

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-29298

(P2004-29298A)

(43) 公開日 平成16年1月29日(2004.1.29)

(51) Int. Cl.⁷

G02B 6/293
G02B 5/10
G02B 5/18

F I

G02B 6/28
G02B 5/10
G02B 5/18

テーマコード(参考)

2H042
2H049

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2002-184435 (P2002-184435)
(22) 出願日 平成14年6月25日(2002.6.25)

(71) 出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(74) 代理人 100092897
弁理士 大西 正悟
(72) 発明者 勝沼 淳
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内
Fターム(参考) 2H042 AA30 DB02 DD04 DD05 DE07
2H049 AA07 AA13 AA45 AA59 AA64

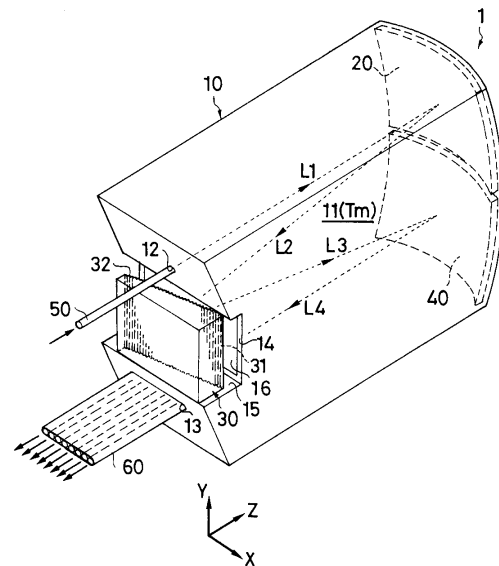
(54) 【発明の名称】 光分波合波器

(57) 【要約】

【課題】 グレーティングによって生ずるアナモルフォシスの発生及び構成光学系において発生する幾何光学的収差を小さくすることにより結合効率を高めることが可能な構成の光分波合波器を提供する。

【解決手段】 内部空間11を有したケース10の光入射口12に入射用光ファイバ50を接続し、ケース10の光出射口13に複数の出射用光ファイバ60を接続する。ケース10の内部空間11内には、入射用光ファイバ50を介して内部空間11内に入射された光を反射させて平行光にするコリメータ20と、コリメータ20において平行光にされた光を波長の異なる複数の光に分光するグレーティング30と、グレーティング30において分光された光を出射用光ファイバ60に入射させるイメージングミラー40とを備える。光入射口12と光出射口13とは、グレーティング30における回折溝31の延びる方向に、グレーティング30挟んで設けられる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

内部空間及びこの内部空間と繋がる光入射口及び光出射口を有して構成されるケースと、前記ケースの前記光入射口に接続された入射用光伝送路と、前記ケースの前記光出射口に接続された複数の出射用光伝送路と、前記ケースの前記内部空間内に設けられ、前記入射用光伝送路を介して前記内部空間内に入射された波長分割多重光を反射させて平行光にする第1の凹面反射面と、前記ケースに固定され、前記第1の凹面反射面において平行光にされた前記波長分割多重光を複数の直線状の回折溝が等間隔に並べられてなる平面形の反射回折面において波長の異なる複数の光に分光するグレーティングと、
前記ケースの前記内部空間内に設けられ、前記グレーティングにおいて分光された光を前記出射用光伝送路に入射させる第2の凹面反射面とを備え、
前記光入射口と前記光出射口とは、前記グレーティングにおける前記回折溝の延びる方向に、前記グレーティングを挟んで設けられていることを特徴とする光分波合波器。

10

【請求項2】

前記ケースの前記内部空間内が透明な固体媒質で満たされており、前記入射用光伝送路の端面及び前記出射用光伝送路の端面がそれぞれ前記固体媒質に接合されていることを特徴とする請求項1記載の光分波合波器。

【請求項3】

前記反射回折面が空気を隔てて前記ケースの内部空間と対向しており、前記第1の凹面鏡において反射された光は前記ケースに設けられた開口及び空気を通して前記反射回折面に入射し、前記反射回折面において反射回折した光は空気及び前記開口を通して前記第2の凹面鏡に至るようになっていないことを特徴とする請求項1又は2記載の光分波合波器。

20

【請求項4】

前記第2の凹面反射面の焦点が前記グレーティングの前記反射回折面上若しくはその近傍位置に位置していることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光分波合波器。

【請求項5】

前記第1の凹面反射面及び前記第2の凹面反射面がそれぞれ同一の回転放物面上の異なる一部分となっており、前記回転放物面の生成回転軸が前記入射用光伝送路を介して前記ケースの前記内部空間内に入射した光の主光線に対して平行となり、かつ、前記回転放物面の焦点が前記グレーティングの前記反射回折面上若しくはその近傍位置に位置するように前記第1の凹面反射面及び前記第2の凹面反射面の配置がなされていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光分波合波器。

30

【請求項6】

前記第1の凹面反射面及び前記第2の凹面反射面がそれぞれ同一のトーリック面上の異なる一部分となっており、
前記トーリック面の生成回転軸を通る平面を経面、前記生成軸に垂直な平面のうち前記トーリック面との交円が大円となる平面を赤道面としたときに、
前記トーリック面を前記赤道面により切断したときに得られる交円が1つである場合には、前記第1の凹面反射面及び前記第2の凹面反射面は、これら両凹面反射面を含むトーリック面の前記経面のうち選択された一つが前記入射用光伝送路を介して前記ケースの前記内部空間内に入射する光の主光線の光軸に対して平行になるとともに、前記選択された経面内方向の焦点が前記反射回折面上若しくはその近傍位置に位置し、かつ、前記選択された経面が、前記入射用光伝送路を介して前記ケースの前記内部空間内に入射した光の主光線を含んで前記グレーティングの前記回折溝と平行な方向に延びる平面と0°ないし45°の範囲で交わる位置に設けられ、
前記トーリック面を前記赤道面により切断したときに得られる交円が2つである場合には、前記第1の凹面反射面及び前記第2の凹面反射面は、これら両凹面反射面を含むトーリック面の前記赤道面のうち選択された一つが前記入射用光伝送路を介して前記ケースの前記内部空間内に入射する光の主光線の光軸に対して平行になるとともに、前記選択された

40

50

赤道面内方向の焦点が前記反射回折面上若しくはその近傍位置に位置し、かつ、前記選択された赤道面が、前記入射用光伝送路を介して前記ケースの前記内部空間内に入射した光の主光線を含んで前記グレーティングの前記回折溝と平行な方向に延びる平面と 0° ないし 45° の範囲で交わる位置に設けられていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光分波合波器。

【請求項7】

前記第1の凹面反射面及び前記第2の凹面反射面を含むトーリック面についての2つの曲率半径のうち大きい方の曲率半径を R_t 、小さい方の曲率半径を R_s とし、前記入射用光伝送路を介して前記ケースの前記内部空間内に入射した光の主光線が前記第1の凹面反射面に至るときの光軸と前記第1の凹面反射面において反射した後の光軸とが形成する角度を 2θ としたときに、式

$$R_s / R_t = \cos^2 \theta$$

が満足されることを特徴とする請求項6記載の光分波合波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長分割多重光を用いて行う光通信において、通信用光の分波若しくは合波を行う光分波合波器に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来技術と知られるWDM（波長分割多重）光通信における光分波合波器は、例えば誘電体多層膜ダイクロミックミラー、ファイバブラッググレーティング（FBG）、グレーティング分光器、AWG（アレイ導波路グレーティング）を用いたもの等が実用化されている。このうち誘電体多層膜ダイクロミックミラー、ファイバブラッググレーティングを用いたものはチャンネル数が4程度であり、AWGを用いたものは主として数十チャンネル程度である。グレーティング分光器形の光分波合波器では数チャンネルから数十チャンネルまでのものが実現できるが、AWG形の光分波合波器ほどチャンネル数を必要としない、WDM光通信に適していると考えられており、過去に幾つかの試みがなされている。

【0003】

WDM光通信の光分波合波器には、何よりも小型で低損失なことが要求される。この点を考慮した例として、例えば図24に示すように、屈折率分布型ロッドレンズ101をいわゆるリトロレンズとして用い、これと光ファイバアレイ102及びグレーティング103を一体構造として構成した光分波合波器が考案されている。しかしながら、このような構成の光分波合波器では、ロッドレンズの製造上の制約や光学設計上の制約が大きく最適化設計に困難が伴うため、多チャンネルに適用できるだけの十分な性能を発揮させることが難しいと考えられる。また、図25に示すように、均一媒質からなる第1のレンズ111と第2のレンズ112とを用いて2レンズ構成とし、第1のレンズ111に光ファイバアレイ113を、また第2のレンズ112に回折格子114を設けたリトロ形光分波合波器も考案されている。このタイプの光分波合波器は上述のロッドレンズ方式より設計の自由度が大きいという利点があるが、損失を小さくして必要な性能を発揮させるには、光通信の現場で要求される寸法よりもかなり大型なものになってしまうため、あまり現実的ではないといえる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

グレーティング分光器形の光分波合波器におけるスループットを決める主原因は、グレーティングの回折効率と、グレーティングによって生ずるアナモルフィック効果及び構成光学系において発生する幾何光学的収差の大きさであるが、グレーティングの回折効率についてはなるべく回折効率の高いものを用いるしかないので、小型で低損失な光分波合波器を実現するためには、グレーティングによって生ずるアナモルフィック効果の低減及び構成光学系において発生する幾何光学的収差を小さくすることが必要となる。

10

20

30

40

50

【0005】

本発明においては、グレーティングによって生ずるアナモルフィック効果を低減すること及び構成光学系において発生する幾何光学的収差を小さくすることにより、小型でありながら低損失な性能が得られる光分波合波器を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光分波合波器は、内部空間及びこの内部空間と繋がる光入射口及び光出射口を有して構成されるケースと、ケースの光入射口に接続された入射用光伝送路と、ケースの光出射口に接続された複数の出射用光伝送路と、ケースの内部空間内に設けられ、入射用光伝送路を介して内部空間内に入射された波長分割多重光を反射させて平行光にする第1の凹面反射面と、ケースに固定され、第1の凹面反射面において平行光にされた波長分割多重光を複数の直線状の回折溝が等間隔に並べられてなる平面形の反射回折面において波長の異なる複数の光に分光するグレーティングと、ケースの内部空間内に設けられ、グレーティングにおいて分光された光を出射用光伝送路に入射させる第2の凹面反射面とを備え、光入射口と光出射口とは、グレーティングにおける回折溝の延びる方向に、グレーティングを挟んで設けられている。

