

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4714175号  
(P4714175)

(45) 発行日 平成23年6月29日(2011.6.29)

(24) 登録日 平成23年4月1日(2011.4.1)

(51) Int.Cl. F I  
G O 2 B 26/08 (2006.01) G O 2 B 26/08 E

請求項の数 5 (全 25 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-87061 (P2007-87061)                  (22) 出願日 平成19年3月29日 (2007.3.29)                  (65) 公開番号 特開2008-249751 (P2008-249751A)                  (43) 公開日 平成20年10月16日 (2008.10.16)                  審査請求日 平成21年6月11日 (2009.6.11)</p> <p>(出願人による申告) 平成18年度、独立行政法人情報通信研究機構、「経済的な光ネットワークを実現する高機能集積化光スイッチングノードの研究開発」委託研究、産業再生法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005223                  富士通株式会社                  神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号                  (74) 代理人 100092978                  弁理士 真田 有                  (72) 発明者 青田 宏史                  神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内                  (72) 発明者 柴田 康平                  神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内                  (72) 発明者 赤司 保                  神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) 【発明の名称】 ミラー装置および光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入射光を反射させるとともに反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な少なくとも1つの可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、外部からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射させる一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として外部に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、単一の第1光路と、該第1光路と同一平面内に、該第1光路を端に置いて配列される複数の第2光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするとともに、該第1光路および該複数の第2光路の配列方向を含む面内で、該結晶部材が当該配列方向に対して傾斜されたミラー装置であって、

第1角度が第2角度以下となるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第1角度および該第2角度については、それぞれ、前記第1光路および第2光路のうちで、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路および一の第2光路に対して、該結晶部材の透過面に対する垂直方向がなす角度としてそれぞれ定義され、

かつ、第3角度が第4角度の1/2と同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第3角度は、前記第1光路と当該結晶部材をなすC軸との角度として定義されるとともに、該第4角度は、該結晶部材を透過して、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である前

記第 1 光路および前記一の第 2 光路がなす角度として定義されたことを特徴とする、ミラー装置。

【請求項 2】

入射光を反射させるとともに反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な少なくとも 1 つの可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、外部からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射させる一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として外部に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、単一の第 1 光路と、該第 1 光路と同一平面内に、該第 1 光路を端に置いて配列される複数の第 2 光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするとともに、該第 1 光路および該複数の第 2 光路の配列方向を含む面内で、該結晶部材が当該配列方向に対して傾斜されたミラー装置であって、

10

第 1 角度が第 2 角度よりも大きくなるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第 1 角度および該第 2 角度については、それぞれ、前記第 1 光路および第 2 光路のうちで該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第 1 光路および一の第 2 光路に対して、該結晶部材の透過面に対する垂直方向がなす角度として定義され、

かつ、第 3 角度が、第 4 角度の  $1/2$  と、第 5 角度に定数を乗算した値と、の和に同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第 3 角度は、前記第 1 光路と当該結晶部材をなす C 軸との角度として定義され、該第 4 角度は、該結晶部材を光が透過する前記第 1 光路および前記一の第 2 光路であって、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路がなす角度として定義され、該第 5 角度は、前記第 4 角度の  $1/2$  から前記第 1 角度を差し引いた値として定義されたことを特徴とする、ミラー装置。

20

【請求項 3】

前記定数は、該結晶部材の複屈折量と該第 4 角度とから決定されることを特徴とする、請求項 2 記載のミラー装置。

【請求項 4】

単一の第 1 ポート、および、該第 1 ポートと同一平面内に該第 1 ポートを端に置いて配列される複数の第 2 ポートをそなえた入出力光学系と、該入出力光学系から入力される光を分光させる分光素子と、該分光素子で分光された各光成分を平行光とする集光光学系と、該集光光学系からの各光成分について反射により偏向させうる複数の可動ミラーを有するミラー装置と、をそなえ、該入出力光学系をなす該第 1 ポートと該複数の第 2 ポートとの間を、該分光素子、該集光光学系および該ミラー装置を介した往復光路を通じて、相互にかつ双方向に光結合可能となるように構成された光装置であって、

30

該ミラー装置は、

該分光素子の分光方向に配列されるとともに、該集光光学系からの各光成分について入射光として反射させるとともに反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な、前記複数の可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、該集光光学系からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射させる一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として該集光光学系に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、該集光光学系および該分光素子を介して該第 1 ポートに結合する単一の第 1 光路と、該集光光学系および該分光素子を介して該第 2 ポートに結合する第 2 光路であって該第 1 光路と同一平面内に該第 1 光路を端に置いて配列される複数の第 2 光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするとともに、該第 1 ポートおよび該複数の第 2 ポートの配列方向を含む面内で、該結晶部材が当該配列方向に対して傾斜されたミラー装置であって、

40

第 1 角度が第 2 角度以下となるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第 1 角度および該第 2 角度については、前記第 1 光路および第 2 光路のうちで、該可動ミラー

50

の反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路および一の第2光路に対して、該結晶部材の透過面に対する垂直方向がなす角度としてそれぞれ定義され、

かつ、第3角度が第4角度の $1/2$ と同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第3角度は、前記第1光路と当該結晶部材をなすC軸との角度として定義されるとともに、該第4角度は、該結晶部材を透過して、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である前記第1光路および前記一の第2光路がなす角度として定義されたことを特徴とする、光装置。

【請求項5】

単一の第1ポート、および、該第1ポートと同一平面内に該第1ポートを端に置いて配列される複数の第2ポートをそなえた入出力光学系と、該入出力光学系から入力される光を分光させる分光素子と、該分光素子で分光された各光成分を平行光とする集光光学系と、該集光光学系からの各光成分について反射により偏向させうる複数の可動ミラーを有するミラー装置と、をそなえ、該入出力光学系をなす該第1ポートと該複数の第2ポートとの間を、該分光素子、該集光光学系および該ミラー装置を介した往復光路を通じて、相互にかつ双方向に光結合可能となるように構成された光装置であって、

該ミラー装置は、

該分光素子の分光方向に配列されるとともに、該集光光学系からの各光成分について入射光として反射させるとともに反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な前記複数の可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、該集光光学系からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射させる一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として該集光光学系に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、該集光光学系および該分光素子を介して該第1ポートに結合する単一の第1光路と、該集光光学系および該分光素子を介して該第2ポートに結合する第2光路であって該第1光路と同一平面内に該第1光路を端に置いて配列される複数の第2光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするとともに、該第1ポートおよび該複数の第2ポートの配列方向を含む面内で、該結晶部材が当該配列方向に対して傾斜されたミラー装置であって、

第1角度が第2角度よりも大きくなるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第1角度および該第2角度については、それぞれ、前記第1光路および第2光路のうちで該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路および一の第2光路に対して、該結晶部材の透過面に対する垂直方向がなす角度として定義され、

かつ、第3角度が、第4角度の $1/2$ と、第5角度に定数を乗算した値と、の和に同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第3角度は、前記第1光路と当該結晶部材をなすC軸との角度として定義され、該第4角度は、該結晶部材を光が透過する前記第1光路および前記一の第2光路であって、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路がなす角度として定義され、該第5角度は、前記第4角度の $1/2$ から前記第1角度を差し引いた値として定義されたことを特徴とする、光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光通信システムにおいて用いて好適の、ミラー装置および光装置に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、激増するインターネットトラフィックを収容すべく、波長分割多重通信(Wavelength Division Multiplexing: WDM)を中核としたネットワークの光化が急ピッチで進

10

20

30

40

50

んでいることは周知の事実である。現在のWDMは、主にpoint-to-pointのネットワーク形態であるが、近い将来にはリング型ネットワーク、メッシュ状ネットワークへと発展することが期待される。

#### 【0003】

このために、ネットワークを構成する各ノードでは、任意波長の分岐/挿入(Add/Drop)、電気への変換を介さない全光クロスコネクタ(Optical Cross Connect: OXC)等の処理が可能となり、波長情報を基にしたダイナミックなパスの設定/解除が行われると考えられている。こうした光技術を最大限に生かしたフォトニックネットワーク技術の進展に関しては、例えば電子情報通信学会誌2002年2月号pp.94-103等に詳しく記載されている。

10

#### 【0004】

一般的な波長選択スイッチとして動作する光装置100(以下、波長選択スイッチ100として記述する)の概念図を図15(a), 図15(b)に示す。図15(a)は波長選択スイッチ100の模式的上面図であり、図15(b)は波長選択スイッチ100の模式的側面図である。この図15(a), 図15(b)に例示する光装置100は、単一の入力ポート101から入力された波長を複数の出力ポート102のうちの任意の出力ポート102-1~102-4に振り分ける機能を有し、例えば、リング型ネットワーク、メッシュ型ネットワークにおけるノードに配置されるようになっている。

