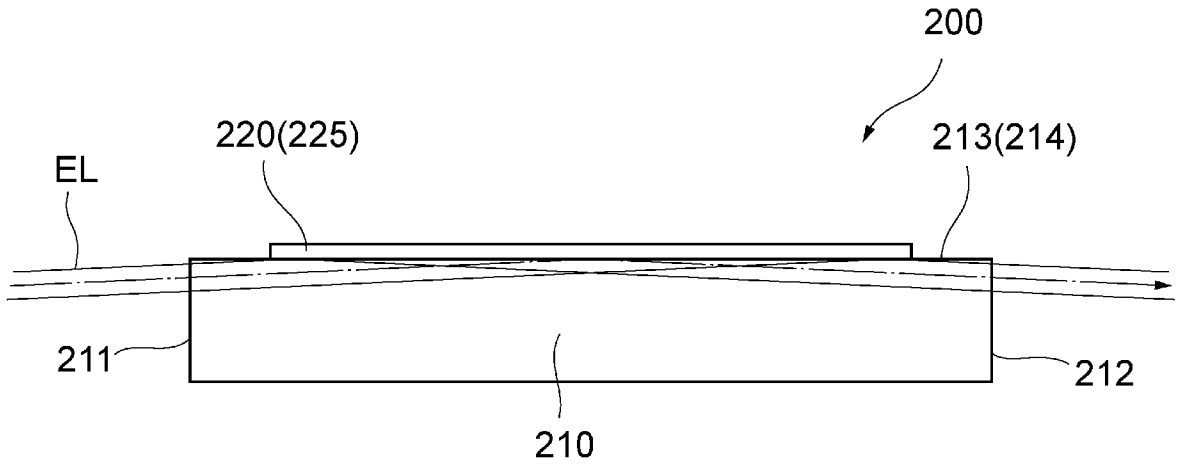
[図18]



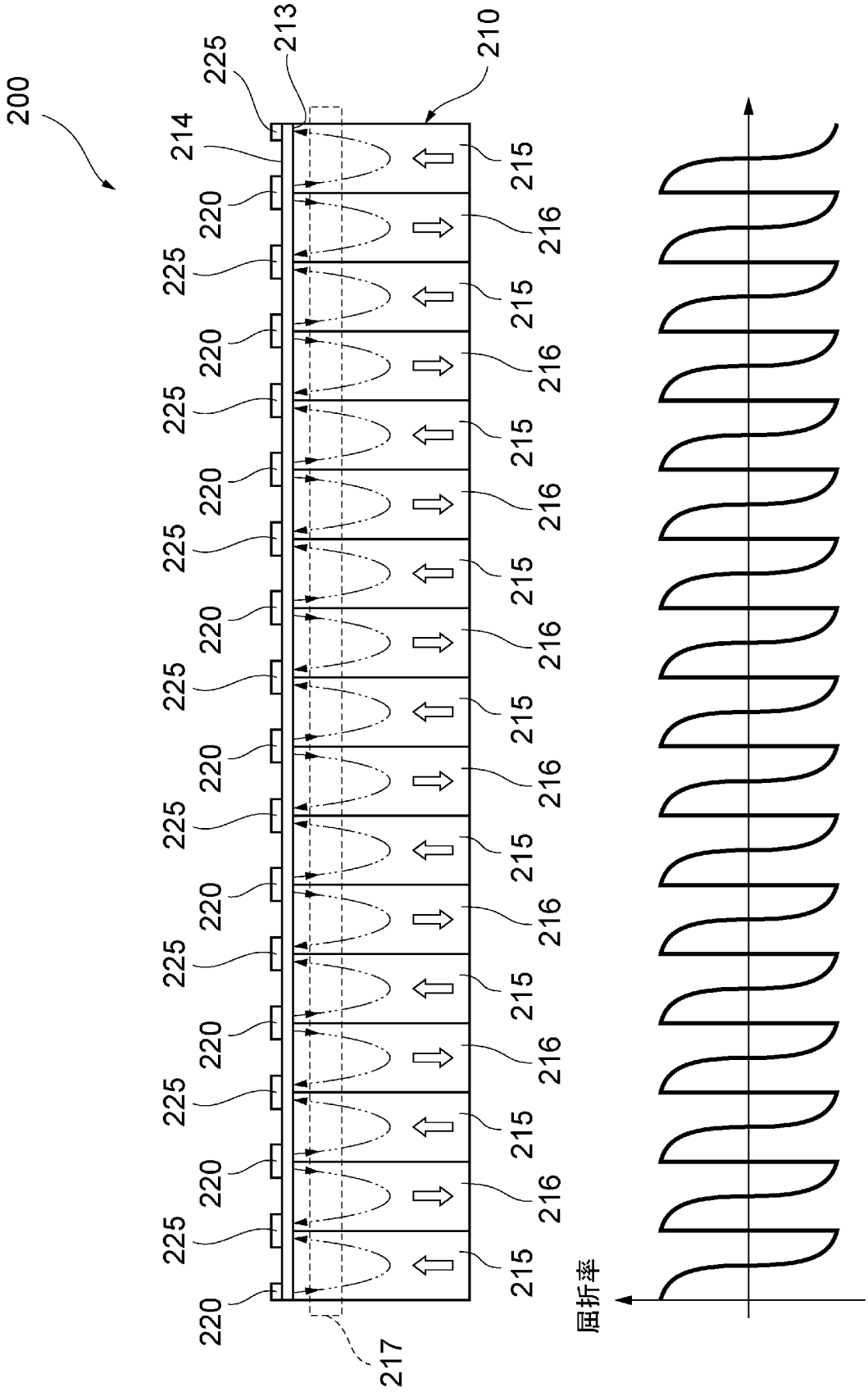
[図19]



