

(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
2015 年 12 月 17 日(17.12.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/190127 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/122 (2006.01) G02B 6/32 (2006.01)
G02B 6/293 (2006.01) G02B 6/35 (2006.01)
G02B 6/30 (2006.01) G02F 1/13 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/053983
- (22) 国際出願日: 2015 年 2 月 13 日(13.02.2015)
- (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 2014-119031 2014 年 6 月 9 日(09.06.2014) JP
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 木村 賢宜(KIMURA, Masayoshi); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 加木 信行(KAGI, Nobuyuki); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 岩間 真木(IWAMA, Masaki); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 高橋 正典(TAKA-

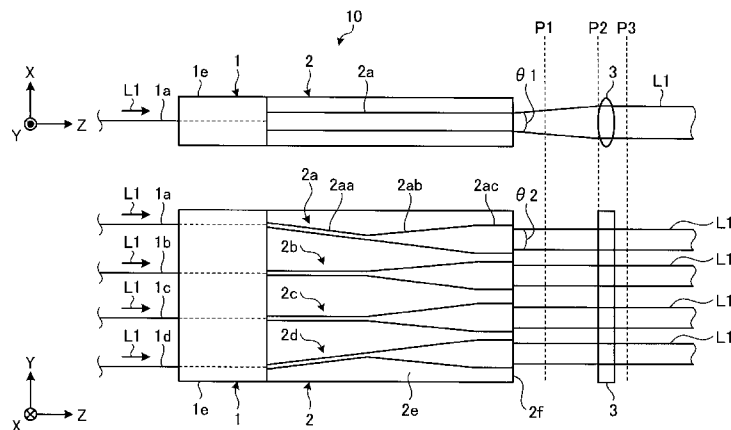
HASHI, Masanori); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 酒井 宏明, 外(SAKAI, Hiroaki et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関 3 丁目 8 番 1 号 虎の門三井ビルディング 特許業務法人酒井国際特許事務所 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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL COLLIMATOR ARRAY AND OPTICAL SWITCH DEVICE

(54) 発明の名称: 光コリメータアレイおよび光スイッチ装置



(57) Abstract: An optical collimator array is provided with: a plurality of optical fibers arranged in a prescribed direction of arrangement; and a light guide circuit having a plurality of light guide cores connected respectively to the plurality of optical fibers, and a cladding part formed on the outer periphery of the plurality of light guide cores and having an index of refraction lower than the plurality of light guide cores. Each light guide core has a tapered part wherein the width of the light guide core expands in the direction of arrangement along the direction in which light input from each optical fiber is propagated. When each light is output from the end surface of each light guide core, the angle of spread in a direction perpendicular to the direction of arrangement is greater than the angle of spread in the direction of arrangement for the angle of the beam spreading. The spot size radius in the direction of arrangement for each light at the end surface of each light guide core is greater than the mode field radius for each light in each optical fiber. Thus, an optical collimator array wherein a high aspect ratio for light beam shape is possible in a small space is provided.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2015/190127 A1



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

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).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

所定の配列方向に配列された複数の光ファイバと、複数の光ファイバのそれぞれに接続された複数の光導波路コアと、複数の光導波路コアの外周に形成された、複数の光導波路コアよりも屈折率が低いクラッド部とを有する光導波路回路と、を備え、各光導波路コアは、各光ファイバから入力された光の進行方向に沿って、配列方向における光導波路コアの幅が拡大するテーパ部を有しており、かつ各光が各光導波路コアの端面から出力する際に、ビームの広がり角度について配列方向における広がり角度よりも配列方向とは垂直方向における広がり角度が大きくなり、各光導波路コアの端面における各光の配列方向でのスポットサイズ半径が、各光ファイバにおける各光のモードフィールド半径よりも大きくなるように構成されている光コリメータアレイ。これにより、省スペースにて光のビーム形状のアスペクト比を高くできる光コリメータアレイを提供する。

明 細 書

発明の名称：光コリメータアレイおよび光スイッチ装置

技術分野

[0001] 本発明は、光コリメータアレイおよび光スイッチ装置に関するものである。

背景技術

[0002] 近年の光通信システムは、その形態が point-to-point 型から、リング型またはメッシュ型のネットワークへと発展しつつある。このような形態のネットワークのノードには、任意の信号光を任意のポートに入出力させて、信号光の経路を任意に変更するための光スイッチ装置が必要とされる。

[0003] 特に、互いに異なる波長の信号光が波長分割多重 (Wavelength Division Multiplexing) された WDM 信号光を用いる場合は、任意の波長の信号光に対して任意に経路を変更できる光スイッチ装置である波長選択光スイッチ装置が必要とされる。

[0004] このような光スイッチ装置では、光を入出力させるための光コリメータアレイと、光コリメータアレイから入力された光の経路を変更して光コリメータアレイに出力するための空間光変調器が使用されている (特許文献 1、2 参照)。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献 1：特開 2008-224824 号公報

特許文献 2：特開 2013-218201 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、光スイッチ装置において、空間光変調器に入力される光のビーム形状を楕円形状とし、かつそのアスペクト比を高くすることが好ましい。

このようにアスペクト比を高くすることで、空間光変調器の面積利用効率を高くすることができ、さらに波長選択光スイッチ装置の場合はスペクトル分解能を向上させることができる。

[0007] しかしながら、光のビーム形状のアスペクト比を高くするために、たとえば空間光変調器に光を集光させる集光レンズ系の焦点距離を長くすると、光スイッチ装置のサイズが大きくなるので、省スペース化の点で問題がある。

[0008] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、省スペースにて光のビーム形状のアスペクト比を高くできる光コリメータアレイおよびこれを用いた光スイッチ装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、所定の配列方向に配列された複数の光ファイバと、前記複数の光ファイバのそれぞれに接続された複数の光導波路コアと、前記複数の光導波路コアの外周に形成された、前記複数の光導波路コアよりも屈折率が低いクラッド部とを有する光導波路回路と、を備え、前記各光導波路コアは、前記各光ファイバから入力された光の進行方向に沿って、前記配列方向における光導波路コアの幅が拡大するテーパ部を有しており、かつ前記各光が前記各光導波路コアの端面から出力する際に、ビームの広がり角度について前記配列方向における広がり角度よりも前記配列方向とは垂直方向における広がり角度が大きくなり、前記各光導波路コアの端面における各光の前記配列方向でのスポットサイズ半径が、前記各光ファイバにおける各光のモードフィールド半径よりも大きくなるように構成されていることを特徴とする。

[0010] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記各光導波路コアの端面から出力した各光のビームウエストが前記各光導波路コアの略端面に位置することを特徴とする。

[0011] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記各光導波路コアの端面から出力した各光のビームウエストが前記各光導波路コアの端面に位置し、

前記各光のビームウエストにおける前記配列方向でのスポットサイズ半径 w と、前記配列方向の前記光導波路コアの端面におけるピッチ p との比 p/w が 4 未満であることを特徴とする。

[0012] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記各光導波路コアの端面における各光の前記配列方向でのスポットサイズ半径は $25\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

[0013] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記各光導波路コアの幅は $250\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

[0014] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記各光導波路コアは内部の屈折率が均一であることを特徴とする。

[0015] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記各光導波路コアの端面において、少なくとも 2 つの光導波路コアの配列方向における光の出射角度が互いに異なることを特徴とする。

[0016] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記光導波路回路の前記各光導波路コアの端面側に配置され、前記複数の光導波路コアの配列方向とは垂直方向においてのみ前記光のビーム径を変換するアナモルフィック光学系をさらに備えることを特徴とする。

[0017] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記アナモルフィック光学系と、前記光導波路回路とを連結し、一体化する連結部品をさらに備えることを特徴とする。

[0018] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記各光導波路コアの端面から出力する前記各光が略シングルモードであることを特徴とする。

[0019] 本発明の一態様に係る光コリメータアレイは、前記各光導波路コアは、前記各光を互いに直交する偏波成分の光に分離する偏波分離機能を有することを特徴とする。

[0020] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、本発明の一態様に係る光コリメータアレイと、前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバから入力した光を前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに向けて出力する空

間光変調器と、前記光コリメータアレイと前記空間光変調器との間に配置され、前記光コリメータアレイと前記空間光変調器とを光学的に結合させる集光レンズ系と、を備えることを特徴とする。

[0021] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、本発明の一態様に係る光コリメータアレイと、前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバから入力した光を前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに向けて出力する空間光変調器と、前記アナモルフィック光学系と前記空間光変調器との間に配置され、前記光コリメータアレイと前記空間光変調器とを光学的に結合させる集光レンズ系と、前記アナモルフィック光学系と前記集光レンズ系との間に設けられ、前記光ファイバから入力した光を前記配列方向とは垂直方向に分光する波長分散素子と、を備え、前記アナモルフィック光学系は、前記配列方向とは垂直方向にのみ前記光のビーム径を変換することを特徴とする。

[0022] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、前記空間光変調器は、2次元配列された複数の位相変調素子を有しており、前記配列方向にフレネルレンズ状の位相変調を形成し、該形成した位相変調による回折光を前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバへ結合することを特徴とする。

[0023] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、本発明の一態様に係る光コリメータアレイと、前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバから入力した光を前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに向けて出力する空間光変調器と、前記アナモルフィック光学系と前記空間光変調器との間に配置され、前記光コリメータアレイと前記空間光変調器とを光学的に結合させる集光レンズ系と、を備え、前記光コリメータアレイの前記複数の光導波路コアは、複数の光導波路コアからなる複数の光導波路コア群を構成しており、前記複数の光導波路コアは、前記光導波路コア群内では光の出力方向が同じであるとともに前記光導波路コア群間では光の出力方向が互いに異なり、当該光スイッチ装置は、前記各光導波路コア群をそれぞれ含む単位光スイッチ装置を複数含むように構成されていることを特徴とする。

[0024] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、前記光導波路コア群は、前記光

コリメータアレイのいずれかの光ファイバに接続される外部接続用光導波路コアと、他の光導波路コア群の導波路コアに接続される内部接続用光導波路コアとを含み、前記光導波路回路は、異なる光導波路コア群に含まれる内部接続用光導波路コア同士を当該光導波路回路内において接続する複数の接続用光導波路コアを有することを特徴とする。

[0025] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、本発明の一態様に係る光コリメータアレイと、前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバから入力した光を前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに向けて出力する空間光変調器と、前記アナモルフィック光学系と前記空間光変調器との間に配置され、前記光コリメータアレイと前記空間光変調器とを光学的に結合させる集光レンズ系と、を備え、前記光コリメータアレイの前記複数の光導波路コアは、複数の光導波路コアからなる複数の光導波路コア群を構成しており、前記集光光学系は偶数枚のレンズまたはミラーからなるテレセントリック光学系であり、前記複数の光導波路コア群のそれぞれに含まれる各光導波路コアは、該各光導波路コアを前記複数の光ファイバ側に伸ばしたとすると、前記光コリメータアレイ側における前記光学系の略焦点面の位置にて交差するように配置されており、当該光スイッチ装置は、前記各光導波路コア群をそれぞれ含む単位光スイッチ装置を複数含むように構成されていることを特徴とする。

[0026] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、前記光導波路コア群は、前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに接続される外部接続用光導波路コアと、他の光導波路コア群の導波路コアに接続される内部接続用光導波路コアとを含み、前記光導波路回路は、異なる光導波路コア群に含まれる内部接続用光導波路コア同士を当該光導波路回路内において接続する複数の接続用光導波路コアを有することを特徴とする。

[0027] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、前記複数の単位光スイッチ装置の数は8以上であることを特徴とする。

[0028] 本発明の一態様に係る光スイッチ装置は、前記複数の光ファイバの数は8

0以上であることを特徴とする。

発明の効果

[0029] 本発明によれば、省スペースにて光のビーム形状のアスペクト比を高くできるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]図1は、実施の形態1に係る光コリメータアレイの模式的な構成図である。

[図2]図2は、図1に示す光コリメータアレイにおける光のビームの形状を示す図である。

[図3]図3は、光導波路コアのコア幅とスポットサイズ半径との関係を示す図である。

[図4A]図4Aは、実施の形態2に係る光コリメータアレイの模式的な構成図である。

[図4B]図4Bは、実施の形態2に係る光コリメータアレイの模式的な構成図である。

[図5A]図5Aは、実施の形態3に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図5B]図5Bは、実施の形態3に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図6]図6は、図5A、Bに示す空間光変調器の分解図である。

[図7]図7は、空間光変調器上での光のビーム形状を示す図である。

[図8A]図8Aは、実施の形態4に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図8B]図8Bは、実施の形態4に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図9]図9は、空間光変調器の表示画像の一例を表す図である。

[図10]図10は、空間光変調器の表示画像の一例を表す図である。

[図11]図11は、空間光変調器の表示画像の一例を表す図である。

[図12A]図12Aは、実施の形態5に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図12B]図12Bは、実施の形態5に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図13]図13は、図12A、Bに示す光導波路回路の構成図である。

[図14]図14は、空間光変調器上での光のビーム形状を示す図である。

[図15A]図15Aは、実施の形態6に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図15B]図15Bは、実施の形態6に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図16A]図16Aは、図15A、Bに示す光導波路回路の構成図である。

[図16B]図16Bは、図15A、Bに示す光導波路回路の構成図である。

[図17A]図17Aは、実施の形態7に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図17B]図17Bは、実施の形態7に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図18A]図18Aは、実施の形態8に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図18B]図18Bは、実施の形態8に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図19A]図19Aは、空間光変調器に与える位相変調の一例を表す図である。

[図19B]図19Bは、空間光変調器に与える位相変調の一例を表す図である。

[図19C]図19Cは、空間光変調器に与える位相変調の一例を表す図である。

[図20A]図20Aは、実施の形態9に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図20B]図20Bは、実施の形態9に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図21A]図21Aは、実施の形態10に係る波長選択光スイッチ装置の模式的

な構成図である。

[図21B]図21Bは、実施の形態10に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図22A]図22Aは、図21A、Bに示す光コリメータアレイの構成図である。

[図22B]図22Bは、図21A、Bに示す光コリメータアレイの構成図である。

[図23A]図23Aは、実施の形態11に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図23B]図23Bは、実施の形態11に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図24]図24は、図23A、Bに示す光コリメータアレイの構成図である。

[図25]図25は、図23A、Bに示す波長選択光スイッチ装置の機能ブロック図である。

[図26A]図26Aは、実施の形態12に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図26B]図26Bは、実施の形態12に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図27A]図27Aは、実施の形態13に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図27B]図27Bは、実施の形態13に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図28A]図28Aは、実施の形態14に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図28B]図28Bは、実施の形態14に係る波長選択光スイッチ装置の模式的な構成図である。

[図29]図29は、ビームプロファイラを用いたビーム径の測定方法の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0031] 以下に、図面を参照して本発明に係る光コリメータアレイおよび光スイッチ装置の実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、各図面において、同一または対応する要素には適宜同一の符号を付している。さらに、図面は模式的なものであり、各要素の寸法の関係、各要素の比率などは、現実のものとは異なる場合があることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。また、図面において、必要に応じてX Y Z直交座標を用いて方向を示している。

[0032] (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1に係る光コリメータアレイの模式的な構成図である。図1の上段の図は光コリメータアレイをY方向で正の向きから見た図であり、図1の下段の図は光コリメータアレイをX方向で負の向きから見た図である。

[0033] 図1に示すように、光コリメータアレイ10は、光ファイバアレイ1と、光導波路回路2と、アナモルフィック光学系であるシリンドリカルレンズ3とを備えている。

[0034] 光ファイバアレイ1は、所定の配列方向(Y軸方向)に配列された複数の光ファイバ1a、1b、1c、1dと、光ファイバ1a、1b、1c、1dを配列方向に配列された状態に保持する保持部材1eとを有している。

[0035] 光ファイバ1a、1b、1c、1dは、たとえばITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication Standard Sector) G.652で規定される通常シングルモード光ファイバ(SMF)である。また、保持部材1eは、たとえばガラスからなる直方体形状を有している。保持部材1eには4本の貫通孔が形成されており、光ファイバ1a、1b、1c、1dは、貫通孔に挿通された状態で、かつファイバ端面と保持部材1eの端面とが略同一面上になるように保持されている。

[0036] 光導波路回路2は、たとえばPLC(Planar Lightwave Circuit)で構

成されており、光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d と、光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d の外周に形成されたクラッド部 2 e と、光ファイバアレイ 1 と接続された側とは反対側に位置する端面 2 f とを有している。光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d は、光導波路回路 2 の入力端側（光ファイバアレイ 1 側）から出力端側（端面 2 f）まで形成されている。光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d は、たとえば屈折率を高める材料であるゲルマニウム（Ge）、ジルコニウム（Zr）、ハフニウム（Hf）、チタン（Ti）、タンタル（Ta）、またはニオブ（Nb）などの酸化物を添加した石英系ガラスからなる。各光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d は内部の屈折率が均一である。また、光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d はそれぞれ光ファイバ 1 a、1 b、1 c、1 d に接続している。クラッド部 2 e は、たとえばボロン（B）またはリン（P）の酸化物を添加した石英系ガラスからなる。これにより、クラッド部 2 e は光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d よりも屈折率が低くなっている。光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d のクラッド部 2 e に対する比屈折率差はたとえば約 0.4% である。

[0037] 光導波路コア 2 a は、光ファイバ 1 a に接続される側から端面 2 f（光導波路回路 2 および光導波路コア 2 a の端面）に向かって順次配置された、ストレート部 2 a a と、テーパ部 2 a b と、ストレート部 2 a c とを有している。ストレート部 2 a a は、断面が略正方形であり、そのサイズは、比屈折率差に応じて、光ファイバ 1 a から入力された光をシングルモードまたは略シングルモードで伝搬できるように設定されている。たとえば光ファイバ 1 a から入力される光の波長が 1520～1620 nm の光通信用の波長帯に含まれ、比屈折率差が 0.42% の場合、1 辺が $8.3\ \mu\text{m} \times 8.3\ \mu\text{m}$ である。ただし、ストレート部 2 a a の断面のサイズについてはこれに限られず、一辺が $7\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 程度であり、接続する光ファイバとの結合損失が、幅あるいは厚さ方向の変化に対して略極値となるような値とすることが好ましい。これにより、接続する光ファイバとの結合損失が略最適であって、製造が容易である光導波路コア 2 a を実現できる。テーパ部 2 a b は、光

ファイバ1 aから入力された光の進行方向に沿って、配列方向における導波路コアの幅（コア幅）が所定の傾きで徐々に拡大するが、配列方向と垂直方向（X軸方向）における導波路コアの高さ（コア高さ）は一定である形状を有する。たとえば、テーパ部2 a bは、コア高さはストレート部2 a cと同じ $8.3\mu\text{m}$ であるが、コア幅は $8.3\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ まで徐々に拡大している。ストレート部2 a cは、断面が矩形であり、そのサイズはテーパ部2 a bとの接続部分におけるテーパ部2 a bのサイズと同じであり、たとえば $8.3\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ である。なお、光導波路コア2 b、2 c、2 dは、それぞれ光導波路コア2 aのストレート部2 a a、テーパ部2 a bおよびストレート部2 a cと同様に構成されたストレート部、テーパ部およびストレート部を有している。

[0038] ここで、略シングルモードとは、例えば光のパワーのうちの90%以上が基底モードの光のパワーであることを意味する。なお、本発明者らが行ったシミュレーションによると、厚さ $9\mu\text{m}$ 、比屈折率差0.4%、テーパ部のテーパ角0.3度、テーパ幅 $250\mu\text{m}$ の導波路コアで計算した結果、伝搬する基底モードの相対パワーは0.932、それ以外のモードの相対パワーは0.055となった。

[0039] シリンドリカルレンズ3は、光導波路回路2の端面2 f側に配置され、かつX軸方向においてのみ光を集光してスポットサイズを変換し、Y軸方向において光を集光しないように配置されている。すなわち、シリンドリカルレンズ3は、光導波路コア2 a、2 b、2 c、2 dの配列方向とは垂直方向（X軸方向）においてのみ光のビーム径を変換する。

[0040] つぎに、光コリメータアレイ10の動作について説明する。まず、光ファイバアレイ1の光ファイバ1 aに光L1が入力されると、光ファイバ1 aは光L1をシングルモードで伝搬し、光導波路回路2の光導波路コア2 aに出力する。光導波路コア2 aは、入力された光L1をシングルモードまたは略シングルモードで伝搬し、端面2 fからシリンドリカルレンズ3に出力する。なお、光L1は、X軸方向およびY軸方向のそれぞれにおいて光の強度分

布がガウス型の状態で、光ファイバ1 aおよび光導波路コア2 aを伝搬し、端面2 fからシングルモードまたは略シングルモードのガウシアンビームとして出力する。

[0041] ここで、光導波路コア2 aは上記構成を有することによって、以下の特性が実現されている。すなわち、光L 1が光導波路コア2 aのテーパ部2 a bおよびストレート部2 a cを伝搬するうちに、光L 1の配列方向（Y軸方向）ではコア幅が広がることによりスポットサイズ半径が拡大するとともに、光の閉じ込めが非常に弱くなる。その結果、光L 1が光導波路コア2 aの端面2 fから出力する際に、ビームの広がり角度については、配列方向（Y軸方向）における広がり角度 $\theta 2$ よりも配列方向とは垂直方向（X軸方向）における広がり角度 $\theta 1$ が大きい。好ましくは、光L 1はY軸方向では略コリメートされた状態となる。

[0042] その後、シリンドリカルレンズ3は、入力された光L 1をX軸方向において集光する。これにより、シリンドリカルレンズ3を通過した光L 1はX軸方向にもY軸方向にも略コリメートされた状態となる。

[0043] また、図2は、光コリメータアレイ10の、光導波路コア2 aの端面2 fの直後の位置P 1およびシリンドリカルレンズ3直前の位置P 2における、ガウシアンビームである光L 1のビームB 1、B 2の形状を示す図である。なお、ビームB 1の形状は、光導波路コア2 aの端面2 fにおける光L 1のスポットサイズの形状と略同じである。ビームB 1が示すように、光L 1が光導波路コア2 aの端面2 fから出力する際に、ビーム半径について、配列方向（Y軸方向）におけるビーム半径よりも配列方向とは垂直方向（X軸方向）におけるビーム半径 w_0 が小さい。また、光導波路コア2 aの端面2 fにおける光L 1の配列方向（Y軸方向）でのスポットサイズ半径は、光ファイバ1 aにおける光L 1のモードフィールド半径よりも大きい。

[0044] また、上述したように、広がり角度 $\theta 2$ よりも広がり角度 $\theta 1$ が大きい。シリンドリカルレンズ3の配置は、この広がり角の関係により、光L 1がシリンドリカルレンズ3直前の位置P 2に到達したときに、配列方向（Y軸方

向)におけるビーム半径よりも配列方向とは垂直方向(X軸方向)におけるビーム半径 w_1 が大きくなる位置に設定されている。なお、シリンドリカルレンズ3の直後の位置P3における光L1のビーム形状はビームB2の形状と略同じである。また、このとき、好ましくは光導波路コア2aの端面2fから出力した光L1のビームウエストは、光導波路コア2aの略端面2fに位置する。従って、光L1の波面は、端面2fにおいて略平坦になっている。なお、光L1のパワーの90%以上が基底モードであるため、シングルモードの場合における関係式を適用して、波面がほぼ平坦となる場所をビームウエストとして定義した。

[0045] なお、光ファイバレイ1の他の光ファイバ1b、1c、1dに光L1が入力された場合も、光ファイバ1aの場合と同様になる。すなわち、各光L1が各光導波路コア2b、2c、2dの端面2fから出力する際に、ビームの広がり角度について配列方向における広がり角度よりも配列方向とは垂直方向における広がり角度が大きく、かつビーム半径について配列方向におけるビーム半径よりも配列方向とは垂直方向におけるビーム半径が小さく、端面2fにおける各光L1の配列方向でのスポットサイズ半径は、各光ファイバ1b、1c、1dにおける各光L1のモードフィールド半径よりも大きく、各光L1のビームウエストが各光導波路コア2b、2c、2dの略端面2fに位置する。

[0046] この光コリメータアレイ10では、光導波路コア2a、2b、2c、2dが、入力された光L1のスポットサイズを配列方向(Y軸方向)のみに拡大するようにしているので、その後シリンドリカルレンズ3を光L1が通過した後に、X軸方向が長軸である楕円のビーム形状を得ることができる。このように、この光コリメータアレイ10では、入力された光L1のスポットサイズを光導波路回路2内で予め楕円形状とするので、省スペースにて光L1の楕円のビーム形状のアスペクト比を高くできる。

[0047] また、この光コリメータアレイ10では、光ファイバ1a、1b、1c、1dの配置間隔よりも、端面2fにおける光導波路コア2a、2b、2c、

2 d の配置間隔の方が狭くすることが可能である。このようにすると、後述するように光コリメータアレイ 10 を光スイッチ装置に適用する場合に、光の経路の変更角度（スイッチ角）を小さくすることができる。

[0048] さらに、光 L 1 のビームウエストが光導波路コア 2 a の略端面 2 f に位置するので、図 2 に示すビーム B 1 の X 軸方向における半径 w_0 とビーム B 2 の X 軸方向における半径 w_1 との関係は、シリンドリカルレンズ 3 の焦点距離 f （たとえば 6.6 mm 程度）および光 L 1 の波長（たとえば 1550 nm）を用いて以下の式（1）で表すことができる。ここで、半径 w_0 、 w_1 は、ガウシアンビームにおいて光の伝搬方向とは垂直の断面にて光強度がピークの $1/e^2$ となる半径である。

$$w_1 = (\lambda \cdot f) / (\pi w_0) \quad \cdots \quad (1)$$

[0049] したがって、ビーム B 1 の X 軸方向における半径 w_0 およびシリンドリカルレンズ 3 の焦点距離 f を調整することによって、シリンドリカルレンズ 3 を通過した後の光 L 1 の長軸方向のビーム半径 w_1 を制御し、所望の高アスペクト比の楕円形状のビームを形成することができる。