#### 【0005】

ここで、波長選択スイッチ100は、単一の入力ポート101および複数の出力ポート102からなる入出力光学系110, 分光素子120, 集光光学系130, および図15(a)に示すように分光方向に配列された複数の可動反射体141を有するミラー装置140をそなえて構成される。そして、入力ポート101から入力された複数波長の光を、分光素子120で分光した後、集光光学系130でそれぞれ波長毎に対応した可動反射体141に集光し、可動反射体141の角度を変えることにより反射光を任意の出力ポート102に切り替えることができるようになっている。

20

#### 【0006】

入出力光学系110は、単一の第1ポート(入力ポート)101、および、第1ポート101と同一平面内に第1ポート101を端に置いて一列に配列される複数個(ここでは4個)の第2ポート(出力ポート)102-1~102-4をそなえている。尚、各ポート101, 102-1~102-4は、それぞれ、個別に配される光ファイバと分光素子120とを光学的に結合させるためのレンズ等のコリメート手段をそなえて構成することができる。

30

#### 【0007】

また、分光素子120は、入出力光学系110をなす入力光学系から入力される光を分光させるものであって、例えば回折格子により構成することができる。更に、集光光学系130は、分光素子120で分光された各光成分を平行光として、後段に配置されるミラー装置140の可動反射体141に出射するものであり、例えば透過型または反射型の集光レンズにより構成することができる。尚、図中においては、集光光学系130として透過型の集光レンズを採用する構成を例示している。

40

#### 【0008】

また、ミラー装置140は、分光素子120での分光方向に対応して配列された複数の可動反射体141をそなえたものである。この可動反射体141は、集光光学系130で平行光とされた各光成分について反射させるが、反射面角度をそれぞれ可動することにより、各光成分の反射光を偏向させることができるようになっている。そして、この可動反射体141で反射された光は、再び集光光学系130および分光素子120を辿り、入出力光学系110に導かれるようになっている。

#### 【0009】

これにより、図15(a), 図15(b)に示す光装置100は、上述の可動反射体141での反射面角度の設定を通じて、入出力光学系110をなす第1ポート101と複数

50

の第2ポート102-1~102-4との間を、分光素子120, 集光光学系130およびミラー装置140を介した往復光路を通じて、相互にかつ双方向に光結合可能となるように構成され、そして、入出力光学系110をなす各ポート101, 102-1~102-4ごとに、波長単位で光結合させる経路を設定することができる波長選択スイッチとして動作させることができるようになっている。

#### 【0010】

たとえば、第1ポート101を入力ポートとし第2ポート102-1~102-4を出力ポートとして機能させる場合には、第1ポート101からの光を、波長毎に、上記の往復光路を通じて第2ポート102-1~102-4のいずれかに選択的に導くことができ、第2ポート102-1~102-4を入力光学系とし第1ポート101を出力光学系として機能させる場合には、第2ポート102-1~102-4からの光を、波長毎に、上記の往復光路を通じて、第1ポート101に選択的に導くことができる。

10

#### 【0011】

ミラー装置140をなす可動反射体141の配列は、一般的にMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ミラーアレイをなすミラーシステム142で実現される。分光素子120により波長分離された波長単位に対応して可動反射体141としての可動ミラーが配置される。各可動反射体141は、傾斜角度が可変な構成となっており、図15に示すように、傾斜角度に応じて各波長成分の出力ポートを定めることができる。

#### 【0012】

また、ミラーシステム142は、可動反射体141の反射面への湿度変化や異物混入による影響を避けるため、サファイアガラス143により気密封止されている。即ち、サファイアガラス143を透過窓として光が透過することにより、ミラーシステム142をなす可動反射体141に光が入射されるようになっている。

20

なお、透過窓としてのサファイアガラス143は、機械的強度と光透過率の観点から材料選択されたものである。又、図16に示すように、このサファイアガラス143と可動反射体141との間で多重反射が起こると、出力ポート102へのクロストークとなる。これを防ぐため、例えば図15(b)または図17に示すように、サファイアガラス143を入出力ポート101, 102の配列方向に対して傾斜させて、出力先として導かれるべき出力ポート102以外の出力ポート102へ反射光が混入されることを防止している。

30

#### 【0013】

このように構成された波長選択スイッチ100では、第1ポート101を入力光学系とし第2ポート102-1~102-4を出力光学系とした波長選択スイッチとして、入力ポート101から入力された光について、可動反射体142の傾斜角度の設定により、波長ごとに出力先となる出力ポート102を切り替えることができるようになっている。

#### 【0014】

ところで、上述のごとき波長選択スイッチ100では、分光素子120をなす回折格子に代表されるように、偏向依存性損失 (PDL: Polarization Dependent Loss) を発生させる素子を複数個含むため、各素子単体でPDLを抑えるだけでは、波長選択スイッチ全体としてのPDLをシステム仕様値以下に抑えることは困難である。このため、例えばこの図15(a), 図15(b)に示すように、ミラー装置140の前に、 $\lambda/4$ 波長板150を設置して、PDLをキャンセルさせる構成としている。

40

#### 【0015】

しかしながら、上述のごとき波長選択スイッチ100では、上述のごとく  $\lambda/4$ 波長板150をそなえたとしても、複屈折性を有するサファイアガラス143を透過した際に発生する偏光間の(常光、異常光間の)位相差についてまでは解消させることはできない。特に、入力ポート101から可動反射体141に入射される光と、可動反射体141を反射して出力ポート102に導かれる光と、 $\lambda/4$ 波長板150を透過する際のサファイアガラス143に対する角度が異なっているため、入射光と出射光とで複屈折の影響が異なる。

50

## 【0016】

そして、この複屈折の影響は、前述のクロストークを抑制するためのサファイアガラス143の傾斜度合いにも依存して異なることになる。サファイアガラス143の傾斜角度によって、サファイアガラス143をなす結晶軸に対する、入射光および出射光のなす角度も変動することになるからである。

特許文献1および特許文献2には、レーザーモジュールにおいて、同じくサファイア結晶を透過窓とした場合の、複屈折によるファイバへの結合効率劣化を防ぐため、サファイア結晶へ入射するビームの結晶内での角度をサファイア結晶C軸方向と一致させ、複屈折の影響をなくす構造について記載されている。

## 【0017】

また、特許文献3には、ニオブ酸カリウム等の複屈折結晶へのビーム入射角度をa軸方向に一致、偏光方向をC軸方向とb軸方向にそれぞれ一致させる構造とし、結晶を温度制御することにより偏波モード分散を補償する構造についても記載されている。

【特許文献1】特開2005-136119号公報

【特許文献2】特開平8-148594号公報

【特許文献3】特開2003-43418号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【0018】

しかし、上述の特許文献1～3においては、いずれも、いずれも1つのビームに対しての複屈折の影響についてのみ提案されたものにすぎず、可動ミラーへの入射光と出射光とで、透過窓をなすサファイアガラスを通過する際の当該サファイアガラスの結晶軸に対する角度として複数の態様を想定した上でPDLを抑制しようとする構成については提案されていない。

## 【0019】

たとえば、上述の波長選択スイッチの場合には、1つの入力ポート101からのビームを可動ミラー142の角度を変化させて複数の出力ポート102のうち任意の1ポートにビームを結合させる、もしくは複数の入力ポートからのビームのうち任意の1ポートからのビームを1つの出力ポートに結合させるという特徴があるため、同時に複数のビームについての複屈折の影響について考慮しなければならない。

## 【0020】

具体的には図18に示すように、1つの入力ポート(ポート0)101と4つの出力ポート(ポート1～4)102をそなえ、それぞれがポート配列方向に番号順に配列された構成を想定する。このとき、特許文献1および2に記載されている技術に倣い、この図18に示すように、ポート0からの光についてのPDLを抑制させるために、ポート0からの光が結晶内でなす光軸AX0と、サファイアガラス143の結晶軸であるC軸の方向AXCと、を一致させることが考えられる。

## 【0021】

しかしながら、このときの各ポート1～4から出力されるビームのPDLは、ポート0から入力されるビームと、各出力ポート1～4からのビームと、がそれぞれサファイアガラス143内の複屈折によって与えられる位相差の和に依存する。従って、この図18に示すように、ポート0からの光についてのPDLを抑制させるために、ポート0からの光がなす光軸AX0と、サファイアガラス143の結晶軸であるC軸の方向AXCと、を一致させたとしても、可動ミラー142で反射後の各出力ポート1～4へ戻るビームについては、それらの結晶内での光軸AX1～AX4は、サファイアガラス143のC軸方向AXCから必ずずれてしまうため、複屈折が生じることになり、PDLが増大することになる。

## 【0022】

一例として、複屈折による位相差からジョーンズベクトルを用いPDLを計算すると、例えば回折格子等で初期的に1dBのPDLがある場合には、透過窓としてのサファイア

10

20

30

40

50

ガラス143の厚みを1mmとして、ポート0とポート4のサファイアガラス143内での角度差が10°あれば、 $\lambda/4$ 波長板150を設置していたとしても、0.71dBほどPDLが残留してしまう。波長選択スイッチとしてのシステム設計上は、PDLは0.4dB程度以下に抑制させることが望ましいところ、このような構造ではこの値を大きく超えてしまうことになる。

