

(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2009-134294  
(P2009-134294A)

(43) 公開日 平成21年6月18日(2009.6.18)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
<b>GO2B 5/18 (2006.01)</b>	GO2B 5/18	2H141
<b>GO2B 26/08 (2006.01)</b>	GO2B 26/08 E	2H249

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2008-287082 (P2008-287082)	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社
(22) 出願日	平成20年11月7日 (2008.11.7)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(31) 優先権主張番号	特願2007-291137 (P2007-291137)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(32) 優先日	平成19年11月8日 (2007.11.8)	(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
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(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

最終頁に続く

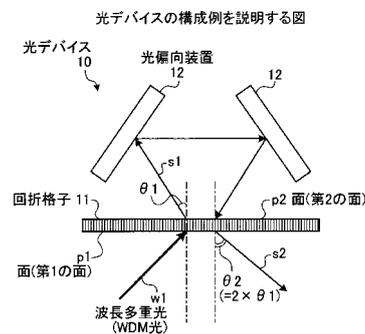
(54) 【発明の名称】 光デバイスおよび波長選択スイッチ

(57) 【要約】

【課題】 低コストでありながら広い光波長分散角度を得ること。

【解決手段】 光デバイス10は、回折格子11と、回折格子11の面p2側に光偏向装置12を有する。回折格子11の面p1側に入射する波長多重光w1は、回折格子11で回折され、波長分散光s1として面p2側から光偏向装置12に向けて出力される。そして、波長分散光s1は、光偏向装置12によって反射され、回折格子11の面p2側に再度入射する。回折格子11の面p2側に入射した波長分散光s1は、回折格子11で回折され、波長分散光s2として、回折格子11の面p1側から出力される。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光デバイスであって、  
 第 1 と第 2 の面を有する回折格子と、  
 上記回折格子の上記第 2 面側に第 1 および第 2 の反射面を備え、  
 上記回折格子の第 1 面に入力する光が回折されて上記第 2 面から回折光が出力され、上記回折光の光路が新たに上記第 1 および第 2 反射面を介して上記回折格子の上記第 1 面に再入力する光デバイス。

## 【請求項 2】

請求項 1 記載の光デバイスであって、上記第 1 および第 2 の反射面の間の距離は、上記回折格子の幅より長く構成する光デバイス。 10

## 【請求項 3】

請求項 1 記載の光デバイスであって、前記第 2 面からの回折光の出力位置と前記第 2 面に回折光が再入力する位置との距離は上記第 1 および第 2 の反射面の間の距離より短く構成する光デバイス。

## 【請求項 4】

光デバイスであって、  
 第 1 と第 2 の面を有する回折格子と、  
 上記回折格子の上記第 2 面側に第 1 および第 2 の反射面を備え、  
 前記回折格子の平面方向を x 軸、上記平面に対する垂直線を y 軸とし、前記回折格子の第 1 の面に光が入力する位置を原点とした第 1 象限から第 4 象限の空間において、  
 前記回折格子の前記第 1 面への入力が左下から右上の原点に向かう光路が第 3 象限に位置すると想定したときに、  
 前記回折格子は、前記第 1 の面に入力された光を回折して第 2 象限に回折光を出力し、前記第 1 および第 2 の反射面は入力された前記回折光の光路を偏向して前記回折格子の第 2 の面へ再入力し、再入力した回折光をさらに回折して第 4 象限の方向に出力する光デバイス。 20

## 【請求項 5】

請求項 4 記載の光デバイスであって、上記第 1 および第 2 の反射面の間の距離は、上記回折格子の幅より長く構成する光デバイス。 30

## 【請求項 6】

請求項 4 記載の光デバイスであって、前記第 1 および第 2 の反射面の間の距離は、前記第 2 面からの回折光の出力位置と前記第 2 面に回折光が再入力する位置との距離は上記第 1 および第 2 の反射面の間の距離より短く構成する光デバイス。

## 【請求項 7】

波長単位に光信号のスイッチ処理を行う波長選択スイッチであって、  
 1 つの入力ポートと、  
 複数の出力ポートと、  
 第 1 と第 2 の面を有する回折格子と、  
 上記回折格子の上記第 2 面側に第 1 および第 2 の反射面を備え、  
 上記回折格子の第 1 面に前記入力ポートを通じて入力する波長多重光が回折されて上記第 2 面から第 1 回折光が出力され、上記第 1 回折光の光路が新たに上記第 1 および第 2 反射面を介して上記回折格子の上記第 2 面に再入力され、さらに回折された第 2 回折光を第 1 面から出力する光デバイスと、  
 前記光デバイスによって出力された第 2 回折光を集光する集光レンズと、  
 前記集光レンズにより集光された光を反射し、角度を変えることにより第 2 回折光のうちの任意の波長の光を任意の前記出力ポートに出力させる可動ミラーアレイと、  
 を有するように構成する波長選択スイッチ。 40

## 【請求項 8】

光デバイスであって、 50

第 1 と第 2 の面を有する回折格子と、  
 前記回折格子の前記第 2 面側に第 1 および第 2 の反射面と、  
 前記回折格子の前記第 1 面側に第 3 の反射面とを備え、  
 前記回折格子の第 1 面に入力する光ビームが回折されて前記第 2 面から回折光が出力され、前記回折光の光路が前記第 1 および第 2 の反射面を介して前記回折格子の前記第 2 面に 2 度目の入力をし、  
 前記回折格子の第 2 面に 2 度目の入力をした回折光が回折されて前記回折格子の第 1 面から出力され、前記回折光の光路が前記第 3 の反射面を介して前記回折格子の前記第 1 面に 3 度目の入力をし、  
 前記回折格子の第 1 面に 3 度目の入力をした回折光が回折されて前記回折格子の第 2 面から出力され、前記回折光の光路が前記第 1 および第 2 の反射面を介して前記回折格子の前記第 2 面に 4 度目の入力をする構成を有する光デバイス。

10

【請求項 9】

請求項 8 に記載の光デバイスであって、前記回折格子の第 2 面に 4 度目の入力をして回折した後に、前記第 1 面から出力される回折光の出力角度は、前記回折格子の第 1 面の垂直線を基準にして、前記光ビームの入力角度と同方向である構成を有する光デバイス。

【請求項 10】

請求項 8 に記載の光デバイスであって、前記回折格子の第 1 面に入力する光ビームと、前記回折格子の第 1 面に 4 度目の入力をして回折した後に、前記第 1 面から出力される回折光とが前記第 1 面側の空間上で重ならないように構成する光デバイス。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本案件は、光デバイスおよび波長選択スイッチに関する。特に波長分散を行う光デバイスおよび波長単位に光信号のスイッチ処理を行う波長選択スイッチに関する。

【背景技術】

【0002】

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

30

【0003】

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し、ネットワークを構成する各ノードにおいても、任意波長の挿入 / 分岐 (Add / Drop) や、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る。

【0004】

このような光ネットワークを実現するために、入力された波長を任意の出力ポートに振り分ける機能を有する波長選択スイッチ (WSS: Wavelength Selective Switch) などが注目されており、波長多重された光を各波長に分散させる機能を有する光デバイスの重要性が高まっている。

40

【0005】

波長多重光を各波長に分散させるための素子としては、反射型または透過型の回折格子が広く知られている。図 37 は、透過型の回折格子を説明する図である。回折格子 100 は、微細な溝が単位長さ毎に刻まれたガラスプレートであって、波長多重光が入射すると、波長  $\lambda_i$  毎に異なった回折角度  $\theta_i$  で波長分散光 (回折光) が光ビームを出射する機能 (波長分散機能) を有する光学部品である。

【0006】

$\theta_i$  と  $\lambda_i$  の関係は、回折格子 100 への波長多重光の入射角度を  $\alpha$ 、回折格子 100 の格子周期 (溝の間隔) を  $d$ 、回折の次数を  $n$  とすると、

50

$$i = \arcsin[(n \cdot i / d) - \sin a] \cdots (1)$$

と表すことができる。

【0007】

WDM通信で使用される波長は、ITU(International Telecommunication Union: 国際通信連合)で標準化されており、その波長はITUグリッド波長と呼ばれる。また、使用される波長が決まっているため、各チャネル間の波長間隔も決められた値となっている。

【0008】

一方、波長多重光を各波長に分散させる機能を有する光デバイス(WDMデバイス)を使用した光通信システムでは、波長分散後に波長毎にパワーをモニタするモニタ機能や、波長毎に光路を切り替えるスイッチ機能などの光学素子を有することが考えられる。

10

【0009】

このような光通信システムにおいては、ITUグリッドによって、波長多重光の波長間隔は決められているが、波長多重光を分散後に、波長毎に装置内部で所定の処理を行う場合には、1チャネル間隔あたりの角分散が大きい方が望ましいことが多い。

【0010】

なぜなら、1チャネル間隔あたりの角分散が大きいと、回折格子で分散された光信号を受け、上記のような所定の処理を行う各波長毎に配列された光学素子の波長方向配置間隔を広げることができ、実装が容易になるためである。このような光学素子の例としては、波長毎に配列されたMEMS:(Micro Electro Mechanical Systems)ミラーなどがある。

20

【0011】

従来の波長分散技術として、回折格子を2枚使用して、光を2回回折させることで角分散を広げる技術が提案されている(特許文献1参照)。ここで角分散とは、波長差に対する回折格子で回折後の回折光の角度差のことである。また、複数枚の反射面(reflecting plane)で挟まれた回折格子を用いて波長分散を行う技術が提案されている(特許文献2参照)。

【0012】

【特許文献1】特開2006-276487号公報

【特許文献2】米国特許第6278534号明細書

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

角分散をより広げるためには、例えば、式(1)により回折格子の格子周期dを小さくすれば良いが、この格子周期dを小さくするためには主に製造上の理由から限界がある。このため、WDMデバイスに回折格子を使用した場合に、回折格子1枚だけでは所望の波長分散角度を得られない場合がある。

【0014】

このような場合の対策として、上記したように、回折格子を2枚使用して2回回折させることで1枚使用時と比べて2倍の波長分散角度を得る方法も存在するが、回折格子を2枚使用する構成では、回折格子自体が非常に高価な素子であるため、WDMデバイスのコストが増加してしまうという問題があった。

40

【0015】

また、複数の反射面を用いて波長分散を実行する場合には、光が回折格子に回折されて反射面に出射される場合の回折格子上の位置と、反射面から回折格子に入射される場合の回折格子上の位置との幅が広がるので、単数の回折格子を用いたとしても、回折格子の有効口径を広くする必要があり、WDMデバイスのコストが増加してしまう。

【0016】

この発明は、上述した従来技術による問題点を解消するためになされたものであり、低コストでありながら広い光波長分散角度が得られる光デバイスおよび波長選択スイッチを

50

提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0017】

上述した課題を解決し、目的を達成するため、この光デバイスは、第1と第2の面を有する回折格子と、上記回折格子の上記第2面側に第1および第2の反射面を備え、上記回折格子の第1面に入力する光が回折されて上記第2面から回折光が出力され、上記回折光の光路が新たに上記第1および第2反射面を介して上記回折格子の上記第2面に再入力する。

【発明の効果】

【0018】

この光デバイスによれば、小型の回折格子の使用が可能で、かつ、2枚以上の回折格子の使用に相当する光波長分散角度を得ることが出来る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、図面を参照して実施の形態を説明する。但し、以下に説明する実施形態は、あくまでも例示であり、以下に明示しない種々の変形や技術の適用を排除する意図は無い。即ち、本実施形態は、その趣旨に逸脱しない範囲において種々変形して実施することができる。

【実施例1】

【0020】

図1は、光デバイスの構成例を説明(illustrate)する図である。光デバイス10は、回折格子11と光偏向装置12とから構成されて、波長分散機能を有するデバイスである。

【0021】

回折格子11は、波長多重光(WDM光)w1が光ビームとして入射する面を第1の面(面p1)とし、波長多重光w1の1度目の回折で波長分散された光である第1の波長分散光(回折光)s1が出射する面を第2の面(面p2)とし、波長多重光w1を波長単位に分波する透過型の回折格子である。光偏向装置12は、回折格子11の面p2側に配置されて、面p2から光ビームを出射した波長分散光s1の角度を変化させて、面p2へ再度入射させ、その際の入射角度と入射位置を任意に変化させることのできる1つ、または2つ以上の光偏向器を含む光学装置である。

【0022】

ここで、光偏向装置12により第1の波長分散光s1が面p2へ入射されて、回折格子11により再度回折された光である第2の波長分散光s2は、第1の波長分散光s1が第2の面から回折する際の角分散よりも大きな角分散で、面p1から出射する。なお、第1の波長分散光s1は、波長多重光w1が回折格子11を1回透過した後に、回折格子11の第2の面から出射される各波長の回折光のことであり、第2の波長分散光s2は、波長多重光w1が回折格子11を2回透過した後に、最終的に回折格子11の第1の面から出射される各波長の回折光のことである。

【0023】

次に光偏向装置12の構成および配置位置について説明する。なお、光偏向装置12は、具体的には反射ミラーを使用する場合が多く、以降では反射ミラーと呼ぶ。図2は、1枚の反射ミラーを使用した光デバイスの構成を説明(illustrate)する図である。

【0024】

光デバイス10aは、1枚の反射ミラー12aと、回折格子11とから構成される。波長多重光w1は、例えば、互いに異なる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ が多重された光信号であって、回折格子の面p1に入射して、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ 毎に波長分散され、面p2から第1の波長分散光s1として出射される。

【0025】

反射ミラー12aは、これらの第1の波長分散光s1を反射して面p2へ再度入射させ、回折格子11からは、1度目に回折されたときの角分散よりも大きな角分散で各波長

10

20

30

40

50

1 ~ 3の第2の波長分散光 s 2 が面 p 1 から出射される。

【0026】

図3は、1つの波長に注目した光デバイス10aの光路を説明する図である。光デバイス10aでは、回折格子11の面p2から出射する、1度目に回折格子11を透過して波長分散された第1の波長分散光の出射角度(回折角度)と、面p2へ再入射させるときの第1の波長分散光の入射角度とは、回折格子11の第1の面の垂直線を基準として、同じ方向にある。

【0027】

例えば、波長 1 に注目すると、面 p 2 から出射する、波長 1 の第 1 の波長分散光 s 1 a の出射角度(回折角度) 1 a と、面 p 2 へ再入射させるときの波長 1 の第 1 の波長分散光 s 1 b の入射角度 1 b とは、第 1 の面の垂直線を基準として同じ方向に傾いた角度になる。

10

【0028】

また、このような構成の光デバイス10aでは、第2の波長分散光 s 2 a の出射角度(回折角度)方向が、波長多重光 w 1 の入射角度方向と同じ方向になることがわかる。このため、波長多重光の段階で入射される光学素子と波長分散後に入射される光学素子との実装位置が近接している場合には、光デバイス10aを適用することは有効である。