[0050] また、各光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d の端面 2 f における各光 L 1 の、配列方向とは垂直方向（X 軸方向）でのスポットサイズ半径（すなわち、図 2 のビーム半径 w_0 ）が、各光ファイバ 1 a、1 b、1 c、1 d における各光 L 1 のモードフィールド半径よりも小さいことが好ましい。このように、X 軸方向での光 L 1 のスポットサイズ半径を、光ファイバにおけるモードフィールド半径よりも一旦小さくすることにより、その後のビーム半径 w_1 をより大きくすることができる。

[0051] つぎに、光導波路コア 2 a、2 b、2 c、2 d のコア幅またはコア高さとしてそれに対応する方向のスポットサイズ半径との関係を説明する。図 3 は、光導波路コアのコア幅とスポットサイズ半径との関係を示す図である。なお、図 3 では、光導波路コアのクラッド部に対する比屈折率差を 0.42% としている。

[0052] 図 3 に示すように、スポットサイズ半径はコア幅に略比例している。スポ

ットサイズ半径の値は特に限定されるものではないが、たとえばこの光コリメータアレイ 10 を波長選択光スイッチ装置で用いる場合には、所望のスペクトル特性を得るためにはコア幅方向のスポットサイズ半径は $25\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。また、コア幅についても特に限定されるものではないが、たとえばこの光コリメータアレイ 10 を光スイッチ装置で用いる場合には、スイッチ角を小さくして光スイッチ装置の挿入損失を小さくするために $250\ \mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。また、光導波路コアのクラッド部に対する比屈折率差が 0.42% の場合において、コア高さを $8.3\ \mu\text{m}$ にすることで、コア高さ方向のスポットサイズ半径を $4.3\ \mu\text{m}$ にすることができる。なお、通常シングルモード光ファイバのモードフィールド半径は $4.5\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ 程度であるから、コア高さを $8.3\ \mu\text{m}$ にすることで、光導波路コアの端面における光の、配列方向とは垂直方向（X 軸方向かつ高さ方向）でのスポットサイズ半径を、光ファイバにおける光のモードフィールド半径よりも小さくすることができる。

[0053] （実施の形態 2）

図 4 A、B は、本発明の実施の形態 2 に係る光コリメータアレイの模式的な構成図である。図 4 A は光コリメータアレイを Y 方向で正の向きから見た図であり、図 4 B は光コリメータアレイを X 方向で負の向きから見た図である。

[0054] 図 4 A、B に示すように、光コリメータアレイ 10 A は、図 1 に示す光コリメータアレイ 10 において、シリンドリカルレンズ 3 をシリンドリカルレンズ 3 と同様の機能を有するシリンドリカルレンズ 3 A に置き換えたものである。シリンドリカルレンズ 3 A は、光導波路回路 2 の端面 2 f に接合される接合面 3 A a と、接合面 3 A a とは反対側の面に形成されたレンズ面 3 A b を有している。この光コリメータアレイ 10 A のように、光導波路回路 2 とシリンドリカルレンズ 3 A とが接合され、一体化されていてもよい。

[0055] （実施の形態 3）

図 5 A、B は、実施の形態 3 に係る光スイッチ装置の模式的な構成図であ

る。図5 Aは光スイッチ装置をX方向で負の向きから見た図であり、図5 Bは光スイッチ装置をY方向で正の向きから見た図である。

[0056] 図5 A、Bに示すように、光スイッチ装置100は、光コリメータアレイ10Bと、シリンドリカルレンズ3と、集光レンズ系21と、空間光変調器22とがこの順番に配置されて構成されており、さらに制御部23を備えている。

[0057] 光コリメータアレイ10Bは、光コリメータアレイ10Baと光コリメータアレイ10Bbとを備えている。光コリメータアレイ10Ba、10Bbは、いずれも、図1に示す光コリメータアレイ10を構成する光ファイバアレイ1と光導波路回路2とからなるものである。そして、光コリメータアレイ10Ba、10Bbは、光ファイバ1a、1b、1c、1dの配列方向とは垂直の方向（X軸方向）に積層している。また、シリンドリカルレンズ3は、図1に示す光コリメータアレイ10を構成するシリンドリカルレンズ3と同じである。

[0058] 空間光変調器22は、2次元配列された複数の位相変調素子を有する空間光変調器であり、たとえばLCOSである。制御部23は、空間光変調器22に所定の電圧信号を印加してその光学特性を制御するものである。

[0059] 集光レンズ系21は、光コリメータアレイ10Bと空間光変調器22との間に配置され、光コリメータアレイ10Bと空間光変調器22とを光学的に結合させるものである。集光レンズ系21は1枚のレンズで構成されていてもよいし、複数枚のレンズで構成されていてもよい。

[0060] つぎに、空間光変調器22の構成および動作について説明する。図6は、図5に示す空間光変調器の分解図である。図6に示すように、この空間光変調器22は、LCOS (Liquid Crystal On Silicon) であって、液晶駆動回路が形成されたシリコン基板22a上に、反射率がほぼ100%の反射層である画素電極が2次元配列された画素電極群22bと、空間光変調層である液晶層22cと、配向膜22dと、ITO (Indium Tin Oxide) 電極22eと、カバーガラス22fとが順次積層した構成を有している。これに

より、各画素電極を含む位相変調素子（画素）が２次元配列された構成が実現されている。なお、必要に応じて画素電極群２２ｂと液晶層２２ｃとの間にも配向膜を設けてもよい。なお、以下では、配向膜２２ｄ、ＩＴＯ電極２２ｅ、およびカバーガラス２２ｆを光入射層２２ｇとする。

[0061] この空間光変調器２２は、制御部２３が画素電極群２２ｂとＩＴＯ電極２２ｅとの間に電圧信号を印加することによって、液晶層２２ｃが所定の方向に屈折率のグラデーションを有するように制御できる。そして、この屈折率のグラデーションを調整することによって、光入射層２２ｇ側から入射した光が、画素電極群２２ｂにより反射して液晶層２２ｃを伝搬する際に位相変調を受け、光を所定の回折角（１次回折角）で回折させるように調整することができる。

[0062] また、空間光変調器２２は、光コリメータアレイ１０Ｂの光ファイバ１ａ、１ｂ、１ｃ、１ｄの配列方向と、液晶層２２ｃの屈折率のグラデーションの方向とが一致するように制御されている。その結果、この空間光変調器２２は、制御部２３が液晶層２２ｃへの印加電圧を制御することによって、空間光変調器２２が平面反射鏡のように機能し、光ファイバ１ａ、１ｂ、１ｃ、１ｄのいずれかから入力した光を光ファイバ１ａ、１ｂ、１ｃ、１ｄの他のいずれかに向けて出力できるように、光の回折角度を制御することができる。

[0063] つぎに、この光スイッチ装置１００の動作例として、図５Ａ、Ｂに示すように光コリメータアレイ１０Ｂａ、Ｂｂの各光ファイバ１ｂから入力された光Ｌ１の経路を、各光コリメータアレイ１０Ｂａ、Ｂｂの各光ファイバ１ａに出力するように切り換える場合を説明する。まず、各光ファイバ１ｂには、外部から光Ｌ１が入力される。光導波路回路２およびシリンドリカルレンズ３は、各光Ｌ１をコリメートし、平行光にするとともに、Ｘ方向に長軸を有する楕円形状のビームとする。集光レンズ系２１は、平行光にされた各光Ｌ１を空間光変調器２２に集光させる。空間光変調器２２は、制御部２３が液晶層２２ｃへの印加電圧を制御することによって、集光され入力された各

光 L_1 を空間変調して回折させ、回折させた各光 L_1 を各光ファイバ $1a$ に向けて出力する。集光レンズ系 21 は、回折された各光 L_1 を平行光にする。シリンドリカルレンズ 3 および光導波路回路 2 は、各光 L_1 を各光ファイバ $1a$ に結合させる。各光ファイバ $1a$ は結合された光 L_1 を外部に出力する。

[0064] このようにして、この光スイッチ装置 100 は、各光ファイバ $1b$ から入力された各光 L_1 の経路を各光ファイバ $1a$ に出力するように切り換える。なお、同様にして、この光スイッチ装置 100 は、空間光変調器 22 の制御によって、光ファイバ $1a$ 、 $1b$ 、 $1c$ 、 $1d$ のいずれかから入力された光の経路を光ファイバ $1a$ 、 $1b$ 、 $1c$ 、 $1d$ のいずれかから出力するように切り替えることができる。また、本動作例では、光コリメータアレイ $10Ba$ 、 $10Bb$ において光を入力される光ファイバをいずれも光ファイバ $1b$ とし、光を出力させる光ファイバをいずれも光ファイバ $1a$ としているが、光を入力される光ファイバと光を出力させる光ファイバとの組み合わせは特に限定はされない。

[0065] 図 7 は、空間光変調器 22 上での光 L_1 のビーム形状を示す図である。ビーム $B3$ が光コリメータアレイ $10Ba$ から入力された光 L_1 のビーム形状であり、ビーム $B4$ が光コリメータアレイ $10Bb$ から入力された光 L_1 のビーム形状である。ビーム $B3$ は空間光変調器 22 の領域 $22h$ に入力し、ビーム $B4$ は空間光変調器 22 の領域 $22i$ に入力する。したがって、空間光変調器 22 の領域 $22h$ 、 $22i$ において、光 L_1 を出力する方向を別々に制御することによって、光を入力される光ファイバと光を出力させる光ファイバとの組み合わせを任意に設定できる。

[0066] この光スイッチ装置 100 では、実施の形態 1 に係る光コリメータアレイ 10 の光ファイバアレイ 1 および光導波路回路 2 を備えているので、省スペースにて光 L_1 の楕円のビーム形状のアスペクト比を高くできる。その結果、空間光変調器 22 上での光 L_1 のビームを X 軸方向においてより高密度に配置することができるので、空間光変調器 22 の面積を効率良く利用できる。

とともに、空間光変調器 22 を小型化できる。さらに、この光スイッチ装置 100 は、複数の、具体的には 2 つの光コリメータアレイ 10 B a、B b を積層し、かつそれぞれに対して共通のシリンドリカルレンズ 3、集光レンズ系 21、空間光変調器 22 および制御部 23 を用いることにより、2 つの光スイッチ装置を集積した構成としている。これにより、この光スイッチ装置 100 は、大容量通信に適し、かつ省スペースな装置となる。なお、積層させる光コリメータアレイの数は 2 に限られず、さらに多くの光コリメータアレイを積層してもよい。

[0067] (実施の形態 4)

図 8 A、B は、実施の形態 4 に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図 8 A は光スイッチ装置を X 方向で負の向きから見た図であり、図 8 B は光スイッチ装置を Y 方向で正の向きから見た図である。

[0068] 図 8 A、B に示すように、光スイッチ装置 200 は、光コリメータアレイ 10 と、アナモルフィック光学系であるアナモルフィックプリズムペア 24 と、波長分散素子である回折格子 25 と、集光レンズ系 21 と、空間光変調器 22 とが、この順番に配置されて構成されており、さらに制御部 23 を備えている。

[0069] なお、実際には、回折格子 25 において光路は曲げられるので、図 8 B において、光コリメータアレイ 10 から空間光変調器 22 までの各素子は、XZ 平面内において回折格子 25 の前後で角度を持って配置されるが、図 8 B においては、説明の簡略化のために各素子を直列に配置して示している。以降の回折格子 25 を備える実施の形態においても同様である。

[0070] アナモルフィックプリズムペア 24 は、2 つのプリズムから構成されており、光コリメータアレイ 10 の光導波路回路 2 の端面 2 f 側に配置されている。アナモルフィックプリズムペア 24 は、光コリメータアレイ 10 側から入力された光のビーム形状をビーム径拡大方向 (X 軸方向) に拡大する機能を有する。

[0071] また、アナモルフィックプリズムペア 24 は、光相反性を有するため、空

間光変調器 22 側から入力された光のビーム形状を X 軸方向に縮小する機能を有する。なお、アナモルフィックプリズムペア 24 に換えてアナモルフィックプリズムを用いてもよい。

[0072] 回折格子 25 は、例えば透過型の回折格子であって、アナモルフィックプリズムペア 24 と集光レンズ系 21 との間に配置される。

[0073] つぎに、この光スイッチ装置 200 の動作例を説明する。本動作例では、外部から信号光 L2 が入力されたとする。信号光 L2 は、波長多重された信号光であり、互いに異なる波長を有する信号光 L2a、L2b、L2c を含むものとする。信号光 L2a、L2b、L2c は、例えば波長 1520～1620 nm の光通信用の信号光である。

[0074] まず、光ファイバ 1b には、信号光 L2 が入力される。光導波路回路 2 およびシリンドリカルレンズ 3 は、信号光 L2 をコリメートし、平行光にするとともに、X 方向に長軸を有する楕円形状のビームとする。アナモルフィックプリズムペア 24 は、平行光にされたガウシアンビームである信号光 L2 のビーム形状をさらに X 軸方向に拡大し、さらにアスペクト比の高い楕円形にする。回折格子 25 は、信号光 L2 をその波長に応じた所定の回折角で回折し、分光する。その結果、信号光 L2 は、X 軸方向において信号光 L2a、L2b、L2c に分離される。

[0075] 集光レンズ系 21 は、回折された信号光 L2a、L2b、L2c を空間光変調器 22 に集光させる。ここで、回折格子 25 と集光レンズ系 21 との間隔は、集光レンズ系 21 の焦点距離と等しくされており、信号光 L2a、L2b、L2c は、空間光変調器 22 に略垂直に入力する。空間光変調器 22 は、制御部 23 の制御により、信号光 L2a、L2b、L2c のうち、所望の波長の信号光 L2a を光ファイバ 1a に向けて出力する。信号光 L2a は、集光レンズ系 21 によって、集光レンズ系 21 の光軸に対して平行にされる。回折格子 25 は、光相反性によって、信号光 L2a をアナモルフィックプリズムペア 24 の方向に回折する。アナモルフィックプリズムペア 24 は、光相反性によって、信号光 L2a のビーム形状を X 軸方向に縮小する。シ

リンドリカルレンズ3および光導波路回路2は、信号光L2aを光ファイバ1aに結合させる。各光ファイバ1aは結合された信号光L2aを外部に出力する。

[0076] このようにして、この光スイッチ装置200は、光ファイバ1bから入力された信号光L2に含まれる信号光L2aの経路を光ファイバ1aに出力するように切り換える。なお、同様にして、この光スイッチ装置200は、空間光変調器22の制御によって、光ファイバ1a、1b、1c、1dのいずれかから入力された信号光に含まれる所望の波長の信号光の経路を光ファイバ1a、1b、1c、1dのいずれかから出力するように切り替えることができ、波長選択光スイッチ装置として機能する。

[0077] この光スイッチ装置200では、実施の形態1に係る光コリメータアレイ10の光ファイバアレイ1および光導波路回路2を備えているので、省スペースにて信号光L2の楕円のビーム形状のアスペクト比を高くできる。その結果、空間光変調器22上での信号光L2a、L2b、L2cのビームをX軸方向においてより高密度に配置することができるので、空間光変調器22の面積を効率良く利用でき、スペクトル分解能を向上させることができるとともに、空間光変調器22を小型化できる。

[0078] ここで、空間光変調器22は、集光レンズ系21により集光された信号光L2a、L2b、L2c（以下、代表して信号光L2とする）のビームウエストの位置に配置されることが好ましい。しかし、この光スイッチ装置200では、光コリメータアレイ10およびアナモルフィックプリズムペア24が信号光L2のビーム形状をX軸方向に拡大しているため、X軸方向とY軸方向とでは信号光L2のビームウエストのZ軸方向での位置が異なり、具体的にはY軸方向におけるビームウエストの位置は、X軸方向におけるビームウエストの位置よりも、集光レンズ系21から遠い位置となる。この場合、空間光変調器22をX軸方向におけるビームウエストの位置に配置すると、Y軸方向においては空間光変調器22はビームウエストの位置よりも集光レンズ系21に近い位置に配置されることとなる。その結果、Y軸方向におい

ては、空間光変調器 22 からの信号光 L 2 a のビームウエストが光導波路コア 2 a の端面 2 f よりもシリンドリカルレンズ 3 側に位置することとなるため、信号光 L 2 a は光導波路コア 2 a に対する結合効率が低下して光損失を受けることとなる。

[0079] そこで、この光スイッチ装置 200 では、空間光変調器 22 を X 軸方向における信号光 L 2 のビームウエストの位置に配置するとともに、制御部 23 が、空間光変調器 22 が Y 軸方向において反射型のフレネルレンズとして機能するように制御を行うことによって、X 軸と Y 軸との両方において信号光 L 2 a のビームウエストが光導波路コア 2 a の端面 2 f に位置するようにしている。これにより、信号光 L 2 a の光導波路コア 2 a に対する結合効率の低下を抑制することができる。

[0080] 空間光変調器 22 は、制御部 23 により、液晶層 22 c が 2 次元的に所望の屈折率の分布を有するように制御できる。そして、この屈折率の分布を調整することによって、光入射層 22 g 側から入射した光が、画素電極群 22 b により反射して液晶層 22 c を伝搬する際に、フレネルレンズ状の位相変調をするように形成することができる。この空間光変調器 22 による擬似的な反射型フレネルレンズは制御部 23 により、フレネルレンズとしての曲率および焦点距離を、所望の値に設定することができる。

[0081] 図 9 ～ 11 は、空間光変調器の表示画像の一例を表す図である。図 9 ～ 11 では、空間光変調器 22 の表示画像が凸面形状のフレネルレンズを形成するように制御することを前提として説明する。

[0082] 図 9 は、フレネルレンズの一例を示している。図 9 において、色が濃い部分の屈折率が高く、薄い部分の屈折率が低くなっている。すなわち、位相変調の周期が、Y 軸方向の正の向きに従って、次第に短くなるように各画素の屈折率が制御されている。その結果、Y 軸方向の正の向きに従って、次第にフレネルレンズとしての曲率が大きくなるように作用させることができる。

[0083] つぎに、図 10、11 により、フレネルレンズの光軸を信号光 L 2 a の光軸に対し Y 軸方向にオフセットさせるように制御することによって、光ファ

イバ1 a、1 b、1 c、1 dのいずれかから入力した光を光ファイバ1 a、1 b、1 c、1 dの他のいずれかに向けて出力できるように、光の出力角度を制御できることを説明する。

[0084] まず、図10において、ビームB5は空間光変調器22に入力する信号光L2aのビーム形状を示し、光軸 $A_{COM}1$ は空間光変調器22に入力する信号光L2aの中央を通る光軸、光軸 $A_{FL}1$ は空間光変調器22のY軸方向におけるフレネルレンズとしての光軸を表す。図10に示すように、光軸 $A_{COM}1$ と光軸 $A_{FL}1$ とが同一直線上に配置されるように屈折率分布が制御される場合、空間光変調器22は、空間光変調器22に垂直に入力した光を入力方向に反射する。このとき、空間光変調器22は、たとえば光ファイバ1bから入力された信号光を光ファイバ1bに結合するように反射する。

[0085] つぎに、光ファイバ1bから入力された光を光ファイバ1aに結合するように反射する場合、図11に示すように、光軸 $A_{FL}1$ は空間光変調器22の下部に位置するように表示画像が制御される。このとき、空間光変調器22は、空間光変調器22に垂直に入力した光を入力方向より上方（Y軸方向の正の方向）に反射する。これにより、空間光変調器22は、光ファイバ1bから入力された光を、光ファイバ1aに結合するように反射することができる。同様に、空間光変調器22は、光軸 $A_{FL}1$ が空間光変調器22の上部に位置するように表示画像が制御されると、光ファイバ1bから入力された光を、たとえば光ファイバ1c、1dに結合するように反射することができる。

[0086] このように、光スイッチ装置200では、空間光変調器22に入力する光の中央を通る光軸に対する空間光変調器22のY軸におけるフレネルレンズとしての光軸の位置を制御することにより、光ファイバ1a、1b、1c、1dのいずれかから入力した光を光ファイバ1a、1b、1c、1dの他のいずれかに向けて出力できるように、光の出力角度を制御できる。

[0087] なお、空間光変調器22の表示画像が凹面形状のフレネルレンズ（図示せず）を形成するように制御してもよい。その場合、光軸 $A_{COM}1$ に対する光軸

$A_{FL} 1$ の位置関係と空間光変調器 22 の反射方向の上下関係とが図 10、11 の場合とは逆転する。すなわち、空間光変調器 22 は、光軸 $A_{FL} 1$ が光軸 $A_{COM} 1$ より下方に位置するように表示画像が制御されると空間光変調器 22 に垂直に入力した光を入力方向より下方に反射し、光軸 $A_{FL} 1$ が光軸 $A_{COM} 1$ より上方に位置するように表示画像が制御されると空間光変調器 22 に垂直に入力した光を入力方向より上方に反射することができる。

[0088] また、上記の動作は、光スイッチ装置 200 に入射して回折格子 25 により空間光変調器 22 の X 軸方向に波長ごとに分割された各波長の信号光に対して行われる。図 10 における幅 SW1 は、1 つのチャネルに対応する空間光変調器 22 の領域の幅であり、1 または複数の波長からなる信号光に対してそれぞれ割り当てられる。幅 SW1 は、少なくともビーム B5 の X 軸方向における幅より大きく、たとえば、X 軸方向において数～10 数画素に相当する幅である。このとき、空間光変調器 22 は、各チャネルに対応する幅 SW1 を有する領域を、個別に制御することにより、各チャネルの信号光を Y 軸方向の所定方向に反射し、波長選択スイッチングを実現することができる。

[0089] (実施の形態 5)

図 12 A、B は、実施の形態 5 に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図 12 A は光スイッチ装置を X 方向で負の向きから見た図であり、図 12 B は光スイッチ装置を Y 方向で正の向きから見た図である。

[0090] 図 12 A、B に示すように、光スイッチ装置 200 A は、図 8 A、B に示す光スイッチ装置 200 において、光コリメータアレイ 10 を光コリメータアレイ 10 C に置き換え、集光レンズ系 21 と空間光変調器 22 との間に 1/2 波長板 26 を追加した構成を有する。光コリメータアレイ 10 C は、光コリメータアレイ 10 において、光導波路回路 2 を光導波路回路 2 A に置き換えた構成を有する。

[0091] この光スイッチ装置 200 A は、光スイッチ装置 200 と同様に波長選択光スイッチ装置として機能し、同様の効果を有する。すなわち省スペースに

て信号光の楕円のビーム形状のアスペクト比を高くでき、空間光変調器 2 2 の面積を効率良く利用でき、スペクトル分解能を向上させることができる。とともに、空間光変調器 2 2 を小型化できるものであるが、光導波路回路 2 A が偏波分離機能を有する点が異なる。以下、光スイッチ装置 2 0 0 A は、波長多重された信号光である信号光 L 3 が光ファイバ 1 b から入力され、信号光 L 3 に含まれる所定の波長の信号光が選択されて光ファイバ 1 c から出力するように動作するものとする。この際、アナモルフィックプリズムペア 2 4、回折格子 2 5、集光レンズ系 2 1、空間光変調器 2 2 および制御部 2 3 の動作は光スイッチ装置 2 0 0 の場合と同様なので、説明を省略する。また、図 1 2 A では、選択された所定の波長の信号光についても、信号光 L 3 として示している。

[0092] 図 1 3 は、図 1 2 A、B に示す光導波路回路の構成図である。光導波路回路 2 A は、たとえば PLC で構成されており、光ファイバ 1 a、1 b、1 c、1 d に接続される、それぞれ内部の屈折率が均一である 4 つの光導波路コアと、4 つの光導波路コアの外周に形成された、光導波路コアよりも屈折率が低いクラッド部 2 A e と、端面 2 A f とを有している。なお、図 1 3 では、光ファイバ 1 b、1 c に接続される光導波路コアである光導波路コア 2 A b、2 A c のみを図示している。

[0093] 光導波路コア 2 A b は、光ファイバ 1 b に接続される側から端面 2 A f (光導波路回路 2 A および光導波路コア 2 A b の端面) に向かって順次配置された、ストレート部 2 A b a と、偏波分離部 2 A b d と、2 つのテーパ部 2 A b b と、2 つのストレート部 2 A b c とを有している。ストレート部 2 A b a は、断面が略正方形であり、そのサイズは、比屈折率差に応じて、光ファイバ 1 b から入力された光をシングルモードまたは略シングルモードで伝搬できるように設定されている。破線で囲んだ部分である偏波分離部 2 A b d は、マハツェンダ干渉計型の光導波路構成を有しており、入力された光を互いに直交する偏波成分の光に分離し、2 つのテーパ部 2 A b b のそれぞれに出力するように構成されている。2 つのテーパ部 2 A b b は、光ファイバ

1 bから入力された光の進行方向が互いに傾斜するように配置されており、かつ光の進行方向に沿って導波路コアのコア幅が所定の傾きで徐々に拡大するが、幅方向と垂直方向（X軸方向）における導波路コアのコア高さは一定である形状を有する。2つのストレート部2 A b cは、それぞれ断面が矩形であり、そのサイズはテーパ部2 A b bとの接続部分におけるテーパ部2 A b bのサイズと同じである。なお、光導波路コア2 A cおよび他の光ファイバ1 a、1 dに接続される光導波路コアも、それぞれ光導波路コア2 A bと同様の構成を有している。

[0094] この光導波路コア2 A bでは、偏波分離部2 A b dは、光ファイバ1 bから入力された信号光L 3を、互いに直交する偏波成分であるP波（X軸方向の偏波）の信号光L 3 aおよびS波（Y軸方向の偏波）の信号光L 3 bに分離し、2つのテーパ部2 A b bのそれぞれに出力する。信号光L 3 a、L 3 bは、その後端面2 A fから、互いに傾斜した方向に出力される。このとき、信号光L 3 a、L 3 bのビームの広がり角度の関係、ビーム半径の関係、および端面2 A fにおけるスポットサイズ半径と、光ファイバ1 bにおけるモードフィールド半径の関係は、光コリメータアレイ1 0の場合と同様である。なお、4つの光導波路コアにおいて、P波の信号光が出力される各テーパ部同士は互いに平行であり、S波の信号光が出力される各テーパ部同士は互いに平行である。したがって、4つの光導波路コアを伝搬して端面2 A fから出力されるP波の信号光は互いに平行であり、S波の信号光は互いに平行である。