#### 【0023】

そこで、本発明の目的の一つは、可動ミラーへの入射光と出射光とで、結晶部材を通過する際の当該結晶部材の結晶軸に対する角度として複数の態様を想定した上でPDLを抑制することにある。

なお、上記目的に限らず、後述する発明を実施するための最良の形態に示す各構成により導かれる効果であって、従来の技術によっては得られない効果を奏することも本発明の他の目的の一つとして位置づけることができる。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0024】

このため、本発明は、以下のミラー装置および光装置を特徴とするものである。

(1)すなわち、本発明のミラー装置は、入射光を反射させるとともに反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な少なくとも1つの可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、外部からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射させる一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として外部に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、単一の第1光路と、該第1光路と同一平面内に、該第1光路を端に置いて配列される複数の第2光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするとともに、該第1光路および該複数の第2光路の配列方向を含む面内で、該結晶部材が当該配列方向に対して傾斜されたミラー装置であって、第1角度が第2角度以下となるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第1角度および該第2角度については、前記第1光路および第2光路のうちで、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路および一の第2光路に対して該結晶部材の透過面に対する垂直方向がなす角度としてそれぞれ定義され、かつ、第3角度が第4角度の1/2と同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第3角度は、前記第1光路と当該結晶部材をなすC軸との角度として定義されるとともに、該第4角度は、該結晶部材を透過して、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である前記第1光路および前記一の第2光路がなす角度として定義されたことを特徴としている。

#### 【0025】

(2)また、本発明のミラー装置は、上記の第1角度が第2角度よりも大きくなるように該結晶部材が配置されるとともに、第3角度が、第4角度の1/2と、第5角度に定数を乗算した値と、の和に同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第5角度は、前記第4角度の1/2から前記第1角度を差し引いた値として定義されることを特徴としている。

(3)上記(2)の場合においては、前記定数は、該結晶部材の複屈折量と該第4角度とから決定されることとしてもよい。

#### 【0026】

(4)さらに、本発明の光装置は、単一の第1ポート、および、該第1ポートと同一平面内に該第1ポートを端に置いて配列される複数の第2ポートをそなえた入出力光学系と、該入出力光学系から入力される光を分光させる分光素子と、該分光素子で分光された各光成分を平行光とする集光光学系と、該集光光学系からの各光成分について反射により偏向させうる複数の可動ミラーを有するミラー装置と、をそなえ、該入出力光学系をなす該第1ポートと該複数の第2ポートとの間を、該分光素子、該集光光学系および該ミラー装置を介した往復光路を通じて、相互にかつ双方向に光結合可能となるように構成された光

10

20

30

40

50

装置であって、該ミラー装置は、上記(1)としての構成をそなえたことを特徴としている。

【0027】

(5)さらに、本発明の光装置は、単一の第1ポート、および、該第1ポートと同一平面内に該第1ポートを端に置いて配列される複数の第2ポートをそなえた入出力光学系と、該入出力光学系から入力される光を分光させる分光素子と、該分光素子で分光された各光成分を平行光とする集光光学系と、該集光光学系からの各光成分について反射により偏向させうる複数の可動ミラーを有するミラー装置と、をそなえ、該入出力光学系をなす該第1ポートと該複数の第2ポートとの間を、該分光素子、該集光光学系および該ミラー装置を介した往復光路を通じて、相互にかつ双方向に光結合可能となるように構成された光装置であって、該ミラー装置は、上記(2)としての構成をそなえたことを特徴としている。

10

【発明の効果】

【0028】

このように、本発明によれば、入出射される光に対する結晶部材の傾斜角度設定に応じて、結晶部材自身の結晶軸方位を、入出射される光の角度に対して設定することにより、PDLを最小とすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

以下、図面を参照することにより、本発明の実施の形態について説明する。

20

なお、本発明は、以下の実施の形態に限定されるものではない。又、上述の本願発明の目的のほか、他の技術的課題、その技術的課題を解決する手段及び作用効果についても、以下の実施の形態による開示によって明らかとなる。

〔A〕本実施形態におけるミラー装置10の構成

図1は本実施形態にかかるミラー装置を示す図であり、この図1に示すミラー装置10は、前述の図15(a)、図15(b)に示す波長選択スイッチをなす光装置100のミラー装置140に替えて適用することができるものである。尚、図1は、ミラー装置10について波長選択スイッチをなす光装置100に適用された場合において入出力光学系110、分光素子120および $\lambda/4$ 波長板150について図示を省略したものである。

【0030】

30

ここで、ミラー装置10は、集光光学系130〔図15(a)、図15(b)参照〕からの入射光を反射させるとともに集光光学系130への反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な可動ミラー1をそなえてなるミラーシステム2と、ミラーシステム2に一体にそなえられ、外部からの入射光を透過させて可動ミラー1の反射面に入射される一方、可動ミラー1で反射された光を透過させて出射光として外部に出射する平板状の結晶部材であるサファイア結晶3と、をそなえている。

【0031】

可動ミラー1としては、MEMSミラーとして構成することができ、波長選択スイッチ100に適用される場合には、反射させる光の単位に相当する波長成分に対応して、分光素子120での分光方向に複数個そなえることができる。そして、ミラーシステム2としては、上述の可動ミラー1を回動自在に支持する機構とともに、可動ミラー1を駆動することにより反射面角度を設定する機構がそなえられ、例えばMEMSミラーアレイとして構成することができる。更に、サファイア結晶3は、ミラーシステム2を気密封止して、可動ミラー1の反射面への湿度変化や異物混入による影響を抑制させている。

40

【0032】

また、第1光路11は、図示が省略された入力ポートとしての第1ポート101と分光素子120および集光光学系130を介して光学的に結合される、集光光学系130と可動ミラー1との間の光路である。又、第2光路12-1~12-4は、それぞれ、可動ミラー1の反射面角度の設定により、出力ポートとしての第2ポート102-1~102-4に、分光素子120および集光光学系130を介して光学的に結合される、集光光学系

50

130と可動ミラー1との間の光路である[図15(b)参照]。

【0033】

さらに、上述の第1光路11および第2光路12-1~12-4は、分光素子120で波長分離される同一波長成分間では、可動ミラー1を基準として放射状に広がる位置関係をそなえている。そして、第1ポート101との間で光学的に結合される第1光路11を端において、順次、第2ポート102-1~102-4との間で光学的に結合される第2光路12-1~12-4が前記放射状に位置される。

【0034】

これにより、この図1に示すように、反射面角度が切り替えられる可動ミラー1およびサファイア結晶3を介することにより、単一の第1光路11と、第1光路11と同一平面内に、第1光路11を端に置いて配列される複数の(ここでは4つの)第2光路12-1~12-4と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とすることができるようになっている。

10

【0035】

すなわち、ミラー装置10を図15に示すミラー装置(符号140参照)として適用する場合においては、図15(b)に示すように、第1ポート101を入力ポートとし、第2ポート102-1~102-4を出力ポートとすると、第1ポート101からの光については、ミラー装置10をなす可動ミラー1の反射面角度の設定により、波長単位で出力先となる第2ポート101-1~102-4のいずれかに選択的に導くことができる。一方、第2ポート102-1~102-4を入力ポートとし、第1ポート101を出力ポートとする場合においても、ミラー装置10をなす可動ミラー1の反射面角度の設定により、波長単位で、第2ポート102-1~102-4からの光を第1ポート101に導くこともできる。

20

【0036】

〔B〕結晶部材3の配置および結晶軸の配置構成について

ここで、本実施形態におけるミラー装置10においては、ミラーシステム2を気密封止するサファイア結晶3について、以下のごとく導かれるような、ポート101, 102-1~102-4の配列方向(又は第1光路11および第2光路12-1~12-4がなす放射方向)に対する傾斜配置および結晶軸の配置構成を有しているため、可動ミラー1への入出射により発生するPDLを最小化することができるようになっている。尚、以下においては、説明の便宜上ミラー装置10を波長選択スイッチ100におけるミラー装置140に替えて適用した場合であって、特に第1ポート101を入力ポートとし第2ポート102-1~102-4を出力ポートとした場合に着目して説明する。

30

【0037】

まず、入力ビームが第1光路11を通じて可動ミラー1に入射されて、いずれかの第2光路12-i(i=1~4の整数)を通じて出力ビームとして出力される場合において、これらの入出力ビームがサファイア結晶3を通過する際の複屈折についての導出式を定立し、次いで、導出した複屈折の導出式を用いて、この複屈折により発生する常光および異常光間の位相差 $\times$ を導出する式を定立する。