10

【0007】

本発明に係る光分波合波器では、入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射した波長分割多重光は、第1の凹面反射面において反射されて平行光となり、グレーティングに入射する。グレーティングに入射した光は波長の異なる複数の光に分光され、それぞれ第2の凹面反射面において反射したうえで、それぞれ対応する出射用光伝送路へ出射される。ここで、グレーティングは、複数の直線状の回折溝が等間隔に並べられてなる平面形の反射回折面を有しており、入射した波長分割多重光を波長の異なる複数の光に分光するのであるが、光入射口と光出射口とが、このグレーティングにおける回折溝の延びる方向に、グレーティングを挟んで設けられているため、グレーティングへの入射光束とグレーティングからの反射回折光束とがなす、反射回折後の光が分散する方向についての角度を極めて小さくすることができ、反射回折の前後における光のアナモルフィック効果を大幅に低減させることができる。

20

【0008】

このため本発明に係る光分波合波器では、入射した波長分割多重光とグレーティングにおける反射回折後の波長ごとに分波された各光との間のNAの差は極めて小さいものとなり（すなわちNAが高レベルに保存され）、小型でありながら低損失な性能が得られる。また、このような性能を備えることにより、本分波合波器をWDM光通信に適用した場合、従来技術のうち誘電体多層膜ダイクロミックミラー方式やファイバブラッググレーティング方式が4波程度の分波・合波が普通なのに対し、小型ながらより多くの波長チャンネルを同時に扱うことが可能となる。

30

【0009】

ここで、上記光分波合波器においては、ケースの内部空間内が透明な固体媒質で満たされており、入射用光伝送路の端面及び出射用光伝送路の端面がそれぞれ上記固体媒質に接合されていることが好ましい。このようにすれば、光の進行に伴って生じる散乱損失を小さく抑えることができ、光分波合波器全体としての損失を更に低減することが可能である。また、このような構成によれば、予め所定の形状にした透明な固体媒質に第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面を取り付けてこれらを一体構造（モノリシックな構成）とした上で固体媒質をケースにより覆い、これに入射用光伝送路及び出射用光伝送路を取り付けるという手順で本光分波合波器を製造することができるので、製造工程が大変簡易になる。

40

【0010】

また、上記光分波合波器では、上記反射回折面が空気を隔ててケースの内部空間と対向しており、第1の凹面鏡において反射された光はケースに設けられた開口及び空気を通して反射回折面に入射し、反射回折面において反射回折した光は空気及び上記開口を通して第2の凹面鏡に至るようになっていることが好ましい。その理由は、空気はガラスなどの媒

50

質に比べて屈折率の温度変化が小さいため、光の波長変動も小さくなるからである。勿論真空なら更によい。光の波長変動が大きいと、グレーティング回折角度も大きく変動し、結像位置のドリフトを招くため好ましくない。

【0011】

また、上記光分波合波器では、第2の凹面反射面の焦点がグレーティングの反射回折面上若しくはその近傍位置に位置していることが好ましい。このような構成であれば、グレーティングの反射回折面において反射回折されて波長ごとに分光された各光束は、第2の凹面反射面において反射した後、各波長ごとの光の主光線は互いに平行となる（テレセントリックな結像態様となる）ため、ケースの光出射口に繋がる複数の出射用光伝送路が平行に配列されており、かつ、各出射用光伝送路の端面カットの角度が全て同じで互いに平行になるように処理されているのであれば、各波長ごとの光の結像光線（の主光線）はほぼ等しい角度で、対応する出射用光伝送路に入射することになる。したがって、第2の凹面反射面において反射した波長ごとの光の出射用光伝送路への入射角度を最適値に調節すれば、出射用光伝送路との間の結合損失を低減させて、本光分波合波器全体としての損失をより一層低減させることが可能となる。

10

【0012】

或いは、第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面がそれぞれ同一の回転放物面上の異なる一部分となっており、回転放物面の生成回転軸が入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射した光の主光線に対して平行となり、かつ、回転放物面の焦点がグレーティングの反射回折面上若しくはその近傍位置に位置するように第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面の配置がなされていることが好ましい。このような構成であれば、入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射し、最終的に第2の凹面反射面において反射した光の主光線は回転放物面の生成回転軸、及び光の主光線の光軸と平行になる（テレセントリックな結像態様となる）ため、上記した第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面をそれぞれ同一の回転放物面上の異なる一部分とした場合と同様の効果を得ることができる。

20

【0013】

或いはまた、第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面がそれぞれ同一のトーリック面上の異なる一部分となっており、トーリック面の生成回転軸を通る平面を経面、生成軸に垂直な平面のうちトーリック面との交円が大円となる平面を赤道面としたときに、トーリック面を赤道面により切断したときに得られる交円が1つである場合には、第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面は、
 1 これら両凹面反射面を含むトーリック面の経面のうち選択された一つが入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射する光の主光線の光軸に対して平行になるとともに、
 2 選択された経面内方向の焦点が反射回折面上若しくはその近傍位置に位置し、かつ、
 3 上記選択された経面が、入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射した光の主光線を含んでグレーティングの回折溝と平行な方向に延びる平面と0°ないし45°の範囲で交わる位置に設けられ、トーリック面を赤道面により切断したときに得られる交円が2つである場合には、第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面は、
 1 これら両凹面反射面を含むトーリック面の赤道面のうち選択された一つが入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射する光の主光線の光軸に対して平行になるとともに、
 2 選択された赤道面内方向の焦点が反射回折面上若しくはその近傍位置に位置し、かつ、
 3 上記選択された赤道面が、入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射した光の主光線を含んでグレーティングの回折溝と平行な方向に延びる平面と0°ないし45°の範囲で交わる位置に設けられていることが好ましい。このような構成であれば、入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射し、最終的に第2の凹面反射面において反射した光の主光線はトーリック面の生成回転軸、及び光の主光線の光軸と平行になる（テレセントリックな結像態様となる）ため、上記した第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面をそれぞれ同一の回転放物面上の異なる一部分とした場合と同様の効果を得ることができる。

30

40

【0014】

また、この場合、第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面を含むトーリック面についての

50

2つの曲率半径のうち大きい方の曲率半径を R_t 、小さい方の曲率半径を R_s とし、入射用光伝送路を介してケースの内部空間内に入射した光の主光線が第1の凹面反射面に至るときの光軸と第1の凹面反射面において反射した後の光軸とが形成する角度を 2θ としたときに、式 $R_s/R_t = \cos^2\theta$ が満足されることが好ましい。このような構成であれば、第1の凹面反射面及び第2の凹面反射面において反射する光の非点収差の発生が抑えられることになり、非点収差による像の伸び変形が発生しない。したがって、受光側でファイバ結合率を高く維持でき、損失をより小さく抑えることが可能となる。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の好ましい実施形態について説明する。本発明に係る光分波合波器は光分波器及び光合波器として用いられるが、ここでは光分波器としての作用のみを述べる。本光分波合波器を光合波器として用いる場合は、光の光路が全く逆になるだけである。

10

【0016】

図1は本発明の一実施形態に係る光分波合波器1の斜視図を示しており、図2(A)はこの光分波合波器1の正面図、図2(B)は右側面図、図2(C)は平面図、図2(D)は左側面図(但し、右側面図とは上下が逆)である。本光分波合波器1は、内部空間11及びこの内部空間11と繋がる光入射口12及び光出射口13を有して構成されるケース10と、このケース10の内部空間11内に設けられた凹面反射面からなるコリメータ20と、ケース10に固定され、複数の直線状の回折溝31が等間隔に並べられてなる平面形の反射回折面32を有するグレーティング30と、ケース10の内部空間11内に設けられた凹面反射面からなるイメージングミラー40と、ケース10の光入射口12に接続された入射用光伝送路としての1本の入射用光ファイバ50と、ケース10の光出射口13に接続された出射用光伝送路としての複数の出射用光ファイバ60とを備えて構成される。以下、説明の便宜上、図2(A)における紙面の左右方向をケース10の左右(幅)方向、図2(B)における紙面の上下方向をケース10の上下方向、図2(C)における紙面の左右方向をケース10の左右方向(紙面の左側が前方、右側が後方)として説明する。また、ケース10の左右方向にX軸を、ケース10の上下方向にY軸を、またケース10の前後方向にZ軸を当てることにする。

20

【0017】

図1及び図2に示すように、コリメータ20とイメージングミラー40とはケース10の後部に上下に並んで設けられており(コリメータ20が上方、イメージングミラー40が下方)、グレーティング30の回折溝31はこのコリメータ20とイメージングミラー40とが並ぶ方向、すなわち上下方向に延びて設けられている。また、ケース10の内部空間11は光透過性のよい透明な固体媒質(例えば石英ガラス)Tmにより満たされた状態となっている。

30

【0018】

ケース10の前方中央部にはZ軸と垂直に位置する壁部14が設けられており、この壁部14の前方下方には、壁部14に対して垂直(すなわちXZ面に平行)に延びたグレーティング載置部15が設けられている。グレーティング30はこのグレーティング載置部15に回折溝31が上下方向に延びる姿勢で載置されており、その反射回折面32は空気を挟んで壁部14に(すなわちケース10の内部空間11に)対向している。ここで、グレーティング30は、その反射回折面32が壁部14と平行になるように設置されるのではなく、図2(C)に示すように、反射回折面32の法線GVがZ軸(図2(C)では軸ZXで示す)に対して或る程度の角度 θ だけ傾いた姿勢になるように設置される。

40

【0019】

壁部14には、グレーティング30の反射回折面32を壁部14に投影したときに形成される反射回折面32の投影像とほぼ同じ大きさの開口16が設けられている。

【0020】

光入射口12と光出射口13とは、グレーティング30の回折溝31の延びる方向(ここ

50

では上下方向)にグレーティング30を挟んで、しかもグレーティング30からの距離がほぼ等距離になるように設けられている。光入射口12はグレーティング30の上方であって、コリメータ20とZ軸方向に沿って対向する位置に、また光出射口13はグレーティング30の下方であって、イメージングミラー40とZ軸方向に沿って対向する位置に設けられている。