【0029】

ここで、各光路の位置について記すと、第1の面の垂直線を y 軸、前記回折格子溝方向と垂直な方向を x 軸とし、波長多重光 w 1 は、第3象限から面 p 1 へ入射し、第1の波長分散光 s 1 a は、第2象限から反射ミラー 1 2 a へ向けて出射する。

20

【0030】

また、反射ミラー 1 2 a で反射された第1の波長分散光 s 1 b は、第2象限から面 p 2 に入射し、第2の波長分散光 s 2 a は、面 p 1 に対して第3象限から出射する。

なお、x 軸が正、y 軸が正の座標領域が第1象限であり、x 軸が負、y 軸が正の座標領域が第2象限であり、x 軸が負、y 軸が負の座標領域が第3象限であり、x 軸が正、y 軸が負の座標領域が第4象限である。

【0031】

次に反射ミラー 1 2 a の座標象限に関する配置位置における各光路を以下の(a)~(d)に記す。

30

(a) 第1象限に反射ミラー 1 2 a を配置した場合、波長多重光 w 1 の入射光路は、第4象限に位置し、面 p 2 から出射する第1の波長分散光の光路は、第1象限に位置し、反射ミラー 1 2 a で反射され、面 p 2 に再入射する第1の波長分散光は、第1象限に位置し、第2の波長分散光の出射光路は、第4象限に位置する。

【0032】

(b) 第2象限に反射ミラー 1 2 a を配置した場合は、図3で説明したように、波長多重光 w 1 の入射光路は、第3象限に位置し、面 p 2 から出射する第1の波長分散光の光路は、第2象限に位置し、反射ミラー 1 2 a で反射され、面 p 2 に再入射する第1の波長分散光は、第2象限に位置し、第2の波長分散光の出射光路は、第3象限に位置する。

【0033】

(c) 第3象限に反射ミラー 1 2 a を配置した場合、波長多重光 w 1 の入射光路は、第2象限に位置し、面 p 2 から出射する第1の波長分散光の光路は、第3象限に位置し、反射ミラー 1 2 a で反射され、面 p 2 に再入射する第1の波長分散光は、第3象限に位置し、第2の波長分散光の出射光路は、第2象限に位置する。

40

【0034】

(d) 第4象限に反射ミラー 1 2 a を配置した場合、波長多重光 w 1 の入射光路は、第1象限に位置し、面 p 2 から出射する第1の波長分散光の光路は、第4象限に位置し、反射ミラー 1 2 a で反射され、面 p 2 に再入射する第1の波長分散光は、第4象限に位置し、第2の波長分散光の出射光路は、第1象限に位置する。

【0035】

50

図4は、2枚の反射ミラーを使用した光デバイスの構成を説明する図である。光デバイス10は、2枚の反射ミラー12-1、12-2と、回折格子11とから構成される。

【0036】

互いに異なる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ が多重された波長多重光 $w_1$ が、回折格子の面 $p_1$ に入射し、波長多重光 $w_1$ は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ 毎に波長分散され、面 $p_2$ から第1の波長分散光 $s_1$ として出射される。反射ミラー12-1は、面 $p_2$ から出射した第1の波長分散光 $s_1$ を反射ミラー12-2へ向けて反射させ、反射ミラー12-2は、反射ミラー12-1で反射された第1の波長分散光 $s_1$ を回折格子11へ再入射させる。そして、回折格子11からは、1度目に回折されたときの角分散よりも大きな角分散で、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ の第2の波長分散光 $s_2$ が面 $p_1$ から出射される。

10

【0037】

図5は、1つの波長に注目した光デバイス10の光路を説明する図である。光デバイス10では、面 $p_2$ から出射して反射ミラー12-1へ向かう、1度目に回折格子11を透過して波長分散された第1の波長分散光の出射角度(回折角度)は、反射ミラー12-2により面 $p_2$ へ再入射させるときの第1の波長分散光の入射角度と、回折格子11の第1の面への垂直線を基準にして反対側になる。例えば、波長 $\lambda_1$ に注目すると、面 $p_2$ から出射する、波長分散された波長 $\lambda_1$ の第1の波長分散光 $s_{1c}$ の出射角度(回折角度) $\theta_{1c}$ は、垂直線を基準にして、面 $p_2$ へ再入射させるときの波長 $\lambda_1$ の第1の波長分散光 $s_{1d}$ の入射角度 $\theta_{1d}$ と反対側になる。

【0038】

20

また、このような構成の光デバイス10では、第2の波長分散光 $s_{2b}$ の出射角度方向が、波長多重光 $w_1$ の入射角度方向と反対方向になることがわかる。このため、波長多重光の段階で入射される光学素子と波長分散後に入射される光学素子とを十分なスペースを持って実装配置することができる(実際には、図4、図5で説明した光デバイス10の方が、図2、図3で説明した光デバイス10aよりも、実装面や光結合効率の面で有利な点が多いので、以降では2枚の反射ミラーを用いた光デバイス10を中心に説明する)。

【0039】

ここで、各光路の位置について記すと、第1の面の垂直線を $y$ 軸、前記回折格子溝方向と垂直な方向を $x$ 軸とすれば、種々に配置されうる回折格子の形態において、波長多重光 $w_1$ は、第3象限から面 $p_1$ へ入射すると想定する。このような想定において、第1の波長分散光 $s_{1c}$ は、第2象限から反射ミラー12-1へ向けて出射する。また、反射ミラー12-2で反射された第1の波長分散光 $s_{1d}$ は、第1象限から面 $p_2$ に入射し、第2の波長分散光 $s_{2b}$ は、面 $p_1$ に対して第4象限から出射する。

30

【0040】

次に反射ミラー12-1、12-2の座標象限に関する配置位置における各光路を以下の(e)~(h)に記す。

(e) 第1象限に反射ミラー12-1を配置し、第2象限に反射ミラー12-2を配置した場合、波長多重光 $w_1$ の入射光路は、第4象限に位置し、面 $p_2$ から出射し、反射ミラー12-1へ向かう第1の波長分散光の光路は、第1象限に位置し、反射ミラー12-2で反射され、面 $p_2$ に再入射する第1の波長分散光は、第2象限に位置し、第2の波長分散光の出射光路は、第3象限に位置する。

40

【0041】

(f) 第1象限に反射ミラー12-2を配置し、第2象限に反射ミラー12-1を配置した場合は、図5で説明したように、波長多重光 $w_1$ の入射光路は、第3象限に位置し、面 $p_2$ から出射し、反射ミラー12-1へ向かう第1の波長分散光の光路は、第2象限に位置し、反射ミラー12-2で反射され、面 $p_2$ に再入射する第1の波長分散光は、第1象限に位置し、第2の波長分散光の出射光路は、第4象限に位置する。

【0042】

(g) 第3象限に反射ミラー12-1を配置し、第4象限に反射ミラー12-2を配置

50

した場合、波長多重光  $w_1$  の入射光路は、第 2 象限に位置し、面  $p_2$  から出射し、反射ミラー 12 - 1 へ向かう第 1 の波長分散光の光路は、第 3 象限に位置し、反射ミラー 12 - 2 で反射され、面  $p_2$  に再入射する第 1 の波長分散光は、第 4 象限に位置し、第 2 の波長分散光の出射光路は、第 1 象限に位置する。

【0043】

(h) 第 3 象限に反射ミラー 12 - 2 を配置し、第 4 象限に反射ミラー 12 - 1 を配置した場合、波長多重光  $w_1$  の入射光路は、第 1 象限に位置し、面  $p_2$  から出射し、反射ミラー 12 - 1 へ向かう第 1 の波長分散光の光路は、第 4 象限に位置し、反射ミラー 12 - 2 で反射され、面  $p_2$  に再入射する第 1 の波長分散光は、第 3 象限に位置し、第 2 の波長分散光の出射光路は、第 2 象限に位置する。

10

【0044】

以上説明したように、光デバイス 10 では、1 つの回折格子 11 と、2 枚の反射ミラー 12 - 1、12 - 2 とを有し、反射ミラー 12 - 1、12 - 2 により第 1 の波長分散光  $s_1$  を 2 回反射させて、回折格子 11 に再入射し、最終的に回折される回折光の角分散を回折格子を 1 枚で構成することにより 1 回のみ回折する場合の回折光の角分散と比べて拡大する構成とした。これにより、格段に安価な反射ミラー 12 - 1、12 - 2 を使用して、角分散を拡大することができるので、コストの低減化を図ることが可能になる（例えば、従来技術（特開 2006 - 276487 号公報）など）と比べて大幅にコストを削減できる）。

【0045】

一方、式 (1) において、ある波長  $i$  のときに  $i = a$  となるとき（回折格子への入射角と回折角が等しいとき）の条件をブラッグ条件と呼び、一般的に回折格子ではこの条件のときに回折効率（回折格子の入射光パワーと所定の次数の回折光パワーの比率）が最大となる（光ロスが最も少ない）。

20

【0046】

ここで、光デバイス 10 a のような構成を用いた波長分散処理では、回折格子の周辺に他の光学素子（回折格子への光入射側に配置される光学素子や、回折格子から出射された光を処理（モニタ、スイッチング等）する光学素子）を配置する場合、回折格子に対する入射角度と回折光の回折角度とのずれ（入射角度と回折角度との角度差）を大きくすれば、これら入射側の光学素子および出射側の光学素子を、ある程度の間隔スペースを持って配置することもできるが、この場合は、回折効率が低下してしまう。

30

【0047】

これに対し、光デバイス 10 の構成では、回折格子 11 への波長多重光  $w_1$  の入射角度と第 2 の波長分散光  $s_2$  の出射角度とは、自ずと第 1 の面に対して垂直な線を基準として反対方向になるので、他の光学素子を配置しやすいといった利点を有しており（波長多重光  $w_1$  の入力処理に関する光学素子と、回折格子 11 から出射された回折光信号の出力処理に関する光学素子との実装間隔を十分空けることができるということ）、回折効率を何ら犠牲にすることなく、光学素子を十分なスペースを持って容易に実装配置することが可能になる。

【0048】

さらに、光デバイス 10 の構成によれば、波長多重光  $w_1$  と第 2 の波長分散光  $s_2$  がともに回折格子 11 の同じ面側（面  $p_1$  側）にあるために、回折格子 11 と反射ミラー 12 - 1、12 - 2 を、これらビームによる干渉を問題とせずに配置できるため、サイズも最小限の大きさにすることができる。

40

【0049】

さらにまた、光デバイス 10 では、回折格子 11 の片面側だけに反射ミラー 12 - 1、12 - 2 を備える構成とし、2 枚の反射ミラーの角度を調整することにより、回折格子 11 の回折面の任意の位置に任意の角度で波長分散光を入射できるため、回折面上での波長分散光の位置を波長多重光の位置とほぼ一致させることも可能であり、回折格子の両面に反射面 (reflecting plane) を備えた従来技術（米国特許第 6278534 号明細書）など

50

と比べて、有効口径が広がることはなく、回折格子の有効口径を小さくすることが可能になる。

【0050】

なお、上記の説明では、波長を分散させる方向のビーム径路について説明したが、光デバイス10は、逆経路の方向にビームが進むことにより、波長多重方向の機能も有するものである。

【0051】

図6は、波長多重を行う場合の光デバイス10の光路を説明する図である。図6は図4に説明した光デバイス10の光路の向きを示す矢印を、逆向きにしただけの図である。

【0052】

回折格子11の面p1は、互いに異なる波長の複数の光が1度目に入射する面であり、面p2は、1度目に回折された回折光が出射する面となる。反射ミラー12-1、12-2は、前記回折光の光偏向を行って面p2へ再入射させる。反射ミラー12-1、12-2により前記回折光が面p2へ再入射されると、回折格子11の面p1から、波長多重された1つの波長多重光w1が出射する。

【0053】

ここで、光路について記すと、波長1~3の各光信号が、回折格子11の面p1に入射して、回折格子11により回折され、面p2から出射した波長1~3の各回折光は、反射ミラー12-2へ進行する。

【0054】

反射ミラー12-2は、波長1~3の前記各回折光を反射し、反射ミラー12-1は、反射ミラー12-2で反射された前記各回折光を回折格子11の面p2に入射させることにより、回折格子11の面p1から波長1~3が多重された波長多重光w1が出射することになる。

【0055】

次に光デバイス10の変形例について説明する。反射ミラー12-1、12-2の代わりにプリズムや凹面鏡を用いて、上記の光デバイス10と同じ機能を実現することもできる。

【0056】

図7は、プリズムを用いた光デバイスの構成を説明する図である。光デバイス10bは、プリズム12bと、回折格子11とから構成される。光デバイス10bは、反射ミラー12-1、12-2の代わりにプリズム12bを使用したものであり、機能に関しては光デバイス10と同じである。

【0057】

波長多重光w1は、回折格子11により波長単位に分波されて、面p2から第1の波長分散光s1が出射する。プリズム12bの第1の反射面(反射面12b-1)は、面p2から出射した第1の波長分散光s1を、プリズム12b内において第2の反射面(反射面12b-2)へ向けて反射させる。また、反射面12b-2は、反射面12b-1で反射された第1の波長分散光s1を回折格子11へ再入射させる。そして、回折格子11からは、1度目に回折されたときの角分散よりも大きい角分散を持ち、波長1~3毎に波長分散された第2の波長分散光s2が面p1から出射される。

【0058】

図8は、凹面鏡を用いた光デバイスの構成を説明する図である。光デバイス10cは、凹面鏡12cと、回折格子11とから構成される。光デバイス10cは、反射ミラー12-1、12-2の代わりに凹面鏡12cを使用したものであり、機能に関しては光デバイス10と同じである。

【0059】

波長多重光w1は、回折格子11により波長単位に分波されて、面p2から第1の波長分散光s1が出射する。凹面鏡12cの第1の反射面(反射面12c-1)は、面p2から出射した第1の波長分散光s1を第2の反射面(反射面12c-2)へ向けて反射させ

10

20

30

40

50

、反射面 12c - 2 は、反射面 12c - 1 で反射された第 1 の波長分散光  $s_1$  を回折格子 11 へ再入射させる。そして、回折格子 11 からは、1 度目に回折されたときの角分散よりも大きい角分散を持ち、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  毎に波長分散された第 2 の波長分散光  $s_2$  が面  $p_1$  から出射される。

【0060】

次に第 2 の波長分散光（以下、回折光信号）と非回折光（0 次光）とによって生じるクロストークの現象について説明する。なお、0（ゼロ）次光とは、透過型回折格子に光が入射した際に、入射光の入射角度と、出射光の出射角度とが同じで回折しない光のことをいう（すなわち、透過型回折格子をそのまま透過する光のことである。なお、反射型回折格子の場合には、正反射方向に進行する光のことをいう）。

10

【0061】

図 9 は、0 次光の光路を説明する図である。光デバイス 10 における 0 次光の光路を示している。波長多重光  $w_1$  は、回折格子 11 の面  $p_1$  に入射する（矢印  $a_1$ ）。波長多重光  $w_1$  の 0 次光は、回折格子 11 をそのまま透過して（矢印  $a_1$  がなす入射角度  $\theta_0$  と同じ出射角度  $\theta_0$  で進行して）、面  $p_2$  から出射する（矢印  $a_2$ ）。