【0038】

ここで、図1に示すように、入力ビーム(第1光路11を辿るビーム)と、可動ミラー1で反射したある出力ビーム(第2光路12-iを辿るビーム)との、サファイア結晶3内でのなす角度を「 $n$ 」とし、入力ビームとサファイア結晶3のC軸AXCとの結晶内でなす角度、即ち第1光路11とC軸AXCとのなす角度を第3角度としての「 $\theta_1$ 」、出力ビームとサファイア結晶C軸AXCとの結晶内でなす角度、即ち第2光路12-iとC軸AXCとのなす角度を「 $\theta_2$ 」とし、サファイア結晶3の常光線成分屈折率を「 $n_o$ 」、異常光線成分屈折率を「 $n_e$ 」とする。

40

【0039】

このとき、第1光路11を辿り可動ミラー1へ入射する光におけるサファイア結晶3内で生じる複屈折 $n_1$ は式(1)のようになり、可動ミラー1を反射して第2光路12-

50

i を迎る光におけるサファイア結晶 3 内で生じる複屈折 n 2 は式 ( 2 ) のようになる。

【 0 0 4 0 】

【 数 1 】

$$\Delta n_1 = n_o - \frac{n_e n_o}{\sqrt{(n_e \cos[\theta_1])^2 + (n_o \sin[\theta_1])^2}} \dots (1)$$

$$\Delta n_2 = n_o - \frac{n_e n_o}{\sqrt{(n_e \cos[\theta_2])^2 + (n_o \sin[\theta_2])^2}} \dots (2)$$

【 0 0 4 1 】

10

ところで、前述の図 1 6 に示したように、第 1 , 第 2 ポート 1 0 1 , 1 0 2 - 1 ~ 1 0 2 - 4 の配列方向に対してサファイア結晶 3 の傾斜がない場合には、サファイアガラス 1 4 3 の裏面部 ( 可動反射体 1 4 1 に対向する側の面 ) で反射したビームがもう一度可動反射体 1 4 1 で反射し、目的としない出力ポート 1 0 2 - 1 ~ 1 0 2 - 4 へのクロストークとなってしまう。このようなクロストーク発生を抑制させるため、例えば前述の図 1 7 に示すとおり、サファイアガラス 1 4 3 をポート配列方向に対して傾斜させる構成がとられる。但し、傾斜角度が大きくなれば大きくなるほどクロストーク防止には有利であるが、必要な有効径と反射防止膜の製造の難易度も増大するためコストも増大する。このため、クロストーク対策のために最低限必要な傾斜角度をもとめ、この角度がサファイアガラス 1 4 3 の傾斜角度として設定されることとなる。ここでの必要な傾斜角度は、システム使用上のクロストーク許容量、集光光学系 1 3 0 をなすレンズ焦点、可動反射体 1 4 1 からサファイアガラス 1 4 3 までの距離、ポート配置のパラメータ等、対象とする光学システムの設計条件により変化するが、一般的に 1 0 ° ~ 4 0 ° の範囲が選ばれる。

20

【 0 0 4 2 】

図 1 に示すミラー装置 1 0 においても、同様に、このようなクロストーク発生の抑制とシステム設計条件とのバランスを図り、必要な傾斜角度が選択されることになる。この傾斜角度については、上述のごとき対象とする光学システムの設計条件によって実質的に一意に導出されるものである。

図 1 に示すように、サファイア結晶 3 の透過面に対する垂直方向 P と第 1 光路 1 1 を迎る入力ビームがサファイア結晶 3 内でなす方向との角度を第 1 角度としての  $\theta_1$ 、第 1 光路 1 1 から最も離れた配列位置の第 2 光路 1 2 - 4 からのビームがサファイア結晶 3 内でなす方向との角度を第 2 角度としての  $\theta_2$  とすると、この  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  は、上述したように一意に導出される傾斜角度に実質的に対応するものであるため、定数として扱うことができる。このとき、式 ( 1 )、( 2 ) で導出式が定立された複屈折による上述の位相差は、式 ( 3 ) のようにあらわすことができる。尚、式 ( 3 ) 中、「 t 」はサファイア結晶 3 の厚みをあらわす。

30

【 0 0 4 3 】

【 数 2 】

$$\Delta x = \frac{t}{\cos[\phi_1]} \left( n_o - \frac{n_e n_o}{\sqrt{(n_e \cos[\theta_1])^2 + (n_o \sin[\theta_1])^2}} \right) + \frac{t}{\cos[\theta_n - \phi_1]} \left( n_o - \frac{n_e n_o}{\sqrt{(n_e \cos[\theta_n - \theta_1])^2 + (n_o \sin[\theta_n - \theta_1])^2}} \right) \dots (3)$$

40

【 0 0 4 4 】

第 1 光路 1 1 を端において第 2 光路 1 2 - 1 ~ 1 2 - 4 が順次放射状に配置されているので、 $\theta_n$ 、 $\theta_1$  は、9 0 ° ~  $\theta_n$  ~ 1 の範囲にあるとすることができるが、ここでの  $\Delta x$  が小さいほど第 1 光路 1 1 から第 2 光路 1 2 - i への経路の P D L が小さくなるということができる。

ミラー装置 1 0 を波長選択スイッチの構成要素として適用することを想定すると、P D L のシステム上の仕様は最大値で規定されるのが一般的である。このために、まず第 1 光

50

路 1 1 からのビームがある 1 つの第 2 光路 1 2 - i に戻るときに P D L が最大になる場合について考える。式 ( 3 ) を n と 1 の 2 変数関数とみなし、3 次元グラフ化したものが図 2 である。

【 0 0 4 5 】

この図 2 のグラフより、x は、90° n 1 の範囲では、n に関しては常に増加関数であると仮定できる ( 図 2 の矢印参照 ) 。ここで、「 a 」を、サファイア結晶 3 を透過して、可動ミラー 1 の反射面角度の切り替えにより可動ミラー 1 に対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路としてとりうる第 1 光路 1 1 および一の第 2 光路 1 2 - 4 がなす角度 ( 即ち a n ) とする。このとき、x が最大となるのは、n = a のとき、つまり第 1 光路 1 1 から第 2 光路 1 2 - 4 への経路の場合となる。尚、図 2 においては、1 = 2 と仮定しているが、1 2 の場合においても、同様に、n に関しては常に増加関数であり第 1 光路 1 1 から第 2 光路 1 2 - 4 への経路の場合に x が最大となるとする仮定できる。

10

【 0 0 4 6 】

そうすると、第 1 光路 1 1 から第 2 光路 1 2 - 4 への経路の場合における x を最小とする 1 を求めることができる。そこで、n = a とすると、式 ( 4 ) に示すように、x は 1 の一変数関数とみることができるようになる。更に、式 ( 4 ) について 1 で微分すると、式 ( 5 ) のようになる。

【 0 0 4 7 】

【 数 3 】

$$\Delta x = \frac{t}{\cos[\phi 1]} \left[ n o - \frac{n e n o}{\sqrt{(n e \cos[\theta 1])^2 + (n o \sin[\theta 1])^2}} \right] + \frac{t}{\cos[a - \phi 1]} \left[ n o - \frac{n e n o}{\sqrt{(n e \cos[a - \theta 1])^2 + (n o \sin[a - \theta 1])^2}} \right] \dots (4)$$

20

$$\frac{d\Delta x}{d\theta 1} = \frac{1}{2} \cdot n e \cdot n o \cdot t \left( \frac{2\sqrt{2}(n e^2 - n o^2) \sec[a - \theta 1] \sin[2(a - \theta 1)]}{(n e^2 + n o^2 + (n e^2 - n o^2) \cos[2(a - \theta 1)])^{3/2}} + \frac{2(-n e^2 + n o^2) \cos[\theta 1] \sec[\theta 1] \sin[\theta 1]}{(n e^2 \cos[\theta 1]^2 + n o^2 \sin[\theta 1]^2)^{3/2}} \right)$$

30

... (5)

【 0 0 4 8 】

1 < 2 の場合を例にとると、式 ( 4 ) , 式 ( 5 ) のグラフは、それぞれ図 3 , 図 4 に示すようになる。この場合においては、1 については、極小値を範囲内において有する増加率一定の関数とみることができるので、この極小値を、n = a のときに x を最小とする 1 の値とすることができる。1 , 2 の大小関係が他の態様の場合においても、同様にして求められる極小値を、x を最小とする 1 の値として求められる。

【 0 0 4 9 】

ここで、a / 2 - 1 を第 5 角度としての 1 とすると、式 ( 5 ) = 0 として方程式を解くことにより ( 極小値を求めることにより ) 、n = a のとき、x 最小値をとるときの 1 は、a / 2 + A x 1 となる。このときの A x 1 は、入力ビームと出力ビームの光学的厚みの変化を補正する補正值の項であり、「 A 」は結晶の複屈折量と結晶内の入出力ビームのなす角度、つまり、「 n o 」、「 n e 」と「 a 」から決定される定数である。

40

【 0 0 5 0 】

ここまでの結果から、第 1 光路 1 1 を迎えるビームがある 1 つの第 2 光路 1 2 - i に戻るといふ 1 つの経路のみを考えた場合には、第 1 光路 1 1 から最も離れた第 2 光路 1 2 - 4 への経路 ( n = a のときの ) の P D L が最大になり、このときサファイア結晶 3 の傾斜方向によらず ( 1 , 2 の大小関係によらず ) 、1 = a / 2 + A x 1 とすれば、

