

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-4832

(P2004-4832A)

(43) 公開日 平成16年1月8日(2004.1.8)

(51) Int.C1.⁷

G02B 26/00

G02B 5/18

F 1

G02B 26/00

G02B 5/18

テーマコード(参考)

2 H 0 4 1

2 H 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2003-132493 (P2003-132493)
 (22) 出願日 平成15年5月12日 (2003.5.12)
 (31) 優先権主張番号 10/146543
 (32) 優先日 平成14年5月14日 (2002.5.14)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 399117121
 アジレント・テクノロジーズ・インク
 A G I L E N T T E C H N O L O G I E
 S, I N C.
 アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
 ト ページ・ミル・ロード 395
 395 Page Mill Road
 Palo Alto, California
 U. S. A.
 (74) 代理人 100087642
 弁理士 古谷 聰
 (74) 代理人 100076680
 弁理士 溝部 孝彦
 (74) 代理人 100121061
 弁理士 西山 清春

最終頁に続く

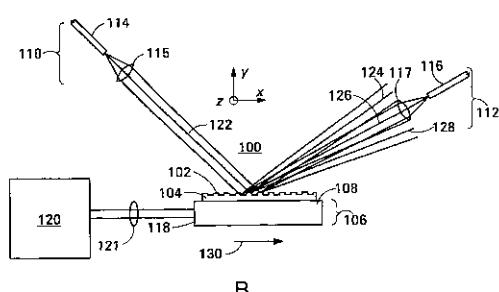
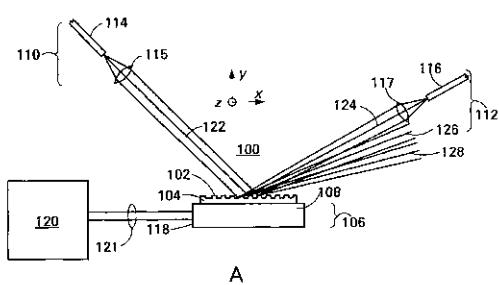
(54) 【発明の名称】物理的に変形可能な回折素子に基づく可調光フィルタ

(57) 【要約】

【課題】選択すべき光信号の周波数を、迅速かつ再現性よく変更することが可能な低コストの可調光フィルタを提供する。

【解決手段】可調光フィルタは、弾性基板(104)、弾性基板内の回折素子(102)、弾性基板を伸長させて回折素子のピッチを制御するためのアクチュエータ(106)、第1の光路(110)及び第2の光路(112)を備える。回折素子は、回折素子のピッチによって決まる光周波数において第2の光路を第1の光路に光学的に結合する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

可調光フィルタ(100, 200, 300)であって、

弾性基板(104)と、

前記弾性基板内のピッチを有する回折素子(102)と、

前記弾性基板を伸長して前記回折素子のピッチを制御するためのアクチュエータ手段(106)と、

第1の光路(110)と、

前記回折素子のピッチにより決まる光周波数において前記回折素子により前記第1の光路に光学的に結合される第2の光路(112)

10

を備える、可調光フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は可調(可変調整)光フィルタに関する。

【0002】

【従来の技術】

多周波光通信システム、例えば波長分割多重(WDM)や高密度波長分割多重(DWDM)光通信システムや他の多周波光学系では、しばしば、周波数が異なる多くの光信号の中から所与の周波数の光信号を選別する必要性が存在する。この種の光信号の選別の実行には、しばしば光フィルタが用いられる。しかしながら、薄膜フィルタや回折格子などの従来の光フィルタは通常、所与の光周波数(光学的周波数ともいう)または一定範囲の光周波数の光信号を選別する。ファイバ型プラグ回折格子(fiber Bragg grating)などの他の従来のフィルタは反射モードにおいてのみ機能し、その可調範囲は非常に狭い。これらの特性が、この種のフィルタを使用できるアプリケーションを制限している。さらに、可調エタロンフィルタは、それらを使用することのできるアプリケーションを制限する多数次応答(multiple-order response)の欠点を有する。かくして従来の光フィルタは通常、所望の光信号を素早くかつ再現可能に幅広い周波数範囲に亘って低コストかつ低エネルギー消費をもって選別する能力をもたない。さらに、従来の光フィルタは一般に反射モードでだけ作動し、多数次応答を有することがある。