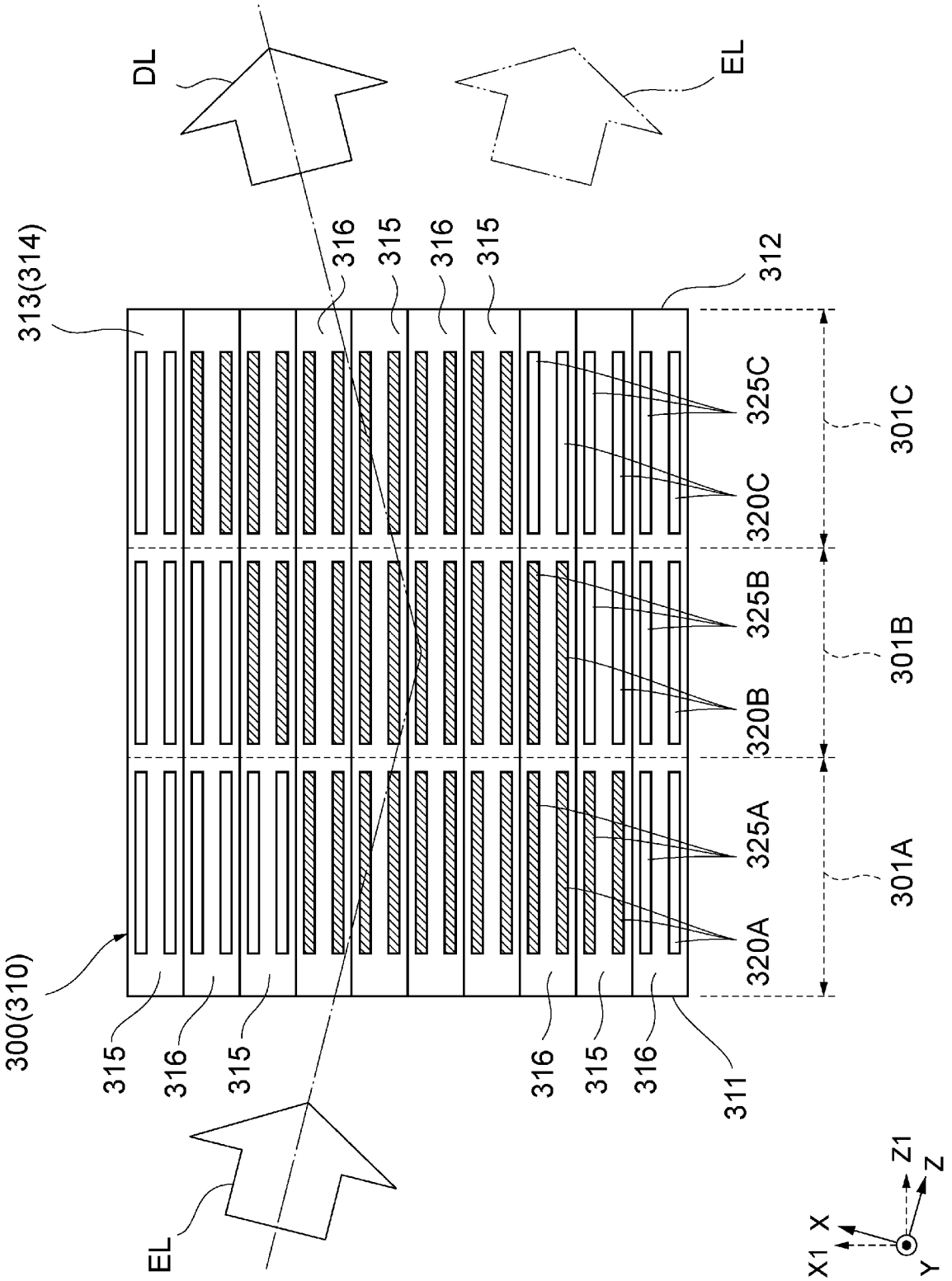
[図20]