50

$x$  を最小 (即ち PDL を最小) とさせることができるようになると帰結される。

【0051】

つぎに、続いて上述のごとく  $n = a$  としたときに求められる  $1$  が、 $n$  として他の値をとるときにも  $x$  を最小とすることができるかを検証するため、上述のごとく求められた  $1$  の値を用いて、変数を  $n$  に転換することにより PDL を最小とする  $n$  の値を導出する。

すなわち、第1光路  $11$  から、第2光路  $12 - 4$  以外の他の第2光路  $12 - 1 \sim 12 - 3$  (この場合には  $n < a$  となる) へ辿るビームにおいて発生する  $x$  の導出式から、 $x$  を最小とする  $n$  を導出する。即ち、 $1 = a/2 + Ax$   $1$  とすると、 $x$  を導出する式 (3) については、式 (6) に示すような  $n$  の1変数関数とすることができる。

10

【0052】

【数4】

$$\Delta x = \frac{t}{\cos[\phi 1]} \left( n_0 - \frac{ne \ n_0}{\sqrt{(ne \ \cos[a/2 - (A \times \Delta \phi 1)])^2 + (n_0 \ \sin[a/2 - (A \times \Delta \phi 1)])^2}} \right) + \frac{t}{\cos[\theta n - \phi 1]} \left( n_0 - \frac{ne \ n_0}{\sqrt{(ne \ \cos[\theta n - (a/2 - A \times \Delta \phi 1)])^2 + (n_0 \ \sin[\theta n - (a/2 - A \times \Delta \phi 1)])^2}} \right) \dots (6)$$

【0053】

このとき、式 (6) に基づき、 $0 < n < a$  の範囲での、 $1 < 2$  と  $2 < 1$  それぞれの場合の  $x$  のグラフを図5, 図6に示す。

20

ここで、 $1 > 2$  の場合には、図6に示すように、 $0 < n < a$  の範囲で、 $n = a$  での位相差が最大になる。このため  $1 = a/2 + Ax$   $1$  の場合がミラー装置10全体としてのPDLが最小となる構成となり、前述の仮説に対する帰結は正しいといえることができる。

【0054】

一方、 $1 < 2$  の場合には、図5に示すように、 $n = 0$  に近い出力ポートでは  $n = a$  のときの位相差を超えてしまい、 $1 = a/2 + Ax$   $1$  の場合がPDLを最小とする構成とならず、前述の仮説に対する帰結は正しいとはいえない。

そこで、上述の  $1 < 2$  の場合において、式 (4) について、 $n$  の値の変動幅を想定に置き、 $n = 0$  と  $n = a$  の場合でのそれぞれの位相差  $x$  を  $1$  の関数として表したのが図7の  $G_0$  および  $G_a$  である。この図7に示す  $G_0$  および  $G_a$  から、 $1 = a/2$  のときに  $x$  の値が一致し、又、 $n = 0$  と  $n = a$  での  $x$  の最大値が最小になることが解る。換言すれば、 $n = 0$  となる場合および  $n = a$  となる場合を想定した場合には、 $1 = a/2$  とすることで、 $x$  がとりうる値を最小とすることができる。

30

【0055】

また、反対に、 $1 = a/2$  として、式 (4) について  $n$  の1変数関数とすると、図8に示すように、 $0 < n < a$  の範囲で  $n = 0$  と  $n = a$  の場合の  $x$  が最大となる。従って、 $1 < 2$  で、 $n$  の値として  $0 < n < a$  の範囲で変動することを想定した場合においては、PDLを最小とする  $1$  については、 $n = 0$  となる場合と  $n = a$  となる場合での  $x$  が最小になる  $1$  を求めればよい。このように、 $1 < 2$  の場合には、 $1 = a/2$  の場合が  $x$  を最小となり、ミラー装置10全体としてのPDLを最小となる構成となる。

40

【0056】

なお、 $1 = 2$  の場合には、式 (5) から導出される  $1$  の極小値  $1 = a/2 + Ax$   $1$  において、 $1$  が0となるので、この場合にも  $1 = a/2$  の場合が  $x$  の値を最小にする構成となる。

たとえば、前述の図18に示す従来技術の構成において、 $0.71$  dBほどのPDLが残留していた実証例の場合において、同様のパラメータで波長選択スイッチとしてのPDLを計算した場合、上述の  $1 = 2$  の場合の  $1 = a/2$  とすることにより、 $0.23$

50

d Bまで減少させることができるという結果を得ることができた。

【0057】

このように、本実施形態にかかるミラー装置10においては、入出力ポート101, 102の配列方向等の他の光学系に対するサファイア結晶3の傾斜角度設定に応じて、サファイア結晶3自身の結晶軸方位を、入射される光の角度に対して設定することにより、 $\alpha$ の値、換言すればPDLを最小とすることができるようになる。即ち、可動ミラー1への入射光と出射光とで、サファイア結晶3を通過する際の当該サファイア結晶3の結晶軸に対する角度として複数の態様を想定した上でPDLを抑制することができる利点がある。

【0058】

具体的には、第1光路11および第2光路12-1~12-4のうちで、可動ミラー1の反射面角度の切り替えにより可動ミラー1に対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路11および第2光路12-4に対して、サファイア結晶3がなす角度をそれぞれ第1角度 $\theta_1$ 、第2角度 $\theta_2$ として定義する。そして、第3角度 $\theta_3$ を、第1光路11と当該サファイア結晶3をなすC軸との角度として定義され、第4角度 $\alpha$ を、サファイア結晶3を透過して、可動ミラー1の反射面角度の切り替えにより可動ミラー1に対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路11および第2光路12-4がなす角度として定義する。この場合において、上述のサファイア結晶3の傾斜角度設定に依存する $\theta_1$ と $\theta_2$ の大小関係に応じて、以下の $\theta_1$ の値を有する構成のサファイア結晶3とすることにより、 $\alpha$ を最小、即ちPDLを最小とすることができる。

【0059】

すなわち、第1角度 $\theta_1$ が第2角度 $\theta_2$ 以下となるようにサファイア結晶3が配置された場合においては( $\theta_1 < \theta_2$ )、第3角度 $\theta_3$ が第4角度 $\alpha$ の $1/2$ と実質的に同等となるように( $\theta_3 = \alpha/2$ )、サファイア結晶3を構成する。

また、第1角度 $\theta_1$ が第2角度 $\theta_2$ よりも大きくなるようにサファイア結晶3が配置された場合においては( $\theta_1 > \theta_2$ )第3角度 $\theta_3$ が、第4角度 $\alpha$ の $1/2$ と、可動ミラー1へ入射する光と可動ミラー1から出射される光とのサファイア結晶3での光学的厚みの変化の補正值と、 $\theta_1$ の和に実質的に同等となるようにサファイア結晶3を構成する。尚、上述の補正值は、第5角度 $\theta_5$ を第4角度 $\alpha$ の $1/2$ から第1角度 $\theta_1$ を差し引いた値 $[\alpha/2 - \theta_1]$ に定数Aを乗算した値 $[A \times (\alpha/2 - \theta_1)]$ である。又、Aについては、サファイア結晶3の常光/異常光の屈折率 $n_e, n_o$ と第4角度 $\alpha$ とから決定される定数である。従って、上述の $\theta_3$ としては、 $[\alpha/2 + A \times (\alpha/2 - \theta_1)]$ とあらわすことができる。

【0060】

なお、上述のミラー装置10においては、第1光路11を可動ミラー1への入射光路とし第2光路12-1~12-4を可動ミラー1からの出射光路とした場合を例として説明したが、第2光路12-1~12-4を入射光路とし第1光路11を出射光路とする場合においても、同様に $\theta_1$ を設定することが可能である。

〔C1〕ミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の第1の構成例

図9は、上述のごとく構成されたミラー装置を適用した波長選択スイッチ20Aの構成例である。ここで、この図9に示す波長選択スイッチ20Aは、図示が省略された前述の図15(a), 図15(b)に示すものと同様の入出力光学系および分光素子(符号110, 120)をそなえるとともに、集光光学系130,  $\lambda/4$ 波長板150および本実施形態にかかるミラー装置10A(図1の符号10参照)をそなえて構成される。ここで、この図9に示す波長選択スイッチ20Aにおいては、第1ポート101を入力ポートとし第2ポート102-1~102-4を出力ポートとして構成されたものであり、第1ポート101から入力された光について、波長毎に第2ポート102-1~102-4に選択的に出力させることができる機能をそなえている。

【0061】

そして、この図9に示すミラー装置10Aのサファイア結晶3は、第1ポート101お

10

20

30

40

50

よび第2ポート102の配列方向に対して、前述の1および2について1と2となるような傾斜方向で配置されているが、このとき、サファイア結晶3は、C軸AXCと入射光路としての第1光路11とをなす第3角度1が、第4角度aの1/2と実質的に同等となるように( $1 = a / 2$ )構成されている。