【0021】

光入射口12には1本の入射用光ファイバ50が取り付けられており、光出射口13には入射用光ファイバ50を介してケース10の内部空間11内(固体媒質Tm内)に入射される波長分割多重光に含まれる波長数、言い換えると、本分波合波器1により分波しようとする波長数分の本数の出射用光ファイバ60がケース10の幅方向(X軸方向)に整列して取り付けられている。

10

【0022】

ここで、図3(A)に示すように、入射用光ファイバ50の端面はケース10の光入射口12から差し込まれた状態で内部空間11内の固体媒質Tmの表面に接合されるが、その接合面は、入射用光ファイバ50の中心軸線CX1の延びる方向(ここではZ軸方向)に垂直な面に対して所定の角度1(例えば $1 = 8^\circ$)だけ傾斜していることが多い。これは、ファイバ切断面での反射光の戻りを防止するためである。したがって、入射用光ファイバ50からの射出光束は屈折作用を受けて偏向するが、これを相殺するだけの傾きを、固体媒質Tmの入射部に持たせてある。

【0023】

また同様に、図3(B)に示すように、各出射用光ファイバ60の端面はケース10の光出射口13から差し込まれた状態で内部空間11内の固体媒質Tmの表面に接合されるが、その接合面は、出射用光ファイバ60の中心軸線CX2の延びる方向(ここではZ軸方向)に垂直な面に対して所定の角度2(例えば $2 = 8^\circ$)だけ傾斜していることが多い。これに応じて固体媒質Tmの射出部も入射部同様傾けている。

20

【0024】

入射用光ファイバ50及び出射用光ファイバ60は、それぞれケース10の光入射口12或いは光出射口13に取り付けた、反射損失の少ない材料からなる接着剤BDにより固着されている。ここで、入射用光ファイバ50と固体媒質Tmとの間の接合面、及び出射用光ファイバ60と固体媒質Tmとの間の接合面に屈折率マッチング用のゲル剤を充填させておいてもよい。また、このように屈折率マッチング用のゲル剤が充填される場合には、出射用光ファイバ60をケース10の光出射口13に完全に固定することなく、光出射口13に差し込んだ状態の出射用光ファイバ60の中心軸線CX2方向に微量だけ移動自在としておくことが好ましい。このようにすることにより、波長ごとに分波された各光が対応する出射用光ファイバ60に入射する際のピント合わせを精度良く行うことができるようになる。

30

【0025】

このような構成の光分波合波器1において、入射用光ファイバ50より光が入射された場合における光の光路について、図1及び図2に図4を加えて説明する。ここで、図4は本光分波合波器1におけるケース10内の構成部品を模式的に示すとともに光の進行状況を(A)、(B)、(C)、(D)の順に示したものであり、図の左側の列はケース10内部の右側面図を示し、図の右側の列はケース10内部の平面図(但し、光の光路を示し易くするため、構成部品の一部を適宜省略している)を示している。入射用光ファイバ50を介してケース10の内部空間11内に入った波長分割多重光は、ケース10の内部空間11を占める固体媒質Tm内を後方に進んでコリメータ20に入射する(図4(A)参照。この光をL1とする。図1、図2では主光線の光軸で示す)。この光L1は光入射口12を頂点とする円錐状の光束であるが、コリメータ20に反射されて平行光となり、固体媒質Tm内を前下方に進んで壁部14の開口16を通り、更に空気層を透過してグレーティング30の反射回折面32に至る(図4(B)参照この光をL2とする。図1、図2においては主光線の光軸で示す)。

40

50

【0026】

グレーティング30の反射回折面32に至った光はそこで反射回折されて波長の異なる複数の光に分光(分波)され、空気層及び開口16を通過してケース10の内部空間11内に入り、固体媒質Tm内を後下方に進んでイメージングミラー40に入射する(図4(C)参照。この光をL3とする。図1、図2においては主光線の光軸で示す)。ここで、グレーティング30に入射する光L2は平行光であるが、グレーティング30の反射回折面32は平面形で直線状の回折溝31を有するタイプであるので、その反射回折光L3もおおむね平行光のままとなる。なお、この反射回折光L3は入射光L1に含まれる波長ごとに分離して存在する。

【0027】

グレーティング30において反射した波長ごとの光は上述のように各々平行光であるが、イメージングミラー40において反射されて円錐状の光束となり、グレーティング30において分波された波長数を備えるスペクトラルイメージを形成して固体媒質Tm内を前方に進み、それぞれに対応する各出射用光ファイバ60の端面に至る(図4(D)参照この光をL4とする。図1、図2においては主光線の光軸で示す)。このように、本光分波合波器1においては、入射用光ファイバ50より入射された波長分割多重光は、波長ごとに分波された状態で出射用光ファイバ60より出射される。

【0028】

上記のように、本実施形態に係る光分波合波器1では、グレーティング30の反射回折面32は空气中に晒された回折面で光の回折を行う表面回折形であるが、反射回折面がこのような表面回折形であるか、後述する裏面反射形であるかを問わず、一般に反射回折面を有するグレーティングでは、光が反射回折される際に図5に示すようなアナモルフォシスが発生する。すなわち、図5(A)に示すように、グレーティングGへ入射するビームW1のビーム幅とグレーティングGで反射回折作用を受けた後のビームW2ビーム幅とが大きく異なってしまふ。例えば、グレーティングGへ入射する光の断面形状(光軸に垂直な断面形状)が円形であった場合には、図示のように像面においては楕円形に変形することになり、図示はしないが、併せてビームの集光NA(開口数)も変形作用を受けることになる。したがって、グレーティングへの反射回折前後で光のアナモルフォシスが発生すると(アナモルフィック効果を受けると)、反射回折後の光を光ファイバへ入射させた際に大きな結合損失が発生してしまうことになる。

【0029】

これに対し、図5(B)に示すように、グレーティングGへ入射するビームW1のビーム幅とグレーティングGでの反射回折作用を受けた後のビームW2のビーム幅とに大きな差異が発生しなければ、上記のようなアナモルフォシスの発生を小さく抑えることができる(このとき、グレーティングGへ入射する光の断面形状が円形であった場合には、像面においてもほぼ円形となる)。すなわち、グレーティングは反射回折前後において光を等倍結合する構成であることが好ましい。このようにすれば、光分波合波器に光を入射させる側の光ファイバと光分波合波器より光を出射させる側の光ファイバとを同じもの(同じ材質、同じ径)にしたときには、原理的に高い結合効率を得られることになる。

【0030】

このような考え方から、本光分波合波器1においては、光入射口12と光出射口13とがグレーティング30の回折溝31の延びる方向に、グレーティング30を挟むように配設されている。このような構成によれば、グレーティング30へ入射する光束とグレーティング30において反射回折した光束とがなす角度(但し、反射回折後の光が分散する方向についての角度)を極めて小さくすることができ、その結果、反射回折前後における光の断面形状の変形は小さくなり、グレーティング30において発生するアナモルフィック効果を大幅に低減させることができる。

【0031】

このため本光分波合波器1では、入射した波長分割多重光とグレーティング30における反射回折後の波長ごとに分波された各光との間のNAの差は極めて小さいものとなり(す

10

20

30

40

50

なわちNAが高レベルに保存され)、小型でありながら低損失な性能が得られる。また、このような性能を備えることにより、本分波合波器1をWDM光通信に適用した場合、従来技術のうち誘電体多層膜ダイクロミックミラー方式やファイバブラッググレーティング方式が4波程度の分波・合波が普通なのに対し、小型ながらより多くの波長チャネルを同時に扱うことが可能となる。更に、アナモルフォシスの発生を抑えた結果、イメージ(像)の変形が小さくなり、例えば等倍の像に結像させた場合、入射側光ファイバ端のモードフィールド像がイメージとしてよく再現され、同時に光ファイバのNAも忠実に再現されることになる。更に本分波合波器1によれば、後述する実施例において示すように、像点における収差が良好に補正される。

【0032】

また、これらの特徴は、従来のグレーティング分光器方式のものよりも光ファイバへの光エネルギーの結合効率を高める効果があり、使用波長域にグレーティングのブレイズ波長域が合致した場合、従来のいずれの方式にもない、低い内部損失での分波・合波を実現できる可能性を秘めている。また、非常に小型化されるという特徴は、省スペースが強く要求される光通信アクセス系の光学部品として適している。更に、本分波合波器1は、光ファイバアレイ以外は一体構造となっているので、機械的安定性が抜群に良い分波・合波が実現できる点も光通信アクセス系の光学部品として適している。

【0033】

また、本光分波合波器1で、上述したように、ケース10の内部空間11内は光透過性のよい固体媒質Tmにより満たされている。なお、ここでは内部空間11内に満たされる透明媒質は固体であるが、これは光透過性のよい液体(ゲル状の物質を含む)であってもよい。或いは、ケース10の内部空間11は単なる空洞であってもよい。但し、この場合には内部は真空状態であることがより好ましい。また、このようにケース10の内部空間11が空洞或いは液体で満たされるときには、光入射用光ファイバ50の端面及び光出射用光ファイバ60の端面は、内部空間11内或いは液体内に晒された状態となる。

【0034】

ここで、本光分波合波器1のように、内部空間11を透明な固体媒質Tmが満たす構成であるときには、予め所定の形状にした固体媒質Tmにコリメータ20及びイメージングミラー40を取り付けてこれらを一体構造(モノリシックな構成)とした上で固体媒質Tmをケース10により覆い、これに入射用光ファイバ50及び出射用光ファイバ60を取り付けるという手順で本光分波合波器1を製造することができるので、製造工程が大変簡易になる。