20

【特許文献1】

米国特許第5,986,381号明細書

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

従って、取捨選択対象である光信号の周波数を素早くかつ再現可能に低コストでもって可変できる可調光フィルタが必要とされている。

【0004】

【課題を解決するための手段】

本発明は、弾性基板と、弾性基板内の回折素子と、弾性基板を伸長して回折素子のピッチを制御するためのアクチュエータと、第1の光路と第2の光路とを含む可調光フィルタを提供するものである。回折素子は、回折素子のピッチにより決まる光周波数にて第2の光路を第1の光路へ光学的に結合する。

40

【0005】

【発明の実施の形態】

図1Aは、本発明による可調光フィルタの第1実施形態100を示す。光フィルタは、弾性基板104に形成した回折格子102からなる。弾性基板は、弾性基板を伸長させて回折格子のピッチを決定するよう作動するアクチュエータ106に結合してある。加えて、光フィルタは入力光路110と出力光路112を備える。入力光路と出力光路は、回折格子のピッチにより決まる光周波数にて回折格子により光学的に結合される。出力光路と入

50

力端光路を光学的に結合する光周波数は、弹性基板を伸長させて回折格子のピッチを変更することで変えることができる。

【0006】

弹性基板104は、回折格子102を形成する弹性体の層である。図示の例では、弹性基板は周知技術である写真平板（印刷）により回折格子が形成されたフォトレジスト層である。フォトレジスト層は、金属や单結晶シリコンまたはガラスなどの弹性材料の薄い副層（または下位層。図示せず）で支えることができる。調整範囲をより拡張するため、プラスチックなどより小さなヤング率を有する材料を支持層として用いることもできる。弹性基板に回折格子を形成した後、基板の表面にアルミニウムや金などの金属の薄い層を被覆し、回折格子の反射率を増大させる。

10

【0007】

アクチュエータ106は、圧電チップ108からなる。圧電チップは、弹性基板104を接着する正面を有する。図示の例では、弹性基板は接着材層（図示せず）により圧電チップの正面に接着してある。これに代えて、弹性基板を他の方法でアクチュエータに取り付けることも可能である。例えば、フォトレジスト内に回折格子を形成する前に圧電チップの正面にフォトレジストを張り付ける（または引き延ばすように貼り付る）か、または塗布することができる。圧電チップ108の一部は固定されている。図示の例では、端部118を固定されている。圧電チップの残りの部分は、x方向に移動自在としてある。圧電チップで支持されるか、または圧電チップへ電界を印加するよう配置された電極（図示せず）が、コントローラ120に電気的に接続されている。コントローラは、導体121を介して圧電チップの電極へ印加する制御電圧を生成する。圧電チップは、制御電圧に比例してx方向に伸長する。圧電チップの伸長が、弹性基板104もまたx方向に伸長させる。

20

【0008】

入力光路110は、光ファイバ114と集束要素115からなる。出力光路112は、光ファイバ116と集束要素117からなる。図示の例では、集束要素115, 117として凸レンズを用いている。各集束要素には、追加的または代替的に凹面鏡や回析光学素子または追加のレンズを含めることができる。

【0009】

入力光路110では、光ファイバ114は可調光フィルタ100へ光信号を搬送する。集束要素115は、光ファイバ114により出力された光を回折格子102に当てる平行ビームに平行化する。

30

【0010】

出力光路112では、回折格子102により出力光路に向けて回折された光ビームを集束要素117が光ファイバ116の端部へ集束させる。光ファイバ116と集束要素117の組み合わせが、周波数選別アパーチャとして機能する。周波数選別アパーチャは、光ファイバ116へ入射する回折格子により回折された光の角度範囲を選別する。選別された角度範囲は、回折格子の所与のピッチにて入力光路から出力光路へ結合される光周波数の範囲に対応する。光周波数範囲の中心周波数は、回折格子のピッチによって決まる。周波数選別アパーチャの光周波数範囲は、回折格子の寸法及びピッチと、光ファイバ114の寸法と、集束要素115の寸法及び焦点距離と、光ファイバ116の寸法と、集束要素117の寸法及び焦点距離とに依存する。例えば、周波数選別アパーチャの光周波数範囲を、多周波光信号を構成する光信号の隣接するものどうし間の周波数間隔よりも狭くなるよう設計することができ、これにより可調光フィルタ100が出力光路を介する出力用に光信号を一度に一つだけ選択するようにすることができる。

40

【0011】

図1Aは、多周波光信号122を入力光路110を介して受け取る一実施形態を示す。多周波光信号の典型的な例は、波長分割多重（WDM）または高密度波長分割多重（DWDM）光信号である。図示の例では、多周波光信号は、それぞれが異なる光周波数を有する三つの同時存在する光信号124, 126, 128からなる。図面を単純化するため、三