#### 【0062】

これにより、波長選択スイッチ20Aにおいて、サファイア結晶3を、光学系の設計の際にほぼ一意に決定されるその傾斜角度によって、入力ビーム11からの角度に対して異なる最適なサファイア結晶3のC軸方向AXCとなるように構成しているため、複屈折の発生を低減させることができる。即ち、PDLがシステム使用上の規定を満たす波長選択スイッチの製造を可能とすることができる利点がある。

10

#### 【0063】

〔C2〕ミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の第2の構成例

図10は、上述の図9に示す波長選択スイッチ20Aにおける入力および出力のポートを逆とした構成例である。即ち、この図11に示す波長選択スイッチ20Bにおいては、第2ポート102-1~102-4を入力ポートとし第1ポート101を出力ポートとして構成されたものであり、第2ポート102-1~102-4から入力された光について、波長毎に第1ポート101に選択的に出力させることができる機能をそなえている。

#### 【0064】

そして、この図10に示すミラー装置10Aのサファイア結晶3においても、図9の場合に倣い、第1ポート101および第2ポート102の配列方向に対して、前述の1および2について1と2となるような傾斜方向で配置されているが、このとき、サファイア結晶3は、C軸AXCと出射光路としての第1光路11とをなす第3角度1が、第4角度aの1/2と実質的に同等となるように( $1 = a / 2$ )構成されている。これにより、上述のC1の場合と同様の利点を得ることができる。

20

#### 【0065】

〔C3〕ミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の第3の構成例

図11は、上述のごとく構成されたミラー装置を適用した波長選択スイッチ20Cの構成例である。ここで、この図11に示す波長選択スイッチ20Cにおいては、ミラー装置10B(図1の符号10参照)の構成以外については図9に示す波長選択スイッチ20Aと同様である。

30

#### 【0066】

そして、この図11に示すミラー装置10Bのサファイア結晶3は、第1ポート101および第2ポート102の配列方向に対して、前述の1および2について $1 > 2$ となるような傾斜方向で配置されているが、このとき、サファイア結晶3は、第3角度1が、上述したように $1 = a / 2 + A \times 1$ となるように構成されている。これにより、上述のC1の場合と同様の利点を得ることができる。

#### 【0067】

〔C4〕ミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の第4の構成例

図12は、上述のごとく構成されたミラー装置を適用した波長選択スイッチ20Cの構成例である。ここで、この図12に示す波長選択スイッチ20Dにおいては、ミラー装置10Bの構成以外については図10に示す波長選択スイッチ20Bと同様である。そして、この図12に示すミラー装置10Bは、前述の図11の場合に倣い、サファイア結晶3は、第1ポート101および第2ポート102の配列方向に対して、前述の1および2について $1 > 2$ となるような傾斜方向で配置されているが、このとき、サファイア結晶3は、第3角度1が $1 = a / 2 + A \times 1$ となるように構成されている。これにより、上述のC1の場合と同様の利点を得ることができる。

40

#### 【0068】

〔C5〕ミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の変形例の説明

上述の図9~図12に示す波長選択スイッチ20A~20Dにおいては、分光素子120として図15(a)、図15(b)に示す構成態様のもののほか、例えば図13に示す

50

ように、タンデムに配置された複数枚（図 1 3 中においては 2 枚）の回折格子 1 2 1 , 1 2 2 で構成することができる。

【 0 0 6 9 】

このように、分光素子 1 2 0 を 2 枚の回折格子をそなえた構成とすることで、波長分散能力が 2 倍になり、1 枚構成の回折格子により構成された場合に比べて、同じ焦点距離の集光レンズを集光光学系 1 3 0 としてそなえたとしても、波長ごとに反射される可動ミラー 1 の配置間隔を、2 倍広くすることができるようになり、MEMS ミラーアレイの製造は容易になる。このとき、従来技術においては、ミラー装置 1 0 としてサファイア結晶 3 を入射するとき発生する初期的な PDL の発生量も 1 枚の回折格子として構成した場合に比べて大きくなると想定されるところ、本実施形態のミラー装置 1 0 としての構成を適用することにより、PDL 発生を顕著に抑制できることが期待されるものである。

10

【 0 0 7 0 】

また、図 1 4 に示すように、入出力光学系 1 1 0 と分光素子 1 2 0 との間に、1 個又はタンデム配置された複数個（図 1 4 中においては 2 個）のプリズム 1 6 1 , 1 6 2 を介装することとしてもよく、このようにすれば、波長分散方向にのみビームを拡大させて、分光素子 1 2 0 の回折効率を上げることができるようになる。図 1 4 は 2 個のプリズム 1 6 1 , 1 6 2 を使用したアナモルフィックプリズム対 1 6 0 として構成されたものである。このようにプリズム 1 6 1 , 1 6 2 を使用した場合においても、プリズム 1 6 1 , 1 6 2 自身で初期的に PDL が発生するためことが想定されるところ、本実施形態のミラー装置 1 0 としての構成を適用することにより、PDL 発生を顕著に抑制できることが期待されるものである。

20

【 0 0 7 1 】

〔 D 〕その他

上述した本実施形態のほか、請求項記載の本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々変形して実施することが可能である。

たとえば、上述の本実施形態においては、特に波長選択スイッチにミラー装置を適用した場合について説明したが、本発明によれば、これ以外の光装置に適用することを妨げるものではない。

【 0 0 7 2 】

また、複数の第 2 光路として、第 2 ポート 1 0 2 - 1 ~ 1 0 2 - 4 にそれぞれ結合する 4 つの光路 1 2 - 1 ~ 1 2 - 4 をそなえて構成した場合について説明したが、本発明によれば、第 2 ポート 1 0 2 の配置数に応じて、これ以外の数 n ( n は複数 ) の第 2 ポートに結合される光路をそなえて構成することとしてもよい。

30

さらに、上述した実施形態の開示により、当業者であれば本発明の装置を製造することは可能である。

【 0 0 7 3 】

〔 E 〕付記

( 付記 1 )

入射光を反射させるとともに前記反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、外部からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射される一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として外部に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、単一の第 1 光路と、該第 1 光路と同一平面内に、該第 1 光路を端に置いて配列される複数の第 2 光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするミラー装置であって、

40

第 1 角度が第 2 角度以下となるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第 1 角度および該第 2 角度については、それぞれ、前記第 1 光路および第 2 光路のうちで、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第 1 光路および一の第 2 光路に対して、該結晶部材がなす角度としてそれぞれ定義され、

50

かつ、第3角度が第4角度の1/2と実質的に同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第3角度は、前記第1光路と当該結晶部材をなすC軸との角度として定義されるとともに、該第4角度は、該結晶部材を透過して、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である前記第1光路および前記一の第2光路がなす角度として定義されたことを特徴とする、ミラー装置。

【0074】

(付記2)

入射光を反射させるとともに前記反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、外部からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射される一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として外部に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、単一の第1光路と、該第1光路と同一平面内に、該第1光路を端に置いて配列される複数の第2光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするミラー装置であって、

第1角度が第2角度よりも大きくなるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第1角度および該第2角度については、それぞれ、前記第1光路および第2光路のうちで該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路および一の第2光路に対して、該結晶部材がなす角度として定義され、

かつ、第3角度が、第4角度の1/2と、該可動ミラーへ入射する光と該可動ミラーから出射される光との該結晶部材での光学的厚みの変化の補正值と、の和に実質的に同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第3角度は、前記第1光路と当該結晶部材をなすC軸との角度として定義され、該第4角度は、該結晶部材を光が透過する前記第1光路および前記一の第2光路であって、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路がなす角度として定義されたことを特徴とする、ミラー装置。

【0075】

(付記3)

前記補正值は、第5角度に定数を乗算した値であり、ここに前記第5角度は前記第4角度の1/2から前記第1角度を差し引いた値であることを特徴とする、付記2記載のミラー装置。

(付記4)

前記定数は、該結晶部材の複屈折量と該第4角度とから決定されることを特徴とする、付記3記載のミラー装置。

【0076】

(付記5)

該第1光路を該可動ミラーへの入射光路とし該第2光路を該可動ミラーからの出射光路として構成されたことを特徴とする、付記1又は2記載のミラー装置。

(付記6)

該第2光路を該可動ミラーへの入射光路とし該第1光路を該可動ミラーからの出射光路として構成されたことを特徴とする、付記1又は2記載のミラー装置。

【0077】

(付記7)

該結晶部材はサファイア結晶であることを特徴とする付記1又は2記載のミラー装置。

(付記8)

単一の第1ポート、および、該第1ポートと同一平面内に該第1ポートを端に置いて配列される複数の第2ポートをそなえた入出力光学系と、該入出力光学系から入力される光を分光させる分光素子と、該分光素子で分光された各光成分を平行光とする集光光学系と、該集光光学系からの各光成分について反射により偏向させうる複数の可動ミラーを有す

