

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4138321号
(P4138321)

(45) 発行日 平成20年8月27日 (2008. 8. 27)

(24) 登録日 平成20年6月13日 (2008. 6. 13)

(51) Int. Cl.

F I

GO 2 B 5/18 (2006. 01)
GO 2 B 3/00 (2006. 01)
GO 2 B 5/04 (2006. 01)
GO 2 B 6/293 (2006. 01)

GO 2 B 5/18
GO 2 B 3/00 A
GO 2 B 3/00 Z
GO 2 B 5/04 B
GO 2 B 5/04 C

請求項の数 14 (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-15634 (P2002-15634)
(22) 出願日 平成14年1月24日 (2002. 1. 24)
(65) 公開番号 特開2003-172813 (P2003-172813A)
(43) 公開日 平成15年6月20日 (2003. 6. 20)
審査請求日 平成16年12月22日 (2004. 12. 22)
(31) 優先権主張番号 特願2001-302115 (P2001-302115)
(32) 優先日 平成13年9月28日 (2001. 9. 28)
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000115728
リコー光学株式会社
岩手県花巻市大畑第十地割 1 〇 9 番地
(74) 代理人 100067873
弁理士 樺山 亨
(74) 代理人 100090103
弁理士 本多 章悟
(72) 発明者 小菅 信一
岩手県花巻市大畑第 1 〇 地割 1 〇 9 番地・
リコー光学株式会社内
(72) 発明者 高橋 彰
岩手県花巻市大畑第 1 〇 地割 1 〇 9 番地・
リコー光学株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光分離方法および光合成方法および光分離合成光学素子および光分離カップリング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の所定波長の光を成分として含む入力光を、成分波長をもった光ごとに光分離する方法であって、

板状透明体の厚みを介して対向する 1 対の平面の一方に反射型回折格子を形成してなる光分離合成光学素子に入力光を平行光束として入射させ、入射した入力光を上記反射型回折格子で内部反射させると共に回折させ、成分波長ごとの回折角の差により各成分波長の光の進行方向を異ならせ、上記反射型回折格子で回折された各成分波長の光を、光分離合成光学素子の上記 1 対の平面により順次、複数回内部反射させたのち、上記板状透明体の上記厚みをなす平端面として形成された分離光射出面から、互いに放射状に分離した平行光束として射出させることを特徴とする光分離方法。

【請求項 2】

請求項 1 記載の光分離方法において、

入力光を、光分離合成光学素子の厚みを介して対向する 1 対の平面の一方から所定の入射角で入射させ、上記厚みを介して反射型回折格子に入射させることを特徴とする光分離方法。

【請求項 3】

請求項 1 記載の光分離方法の実施に用いる光分離合成光学素子であって、

板状透明体として形成され、板状透明体の厚さを介して対向する 1 対の平面の一方における所定の位置に反射型回折格子が形成され、成分波長ごとに分離された光が射出する分

離光射出面が、上記１対の平面の少なくとも一方に対して斜めに交わる平端面として形成されたことを特徴とする光分離合成光学素子。

【請求項４】

請求項３記載の光分離合成光学素子において、

反射型回折格子がブレース型回折格子として形成されたことを特徴とする光分離合成光学素子。

【請求項５】

請求項３または４記載の光分離合成光学素子において、

厚みを介して対向する１対の平面が互いに平行であることを特徴とする光分離合成光学素子。

10

【請求項６】

請求項３または４または５記載の光分離合成光学素子において、

入力光の入射位置が、１対の平面の一方に設定されたことを特徴とする光分離合成光学素子。

【請求項７】

請求項３または４または５または６記載の光分離合成光学素子において、

反射型回折格子により内部反射された回折光が、分離光射出面に向う光路において内部反射する部位に反射膜を設けたことを特徴とする光分離合成光学素子。

【請求項８】

請求項３～７の任意の１に記載の光分離合成光学素子を用い、互いに異なる所定波長を持つ複数の光を、単一の出力光として合成する方法であって、

20

互いに異なる所定波長を持つ複数の平行光束を、光分離合成光学素子の分離光射出面に、それぞれ所定の入射角で入射させ、上記光分離合成光学素子の１対の平面で順次、複数回内部反射させたのち、反射型回折格子の略同一部位に入射させて内部反射させ、波長ごとの回折角の差により各波長の光の進行方向を揃え、上記光分離合成光学素子から、単一の平行光束の出力光として射出させることを特徴とする光合成方法。

【請求項９】

複数の所定波長の光を成分として含む入力光を、成分波長をもった光ごとに光分離して成分光とし、これら成分光を、空間的に分離して配置された複数の受光部に、各成分光と受光部を１：１に対応させて入射させる光分離カップリング装置であって、

30

請求項２～７の任意の１に記載の光分離合成光学素子を用いて、複数の所定波長の光を成分として含む入力光を、成分波長をもった光ごとに光分離することを特徴とする光分離カップリング装置。

【請求項１０】

請求項９記載の光分離カップリング装置において、

光分離すべき入力光が非平行光束として与えられ、この非平行光束を平行光束とすべく、光分離合成光学素子の前段にコリメート光学系を有し、上記光分離合成光学素子への入力光とすることを特徴とする光分離カップリング装置。

【請求項１１】

請求項９記載の光分離カップリング装置において、

40

コリメート光学系がコリメートレンズであることを特徴とする光分離カップリング装置。

【請求項１２】

請求項９または１０または１１記載の光分離カップリング装置において、

光分離合成光学素子により空間的に分離された平行光束状の各成分光を、対応する受光部へ向けて集光する集光手段を有することを特徴とする光分離カップリング装置。

【請求項１３】

請求項１２記載の光分離カップリング装置において、

集光手段が、各成分光に応じて集光性のマイクロレンズを配列したマイクロレンズアレイであることを特徴とする光分離カップリング装置。

50

【請求項 14】

請求項 13 記載の光分離カップリング装置において、
光ファイバから射出する、発散性の入力光を、平行光束化するコリメートレンズと、
このコリメートレンズにより平行光束化された入力光を入射され、成分光に分離する光分離合成光学素子と、