50

つの光信号だけが図示してある。実際のWDM信号またはDWDM信号は、一般により多くの多数の光信号からなる。各光信号は、情報信号を表わすことができるよう変調されることができる。

【0012】

図1Aは、コントローラ120により圧電チップ108に印加された制御信号により圧電チップに最小の伸びを与えた状態の可調光フィルタ100を示す。この状態では、弾性基板104の伸長は最小であり、隣接する構造間の距離の観点からは回折格子102のピッチは最小である。一般に、この状態にあっては制御信号のレベルは零である。かかる制御信号は圧電チップを伸長させない。

【0013】

10
入力光路110は、多周波光信号122を可調光フィルタ100に送る。入力光路は、多周波光信号を回折格子102上へ導くよう配置されている。回折格子は、多周波光信号をその成分光信号124, 126, 128の光周波数に従って、それらの成分光信号へと角度的に分離し、最低周波数の光信号124は最大角度をもって回折させられる。回折格子のピッチが最小であるため、回折格子が光信号を回折する角度は最大である。

【0014】

出力光路112は、回折格子102が最小伸長したときに最低の光周波数を有する光信号124を受け取るよう配置されている。回折格子は、光信号126, 128を異なる角度でもって回折して、そのどちらも出力光路へは入射しないようにする。その結果、可調光フィルタ100は光信号124の光周波数においてのみ出力光路を入力光路へ結合し、光信号124を多周波光信号122から効果的に濾波する。

【0015】

可調光フィルタ100を調整して、最低の光周波数を有する光信号124とは異なる光周波数を有する光信号に対して出力光路と入力光路間の光学的結合をもたらすために、コントローラ120は図1Aにおいて印加されたものとは異なる制御信号を圧電チップ108の電極へ印加する。図1Bは、圧電チップの電極に印加される図1Aとは異なる制御信号を用いる可調光フィルタを示す。制御信号は、圧電チップ108を×方向すなわち矢印130の方向へ伸長させる。圧電チップの伸長が、それに結合した弾性基板104を伸長させる。弾性基板の伸長が、弾性基板に形成された回折格子102のピッチを図1Aに示した最小のピッチに対して増大させることになる。

【0016】

上述したように、回折格子102は、多周波光信号122をその成分光信号124, 126, 128の周波数に従って、それらの成分光信号へと角度的に分離する。最低周波数を有する光信号124は、最大の角度でもって偏向（または回折）させられる。しかしながら、回折格子のピッチは図1Aに示した最小のものよりも大であるため、その光信号を回折する角度は図1Aに示した最大のものよりも小である。図1Bに示した制御信号のレベルが、光信号126を出力光路112へ入射せしめる回折角度でもって回折格子が光信号126を回折するように回折格子のピッチを設定する。回折格子は異なる角度でもって光信号124, 128を回折して、これらの光信号のどれも出力光路内へ入射しないようにする。従って、可調光フィルタ100は光信号126の光周波数においてのみ入力光路に対し出力光路を結合し、多周波光信号122から光信号126を効果的に濾波する。

【0017】

同様に、コントローラ120は圧電チップ108に対し図1A, 1Bに図示したものとは異なるレベルの制御信号を印加し、回折格子をして最高周波数を有する光信号128を入力光路110から出力光路112へ光学的に結合させることができる。上記の三つの実施形態のそれぞれにおいて、回折格子はある1の光周波数、すなわち、回折格子のピッチによりそれぞれ決まる光信号124, 126, 128の光周波数にて出力光路を入力光路へ光学的に結合させる。

【0018】

上記の説明では、光路110, 112を便宜上それぞれ「入力光路」、「出力光路」と呼

10

20

30

40

50

んでいる。可調光フィルタ100は、入力光路として機能する光路112から選別した光周波数の光信号を、出力光路として機能する光路110へ選択的に結合するよう逆動作させることもできる。

【0019】

別の実施形態では、可調光フィルタ100は入力光路110または出力光路112と同様に構成した追加の光路(図示せず)を含む。回折格子102のピッチを出力光路112が光信号124を受け取るようなものにしたときは、追加の光路が光信号126を受け取るように配置される。この場合、回折格子は出力光路に入力光路を結合し、加えて追加の光路に入力光路を結合する。回折格子の異なるピッチでは、光信号124, 126とは異なる周波数を有する光信号が選択され、光路112と追加の光路を介して出力される。光フィルタには、さらに、他の、すなわち回折格子により回折されたより多くの光信号を受け取るよう配置された光路を含めることができる。