[0095] 信号光L 3 a、L 3 bは、アナモルフィックプリズムペア2 4、回折格子2 5、集光レンズ系2 1を順次通過する。ここで、1／2波長板2 6については、信号光L 3 aのみが1／2波長板2 6を通過し、信号光L 3 aとは直交する偏波成分である信号光L 3 bは1／2波長板2 6を通過しないように配置されている。これによって、信号光L 3 aは、偏波方向が信号光L 3 aの偏波方向と同一のY軸方向に揃えられた状態で空間光変調器2 2に入力される。図1 4は、空間光変調器2 2上での信号光L 3 a、L 3 bのビーム形

状を示す図である。ビーム B 6 が信号光 L 3 a のビーム形状であり、ビーム B 7 が信号光 L 3 b のビーム形状である。ここで、空間光変調器 2 2 は、Y 軸方向の偏波の光に対して回折効率が高くなるように配置されているので、信号光 L 3 a、L 3 b は、偏波方向に依存する空間光変調器 2 2 の光損失 (Polarization Dependent Loss : PDL) の影響を受けずに回折される。なお、空間光変調器 2 2 により回折された後、信号光 L 3 a が再び 1 / 2 波長板 2 6 を通過するので、その偏波方向はもとの偏波方向に戻される。したがって、図 1 3 に示すように、信号光 L 3 a、L 3 b が光導波路コア 2 A c に到達した際には、その偏波分離部 2 A b d の相反性によって偏波合成されて光ファイバ 1 c に出力される。

[0096] この光スイッチ装置 2 0 0 A では、光コリメータアレイ 1 0 C が光導波路で構成された偏波分離機能を有するので、空間光変調器 2 2 の PDL の影響が解消されながらも、光学構成が簡易なものとなる。

[0097] (実施の形態 6)

図 1 5 A、B は、実施の形態 6 に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図 1 5 A は光スイッチ装置を X 方向で負の向きから見た図であり、図 1 5 B は光スイッチ装置を Y 方向で正の向きから見た図である。

[0098] 図 1 5 A、B に示すように、光スイッチ装置 2 0 0 B は、図 8 A、B に示す光スイッチ装置 2 0 0 において、光コリメータアレイ 1 0 を光コリメータアレイ 1 0 D に置き換え、アナモルフィックプリズムペア 2 4 を、シリンドリカルレンズ 2 7 に置き換え、シリンドリカルレンズ 2 7 と回折格子 2 5 との間に 1 / 2 波長板 2 6 を追加した構成を有する。なお、シリンドリカルレンズ 2 7 は、X 軸方向においてのみ光を集光し、Y 軸方向において光を集光しないように配置されている。また、光コリメータアレイ 1 0 D は、光コリメータアレイ 1 0 において、光導波路回路 2 を光導波路回路 2 B に置き換えた構成を有する。

[0099] この光スイッチ装置 2 0 0 B は、光スイッチ装置 2 0 0 A と同様に波長選択光スイッチ装置として機能し、同様の効果を有するが、光導波路回路 2 B

が偏波分離機能を有している。以下、光スイッチ装置200Bは、信号光L3が光ファイバ1bから入力され、信号光L3に含まれる所定の波長の信号光が選択されて光ファイバ1cから出力するように動作するものとする。この際、回折格子25、集光レンズ系21、空間光変調器22および制御部23の動作や作用は光スイッチ装置200の場合と同様なので、説明を省略する。

[0100] 図16A、Bは、図15A、Bに示す光導波路回路の構成図である。図16Aは光導波路回路をX方向で負の向きから見た図であり、図16Bは光導波路回路をY方向で正の向きから見た図である。光導波路回路2Bは、たとえばPLCで構成されており、光ファイバ1a、1b、1c、1dに接続される、それぞれ内部の屈折率が均一である4つの光導波路コアと、4つの光導波路コアの外周に形成された、光導波路コアよりも屈折率が低いクラッド部2Beと、端面2Bfとを有している。なお、図16A、Bでは、光ファイバ1b、1cに接続される光導波路コアである光導波路コア2Bb、2Bcのみを図示している。

[0101] 光導波路コア2Bbは、光ファイバ1bに接続される側から端面2Bf（光導波路回路2Bおよび光導波路コア2Bbの端面）に向かって順次配置された、ストレート部2Bbaと、偏波分離部2Bbdと、それぞれがテーパ部2Bbbとストレート部2Bbcとで構成される2つの出力部2Bbe、2Bbfとを有している。ストレート部2Bbaは、断面が略正方形であり、そのサイズは、比屈折率差に応じて、光ファイバ1bから入力された光をシングルモードまたは略シングルモードで伝搬できるように設定されている。破線で囲んだ部分である偏波分離部2Bbdは、マハツェンダ干渉計型の光導波路構成を有しており、入力された光を互いに直交する偏波成分の光に分離し、X軸方向に積層配置された2つの出力部2Bbe、2Bbfのそれぞれに出力するように構成されている。2つの出力部2Bbe、2Bbfの各テーパ部2Bbbは、光の進行方向に沿って導波路コアのコア幅が所定の傾きで徐々に拡大するが、幅方向と垂直方向（X軸方向）における導波路コ

アのコア高さは一定である形状を有する。2つの出力部2 B b e、2 B b fの各ストレート部2 B b cは、それぞれ断面が矩形であり、そのサイズはテーパ部2 B b bとの接続部分におけるテーパ部2 B b bのサイズと同じである。なお、光導波路コア2 B cおよび他の光ファイバ1 a、1 dに接続される光導波路コアも、それぞれ光導波路コア2 B bと同様の構成を有している。

[0102] この光導波路コア2 B bでは、偏波分離部2 B b dは、光ファイバ1 bから入力された信号光L 3を、互いに直交する偏波成分であるP波（X軸方向の偏波）の信号光L 3 aおよびS波（Y軸方向の偏波）の信号光L 3 bに分離し、2つの出力部2 B b e、2 B b fのそれぞれに出力する。信号光L 3 a、L 3 bは、その後端面2 B fから、互いに平行な方向に出力される。このとき、信号光L 3 a、L 3 bのビームの広がり角度の関係、ビーム半径の関係、および端面2 B fにおけるスポットサイズ半径と、光ファイバ1 bにおけるモードフィールド半径の関係は、光コリメータアレイ1 0の場合と同様である。

[0103] 信号光L 3 a、L 3 bは、シリンドリカルレンズ3、シリンドリカルレンズ2 7、回折格子2 5、集光レンズ系2 1を順次通過する。なお、シリンドリカルレンズ2 7は、シリンドリカルレンズ3により傾斜した信号光L 3 a、L 3 bの光路を集光レンズ系2 1の光軸に対して平行になるようにする。ここで、1／2波長板2 6については、信号光L 3 aのみが1／2波長板2 6を通過し、信号光L 3 aとは直交する偏波成分である信号光L 3 bは1／2波長板2 6を通過しないように配置されている。これによって、信号光L 3 aは、偏波方向が信号光L 3 aの偏波方向と同一のY軸方向に揃えられた状態で空間光変調器2 2に入力される。光スイッチ装置2 0 0 Aの場合と同様に、空間光変調器2 2は、Y軸方向の偏波の光に対して回折効率が高くなるように配置されているので、信号光L 3 a、L 3 bは空間光変調器2 2のPDLの影響を受けずに回折される。なお、空間光変調器2 2により回折された後、信号光L 3 aは信号光L 3 bが通ってきた経路を通るため、その偏

波はP波のまま光導波路コア2A cに到達する。したがって、信号光L 3 a、L 3 bが光導波路コア2A cに到達した際には、その偏波分離部2B b dの相反性によって偏波合成されて光ファイバ1 cに出力される。

[0104] この光スイッチ装置200 Bでは、光コリメータアレイ10 Dが光導波路で構成された偏波分離機能を有するので、光スイッチ装置200 Aと同様に、空間光変調器22のPDLの影響が解消されながらも、光学構成が簡易なものとなる。

[0105] (実施の形態7)

図17 A、Bは、実施の形態7に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図17 Aは光スイッチ装置をX方向で負の向きから見た図であり、図17 Bは光スイッチ装置をY方向で正の向きから見た図である。

[0106] 図17 A、Bに示すように、光スイッチ装置200 Cは、図8 A、Bに示す光スイッチ装置200において、集光レンズ系21と空間光変調器22との間に1/2波長板26を追加し、アナモルフィックプリズムペア24と回折格子25との間に $(1+2n)/4$ 波長板28(ただし、nは負でない整数とする)と偏波分離素子29とを追加した構成を有する。ここで、偏波分離素子29はたとえばウォラストンプリズムである。

[0107] この光スイッチ装置200 Cは、光スイッチ装置200と同様に波長選択光スイッチ装置として機能し、同様の効果を有するが、さらに、1/2波長板26、 $(1+2n)/4$ 波長板28および偏波分離素子29の作用によって光コリメータアレイ10、シリンドリカルレンズ3、アナモルフィックプリズムペア24および空間光変調器22のPDLの影響が解消される。

[0108] すなわち、光コリメータアレイ10から入力された信号光L 3は、 $(1+2n)/4$ 波長板28をZ方向の正の向きに通過後に偏波分離素子29により互いに直交する偏波成分である信号光L 3 aおよび信号光L 3 bに分離する。ここで、1/2波長板26については、信号光L 3 aのみが1/2波長板26を通過し、信号光L 3 bは1/2波長板26を通過しないように配置されている。これによって、信号光L 3 aは、偏波方向が信号光L 3 aの偏

波方向と同一に揃えられた状態で空間光変調器 22 に入力される。これにより、空間光変調器 22 の PDL の影響は解消される。

[0109] その後、信号光 L 3 a、L 3 b は偏波分離素子 29 の相反性により偏波合成されて $(1 + 2n) / 4$ 波長板 28 を Z 方向の負の向きに通過する。このとき、直交する偏波成分である信号光 L 3 a、L 3 b は、Z 方向正の向きと負の向きとの合計 2 回、 $(1 + 2n) / 4$ 波長板 28 を通過するので、合計で $1 / 2$ 波長板を 1 回通過したときと同様の位相変化を受ける。その結果、 $(1 + 2n) / 4$ 波長板 28 を Z 方向の負の向きに通過した信号光 L 3 a、L 3 b は、Z 方向の正の向きに通過前とはその偏波方向が逆転する。たとえば、通過前に信号光 L 3 a が P 波、信号光 L 3 b が S 波だったとすると、通過後には信号光 L 3 a が S 波、信号光 L 3 b が P 波となる。

[0110] これにより、信号光 L 3 a、L 3 b は、アナモルフィックプリズムペア 24、シリンドリカルレンズ 3、光コリメータアレイ 10 を順次通過する際に、外部から信号光 L 3 として入力される際に光コリメータアレイ 10、シリンドリカルレンズ 3、アナモルフィックプリズムペア 24 を順次通過してきたときとは偏波状態が逆転した状態で通過する。その結果、信号光 L 3 が受ける光コリメータアレイ 10、シリンドリカルレンズ 3、アナモルフィックプリズムペア 24 の PDL の影響が解消される。このような構成によれば、特に光コリメータアレイ 10 の PDL の影響を解消することができるので好ましい。

[0111] なお、偏波分離素子 29 よりも入力側に配置された素子の PDL の影響を解消するためには、 $(1 + 2n) / 4$ 波長板 28 の位置は偏波分離素子 29 の直前（光コリメータアレイ 10 側）に入れることが好ましい。ただし、 $(1 + 2n) / 4$ 波長板 28 の位置はこれに限られず、光コリメータアレイ 10 と偏波分離素子 29 との間に配置されればよい。たとえば、光コリメータアレイ 10 の直後（シリンドリカルレンズ 3 側）に配置した場合には、光コリメータアレイ 10 の PDL の影響を解消する効果が発揮される。また、偏波分離素子 29 についても、光コリメータアレイ 10 と空間光変調器 22 と

の間の好適な位置に配置されることができる。

[0112] (実施の形態8)

図18A、Bは、実施の形態8に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図18Aは光スイッチ装置をX方向で負の向きから見た図であり、図18Bは光スイッチ装置をY方向で正の向きから見た図である。

[0113] 図18A、Bに示すように、光スイッチ装置200Dは、図8A、Bに示す光スイッチ装置200において、集光レンズ系21と空間光変調器22との間に1/2波長板26を追加し、アナモルフィックプリズムペア24と回折格子25との間に偏波分離素子29とを追加した構成を有する。

[0114] この光スイッチ装置200Dは、光スイッチ装置200と同様に波長選択光スイッチ装置として機能し、同様の効果を有するが、さらに、1/2波長板26の作用および空間光変調器22の制御方法によって、光コリメータアレイ10および空間光変調器22のPDLの影響が解消される。

[0115] すなわち、光コリメータアレイ10から入力された信号光L3は、偏波分離素子29により互いに直交する偏波成分である信号光L3aおよび信号光L3bに分離する。ここで、1/2波長板26については、信号光L3aのみが1/2波長板26を通過し、信号光L3bは1/2波長板26を通過しないように配置されている。これによって、信号光L3aは、偏波方向が信号光L3aの偏波方向と同一に揃えられた状態で空間光変調器22に入力される。これにより、空間光変調器22のPDLの影響は解消される。

[0116] さらに、この光スイッチ装置200Dでは、信号光L3a、L3bのうち、光コリメータアレイ10のPDLによる光損失が小さい方の偏波方向の信号光に対してのみ、空間光変調器22により所定の光損失を与えるように制御部23が空間光変調器22を制御する。この光損失を光コリメータアレイ10のPDLと同程度の値とすることにより、光コリメータアレイ10のPDLの影響が解消される。

[0117] このように、特定の偏波方向の信号光に対してのみ、空間光変調器22により所定の光損失を与える方法としては、空間光変調器22と光ファイバ1

a、1 b、1 c、1 dのうち信号光を出力させるべき光ファイバとの結合効率を低減させたり、空間光変調器 2 2 の回折効率を低減させたりする方法がある。

[0118] 空間光変調器 2 2 と光ファイバとの結合効率を低減させる方法としては、たとえば空間光変調器 2 2 をフレネルレンズとして機能させる場合に光ファイバ端面に対するフレネルレンズの焦点位置を最大結合効率を得られる位置からデフォーカスさせる方法や、空間光変調器 2 2 からの反射光を、この反射光を出力させる光ファイバに結合させる位置を、その最適結合効率を得られる位置からずらす方法がある。

[0119] また、結合効率と回折効率とを低減させる方法としては、空間光変調器 2 2 の画素パターンを、平面反射鏡やフレネルレンズに対して攪乱を加えたものとして、所望の回折方向以外の角度にも一部の光を回折させるようにする方法がある。

[0120] 図 1 9 A、B、C は、空間光変調器に与える位相変調の一例を表す図である。まず、図 1 9 A は、空間光変調器 2 2 の表面に垂直に入力する信号光 L 3 a を所望の角度 α の方向に反射させる場合の画素と画素に与える位相変調との関係を示している。つぎに、図 1 9 B は、空間光変調器 2 2 の表面に垂直に入力する信号光 L 3 a を角度 β の方向に反射させる場合の画素と画素に与える位相変調との関係を示している。このとき、位相変調の周期は角度 α の方向に反射させる場合の位相変調の周期よりも短くする、すなわち高周波にする。そして、図 1 9 C は、空間光変調器 2 2 の表面に垂直に入力する信号光 L 3 a を角度 α の方向に反射させる場合に、図 1 9 A に示す位相変調に加えて図 1 9 B に示す高周波成分の位相変調を与えた場合を示している。これにより信号光 L 3 a は角度 α の方向に加えて角度 $(\alpha - \beta)$ の方向角度 $(\alpha + \beta)$ と角度 $(\alpha - \beta)$ の方向にも反射されるので、所望の回折方向である角度 α 以外の角度にも一部の光を回折させることができる。なお、このような高周波成分(擾乱成分)による回折角 $\pm \beta$ は、光コリメータアレイ 1 0 におけるいずれの光ファイバとも結合しない方向にするのがよい。

[0121] (実施の形態 9)

図 20 A、B は、実施の形態 9 に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図 20 A は光スイッチ装置を X 方向で負の向きから見た図であり、図 20 B は光スイッチ装置を Y 方向で正の向きから見た図である。

[0122] 図 20 A、B に示すように、光スイッチ装置 200 E は、図 8 A、B に示す光スイッチ装置 200 において、光コリメータアレイ 10 を光コリメータアレイ 10 E に置き換えた構成を有する。光コリメータアレイ 10 E は、光コリメータアレイ 10 からシリンドリカルレンズ 3 を削除した構成を有する。なお、このとき、アナモルフィックプリズムペア 24 は光コリメータアレイ 10 E により近づけて配置し、たとえば光導波路回路 2 の直後に配置することが好ましい。このように、アナモルフィック光学系としてのシリンドリカルレンズ 3 に換えてアナモルフィックプリズムペア 24 を用いてもよい。

[0123] (実施の形態 10)

図 21 A、B は、実施の形態 10 に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図 21 A は光スイッチ装置を X 方向で負の向きから見た図であり、図 21 B は光スイッチ装置を Y 方向で正の向きから見た図である。

[0124] 図 21 A、B に示すように、光スイッチ装置 200 F は、図 8 A、B に示す光スイッチ装置 200 において、光コリメータアレイ 10 を光コリメータアレイ 10 F に置き換え、集光レンズ系 21 をシリンドリカルレンズ 30、31 からなる集光レンズ系に置き換え、空間光変調器 22 を空間光変調器 22 F に置き換えた構成を有する。

[0125] この光スイッチ装置 200 F は、光スイッチ装置 200 と同様に機能する単位波長選択光スイッチ装置が集積された、いわゆる $N \times 1$ 型の光スイッチ装置として機能する。

[0126] 図 22 A、B は、図 21 A、B に示す光コリメータアレイの構成図である。この光コリメータアレイ 10 F は、光ファイバアレイ 1 F と、光導波路回路 2 F とを備えている。光ファイバアレイ 1 F は、所定の配列方向（Y 軸方向）に配列された複数の光ファイバからなる光ファイバ群 1 F a、1 F b と

、光ファイバ群 1 F a、1 F b を配列方向に配列された状態に保持する保持部材 1 F e とを有している。光ファイバ群 1 F a、1 F b を構成する光ファイバは、たとえば通常シングルモード光ファイバ (SMF) である。また、保持部材 1 F e は、たとえばガラスからなる立方体形状を有しており、各光ファイバは、保持部材 1 F e の貫通孔に挿通された状態で、かつファイバ端面と保持部材 1 F e の端面とが略同一面上になるように保持されている。

[0127] 光導波路回路 2 F は、たとえば PLC で構成されており、複数の光導波路コアからなる光導波路コア群 2 F a、2 F b と、光導波路コア群 2 F a、2 F b の外周に形成された、各光導波路コアよりも屈折率が低いクラッド部 2 F e と、光ファイバアレイ 1 F と接続された側とは反対側に位置する端面 2 F f とを有している。

[0128] 光導波路コア群 2 F a、2 F b を構成する各光導波路コアは、光コリメータアレイ 1 O の光導波路コア 2 a と同様にストレート部、テーパ部およびストレート部を有する。また、複数の光導波路コアは、光導波路コア群 2 F a 内および光導波路コア群 2 F b 内ではそれぞれ光の出射方向が同じであるとともに、光導波路コア群 2 F a と光導波路コア群 2 F b との間では光の出射方向が互いに異なるように配置されている。本実施の形態では、具体的には、光導波路コア群 2 F a 内では複数の光導波路コアの光の出射方向は端面 2 F f と垂直方向に対して Y Z 平面内で Y 軸方向負の向きに角度 θ_3 だけ傾斜した方向である。一方、光導波路コア群 2 F b 内では複数の光導波路コアの光の出射方向は端面 2 F f と垂直方向に対して Y Z 平面内で Y 軸方向正の向きに角度 θ_4 だけ傾斜した方向である。すなわち、光導波路コア群 2 F a のいずれかの光導波路コアと、光導波路コア群 2 F b 内のいずれかの光導波路コアとの少なくとも 2 つの光導波路コアでは、配列方向における光の出射角度が互いに異なる。

[0129] また、空間光変調器 2 2 F は、光ファイバアレイ 1 F の光ファイバ群 1 F a、1 F b における光ファイバの配列方向 (Y 軸方向) において空間光変調器 2 2 F が 2 つの空間光変調器 2 2 F a、2 2 F b に分割された構成を有す

る。分割された空間光変調器 22 F a、22 F b はそれぞれ制御部 23 によって独立に制御される。

[0130] ここで、光スイッチ装置 200 F は、光スイッチ装置 200 と同様に機能し、同様の効果を有する 2 つの単位波長選択光スイッチ装置 200 F a、200 F b を含むように構成されている。単位波長選択光スイッチ装置 200 F a は、光導波路コア群 2 F a と、シリンドリカルレンズ 3 と、アナモルフィックプリズムペア 24 と、回折格子 25 と、シリンドリカルレンズ 30、31 と、空間光変調器 22 のうちの空間光変調器 22 F a と、制御部 23 とを含んで構成されるものである。一方、単位波長選択光スイッチ装置 200 F b は、光導波路コア群 2 F b と、シリンドリカルレンズ 3 と、アナモルフィックプリズムペア 24 と、回折格子 25 と、シリンドリカルレンズ 30、31 と、空間光変調器 22 のうちの空間光変調器 22 F b と、制御部 23 とを含んで構成されている。上述したように、空間光変調器 22 F a、22 F b はそれぞれ制御部 23 によって独立に制御される。

[0131] このように、光スイッチ装置 200 F は、シリンドリカルレンズ 3、アナモルフィックプリズムペア 24、回折格子 25、シリンドリカルレンズ 30、31 および制御部 23 を共通の構成としつつ、互いに異なる光導波路コア群 2 F a および空間光変調器 22 F a と、光導波路コア群 2 F b および空間光変調器 22 F b とで構成される 2 つの単位波長選択光スイッチ装置 200 F a、200 F b を含む 2 in 1 型の光スイッチ装置である。したがって、光スイッチ装置 200 F は、たとえば単位波長選択光スイッチ装置 200 F a に入力された信号光 L 4 と単位波長選択光スイッチ装置 200 F b に入力された信号光 L 5 に対して、それぞれ独立した波長選択光スイッチ装置として機能する。

[0132] この光スイッチ装置 200 F では、光コリメータアレイ 10 F が光導波路コア群 2 F a、2 F b で構成されているので、光導波路コアを所望の光出射角度 θ_3 または θ_4 に対して精度良く形成することができる。したがって、この光スイッチ装置 200 F は、素子の光学的アラインメントがしやすく、

かつ挿入損失を小さくしやすいものである。

[0133] なお、光スイッチ装置 200F に含まれる単位波長選択光スイッチ装置の数は 2 に限定されない。光ファイバ群および光導波路コア群の数を追加することで、容易に単位波長選択光スイッチ装置の数を、たとえば 8 以上に増加させることができる。このとき、空間光変調器の分割数は単位波長選択光スイッチ装置の数と少なくとも同じとする。また、光導波路コア群間の光の出射角度は互いに異なるものとするが、各光導波路コア群から出力された光が回折格子 25 の近傍または回折格子 25 上で交差するように、出射角度を設定することが好ましい。これにより、空間光変調器 22 に各光をより垂直に近い角度で入力させることができる。

[0134] (実施の形態 11)

図 23A、B は、実施の形態 11 に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図 23A は光スイッチ装置を X 方向で負の向きから見た図であり、図 23B は光スイッチ装置を Y 方向で正の向きから見た図である。

[0135] 図 23A、B に示すように、光スイッチ装置 200G は、図 21A、B に示す光スイッチ装置 200F において、光コリメータアレイ 10F を光コリメータアレイ 10G に置き換え、空間光変調器 22F を空間光変調器 22G に置き換えた構成を有する。

[0136] この光スイッチ装置 200G は、 2×1 の単位波長選択光スイッチ装置と 1×2 の単位波長選択光スイッチ装置とが 2 つずつ集積された 4 in 1 型の光スイッチ装置であるが、 2×2 の波長選択光スイッチ装置として機能する。

[0137] 図 24 は、図 23A、B に示す光コリメータアレイの構成図である。この光コリメータアレイ 10G は、光ファイバアレイ 1G と、光導波路回路 2G とを備えている。光ファイバアレイ 1G は、光ファイバアレイ 1 と同様の構成を有し、光ファイバ 1a、1b、1c、1d を有している。

[0138] 光導波路回路 2G は、たとえば PLC で構成されており、それぞれが 3 つの光導波路コアからなる光導波路コア群 2Ga、2Gb、2Gc、2Gd と

、複数の接続用光導波路コア 2 G g と、光導波路コア群 2 G a、2 G b、2 G c、2 G d および接続用光導波路コア 2 G g の外周に形成された、各光導波路コアよりも屈折率が低いクラッド部 2 G e と、光ファイバアレイ 1 G と接続された側とは反対側に位置する端面 2 G f とを有している。

[0139] 光導波路コア群 2 G a、2 G b、2 G c、2 G d を構成する各光導波路コアは、光コリメータアレイ 10 の光導波路コア 2 a と同様にストレート部、テーパ部およびストレート部を有する。また、複数の光導波路コアは、光導波路コア群 2 G a、2 G b、2 G c、2 G d 内では光の出力方向が同じであるとともに、光導波路コア群 2 G a、2 G b、2 G c、2 G d の間では光の出力方向が互いに異なるように配置されている。

[0140] また、光導波路コア群 2 G a は、光ファイバ 1 a に接続され、外部から光が入力されるまたは外部に光を出力するための外部接続用光導波路コア 2 G a b と、他の光導波路コア群の導波路コアに接続される内部接続用光導波路コア 2 G a a、2 G a c とを含んでいる。同様に、光導波路コア群 2 G b は、光ファイバ 1 b に接続される外部接続用光導波路コア 2 G b b と、内部接続用光導波路コア 2 G b a、2 G b c とを含んでいる。光導波路コア群 2 G c は、光ファイバ 1 c に接続される外部接続用光導波路コア 2 G c b と、内部接続用光導波路コア 2 G c a、2 G c c とを含んでいる。光導波路コア群 2 G d は、光ファイバ 1 d に接続される外部接続用光導波路コア 2 G d b と、内部接続用光導波路コア 2 G d a、2 G d c とを含んでいる。