この光分離合成光学素子から射出した各成分光を、対応する受光部である導波路入射端へ向けて集光するマイクロレンズアレイとを有することを特徴とする光分離カップリング装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

この発明は、光分離方法、光合成方法および光分離合成光学素子および光分離カップリング装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

通信やコンピュータによる情報処理の分野において、光による信号伝達が日常化し、信号伝達する光として、複数の波長成分の光を用い、波長ごとに異なる情報を伝送することが行われている。このような波長の異なる複数の光による信号伝達に於いては、複数の波長成分を持つ光を各波長成分の光に分離したり（光分離）、逆に波長が互いに異なる複数の光を、これらを波長成分とする単一の光に合成したり（光合成）する必要がある。

20

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

この発明は、新規な光分離方法、光合成方法と、これら光分離方法・光合成方法を実現するための構成簡素な光分離合成光学素子の実現を課題とする。

この発明はまた、光分離合成光学素子を用いた光分離カップリング装置の実現を課題とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】

この発明の光分離方法は「複数の所定波長の光を成分として含む入力光を、成分波長をもった光ごとに光分離する方法」であって、以下の如き特徴を有する。

30

【0005】

即ち、「板状透明体の厚みを介して対向する 1 対の平面の一方に反射型回折格子を形成してなる光分離合成光学素子」に入力光を入射させ、入射した入力光を反射型回折格子で内部反射させると共に回折させ、成分波長ごとの回折角の差により各成分波長の光の進行方向を異ならせる。入射光は平行光束とする。平行光束は厳密な平行光束ではなく、実質的に平行光束と看做しうる程度の「弱い発散性モスクは弱い収束性の光束」であることができる。

【0006】

反射型回折格子で回折された各成分波長の光を、光分離合成光学素子の 1 対の平面により順次、複数回内部反射させたのち「板状透明体の平端面（厚みをなす平坦な端面）として形成された分離光射出面」から射出させる（請求項 1）。入力光は平行光束であり、内部反射は平面での反射であるから、分離されて射出する各成分波長の光も平行光束であり、放射状に分離している。

40

【0007】

この請求項 1 記載の光分離方法において、入力光を「光分離合成光学素子の厚みを介して対向する 1 対の平面の一方から所定の入射角で入射させ、厚みを介して反射型回折格子に」入射させることができる（請求項 2）。勿論、入力光の入射は、光分離合成光学素子の厚みをなす（上記分離光射出面とは異なる）端面から入射させるようにしてもよい。

【0008】

この発明の光分離合成光学素子は「請求項 1 記載の光分離方法の実施に用いる光分離合成

50

光学素子」であって、以下の如き特徴を有する。

【0009】

即ち、光分離合成光学素子は「板状透明体として形成され、板状透明体の厚さを介して対向する1対の平面の一方における所定の位置に反射型回折格子が形成され、成分波長ごとに分離された光が射出する分離光射出面が、上記1対の平面の少なくとも一方に対して斜めに交わる平端面として形成された」ことを特徴とする（請求項3）。

【0010】

この請求項3記載の光分離合成光学素子の反射型回折格子は「ブレイズ型回折格子」として形成することができる（請求項4）。

請求項3または4記載の光分離合成光学素子の「厚さを介して対向する1対の平面」は、互いに非平行で角をなすようにすることもできるが、これら1対の平面を「互いに平行」とすることができる（請求項5）。

10

【0011】

上記請求項3または4または5記載の光分離合成光学素子において「入力光の入射位置」を、1対の平面の一方に設定することができる（請求項6）。上記入力光の入射位置はまた、光分離合成光学素子の厚みをなす（上記分離光射出面とは異なる）端面に設定することもできる。

【0012】

請求項3または4または5または6記載の光分離合成光学素子はまた「反射型回折格子により内部反射された回折光が、分離光射出面に向う光路において内部反射する部位に反射膜を設けた」構成とすることができる（請求項7）。

20

【0013】

この発明の光合成方法は「請求項3～7の任意の1に記載の光分離合成光学素子を用い、互いに異なる所定波長を持つ複数の光を、単一の出力光として合成する方法」であって、以下の如き特徴を有する（請求項8）。

【0014】

即ち、互いに異なる所定波長を持つ複数の光を、光分離合成光学素子の分離光射出面に、それぞれ所定の入射角で平行光束として入射させ、光分離合成光学素子の1対の平面で順次、複数回内部反射させたのち、反射型回折格子の略同一部位に入射させて内部反射させ、波長ごとの回折角の差により各波長の光の進行方向を揃え、光分離合成光学素子から、単一の平行光束の出力光として射出させる。

30

【0015】

即ち、この発明の光合成方法は、光分離合成光学素子を「光分離を行うときと光の進行方向を逆の向き」にして用いるのである。

【0016】

若干補足すると、一般に、信号伝達に用いられる、複数の波長成分を持つ光の成分光の波長相互は近接していることが多く、このような光を回折格子で回折させた場合、各波長の光の回折角もまた近接している。従って、単に回折を利用することにより光分離を行っても各回折光の進行方向の分離角が小さく、光分離の効率を高めるのが難しいが、この発明においては、回折を板状透明体の内部で行うため、板状透明体の屈折率により、上記分離角を有効に大きくすることができる。

40

【0017】

また、回折により進行方向の分離した成分光を光分離合成光学素子の内部で、複数回反射させるので、分離光射出面までの光路長を稼ぐことができ、良好に分離した成分光を取り出すことができる。

【0018】

この発明の光分離カップリング装置は「複数の所定波長の光を成分として含む入力光を、成分波長をもった光ごとに光分離して成分光とし、これら成分光を、空間的に分離して配置された複数の受光部に、各成分光と受光部を1:1に対応させて入射させる光分離カップリング装置」であって、上記請求項2～7の任意の1に記載の「光分離合成光学素子」