るミラー装置と、をそなえ、該入出力光学系をなす該第1ポートと該複数の第2ポートとの間を、該分光素子、該集光光学系および該ミラー装置を介した往復光路を通じて、相互にかつ双方向に光結合可能となるように構成された光装置であって、

該ミラー装置は、

該分光素子の分光方向に配列されるとともに、該集光光学系からの各光成分について入射光として反射させるとともに前記反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な、前記複数の可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、該集光光学系からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射される一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として該集光光学系に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、該集光光学系および該分光素子を介して該第1ポートに結合する単一の第1光路と、該集光光学系および該分光素子を介して該第2ポートに結合する第2光路であって該第1光路と同一平面内に該第1光路を端に置いて配列される複数の第2光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするミラー装置であって、

第1角度が第2角度以下となるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第1角度および該第2角度については、それぞれ、前記第1光路および第2光路のうちで、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路および一の第2光路に対して、該結晶部材がなす角度としてそれぞれ定義され、

かつ、第3角度が第4角度の $1/2$ と実質的に同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第3角度は、前記第1光路と当該結晶部材をなすC軸との角度として定義されるとともに、該第4角度は、該結晶部材を透過して、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である前記第1光路および前記一の第2光路がなす角度として定義されたことを特徴とする、光装置。

【0078】

(付記9)

単一の第1ポート、および、該第1ポートと同一平面内に該第1ポートを端に置いて配列される複数の第2ポートをそなえた入出力光学系と、該入出力光学系から入力される光を分光させる分光素子と、該分光素子で分光された各光成分を平行光とする集光光学系と、該集光光学系からの各光成分について反射により偏向させうる複数の可動ミラーを有するミラー装置と、をそなえ、該入出力光学系をなす該第1ポートと該複数の第2ポートとの間を、該分光素子、該集光光学系および該ミラー装置を介した往復光路を通じて、相互にかつ双方向に光結合可能となるように構成された光装置であって、

該ミラー装置は、

該集光光学系からの各光成分について入射光として反射させるとともに前記反射光の方向を反射面角度により切り替え可能な前記複数の可動ミラーをそなえてなるミラーシステムと、該ミラーシステムに一体にそなえられ、該集光光学系からの入射光を透過させて該可動ミラーの反射面に入射される一方、該可動ミラーで反射された光を透過させて出射光として該集光光学系に出射する平板状の結晶部材と、をそなえ、前記反射面角度が切り替えられる該可動ミラーおよび該結晶部材を介することにより、該集光光学系および該分光素子を介して該第1ポートに結合する単一の第1光路と、該集光光学系および該分光素子を介して該第2ポートに結合する第2光路であって該第1光路と同一平面内に該第1光路を端に置いて配列される複数の第2光路と、の間で、双方向に相互に光を結合可能とするミラー装置であって、

第1角度が第2角度よりも大きくなるように該結晶部材が配置されるとともに、ここに該第1角度および該第2角度については、それぞれ、前記第1光路および第2光路のうちで該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路である第1光路および一の第2光路に対して、該結晶部材がなす角度として定義され、

かつ、第3角度が、第4角度の $1/2$ と、該可動ミラーへ入射する光と該可動ミラーから出射される光との該結晶部材での光学的厚みの変化の補正值と、の和に実質的に同等となるように該結晶部材が構成され、ここに該第3角度は、前記第1光路と当該結晶部材をなすC軸との角度として定義され、該第4角度は、該結晶部材を光が透過する前記第1光路および前記一の第2光路であって、該可動ミラーの反射面角度の切り替えにより該可動ミラーに対する入射角度及び出射角度が両側に最も大きくなる一対の光路がなす角度として定義されたことを特徴とする、光装置。

【0079】

(付記10)

該第1光路を該可動ミラーへの入射光路とし該第2光路を該可動ミラーからの出射光路として構成することにより、該第1光路に対応する該第1ポートを入力ポートとし該第2光路に対応する該第2ポートを出力ポートとして、該第1ポートを通じて入力される光について、該複数の可動ミラーの反射面角度の切り替えにより、波長単位に該第2ポートのいずれかへ選択的に切り替え可能とすることを特徴とする、付記8又は9記載の光装置。

10

【0080】

(付記11)

該第2光路を該可動ミラーへの入射光路とし該第1光路を該可動ミラーからの出射光路として構成することにより、該第2光路に対応する該第2ポートを入力ポートとし該第1光路に対応する該第1ポートを出力ポートとして、該複数の第2ポートを通じて入力される光について、該複数の可動ミラーの反射面角度の切り替えにより、波長単位に該第1ポートへ選択的に切り替え可能とすることを特徴とする、付記8又は9記載の光装置。

20

【0081】

(付記12)

該分光素子が、タンデムに配置された複数枚の回折格子で構成されたことを特徴とする、付記8又は9記載の光装置。

(付記13)

該入出力光学系と該分光素子との間にプリズムが介装されたことを特徴とする、付記8又は9記載の光装置。

【0082】

(付記14)

該集光光学系と該ミラー装置との間に $\lambda/4$ 波長板が介装されたことを特徴とする、付記8又は9記載の光装置。

30

【図面の簡単な説明】

【0083】

【図1】本実施形態にかかるミラー装置を示す図である。

【図2】本実施形態における複屈折による位相差を導出する式(3)を $n$ と $1$ の2変数関数とみなし、3次元グラフ化した図である。

【図3】本実施形態における式(4)のグラフを示す図である。

【図4】本実施形態における式(5)のグラフを示す図である。

【図5】本実施形態における式(6)に基づき、 $0 < n < a$ の範囲での、 $1 < 2$ の場合の位相差のグラフを示す図である。

40

【図6】本実施形態における式(6)に基づき、 $0 < n < a$ の範囲での、 $1 > 2$ の場合の位相差のグラフを示す図である。

【図7】本実施形態における式(4)について、 $n$ の値の変動幅を想定に置き、 $n = 0$ と $n = a$ の場合でのそれぞれの位相差を $1$ の関数としてあらわしたグラフを示す図である。

【図8】本実施形態における式(4)について、 $1 = a/2$ として $n$ の1変数関数としてあらわしたグラフを示す図である。

【図9】本実施形態にかかるミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の構成例を示す図である。

50

【図10】本実施形態にかかるミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の構成例を示す図である。

【図11】本実施形態にかかるミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の構成例を示す図である。

【図12】本実施形態にかかるミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の構成例を示す図である。

【図13】本実施形態にかかるミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の変形例を示す図である。

【図14】本実施形態にかかるミラー装置を波長選択スイッチに適用した場合の変形例を示す図である。

【図15】(a), (b)はともに一般的な波長選択スイッチとして動作する光装置の概念図を示す図である。

【図16】波長選択スイッチのクロストークの発生について説明するための図である。

【図17】波長選択スイッチのクロストークの発生を抑制するための構成について説明するための図である。

【図18】従来技術を説明するための図である。

【符号の説明】

【0084】

- 1 可動ミラー
- 2 ミラーシステム
- 3 サファイア結晶(結晶部材)
- 10, 10A, 10B, ミラー装置
- 11 第1光路
- 12-1 ~ 12-4 第2光路
- 20A ~ 20D, 100 波長選択スイッチ
- 101 第1ポート
- 102, 102-1 ~ 102-4 第2ポート
- 110 入出力光学系
- 120 分光素子
- 121, 122 回折格子
- 130 集光光学系
- 140 ミラー装置
- 141 可動反射体
- 142 ミラーシステム
- 143 サファイアガラス
- 150 /4波長板
- 160 アナモルフィックプリズム対
- 161, 162 プリズム