【0035】

また、本光分波合波器1では、上述したように、入射用光ファイバ50と固体媒質Tmとの接続面、及び出射用光ファイバ60と固体媒質Tmとの接続面にはともに傾斜が付けられていたが、これら双方の接続面は互いに平行であることが好ましい。例えば、アライメントエラーにより入射用光ファイバ50の固体媒質Tm表面上への取り付け位置が本来の位置よりも上方にずれてしまった場合には、入射光束L1の主光線が上方にずれるとともに、出射光束L4の主光線も同じ量だけ下方にずれるのであるが、ここで、図3に示すような方向の傾斜が上記両接続面に平行に設けられているとすると、入射用光ファイバ50の取り付け位置が上方にずれたときには上記傾斜により光の入射口12は入射用光ファイバ50側(図3では紙面の左方)にもずれており、光の入射点はコリメータ20から僅かに遠ざかることになる。一方、これにより像点はイメージングミラー40に近づくことになるが、上記のようにこの像点は光の入射点が上方にずれた分だけ下方にずれるので、ちょうど出射用光ファイバ60と固体媒質Tmとの接続面上に位置して結像することになる。このように、入射用光ファイバ50と固体媒質Tmとの接続面、及び出射用光ファイバ60と固体媒質Tmとの接続面が互いに平行であれば、アライメントエラーにより生ずる結像点の位置ずれは自動的に修正される。

【0036】

また、本光分波合波器1においては、イメージングミラー40の焦点がグレーティング3

10

20

30

40

50

0の反射回折面32上(若しくはその近傍位置)に位置していることが好ましい。イメージングミラー40がこのように配置されているのならば、グレーティング30の反射回折面32において反射回折されて波長ごとに分光(分波)された各光束は、グレーティング30を上方より見た図6より分かるように、イメージングミラー40において反射した後、各波長ごとの光の主光線は互いに平行となる(すなわちテレセントリックな結像態様となる)。

【0037】

ここで、ケース10の光出射口13に繋がる複数の出射用光ファイバ60が平行に配列されており、かつ、上記した各出射用光ファイバ60の端面カットの角度が全て同じで互いに平行になるように処理されているのであれば、各波長ごとの光の結像光線(の主光線)はほぼ等しい角度で、対応する出射用光ファイバ60のコア61に入射することになる。したがって、イメージングミラー40において反射した波長ごとの光L4の出射用光ファイバ60への入射角度を最適値に調節すれば、固体媒質Tmと出射用光ファイバ60との間の結合損失を低減させて、本光分波合波器1全体としての損失をより一層低減させることが可能となる。

10

【0038】

また、上記実施形態において示したグレーティング30は、空気中に晒された反射回折面32において反射回折を行う表面反射形のグレーティングであったが、このような表面反射形のグレーティングを用いれば、ケース10の内部空間11内を占める媒質(固体とは限らない)の屈折率の温度変化が問題となる場合において有効となる。すなわち、一般にガラスなどの固体、液体からなる媒質は屈折率の温度変化が気体に比べて大きく、屈折率が変化すると上記媒質内を伝播中の光の波長が変化してしまう。その結果、グレーティングによる回折角度に変動が生じ、像点位置のドリフトが生じる虞がある。ここで、上記実施形態において示したように、グレーティングの反射回折面を空気中に晒し、空気層を介して光の反射回折を行うようにすることにより、温度変化による像点ドリフトを大幅に軽減させることができる。

20

【0039】

また、コリメータ20及びイメージングミラー40は上述したように、ともに凹面反射面であるが、本光分波合波器1ではこれを特に回転放物面形状とすることにより、波長ごとに分波した各光L4に対応する出射用光ファイバ60へ結合させるときに生じる結合損失を低減させて本分波合波器1全体としての損失を低下させることができる。具体的には、図7に示すように、コリメータ20及びイメージングミラー40がそれぞれ同一の回転放物面PS上の異なる一部分となるようにするとともに、回転放物面PSの生成回転軸PXが入射用光ファイバ50を介してケース10の内部空間11内(固体媒質Tm内)に入射した光L1の主光線に対して平行となり、かつ、回転放物面PSの焦点PFがグレーティング30の反射回折面32上(若しくはその近傍位置)に位置するようにコリメータ20及びイメージングミラー40を配置する。

30

【0040】

コリメータ20及びイメージングミラー40が上記のように配置された場合、入射用光ファイバ50を介してケース10の内部空間11内(固体媒質Tm内)に入射した光L1がコリメータ20において反射した光L2の主光線はグレーティング30の反射回折面32上に至るが、この光L2の主光線の光軸が反射回折面32と交わる点は、コリメータ20及びイメージングミラー40の表面形状を含んでなる回転放物面PSの生成回転軸PX上に位置し、しかも、その回転放物面PSの焦点PFに一致(或いはほぼ一致)する。このとき、グレーティング30の反射回折面32において反射回折した光L3は回転放物面PSの焦点PFより発する光となるため、その回転放物面PSの一部であるイメージングミラー40において反射した光L4の主光線は回転放物面PSの生成回転軸PX、及び光L1の主光線の光軸と平行になる(テレセントリックな結像態様となる)。

40

【0041】

ここで、上述したように、ケース10の光出射口13に繋がる複数の出射用光ファイバ6

50

0の列が平行に配列されており、かつ、上記した各出射用光ファイバ60の端面カットの角度が全て同じで互いに平行になるように処理されているのであれば、各波長ごとの光の結像光線(の主光線)はほぼ等しい角度で、対応する出射用光ファイバ60のコア61に入射することになるため、イメージングミラー40において反射した波長ごとの光L4の出射用光ファイバ60への入射角度を最適値に調節すれば、固体媒質Tmと出射用光ファイバ60との間の結合損失を低減させて、本光分波合波器1全体としての損失をより一層低減させることが可能となる。

【0042】

ここでもし、グレーティング30をただの平面ミラーに置き換えて、その反射面をコリメータ20及びイメージングミラー40の表面形状を含んでなる回転放物面PSの生成回転軸PXに垂直に設置するならば、入射用光ファイバ50を介してケース10の内部空間11内(固体媒質Tm内)に入射し、コリメータ20、平面ミラー、イメージングミラー40を経て、出射用光ファイバ60の端面にできる入射用光ファイバ50の端面像は、おおよそアプラナティックな結像をすることになり、幾何光学的収差が非常に小さくなる。本光分波合波器1のようにグレーティング30をグレーティングとして作用させてもその傾向は残るので、やはり幾何光学的収差は大変小さくなる。

【0043】

また、上記のようにコリメータ20及びイメージングミラー40の表面形状が回転放物面となるようにする代わりに、コリメータ20及びイメージングミラー40の表面形状がトーリック面となるようにすることによっても、波長ごとに分波した各光L4を対応する出射用光ファイバ60へ結合させるときに生じる結合損失を低減させて本分波合波器1全体としての損失を低下させることができる。

【0044】

具体的な説明に入る前に、先ずトーリック面について説明する。トーリック面には図8に示すように2つのタイプがあり、そのトーリック面の生成回転軸AXを通る平面を経面M、生成軸AXに垂直な平面のうちトーリック面との交円が大円となる平面を赤道面Eとした場合、赤道面Eによりトーリック面自身を切断したときに交円が1つ得られるタイプのもの(第1のタイプのトーリック面とする)と、赤道面Eによりトーリック面自身を切断したときに交円が2つ得られるタイプのもの(第2のタイプのトーリック面とする)とが存在する。図8(A)は前者の例を示しており、図8(B)は後者の例を示している。これら両タイプのトーリック面とも大きさの異なる2つの曲率半径を有しているが、このうち大きい方の曲率半径をタンジェンシャル(メリジオナル)方向の曲率半径Rt、小さい方の曲率半径がサジタル方向の曲率半径Rsとする。

【0045】

ここで、コリメータ20及びイメージングミラー40の表面形状を含むトーリック面として上記第1のタイプを採用する場合には、図9に示すように、コリメータ20及びイメージングミラー40がそれぞれ同一のトーリック面TS上の異なる一部分となるようにしたうえで、これらコリメータ20及びイメージングミラー40を、1 そのトーリック面TSの経面Mのうち選択された一つ(経面M1とする)が入射用光ファイバ50を介してケース10の内部空間11内(固体媒質Tm内)に入射する光L1の主光線の光軸に対して平行になるとともに、2 その選択された経面M1内方向の焦点RMFが反射回折面32上(若しくはその近傍位置)に位置し、かつ、3 上記選択された経面M1が、上記光L1の主光線を含んでグレーティング30の回折溝31と平行な方向に延びる平面BS1と0°ないし45°の範囲で交わる(図9中に示す角度1が0°ないし45°の範囲となる)位置に設ける。

【0046】

一方、コリメータ20及びイメージングミラー40を含むトーリック面として上記第2のタイプを採用する場合には、図10に示すように、コリメータ20及びイメージングミラー40がそれぞれ同一のトーリック面TS上の異なる一部分となるようにしたうえで、これらコリメータ20及びイメージングミラー40を、1 そのトーリック面TSの赤道

10

20

30

40

50

面 E のうち選択された一つ（赤道面 E 1 とする）が上記光 L 1 の主光線の光軸に対して平行になるとともに、 θ_2 その選択された赤道面 E 1 内方向の焦点 R E F が反射回折面 3 2 上（若しくはその近傍位置）に位置し、かつ、 θ_3 上記選択された赤道面 E 1 が、上記光 L 1 を含んでグレーティング 3 0 の回折溝 3 1 と平行な方向に延びる平面 B S 2 と 0° ないし 45° の範囲で交わる（図 10 中に示す角度 θ_2 が 0° から 45° の範囲となる）位置に設ける。

【0047】

コリメータ 2 0 及びイメージングミラー 4 0 が上記のように配置された場合、トーリック面 T S が第 1 のタイプであるときには、入射用光ファイバ 5 0 を介してケース 1 0 の内部空間 1 1 内（固体媒質 T m 内）に入射した光 L 1 がコリメータ 2 0 において反射した光 L 2 の主光線はグレーティング 3 0 の反射回折面 3 2 上に至るが、この光 L 2 の主光線の光軸が反射回折面 3 2 と交わる点は、コリメータ 2 0 及びイメージングミラー 4 0 の表面形状を含んでなるトーリック面 T S の生成回転軸 A X 上に位置し、しかも、そのトーリック面 T S の選択された経面 M 1 内方向の焦点 R M F に一致（或いはほぼ一致）する。このとき、グレーティング 3 0 の反射回折面 3 2 において反射回折した光 L 3 はトーリック面 T S の上記焦点 R M F より発する光となるため、そのトーリック面 T S の一部であるイメージングミラー 4 0 において反射した光 L 4 の主光線はトーリック面 T S の生成回転軸 A X、及び光 L 1 の主光線の光軸と平行になる（テレセントリックな結像態様となる）。