50

を用いて、複数の所定波長の光を成分として含む入力光を、成分波長をもった光ごとに光分離することを特徴とする（請求項 9）。

【 0 0 1 9 】

この発明の光分離カップリング装置は、光分離すべき入力光が非平行光束として与えられる場合、この非平行光束を平行光束とするべく、光分離合成光学素子の前段にコリメート光学系を有し、平行光束かされた光を「光分離合成光学素子への入力光」とすることができる（請求項 10）。コリメート光学系は、レンズ系若しくはミラー系、あるいはミラーとレンズとの合成系として構成することができる。入力光が発散光束である場合にはコリメート光学系は正のパワーを持ち、入力光が集束光であるときにはコリメート光学系は負のパワーを持つ。

10

【 0 0 2 0 】

請求項 11 記載の光分離カップリング装置は請求項 9 記載の光分離カップリング装置において、コリメート光学系を「コリメートレンズ」としたことを特徴とする（請求項 11）。

【 0 0 2 1 】

請求項 9 または 10 または 11 記載の光分離カップリング装置はまた「光分離合成光学素子により空間的に分離された平行光束状の各成分光を、対応する受光部へ向けて集光する集光手段」を有することができる（請求項 12）。この集光手段は「各成分光に応じて集光性のマイクロレンズを配列したマイクロレンズアレイ」として好適に構成することができる（請求項 13）。

20

【 0 0 2 2 】

請求項 13 記載の光分離カップリング装置は、コリメートレンズと、光分離合成光学素子と、マイクロレンズアレイとを有し、光ファイバから射出する入力光を成分光に分離して、各成分光を対応する導波路の入射端へカップリングさせる装置として構成できる（請求項 14）。

【 0 0 2 3 】

「コリメートレンズ」は、光ファイバから射出する入力光を平行光束化する。「光分離合成光学素子」は、コリメートレンズにより平行光束化された入力光を入射され、成分光に分離する。

「マイクロレンズアレイ」は、光分離合成光学素子から射出した各成分光を、対応する受光部である導波路入射端へ向けて集光する。

30

【 0 0 2 4 】

【発明の実施の形態】

以下、実施の形態を説明する。

図 1 に示す光分離合成光学素子 10 は、板状透明体として形成され、板状透明体の厚さを介して対向する 1 対の平面 10 A、10 B の一方である平面 10 B における所定の位置に反射型回折格子 10 C が形成され、成分波長ごとに分離された光が射出する分離光射出面 10 F が、1 対の平面 10 A、10 B に対して斜めに交わる平端面として形成されている（請求項 3）。

【 0 0 2 5 】

40

光分離合成光学素子 10 の、厚さを介して対向する平面 10 A、10 B は互いに平行であり（請求項 5）。入力光の入射位置は、1 対の平面の一方である平面 10 A に設定されている（請求項 6）。

【 0 0 2 6 】

また、反射型回折格子 10 C により内部反射された回折光が、分離光射出面 10 F に向う光路において内部反射する部位に反射膜 10 D、10 E が設けられている（請求項 7）。

【 0 0 2 7 】

図 2 に示す光分離合成光学素子 20 は、板状透明体として形成され、板状透明体の厚さを介して対向する 1 対の平面 20 A、20 B の一方である平面 20 B における所定の位置に反射型回折格子 20 C が形成され、成分波長ごとに分離された光が射出する分離光射出面

50

20Fが、1対の平面20A、20Bに対して斜めに交わる平端面として形成されている（請求項3）。

【0028】

光分離合成光学素子20の、厚さ介して対向する平面20A、20Bは互いに非平行である。入力光の入射位置は、1対の平面の一方である平面20Aに設定されている（請求項6）。また、反射型回折格子20Cにより内部反射された回折光が、分離光射出面20Fに向う光路において内部反射する部位に反射膜20D、20Eが設けられている（請求項7）。

【0029】

図3に示すのは上記実施の形態の変形例の特徴部分である。

10

図3(a)に示す光分離合成光学素子10'は、図1に示した光分離合成光学素子10と同タイプのもので、入力光の入射する部分で平面10A'を切り欠き、平面10A'に対してテーパを持った入射面10aとした点を特徴とする。

【0030】

図3(b)に示す光分離合成光学素子20'は、図2に示した光分離合成光学素子20と同タイプのもので、入力光の入射する部分で平面20A'を切り欠き、平面20A'に対してテーパを持った入射面20aとした点を特徴とする。符号10C'、20C'は反射型回折格子を示す。

【0031】

以下「光分離」を説明する。光分離の説明は、図1の光分離合成光学素子10の場合と、図2の光分離合成光学素子20の場合とで共通する部分が多いので、光分離合成光学素子10、20に共通の部分の説明では、光分離合成光学素子10の符号を参照しつつ説明を行い、光分離合成光学素子20に関する符号を括弧内に記することとする。

20

【0032】

複数の所定波長の光を成分として含む入力光を、成分波長をもった光ごとに光分離する方法は、以下のように行われる。

板状透明体の厚みを介して対向する1対の平面10A、10B(20A、20B)の一方に反射型回折格子10C(20C)を形成してなる光分離合成光学素子10(20)に入力光を入射させる。

【0033】

30

入力光は「複数の所定波長の光」を成分として含み、光束形態としては平行光束もしくは弱い収束性あるいは弱い発散性の光束とされている。入力光は、平面10A(20A)から入射され、反射型回折格子10C(20C)に入射し、内部反射されると共に回折される。

【0034】

図1、図2において、符号L1は、入力光に含まれる光のうち「波長の最も短い光」を表し、符号L2は、入力光に含まれる光のうち「波長の最も長い光」を示している。図3においても同様である。

【0035】

入力光に含まれる波長： λ の光を考えて見ると、反射型回折格子10C(20C)により回折された回折光の回折角： β は、入射角： α 、回折次数： m 、波長： λ 、格子ピッチ： d 、光分離合成光学素子10(20)の材質の屈折率： N とともに、関係：