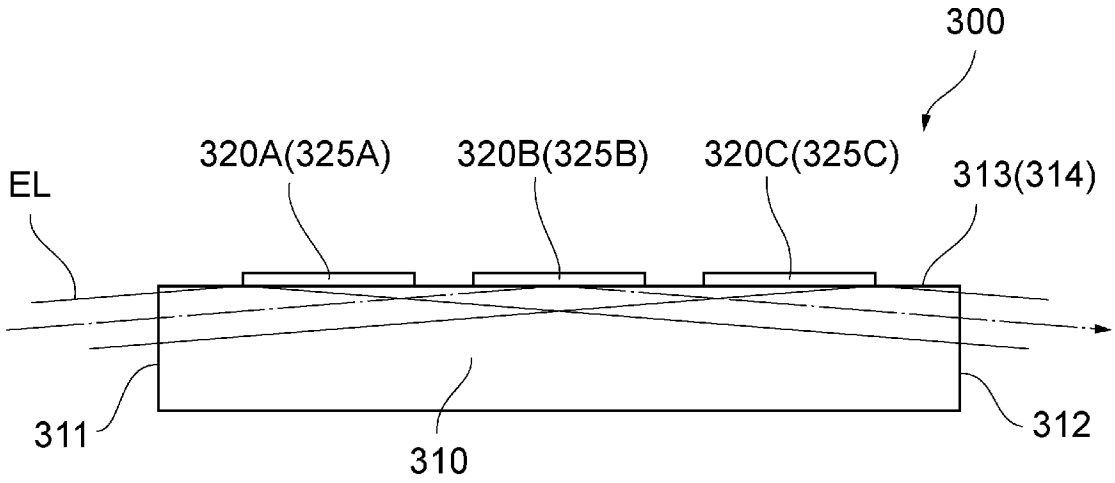
[図21]



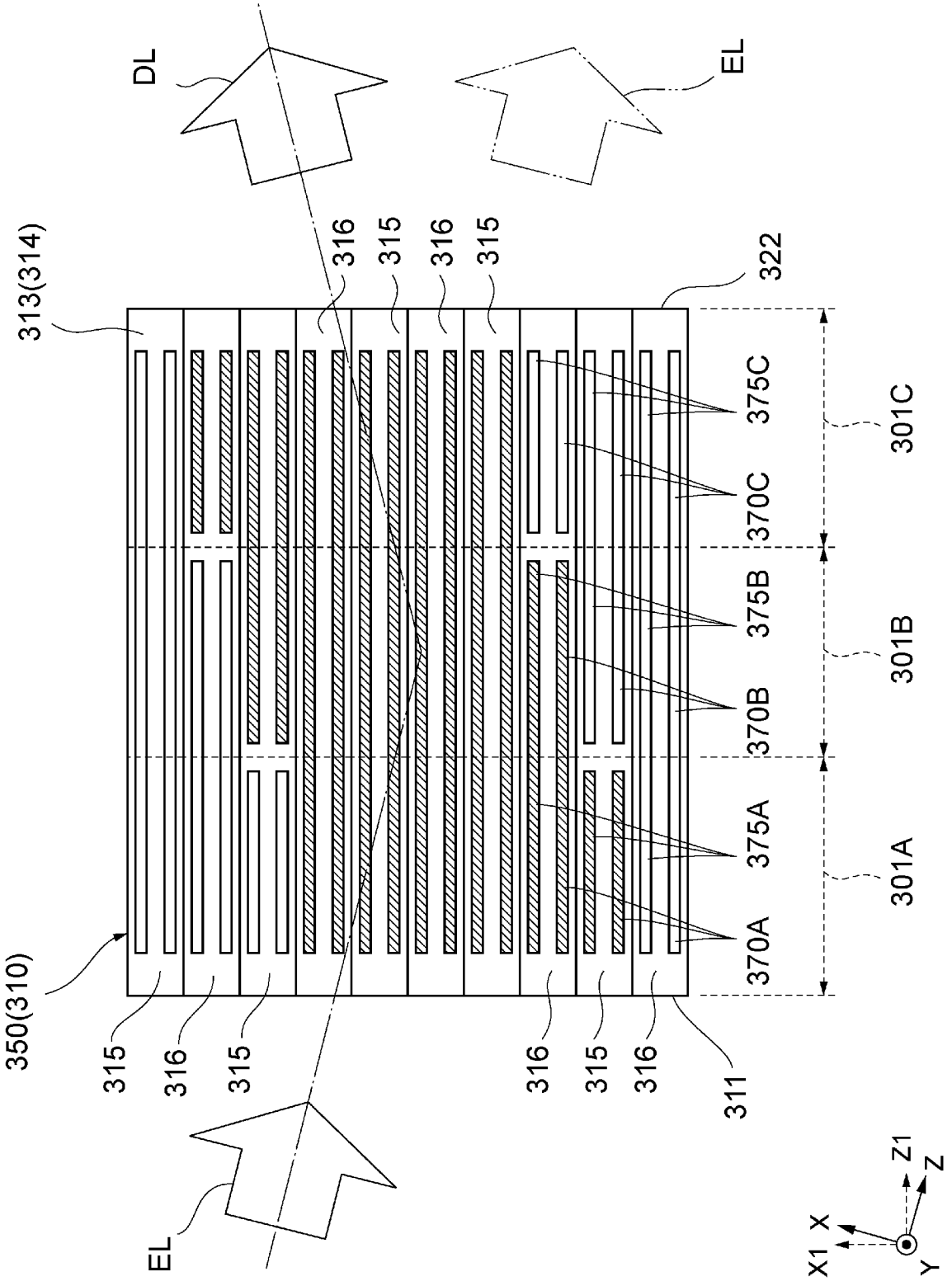
[図22]