10

【0048】

また、トーリック面 T S が第 2 のタイプであるときには、入射用光ファイバ 5 0 を介してケース 1 0 の内部空間 1 1 内（固体媒質 T m 内）に入射した光 L 1 がコリメータ 2 0 において反射した光 L 2 の主光線はグレーティング 3 0 の反射回折面 3 2 上に至るが、この光 L 2 の主光線の光軸が反射回折面 3 2 と交わる点は、コリメータ 2 0 及びイメージングミラー 4 0 の表面形状を含んでなるトーリック面 T S の生成回転軸 A X 上に位置し、しかも、そのトーリック面 T S の選択された赤道面 E 1 内方向の焦点 R E F に一致（或いはほぼ一致）する。このとき、グレーティング 3 0 の反射回折面 3 2 において反射回折した光 L 3 はトーリック面 T S の上記焦点 R E F より発する光となるため、そのトーリック面 T S の一部であるイメージングミラー 4 0 において反射した光 L 4 の主光線はトーリック面 T S が第 1 のタイプである場合と同様、トーリック面 T S の生成回転軸 A X、及び光 L 1 の主光線の光軸と平行になる（テレセントリックな結像態様となる）。

20

30

【0049】

ここで、上述したコリメータ 2 0 及びイメージングミラー 4 0 の表面形状を回転放物面とする場合と同様、ケース 1 0 の光出射口 1 3 に繋がる複数の出射用光ファイバ 6 0 の列が平行に配列されており、かつ、上記した各出射用光ファイバ 6 0 の端面カットの角度が全て同じで互いに平行になるように処理されているのであれば、各波長ごとの光の結像光線（の主光線）はほぼ等しい角度で、それぞれに対応する出射用光ファイバ 6 0 のコア 6 1 に入射することになるため、イメージングミラー 4 0 において反射した波長ごとの光 L 4 の出射用光ファイバ 6 0 への入射角度を最適値に調節すれば、固体媒質 T m と出射用光ファイバ 6 0 との間の結合損失を低減させて、本光分波合波器 1 全体としての損失をより一層低減させることが可能となる。

40

【0050】

ここで、トーリック面が第 1 のタイプであるか第 2 のタイプであるかに拘わらず、光 L 1 の主光線の光軸がコリメータ 2 0 上の反射点法線となす角を θ_1 とすると、光 L 2 の主光線の光軸が上記コリメータ 2 0 上の反射点法線となす角も θ_1 となり、光 L 3 の主光線の光軸がイメージングミラー 4 0 上の反射点法線となす角を θ_2 とすると、光 L 4 の主光線の光軸が上記イメージングミラー 4 0 上の反射点法線となす角も θ_2 となる。グレーティング 3 0 の反射回折面 3 2 に入射した光の入射角度と、反射回折面 3 2 において反射した光の出射角度はほぼ等しいことから、上記 θ_1 と θ_2 とはほぼ等しくなり（ $\theta_1 = \theta_2$ ）、その角度を θ とおくと、光 L 1 の主光線の光軸と光 L 2 の主光線の光軸とがなす角度は 2θ となり、光 L 3 の主光線の光軸と光 L 4 の主光線の光軸とがなす角度も 2θ となる（図

50

9及び図10参照)。

【0051】

また、上記のようにコリメータ20及びイメージングミラー40をトーリック面とする場合、更に下に示す条件を満たすようにすることにより、コリメータ20及びイメージングミラー40において光が反射することにより生ずる幾何光学的収差を容易に抑えることが可能である。その具体的な説明に入る前に、先ず、図11を用いて凹トーリック反射面のパワーについて説明する。

【0052】

図11は、凹トーリック反射面MSの反射点Rpでの法線RpVに対して角度θで平行光束が入射して反射する様子を示している。ここで、光束Ltは上記平行光束の凹トーリック反射面MSのタンジェンシャル方向(メリジオナル)入射成分、光速Lsは上記平行光束の凹トーリック反射面MSのサジタル方向入射成分である。凹トーリック反射面MSに、反射点Rpでの法線RpVに対して角度θで入射する光束について、タンジェンシャル方向(図中にTで示す方向)の焦点距離とサジタル方向での焦点距離を一致させるためには、その凹面反射面MSの反射点Rpでの2つの曲率半径Rt, Rs(図9及び図10も参照)について、焦点距離をfとしたときに(この焦点距離fは、図11における反射点Rpと光の集光点BFとの間の距離となる)、下式(1)、(2)が満たされるようにすればよい。

【0053】

【数1】

タンジェンシャル方向： $R_t = 2 \cdot f / \cos \theta$... (1)

サジタル方向： $R_s = 2 \cdot f \cdot \cos \theta$... (2)

【0054】

上記両式(1)、(2)より、下式(3)が導かれる。

【0055】

【数2】

$R_s / R_t = \cos^2 \theta$... (3)

【0056】

図9及び図10において示したθの値を上式(3)に当てはめてこれが成り立つとき、コリメータ20及びイメージングミラー40において反射する光の非点収差の発生が抑えられることになるので、非点収差による像の伸び変形が発生しない。したがって、受光側でファイバ結合効率を高く維持でき、損失をより小さく抑えることが可能となる。

【0057】

これまで本発明の好ましい実施形態について説明してきたが、本発明の範囲は上述の実施形態に示したものに限定されない。例えば、上述の実施形態では、コリメータ20とイメージングミラー40とを別部材からなっていたが、これらは一体に形成されるものであってもよい。特に、コリメータ20及びイメージングミラー40の表面形状を回転放物面、或いはトーリック面とする場合には、製作及び構成が非常に簡単になる。

【0058】

また、上述の実施形態においては、グレーティング30の反射回折面32は空気を隔ててケース10の内部空間11(固体媒質Tm)と対向するようになっていたが、反射回折面32は必ずしも空気を隔ててケース10の内部空間と対向するようになっていない。例えば、図12及び図13に示すように、グレーティング30'が複数の直線状の回折溝31'が等間隔に並べられてなる反射回折面32'を有しており、この反射回折面32'が、グレーティング30'を構成する媒質内に形成されているところの、裏面反射形であってもよい。このとき、コリメータ20において反射された光L2は、固体媒質Tmよりグレーティング30を構成する材質(例えば石英ガラス)を透過して反射回折面32'に至り、反射回折後の光は再びグレーティング30を構成する材質を透過して固体媒質Tm内に入り、イメージングミラー40に至る光路をとることになる(このときのグレーティング30'は裏面反射形のグレーティングとなる)。なお、図12はこのような変形

10

20

30

40

50

例に係る光分波合波器 1' の斜視図であり、図 13 (A) はこの光分波合波器 1' の正面図、(B) は右側面図、(C) は平面図、(D) は左側面図 (但し、右側面図とは上下が逆) である。また、これら両図では、上述の実施形態と同じ構成のものには同じ符号を付している。なお、表面反射形であってもこれをケース 10 の内部空間 11 内 (或いはこの内部空間 11 を満たす固体媒質 Tm 内) に位置させることもできる。

【0059】

また、本発明に係る光分波合波器を光合波器として用いた場合には、光の入出力方向が全く逆になる。すなわち、上記各出射用光ファイバ 60 よりケース 10 の内部空間 11 内 (固体媒質 Tm 内) に入射された、異なる波長を有する複数の光は、イメージングミラー 40 において反射された後、グレーティング 30 の反射回折面 32 に至って反射回折され、一つの光に合波された状態となってコリメータ 20 に至り、ここで反射されて入射用光ファイバ 50 に入射されることになる。また、本光分波合波器は、上述のように、波長分割多重光の分波及び波長分割多重光への合波に用いることができるが、その用途は必ずしもこれら光の分波・合波に限定されるものではない。

10

【0060】

【実施例】

以下、本発明に係る分波合波器の具体的な実施例について示す。

【0061】

(第1実施例)

図 14 は本発明の第 1 実施例に係る光分波合波器を示すものであり、(A) は分波合波器の正面図 (但し、入射用光ファイバ 50 と出射用光ファイバ 60 のみを示す)、(B) は右側面図、(C) は平面図である。この第 1 実施例に係る光分波合波器では、コリメータ 20 及びイメージングミラー 40 を回転放物面から形成しており、ケース 10 の内部空間 11 内は後記する屈折率特性を有する固体媒質 Tm で満たした。グレーティング 30 は裏面反射形であり (上述の実施形態の変形例に係る光分波合波器 1' に相当)、反射回折面 32' と対向する側の面はケース 10 の壁部 14 に設けた貫通穴 (図示せず) を介して固体媒質 Tm と接合させた。また、グレーティング 30 上の光の反射点を原点として、XYZ 座標系を図 14 のように設定した。主要諸元及び入射点、像点の座標データを下の表 1 に示す。

20

【0062】

【表 1】

主要部寸法: $A = 30.5 \text{ mm}$, $B = 30 \text{ mm}$

固体媒質の波長に対する屈折率特性: 図 15 の表に示す

分波波長: 1371 mm , 1391 mm , 1411 mm , 1431 mm , 1461 mm , 1491 mm , 1511 mm , 1531 mm , 1551 mm , 1571 mm , 1591 mm , 1611 mm , 1631 mm , 1651 mm , 1671 mm , 1691 mm の 16 波

グレーティング

格子定数: $1 / 400 \text{ mm}$

回折次数: 1 次

溝方向: Y 軸に平行

反射回折面の法線 GV が Z 軸となす角度: 11.907°

入射点の座標: $X = -0.5 \text{ mm}$, $Y = 5.5 \text{ mm}$

像点の座標: 図 16 の表に示す

30

40

【0063】

像点での結像性能の一例を図 17 に示す。この結像性能を示す図は、上記 16 の分波波長より選択した波長 1571 mm の光の像点における強度分布を立体表示 (図 17 (A)) とコンター表示 (図 17 (B)) にて示したものである (単位デシベル)。図 17 (B) においてコンター表示は、頂点を 0 dB とし、 -30 dB まで 3 dB 刻みで示した。なお、本実施例では、光の入射面及び像面は、回転放物面の生成回転軸に垂直な平面であると

50

した。

【0064】

(第2実施例)