40

$$\sin \beta = m \lambda / (N \cdot d) - \sin \alpha$$

を満足する。

【0036】

この式において、左辺の回折角： β は負であるので、入射角： α 、回折次数： m 、格子ピッチ： d を同一として空気中におかれた反射型回折格子により回折を行う場合よりも大きな回折角を実現することができる。回折次数： m としては適宜のものを設計条件として選択することができるが、反射型回折格子をブレード型回折格子として形成することにより（請求項4）、選択された回折次数の回折光の光強度を他の次数の光に対して、有効に大

50

きくすることができる。

【0037】

入力光は、反射型回折格子10C(20C)で内部反射・回折されると、成分波長ごとの回折角の差により各成分波長の光L1、...、L2の進行方向が互いに異なるようになる。これら回折された各成分波長の光L1、...、L2は、光分離合成光学素子10(20)の1対の平面10A、10B(20A、20B)により順次、複数回内部反射されたのち、分離光射出面10F(20F)から射出する(請求項1)。

【0038】

分離光射出面10F(20F)から射出した光は、恰も反射型回折格子10C(20C)の回折位置から放射するように互いに進行方向が異なり、相互に光分離されている。

10

【0039】

図1、図2の実施の各形態においては、反射型回折格子により内部反射された回折光L1、...、L2が、分離光射出面に向う光路において内部反射する部位に反射膜10D、10E(20D、20E)を設けたが、この部分での反射を全反射とすることも可能である。

【0040】

それには、回折角をしかるべく大きくして、平面10A、10B(20A、20B)への入射角を大きくすれば良いが、図2に示す光分離合成光学素子20のように、平面20A、20Bを非平行とすることにより、上記入射角を大きくすることができる。

【0041】

このように回折光L1、...、L2の、平面20A、20Bへの入射角を大きくすることにより、反射膜20A、20Bを省略するようにできることに、光分離合成光学素子の「厚みを介して対向する1対の平面」を非平行にする技術的意義がある。一方、光分離合成光学素子10のように、1対の平面を互いに平行にする場合には、材料としての透明平行平板に分離光射出面を斜めに形成するのみで作製できるので、製造が容易であるという技術的利点がある。

20

【0042】

また、上記実施の各形態では、入力光は「光分離合成光学素子10(20)の厚みを介して対向する1対の平面の一方10A(20A)から所定の入射角で入射され、上記厚みを介して反射型回折格子10C(20C)に入射」されている(請求項2)。

【0043】

上には、入力光を互いに波長の異なる成分光L1、...、L2に分離する場合を説明したが、上記と光の進行方向を逆転させ、光分離合成光学素子10(20)を用い、互いに異なる所定波長を持つ複数の光L1、...、L2を、光分離合成光学素子10(20)の分離光射出面10F(20F)に、それぞれ所定の入射角(光分離の場合の射出角)で入射させ、光分離合成光学素子10(20)の1対の平面10B、10A(20B、20A)で順次、複数回内部反射させたのち、反射型回折格子10C(20C)の略同一部位に入射させて内部反射させ、波長ごとの回折角の差により各波長の光の進行方向を揃え、光分離合成光学素子10(20)から、「単一の出力光」として射出させる光合成方法(請求項8)を実施することができる。

30

【0044】

【実施例】

以下、光分離合成光学素子の具体的な実施例を2例挙げる。これら実施例は、光分離を行う場合の例である。図4(a)に示すのは、図1に即して説明した光分離合成光学素子10と同様のタイプのものであるので、各部を示す符号として図1における同一のものを用いている。

40

【0045】

各部の寸法は、以下の記号で表す。

即ち、光分離合成光学素子10の厚み：T、平面10Aの(図の左右方向の)長さ：LU、平面10Bの(図の左右方向の)長さ：LD、光分離合成光学素子10の入力光の入射側(左側)端面から反射膜10Dの左端までの距離：LM1、反射膜10Dの幅：LMU

50

、光分離合成光学素子 10 の入力光の入射側（左側）端面から反射膜 10 E の左端までの距離：LM2、反射膜 10 E の幅：LMD、光分離合成光学素子 10 の左側端面から反射型回折格子 10 C の左側端部までの距離：D1、反射型回折格子 10 C の幅：D2（反射型回折格子 10 C は、一辺：D2 の正方形領域に形成されている。）、入力光の中心光線の入射位置と光分離合成光学素子 10 の左側端面との距離：IN とする。

【0046】

また、入力光の平面 10 A への入射角： θ_1 、平面 10 A から入射した入力光の反射型回折格子 10 C への入射角： θ_2 、分離光射出面 10 F の傾斜角： θ_3 、入力光の反射型回折格子 10 C への入射位置（中心光線の入射位置）と光分離合成光学素子 10 の左側端面との距離：D3 とする。なお、図 2（a）において符号 30 は楔状の断面形状を持つ透過体であり、光分離された成分光の方向を揃えるために用いられる。

10

【0047】

反射型回折格子 10 C は、図 4（b）に示すようにブレース型回折格子として形成され、その外側面には反射膜（図示されず）が形成されている。ブレース型回折格子における格子ピッチを「d」、溝斜面の傾斜角を短い斜面につき「 η 」、長いほうの斜面につき「 ζ 」とする。

【0048】

実施例 1

波長差：0.02 μm （20 nm）を持った 4 種の光、即ち、波長：1.53 μm 、1.55 μm 、1.57 μm 、1.59 μm を波長成分とする 4 種の光を含み、光束径：80 μm で平行光束の入力光を、各波長成分の光に分離するための光分離合成光学素子を以下のように構成した。