DL
EL
313(314)
316
315
316
315
312
325C
320C
301C
325B
320B
301B
325A
320A
301A
300(310)
315
316
315
316
315
316
311
EL
Z1
Z
X
X1
Y

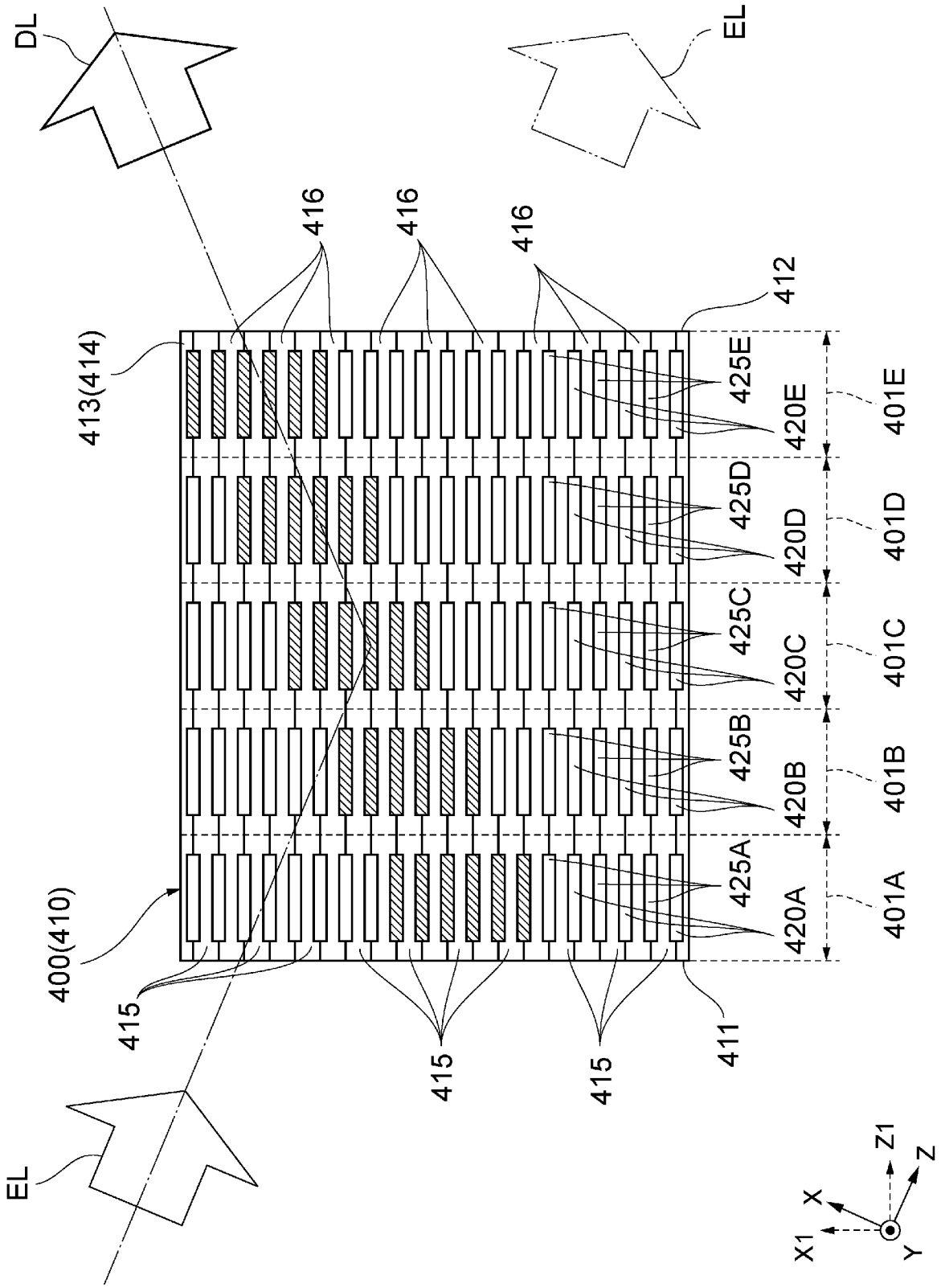
[図23]