【0062】

反射ミラー 12 - 2 は、面  $p_2$  から出射された 0 次光を反射ミラー 12 - 1 へ向けて反射し（矢印  $a_3$ ）、反射ミラー 12 - 1 は、面  $p_2$  から回折格子 11 に再度入射する（矢印  $a_4$ ）。そして、このときの 0 次光は、入射角度（矢印  $a_4$  がなす入射角度  $\theta_c$ ）と同じ出射角度  $\theta_c$  で直進して、面  $p_1$  から出射する（矢印  $a_5$ ）。

20

【0063】

図 10 は、クロストークが発生する様子を説明する図である。波長  $\lambda_1$  に対して、クロストークが生じる様子を示している。光デバイス 10 において、図 4 で上述したような光線の流れで波長多重光  $w_1$  が波長分散されるとする（わかりやすいように波長  $\lambda_1$  と 0 次光の光路のみ示した）。

【0064】

ここで、波長  $\lambda_1$  の光信号に対して、1 度目の回折においてブラッグ条件が成り立つ（波長多重光  $w_1$  の面  $p_1$  への入射角度  $\theta_0$  と、1 度目の回折で面  $p_2$  から出射する波長  $\lambda_1$  の回折光の出射角度  $\theta_1$  とが等しくなる（ $\theta_0 = \theta_1$ ））。さらに、2 度目の回折においてもブラッグ条件が成り立つ（反射ミラー 12 - 2 で反射されて面  $p_2$  へ入射する前記回折光の入射角度  $\theta_{1e}$  と、面  $p_1$  から出射する最終的な波長  $\lambda_1$  の回折光信号の出射角度  $\theta_2$  とが等しい（ $\theta_{1e} = \theta_2$ ））場合には、波長  $\lambda_1$  の回折光信号の出射角度は、0 次光の出射角度と同じになる（双方とも出射角度は  $\theta_2$ ）。

30

【0065】

すなわち、上記の 2 つのブラッグ条件が成り立つ場合には、最初の回折格子 11 への入射角度  $\theta_0$  と、反射ミラー 12 - 2 から 2 度目に回折格子 11 へ入射させる入射角度  $\theta_{1e}$  とが等しくなるので（結局、2 つのブラッグ条件が成り立てば、 $\theta_0 = \theta_1 = \theta_{1e} = \theta_2$  となる）、波長  $\lambda_1$  の最終的な回折光である回折光信号の出射角度は、0 次光の出射角度と同じになる。

【0066】

このように、ある使用波長と 0 次光の出射角度が一致すると、0 次光はすべての波長成分を持っているために、クロストークが生じてしまい（この例では波長  $\lambda_1$  の光信号にクロストークが発生する）、通信品質の劣化が生じてしまう。

40

【0067】

次にクロストークを抑制するための光デバイス 10 の特徴について説明する。図 11 は、0 次光の光路を説明する図である。光デバイス 10 における 0 次光の光路を示している。回折格子 11 の面  $p_1$  に 1 度目に波長多重光  $w_1$  が入射するときの入射角度を  $\theta_{in}$ 、面  $p_2$  から反射ミラー 12 - 2 へ出射する 0 次光の角度を  $\theta_2(0)$ 、反射ミラー 12 - 1 から面  $p_2$  に入射する 0 次光の角度を  $\theta_1(0)$ 、面  $p_1$  からの最終的な 0 次光の出射角度を  $\theta_{out}(0)$  とし、 $A$  を以下の式 (2) のように  $\theta_1(0)$  と  $\theta_2(0)$  との角度の

50

差と定義する。

【0068】

$$A = \theta_1(0) - \theta_2(0) \cdots (2)$$

また、 $\theta_{in}$ に対する $\theta_{out}(0)$ の関係は、以下の式(3)となる。

$$\theta_{out}(0) = \theta_{in} + A \cdots (3)$$

図12は、ある波長 $\lambda$ による回折光の光路を説明する図である。回折格子11の面p1に1度目に波長多重光 $w_1$ が入射するときの入射角度を $\theta_{in}$ 、面p2から反射ミラー12-1へ出射する $\lambda$ 光の出射角度を $\theta_1(\lambda)$ 、反射ミラー12-2から面p2に入射する $\lambda$ 光の入射角度を $\theta_2(\lambda)$ 、面p1からの最終的な $\lambda$ 光の出射角度を $\theta_{out}(\lambda)$ とする。

10

【0069】

ここで、回折格子11の面p2から反射ミラー12-1への $\lambda$ 光の出射角度 $\theta_1(\lambda)$ は、以下の式(4)で表せる。なお、 $d$ は回折格子11の格子周期、 $n$ は回折の次数である。

【0070】

$$\theta_1(\lambda) = \arcsin[(n \cdot \lambda / d) - \sin(\theta_{in})] \cdots (4)$$

また、反射ミラー12-2から回折格子11の面p2に入射する $\lambda$ 光の入射角度 $\theta_2(\lambda)$ は、以下の式(5)で表せる。

【0071】

$$\theta_2(\lambda) = \theta_1(\lambda) - A \cdots (5)$$

20

一方、回折格子11の面p1からの最終的な $\lambda$ の回折光信号の出射角度 $\theta_{out}(\lambda)$ は、以下の式(6)となる。

【0072】

$$\theta_{out}(\lambda) = \arcsin[(n \cdot \lambda / d) - \sin(\theta_2(\lambda))] \cdots (6)$$

ここで、光デバイス10での使用波長の最短波長を $a$ 、最長波長を $b$ とすると、最短波長 $a$ の回折光信号の出射角度 $\theta_{out}(a)$ と、最長波長 $b$ の回折光信号の出射角度 $\theta_{out}(b)$ に対して、 $\theta_{out}(a) \sim \theta_{out}(b)$ の範囲内に、0次光の出射角度 $\theta_{out}(0)$ が存在しないならば、クロストークの発生を抑制できる。

【0073】

すなわち、以下の式(7a)、(7b)のどちらかの関係が成り立てばよい(不等号の右辺は、式(3)から $\theta_{out}(0)$ である)。

30

$$\theta_{out}(a) > \theta_{in} + A \cdots (7a)$$

$$\theta_{out}(b) < \theta_{in} + A \cdots (7b)$$

図13は、0次光の出射角度が最短波長 $a$ の回折光信号の出射角度よりも小さい場合の様子を説明する図である。式(7a)が満たされるとき光路を示したものである。0次光の出射角度 $\theta_{out}(0)$ が最短波長 $a$ の回折光信号の出射角度 $\theta_{out}(a)$ よりも小さいので、互いの光路は一致せずクロストークは発生しない。

【0074】

図14は、0次光の出射角度が最長波長 $b$ の回折光信号の出射角度よりも大きい場合の様子を説明する図である。式(7b)が満たされるとき光路を示したものである。0次光の出射角度 $\theta_{out}(0)$ が最長波長 $b$ の回折光信号の出射角度 $\theta_{out}(b)$ よりも大きいので、互いの光路は一致せずクロストークは発生しない。

40

【0075】

ここで、式(7a)の左辺の $\theta_{out}(a)$ は、式(6)の $\lambda$ を $a$ にして、

$$\theta_{out}(a) = \arcsin[(n \cdot a / d) - \sin(\theta_2(a))] \cdots (6a)$$

となり、式(6a)の $\theta_2(a)$ は、式(5)から、

$$\theta_2(a) = \theta_1(a) - A \cdots (5a)$$

であるので、式(5a)を式(6a)に代入すれば、

$$\theta_{out}(a) = \arcsin[(n \cdot a / d) - \sin(\theta_1(a) - A)] \cdots (8)$$

となる。また、式(8)中の $\theta_1(a)$ は、式(4)から求まる。

50

## 【0076】

したがって、最短波長  $a$  の回折光信号の出射角度  $\theta_{out}(a)$  は、格子周期  $d$ 、回折次数  $n$ 、波長  $a$ 、0次光における面  $p_2$  からの出射角度と面  $p_2$  への入射角度との角度差  $A$ 、波長多重光  $w_1$  の入射角度  $\theta_{in}$  の各パラメータ値が決まれば、上記の計算式から算出できる。なお、式(7b)の左辺  $\theta_{out}(b)$  についても、単に  $x$  を最長波長  $b$  とすれば同様に算出できる。

## 【0077】

次に波長選択スイッチ(以下、WSS)について説明する。図15、図16は一般的なWSSの構成を説明する図である。図15は、WSSを波長分散方向と光軸方向を含む平面(上面)から見た図であり、図16は、WSSをポート配列方向と光軸方向を含む平面(側面)から見た図である。

10

## 【0078】

WSS5は、分光素子51、集光レンズ52および波長分散方向に配列された複数のMEMSミラー53、光をコリメートするマイクロレンズ54、入力ポートPin、出力ポートPoutから構成される(なお、マイクロレンズ54などのポート周辺の光学素子は入出力光学系とも呼ばれる)。

## 【0079】

入力ポートPinから入力した複数波長が多重された波長多重光は、分光素子51で分光され、集光レンズ52によってそれぞれ波長毎に対応したMEMSミラー53に集光される。

20

## 【0080】

そして、MEMSミラー53の傾き(角度)を変えることにより、反射光は任意の出力ポートPoutから出力される。なお、分光素子51には、一般的に回折格子が用いられ(以下、回折格子51とする)、この回折格子51は一般的に偏光依存損失を有する素子であるが、例えばMEMSミラーの前にλ/4板を設置するとこの偏光依存損失を低減することができる。

## 【0081】

また、MEMSミラー53は、回折格子51により分離された1波長に対して、1ミラーが配置され、傾斜角度が可変な構成となっており、傾斜角度に応じて各波長成分の出力ポートPoutが定まる。

30

## 【0082】

ここで、図15において、集光レンズ52へのビーム波長分散方向の入射角度を  $\theta$ 、集光レンズ52の焦点距離を  $F$  とし、集光レンズ52の収差を無視すると、MEMSミラー53上でのビームの波長分散方向位置  $X$  は、以下の式(9)で表せる。

## 【0083】

$$X = F \times \tan \theta \quad \dots (9)$$

次に光デバイス10を適用したWSSについて説明する。図17、図18は光デバイス10を適用したWSSの構成を説明する図である。なお、図17はWSSを波長分散方向と光軸方向を含む平面から見た図であり、図18はWSSをポート配列方向と光軸方向を含む平面から見た図である(図18は回折格子透過後の波長  $\lambda_1$  のみ示している)。

40

## 【0084】

WSS1は、1つの入力ポートPin、複数の出力ポートPout、光デバイス10、集光レンズ13、可動反射部14、光をコリメートするマイクロレンズ15から構成される。集光レンズ13は、光デバイス10によって出射された回折光信号(回折格子11の面  $p_1$  から出射される最終的な回折光)を波長毎に可動反射部14のミラーに集光する。

## 【0085】

可動反射部14は、分散された波長毎に配列されたミラーを含み、ミラーの角度を変えて、回折光信号の任意の波長を、任意の出力ポートPoutから出力する(以下、可動反射部14をMEMSミラー14と呼ぶ)。

## 【0086】

50

WSS1は、図15、図16で上述した一般的なWSS5の分光素子51を光デバイス10に置き換えたものである（光デバイス10の構成は上述したので詳細な説明は省略する）。なお、図17、図18は、1つの入力ポートに対して複数の出力ポートを持った構成の図であるが、複数の入力ポートに対して1つの出力ポートなどという構成とすることも可能である。この構成では、MEMSミラー14の角度を変えることにより、複数の入力ポートのうち任意の1つの入力ポートからの光のみ出力ポートに出力する機能となる。

【0087】

次にWSSで発生するクロストークについて説明する。図19、図20はWSS5にクロストークが生じる様子を説明する図である。図19は、WSSを波長分散方向と光軸方向を含む平面から見た図であり、図20は、WSSをポート配列方向と光軸方向を含む平面から見た図である。

10

【0088】

回折格子51からの0次光の出射角度と波長 $\lambda$ の回折角度が一致しているとする。このとき、式(9)において0次光と波長 $\lambda$ との $\theta$ が共に同じになるので、MEMSミラー53上でのビームの波長分散方向位置 $X$ も同じになる。

【0089】

したがって、0次光と波長 $\lambda$ のそれぞれのビームは、MEMSミラー53上の同じ波長分散方向位置に集光する（すなわち、同一MEMSミラーに集光する）。このため、図20からわかるように、0次光は波長 $\lambda$ と同じ出力ポート $P_{out}$ へと出力されることになり、クロストークが発生してしまう。

20

【0090】

次にクロストークを抑制するためのWSS1の特徴について説明する。光デバイス10単体で見た場合、式(7a)、(7b)の関係が満たされるような構成にすればクロストークは防止できる。

【0091】

しかし、光デバイス10をWSSに適用する場合には、後段にはMEMSミラーが配置されるので、0次光がこのMEMSミラーから外れていないと、図19、図20で説明したようなクロストークが生じてしまうことになる。このため、光デバイス10を適用したWSS1においても、0次光の進行光路がMEMSミラーから外れている必要がある。

【0092】

図21は、0次光の光路がMEMSミラー14から外れている様子を説明する図である。MEMSミラー14の左側が短波長側、右側が長波長側である。完全に0次光によるクロストークを防止するには、図21に説明するように、0次光のビーム径が短波長のMEMSミラー14aから外れるか、もしくは、長波長のMEMSミラー14bから外れている必要がある。

30

【0093】

すなわち、短波長のMEMSミラー14aのミラー幅を $T_a$ 、長波長のMEMSミラー14bのミラー幅を $T_b$ 、短波長側の0次光のガウスビーム径を $W_a$ 、長波長側の0次光のガウスビーム径を $W_b$ とすれば、一般的にガウスビームではその径の2倍の範囲外ではほとんどパワーが存在しないため、式(7a)、(7b)、(9)から、以下の式(10a)、(10b)のどちらかが成り立てばよい。

40

【0094】

$$F \times \tan(\theta_{out(a)} - \theta_{in} - A) > W_a + T_a / 2 \cdots (10a)$$

$$F \times \tan(\theta_{in} + A - \theta_{out(b)}) > W_b + T_b / 2 \cdots (10b)$$

上記どちらかの条件を満たすときに、MEMSミラー14から0次光ビームが完全に外れるので、クロストークを防止することが可能になる。

【0095】

図22は、遮光マスクを有するWSSを説明する図である。WSS1aは、0次光の光路に遮光マスク16を配置したもので、その他の構成は同じである。式(10a)、(10b)を満たすような構成にすれば、MEMSミラー14に0次光が入射されなくなるが

50

、MEMSミラー14の近辺にはMEMSミラー14を駆動させるための配線基板や、MEMSミラー14を収納するためのパッケージなどが存在する。

【0096】

このため、これらの部分に0次光が入射し、散乱などの影響でクロストークが生じる可能性もあるので、WSS1aでは、0次光の光路中に遮光マスク16を設置し、遮光マスク16で0次光を吸収して、より安全にクロストークを防止するものである。