20

【0049】

材質：石英ガラス（上記波長領域における屈折率：1.44402）

光分離合成光学素子 10 の厚み：T = 1.4 mm

平面 10 A の長さ：LU = 9.3 mm

平面 10 B の長さ：LD = 10.4918 mm

入射側端面から反射膜 10 D の左端までの距離：LM1 = 2.5 mm

反射膜 10 D の幅：LMU = 4.5 mm

入射側端面から反射膜 10 E の左端までの距離：LM2 = 5 mm

30

反射膜 10 E の幅：LMD = 5.4918 mm

左側端面から反射型回折格子 10 C の左側端部までの距離：D1 = 0.41 mm

入力光入射位置と光分離合成光学素子 10 の左側端面との距離：IN = 1 mm

分離光射出面 10 F の傾斜角： $\theta_3 = 50$ 度

反射型回折格子 10 C の幅：D2 = 1.5 mm

入力光の反射型回折格子 10 C への入射位置と光分離合成光学素子 10 の左側端面との距離：D3 = 1.1559 mm

反射型回折格子 10 C の格子幅：d = 0.0013 mm

溝斜面の傾斜角： $\zeta = 30.3378$ 度、 $\eta = 60$ 度

回折の次数：m = 1

40

また、入力光の入射状態を以下のように設定した。

【0050】

入力光の平面 10 A への入射角： $\theta_1 = 9.2$ 度

入力光の反射型回折格子 10 C への入射角： $\theta_2 = 6.3536$ 度

このとき、上記波長の異なる 4 成分光を、その進行方向が互いに等角度差となるように光分離することができた。

【0051】

透過体 30 として基部の厚さ：1 mm のシリコンを用い、入射側面の傾き角を 5 度に設定し、図の距離：L0 を 10 mm に設定したところ、透過体 30 の射出側で、上記 4 成分光を互いに 125 μm だけ分離することができた。

50

【 0 0 5 2 】

従って、上記透過体 3 0 の右方に、径：1 2 5 μm の光ファイバの入射端面を 1 2 5 μm ピッチで 4 個配置すれば、光分離された各成分光を、個別の光ファイバに光結合させることができる。

【 0 0 5 3 】

実施例 2

波長差：0 . 0 2 μm (2 0 nm) を持った 8 種の光、即ち、波長：1 . 4 9 μm 、1 . 5 1 μm 、1 . 5 3 μm 、1 . 5 5 μm 、1 . 5 7 μm 、1 . 5 9 μm 、1 . 6 1 μm 、1 . 6 3 μm を波長成分とする 8 種に光を含み、光束径：8 0 μm で平行光束の入力光を、各波長成分の光に分離するための光分離合成光学素子を以下のように構成した。

10

【 0 0 5 4 】

材質：石英ガラス (上記波長領域における屈折率：1 . 4 4 4 0 2)

光分離合成光学素子 1 0 の厚み：T = 1 . 4 mm

平面 1 0 A の長さ：L U = 9 . 3 mm

平面 1 0 B の長さ：L D = 1 0 . 4 9 1 8 mm

入射側端面から反射膜 1 0 D の左端までの距離：L M 1 = 2 . 5 mm

反射膜 1 0 D の幅：L M U = 4 . 5 mm

入射側端面から反射膜 1 0 E の左端までの距離：L M 2 = 5 mm

反射膜 1 0 E の幅：L M D = 5 . 4 9 1 8 mm

左側端面から反射型回折格子 1 0 C の左側端部までの距離：D 1 = 0 . 6 6 mm

20

入力光入射位置と光分離合成光学素子 1 0 の左側端面との距離：I N = 1 mm

分離光射出面 1 0 F の傾斜角： $\theta 3 = 5 0$ 度

反射型回折格子 1 0 C の幅：D 2 = 1 . 5 mm

入力光の反射型回折格子 1 0 C への入射位置と光分離合成光学素子 1 0 の左側端面との距離：D 3 = 1 . 4 1 0 7 mm

反射型回折格子 1 0 C の格子幅：d = 0 . 0 0 1 7 mm

溝斜面の傾斜角： $\zeta = 2 5 . 0 4 8 1$ 度、 $\eta = 6 0$ 度

回折の次数：m = 1

また、入力光の入射状態を以下のように設定した。

【 0 0 5 5 】

30

入力光の平面 1 0 A への入射角： $\theta 1 = 2 4$ 度

入力光の反射型回折格子 1 0 C への入射角： $\theta 2 = 1 6 . 3 5$ 度

このとき、上記波長の異なる 8 成分光を、その進行方向が互いに等角度差となるように光分離することができた。

【 0 0 5 6 】

透過体 3 0 として基部の厚さが 1 mm のシリコンを用い、入射側面の傾き角を 5 度に設定し、図の距離：L 0 を 1 0 mm に設定したところ、透過体 3 0 の射出側で、上記 8 成分光を互いに 1 2 5 μm だけ分離することができた。

【 0 0 5 7 】

従って、上記透過体 3 0 の右方に、径：1 2 5 μm の光ファイバの入射端面を 1 2 5 μm ピッチで 8 個配置すれば、光分離された各成分光を、個別の光ファイバに光結合させることができる。

40

【 0 0 5 8 】

なお、上の各実施例において、透過体の入射側面における、分離された各光の入射部の傾き角を互いに異なるように調整して、透過体から射出する各光が互いに平行に進行するようにすることができる。

【 0 0 5 9 】

また、上には反射型回折格子で内部反射され、回折された各波長の回折光の、光分離合成光学素子内での内部反射の回数を 2 回としたが、勿論 3 回以上内部反射させるようにしてもよい。

50

【 0 0 6 0 】

【 発明の実施の形態 】

図 5 はこの発明の光分離カップリング装置の実施の 1 形態を示す図である。

【 0 0 6 1 】

即ち、この光分離カップリング装置は、複数の所定波長の光を成分として含む入力光 I L を、成分波長をもった光ごとに光分離して成分光 C L 1、C L 2、．．とし、これら成分光を、空間的に分離して配置された複数の受光部 7 1、7 2、．．に、各成分光と受光部を 1：1 に対応させて入射させる光分離カップリング装置であって、上に説明した光分離合成光学素子 1 0 を用いて、複数の所定波長の光を成分として含む入力光を、成分波長をもった光ごとに光分離する（請求項 9）。

10

【 0 0 6 2 】

また、入力光 I L が非平行光束として与えられ、この非平行光束を平行光束とするべく、光分離合成光学素子 1 0 の前段にコリメート光学系 5 0 を有し（請求項 1 0）、コリメート光学系 5 0 がコリメートレンズである（請求項 1 1）。