[0141] さらに、複数の接続用光導波路コア 2 G g は、内部接続用光導波路コア同士を光導波路回路 2 G 内において接続する。本実施の形態では、具体的には、4 つの接続用光導波路コア 2 G g は、内部接続用光導波路コア 2 G a a と 2 G c a とを接続し、内部接続用光導波路コア 2 G a c と 2 G d c とを接続し、内部接続用光導波路コア 2 G b a と 2 G c c とを接続し、内部接続用光導波路コア 2 G b c と 2 G d a とを接続している。なお、接続用光導波路コア 2 G g は、導波路コアが屈曲する部分では曲げ損失が発生しないような曲げ半径で円弧状に曲げられている。

- [0142] 空間光変調器 22 G は、光ファイバ 1 a、1 b、1 c、1 d の配列方向（Y 軸方向）において空間光変調器 22 が 4 つの空間光変調器 22 G a、22 G b、22 G c、22 G d に分割された構成を有する。分割された空間光変調器 22 G a、22 G b、22 G c、22 G d はそれぞれ制御部 23 によって独立に制御される。
- [0143] ここで、図 25 は、図 23 A、B に示す波長選択光スイッチ装置の機能ブロック図である。図 25 に示すように、光スイッチ装置 200 G は、光スイッチ装置 200 と同様に機能する 2×1 の単位波長選択光スイッチ装置 200 G a、200 G b と、 1×2 の単位波長選択光スイッチ装置 200 G c、200 G d とを含むように構成されている 4 in 1 型の光スイッチ装置である。
- [0144] 単位波長選択光スイッチ装置 200 G a は、光導波路コア群 2 G a と、シリンドリカルレンズ 3 と、アナモルフィックプリズムペア 24 と、回折格子 25 と、シリンドリカルレンズ 30、31 と、空間光変調器 22 G のうちの空間光変調器 22 G a と、制御部 23 とを含んで構成されるものである。同様に、単位波長選択光スイッチ装置 200 G b、G c、G d は、それぞれが含む光導波路コア群 2 G b、G c、G d および空間光変調器 22 G b、22 G c、22 G d と、共通のシリンドリカルレンズ 3、アナモルフィックプリズムペア 24、回折格子 25、シリンドリカルレンズ 30、31、および制御部 23 とを含んで構成されている。
- [0145] さらに、光導波路回路 2 G 内において、内部接続用光導波路コア 2 G a a と 2 G c a とが接続され、内部接続用光導波路コア 2 G a c と 2 G d c とが接続され、内部接続用光導波路コア 2 G b a と 2 G c c とが接続され、内部接続用光導波路コア 2 G b c と 2 G d a とが接続されていることによって、 2×2 の波長選択光スイッチ装置として機能する。これにより、たとえば光ファイバ 1 c から信号光 L 6 が入力された場合に、これに含まれる所定の波長の信号光 L 6 a を選択して光ファイバ 1 a から出力させたり、光ファイバ 1 d から信号光 L 7 が入力された場合に、これに含まれる所定の波長の信号

光 $L7a$ を選択して光ファイバ $1b$ から出力させたりすることができる。

[0146] なお、本実施の形態 11 では、一組の構成要素であるシリンドリカルレンズ 3 、アナモルフィックプリズムペア 24 、回折格子 25 、シリンドリカルレンズ 30 、 31 、空間光変調器 22 および制御部 23 を4つの単位波長選択光スイッチ装置 $200Ga$ 、 $200Gb$ 、 $200Gc$ 、 $200Gd$ で共用している。ただし、たとえば上記一組の構成要素を2組備えるようにして、2つの単位波長選択光スイッチ装置 $200Ga$ 、 $200Gb$ が一組の構成要素を共用し、2つの単位波長選択光スイッチ装置 $200Gc$ 、 $200Gd$ が別の一組の構成要素を共用するように構成してもよい。

[0147] なお、上述したように、本発明の実施の形態に係る光コリメータアレイによれば、省スペースにて光のビーム形状のアスペクト比を高くできる。さらに、本発明の実施の形態に係る光コリメータアレイによれば、公知のマイクロレンズアレイを用いた光コリメータアレイ（以下、適宜マイクロレンズ型光コリメータアレイと呼ぶ）に比べ、配列方向におけるピッチ（例えば光コリメータアレイ 10 では、端面 $2f$ における光導波路コア $2a$ 、 $2b$ 、 $2c$ 、 $2d$ の配置間隔）に対する光のスポットサイズ（端面 $2f$ におけるスポットサイズ）を大きくできるので、光スイッチ装置に適用する場合に、光の経路の変更角度（スイッチ角）を小さくすることができる。さらには、光軸ずれに関するトレランスの改善、光スイッチ装置の薄型化を両立できる。

[0148] 具体的には、光コリメータアレイ 10 において、光スイッチ装置に適用する場合に配列方向となる Y 軸方向における光のスポットサイズは大きい方が望ましい。 Y 軸方向における光のスポットサイズが大きい方が、ある光ファイバに結合する光の Y 軸方向での光軸ずれ（光の光軸と結合すべき光ファイバの光軸との光軸ずれ）に対するトレランスが改善するからである。また、光スイッチ装置におけるスイッチ軸方向（ Y 軸方向）の光の広がり角を抑制できるので、光スイッチ装置における光学系（集光レンズ系や空間光変調器など）を薄型化できる。

[0149] たとえば、公知のマイクロレンズ型光コリメータアレイの場合、マイクロ

レンズの有効径 $CA > 2w \times A$ が成り立つ。ここで、 $2w$ はマイクロレンズにおけるビームのスポット半径である。 A は設定パラメータであるが、正常な光の伝播のためには、 A は 2 以上が望ましいが、一般には公差等を考慮して 2.5 程度に設定されている。従って、隣り合うマイクロレンズ間の距離、すなわちコリメータアレイのピッチは、 $4w$ 以上であり、典型的には $5w$ である。

[0150] 一方、本発明者らは、光コリメータアレイ 10 の構成において、ピッチを $127 \mu\text{m}$ 、光導波路コアの端面におけるサイズを $110 \mu\text{m} \times 7 \mu\text{m}$ 、比屈折率差を 0.4% とした試作品を作製したところ。端面における光のスポットサイズを幅方向において $37 \mu\text{m}$ とできることを確認した。この場合、ピッチ p とスポット半径 w との比 (p/w) は 3.43 であり、公知のマイクロレンズ型光コリメータアレイでは実現できない小さな値である。このように、本発明の実施の形態によれば、 p/w を 4 未満にでき、好ましい。

[0151] このように、公知のマイクロレンズ型光コリメータアレイを光入出力ポートとして用いた光スイッチ装置は、ピッチとスポットサイズとが反比例する関係であることにより、たとえばピッチが半減すると、スイッチ角も半減し、低損失になるが、トレランスが低下するので、両者にトレードオフの関係がある。さらには、ピッチを小さくすると、空間光変調器上でのビームスポットサイズが大きくなるので、空間光変調器の大型化による高コスト化、および光学系の厚みの増大を招く。

[0152] 一方、本発明の実施の形態によれば、公知のマイクロレンズ型光コリメータアレイと同一ピッチでもよりスポットサイズを大きくできることから、トレランスの良い光スイッチ装置を実現できる。言い換えると、本発明の実施の形態によれば、公知のマイクロレンズ型光コリメータアレイを光入出力ポートとして用いた光スイッチ装置と同じトレランスで、ピッチがより小さく、低損失な光スイッチ装置を実現できる。

[0153] なお、上記比 p/w については、図 3 の結果をもとに、グラフを直線近似したときの直線の勾配およびコア幅とスポットサイズ半径との関係が、コア

幅/スポットサイズ半径＝ $110/37$ 程度以下になりうること、また、ピッチ/コア幅＝ $127/110$ 程度以下になりうるという試作結果から、4未満という値を実現しうるものであることを確認できる。

[0154] さらに、本発明の実施の形態に係る光コリメータアレイは、コア幅がピッチの75%程度以上100%未満に設定することで、従来のマイクロレンズアレイ型の光コリメータアレイと同等の性能を有しつつより小型化することができる。

[0155] 以下では、本発明の実施の形態として、入力または出力の光のポート数（光ファイバの数）が80以上である光スイッチ装置について説明する。

[0156] （実施の形態12）

図26A、Bは、実施の形態12に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図26Aは光スイッチ装置をX方向で負の向きから見た図であり、図26Bは光スイッチ装置をY方向で正の向きから見た図である。

[0157] 図26A、Bに示すように、光スイッチ装置200Hは、図8A、Bに示す光スイッチ装置200において、光コリメータアレイ10を光コリメータアレイ10Hに置き換えた構成を有する。光コリメータアレイ10Hは、光ファイバアレイ1Hと、光導波路回路2Hと、シリンドリカルレンズ3と、連結部品4とを備えている。

[0158] 光ファイバアレイ1Hは、所定の配列方向（Y軸方向）に配列された81本の光ファイバ1-1、1-2、・・・、1-81と、光ファイバ1-1、1-2、・・・、1-81を配列方向に配列された状態に保持する保持部材とを有している。

[0159] 光導波路回路2Hは、たとえばPLCで構成されており、81本の光導波路コア2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81と、光導波路コア2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81の外周に形成されたクラッド部と、光ファイバアレイ1Hと接続された側とは反対側に位置する端面2Hfとを有している。光導波路コア2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81はそれぞれ、たとえば屈折率を高める材料を添加した石英系ガラスか

らなる。各光導波路コア2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81は内部の屈折率が均一である。また、光導波路コア2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81はそれぞれ光ファイバ1-1、1-2、・・・、1-81に接続している。

[0160] 光導波路コア2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81はそれぞれ、光導波路コア2aと同様に、光ファイバに接続される側から端面2Hfに向かって順次配置された、ストレート部と、テーパ部と、ストレート部とを有している。各部のサイズは光導波路コア2aと同様にできる。

[0161] 連結部品4は、アナモルフィック光学系であるシリンドリカルレンズ3と、光導波路回路2Hとを連結し、一体化するものである。連結部品4を構成する材料は、たとえば石英、ガラス、またはシリンドリカルレンズ3および光導波路回路2Hを構成する材料の熱膨張率に近い熱膨張率を有する材料が望ましい。

[0162] 光が分散する方向であるX方向に光をコリメートするシリンドリカルレンズ3と、光導波路回路2Hとの間の位置精度は高い方が望ましい。光コリメータアレイ10Hでは、連結部品4によりシリンドリカルレンズ3と光導波路回路2Hとを連結し、一体化している。このように、光コリメータアレイ10Hでは、シリンドリカルレンズ3と光導波路回路2Hとがプレアセンブルされている。したがって、光スイッチ装置200Hを組み立てる作業において、公知のマイクロレンズ型光コリメータアレイと同様の使い勝手で、光コリメータアレイ10Hと他の光学部品とのアラインメントを行うことができる。

[0163] この光スイッチ装置200Hは、光スイッチ装置200と同様に動作するが、光コリメータアレイ10Hが81の光ファイバ1-1、1-2、・・・、1-81と光導波路コア2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81とを備えることにより、1×80の波長選択光スイッチ装置として機能する。また、端面2Hfにおける光導波路コア2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81のサイズを110μm×7μm、かつピッチを127μmに

設定することができる。または、サイズを $87\mu\text{m} \times 7\mu\text{m}$ 、かつピッチを $100\mu\text{m}$ に設定することができる。

[0164] なお、光導波路コア $2Ha-1$ 、 $2Ha-2$ 、 $\dots$ 、 $2Ha-81$ のコア幅は、光ファイバ $1-1$ 、 $1-2$ 、 $\dots$ 、 $1-81$ の配置間隔（ピッチ）の 90% 程度の値にすることができる。たとえば、光ファイバ $1-1$ 、 $1-2$ 、 $\dots$ 、 $1-81$ のピッチが $127\mu\text{m}$ の場合、コア幅を $110\mu\text{m}$ にすると、波長選択スイッチ装置として好適な光コリメータアレイとなる。

[0165] また、光導波路コアの光ファイバに接続する側のストレート部の断面形状は、必ずしも SMF のモードフィールド形状に合わせた正方形状でなくてもよい。たとえば、PLC は、光導波路コアの厚さが薄い方が作製しやすい。そのため、光導波路コアとしては、コア幅は SMF のモードフィールド径に合わせて設計し、厚さは、正方形状から薄くすることで増加する損失が、許容される損失増加量の範囲内となるように薄くすることで、製造性のよい光コリメータアレイとすることができる。

[0166] また、光スイッチ装置を組み立てる際のアラインメントを行う場合に、アラインメントを易化させるためのアラインメント用光導波路コアを、波長選択光スイッチ装置において使用する光導波路コアとは別に光導波路回路に設けておいてもよい。たとえば、コア幅がほかの光導波路コアより大きなアラインメント用光導波路コアが、光導波路回路の両端に 1 組あれば、波長選択光スイッチ装置において使用する光導波路コアに比べビームが結合しやすく、アラインメント時間を減らすことができる。

[0167] （実施の形態 13）

図 27A、B は、実施の形態 13 に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図 27A は光スイッチ装置を X 方向で負の向きから見た図であり、図 27B は光スイッチ装置を Y 方向で正の向きから見た図である。

[0168] 図 27A、B に示すように、光スイッチ装置 200Ⅰは、図 8A、B に示す光スイッチ装置 200 において、光コリメータアレイ 10 を光コリメータアレイ 10Ⅰに置き換えた構成を有する。光コリメータアレイ 10Ⅰは、光

コリメータアレイ 101a と、光コリメータアレイ 101b とを備えている。

[0169] 光コリメータアレイ 101a、101b は、いずれも、光コリメータアレイ 10H を構成する光ファイバアレイ 1H と光導波路回路 2H とからなるものである。そして、光コリメータアレイ 101a、101b は、光ファイバ 1-1 ~ 1-81 の配列方向とは垂直の方向（X 軸方向）に並んで設けられている。

[0170] この光スイッチ装置 2001 は、光コリメータアレイ 101 が 162 の光ファイバ 1-1、1-2、・・・、1-81 と光導波路コア 2Ha-1、2Ha-2、・・・、2Ha-81 とを備えることにより、1×160 の波長選択光スイッチ装置として機能することができる。たとえば、図 27B に示すように、波長多重された信号光 L2 が光コリメータアレイ 101a 側の何れかの光ファイバから入力され、回折格子 25 により X 軸方向において信号光 L2a、L2b、L2c に分離され、空間光変調器 22 に到達したとする。このとき、空間光変調器 22 は、制御部 23 による表示画像の制御により、入力された光を XZ 面内でも任意の角度で反射できるように構成されている。これにより、空間光変調器 22 は、信号光 L2a を、光コリメータアレイ 101a 側の何れかの光ファイバに向けて出力することもできるし、L2b のように光コリメータアレイ 101b 側の何れかの光ファイバに向けて出力することもできるように構成されている。すなわち、光スイッチ装置 2001 は、光コリメータアレイ 101a 側の何れかの光ファイバから入力された信号光を、光コリメータアレイ 101a 側の他の 80 本の光ファイバ、および光コリメータアレイ 101b 側の 81 本の光ファイバの何れかから出力させることができる。これにより、光スイッチ装置 2001 は、1×160 の波長選択光スイッチ装置として機能することができる。

[0171] なお、本発明の実施の形態に係る光コリメータアレイの特徴の一つに、Y 軸方向（配列方向または光スイッチ装置におけるスイッチ軸方向の設計自由度が挙げられる。図 21A、B、図 22A、B に実施の形態 10 として示し

た通り、光導波路コア群に角度オフセットを与えることで、 $N \times 1$ 型の波長選択光スイッチ装置を容易に構築することができる。

[0172] また、図23A、B～図25に示した通り、光導波路コア同士を光導波路回路内において接続することで $1 \times 2 \sim 4 \times 1$ 型の波長選択光スイッチ装置によって 2×2 の波長選択光スイッチ装置を構築することができる。なお、 $1 \times N$ の波長選択光スイッチ装置を $2N \times 1$ 型にすることで、 $N \times N$ の波長選択光スイッチ装置を構築することができるのは明らかである。この時、光導波路コア群に角度オフセットを与えられるという、本発明の実施の形態に係る光コリメータアレイの特徴を生かすことで、 N の大きな $N \times N$ の波長選択光スイッチ装置に好適な構成をとることができる。

[0173] (実施の形態14)

図28A、Bは、実施の形態14に係る光スイッチ装置の模式的な構成図である。図28Aは光スイッチ装置をX方向で負の向きから見た図であり、図28Bは光スイッチ装置をY方向で正の向きから見た図である。

[0174] 図28A、Bに示すように、光スイッチ装置200Jは、図21A、Bに示す光スイッチ装置200Fにおいて、光コリメータアレイ10Fを光コリメータアレイ10Jに置き換え、シリンドリカルレンズ30、31からなる集光レンズ系を集光レンズ系21に置き換え、シリンドリカルレンズ3と回折格子25との間に集光レンズ系32を配置した構成を有する。なお、集光レンズ系32は1枚のレンズで構成されていてもよいし、複数枚のレンズで構成されていてもよい。

[0175] この光スイッチ装置200Jは、光スイッチ装置200Fと同様に、単位波長選択光スイッチ装置が集積された、いわゆる $N \times 1$ 型の光スイッチ装置として機能する。

[0176] 光コリメータアレイ10Jは、光ファイバアレイ1Jと、光導波路回路2Jとを備えている。光ファイバアレイ1Jは、所定の配列方向（Y軸方向）に配列された、それぞれ161本の光ファイバからなる光ファイバ群1Ja、1Jbと、光ファイバ群1Ja、1Jbを配列方向に配列された状態に保

持する保持部材とを有している。

[0177] 光導波路回路 2 J は、たとえば PLC で構成されており、それぞれ 161 本の光導波路コアからなる光導波路コア群 2 J a、2 J b と、光導波路コア群 2 J a、2 J b の外周に形成された、各光導波路コアよりも屈折率が低いクラッド部と、光ファイバアレイ 1 J と接続された側とは反対側に位置する端面 2 J f とを有している。

[0178] 光導波路コア群 2 J a、2 J b を構成する各光導波路コア 2 J a-1、
・
・
・、2 J a-m、
・
・
・、2 J a-161、2 J b-1、
・
・
・、2 J b-m、
・
・
・、2 J b-161 は、光コリメータアレイ 10 の光導波路コア 2 a と同様にストレート部、テーパ部およびストレート部を有する。ここで、m は 2 ~ 161 の何れかの整数である。端面 2 J f における各光導波路コアのサイズは例えば $110\ \mu\text{m} \times 7\ \mu\text{m}$ であり、ピッチは $127\ \mu\text{m}$ である。光導波路コア群 2 J a、2 J b を構成する各光導波路コアは、光ファイバ群 1 J a、1 J b を構成する各光ファイバに接続している。

[0179] また、光導波路コア群 2 J a の光導波路コア 2 J a-1、
・
・
・、2 J a-161 は、それぞれ角度オフセットを有するように、放射状に配置されている。同様に、光導波路コア群 2 J b の光導波路コア 2 J b-1、
・
・
・、2 J b-161 は、それぞれ角度オフセットを有するように、放射状に配置されている。光導波路コア 2 J a-1、
・
・
・、2 J a-161 は、光ファイバアレイ 1 J 側に伸ばしたとすると、点 P4 で交差するように配置されている。光導波路コア 2 J b-1、
・
・
・、2 J b-161 は、光ファイバアレイ 1 J 側に伸ばしたとすると、点 P5 で交差するように配置されている。

[0180] 点 P4、P5 は、集光レンズ系 32 から焦点距離 f_1 だけ離間した位置にある。また、回折格子 25 は、集光レンズ系 32 から焦点距離 f_1 だけ離間した位置にある。さらに、回折格子 25 は、集光レンズ系 21 から焦点距離 f_2 だけ離間した位置にある。さらに、空間光変調器 22 F は、集光レンズ系 21 から焦点距離 f_2 だけ離間した位置にある。これにより、光スイッチ装置 200 J では、集光光学系としての集光レンズ系 21、32 によりテレ

セントリック光学系が形成されている。従って、点P4、P5は、光コレメータアレイ10J側における光学系の略焦点面にある。なお、このようにテレセントリック光学系を形成するための集光光学系は、レンズに限らず、ミラーでもよい。

[0181] ここで、光スイッチ装置200Jは、 1×160 の2つの単位波長選択光スイッチ装置200Ja、200Jbを含むように構成されている。単位波長選択光スイッチ装置200Jaは、光導波路コア群2Jaと、シリンダリカルレンズ3と、集光レンズ系32と、回折格子25と、集光レンズ系21と、空間光変調器22Fのうちの空間光変調器22Faと、制御部23とを含んで構成されるものである。一方、単位波長選択光スイッチ装置200Jbは、光導波路コア群2Jbと、シリンダリカルレンズ3と、集光レンズ系32と、回折格子25と、集光レンズ系21と、空間光変調器22Fのうちの空間光変調器22Fbと、制御部23とを含んで構成されている。上述したように、空間光変調器22Fa、22Fbはそれぞれ制御部23によって独立に制御される。

[0182] このように、光スイッチ装置200Jは、シリンダリカルレンズ3、集光レンズ系32、回折格子25、集光レンズ系21および制御部23を共通の構成としつつ、互いに異なる光導波路コア群2Jaおよび空間光変調器22Faと、光導波路コア群2Jbおよび空間光変調器22Fbとで構成される2つの単位波長選択光スイッチ装置200Ja、200Jbを含む2in1型の光スイッチ装置である。なお、図28Aでは、光導波路コア2Ja-1、2Ja-m、2Ja-161から出力された信号光L10、L11、L12を示しているが、信号光L10、L11、L12はテレセントリック光学系の作用により空間光変調器22Faに集光される。なお、このようにテレセントリック光学系の採用により、空間光変調器22Ja、22Jb上に集光される光のスポットサイズを小さくしやすい。このような特徴は、空間光変調器22Fを2つの領域に分割する必要がある2in1構成にとって好都合である。さらに、空間光変調器22FをNの領域に分割する必要があるN

i n 1 構成にとって、N が大きいほどより好都合である。

[0183] なお、テレセントリック光学系を備えた光スイッチ装置 200 J を用いて、実施の形態 11 の場合と同様に、光導波路コア群を、光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに接続される外部接続用光導波路コアと、他の光導波路コア群の導波路コアに接続される内部接続用光導波路コアとを含むように構成し、光導波路回路を、異なる光導波路コア群に含まれる内部接続用光導波路コア同士を当該光導波路回路内において接続する複数の接続用光導波路コアを有するように構成してもよい。

[0184] ところで、0 次のガウシアンビームの広がり角 θ は以下の数式で求めることができる。

$$\theta = \text{Arctan} (\lambda / (\pi \omega))$$

λ : 波長

ω : ビームウエストにおけるスポットサイズ

よって、ある波長において、広がり角とビームウエストにおけるスポットサイズは 1 対 1 で対応する。したがって、光コリメータアレイから出力した光の伝搬距離 z におけるスポットサイズ $\omega(z)$ を数点測定すれば、広がり角 θ を計算できる。さらに広がり角 θ からビームウエストにおけるスポットサイズを逆算できる。また、 $\omega(z) = 0$ になる z を外挿により求めれば、そこがビームウエストの存在する位置になり、光コリメータアレイの端面（たとえば光コリメータアレイ 10 の場合は端面 2 f）と略一致する。

[0185] つぎに、ビームプロファイラを用いたビーム径の測定方法の一例を図 29 に示す。まず、光コリメータアレイ 10 から出力した信号光 L1 に対して、ビームプロファイラの設置位置を P11、12、13、14 と変化させ、すなわち z を変化させて信号光 L1 のビーム B10 の強度分布を測定する。つぎに、ビーム強度分布上で、強度のピークの $1/e^2$ のプロット ($\omega(z)$) を取ることで、広がり角 θ を算出できる。つぎに、広がり角 θ を用いて、上述した定義式からビームウエスト径が算出できる。さらに、 $\omega(z)$ のプロットを外挿することで、ビームウエスト位置が算出できる。なお、本発明者らが光

コリメータアレイ 10 を試作した、測定を行ったところ、算出したビームウェスト位置が、光コリメータアレイ 10 の端面 2 f の位置と略一致することを確認した。

[0186] なお、上記実施の形態では回折格子を透過型としたが、本発明はこれに限らず、反射型の回折格子を用いてもよい。また、回折格子の代わりにたとえば分散プリズムなどの他の光分散素子を用いてもよい。

[0187] また、上記実施の形態において、光ファイバアレイの光ファイバは等間隔で配列してもよいし、不等間隔で配列してもよい。光ファイバを不等間隔で配列した場合は、空間光変調器 22 の多重反射で発生した高次の回折光が意図した光ファイバ以外の光ファイバに結合することが抑制されるので、光スイッチ装置のクロストーク特性が向上する。

[0188] また、上記実施の形態は、光コリメータアレイを光スイッチ装置に適用するものであるが、光スイッチ装置以外にも例えば波長ブロッカーや波形整形器等の光操作装置にも利用することができる。

[0189] 波長ブロッカーは、入力された WDM 信号光のなかの特定の波長成分を有する信号光のみを出力し、その他の波長成分を有する信号光を遮断する機能を持つ光操作装置である。また、波形整形器は、入力された光の各波長成分の強度や位相を制御することでスペクトルの形状や光パルスの時間波形を制御する機能を持つ光操作装置である。

[0190] また、上記実施の形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせる構成したものも本発明に含まれる。たとえば、実施の形態 3 における空間光変調器 22 をフレネルレンズとして機能させる制御を他の実施の形態において行ってもよい。また、さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。よって、本発明のより広範な態様は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