【0020】

上記した可調光フィルタ100の別の実施形態は、逆形式で動作させることができる。この場合、光路112は入力光路として動作し、光信号124と同じ光周波数を有する光信号を受信し、追加の光路が入力光路として機能し、光信号126と同じ光周波数を有する光信号を受信する。回折格子102は、そのピッチが図1Aに示したものに等しいときは、入力光路として機能する光路112を出力光路として機能する光路110へ結合し、さらに入力光路として機能する追加の光路を出力光路として機能する光路110へ結合する。回折格子は、光路112と追加の光路を介して受信した光信号を重ね合わせ、光路110を介して出力される多周波光信号を生成する。回折格子の異なるピッチでは、光信号124, 126と異なる周波数を有する光信号を重ね合わせ、光路110を介して出力させることができる。

【0021】

さらなる代替実施形態では、出力光路112は光信号124, 126, 128のうちの2以上を受信するのに十分な広さのアパー チャを有する。この場合、可調光フィルタは多周波光信号122から光周波数において隣接する光信号群を濾波する。

【0022】

可調光フィルタ100の調整範囲(可調範囲)は、制御信号の極性を反転可能とすることで増大させることができる。上記したように、圧電チップをx方向に伸長させるのとは反対の極性の制御信号により、圧電チップ108がx方向に収縮される。x方向に収縮する圧電チップが弾性基板104を負方向へ伸長させ、伸長も収縮もしない圧電チップで得られるピッチによりも回折格子102のピッチを減少させる。この種の実施形態では、弾性基板の伸長は最小となり、制御信号のレベルが逆方向に最大であるときに回折格子のピッチは最小となる。弾性基板の負方向伸長能力は、圧電チップに接着(または結合)する前に弾性基板を伸長させることで改善することができる。代替的には、極性を反転した制御信号を圧電チップに印加して圧電チップを収縮状態に設定し、圧電チップを収縮させたまま弾性基板を圧電チップに接着することもできる。

【0023】

図1A, 1Bに示した可調光フィルタ100は閉ループ動作する、すなわちコントローラは制御信号を所定値に設定して、回折格子が入力光路を出力光路へ光学的に結合する光周波数を設定する。これには、アクチュエータが、伸長特性に対し安定した反復可能な制御電圧を有する必要がある。閉ループ動作を行う可調フィルタの第2実施形態200を、ここで図2A, 2Bを参照して説明する。図1A, 1Bを参照して説明した可調フィルタ100の要素に対応する可調フィルタ200の要素には、同じ参照符号を用いており、ここで再度説明はしない。

【0024】

可調光フィルタ200はさらに、レーザ242と、光検出器アレイ244と、集束要素246, 248とを備える。レーザは入力光路110にほぼ沿って搭載してあるが、入力光路とはz方向に分離されている。集束要素246はレーザと回折格子102の間に配置し

10

20

30

40

50

てあり、レーザが出力した光を平行化して基準ビーム 250 を形成する。基準ビームは入力光路 110 により出力される多周波光信号 122 と平行に進行し、多周波光信号から z 方向に分離される。基準ビームは、多周波光信号が当たった部分から z 方向に離間した回折格子 102 の一部に当たる（すなわち、入射する）。回折格子は、基準ビームを回折基準ビーム 252 として回折させる。

【0025】

光検出器アレイ 244 は出力光路 112 に隣接配置してあるが、出力光路から z 方向へ離間させてある。集束要素 248 は、光検出器アレイと回折格子 102 の間に配置してある。集束要素は、回折基準ビーム 252 を光検出器アレイへ集束させる。検出器アレイは、導体 260 により閉ループコントローラ 258 の帰還入力端 256 に接続された電気的出力端 254 を含む。

【0026】

光検出器アレイ 244 は、多周波光信号 122 に含まれる各光信号に対応する光検出器（図示せず）を含む。回折格子のピッチが、回折格子がさらに各光信号 124, 126, 128（図 1A）を出力光路 112 へ回折させるピッチに等しいときは、回折基準ビーム 252 を回折格子が偏向（または回折）させる位置に各検出器を配置する。図 2A には、回折基準ビーム 252（実線）が示されているが、これは、回折格子のピッチが、回折格子が最低の光周波数を有する光信号 124 を出力光路 112 へさらに回折させるピッチに等しいときに回折格子により回折された基準ビームである。図 2A にはさらに、回折基準ビーム 262（破線）が示されているが、これは、回折格子のピッチが、回折格子が中間の光周波数を有する光信号 126（図 1A）を出力光路 112 へさらに回折させるピッチに等しいときに回折格子により回折された基準ビームである。回折基準ビーム 252, 262 は、光検出器アレイ 244 を構成する光検出器のうちの異なるものに入射する。