図18は本発明の第2実施例に係る光分波合波器を示すものであり、(A)は分波合波器の正面図(但し、入射光用光ファイバ50と出射用光ファイバ60のみを示す)、(B)は右側面図、(C)は平面図、(D)は左側面図(但し、右側面図とは上下が逆)である。この第2実施例に係る光分波合波器では、コリメータ20及びイメージングミラー40を回転放物面から形成しており、ケース10の内部空間11内は上記第1実施例と同じ屈折率特性を有する固体媒質Tmで満たした。グレーティング30は表面反射形であり(上述の実施形態に係る光分波合波器1に相当)、反射回折面32は空気を隔てて固体媒質Tmと対向するように位置させた。また、グレーティング30上の光の反射点を原点として、XYZ座標系を図18のように設定した。主要諸元及び入射点、像点の座標データを下の表2に示す。

10

【0065】

【表2】

主要部寸法： A = 30.51 mm, B = 27.5 mm, C = 1.7 mm

固体媒質の波長に対する屈折率特性：図15の表と同じ

分波波長： 第1実施例と同じ16波

グレーティング

格子定数：1 / 400 mm

20

回折次数：1次

溝方向：Y軸に平行

反射回折面の法線GYがZ軸となす角度：17.5°

入射点の座標： X = -0.5 mm, Y = 5.5 mm

像点の座標： 図19の表に示す

【0066】

像点での結像性能の一例を図20に示す。この結像性能を示す図は、上記16の分波波長より選択した波長1571mmの光の像点における強度分布を立体表示(図20(A))とコンター表示(図20(B))にて示したものである(単位デシベル)。図20(B)においてコンター表示は、頂点を0dBとし、-30dBまで3dB刻みで示した。なお、本実施例では、光の入射面及び像面は、回転放物面の生成回転軸に垂直な平面であるとした。

30

【0067】

(第3実施例)

図21は本発明の第3実施例に係る光分波合波器を示すものであり、(A)は分波合波器の正面図(但し、入射光用光ファイバ50と出射用光ファイバ60のみを示す)、(B)は右側面図、(C)は平面図である。この第3実施例に係る光分波合波器では、コリメータ20及びイメージングミラー40を前述した第2のタイプのトーリック面から形成しており、ケース10の内部空間11内は上記第1実施例と同じ屈折率特性を有する固体媒質Tmで満たした。グレーティング30は裏面反射形であり(上述の実施形態の変形例に係る光分波合波器1'に相当)、反射回折面32'と対向する側の面はケース10の壁部14に設けた貫通穴(図示せず)を介して固体媒質Tmと接合させた。また、グレーティング30上の光の反射点を原点として、XYZ座標系を図21のように設定した。主要諸元及び入射点、像点の座標データ等を下の表3に示す。

40

【0068】

【表3】

主要部寸法： A = 30.31 mm, B = 30 mm

固体媒質の波長に対する屈折率特性：図15の表と同じ

分波波長： 第1実施例と同じ16波

トーリック面

50

曲率半径： $R_t = 60.404 \text{ mm}$, $R_s = 60 \text{ mm}$ ($R_s / R_t = 0.993$)

グレーティング

格子定数： $1 / 400 \text{ mm}$

回折次数： 1 次

溝方向： Y 軸に平行

反射回折面の法線 GV が Z 軸となす角度 : 12°

入射点の座標： $X = -0.5 \text{ mm}$, $Y = 5.5 \text{ mm}$

像点の座標： 図 2 2 の表に示す

図 1 0 中に示す角度 2 : 90°

図 2 1 中に示す角度 : 5.2° ($\cos^2 = 0.992 \quad R_s / R_t$)

10

【 0 0 6 9 】

像点での結像性能の一例を図 2 3 に示す。この結像性能を示す図は、上記 1 6 の分波波長より選択した波長 1571 mm の光の像点における強度分布を立体表示 (図 2 3 (A)) とコンター表示 (図 2 3 (B)) にて示したものである (単位デシベル) 。図 2 3 (B) においてコンター表示は、頂点を 0 dB とし、 -30 dB まで 3 dB 刻みで示した。なお、本実施例では、光の入射面及び像面は、回転放物面の生成回転軸に垂直な平面であるとした。

【 0 0 7 0 】

上記第 1 ~ 第 3 実施例についての結果を見ると、分波後の波長は、中央部の光強度が周辺部の光強度よりも際立って高い、ガウスビーム形の強度分布となっている。また、収差も良好に補正されている。これらのことから、本発明に係る光分波合波器は、入射から出射まで NA が高レベルに保存されて損失が小さく抑えられ、多波長 (これら実施例では 1 6 波長) を扱いながらも良好な結像性能を有していることが分かる。

20

【 0 0 7 1 】

【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明に係る光分波合波器では、光入射口と光出射口とが、グレーティングにおける回折溝の延びる方向に、グレーティングを挟んで設けられているため、グレーティングへの入射光束とグレーティングからの反射回折光束とがなす、反射回折後の光が分散する方向についての角度を極めて小さくすることができ、反射回折の前後における光のアナモルフィック効果を大幅に低減させることができる。このため、入射した波長分割多重光とグレーティングにおける反射回折後の波長ごとに分波された各光との間の NA の差は極めて小さいものとなり (すなわち NA が高レベルに保存され) 、小型でありながら低損失な性能が得られる。また、このような性能を備えることにより、本光分波合波器を WDM 光通信に適用した場合、従来技術のうち誘電体多層膜ダイクロイックミラー方式やファイバブラッググレーティング方式が 4 波程度の分波・合波が普通なのに対し、小型ながらより多くの波長チャンネルを同時に扱うことが可能となる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態に係る光分波合波器の斜視図である。

【 図 2 】 光分波合成器を示す図であり、(A) は正面図、(B) は右側面図、(C) は平面図、(D) は左側面図である。

40

【 図 3 】 (A) は入射用光ファイバと固体媒質との接合部を示すケースの部分拡大側面図であり、(B) は各出射用光ファイバと固体媒質との接合部を示すケースの部分拡大側面図である。

【 図 4 】 光分波合波器 1 におけるケース内の構成品を模式的に示すとともに光の進行状況を (A) , (B) , (C) , (D) の順に示したものであり、左側の列はケース内部の右側面図を示し、右側の列はケース内部の平面図を示している。

【 図 5 】 グレーティングにおいて光が反射回折される際に生じるアナモルフォシスの発生を説明する図であり、(A) はグレーティングへ入射するビームのビーム幅とグレーティングで回折作用を受けた後のビームのビーム幅とが大きく異なる場合の例、(B) は上記両ビーム幅に大きな差異が生じない場合の例である。

50

【図 6】グレーティングの反射回折面において反射回折されて波長ごとに分光された各光束が互いに平行となる様子を示す、グレーティングを上方から見た図である。

【図 7】コリメータ及びイメージングミラーがそれぞれ同一の回転放物上の異なる一部分となるようにした場合の光の光路を示すケース内部の簡略側面図である。

【図 8】トーリック面の 2 つのタイプを示す図であり、(A) は赤道面によりトーリック面自身を切断したときに交円が 1 つ得られる第 1 のタイプのトーリック面を示し、(B) は赤道面によりトーリック面自身を切断したときに交円が 2 つ得られる第 2 のタイプのトーリック面を示している

【図 9】第 1 のタイプのトーリック面を採用した場合のコリメータ及びイメージングミラーの配置を説明するための図である。

【図 10】第 2 のタイプのトーリック面を採用した場合のコリメータ及びイメージングミラーの配置を説明するための図である。

【図 11】凹トーリック反射面のパワーについて説明するための図である。

【図 12】変形例に係る光分波合波器の斜視図である。

【図 13】変形例に係る光分波合波器を示す図であり、(A) は正面図、(B) は右側面図、(C) は平面図、(D) は左側面図である。

【図 14】本発明の第 1 実施例に係る光分波合波器を示す図であり、(A) は正面図、(B) は右側面図、(C) は平面図である。

【図 15】第 1 実施例において用いられる固体媒質の波長に対する屈折率特性を示す図表である。

【図 16】第 1 実施例において得られる像点の座標を示す図表である。

【図 17】第 1 実施例において得られる像点での結像性能の一例を示す図であり、(A) は波長 1571 mm の光の像点における強度分布を立体表示したものの、(B) はこれをコンター表示したものである。

【図 18】本発明の第 2 実施例に係る光分波合波器を示す図であり、(A) は正面図、(B) は右側面図、(C) は平面図、(D) は左側面図である。

【図 19】第 2 実施例において得られる像点の座標を示す図表である。

【図 20】第 2 実施例において得られる像点での結像性能の一例を示す図であり、(A) は波長 1571 mm の光の像点における強度分布を立体表示したものの、(B) はこれをコンター表示したものである。

【図 21】本発明の第 3 実施例に係る光分波合波器を示す図であり、(A) は正面図、(B) は右側面図、(C) は平面図である。

【図 22】第 3 実施例において得られる像点の座標を示す図表である。

【図 23】第 3 実施例において得られる像点での結像性能の一例を示す図であり、(A) は波長 1571 mm の光の像点における強度分布を立体表示したものの、(B) はこれをコンター表示したものである。

【図 24】従来 of 光分波合波器の第 1 例を示す図である。

【図 25】従来 of 光分波合波器の第 2 例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 光分波合波器
- 10 ケース
- 11 内部空間
- 12 光入射口
- 13 光出射口
- 15 グレーティング載置部
- 20 コリメータ
- 30 グレーティング
- 31 回折溝
- 32 反射回折面
- 40 イメージングミラー