【0097】

なお、前述までのクロストークについての議論は、1つの次数の回折光、ここでは最も一般的に回折効率の高い1次光と0次光との関係のみに着目したものであったが、回折格子では2次以降の高次の回折光も存在する。

【0098】

しかし、光通信分野で使用される光は波長が長く、また光デバイス10では、前述した通りに回折格子11の格子周期dが小さいほど望ましいために、式(1)より高次の回折光で回折角が大きくなり、回折格子11内部の裏面上で全反射を起こし、ほとんど透過しなくなる。このため実質的に、クロストーク要因としては0次光の影響のみを考慮すればよい。

【0099】

以上説明したように、光デバイス10およびWSS1の構成によれば、低コストで効率よく角分散を拡大し、かつクロストークの抑制を防止した高品質の波長分散または波長スイッチングを行うことが可能になる。

【0100】

なお、本明細書では透過型の回折格子により最初に回折された波長分散光を同じ回折格子へ再入射させるときの入射角度と位置を任意に変化させることができるように構成されたもの、および/または、2つ以上の光偏向部を含んで構成されたものを光偏向装置と呼ぶことがある。

【実施例2】

【0101】

次に、本実施例2にかかる光スイッチの構成について説明する。図23は、本実施例2にかかる光スイッチの構成を示す図である。図23に示すように、この光デバイス20は、回折格子21と、光偏向装置22a、22b、22cとを備え、波長分散機能を有するデバイスである。

【0102】

回折格子21は、波長多重光(WDM光)w1が光ビームとして入射する面を第1の面(面p1)とし、波長多重光w1の1度目の回折で波長分散された光である第1の波長分散光(回折光)s1が出射する面を第2の面(面p2)とし、波長多重光w1を波長単位に分波する透過型の回折格子である。

【0103】

光偏向装置22aは、回折格子21の面p2側に配置されて、面p2から出射した波長分散光s1の角度を変化させて、波長分散光s1を光偏向装置22bに出射する光学装置である(例えば、反射ミラー)。また、光偏向装置22aは、光偏向装置22bによって反射された波長分散光s3の角度を変化させて、波長分散光s3を回折格子21の面p2に入射する。

【0104】

光偏向装置22bは、回折格子21の面p2側に配置されて、光偏向装置22aによって反射された波長分散光s1の角度を変化させて、波長分散光s1を回折格子21の面p2に入射する光学装置である(例えば、反射ミラー)。また、光偏向装置22bは、面p2から出射した波長分散光s3の角度を変化させて、波長分散光s3を光偏向装置22aに出射する。

【0105】

光偏向装置22cは、回折格子21の面p1側に配置されて、面p1から出射した波長

10

20

30

40

50

分散光  $s_2$  の角度を変化させて、波長分散光  $s_2$  を回折格子 21 の面  $p_1$  に入射する光学装置（例えば、反射ミラー）である。

【0106】

上記の説明において、波長分散光  $s_1$  は、波長多重光  $w_1$  が回折格子 21 を 1 回透過した後に、回折格子の面  $p_2$  から出射される各波長の回折光である。また、波長分散光  $s_2$  は、波長多重光  $w_1$  が回折格子 21 を 2 回透過した後に回折格子の面  $p_1$  から出射される各波長の回折光である。また、波長分散光  $s_3$  は、波長多重光  $w_1$  が回折格子 21 を 3 回透過した後に回折格子の面  $p_2$  から出射される各波長の回折光である。また、波長分散光  $s_4$  は、波長多重光  $w_1$  が回折格子 21 を 4 回透過した後に、回折格子の面  $p_1$  から出射される各波長の回折光である。

10

【0107】

ここで、光偏向装置 22a、22b により波長分散光  $s_1$  が面  $p_2$  に入射され、光偏向装置 22c により波長分散光  $s_2$  が面  $p_1$  に入射され、光偏向装置 22a、22b により波長分散光  $s_3$  が面  $p_2$  に入射されることで、波長分散光  $s_1$  が面  $p_2$  から回折する際の角分散よりも大きな角分散で面  $p_1$  から波長分散光が出射する。具体的には、波長分散光  $s_4$  が面  $p_1$  から回折する際の角分散は、波長分散光  $s_1$  が面  $p_2$  から回折する際の角分散の 4 倍となる。

【0108】

次に、波長多重光が入力された場合の光デバイス 20 の光路について説明する。図 24 は、1 つの波長に着目した光デバイス 20 の光路を説明する図である。まず、波長多重光  $w_1$  が、回折格子 21 の面  $p_1$  に入射する（図 24 の（1）参照）。波長多重光  $w_1$  は、回折格子 21 で回折し、波長分散光  $s_1$  として面  $p_2$  から出射する（図 24 の（2）参照）。

20

【0109】

波長分散光  $s_1$  は、光偏向装置 22a、22b で反射して、回折格子 21 の面  $p_2$  に 2 度目の入射をする（図 24 の（3）、（4）参照）。波長分散光  $s_1$  が面  $p_2$  に入射する際の入射角度は、回折格子の面  $p_1$  の垂直線を基準にして、波長分散光  $s_1$  が、面  $p_2$  から回折する角度に対して反対方向となる。

【0110】

波長分散光  $s_1$  は、回折格子 21 で回折し、波長分散光  $s_2$  として面  $p_1$  から出射する（図 24 の（5）参照）。波長分散光  $s_2$  は、光偏向装置 22c で反射して、回折格子 21 の面  $p_1$  に 3 度目の入射をする（図 24 の（6）参照）。波長分散光  $s_2$  は、回折格子 21 で回折し、波長分散光  $s_3$  として面  $p_2$  から出射する（図 24 の（7）参照）。

30

【0111】

波長分散光  $s_3$  は、光偏向装置 22b、22a で反射して、回折格子 21 の面  $p_2$  に 4 度目の入射をする（図 24 の（8）、（9））。波長分散光  $s_3$  が面  $p_2$  に入射する際の入射角度は、回折格子の面  $p_1$  の垂直線を基準にして、波長分散光  $s_2$  が面  $p_2$  に入射する角度に対して反対方向となる。

【0112】

波長分散光  $s_3$  は、回折格子 21 で回折し、波長分散光  $s_4$  として面  $p_1$  から出射する（図 24 の（10）参照）。この波長分散光  $s_4$  が光デバイス 20 から出射される最終的な出力光となり、この際の出射角度は、回折格子の面  $p_1$  の垂直線を基準として、波長多重光  $w_1$  の入射角度と同方向となる。

40

【0113】

次に、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  に着目した光デバイス 20 の光路について説明する。図 25 は、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  に着目した光デバイスの光路を説明する図である。

【0114】

図 25 に示すように、互いに異なる波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  が多重された波長多重光  $w_1$  が、回折格子 21 の面  $p_1$  に入射し、波長多重光  $w_1$  は、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  毎に波長分散され、面  $p_2$  から波長分散光  $s_1$  として出射される。光偏向装置 22a は、面  $p_2$  から出射した波

50

長分散光  $s_1$  を光偏向装置 22b に向けて反射させ、光偏向装置 22b は、波長分散光  $s_1$  を回折格子 21 の面  $p_2$  に入射させる。

【0115】

回折格子 21 の面  $p_2$  に入射した波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  の光（波長分散光  $s_1$ ）は、波長分散光  $s_2$  として面  $p_1$  から出射される。光偏向装置 22c は、面  $p_1$  から出射した波長分散光  $s_2$  を回折格子 21 に向けて反射させ、波長分散光  $s_2$  を回折格子 21 の面  $p_1$  に入射させる。

【0116】

回折格子 21 の面  $p_1$  に入射した波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  の光（波長分散光  $s_2$ ）は、波長分散光  $s_3$  として面  $p_2$  から出射される。光偏向装置 22b は、面  $p_2$  から出射した波長分散光  $s_3$  を光偏向装置 22a に向けて反射させ、光偏向装置 22a は、波長分散光  $s_3$  を回折格子 21 の面  $p_2$  に入射させる。そして、回折格子 21 の面  $p_2$  に入射した波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  の光（波長分散光  $s_3$ ）は、波長分散光  $s_4$  として面  $p_1$  から出射される。

【0117】

このように、光デバイス 20 は、波長多重光  $w_1$  が出力される方向に向けて、波長分散光  $s_4$  を出射することができるので、波長多重光  $w_1$  を回折格子 21 に入射する光学素子と、波長分散光  $s_4$  を受光する光学素子を同方向に配置することができ、光デバイス 20 を格納する装置（例えば、WSS）のサイズを縮小することが出来る。

【0118】

なお、図 24、図 25 に示した光デバイス 20 の構成では、入力光である波長多重光  $w_1$  と、出力光である波長分散光  $s_4$  とが、回折格子 21 に対して同じ面側で同じ角度方向であるため、波長多重光  $w_1$  と波長分散光  $s_4$  とが重なってしまうと、波長分散光  $s_4$ （出力光）の取り扱いが困難になる。図 26 は、波長多重光  $w_1$  と波長分散光  $s_4$  とが重なった場合を示す図である。図 26 において、例えば、波長分散光  $s_4$  には、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  の光が含まれているものとする。

【0119】

図 26 に示した問題点を解決するためには、波長多重光  $w_1$  の最短波長を  $a$ 、最長波長を  $b$ 、波長多重光  $w_1$  が回折格子 21 の面  $p_1$  に入射するときの入射角度を  $in$ 、 $a$  による波長分散光  $s_4$  の回折角度を  $out(a)$ 、 $b$  による波長分散光  $s_4$  の回折角度を  $out(b)$  とした場合に、

$$out(a) > in \cdots (11a)$$

もしくは、

$$out(b) < in \cdots (11b)$$

の関係を満たせばよい。

【0120】

図 27 は、最短波長  $a$  の出射角度が波長多重光  $w_1$  の入射角度よりも大きい場合の様子を説明する図である。図 27 に示すように、最短波長  $a$  の出射角度  $out(a)$  が波長多重光  $w_1$  の入射角度  $in$  よりも大きい場合には、最短波長  $a$  から最長波長  $b$  までの光が全て、波長多重光  $w_1$  の光路と一致しない。

【0121】

図 28 は、最長波長  $b$  の出射角度が波長多重光  $w_1$  の入射角度よりも小さい場合の様子を説明する図である。図 28 に示すように、最長波長  $b$  の出射角度  $out(b)$  が波長多重光  $w_1$  の入射角度  $in$  よりも小さい場合には、最短波長  $a$  から最長波長  $b$  までの光が全て、波長多重光  $w_1$  の光路と一致しない。

【0122】

図 27、図 28 に示したように、式 (11a) または式 (11b) の条件を満たすことで、波長  $a \sim b$  の光路と波長多重光  $w_1$  の光路とをずらすことができ、例えば、波長  $a \sim b$  の光を受光する光学素子と、波長多重光  $w_1$  を出力する光学素子との配置を容易にすることが出来る。また、波長  $a \sim b$  の光路と波長多重光  $w_1$  の光路とが一致しないのでクロストークの発生を防止することが出来る。

10

20

30

40

50

## 【0123】

上述した式(11a)または式(11b)の条件を満たすためには、光偏向装置と回折格子との角度関係を以下のように設定すればよい。図29および図30は、式(11a)または式(11b)の条件を満たすための、光偏向装置と回折格子との角度関係を説明するための図である。

## 【0124】

まず、式(11a)の場合について説明する。図29に示すように、波長分散光s1の回折角度を $\theta_1(a)$ とすると、式(1)より

$$\theta_1(a) = \arcsin[(n \cdot a/d) - \sin(\theta_{in})] \cdots (12a)$$

となる。

10

## 【0125】

光偏向装置22a, 22bによりこの波長分散光s1は、 $\theta_2(a)$ の角度で回折格子21に再び入射する。このときの光偏向装置22a, 22bにより与えられる角度差をAとすると、 $\theta_2(a)$ は、

$$\theta_2(a) = \theta_1(a) + A \cdots (13a)$$

となる。

## 【0126】

波長分散光s2の回折角度 $\theta_3(a)$ は、この $\theta_2(a)$ により

$$\theta_3(a) = \arcsin[(n \cdot a/d) - \sin(\theta_2(a))] \cdots (14a)$$

となる。

20

## 【0127】

光偏向装置22cにより波長分散光s2は、 $\theta_4(a)$ の角度で回折格子21に3度目の入射をする。このときの光偏向装置22cにより与えられる角度差をBとすると、 $\theta_4(a)$ は、

$$\theta_4(a) = \theta_3(a) + B \cdots (15a)$$

となる。

## 【0128】

波長分散光s3の回折角度 $\theta_5(a)$ は、この $\theta_4(a)$ により

$$\theta_5(a) = \arcsin[(n \cdot a/d) - \sin(\theta_4(a))] \cdots (16a)$$

となる。

30

## 【0129】

光偏向装置22a, 22bにより波長分散光s3は、 $\theta_6(a)$ の角度で回折格子21に4度目の入射をする。このとき光偏向装置22a, 22bにより与えられる角度差はAであるから、 $\theta_6(a)$ は、

$$\theta_6(a) = \theta_5(a) - A \cdots (17a)$$

となる。

## 【0130】

波長分散光s4、つまり最終的な出力光の回折角度 $\theta_{out}$ は、この $\theta_6(a)$ により

$$\theta_{out}(a) = \arcsin[(n \cdot a/d) - \sin(\theta_6(a))] \cdots (18a)$$

となる。式(12a)~式(17a)により、 $\theta_{out}(a)$ は、回折格子のパラメータ以外では、光偏向装置22a~22cによって与えられる角度A, Bの関数であることがわかる。このためA, B、つまり回折格子21と光偏向装置22a~22cの角度関係の設定により、式(11a)を満足することが可能となる。