産業上の利用可能性

[0191] 以上のように、本発明に係る光コリメータアレイおよび光スイッチ装置は

、主に光通信用に利用して好適なものである。

符号の説明

- [0192] 1、1 F、1 G、1 H、1 J 光ファイバアレイ
 1 F a、1 F b、1 J a、1 J b 光ファイバ群
 1 a、1 b、1 c、1 d、1-1～1-81 光ファイバ
 1 e、1 F e 保持部材
 2、2 A、2 B、2 F、2 G、2 H、2 J 光導波路回路
 2 a、2 b、2 c、2 d、2 A b、2 A c、2 B b、2 B c、2 H a-1
 ～2 H a-81、2 J a-1～2 J a-161、2 J b-1～2 J b-161
 1 光導波路コア
 2 a a、2 a c、2 A b a、2 A b c、2 B b a、2 B b c ストレート部
 2 a b、2 A b b、2 B b b テーパー部
 2 A b d、2 B b d 偏波分離部
 2 e、2 A e、2 B e、2 F e、2 G e クラッド部
 2 f、2 A f、2 B f、2 F f、2 G f、2 H f、2 J f 端面
 2 B b e、2 B b f 出力部
 2 F a、2 F b、2 G a、2 G b、2 G c、2 G d、2 J a、2 J b 光導波路コア群
 2 G a a、2 G a c、2 G b a、2 G b c、2 G c a、2 G c c、2 G d a、2 G d c 内部接続用光導波路コア
 2 G a b、2 G b b、2 G c b、2 G d b 外部接続用光導波路コア
 2 G g 接続用光導波路コア
 3、3 A シリンドリカルレンズ
 3 A a 接合面
 3 A b レンズ面
 4 連結部材
 10、10 A、10 B、10 B a、10 B b、10 C、10 D、10 E、

10F、10G、10H、10I、10Ia、10Ib、10J 光コリメ
ータアレイ

21、32 集光レンズ系

22、22F、22G、22Fa、22Fb、22Ga、22Gb、22
Gc、22Gd 空間光変調器

22a シリコン基板

22b 画素電極群

22c 液晶層

22d 配向膜

22e ITO電極

22f カバーガラス

22g 光入射層

22h、22i 領域

23 制御部

24 アナモルフィックプリズムペア

25 回折格子

26 $1/2$ 波長板

27 シリンドリカルレンズ

28 $(1+2n)/4$ 波長板

29 偏波分離素子

30、31 シリンドリカルレンズ

100、200、200A、200B、200C、200D、200E、
200F、200G、200H、200I、200J 光スイッチ装置

200Fa、200Fb、200Ga、200Gb、200Gc、200
Gd、200Ja、200Jb 単位波長選択光スイッチ装置

請求の範囲

[請求項1]

所定の配列方向に配列された複数の光ファイバと、
前記複数の光ファイバのそれぞれに接続された複数の光導波路コアと、前記複数の光導波路コアの外周に形成された、前記複数の光導波路コアよりも屈折率が低いクラッド部とを有する光導波路回路と、
を備え、
前記各光導波路コアは、前記各光ファイバから入力された光の進行方向に沿って、前記配列方向における光導波路コアの幅が拡大するテーパ部を有しており、かつ
前記各光が前記各光導波路コアの端面から出力する際に、ビームの広がり角度について前記配列方向における広がり角度よりも前記配列方向とは垂直方向における広がり角度が大きくなり、
前記各光導波路コアの端面における各光の前記配列方向でのスポットサイズ半径が、前記各光ファイバにおける各光のモードフィールド半径よりも大きくなる
ように構成されている
ことを特徴とする光コリメータアレイ。

[請求項2]

前記各光導波路コアの端面から出力した各光のビームウエストが前記各光導波路コアの略端面に位置することを特徴とする請求項1に記載の光コリメータアレイ。

[請求項3]

前記各光導波路コアの端面から出力した各光のビームウエストが前記各光導波路コアの端面に位置し、前記各光のビームウエストにおける前記配列方向でのスポットサイズ半径 w と、前記配列方向の前記光導波路コアの端面におけるピッチ p との比 p/w が4未満であることを特徴とする請求項1に記載の光コリメータアレイ。

[請求項4]

前記各光導波路コアの端面における各光の前記配列方向でのスポットサイズ半径は $25\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項3に記載の光コリメータアレイ。

- [請求項5] 前記各光導波路コアの幅は $250\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項4に記載の光コリメータアレイ。
- [請求項6] 前記各光導波路コアは内部の屈折率が均一であることを特徴とする請求項5に記載の光コリメータアレイ。
- [請求項7] 前記各光導波路コアの端面において、少なくとも2つの光導波路コアの配列方向における光の出射角度が互いに異なることを特徴とする請求項3に記載の光コリメータアレイ。
- [請求項8] 前記光導波路回路の前記各光導波路コアの端面側に配置され、前記複数の光導波路コアの配列方向とは垂直方向においてのみ前記光のビーム径を変換するアナモルフィック光学系をさらに備えることを特徴とする請求項6に記載の光コリメータアレイ。
- [請求項9] 前記アナモルフィック光学系と、前記光導波路回路とを連結し、一体化する連結部品をさらに備えることを特徴とする請求項8に記載の光コリメータアレイ。
- [請求項10] 前記各光導波路コアの端面から出力する前記各光が略シングルモードであることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の光コリメータアレイ。
- [請求項11] 前記各光導波路コアは、前記各光を互いに直交する偏波成分の光に分離する偏波分離機能を有することを特徴とする請求項1～10のいずれか一つに記載の光コリメータアレイ。
- [請求項12] 請求項8に記載の光コリメータアレイと、
前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバから入力した光を前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに向けて出力する空間光変調器と、
前記光コリメータアレイと前記空間光変調器との間に配置され、前記光コリメータアレイと前記空間光変調器とを光学的に結合させる集光レンズ系と、
を備えることを特徴とする光スイッチ装置。

- [請求項13] 請求項8に記載の光コリメータアレイと、
前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバから入力した光を
前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに向けて出力する空間光変調器と、
前記アナモルフィック光学系と前記空間光変調器との間に配置され、
前記光コリメータアレイと前記空間光変調器とを光学的に結合させる集光レンズ系と、
前記アナモルフィック光学系と前記集光レンズ系との間に設けられ、
前記光ファイバから入力した光を前記配列方向とは垂直方向に分光する波長分散素子と、
を備え、前記アナモルフィック光学系は、前記配列方向とは垂直方向にのみ前記光のビーム径を変換することを特徴とする光スイッチ装置。
- [請求項14] 前記空間光変調器は、2次元配列された複数の位相変調素子を有しており、
前記配列方向にフレネルレンズ状の位相変調を形成し、該形成した位相変調による回折光を前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバへ結合することを特徴とする請求項13に記載の光スイッチ装置。
- [請求項15] 請求項3に記載の光コリメータアレイと、
前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバから入力した光を
前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに向けて出力する空間光変調器と、
前記アナモルフィック光学系と前記空間光変調器との間に配置され、
前記光コリメータアレイと前記空間光変調器とを光学的に結合させる集光レンズ系と、
を備え、
前記光コリメータアレイの前記複数の光導波路コアは、複数の光導

波路コアからなる複数の光導波路コア群を構成しており、

前記複数の光導波路コアは、前記光導波路コア群内では光の出力方向が同じであるとともに前記光導波路コア群間では光の出力方向が互いに異なり、

当該光スイッチ装置は、前記各光導波路コア群をそれぞれ含む単位光スイッチ装置を複数含むように構成されていることを特徴とする光スイッチ装置。

[請求項16] 前記光導波路コア群は、前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに接続される外部接続用光導波路コアと、他の光導波路コア群の導波路コアに接続される内部接続用光導波路コアとを含み、

前記光導波路回路は、異なる光導波路コア群に含まれる内部接続用光導波路コア同士を当該光導波路回路内において接続する複数の接続用光導波路コアを有することを特徴とする請求項15に記載の光スイッチ装置。

[請求項17] 請求項3に記載の光コリメータアレイと、

前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバから入力した光を前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに向けて出力する空間光変調器と、

前記アナモルフィック光学系と前記空間光変調器との間に配置され、前記光コリメータアレイと前記空間光変調器とを光学的に結合させる集光レンズ系と、

を備え、

前記光コリメータアレイの前記複数の光導波路コアは、複数の光導波路コアからなる複数の光導波路コア群を構成しており、

前記集光光学系は偶数枚のレンズまたはミラーからなるテレセントリック光学系であり、

前記複数の光導波路コア群のそれぞれに含まれる各光導波路コアは、該各光導波路コアを前記複数の光ファイバ側に伸ばしたとすると、

前記光コリメータアレイ側における前記光学系の略焦点面の位置にて交差するように配置されており、

当該光スイッチ装置は、前記各光導波路コア群をそれぞれ含む単位光スイッチ装置を複数含むように構成されていることを特徴とする光スイッチ装置。

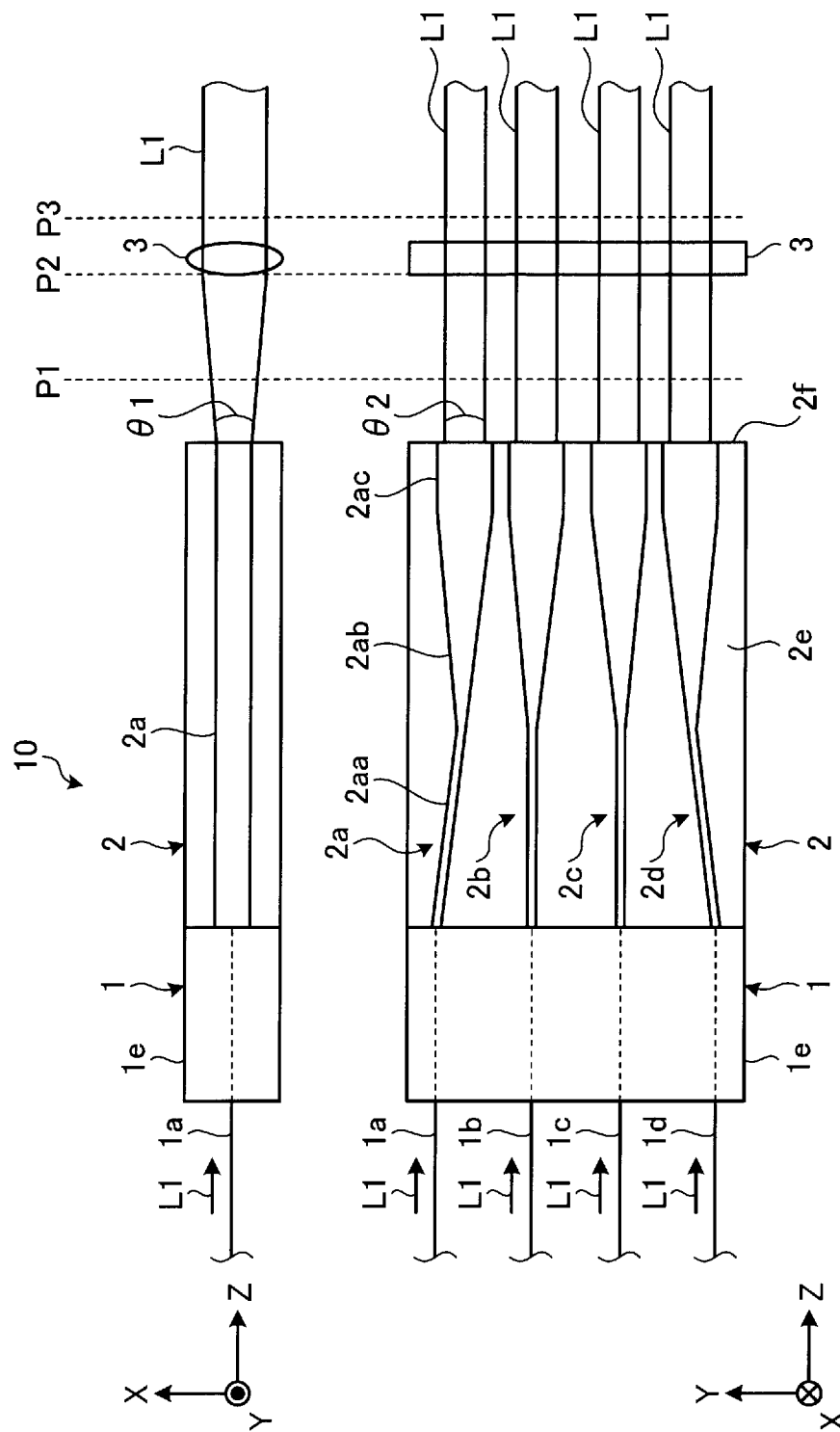
[請求項18] 前記光導波路コア群は、前記光コリメータアレイのいずれかの光ファイバに接続される外部接続用光導波路コアと、他の光導波路コア群の導波路コアに接続される内部接続用光導波路コアとを含み、

前記光導波路回路は、異なる光導波路コア群に含まれる内部接続用光導波路コア同士を当該光導波路回路内において接続する複数の接続用光導波路コアを有することを特徴とする請求項17に記載の光スイッチ装置。

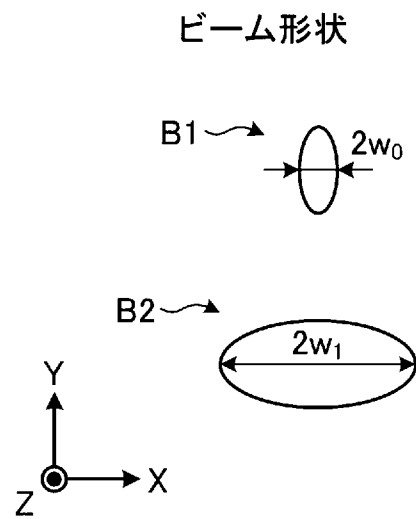
[請求項19] 前記複数の単位光スイッチ装置の数は8以上であることを特徴とする請求項17に記載の光スイッチ装置。

[請求項20] 前記複数の光ファイバの数は80以上であることを特徴とする請求項14に記載の光スイッチ装置。

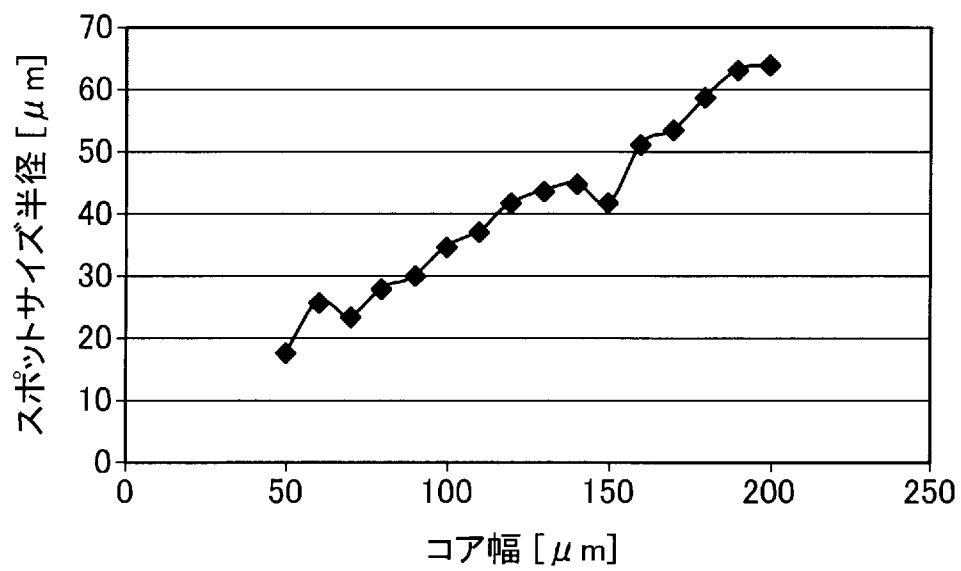
[図1]



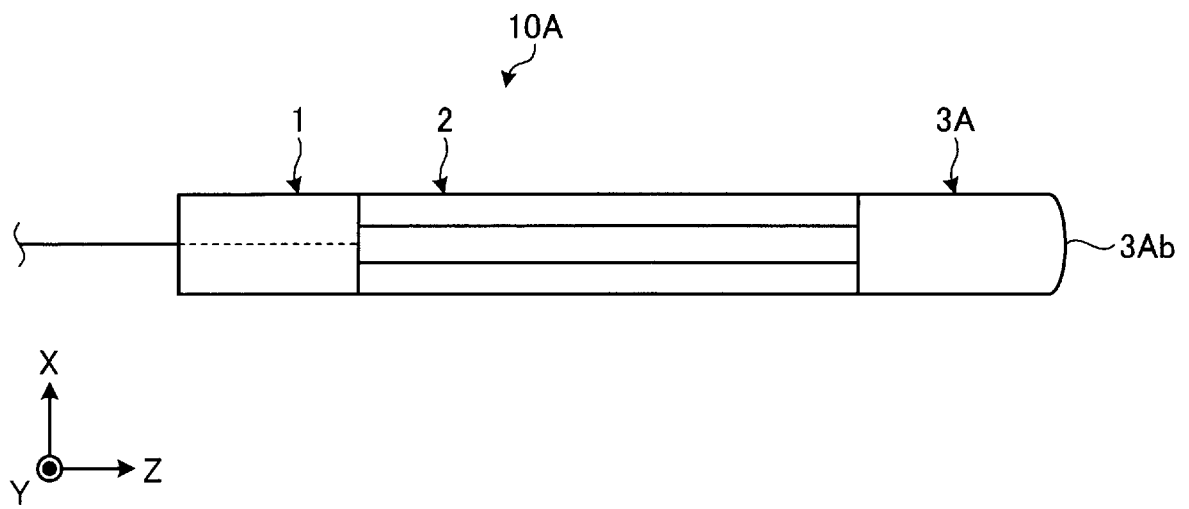
[図2]



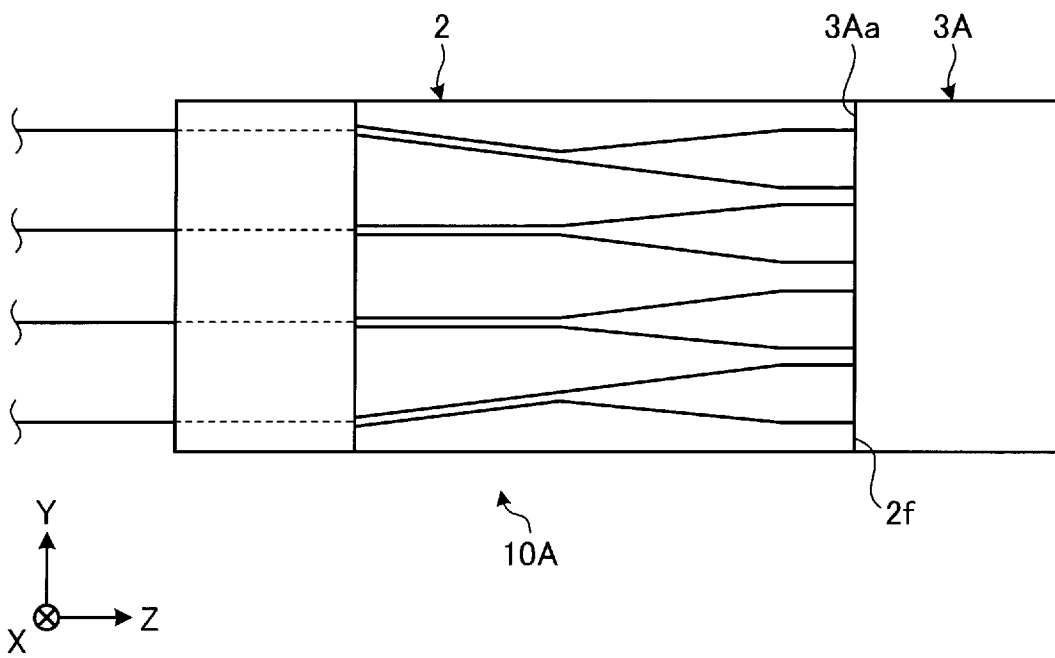
[図3]



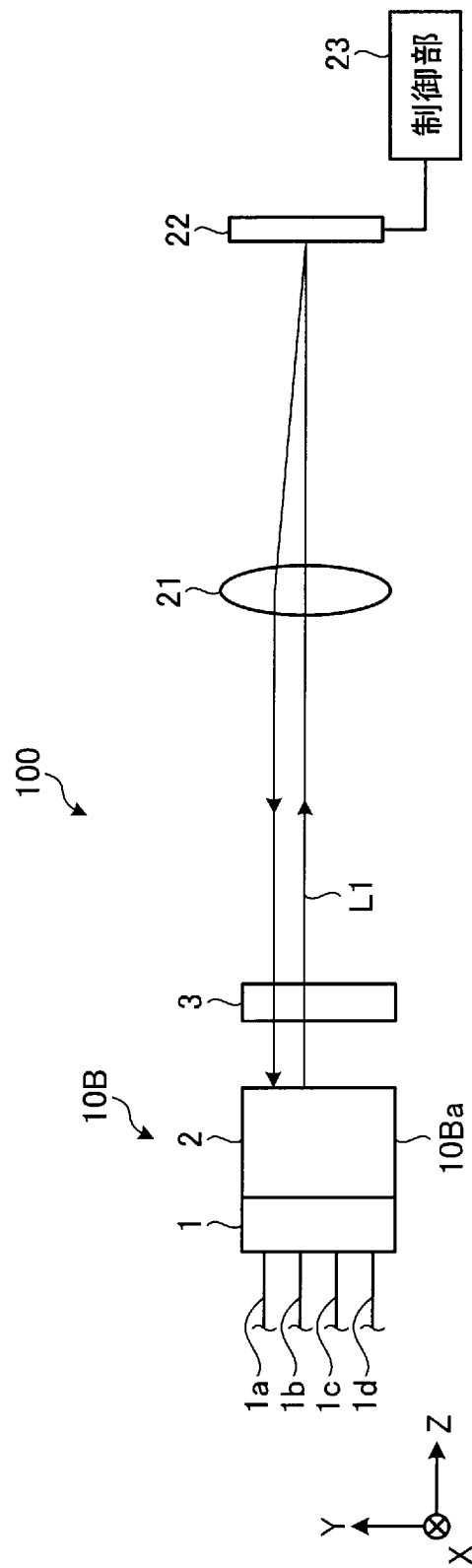
[図4A]



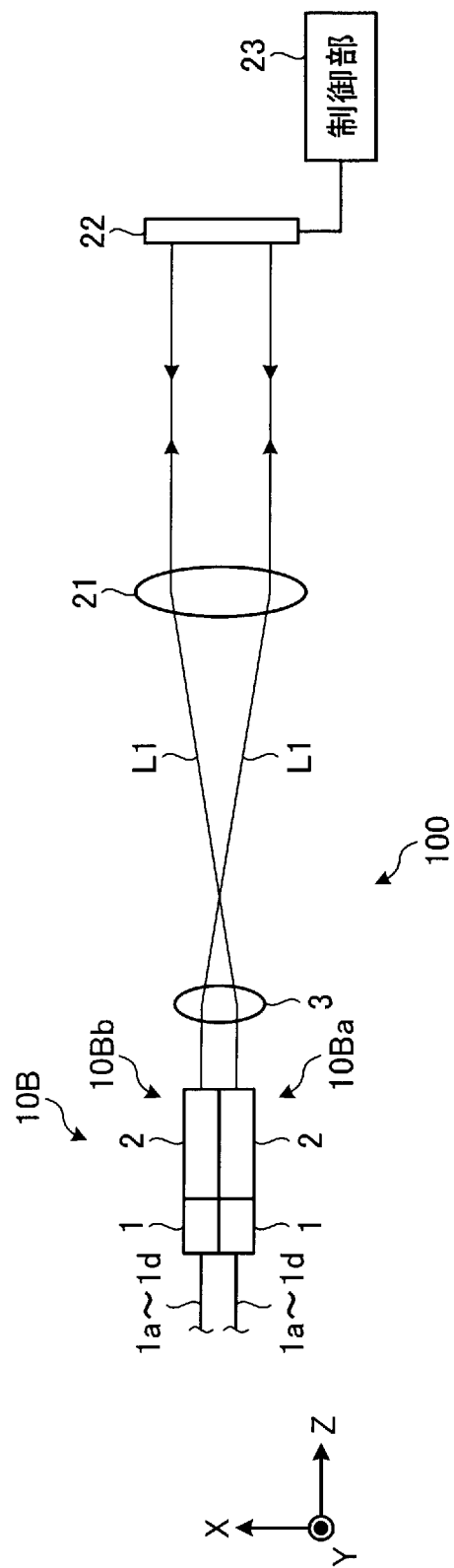
[図4B]



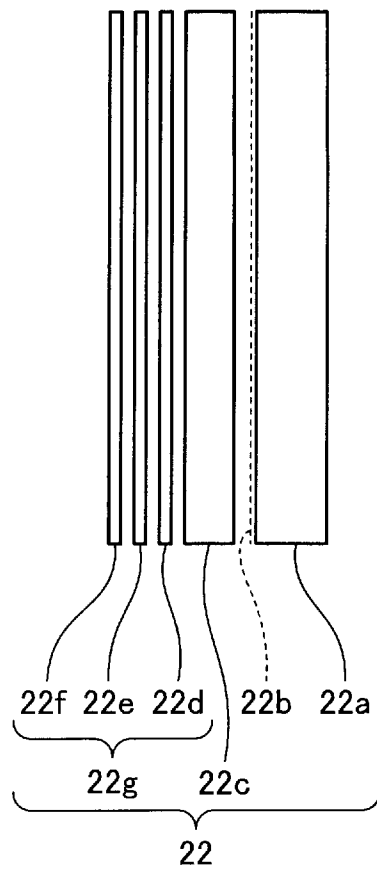
[図5A]



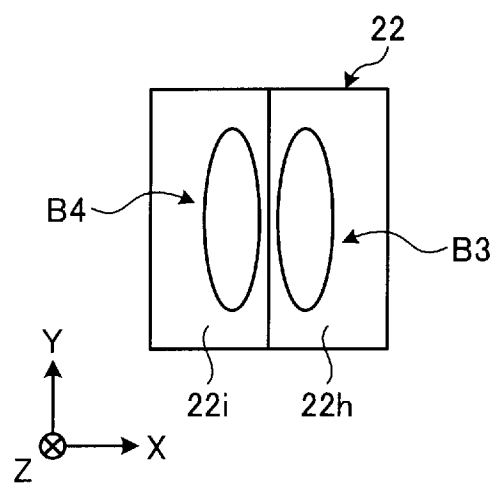
[図5B]