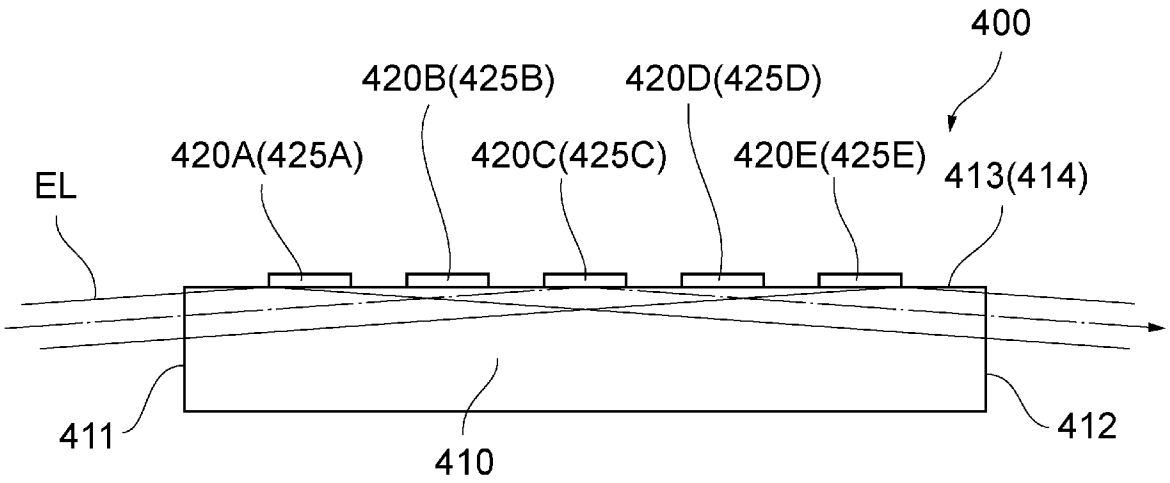
[図24]


DL
EL
313(314)
316
315
316
315
322
375C
370C
375B
370B
375A
370A
301C
301B
301A
350(310)
315
316
315
316
315
316
311
EL
Z1
Z
X
X1
Y

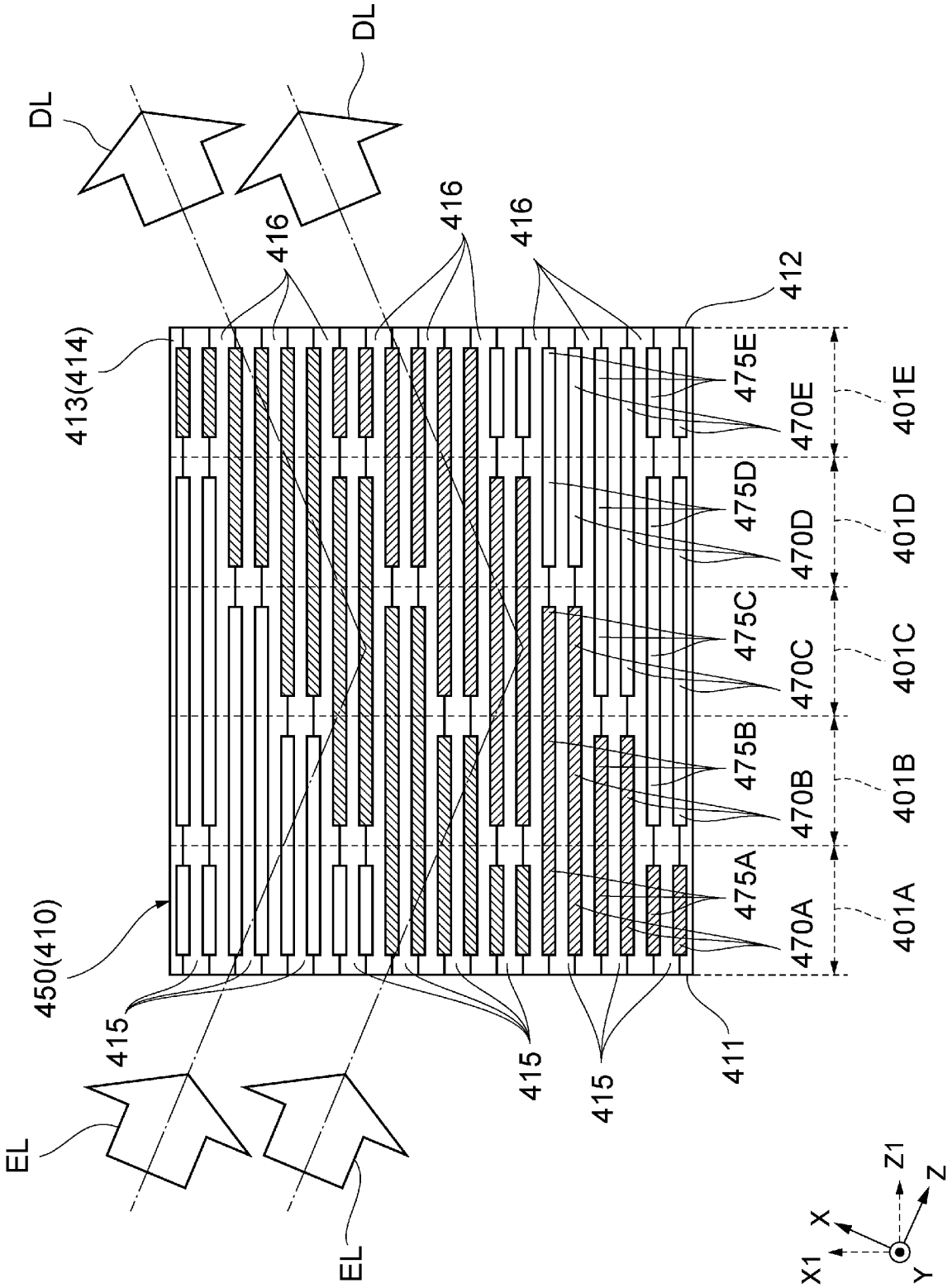
[図25]