40

## 【0131】

次に、式(11b)の場合について説明する。図30に示すように、波長分散光s1の回折角度を $\theta_1(b)$ とすると、式(1)より

$$\theta_1(b) = \arcsin[(n \cdot b/d) - \sin(\theta_{in})] \cdots (12b)$$

となる。

## 【0132】

光偏向装置22a, 22bによりこの波長分散光s1は、 $\theta_2(b)$ の角度で回折格

50

子 2 1 に再び入射する。このときの光偏向装置 2 2 a、2 2 b により与えられる角度差を A とすると、 $\theta_2(b)$  は、

$$\theta_2(b) = \theta_1(b) + A \cdots (13b)$$

となる。

【0133】

波長分散光  $s_2$  の回折角度  $\theta_3(b)$  は、この  $\theta_2(b)$  により

$$\theta_3(b) = \arcsin[(n \cdot b/d) - \sin(\theta_2(b))] \cdots (14b)$$

となる。

【0134】

光偏向装置 2 2 c により波長分散光  $s_2$  は、 $\theta_4(b)$  の角度で回折格子 2 1 に 3 度目の入射をする。このときの光偏向装置 2 2 c により与えられる角度差を B とすると、 $\theta_4(b)$  は、

$$\theta_4(b) = \theta_3(b) + B \cdots (15b)$$

となる。

【0135】

波長分散光  $s_3$  の回折角度  $\theta_5(b)$  は、この  $\theta_4(b)$  により

$$\theta_5(b) = \arcsin[(n \cdot b/d) - \sin(\theta_4(b))] \cdots (16b)$$

となる。

【0136】

光偏向装置 2 2 a、2 2 b により波長分散光  $s_3$  は、 $\theta_6(b)$  の角度で回折格子 2 1 に 4 度目の入射をする。このとき光偏向装置 2 2 a、2 2 b により与えられる角度差は A であるから、 $\theta_6(b)$  は、

$$\theta_6(b) = \theta_5(b) - A \cdots (17b)$$

となる。

【0137】

波長分散光  $s_4$ 、つまり最終的な出力光の回折角度  $\theta_{out}$  は、この  $\theta_6(b)$  により

$$\theta_{out}(b) = \arcsin[(n \cdot b/d) - \sin(\theta_6(b))] \cdots (18b)$$

となる。式 (12b) ~ 式 (17b) により、 $\theta_{out}(b)$  は、回折格子のパラメータ以外では、光偏向装置 2 2 a ~ 2 2 c によって与えられる角度 A、B の関数であることがわかる。このため A、B、つまり回折格子 2 1 と光偏向装置 2 2 a ~ 2 2 c の角度関係の設定により、式 (11b) を満足することが可能となる。

【0138】

ところで、上述した光デバイス 2 0 は、光偏向装置（反射ミラー）を用いた場合を例にして説明したがこれに限定されるものではなく、例えば、反射ミラーの代わりにプリズムや凹面鏡を用いてもよい。

【0139】

図 3 1 は、プリズムを用いた実施例 2 の光デバイスの構成を説明する図である。図 3 1 に示すように、この光デバイス 2 0 a は、回折格子 2 1 と、プリズム 2 3 a、2 3 b とを有する。光デバイス 2 0 a は、光偏向装置 2 2 a ~ 2 2 c の代わりにプリズム 2 3 a、2 3 b を使用したものであり、機能に関しては光デバイス 2 0 と同じである。

【0140】

図 3 1 において、波長多重光  $w_1$  は、回折格子 2 1 により波長単位に分波されて、面 p 2 から波長分散光  $s_1$  が出射する。プリズム 2 3 a 内の反射面 2 4 a は、面 p 2 から出射した波長分散光  $s_1$  を、プリズム 2 3 a 内の反射面 2 4 b に向けて反射させる。プリズム 2 3 a 内の反射面 2 4 b は、反射面 2 4 a で反射された波長分散光  $s_1$  を回折格子 2 1 に入射させる。

【0141】

波長分散光  $s_1$  は、回折格子 2 1 で回折し、波長分散光  $s_2$  として面 p 1 から出射する。波長分散光  $s_2$  は、プリズム 2 3 b で反射して、回折格子 2 1 の面 p 1 に入射をする。波長分散光  $s_2$  は、回折格子 2 1 で回折し、波長分散光  $s_3$  として面 p 2 から出射する。

## 【0142】

プリズム23a内の反射面24bは、面p2から出射した波長分散光s3を、プリズム23a内の反射面24aに向けて反射させる。プリズム23a内の反射面24aは、反射面24bで反射された波長分散光s3を回折格子21に入射させる。そして、回折格子21から、4回回折された波長分散光s4が、面p1から出射される。

## 【0143】

図32は、凹面鏡を用いた実施例2の光デバイスの構成を説明する図である。図32に示すように、この光デバイス20bは、回折格子21と、凹面鏡25a、25bとを有する。光デバイス20bは、光偏向装置22a~22cの代わりに凹面鏡25a、25bを使用したものであり、機能に関しては光デバイス20と同じである。

10

## 【0144】

図32において、波長多重光w1は、回折格子21により波長単位に分波されて、面p2から波長分散光s1を出射する。凹面鏡25a内の反射面26aは、面p2から出射した波長分散光s1を、凹面鏡25a内の反射面26bに向けて反射させる。凹面鏡25a内の反射面26bは、反射面26aで反射された波長分散光s1を回折格子21に入射させる。

## 【0145】

波長分散光s1は、回折格子21で回折し、波長分散光s2として面p1から出射する。波長分散光s2は、凹面鏡25bで反射して、回折格子21の面p1に入射する。波長分散光s2は、回折格子21で回折し、波長分散光s3として面p2から出射する。

20

## 【0146】

凹面鏡25a内の反射面26bは、面p2から出射した波長分散光s3を、凹面鏡25a内の反射面26aに向けて反射させる。凹面鏡25a内の反射面26aは、反射面26bで反射された波長分散光s3を回折格子21に入射させる。そして、回折格子21から、4回回折された波長分散光s4が、面p1から出射される。

## 【0147】

図33は、プリズムおよび反射ミラーを用いた実施例2の光デバイスの構成を説明する図である。図33に示すように、この光デバイス20cは、プリズム27と、反射ミラー28とを有する。光デバイス20cは、光偏向装置22a~22cの代わりにプリズム27、反射面28を使用したものであり、機能に関しては光デバイス20と同じである。

30

## 【0148】

図33において、波長多重光w1は、回折格子21により波長単位に分波されて、面p2から波長分散光s1を出射する。プリズム27内の反射面27aは、面p2から出射した波長分散光s1を、プリズム27内の反射面27bに向けて反射させる。プリズム27内の反射面27bは、反射面27aで反射された波長分散光s1を回折格子21に入射させる。

## 【0149】

波長分散光s1は、回折格子21で回折し、波長分散光s2として面p1から出射する。波長分散光s2は、反射ミラー28で反射して、回折格子21の面p1に入射をする。波長分散光s2は、回折格子21で回折し、波長分散光s3として面p2から出射する。

40

## 【0150】

プリズム27内の反射面27bは、面p2から出射した波長分散光s3を、プリズム27内の反射面27aに向けて反射させる。プリズム27内の反射面27aは、反射面27bで反射された波長分散光s3を回折格子21に入射させる。そして、回折格子21から、4回回折された波長分散光s4が、面p1から出射される。

## 【0151】

なお、図33では、プリズムと反射ミラーとを組みあわせて光デバイス20と同様の効果を有する光デバイスを構成する例を示したが、プリズムと反射ミラーの組合せに限らず、例えば、凹面鏡と反射ミラーとを組合せても良いし、凹面鏡とプリズムとを組合せても良い。

50

## 【0152】

上述した光デバイス20、20a~20cは、一枚の回折格子21で光を4回回折させるために、波長多重された光が1枚の回折格子で1回回折された場合に比べて約4倍の波長分散角度で波長毎に出射されることになる。また、図23~図33では、波長多重された光を分光させる方向の経路のみ光線を記載したが、この光線の逆経路とすることにより、逆の機能、つまり分光された光を波長多重された光に戻す機能も有する。一般的に、反射ミラー、プリズム、凹面鏡などの偏向装置は回折格子に比べて格段に安価なため、光デバイス20、20a~20cを用いることで、低コストながら高波長分散角となるデバイスを実現することが出来る。

## 【0153】

なお、上述した光デバイス20(20a~20c)では、光を4回回折させていたが、光偏向装置22cの向きを調整して、3回回折させても構わない。図34は、光を3回回折させる光デバイスの構成を説明する図である。

## 【0154】

図34において、互いに異なる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ が多重された波長多重光 $w_1$ が、回折格子21の面 $p_1$ に入射し、波長多重光 $w_1$ は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ 毎に波長分散され、面 $p_2$ から波長分散光 $s_1$ として出射される。光偏向装置22aは、面 $p_2$ から出射した波長分散光 $s_1$ を光偏向装置22bに向けて反射させ、光偏向装置22bは、波長分散光 $s_1$ を回折格子21の面 $p_2$ に入射させる。

## 【0155】

回折格子21の面 $p_2$ に入射した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ の光(波長分散光 $s_1$ )は、波長分散光 $s_2$ として面 $p_1$ から出射される。光偏向装置22cは、面 $p_1$ から出射した波長分散光 $s_2$ を回折格子21に向けて反射させ、波長分散光 $s_2$ を回折格子21の面 $p_1$ に入射させる。回折格子21に入射した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ の光(波長分散光 $s_2$ )は、波長分散光 $s_3$ として面 $p_2$ から出射される。

## 【0156】

図34において説明した光デバイス20dの波長分散角度は、光デバイス20の波長分散角度より小さくなるものの、光偏向装置22cの角度を変えることによって、光デバイス20dからの出力光の方向を変更することができ、光デバイス20dに波長多重光を入力する光学素子、光デバイス20dからの出力光を受光する光学素子の配置の自由度が増す。

## 【0157】

次に、光デバイス20を適用したWSSについて説明する。図35、図36は、光デバイス20を適用したWSSの構成を説明する図である。なお、図35は、WSSを波長分散方向と光軸方向を含む平面から見た図であり、図36は、WSSをポート配列方向と光軸方向を含む平面から見た図である。

## 【0158】

WSS30は、1つの入力ポート $P_{in}$ 、複数の出力ポート $P_{out}$ 、光デバイス20、集光レンズ33、MEMSミラー34、光をコリメートするマイクロレンズ35を有する。集光レンズ33は、光デバイス20によって出射された回折光信号(回折格子21の面 $p_1$ から出射される最終的な回折光)を波長毎にMEMSミラー34に集光する。

## 【0159】

MEMSミラー34は、分散された波長毎に配列されたミラーを含み、ミラーの角度を変えて、回折光信号の任意の波長を、任意の出力ポート $P_{out}$ から出力する。なお、図35、図36では、1つの入力ポートから入力された光を、複数の出力ポートのうちの任意の出力ポートに切り替える構成であるが、入出力光学系を1つの出力ポートと複数の入力ポートという構成にすることにより、複数の入力ポートからの光のうち任意の入力ポートからの光のみを、1つの出力ポートに切り替えるという構成も可能である。

## 【0160】

ここで、MEMSミラー34上でのビームの波長分散方向位置 $X$ は、集光光学系へのビ

10

20

30

40

50

一ム波長分散方向入射角度を、集光光学系の焦点距離をFとし、集光レンズの収差を無視すると、

$$X = F \times \tan(\theta) \cdots (18)$$

となる。

【0161】

前述した通りに、ITUグリッド波長により各チャネル間の波長間隔も決められた値となっている。このため、焦点距離Fを一定とすると光デバイス20から出射される波長分散角度により式(18)のXが決定する。ここで、1CH間隔あたりのMEMSミラー間隔は、製造上の制約から、ある間隔以上である必要があり、また、間隔が広いほどWSSの製造が容易となるため、波長分散角度は大きいほうが望ましい。また、MEMSミラー間隔を一定として考えると、光デバイス20の波長分散角度は大きい方がFを小さく、つまり、従来の構成よりもFを約1/4とできるために、低コストでありながら、小サイズなWSSの構成が可能となる。

10

【0162】

上述してきたように、本実施例2にかかる光デバイス20は、回折格子21と、光偏向装置22a, 22b, 22cとを備え、光偏向装置22a、22bにより波長分散光s1が面p2に入射され、光偏向装置22cにより波長分散光s2が面p1に入射され、光偏向装置22a、22bにより波長分散光s3が面p2に入射されるので、波長分散光s1が面p2から回折する際の角分散よりも大きな角分散で面p1から波長分散光を出射することができる。

20

【0163】

以上の実施例を含む実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

【0164】

(付記1) 光デバイスであって、

第1と第2の面を有する回折格子と、

上記回折格子の上記第1面側に第1および第2の反射面を備え、

上記回折格子の第1面に入力する光が回折されて上記第2面から回折光が出力され、上記回折光の光路が新たに上記第1および第2反射面を介して上記回折格子の上記第2面に再入力する光デバイス。

30

【0165】

(付記2) 付記1記載の光デバイスであって、上記第1および第2の反射面の間の距離は、上記回折格子の幅より長く構成する光デバイス。

【0166】

(付記3) 付記1記載の光デバイスであって、前記第1および第2の反射面の間の距離は、前記第2面からの回折光の出力位置と前記第2面に回折光が再入力する位置との距離は上記第1および第2の反射面の間の距離より短く構成する光デバイス。

【0167】

(付記4) 付記1記載の光デバイスであって、前記第1面に入力する光ビームと第1面から出力される光ビームは前記第1面側の空間上で重ならないように構成する光デバイス。

40

【0168】

(付記5) 付記1記載の光デバイスであって、さらにプリズムを備え、前記第1および第2の反射面は入力した光を反射する前記プリズムにより構成する光デバイス。

【0169】

(付記6) 付記1記載の光デバイスであって、さらに凹面鏡を備え、前記第1および第2の反射面は入力した光を反射する該凹面鏡により構成する光デバイス。

【0170】

(付記7) 光デバイスであって、

第1と第2の面を有する回折格子と、

上記回折格子の上記第2面側に第1および第2の反射面を備え、

前記回折格子の平面方向をx軸、上記平面に対する垂直線をy軸とし、前記回折格子の

50

第 1 の面に光が入力する位置を原点とした第 1 象限から第 4 象限の空間において、

前記回折格子の前記第 1 面への入力から右上の原点に向かう光路が第 3 象限に位置すると想定したときに、

前記回折格子は、前記第 1 の面に入力された光を回折して第 2 象限に回折光を出力し、前記第 1 および第 2 の反射面は入力された前記回折光の光路を偏向して前記回折格子の第 2 の面へ再入力し、再入力した回折光をさらに回折して第 4 象限の方向に出力する光デバイス。

【 0 1 7 1 】

( 付記 8 ) 付記 7 記載の光デバイスであって、上記第 1 および第 2 の反射面の間の距離は、上記回折格子の幅より長く構成する光デバイス。

10

【 0 1 7 2 】

( 付記 9 ) 付記 7 記載の光デバイスであって、前記第 1 および第 2 の反射面の間の距離は、前記第 2 面からの回折光の出力位置と前記第 2 面に回折光が再入力する位置との距離は上記第 1 および第 2 の反射面の間の距離より短く構成する光デバイス。

【 0 1 7 3 】

( 付記 1 0 ) 付記 7 記載の光デバイスであって、前記第 1 面に入力する光ビームと第 1 面から出力される光ビームは前記第 1 面側の空間上で重ならないように構成する光デバイス。

【 0 1 7 4 】

( 付記 1 1 ) 付記 7 記載の光デバイスであって、さらにプリズムを備え、前記第 1 および第 2 の反射面は入力した光を反射する前記プリズムにより構成する光デバイス。

20

【 0 1 7 5 】

( 付記 1 2 ) 付記 7 記載の光デバイスであって、さらに凹面鏡を備え、前記第 1 および第 2 の反射面は入力した光を反射する該凹面鏡により構成する光デバイス。