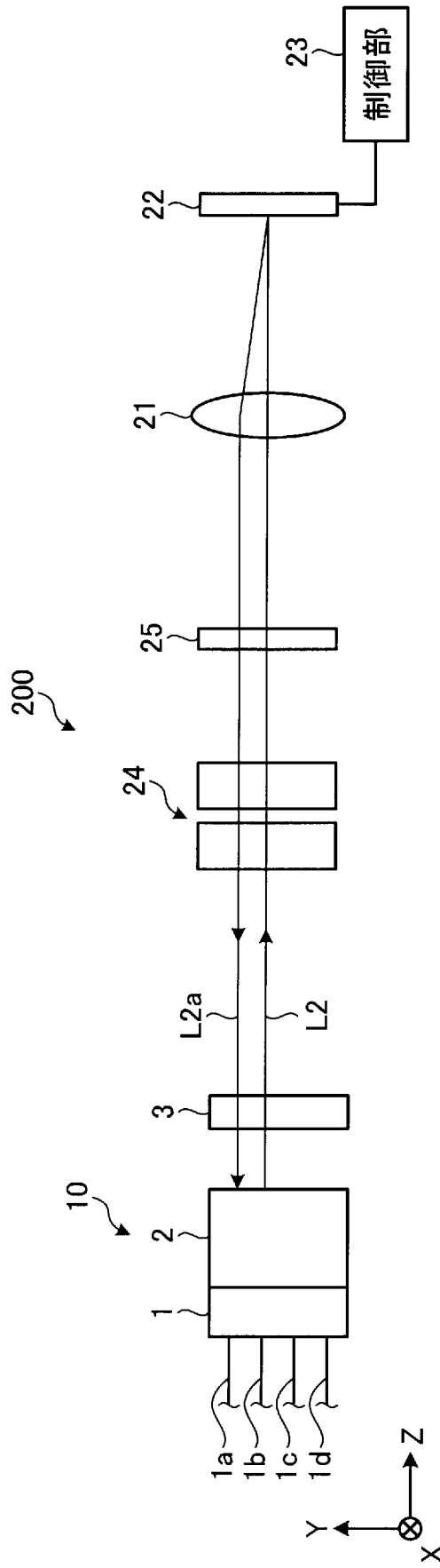
[図6]



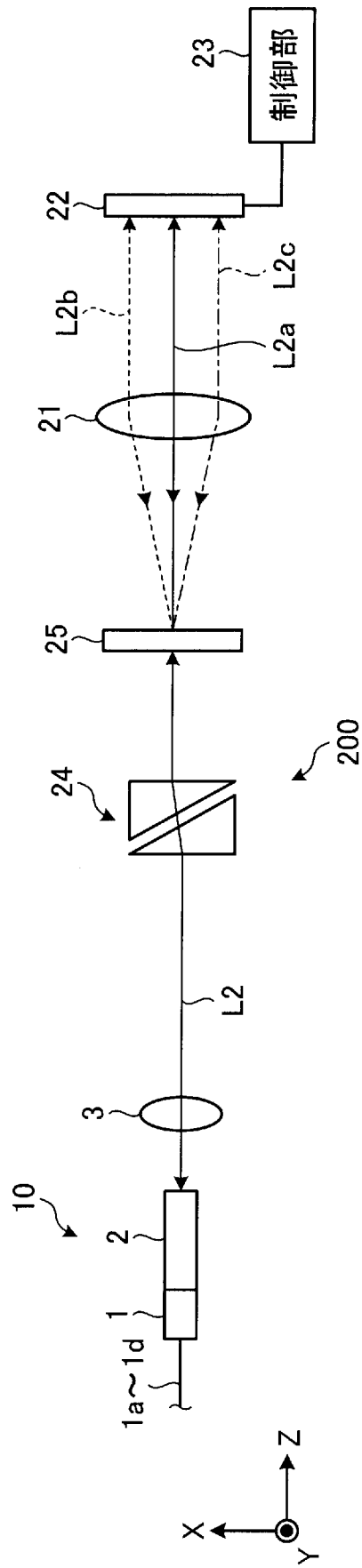
[図7]



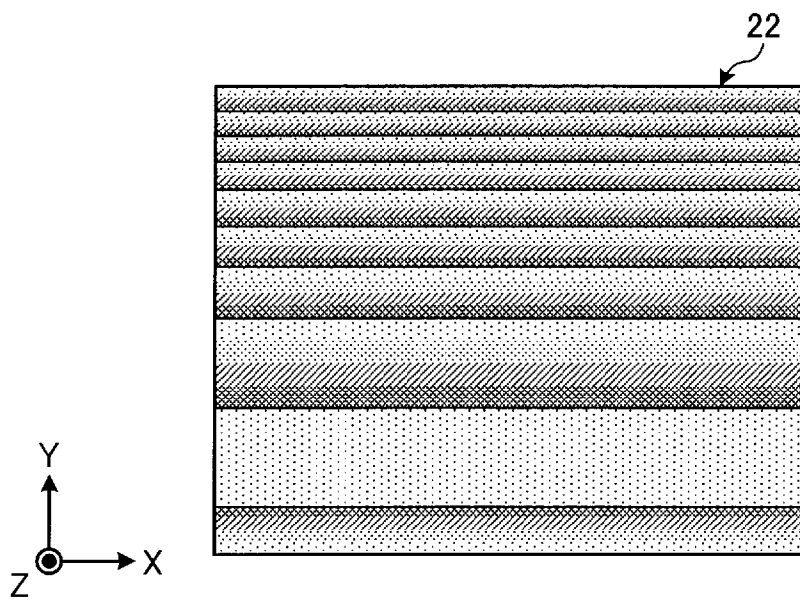
[図8A]



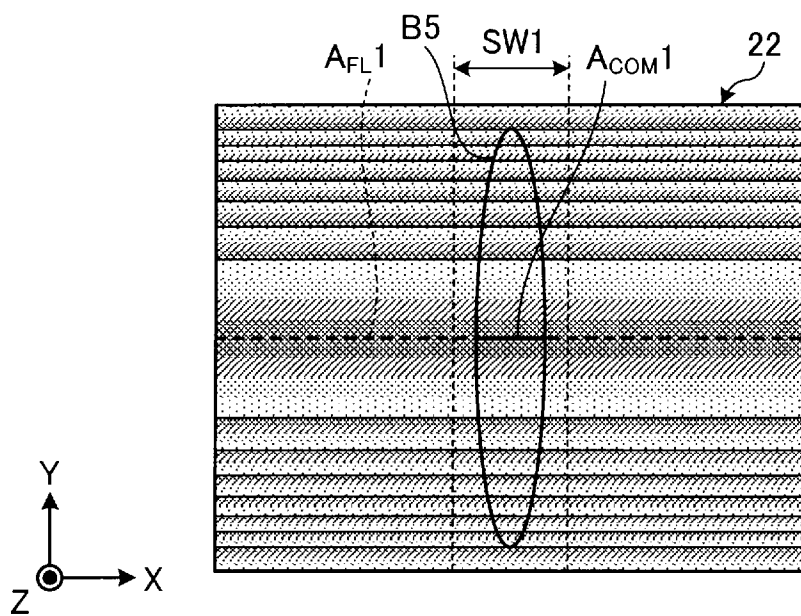
[図8B]



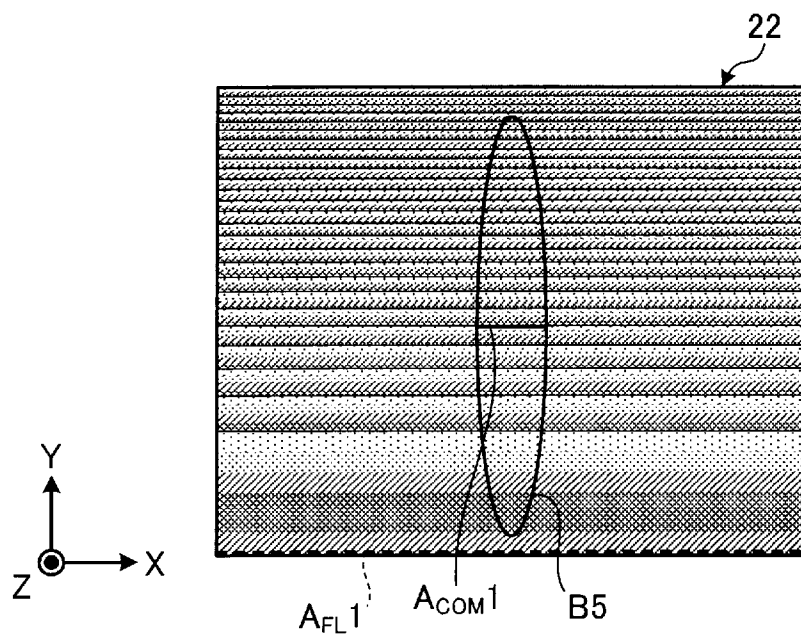
[図9]



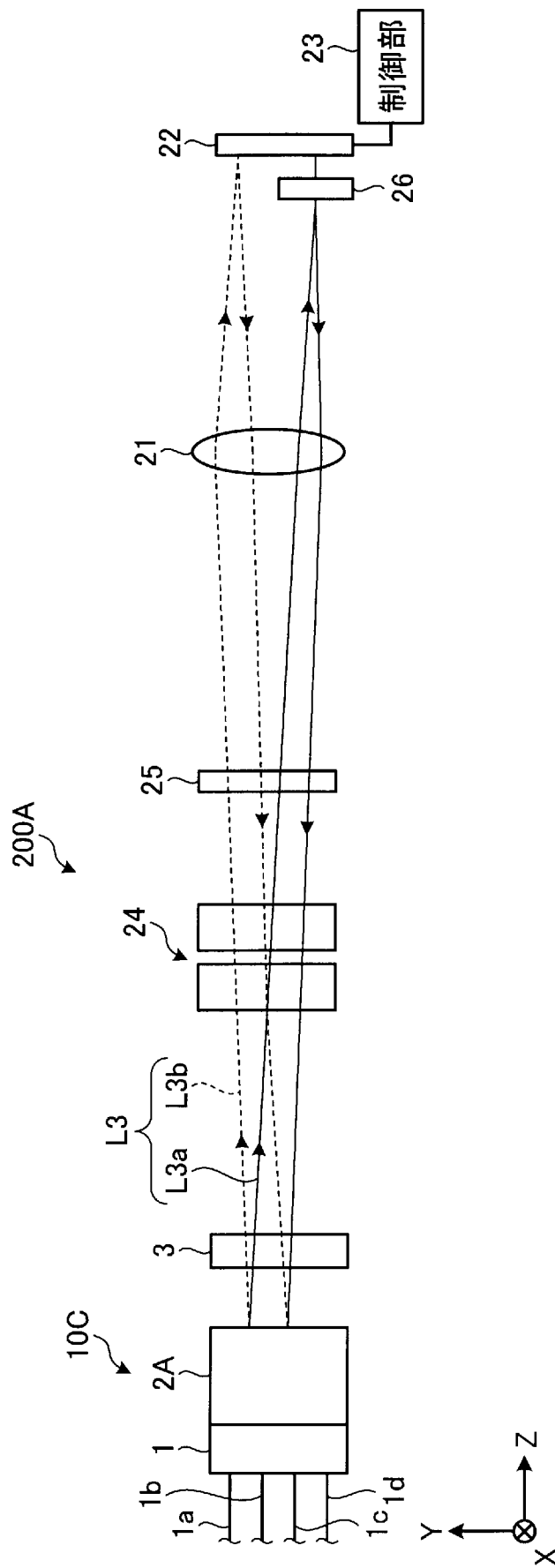
[図10]



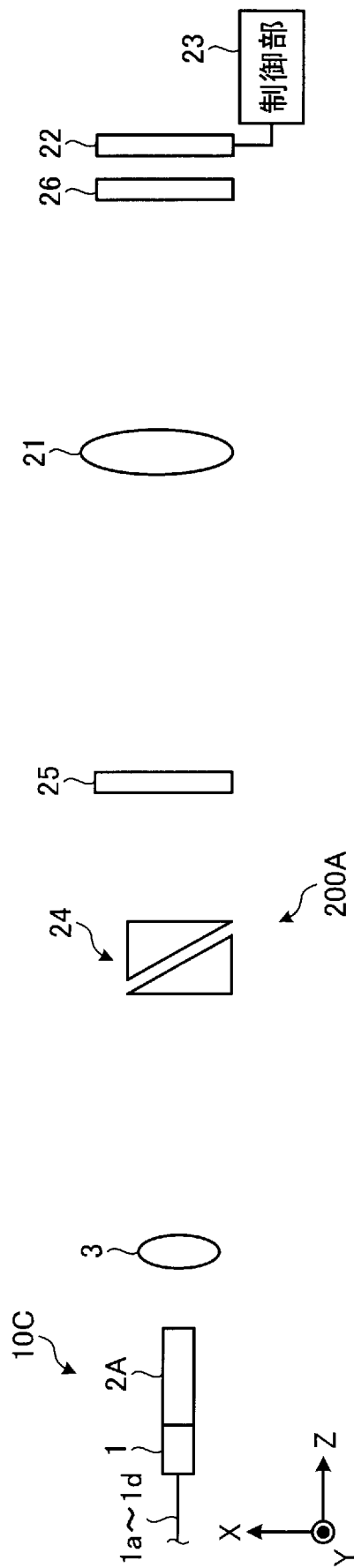
[図11]



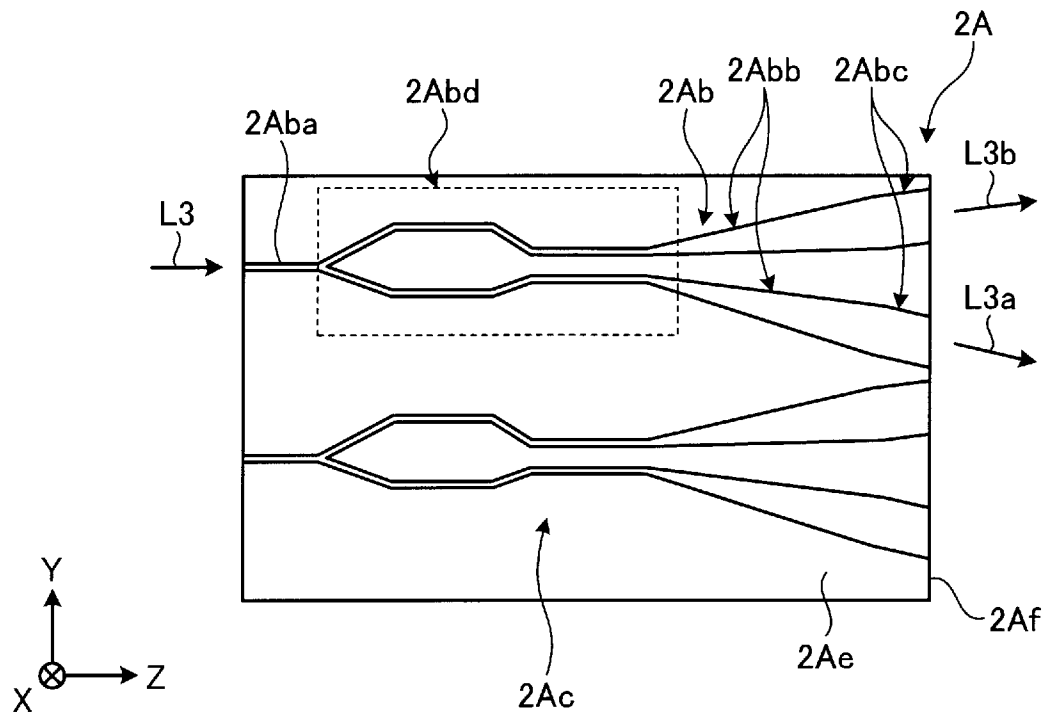
[図12A]



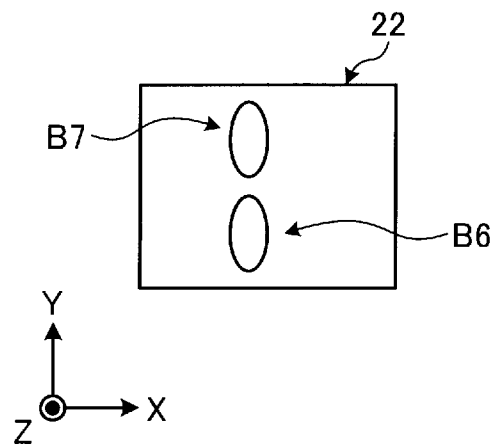
[図12B]



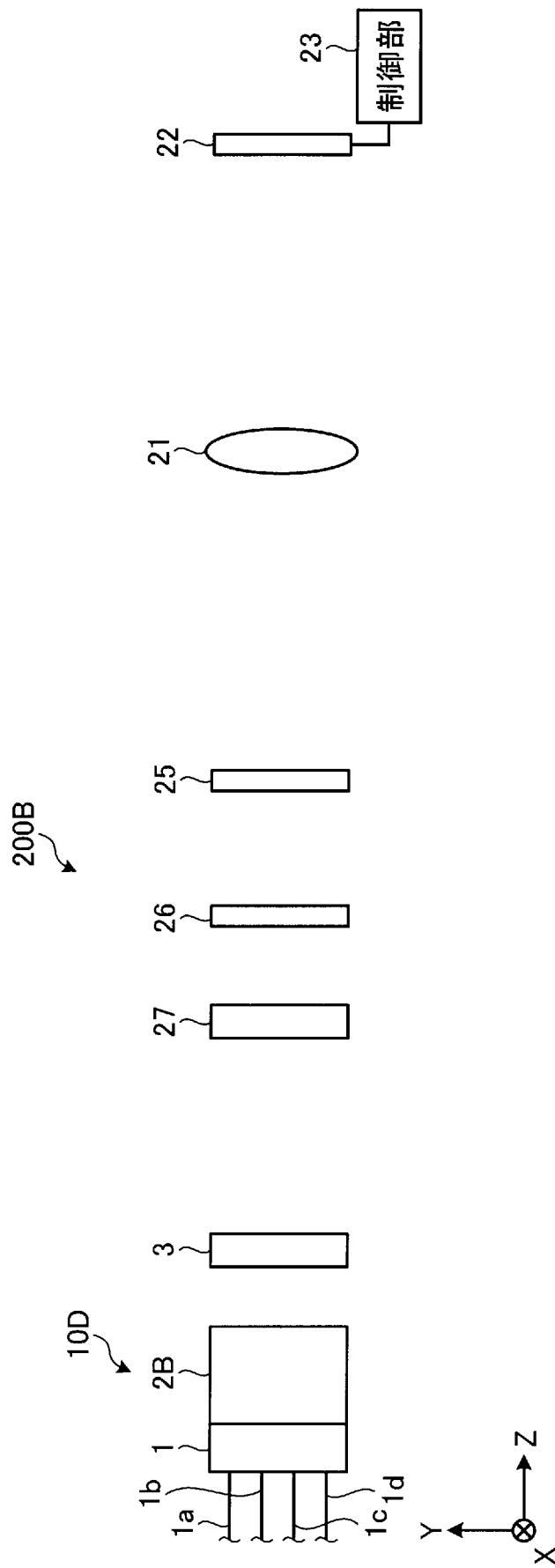
[図13]



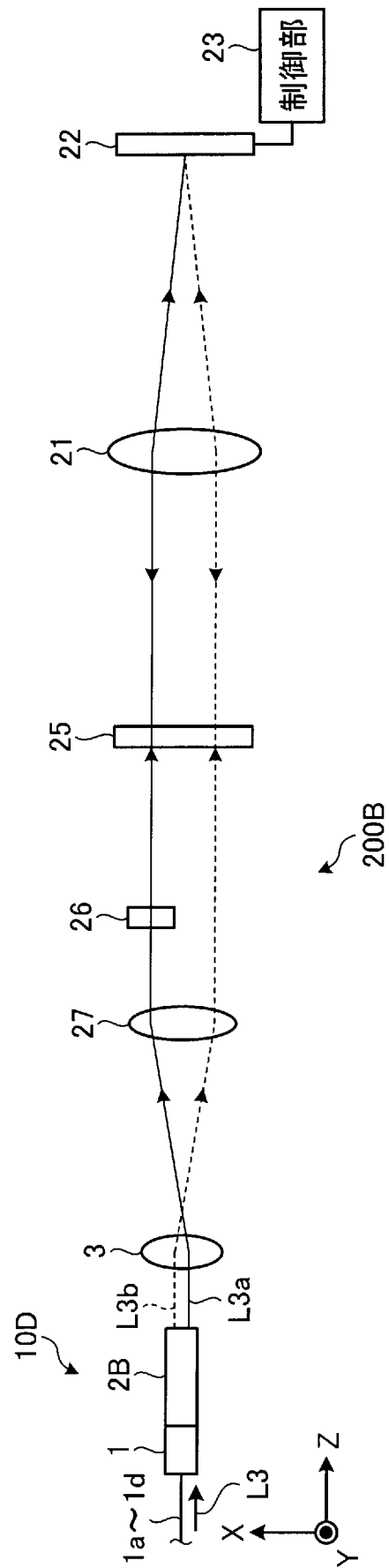
[図14]



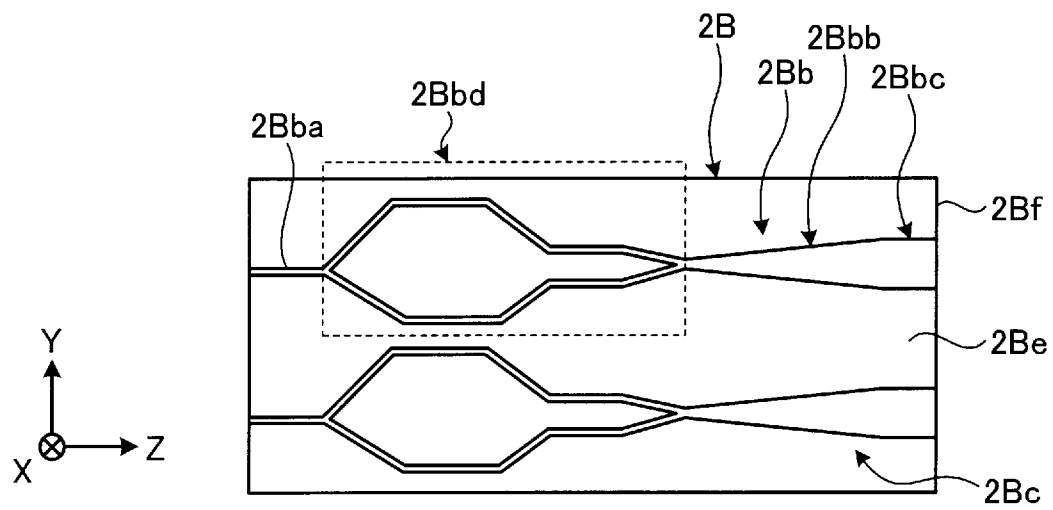
[図15A]



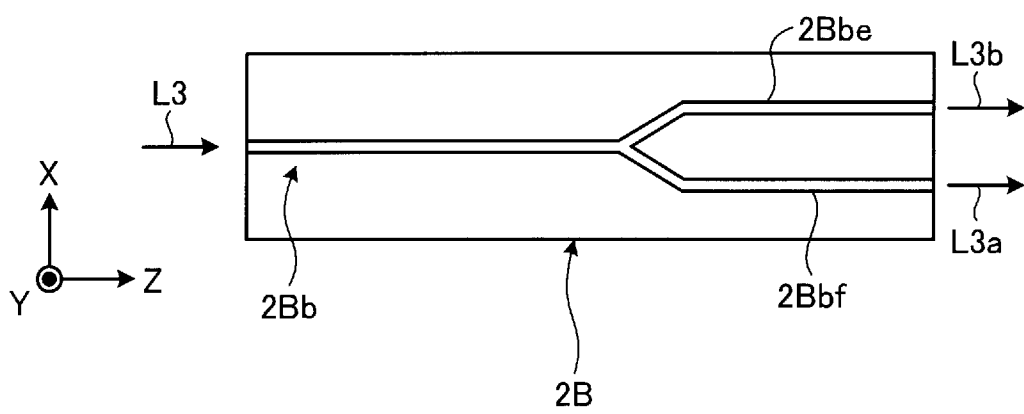
[図15B]



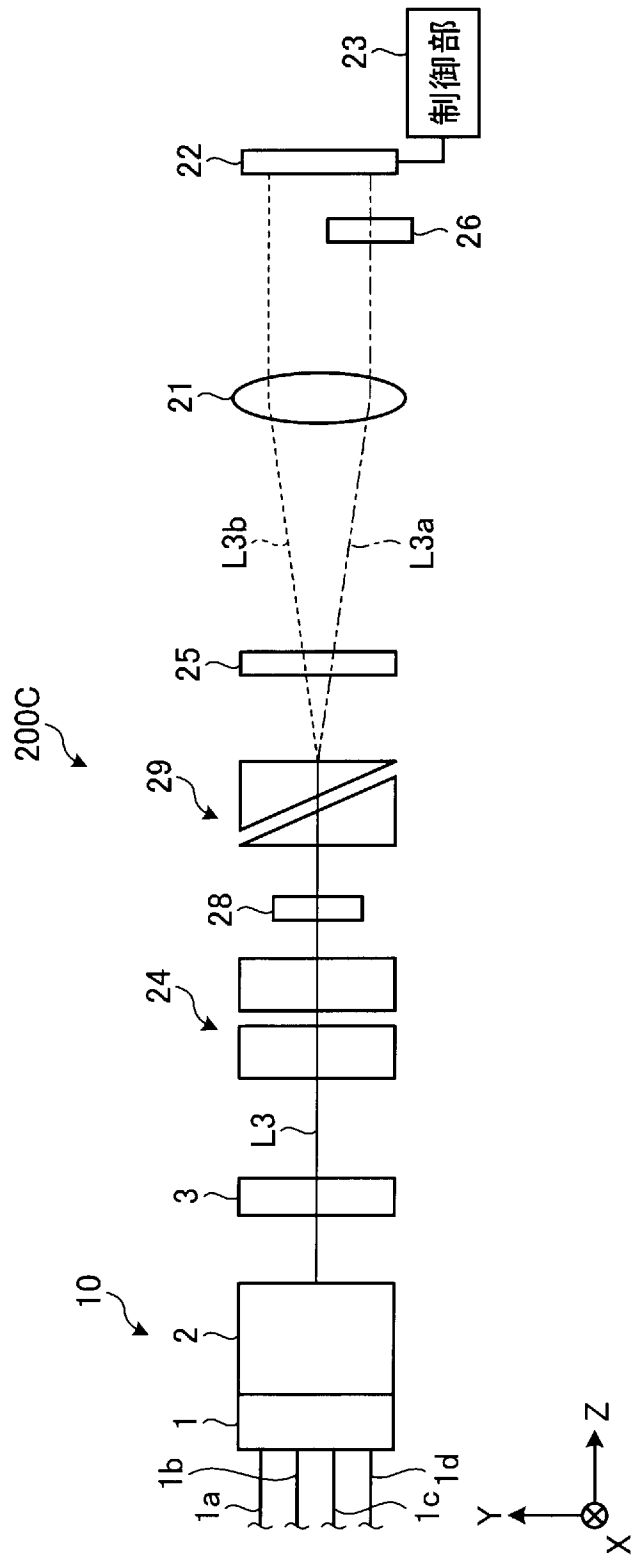
[図16A]