DL
EL
416
416
416
412
413(414)
425E
420E
401E
425D
420D
401D
425C
420C
401C
425B
420B
401B
425A
420A
401A
400(410)
415
415
415
411
EL
Z1
Z
X
X1
Y

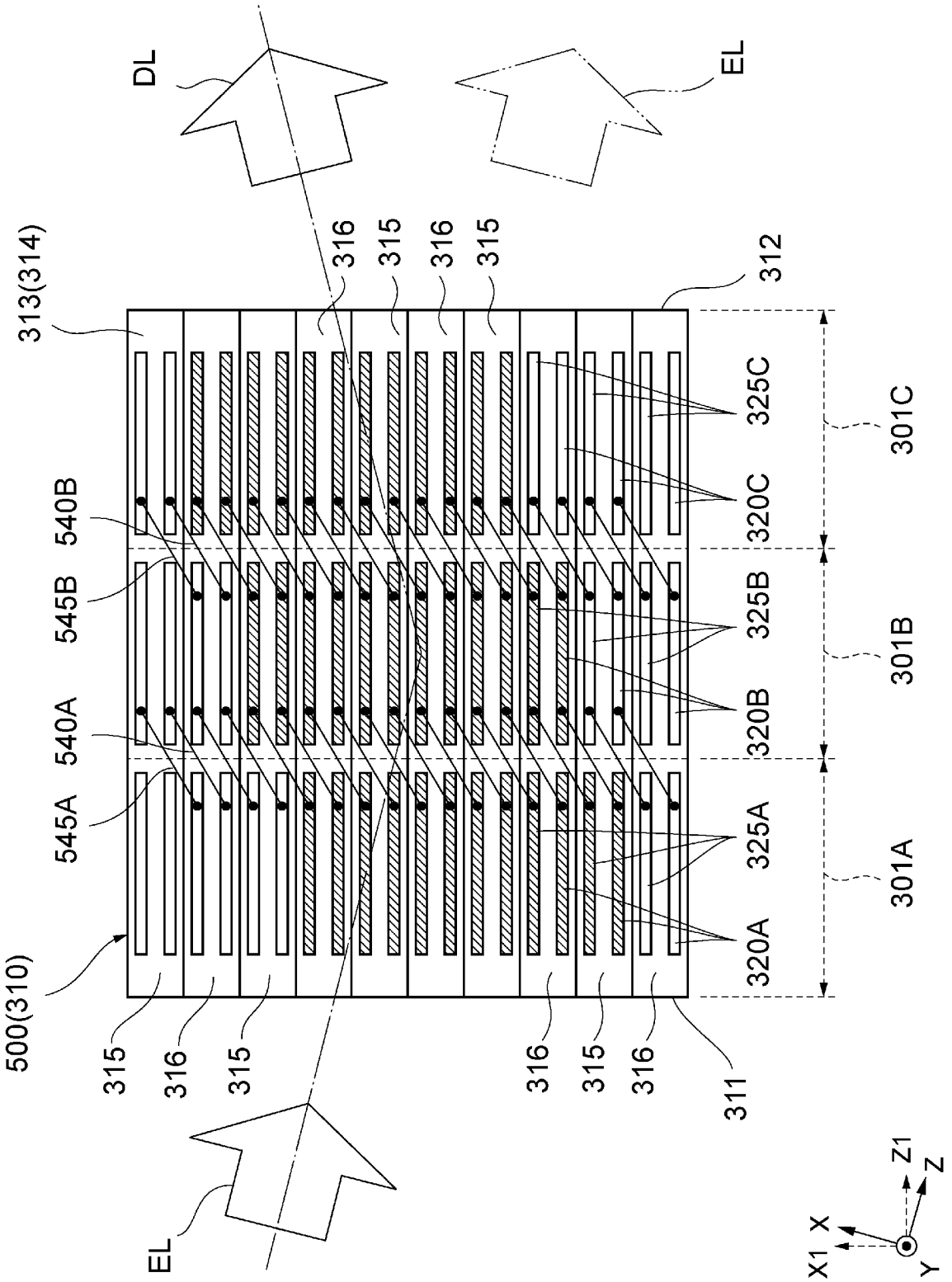
[図26]