【 0 0 6 3 】

また、光分離合成光学素子 1 0 により空間的に分離された各成分光 C L 1、C L 2、．．を、対応する受光部 7 1、7 2、．．へ向けて集光する集光手段 6 0 を有するが（請求項 1 2）、この集光手段 6 0 は、各成分光に応じて集光性のマイクロレンズ 6 1、6 2、．．を配列したマイクロレンズアレイである（請求項 1 3）。

【 0 0 6 4 】

また、コリメートレンズ 5 0 は、光ファイバ 4 0 から射出する発散性の入力光を平行光束化し、光分離合成光学素子 1 0 は、コリメートレンズ 5 0 により平行光束化された入力光を入射され、成分光 C L 1、C L 2、．．に分離し、マイクロレンズアレイ 6 0 は、光分離合成光学素子 1 0 から射出した各成分光 C L 1、C L 2、．．を、対応する受光部である導波路入射端 7 1、7 2、．．へ向けて集光する（請求項 1 4）。

20

【 0 0 6 5 】

【 実施例 】

図 5 に示す光分離カップリング装置の具体的な実施例を挙げる。

入力光 I L を射出する光ファイバ 4 0 は「シングルモードファイバ」であり、そのコア径は 1 0 μm である。入力光は設計波長を 1 . 5 3 μm、1 . 5 5 μm、1 . 5 7 μm、1 . 5 9 μm とする 4 波長の光を含むが、各波長は設計波長を中心として ± 4 . 5 nm の範囲で波長変動もしくは波長のバラツキを含むものとする。

30

【 0 0 6 6 】

入力光 I L をコリメートするコリメートレンズ 5 0 は、入射側（光ファイバ 4 0 側）が平面、射出側（光分離合成光学素子 1 0 側）が非球面で単一の凸レンズで、肉厚：D = 0 . 6 5 mm、有効径：D E F = 0 . 6 mm で、材質はシリコン（波長：1 5 5 0 nm に対する屈折率： $N_{1.550} = 3.47772$ ）である。

【 0 0 6 7 】

上記非球面は、光軸方向の座標：X、主走査方向の座標：Y、近軸曲率半径：R、円錐定数：K を用いて、周知の非球面式：

40

$$X = (Y^2 / R) / [1 + \sqrt{\{1 - (1 + K)(Y / R)^2\}}]$$

において、近軸曲率半径：R = - 4 . 5 8 2 mm、円錐定数：K = - 4 . 6 7 2 として特定される形状である。

【 0 0 6 8 】

光分離合成光学素子 1 0 は、上に実施例 2 として説明したものである。

マイクロレンズアレイ 6 0 は、入射側（光分離合成光学素子 1 0 側）が非球面で、射出側（受光部材 7 0 側）が平面である 4 つのマイクロレンズを、光分離合成光学素子 1 0 により分離された成分光 C L 1（波長：1 . 5 3 μm）、L C 2（波長：1 . 5 5 μm）、L C 3（波長：1 . 5 7 μm）、L C 4（波長：1 . 5 9 μm）に対応して配列形成したものであり、材質はシリコン（波長：1 5 5 0 nm に対する屈折率： $N_{1.550} = 3.47$

50

772)である。

【0069】

マイクロレンズアレイ60の各マイクロレンズにおける非球面の形状は、上記非球面式における近軸曲率半径： $R = 5 \text{ mm}$ 、円錐定数： $K = -5.55115$ で特定され、肉厚： $D = 0.65 \text{ mm}$ 、有効径： $DEF = 0.64 \text{ mm}$ である。4個のマイクロレンズ61～64の配列ピッチは 0.68 mm である。

【0070】

受光部材70の受光面には、受光部である導波路入射端71～74が、それぞれ成分光CL1～CL4を受光するように配置されている。導波路入射端は一辺の長さ： $20 \mu\text{m}$ の正方形形状であり、 $NA = 0.18$ である。

10

【0071】

光ファイバ40、コリメートレンズ50、光分離合成光学素子10、マイクロレンズアレイ60、受光部材70の相対的な配置は、図5に示す寸法に従う。図5における左右方向の配置の基準線500からマイクロレンズアレイ60におけるマイクロレンズ63に至る図の横方向の距離は 23.968 mm 、同じく基準線500から導波路入射端71に至る図の横方向の距離は 26.324 mm である。

【0072】

マイクロレンズアレイ60、受光部材70の受光面は共に、図に示されたように、基準面SSに立てた垂線に対して 10 度傾いている。マイクロレンズ63の光軸位置の基準面SSからの高さは 2.881 mm である。マイクロレンズ61～64の配列は等間隔で配列ピッチ： 0.68 mm であるから、基準面SSからマイクロレンズ61、62、64の光軸位置までの高さはそれぞれ、 $2.881 + 2 \times 0.68 \cos 10$ 度、 $2.881 + 0.68 \cos 10$ 度、 $2.881 - 0.68 \cos 10$ 度となる。

20

【0073】

導波路入射端71～74の、基準面SSからの高さはそれぞれ、 4.784 mm 、 4.042 mm 、 3.295 mm 、 2.546 mm である。

【0074】

入力光を構成する各成分光の光源としては一般に半導体レーザが用いられるが、半導体レーザには周知の「モードホッピング」による波長変動が存在し、また、個体間での波長も必ずしも設計通りのものにはならない。

30

【0075】

そこで、前述の如く、入力光に含まれる設計波長： $1.53 \mu\text{m}$ 、 $1.55 \mu\text{m}$ 、 $1.57 \mu\text{m}$ 、 $1.59 \mu\text{m}$ が、設計波長を中心として $\pm 4.5 \text{ nm}$ の範囲で波長変動もしくは波長のバラツキを含むものとし、この範囲の波長変化に対して各成分光の結合効率を示すと以下の如くなる。

【0076】

設計波長： $1.53 \mu\text{m}$ の成分光の結合効率

波長 (nm) 結合効率：% (括弧内はdB)