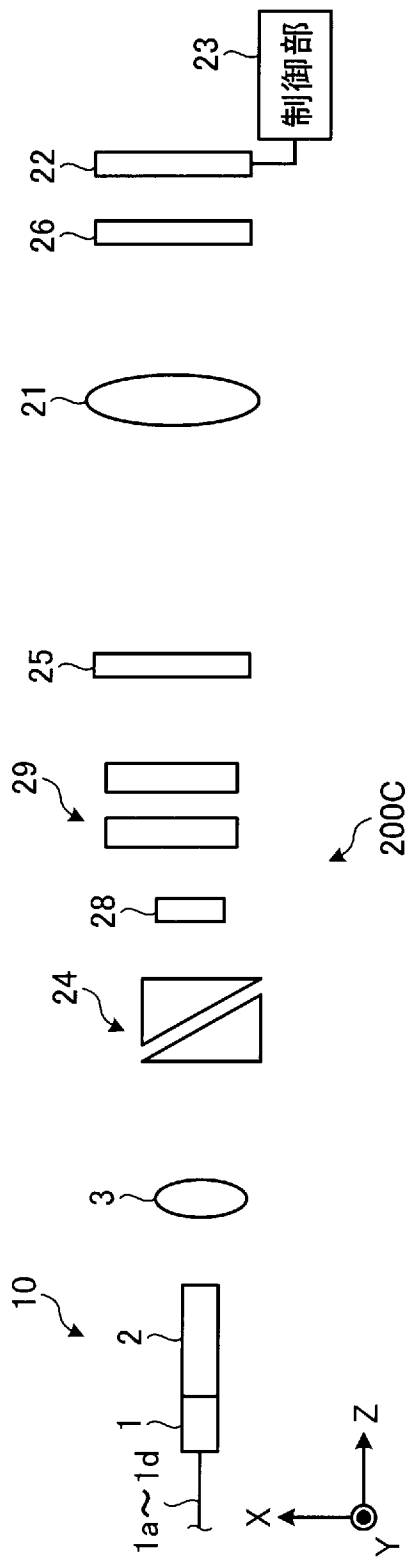


[図16B]

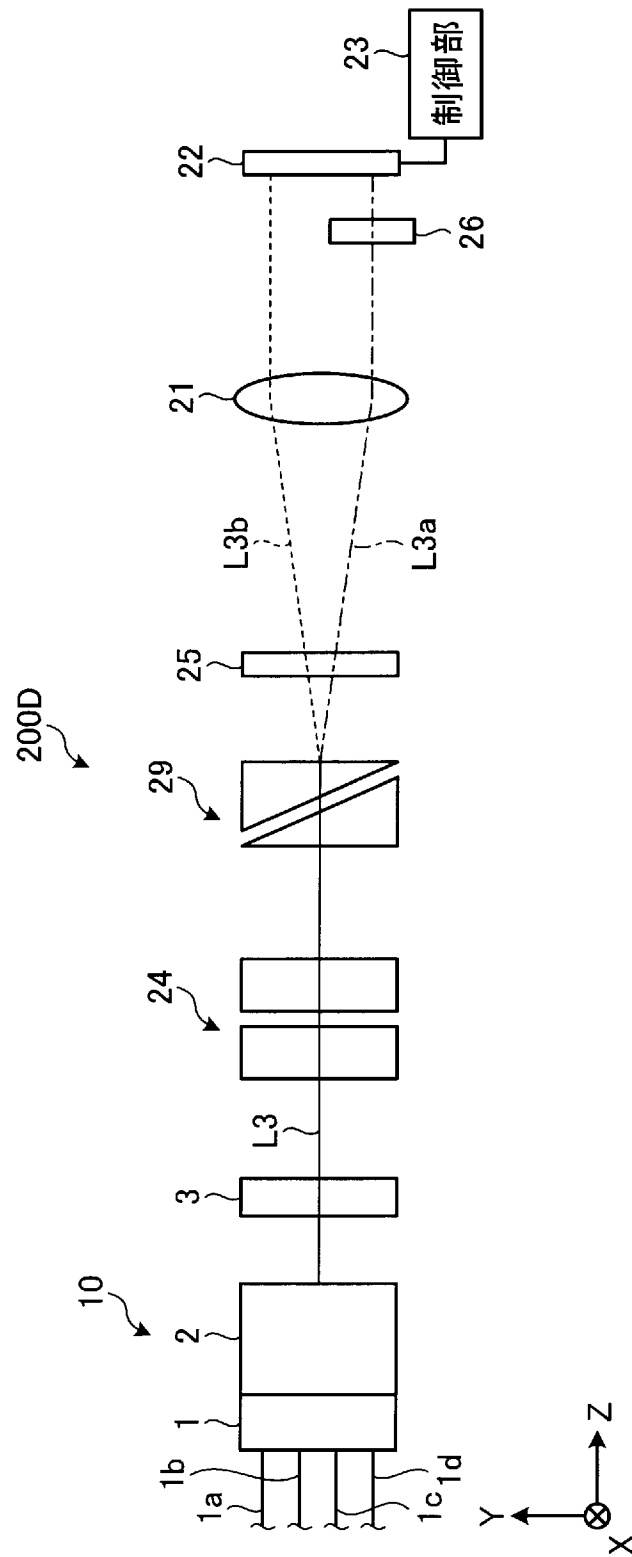


[図17A]

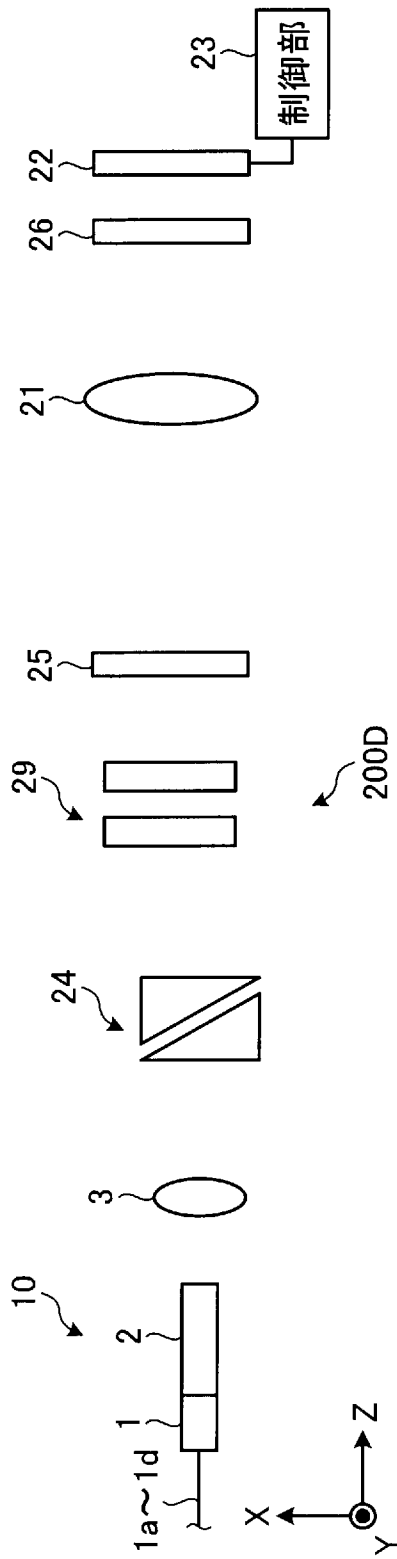




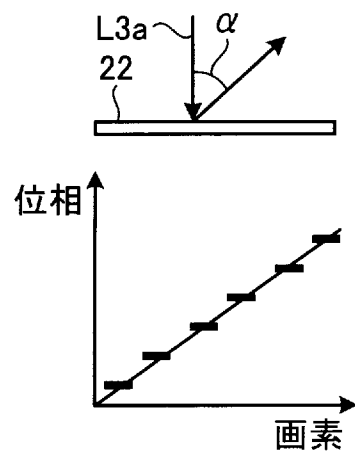
[図18A]



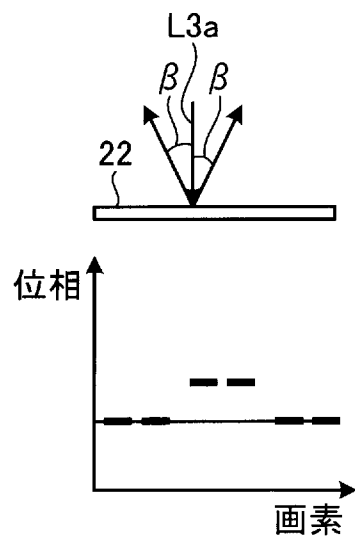
[図18B]



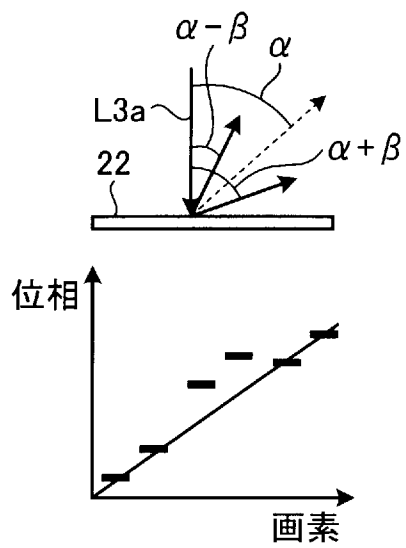
[図19A]



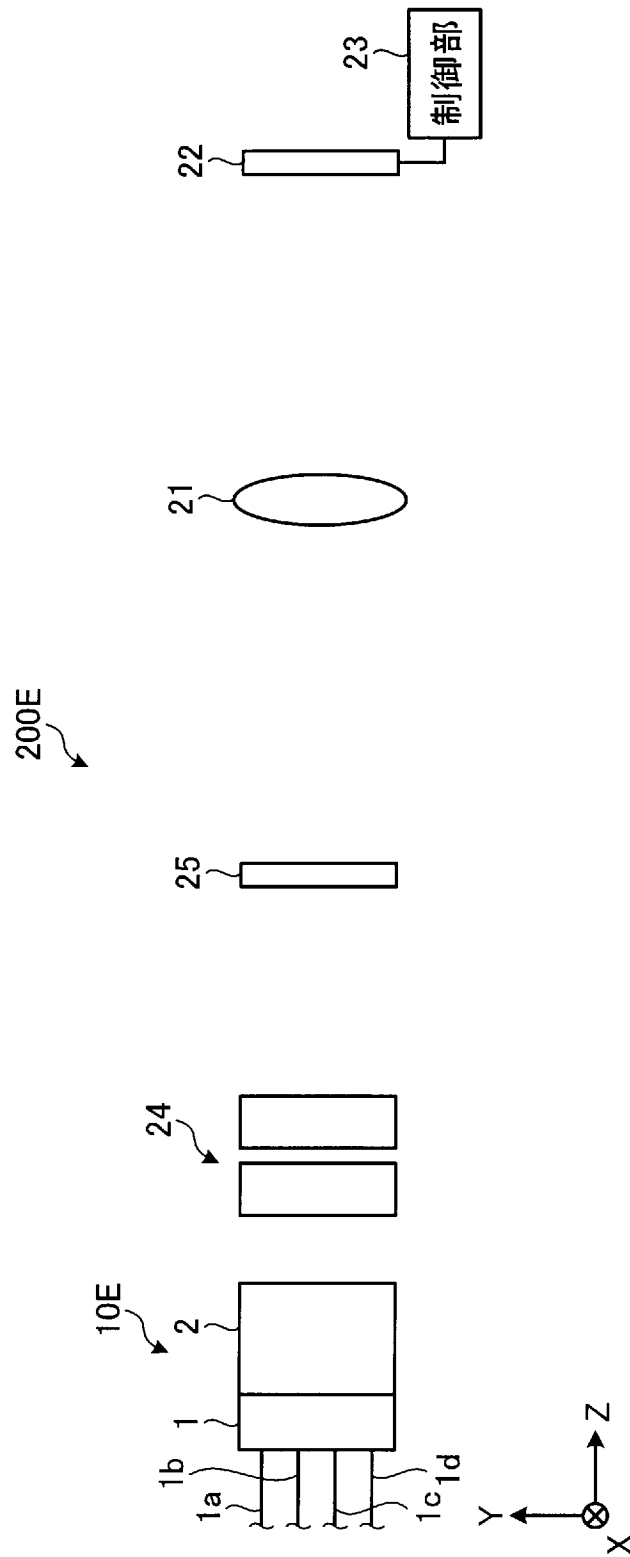
[図19B]



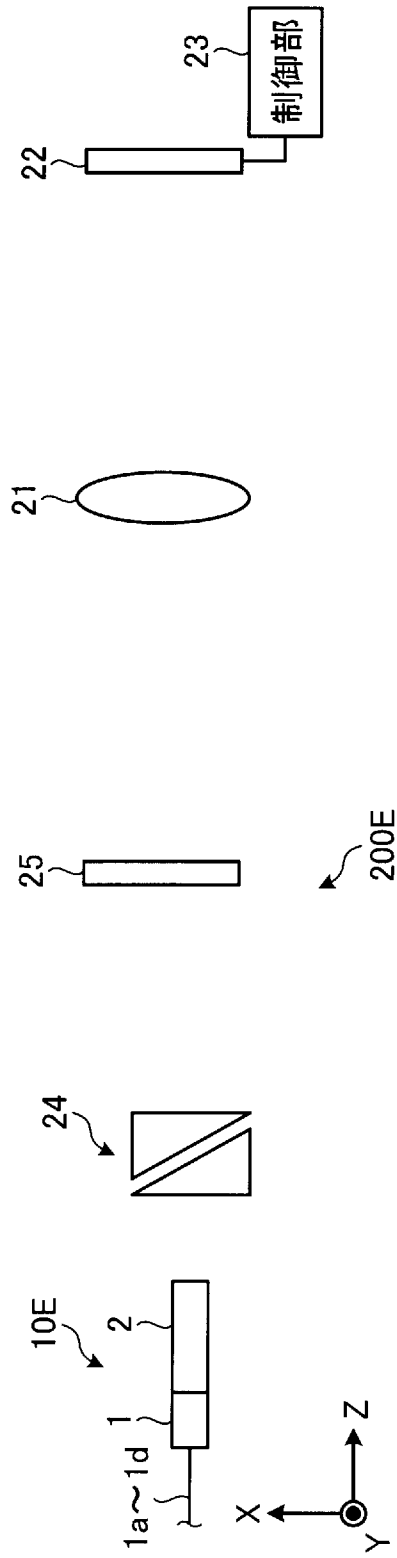
[図19C]



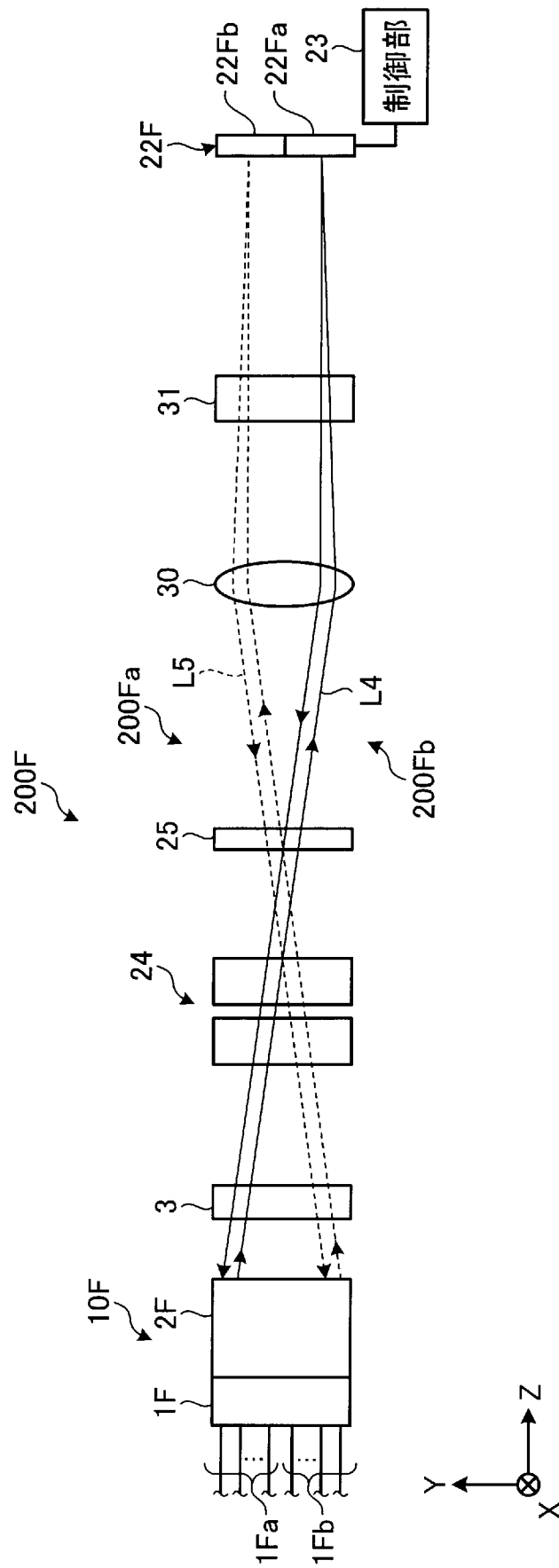
[図20A]



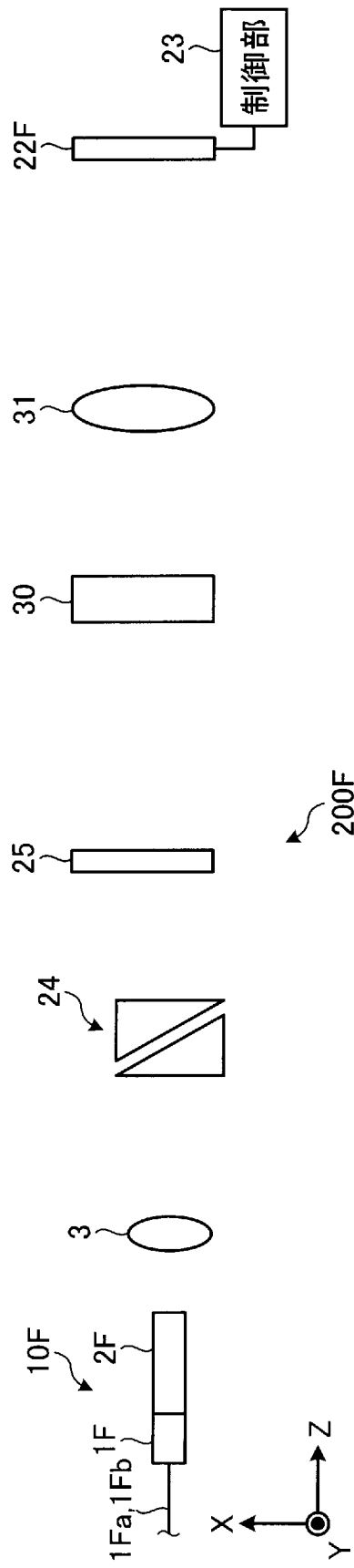
[図20B]



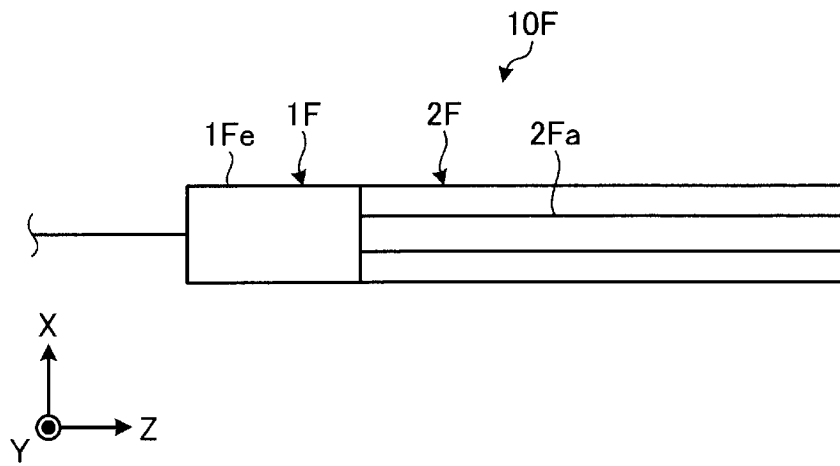
[図21A]



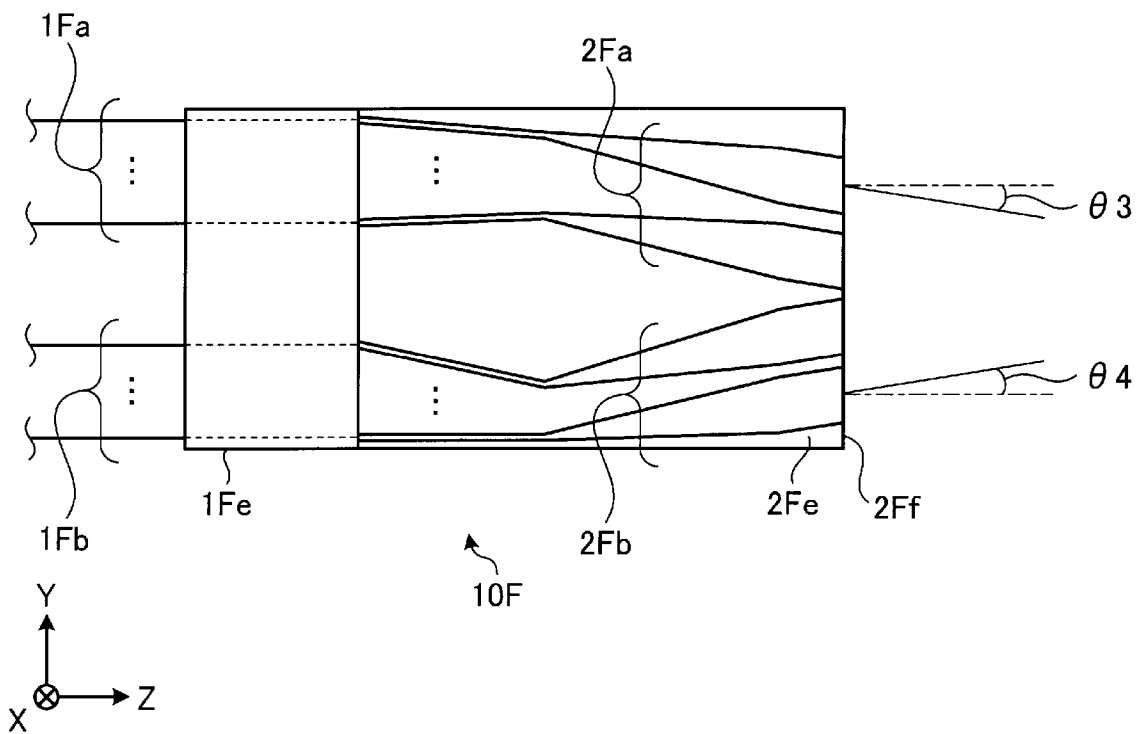
[図21B]



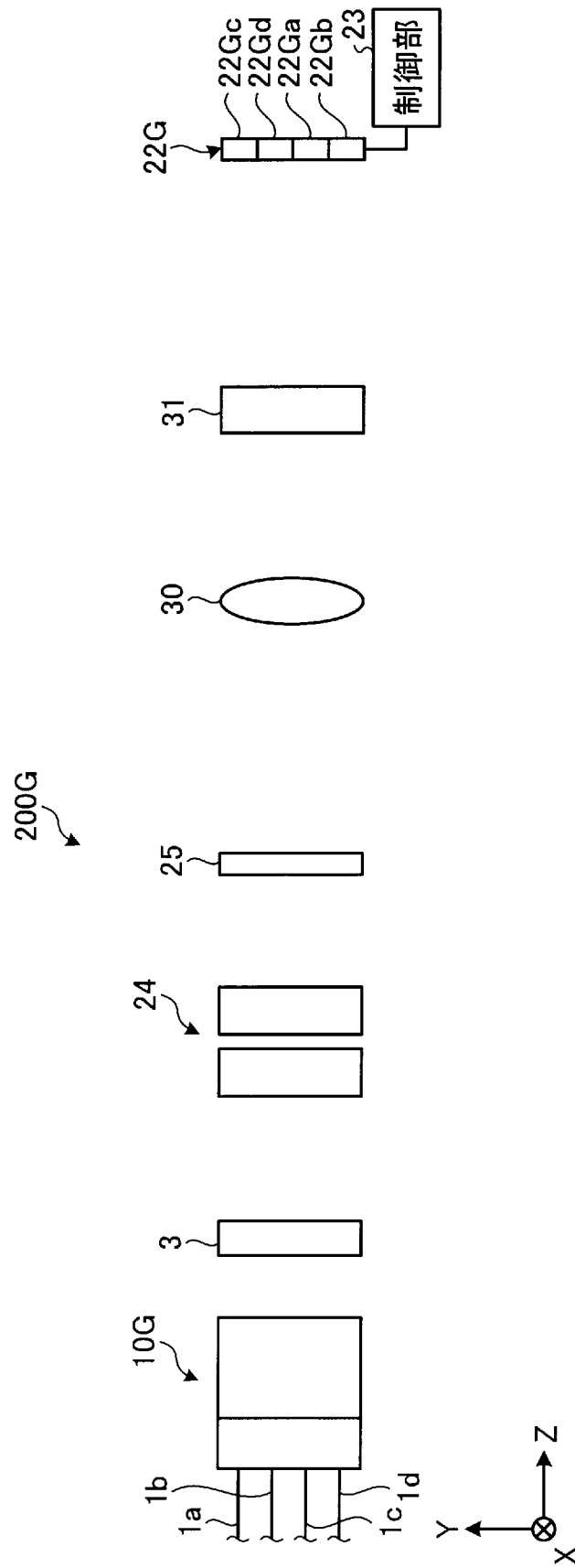
[図22A]