10

20

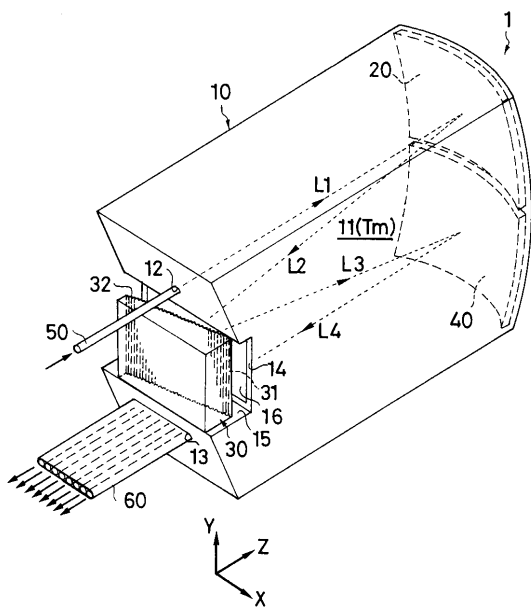
30

40

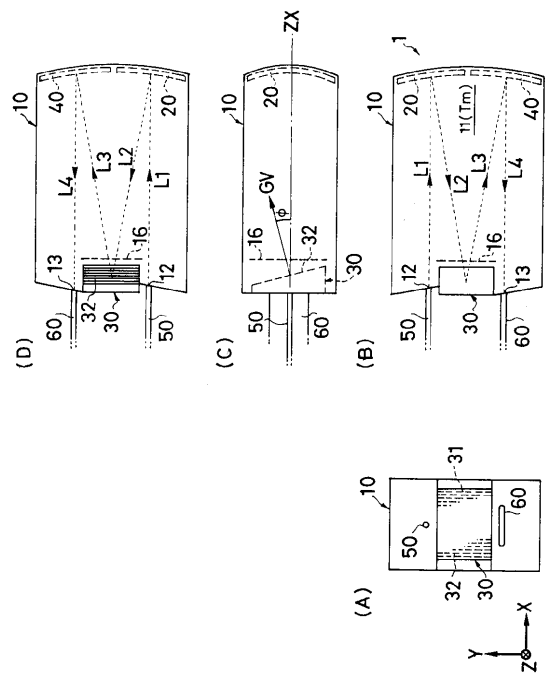
50

- 5 0 入射用光ファイバ
- 6 0 出射用光ファイバ

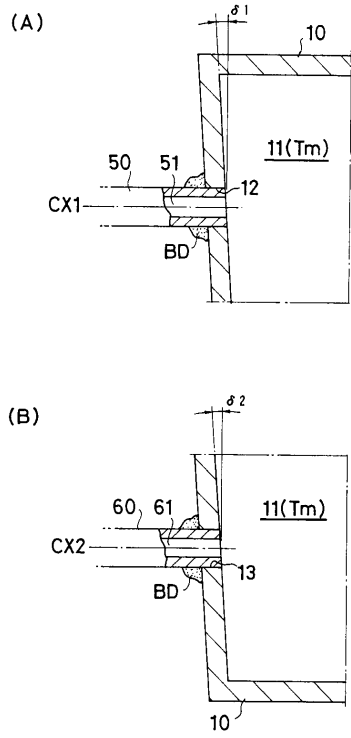
【図 1】



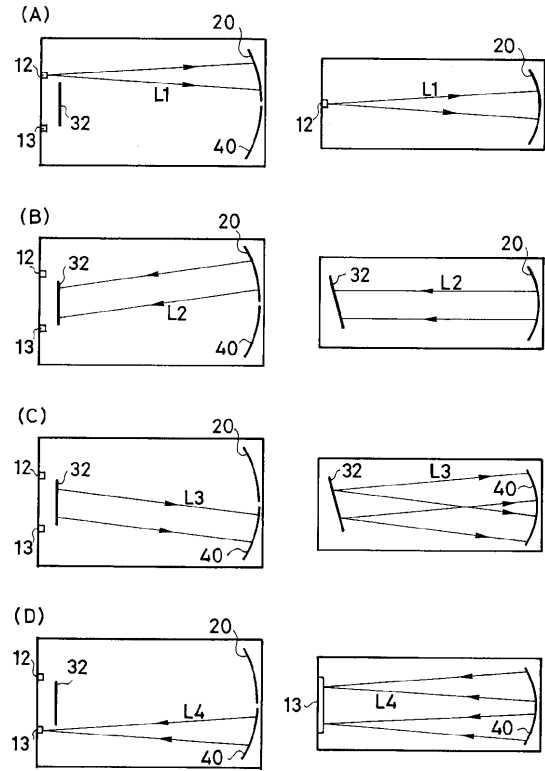
【図 2】



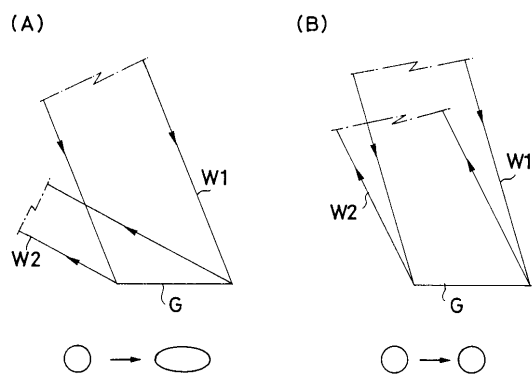
【 図 3 】



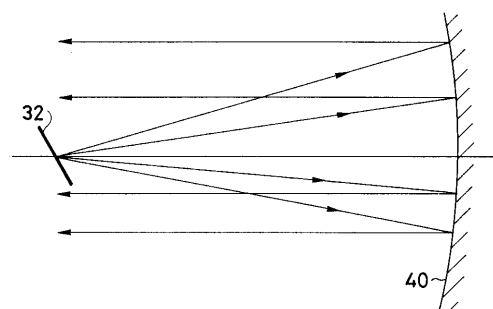
【 図 4 】



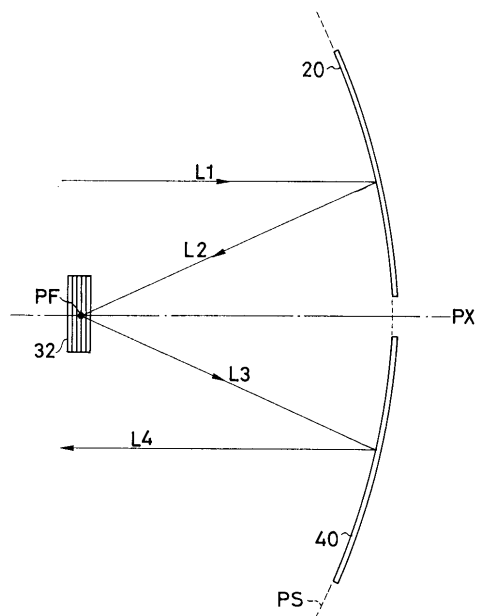
【 図 5 】



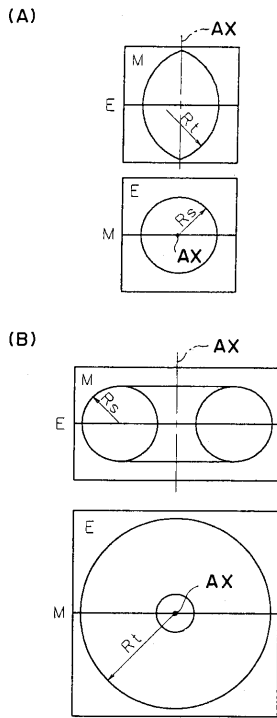
【 図 6 】



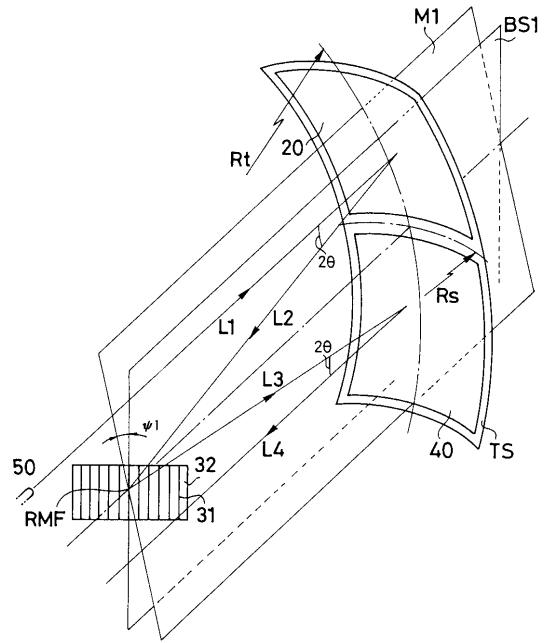
【 図 7 】



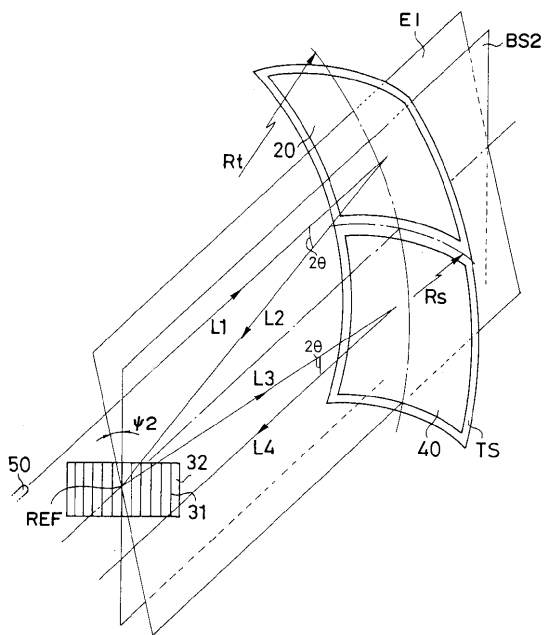
【 図 8 】



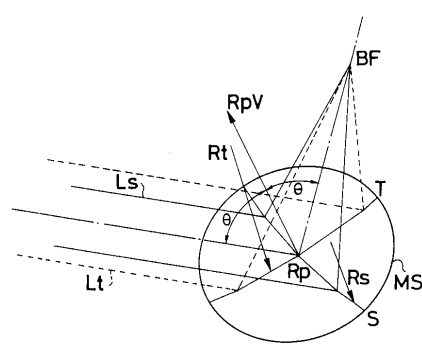
【 図 9 】



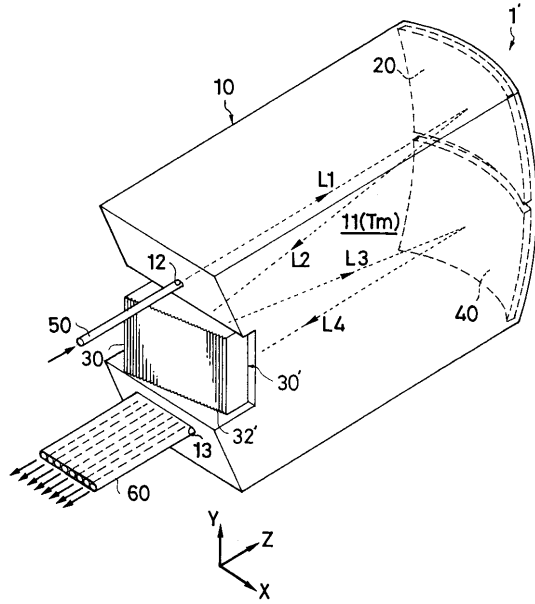
【 図 10 】



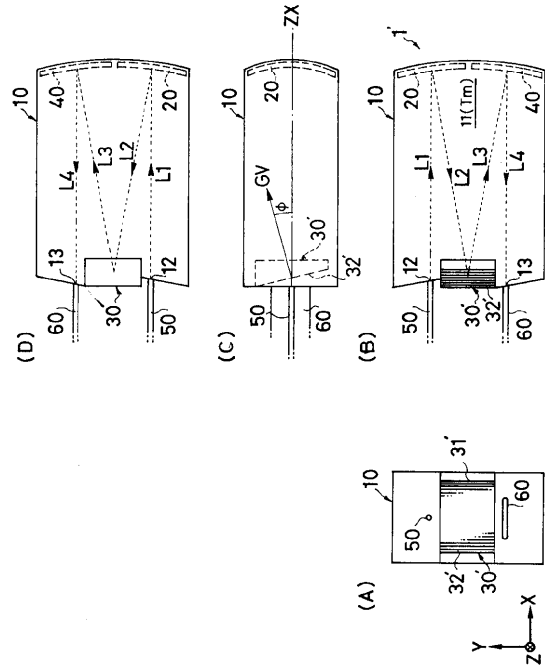
【 図 11 】



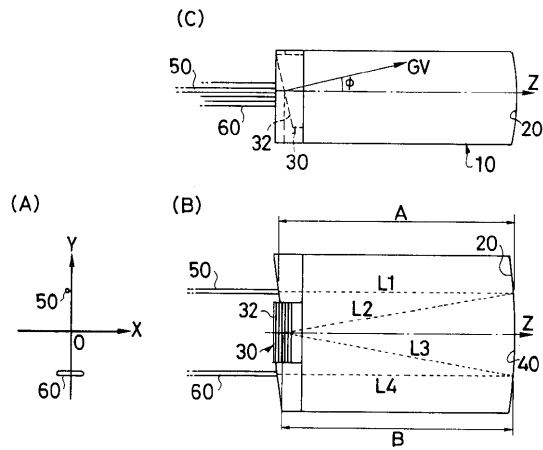
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



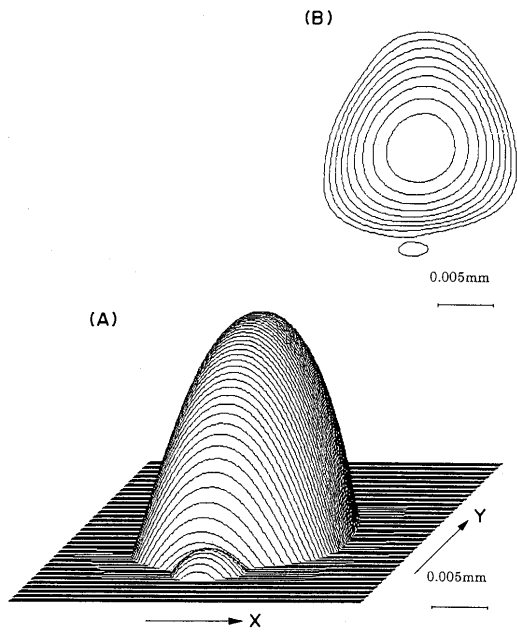
【 図 1 6 】

波長 nm	Xmm	Ymm
1371	1.3144	-0.0023
1391	1.1427	-0.0016
1411	0.9709	-0.0011
1431	0.7988	-0.0006
1461	0.5403	-0.0001
1491	0.2811	0.0003
1511	0.1080	0.0004
1531	-0.0653	0.0004
1551	-0.2390	0.0003
1571	-0.4129	0.0001
1591	-0.5872	-0.0002
1611	-0.7618	-0.0005
1631	-0.9367	-0.0010
1651	-1.1119	-0.0015