400
420B(425B)
420D(425D)
420A(425A)
420C(425C)
420E(425E)
413(414)
EL
411
410
412

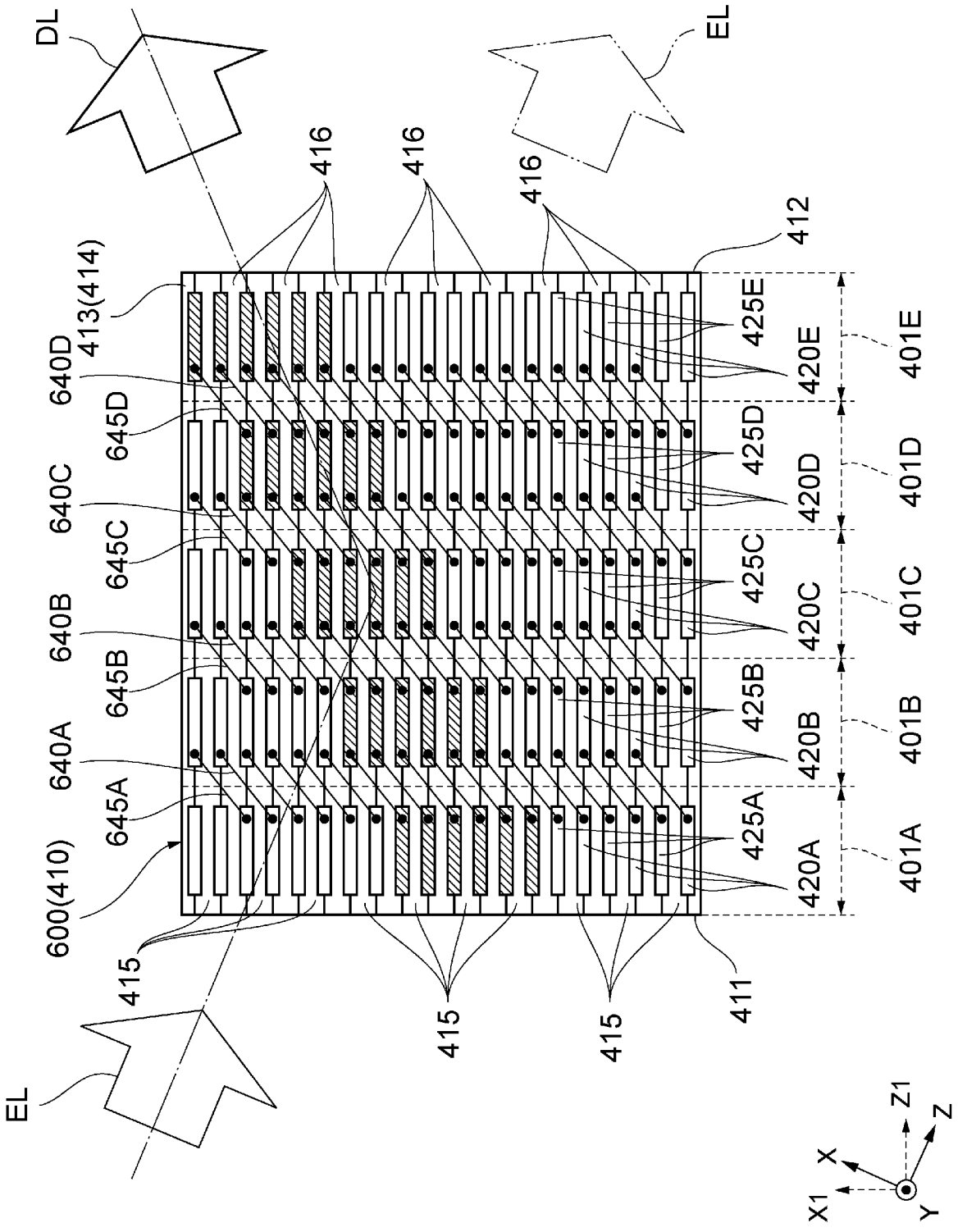
[図27]


DL
DL
416
416
416
412
413(414)
475E
470E
401E
475D
470D
401D
475C
470C
401C
475B
470B
401B
475A
470A
401A
450(410)
415
415
415
411
EL
EL
Z1
Z
X
X1
Y

[図28]