1525.5 65.8 (- 1.82)

1527 74.3 (- 1.29)

1528.5 77.1 (- 1.13)

1530 77.7 (- 1.10)

1531.5 77.4 (- 1.11)

1533 76.7 (- 1.15)

1534.5 65.7 (- 1.83)

。

40

【0077】

設計波長： $1.55 \mu\text{m}$ の成分光の結合効率

波長 (nm) 結合効率：% (括弧内はdB)

1545.5 68.8 (- 1.63)

1547 75.3 (- 1.23)

50

1 5 4 8 . 5	7 6 . 6 (- 1 . 1 6)
1 5 5 0	7 9 . 5 (- 0 . 9 9)
1 5 5 1 . 5	7 8 . 8 (- 1 . 0 4)
1 5 5 3	7 3 . 1 (- 1 . 3 6)
1 5 5 4 . 5	6 7 . 4 (- 1 . 7 1)

【 0 0 7 8 】

設計波長：1 . 5 7 μ m の成分光の結合効率

波長 (n m) 結合効率：% (括弧内は d B)

1 5 6 5 . 5	6 4 . 6 (- 1 . 8 9)
1 5 6 7	7 3 . 4 (- 1 . 3 4)
1 5 6 8 . 5	7 6 . 3 (- 1 . 1 7)
1 5 7 0	7 7 . 0 (- 1 . 1 3)
1 5 7 1 . 5	7 6 . 1 (- 1 . 1 9)
1 5 7 3	7 3 . 9 (- 1 . 3 2)
1 5 7 4 . 5	6 6 . 0 (- 1 . 8 1)

10

【 0 0 7 9 】

設計波長：1 . 5 9 μ m の成分光の結合効率

波長 (n m) 結合効率：% (括弧内は d B)

1 5 8 5 . 5	6 1 . 5 (- 2 . 1 1)
1 5 8 7	7 3 . 6 (- 1 . 3 3)
1 5 8 8 . 5	7 6 . 0 (- 1 . 1 9)
1 5 9 0	7 6 . 9 (- 1 . 1 4)
1 5 9 1 . 5	7 6 . 0 (- 1 . 1 9)
1 5 9 3	7 1 . 2 (- 1 . 4 7)
1 5 9 4 . 5	6 1 . 2 (- 2 . 1 3)

20

【 0 0 8 0 】

各設計波長に対する波長変動に対する結合効率 (d B 値) を図 6 に示す。この結果から分かるように、実施例の光分離カップリング装置は、成分光の波長変動に対し結合効率の変化が小さく、波長変動に対して安定性が良い。

【 0 0 8 1 】

また、温度変化に対する各設計波長における結合効率の変化を一覧にすると以下の如くなる。

30

【 0 0 8 2 】

温度変化に対する結合効率 (%、括弧内は d B) の変化

温度 ()	1 5 3 0 n m	1 5 5 0 n m	1 5 7 0 n m	1 5 9 0 n m
0	78.7(-1.04)	80.8(-0.93)	78.3(-1.06)	78.1(-1.07)
1 0	78.1(-1.07)	80.2(-0.96)	77.8(-1.09)	77.5(-1.11)
2 0	77.7(-1.10)	79.5(-0.99)	77.0(-1.13)	76.9(-1.14)
3 0	77.0(-1.13)	78.7(-1.04)	76.4(-1.17)	76.2(-1.18)
4 0	76.3(-1.18)	78.2(-1.07)	75.6(-1.22)	75.4(-1.23)
5 0	75.7(-1.21)	74.6(-1.27)	74.8(-1.26)	74.6(-1.27)
6 0	75.3(-1.23)	74.0(-1.31)	74.2(-1.30)	74.0(-1.31)

40

【 0 0 8 3 】

この温度変化による結合効率の変化を図示すると、図 7 に示す如くなる。実施例の光分離カップリング装置は、0 ~ 6 0 度という広い温度範囲においてきわめて安定した結合効率を実現している。温度変化による結合効率の変化は、コリメートレンズ 5 0、光分離合成光学素子 1 0、マイクロレンズアレイ 6 0 の材質の「屈折率や寸法」が温度により変化することに起因しているが、これらの材質であるシリコンや石英ガラスの屈折率・寸法の温度依存性はきわめて低いため、上記の如く、広い温度範囲において結合効率には実質的な変化が生じない。

50

【 0 0 8 4 】

従って、実施例の光分離カップリング装置は、通常的环境下では、温度調整等を必要とせずを使用することができる。なお、図5の光分離カップリング装置は、光の進行の向きを逆にすれば、波長の異なる複数の光を単一の出力光として合成するのに利用できる。

【 0 0 8 5 】

【 発明の効果 】

以上に説明したように、この発明によれば、新規な光分離方法・光合成方法および光分離合成光学素子および光分離カップリング装置を実現できる。この発明の光分離合成光学素子は上述の如く極めて簡素な構造を持つから安価に製造でき、これを用いることにより、良好な光分離、光合成を実現できる光分離方法・光合成方法を実施することができる。

10

【 0 0 8 6 】

また、この発明の光分離合成光学素子を用いることにより、入力光を成分光に分離して、各成分光に対応した受光部にカップリングさせる光分離カップリング装置を実現できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 光分離合成光学素子の実施の1形態と、これを用いる光分離方法を説明するための図である。

【 図 2 】 光分離合成光学素子の実施の別形態と、これを用いる光分離方法を説明するための図である。

【 図 3 】 光分離合成光学素子の実施の形態の変形例を特徴部分のみ示す図である。

【 図 4 】 実施例を説明するための図である。

20

【 図 5 】 光分離カップリング装置の実施の1形態を示す図である。

【 図 6 】 光分離カップリング装置の1実施例における波長変動に伴う結合効率の変化を示す図である。

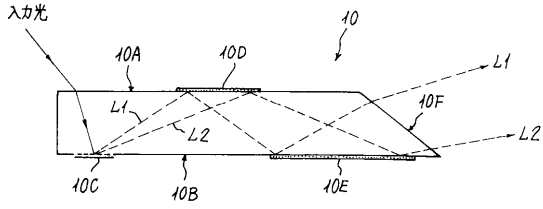
【 図 7 】 光分離カップリング装置の上記実施例における温度変化に伴う結合効率の変化を示す図である。