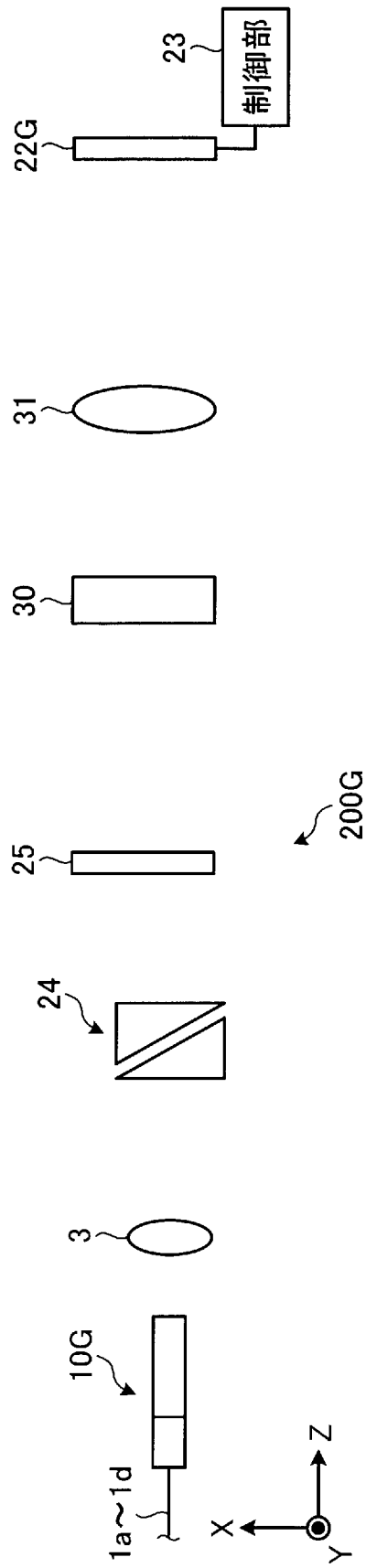
[図22B]



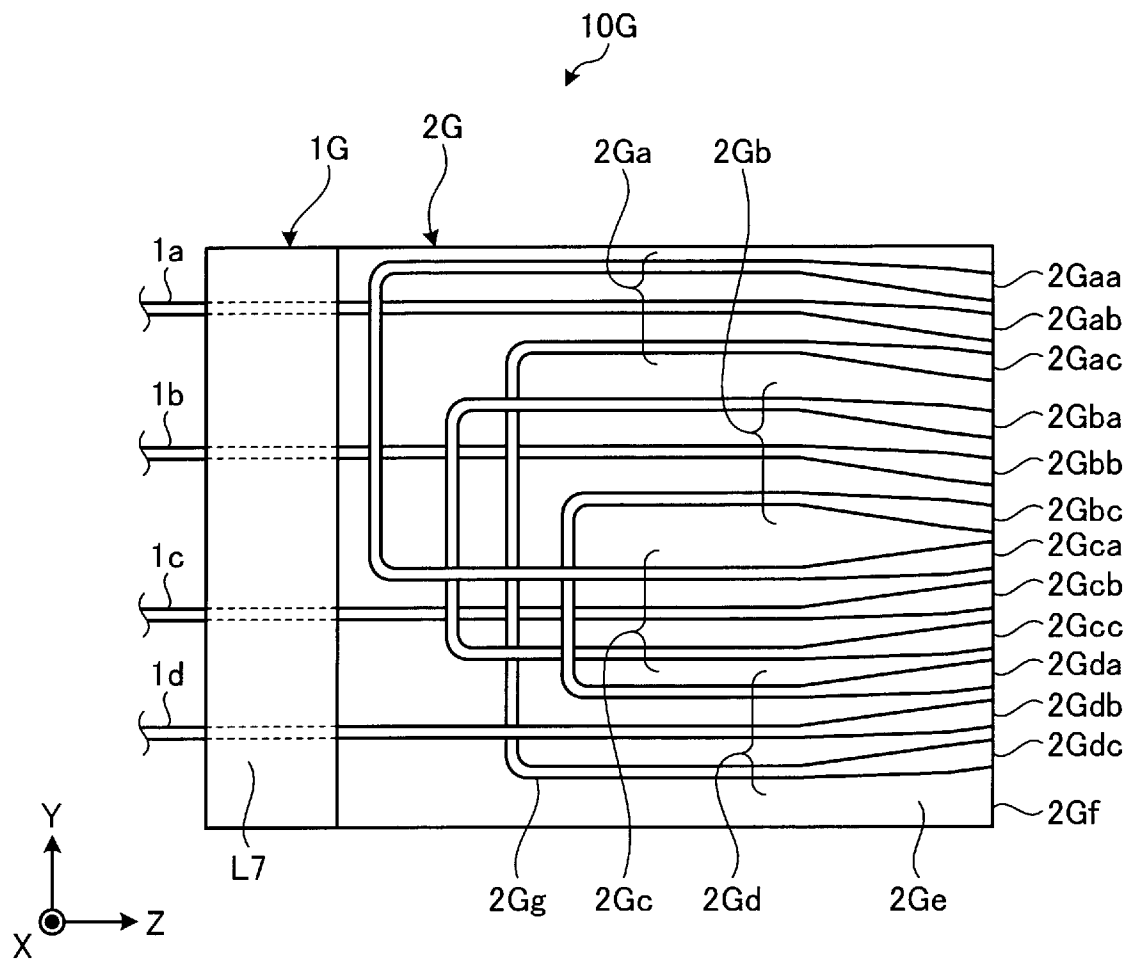
[図23A]



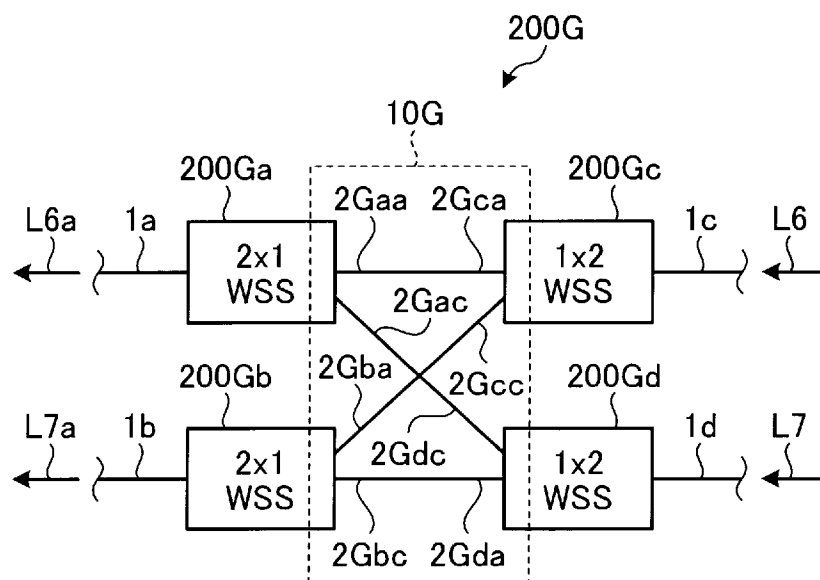
[図23B]



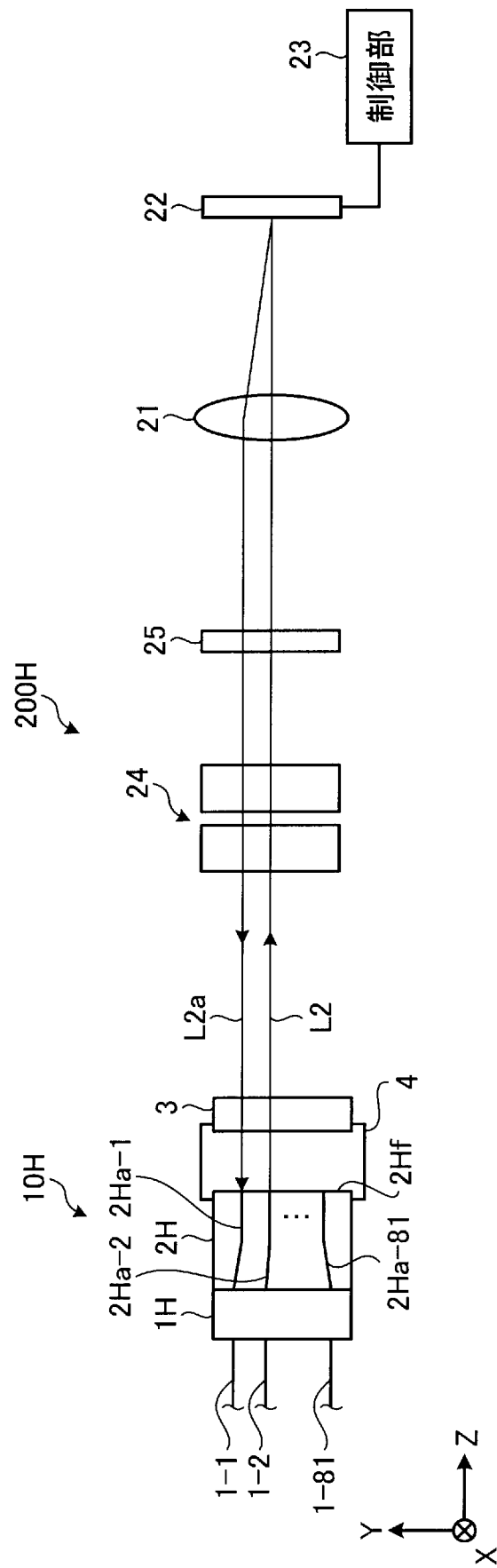
[図24]



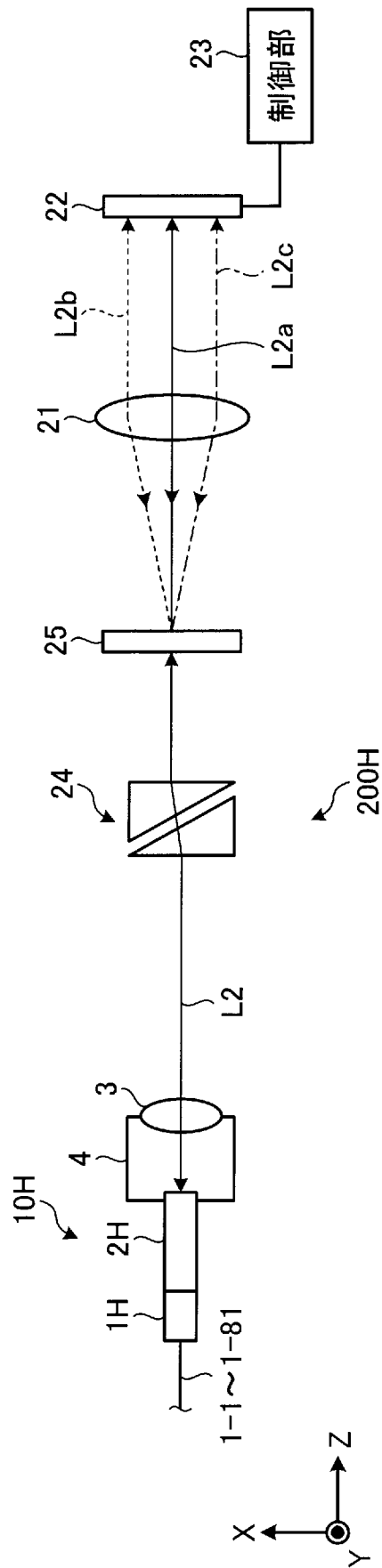
[図25]



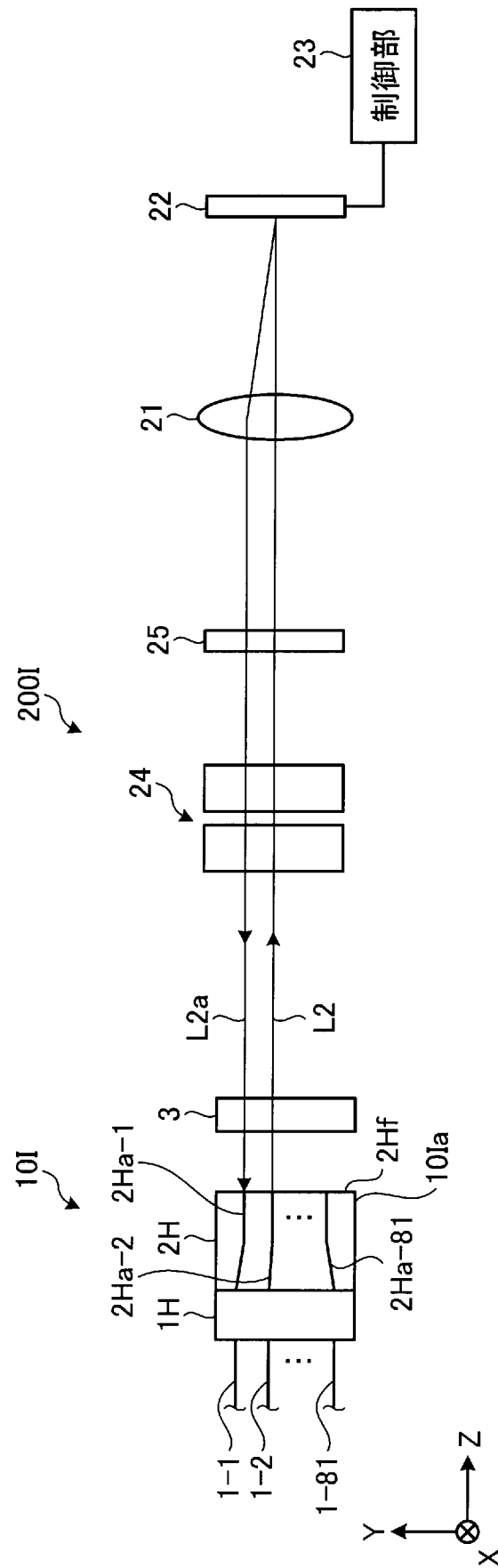
[図26A]



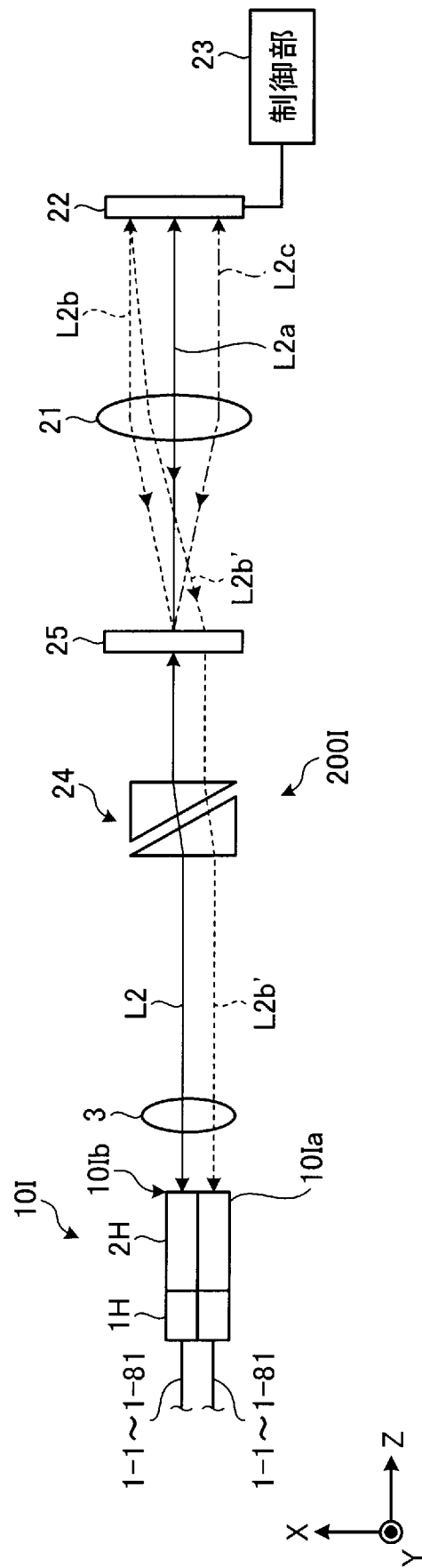
[図26B]



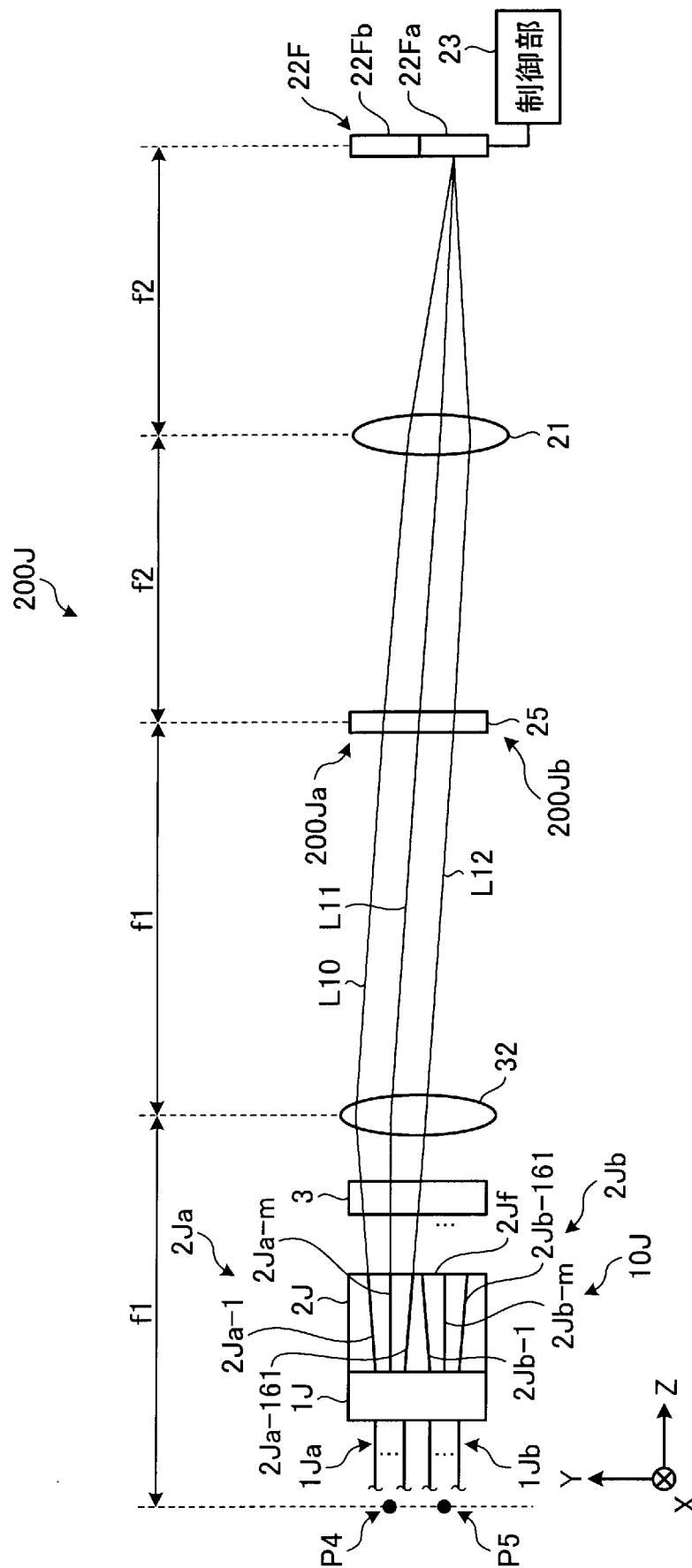
[図27A]



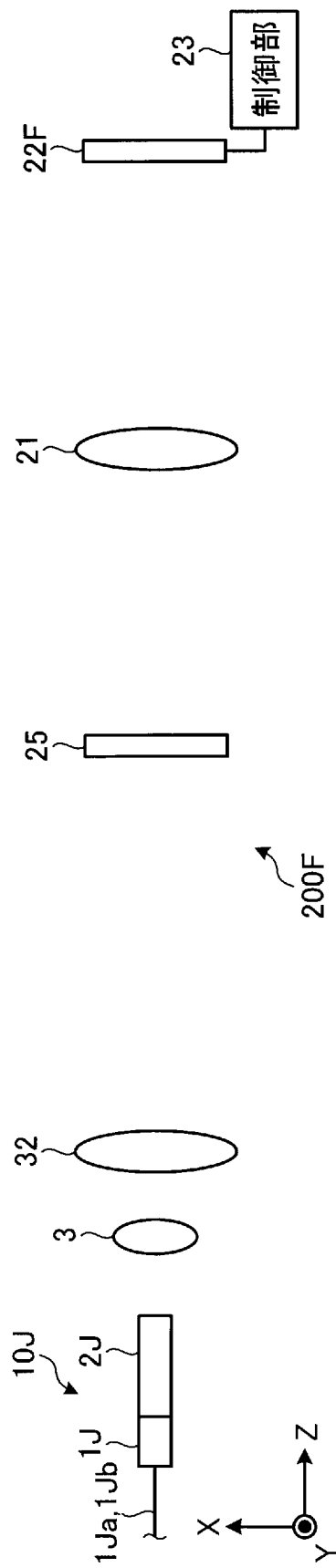
[図27B]



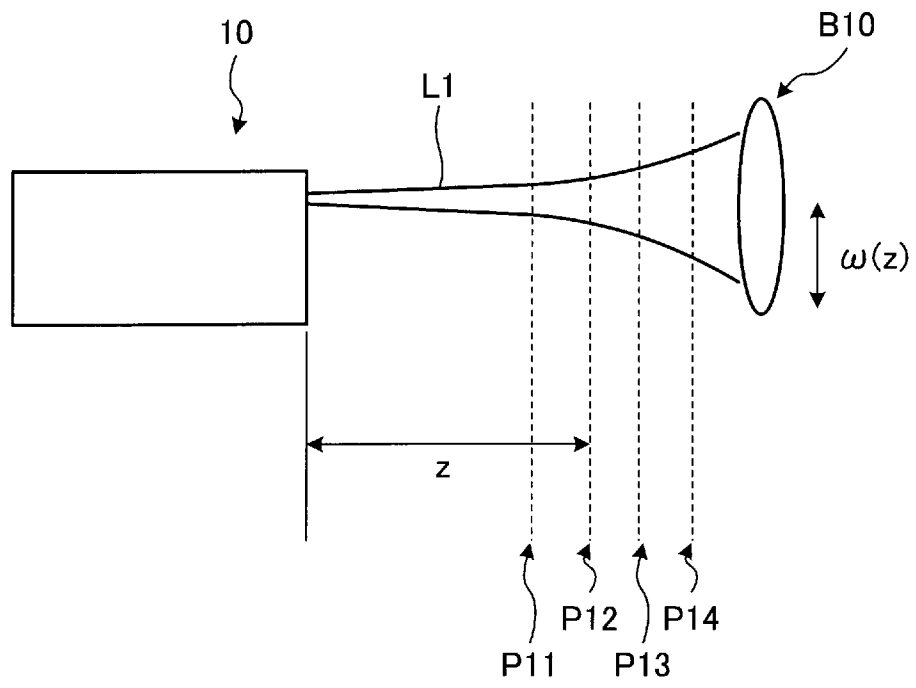
[図28A]



[図28B]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/053983

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/122(2006.01)i, G02B6/293(2006.01)i, G02B6/30(2006.01)i, G02B6/32(2006.01)i, G02B6/35(2006.01)i, G02F1/13(2006.01)i

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)

G02B6/122, G02B6/293, G02B6/30, G02B6/32, G02B6/35, G02F1/13, G02B26/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

JSTPlus(JDreamIII), JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2013-218201 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 24 October 2013 (24.10.2013), paragraphs [0049] to [0051], [0054], [0057]; fig. 2, 3 & US 2013/0272650 A1	1 2-20
A	JP 2002-158394 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 31 May 2002 (31.05.2002), paragraphs [0016], [0020], [0021]; fig. 1 & US 2002/0060732 A1	1-20

☒ 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
24 March 2015 (24.03.15)

Date of mailing of the international search report
07 April 2015 (07.04.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/053983

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Atsushi OGURI, Ryo KAWAHARA, Masaki IWAMA, Koji HORIKAWA, Masayoshi KIMURA, Masami SAITO, Hiroyuki KOSHI, Nobuyuki KAGI, "Development of Flexible-grid 1x30 Wavelength Selective Switch", IEICE Technical Report, 24 February 2014 (24.02.2014), vol.113, no.455, pages 35 to 38	1-20

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B6/122(2006.01)i, G02B6/293(2006.01)i, G02B6/30(2006.01)i, G02B6/32(2006.01)i,
G02B6/35(2006.01)i, G02F1/13(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. G02B6/122, G02B6/293, G02B6/30, G02B6/32, G02B6/35, G02F1/13, G02B26/08

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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）

JSTPlus(JDreamIII), JST7580(JDreamIII)

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 A	JP 2013-218201 A（独立行政法人産業技術総合研究所）2013.10.24, 段落【0049】－【0051】,【0054】,【0057】,【図2】,【 図3】 & US 2013/0272650 A1	1 2-20
A	JP 2002-158394 A（富士写真フイルム株式会社）2002.05.31, 段落 【0016】,【0020】,【0021】,【図1】 & US 2002/0060732 A1	1-20
A	小栗淳司, 河原亮, 岩間真木, 堀川浩二, 木村賢宜, 齋藤正美, 越	1-20

☒ 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矛盾するものではなく、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

2 4 . 0 3 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 7 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

吉田 英一

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2 X

9 1 2 4

C (続き) . 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
	浩之，加木信行，帯域可変型 1 × 3 0 波長選択スイッチの開発，電子情報通信学会技術研究報告，2014.02.24, Vol. 113, No. 455, pp. 35 - 38	