1671	-1.2876	-0.0022
1691	-1.4635	-0.0029

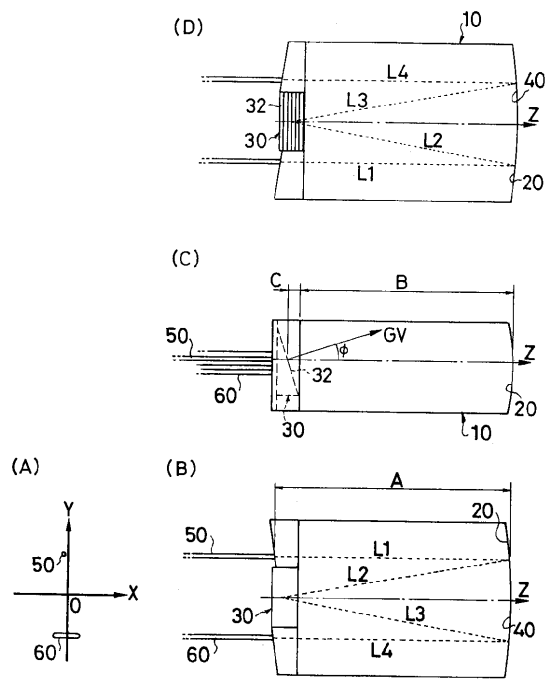
【 図 1 5 】

波長 nm	屈折率
1300	1.446913
1400	1.445774
1500	1.444612
1600	1.443413
1700	1.442167

【 図 1 7 】



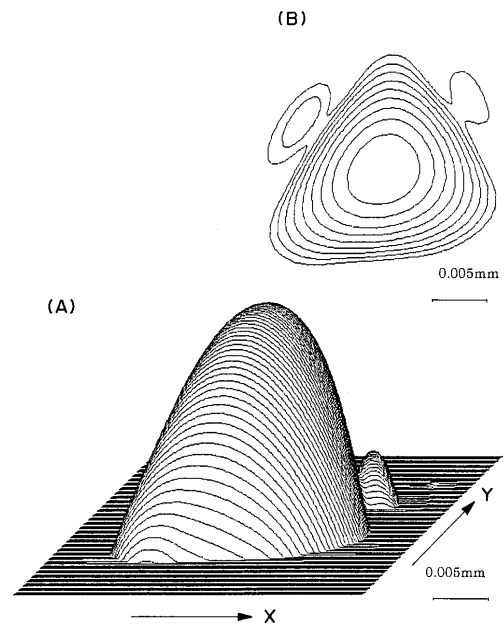
【 図 1 8 】



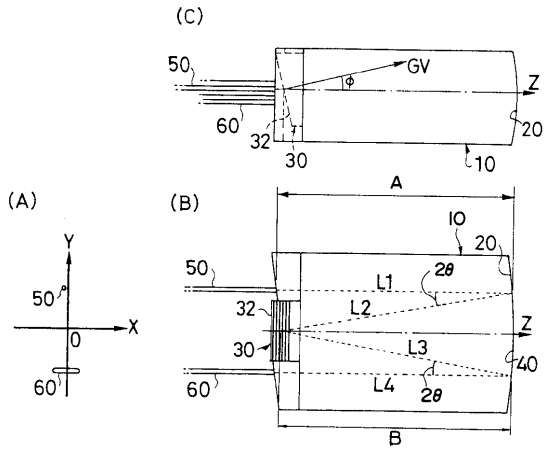
【 図 1 9 】

波長 nm	Xmm	Ymm
1371	1.1863	-0.0018
1391	1.0138	-0.0012
1411	0.8409	-0.0007
1431	0.6675	-0.0003
1461	0.4065	0.0001
1491	0.1443	0.0004
1511	-0.0311	0.0004
1531	-0.2071	0.0003
1551	-0.3836	0.0002
1571	-0.5607	-0.0001
1591	-0.7384	-0.0005
1611	-0.9166	-0.0009
1631	-1.0955	-0.0015
1651	-1.2750	-0.0021
1671	-1.4552	-0.0029
1691	-1.6360	-0.0037

【 図 2 0 】



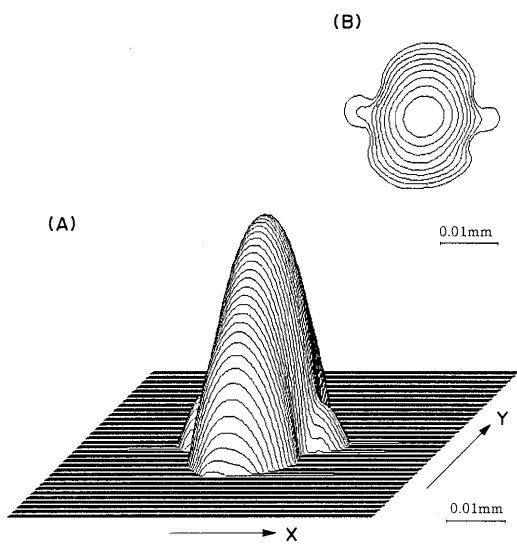
【 図 2 1 】



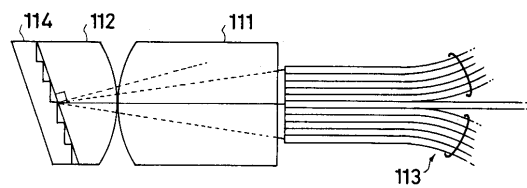
【 図 2 2 】

波長 nm	Xmm	Ymm
1371	1.8059	-0.0013
1391	1.6351	-0.0010
1411	0.8588	-0.0007
1431	0.6876	-0.0004
1461	0.4302	-0.0001
1491	0.1723	0.0001
1511	0.0000	0.0002
1531	-0.1726	0.0002
1551	-0.3454	0.0002
1571	-0.5186	0.0001
1591	-0.6920	0.0000
1611	-0.8658	-0.0002
1631	-1.0399	-0.0004
1651	-1.2143	-0.0006
1671	-1.3890	-0.0009
1691	-1.5640	-0.0012

【 図 2 3 】



【 図 2 5 】



【 図 2 4 】