【 符号の説明 】

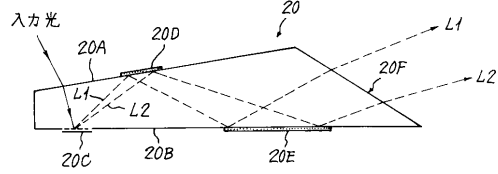
- 1 0 光分離合成光学素子
- 1 0 A 平面
- 1 0 B 平面
- 1 0 C 反射型回折格子
- 1 0 D 反射膜
- 1 0 E 反射膜
- 1 0 F 分離光射出面

30

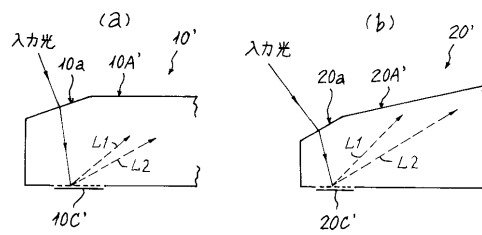
【図 1】



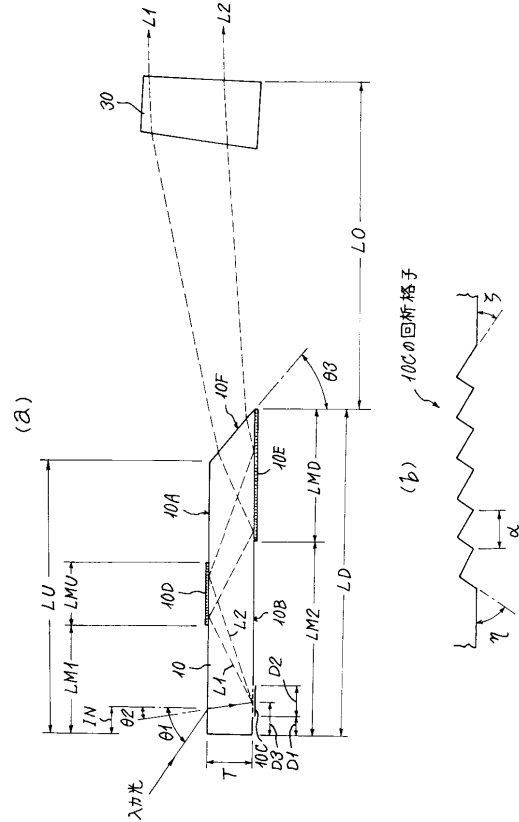
【図 2】



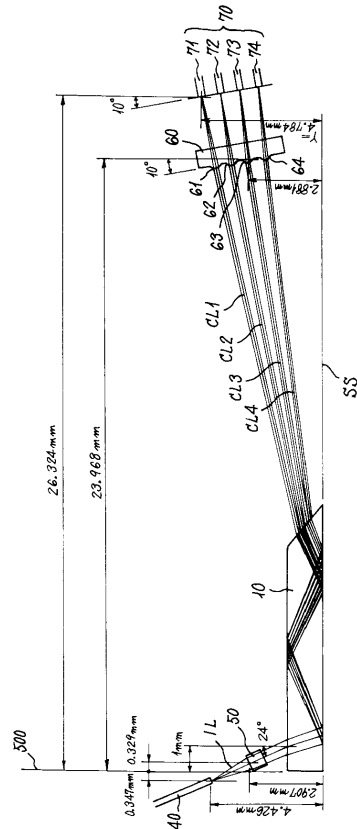
【図 3】



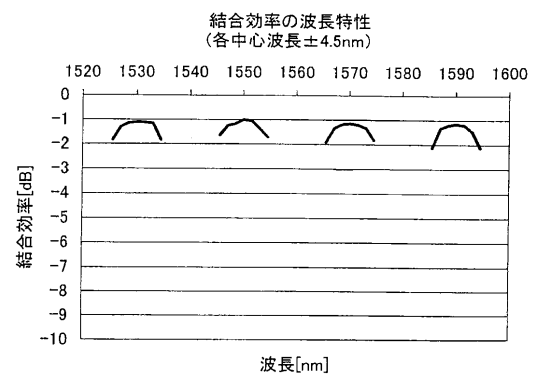
【図 4】



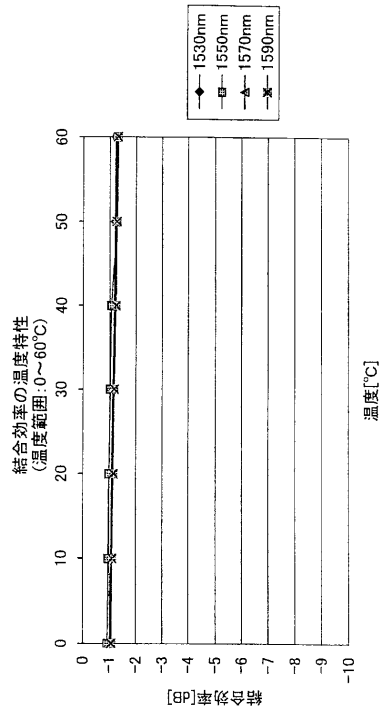
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 2 B 6/28 D

(72)発明者 小田嶋 雅春
岩手県花巻市大畑第10地割109番地・リコー光学株式会社内
(72)発明者 及川 一郎
岩手県花巻市大畑第10地割109番地・リコー光学株式会社内

審査官 藤岡 善行

(56)参考文献 特開昭55-021011(JP,A)
特開平09-218305(JP,A)
特開平08-075948(JP,A)
実開昭57-100720(JP,U)
特開平08-082711(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 5/18
G02B 27/00
G02F 1/29
G02B 6/28