【 0 1 7 6 】

( 付記 1 3 ) 波長単位に光信号のスイッチ処理を行う波長選択スイッチであって、

1 つの入力ポートと、

複数の出力ポートと、

第 1 と第 2 の面を有する回折格子と、

上記回折格子の上記第 2 面側に第 1 および第 2 の反射面を備え、

上記回折格子の第 1 面に前記入力ポートを通じて入力する波長多重光が回折されて上記第 2 面から第 1 回折光が出力され、上記第 1 回折光の光路が新たに上記第 1 および第 2 反射面を介して上記回折格子の上記第 2 面に再入力され、さらに回折された第 2 回折光を第 1 面から出力する光デバイスと、

30

前記光デバイスによって出力された第 2 回折光を集光する集光レンズと、

前記集光レンズにより集光された光を反射し、角度を変えることにより第 2 回折光のうち任意の波長の光を任意の前記出力ポートに出力させる可動ミラーアレイと、

を有するように構成する波長選択スイッチ。

【 0 1 7 7 】

( 付記 1 4 ) 付記 1 3 記載の波長選択スイッチであって、

40

前記波長多重光の前記第 1 の面への入射角度を  $\theta_{in}$ 、前記回折格子によって回折された光の中の 0 次光に対し、前記 0 次光による前記第 2 の面から前記光偏向装置 ( 第 2 の反射面 ) へ向かう出射角度と前記 0 次光による前記第 1 および第 2 の反射面を介して前記第 2 の面へ向かう入射角度の角度差を  $A$ 、前記波長多重光の最短波長を  $\lambda_a$  かつ最長波長を  $\lambda_b$ 、前記最短波長  $\lambda_a$  の前記第 2 の波長分散光の回折角度を  $\theta_{out}(\lambda_a)$ 、前記最長波長  $\lambda_b$  の前記第 2 の波長分散光の回折角度を  $\theta_{out}(\lambda_b)$ 、前記集光レンズの焦点距離を  $F$ 、短波端に位置する前記可動反射ミラー幅を  $T_a$ 、長波端に位置する前記可動反射ミラー幅を  $T_b$ 、短波端側の前記 0 次光のガウスビーム径を  $W_a$ 、長波端側の前記 0 次光のガウスビーム径を  $W_b$  とした場合、

$$F \times \tan(\theta_{out}(\lambda_a) - \theta_{in} - A) > W_a + T_a / 2$$

50

$$F \times \tan(\theta_{in} + A - \theta_{out}(b)) > Wb + Tb / 2$$

の関係を満たすように構成する波長選択スイッチ。

【0178】

(付記15) 付記13記載の波長選択スイッチであって、

前記回折格子によって回折された光の中の0次光の光路中に、前記0次光を遮光する遮光マスクが配置されよう構成する波長選択スイッチ。

【0179】

(付記16) 波長単位に光信号のスイッチ処理を行う波長選択スイッチにおいて、

1つの出力ポートと、

複数の入力ポートと、

第1と第2の面を有する回折格子と、

上記回折格子の上記第2面側に第1および第2の反射面を備え、

上記回折格子の第1面に前記複数の入力ポートを通じて入力する波長多重光が回折されて上記第2面から第1回折光が出力され、上記第1回折光の光路が新たに上記第1および第2反射面を介して上記回折格子の上記第1面に再入力され、さらに回折された第2回折光を第1面から出力する光デバイスと、

前記光デバイスによって出力された第2回折光を集光する集光レンズと、

前記集光レンズにより集光された光を反し、角度を変えることにより第2回折光のうちの任意の波長の光を任意の前記出力ポートに出力させる可動ミラーアレイと、

を有するように構成する波長選択スイッチ。

【0180】

(付記17) 付記16記載の波長選択スイッチであって、

前記波長多重光の前記第1の面への入射角度を  $\theta_{in}$ 、前記回折格子によって回折された光の中の0次光に対し、前記0次光による前記第2の面から前記光偏向装置(第2の反射面?)へ向かう出射角度と前記0次光による前記第1および第2の反射面を介して前記第2の面へ向かう入射角度の角度差を  $A$ 、前記波長多重光の最短波長を  $a$  かつ最長波長を  $b$ 、前記最短波長  $a$  の前記第2の波長分散光の回折角度を  $\theta_{out}(a)$ 、前記最長波長  $b$  の前記第2の波長分散光の回折角度を  $\theta_{out}(b)$ 、前記集光レンズの焦点距離を  $F$ 、短波端に位置する前記可動反射ミラー幅を  $Ta$ 、長波端に位置する前記可動反射ミラー幅を  $Tb$ 、短波端側の前記0次光のガウスビーム径を  $Wa$ 、長波端側の前記0次光のガウスビーム径を  $Wb$  とした場合、

$$F \times \tan(\theta_{out}(a) - \theta_{in} - A) > Wa + Ta / 2$$

$$F \times \tan(\theta_{in} + A - \theta_{out}(b)) > Wb + Tb / 2$$

の関係を満たすように構成する波長選択スイッチ。

【0181】

(付記18) 付記17記載の波長選択スイッチであって、

前記回折格子によって回折された光の中の0次光の光路中に、前記0次光を遮光する遮光マスクが配置されるよう構成する波長選択スイッチ。

【0182】

(付記19) 光デバイスであって、

第1と第2の面を有する回折格子と、

前記回折格子の前記第2面側に第1および第2の反射面と、

前記回折格子の前記第1面側に第3の反射面とを備え、

前記回折格子の第1面に入力する光ビームが回折されて前記第2面から回折光が出力され、前記回折光の光路が前記第1および第2の反射面を介して前記回折格子の前記第2面に2度目の入力をし、

前記回折格子の第2面に2度目の入力をした回折光が回折されて前記回折格子の第3面から出力され、前記回折光の光路が前記第3の反射面を介して前記回折格子の前記第1面に3度目の入力をし、

前記回折格子の第1面に3度目の入力をした回折光が回折されて前記回折格子の第2面

10

20

30

40

50

から出力され、前記回折光の光路が前記第 1 および第 2 の反射面を介して前記回折格子の前記第 2 面に 4 度目の入力をする光デバイス。

【0183】

(付記 20) 付記 19 に記載の光デバイスであって、前記回折格子の第 2 面に 4 度目の入力をして回折した後に、前記第 1 面から出力される回折光の出力角度は、前記回折格子の第 2 面の垂直線を基準にして、前記光ビームの入力角度と同方向である光デバイス。

【0184】

(付記 21) 付記 19 に記載の光デバイスであって、前記回折格子の第 1 面に入力する光ビームと、前記回折格子の第 2 面に 4 度目の入力をして回折した後に、前記第 1 面から出力される回折光とが前記第 1 面側の空間上で重ならないように構成する光デバイス。

10

【0185】

(付記 22) 付記 19 に記載の光デバイスであって、さらにプリズムを備え、前記第 1、第 2 および第 3 の反射面は入力した光を反射する前記プリズムにより構成する光デバイス。

【0186】

(付記 23) 付記 19 に記載の光デバイスであって、さらに凹面鏡を備え、前記第 1、第 2 および第 3 の反射面は入力した光を反射する前記凹面鏡により構成する光デバイス。

【0187】

(付記 24) 波長単位に光信号のスイッチ処理を行う光波長選択スイッチであって、  
 一つの入力ポートと、  
 複数の出力ポートと、  
 第 1 と第 2 の面を有する回折格子と、  
 前記回折格子の前記第 2 面側に第 1 および第 2 の反射面と、  
 前記回折格子の前記第 1 面側に第 3 の反射面と備え、  
 前記回折格子の第 1 面に入力する光ビームが回折されて前記第 2 面から回折光が出力され、前記回折光の光路が前記第 1 および第 2 の反射面を介して前記回折格子の前記第 2 面に 2 度目の入力をし、  
 前記回折格子の第 2 面に 2 度目の入力をした回折光が回折されて前記回折格子の第 1 面から出力され、前記回折光の光路が前記第 3 の反射面を介して前記回折格子の前記第 1 面に 3 度目の入力をし、  
 前記回折格子の第 1 面に 3 度目の入力をした回折光が回折されて前記回折格子の第 2 面から出力され、前記回折光の光路が前記第 1 および第 2 の反射面を介して前記回折格子の前記第 2 面に 4 度目の入力をして回折した後に、前記第 2 面から第 4 回折光を第 1 面から出力する光デバイスと、  
 前記光デバイスにより出力された第 4 回折光を集光する集光レンズと、  
 前記集光レンズにより集光された光を反射し、角度を変えることにより第 4 回折光のうちの任意の波長の光を前記出力ポートに出力させる可動ミラーアレイと、  
 を有するように構成する光デバイス。

20

30

【図面の簡単な説明】

【0188】

40

【図 1】光デバイスの構成例を説明する図である。

【図 2】1 枚の反射ミラーを使用した光デバイスの構成を説明する図である。

【図 3】1 つの波長に注目した光デバイスの光路を説明する図である。

【図 4】2 枚の反射ミラーを使用した光デバイスの構成を説明する図である。

【図 5】1 つの波長に注目した光デバイスの光路を説明する図である。

【図 6】波長多重を行う場合の光デバイスの光路を説明する図である。

【図 7】プリズムを用いた光デバイスの構成を説明する図である。

【図 8】凹面鏡を用いた光デバイスの構成を説明する図である。

【図 9】0 次光の光路を説明する図である。

【図 10】クロストークが発生する様子を説明する図である。

50

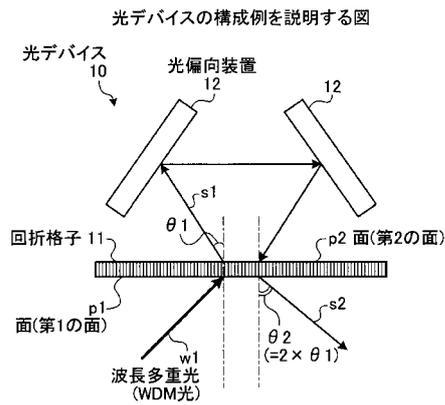
- 【図 1 1】0 次光の光路を説明する図である。
- 【図 1 2】ある波長  $\lambda$  による回折光の光路を説明する図である。
- 【図 1 3】0 次光の出射角度が最短波長  $\lambda_a$  の回折光信号の出射角度よりも小さい場合の様子を説明する図である。
- 【図 1 4】0 次光の出射角度が最長波長  $\lambda_b$  の回折光信号の出射角度よりも大きい場合の様子を説明する図である。
- 【図 1 5】WSS を波長分散方向と光軸方向を含む平面（上面）から見た図である。
- 【図 1 6】WSS をポート配列方向と光軸方向を含む平面（側面）から見た図である。
- 【図 1 7】WSS を波長分散方向と光軸方向を含む平面から見た図である。
- 【図 1 8】WSS をポート配列方向と光軸方向を含む平面から見た図である。 10
- 【図 1 9】WSS を波長分散方向と光軸方向を含む平面から見た図である。
- 【図 2 0】WSS をポート配列方向と光軸方向を含む平面から見た図である。
- 【図 2 1】0 次光の光路が MEMS ミラーから外れている様子を説明する図である。
- 【図 2 2】遮光マスクを有する WSS を説明する図である。
- 【図 2 3】本実施例 2 にかかる光スイッチの構成を示す図である。
- 【図 2 4】1 つの波長に着目した光デバイスの光路を説明する図である。
- 【図 2 5】波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  に着目した光デバイスの光路を説明する図である。
- 【図 2 6】波長多重光  $w_1$  と波長分散光  $s_4$  とが重なった場合を示す図である。
- 【図 2 7】最短波長  $\lambda_a$  の出射角度が波長多重光  $w_1$  の入射角度よりも大きい場合の様子を説明する図である。 20
- 【図 2 8】最長波長  $\lambda_b$  の出射角度が波長多重光  $w_1$  の入射角度よりも小さい場合の様子を説明する図である。
- 【図 2 9】式 (11a) または式 (11b) の条件を満たすための、光偏向装置と回折格子との角度関係を説明するための図 (1) である。
- 【図 3 0】式 (11a) または式 (11b) の条件を満たすための、光偏向装置と回折格子との角度関係を説明するための図 (2) である。
- 【図 3 1】プリズムを用いた実施例 2 の光デバイスの構成を説明する図である。
- 【図 3 2】凹面鏡を用いた実施例 2 の光デバイスの構成を説明する図である。
- 【図 3 3】プリズムおよび反射ミラーを用いた実施例 2 の光デバイスの構成を説明する図 30

【符号の説明】

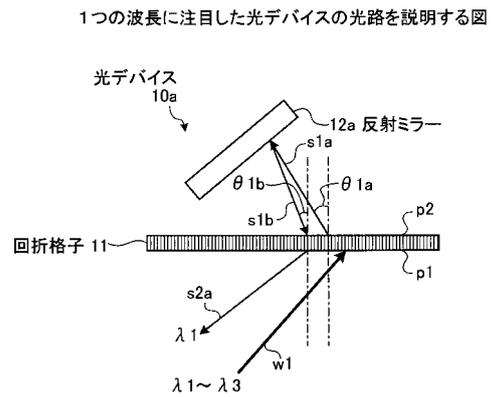
【0189】	1, 5, 1a, 30 WSS	
	10, 10a, 10b, 10c, 20, 20a, 20b, 20c, 20d	光デバイス
	11, 21, 100	回折格子 <span style="float: right;">40</span>
	12, 22a, 22b, 22c	光偏向装置
	12a, 12-1, 12-2, 28	反射ミラー
	12b, 23a, 23b, 27	プリズム
	24a, 24b, 26a, 26b, 27a, 27b	反射面
	12b-1, 12b-2, 12c-1, 12c-2	反射面
	12c, 25a, 25b	凹面鏡
	13, 33, 52	集光レンズ
	14, 34, 53	MEMS ミラー（可動反射部）
	15, 35, 54	マイクロレンズ
	16	遮光マスク <span style="float: right;">50</span>