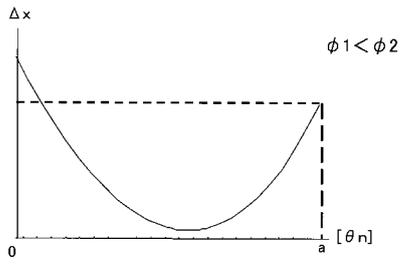
10

20

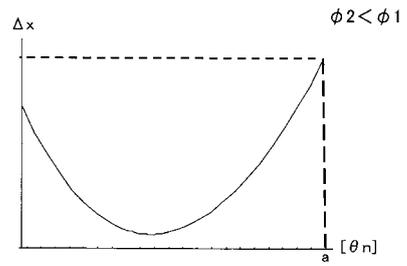
30



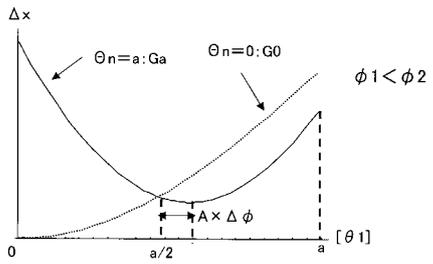
【 図 5 】



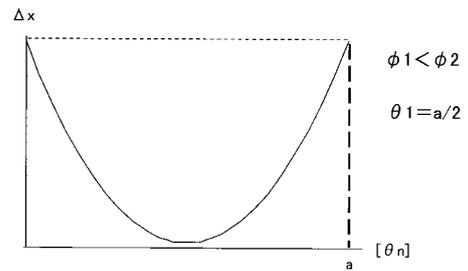
【 図 6 】



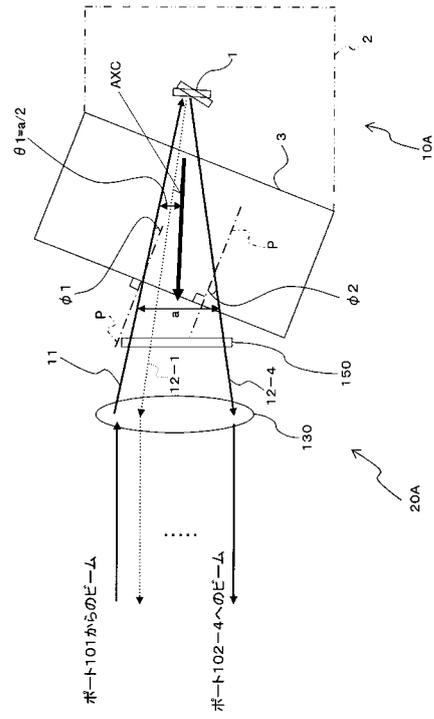
【 図 7 】



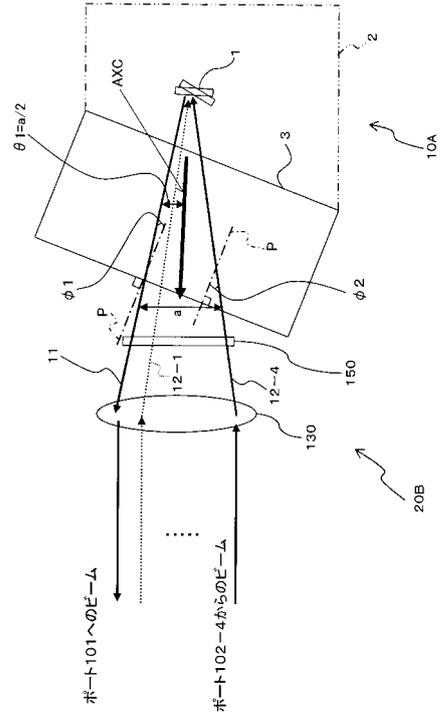
【 図 8 】



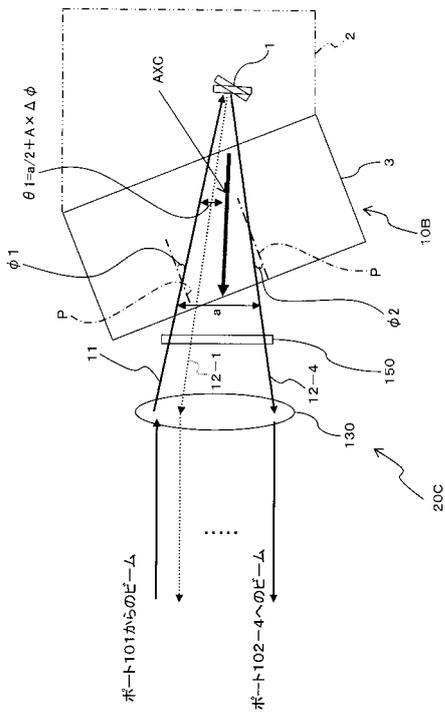
【図9】



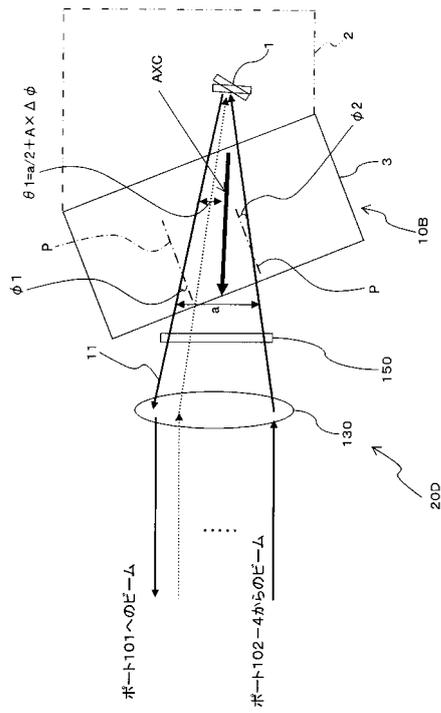
【図10】



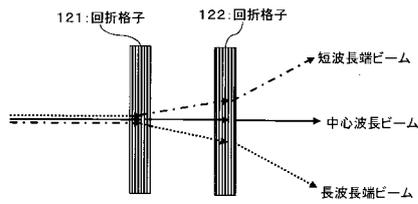
【図11】



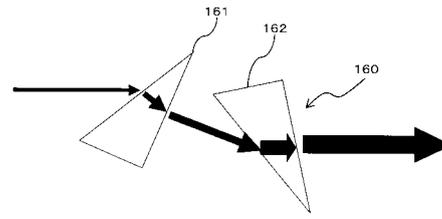
【図12】



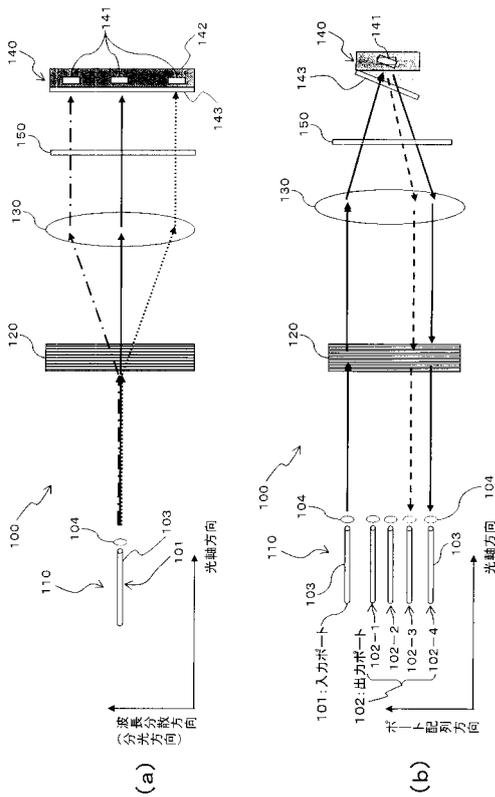
【図13】



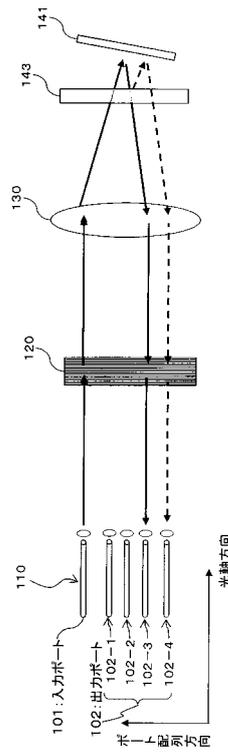
【図14】



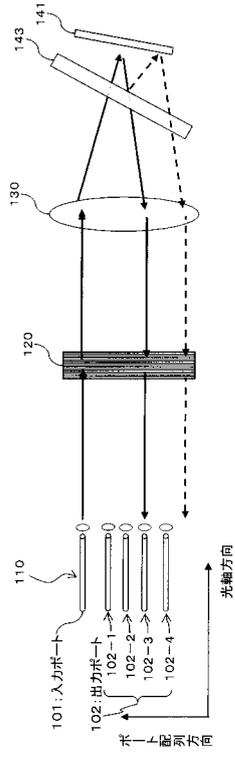
【図15】



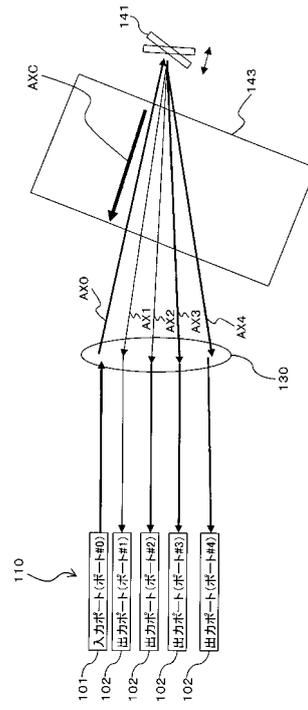
【図16】



【図17】



【図18】



---

フロントページの続き

(72)発明者 山本 毅  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 井上 徹

(56)参考文献 特開2006-267522(JP,A)  
特開2005-136119(JP,A)  
特表2005-526287(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G02B 6/26、6/30-6/34、6/42、  
26/00-26/08  
Cinii  
JSTPlus(JDreamII)  
JST7580(JDreamII)