DL
EL
313(314)
316
315
316
315
312
325C
320C
301C
540B
545B
325B
320B
301B
540A
545A
325A
320A
301A
500(310)
315
316
315
316
315
316
311
EL
Z1
Z
X
X1
Y

[図29]


DL
EL
EL
416
416
416
412
413(414)
640D
645D
640C
645C
640B
645B
640A
645A
600(410)
425E
420E
401E
425D
420D
401D
425C
420C
401C
425B
420B
401B
425A
420A
401A
415
415
415
411
Z1
Z
X
X1
Y

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/023921

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F 1/05(2006.01)i
FI: G02F1/05 502

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; B23K26/00-26/70

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 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2010-097029 A (DAINIPPON SCREEN MFG. CO., LTD.) 30 April 2010 (2010-04-30) paragraphs [0026]-[0036], [0059]-[0067], fig. 2-4, 14-15	1-8, 12, 22-25
Y		9-11, 13-21, 26-27
Y	WO 2018/230193 A1 (SCREEN HOLDINGS CO., LTD.) 20 December 2018 (2018-12-20) paragraphs [0030]-[0041], fig. 1-4	9-11, 13-21
Y	JP 2018-040827 A (SCREEN HOLDINGS CO., LTD.) 15 March 2018 (2018-03-15) paragraphs [0011]-[0012], fig. 1	13-21
Y	WO 2021/172020 A1 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) 02 September 2021 (2021-09-02) paragraphs [0118]-[0121], fig. 34	26-27
A	JP 2015-052701 A (SCREEN HOLDINGS CO., LTD.) 19 March 2015 (2015-03-19) entire text, all drawings	1-27
A	JP 2020-197596 A (SCREEN HOLDINGS CO., LTD.) 10 December 2020 (2020-12-10) entire text, all drawings	1-27

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22 August 2023	**05 September 2023**
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/JP2023/023921

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2008/0204858 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 28 August 2008 (2008-08-28) entire text, all drawings	1-27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/023921

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2010-097029 A	30 April 2010	(Family: none)	
WO 2018/230193 A1	20 December 2018	JP 2019-3079 A	
JP 2018-040827 A	15 March 2018	(Family: none)	
WO 2021/172020 A1	02 September 2021	US 2023/0075209 A1 paragraphs [0153]-[0156], fig. 34 EP 4112220 A1 CN 115210974 A KR 10-2022-0137650 A JP 2021-136316 A	
JP 2015-052701 A	19 March 2015	US 2015/0070676 A1 entire text, all drawings EP 2846186 A1 CN 104423117 A KR 10-2015-0028707 A	
JP 2020-197596 A	10 December 2020	(Family: none)	
US 2008/0204858 A1	28 August 2008	KR 10-2008-0079939 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/023921

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02F 1/05(2006.01)i
FI: G02F1/05 502

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00; B23K26/00-26/70

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	JP 2010-097029 A (大日本スクリーン製造株式会社) 30.04.2010 (2010-04-30) 段落[0026]-[0036],[0059]-[0067],図2-4,14-15	1-8,12,22-25 9-11,13-21,26-27
Y	WO 2018/230193 A1 (株式会社ＳＣＲＥＥＮホールディングス) 20.12.2018 (2018-12-20) 段落[0030]-[0041],図1-4	9-11,13-21
Y	JP 2018-040827 A (株式会社ＳＣＲＥＥＮホールディングス) 15.03.2018 (2018-03-15) 段落[0011]-[0012],図1	13-21
Y	WO 2021/172020 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 02.09.2021 (2021-09-02) 段落[0118]-[0121],図34	26-27
A	JP 2015-052701 A (株式会社ＳＣＲＥＥＮホールディングス) 19.03.2015 (2015-03-19) 全文,全図	1-27

☑ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
22.08.2023	05.09.2023

名称及びあて先

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

権限のある職員（特許庁審査官）

大西　孝宣 2L 6006

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

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	JP 2020-197596 A (株式会社ＳＣＲＥＥＮホールディングス) 10.12.2020 (2020-12-10) 全文,全図	1-27
A	US 2008/0204858 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 28.08.2008 (2008-08-28) 全文,全図	1-27

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/JP2023/023921

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2010-097029 A	30.04.2010	（ファミリーなし）	
WO 2018/230193 A1	20.12.2018	JP 2019-3079 A	
JP 2018-040827 A	15.03.2018	（ファミリーなし）	
WO 2021/172020 A1	02.09.2021	US 2023/0075209 A1 段落[0153]-[0156],図34 EP 4112220 A1 CN 115210974 A KR 10-2022-0137650 A JP 2021-136316 A	
JP 2015-052701 A	19.03.2015	US 2015/0070676 A1 全文,全図 EP 2846186 A1 CN 104423117 A KR 10-2015-0028707 A	
JP 2020-197596 A	10.12.2020	（ファミリーなし）	
US 2008/0204858 A1	28.08.2008	KR 10-2008-0079939 A	