5 1 分光素子

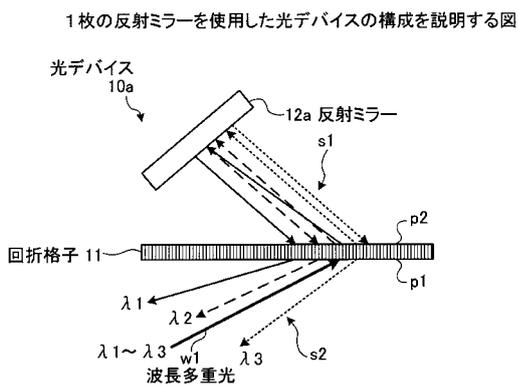
【 図 1 】



【 図 3 】

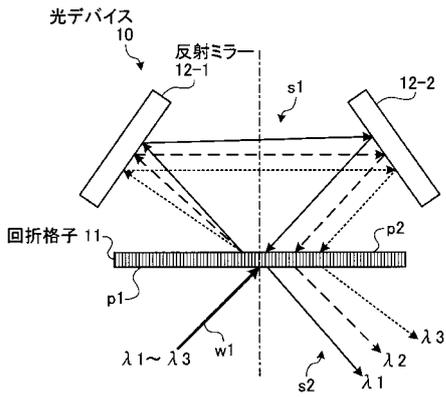


【 図 2 】



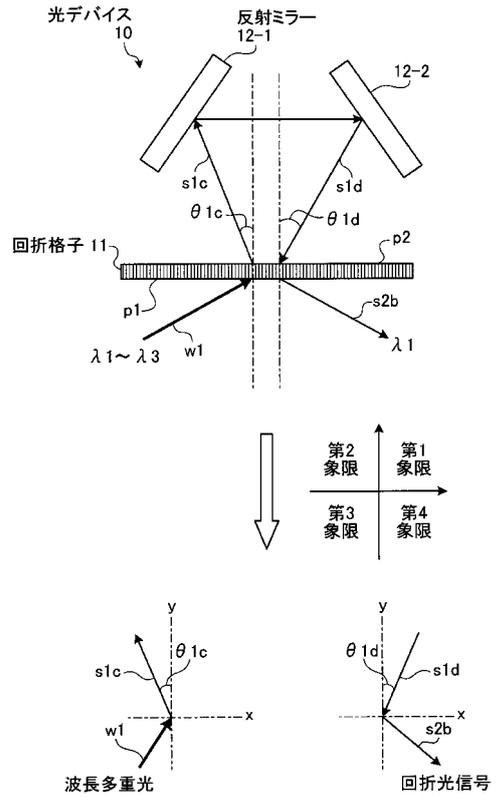
【 図 4 】

2枚の反射ミラーを使用した光デバイスの構成を説明する図



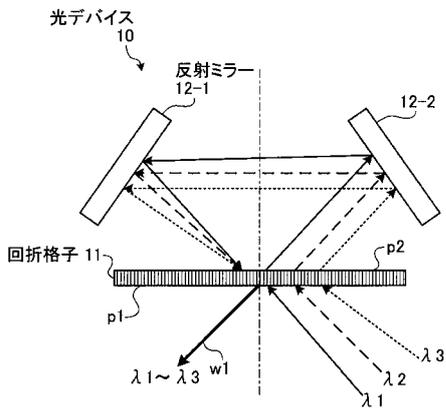
【 図 5 】

1つの波長に注目した光デバイスの光路を説明する図



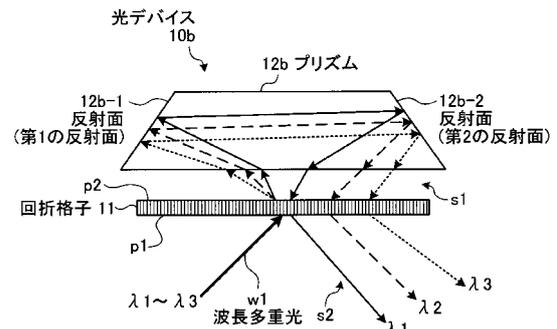
【 図 6 】

波長多重を行う場合の光デバイスの光路を説明する図



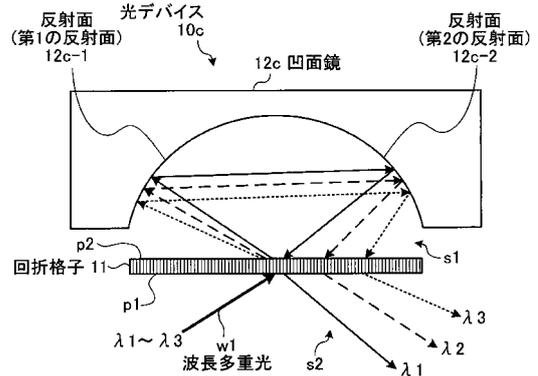
【 図 7 】

プリズムを用いた光デバイスの構成を説明する図



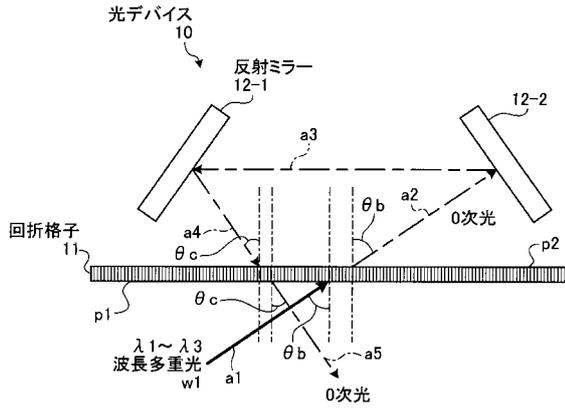
【 図 8 】

凹面鏡を用いた光デバイスの構成を説明する図



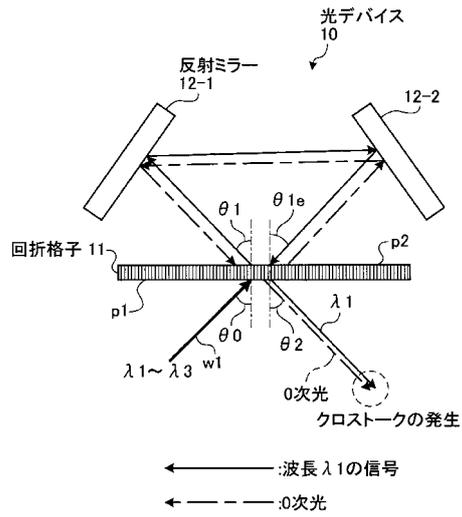
【 図 9 】

0次光の光路を説明する図



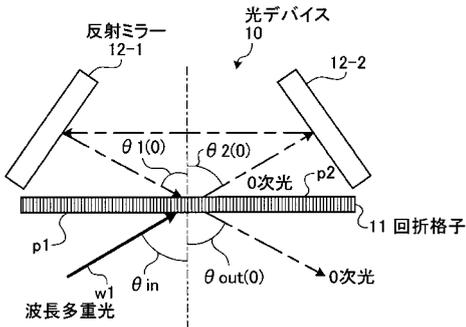
【 図 10 】

クロストークが発生する様子を説明する図



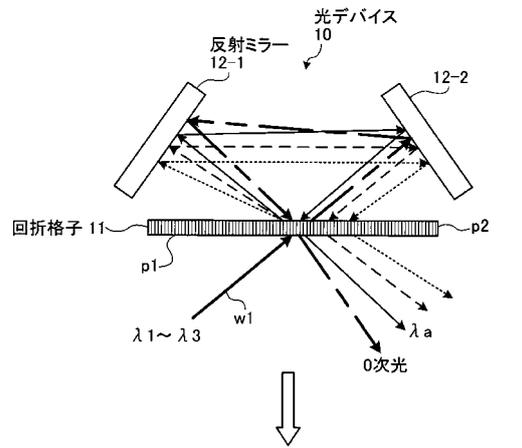
【 図 11 】

0次光の光路を説明する図



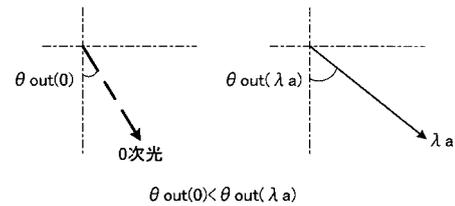
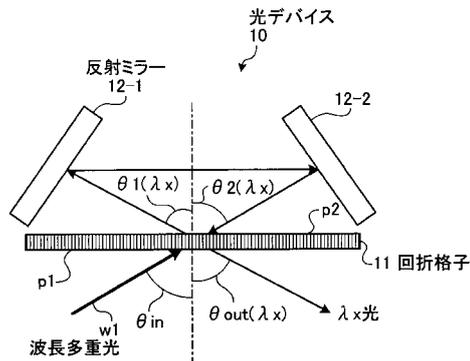
【 図 13 】

0次光の出射角度が最短波長 lambda\_a の回折光信号の出射角度よりも小さい場合の様子を説明する図



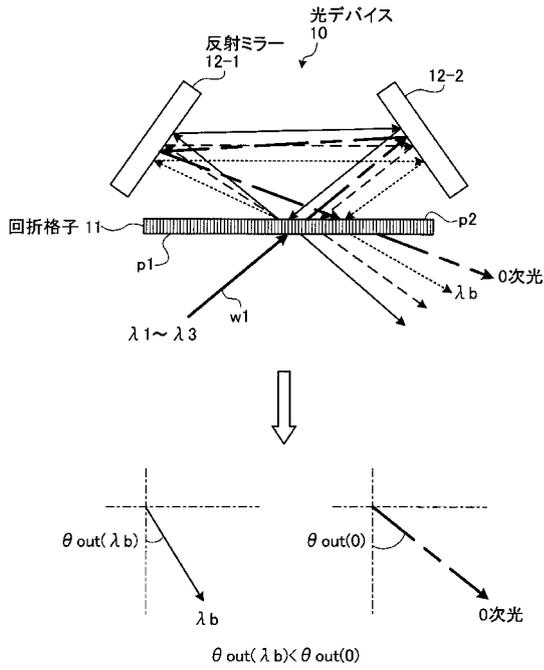
【 図 12 】

ある波長 lambda\_x による回折光の光路を説明する図



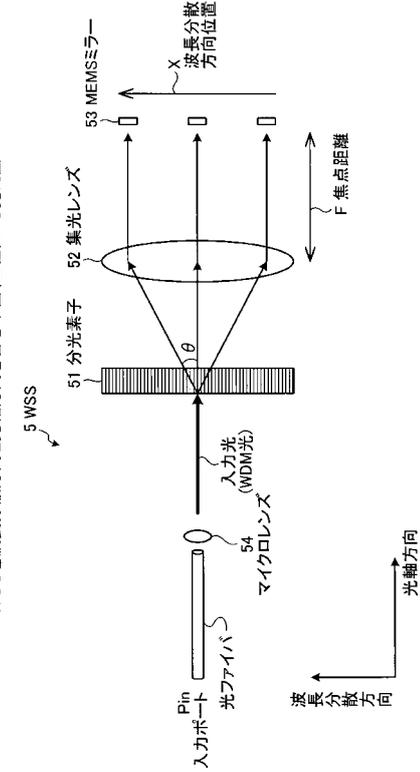
【 図 1 4 】

0次光の出射角度が最長波長λbの回折光信号の出射角度よりも大きい場合の様子を説明する図



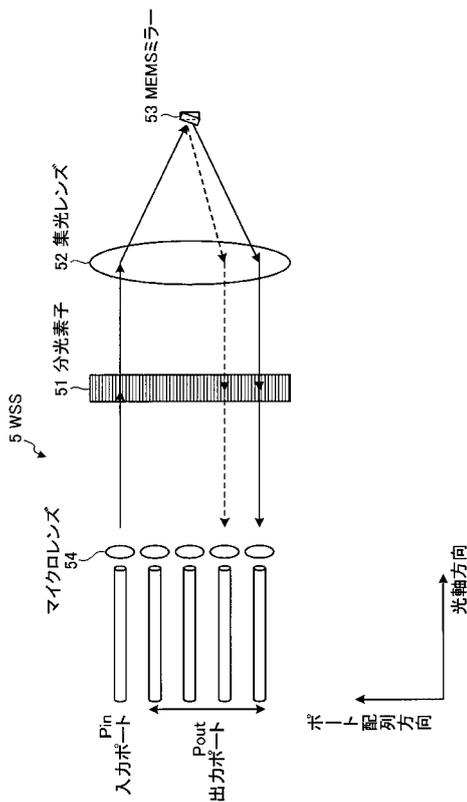
【 図 1 5 】

WSSを波長分散方向と光軸方向を含む平面(上面)から見た図



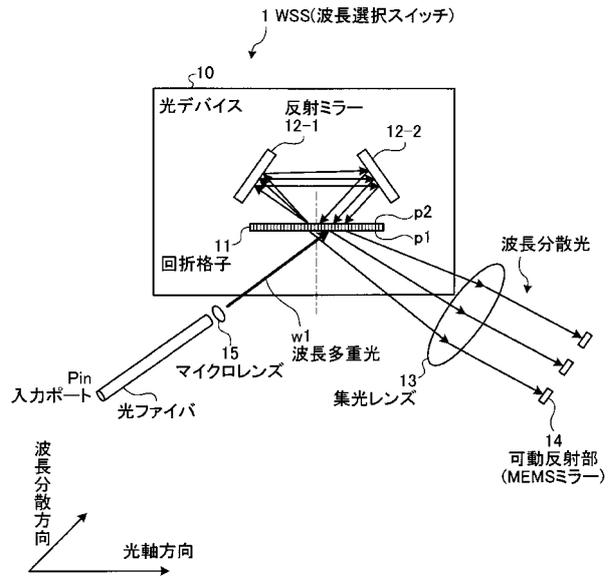
【 図 1 6 】

WSSをポート配列方向と光軸方向を含む平面(側面)から見た図

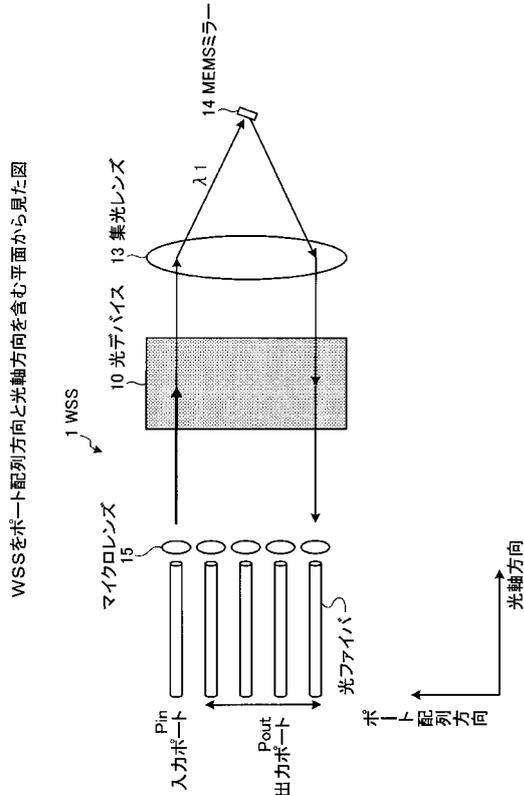


【 図 1 7 】

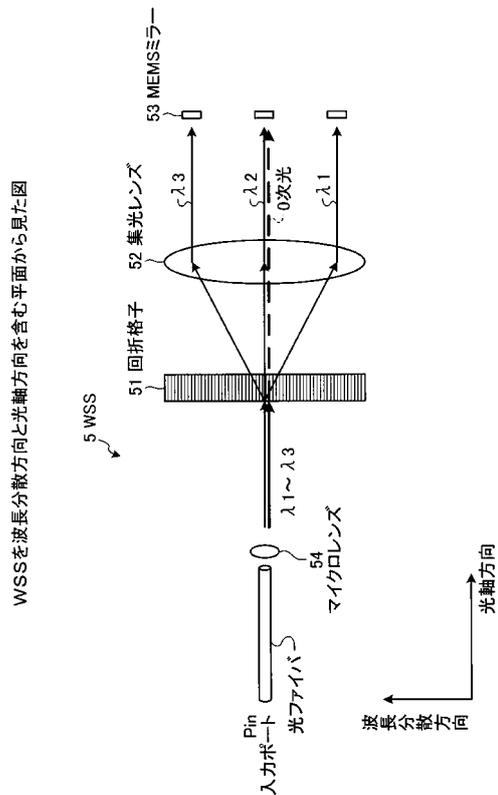
WSSを波長分散方向と光軸方向を含む平面から見た図



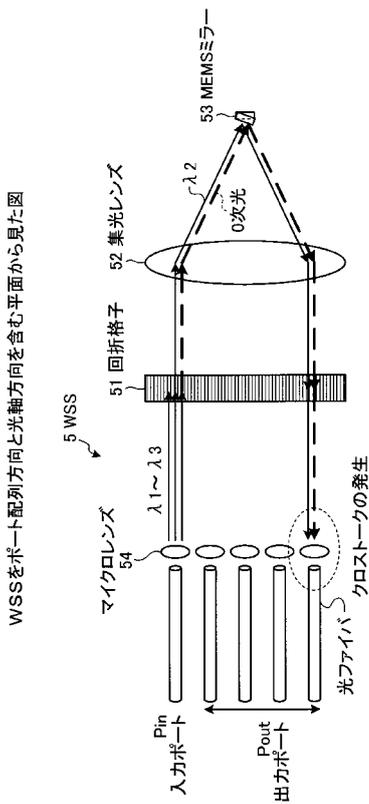
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】

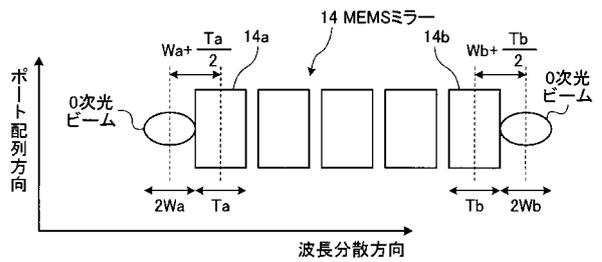


【 図 2 0 】



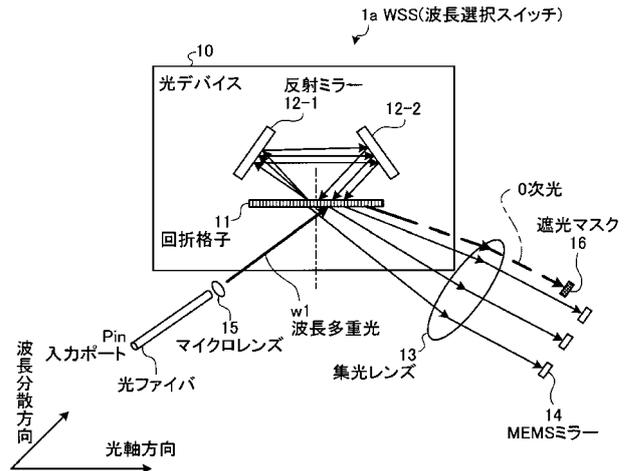
【 図 2 1 】

0次光の光路がMEMSミラーから外れている様子を説明する図

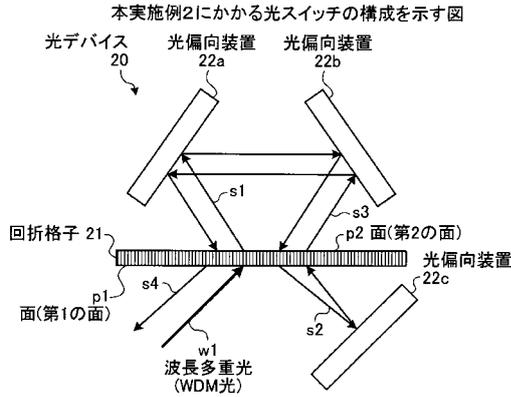


【 図 2 2 】

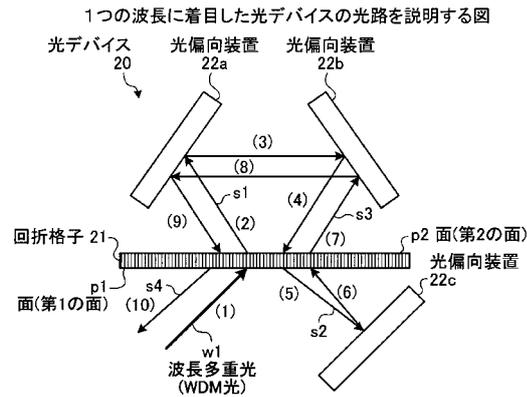
遮光マスクを有するWSSを説明する図



【 図 2 3 】

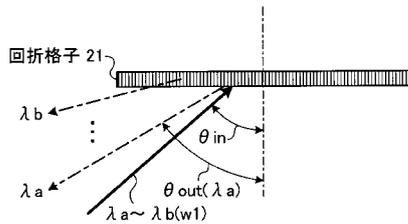


【 図 2 4 】



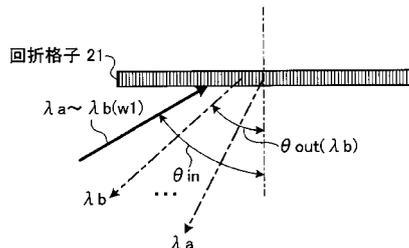
【 図 2 7 】

最短波長  $\lambda_a$  の出射角度が波長多重光  $w_1$  の入射角度よりも大きい場合の様子を説明する図

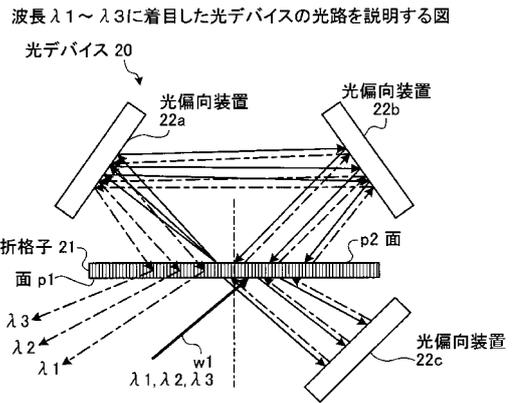


【 図 2 8 】

最長波長  $\lambda_b$  の出射角度が波長多重光  $w_1$  の入射角度よりも小さい場合の様子を説明する図

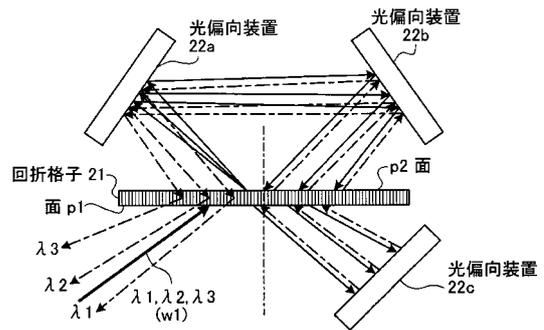


【 図 2 5 】



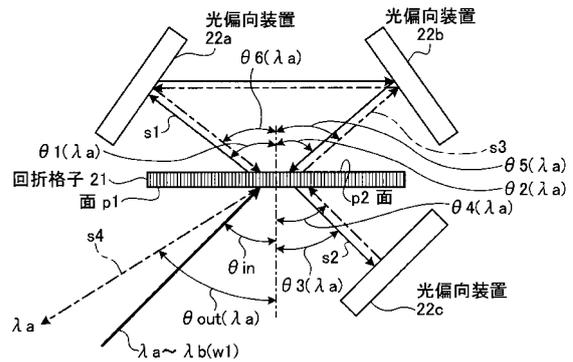
【 図 2 6 】

波長多重光  $w_1$  と波長分散光  $s_4$  とが重なった場合を示す図



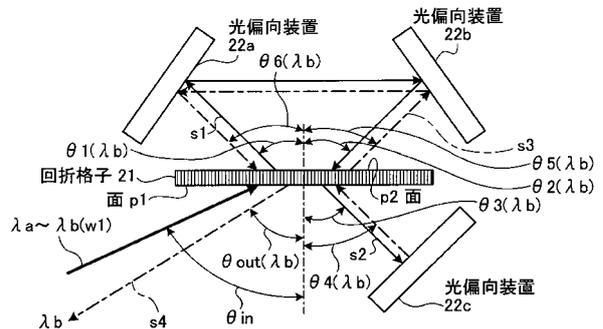
【 図 2 9 】

式(11a)または式(11b)の条件を満たすための、光偏向装置と回折格子との角度関係を説明するための図(1)

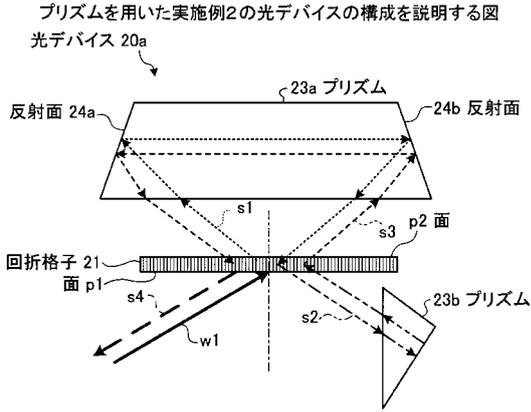


【 図 3 0 】

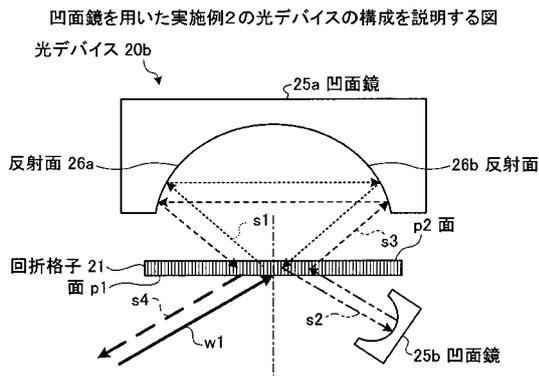
式(11a)または式(11b)の条件を満たすための、光偏向装置と回折格子との角度関係を説明するための図(2)



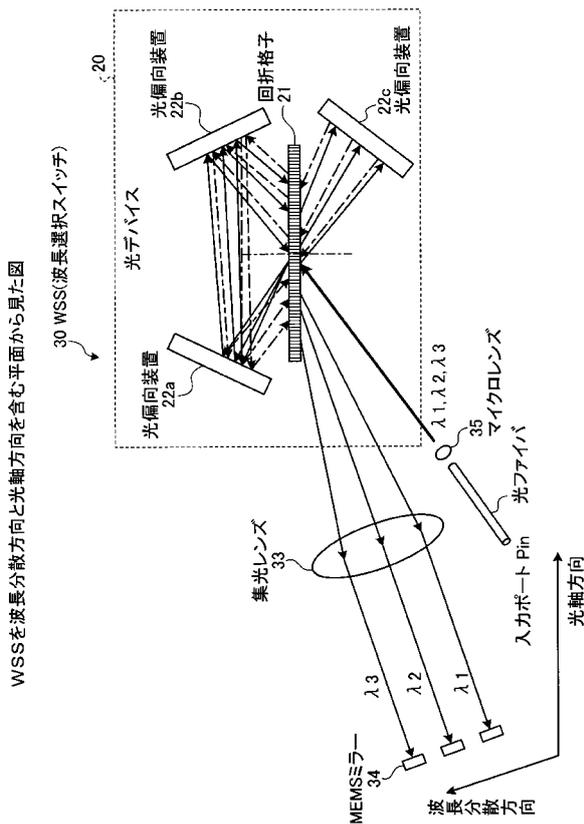
【 図 3 1 】



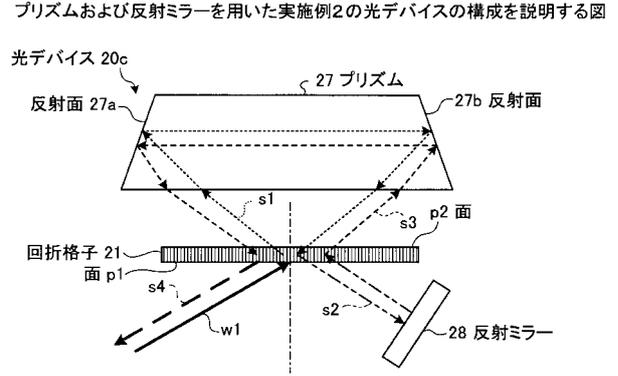
【 図 3 2 】



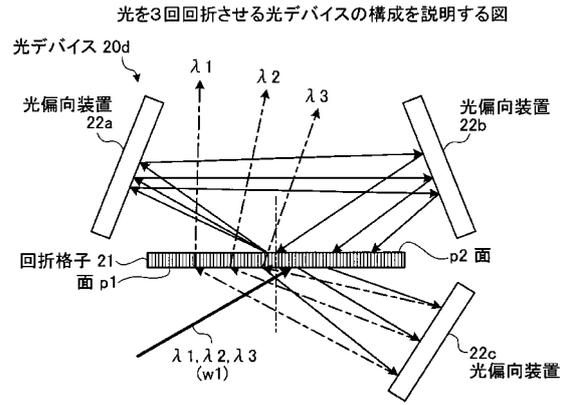
【 図 3 5 】



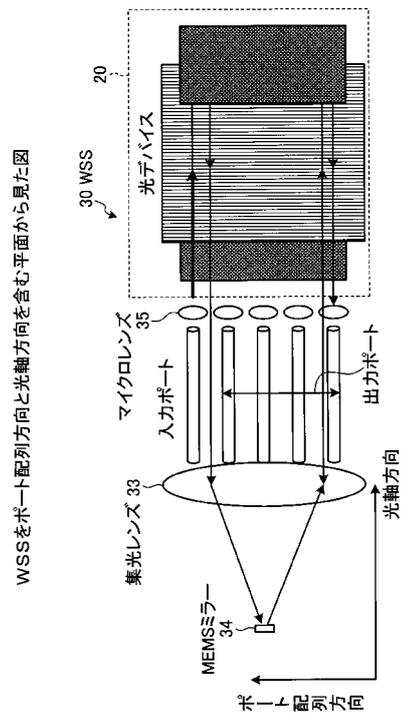
【 図 3 3 】



【 図 3 4 】

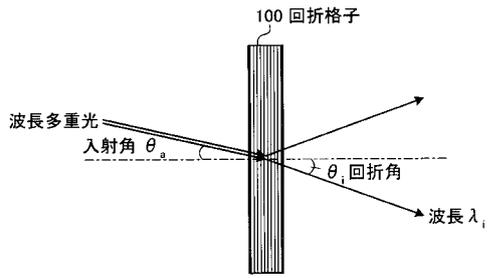


【 図 3 6 】



【 図 3 7 】

透過型の回折格子を説明する図



---

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

Fターム(参考) 2H141 MA16 MA23 MA28 MB23 MB62 MD12 MD20 MD23 ME01 ME04  
ME06 ME09 ME11 ME13 ME19 ME28 MF28 MG01  
2H249 AA03 AA13 AA51 AA59