【0027】

光検出器アレイ 244 は、回折格子 102 により回折された基準ビーム 250 に応答して電気的帰還信号を生成する。帰還信号は、導体 260 を介して閉ループコントローラ 258 の帰還入力端 254 へ供給される。帰還信号は、回折された基準ビーム例えば 252 により照らされる（すなわち基準ビームが入射する）光検出器アレイの光検出器を少なくとも特定する。閉ループコントローラは帰還信号に応答して動作して、制御信号を生成し、この制御信号がアクチュエータ 106 をして光信号 124, 126, 128 のうちの所望の一つを出力光路 112 に偏向させるのに回折格子 102 が必要とする量だけ弾性基板 104 を伸長させる。

【0028】

光検出器アレイ 244 により生成された帰還信号はさらに、光検出器アレイの 1 以上の光検出器に入射する回折された基準ビーム（例えば 252）の強度を示して、閉ループコントローラ 258 が回折格子 102 をして光信号のうちの所望の一つを出力光路 112 へ偏向させる精度を増大させることができる。

【0029】

上記の可調光フィルタでは、回折格子 102 の散乱特性（または分散特性）によって、回折格子 102 により回折された光信号 124, 126, 128 が、対応する多周波光信号 122 の成分よりも大きな時間のばらつきを有するようになる。さらに、回折格子の回折効率は偏光に依存するため、回折格子は所与の光信号の TM 偏光成分と TE 偏光成分に対し異なる回折効率を有する。これにより、上記の可調光フィルタもまた偏光に依存するようになる。

【0030】

図 3A, 3B は、上述の実施形態の時間のばらつきと偏光感度が望ましくないアプリケーションに用いるための、本発明による可調光フィルタの第 3 実施形態 300 を示す。図 1A, 1B を参照して上記した可調光フィルタ 100 の要素に対応する可調フィルタ 300 の要素は同一の参照符号を用いて示しており、ここで再度説明はしない。可調光フィルタは、図 1A に示した状態に対応する状態で図示している。この状態とは、多周波光信号 1

10

20

30

40

50

22を構成する光信号124, 126, 128のうち光信号124が出力光路へ回折されるよう、アクチュエータ106が回折格子102のピッチを設定する状態である。

【0031】

可調光フィルタ300では、出力光路312は入力光路110にほぼ沿って配置されているが、入力光路から-z方向へ分離されている。光フィルタはさらに、ビーム反転選別器370と1/2波長板372を含む。ビーム反転選別器は、図1A及び2Aに示した実施形態における出力光路112の位置にほぼ配置されており、回折格子102により回折された光を受光する。ビーム反転選別器は、回折格子から受光した一定角度範囲の光を選別し、選別した角度範囲の光を回折格子へ戻すよう構成してある。ここで、回折格子は、ビーム反転選別器から受光した光を出力光路312へ回折する。1/2波長板が、ビーム反転選別器と回折格子102の間の光路中に配設されており、回折格子102により規定されるTEモードとTMモードに対してその主軸が45°をなす状態で配向してある。

10

【0032】

図示の例では、ビーム反転選別器370が回折格子102により回折された光信号124, 126, 128を受信する。ビーム反転選別器は、光信号124, 126, 128の角度範囲を選別する。そうすることで、ビーム反転選別器は上記の周波数選別アーチャとして機能し、回折格子が所与のピッチで入力光路と出力光路の間を結合する光周波数の範囲をこのアーチャが決定する。図示の実施形態では、ビーム反転選別器が光信号124を選択し、光信号124を回折格子102へ戻す。回折格子に戻る途中で、光信号124は1/2波長板372を通過する。回折格子は、光信号124を二度回折する。第2の回折では、光信号124が出力光路312に入射できるようにする角度でもって回折格子が光信号124を回折する。第2の回折はさらに、第1の回折により引き起こされた時間的かつ空間的な散乱を反転させることになる。

20

【0033】

第1の回折により引き起こされた時間的かつ空間的な散乱を反転するための回折格子102による光信号124の第2の回折に関して、図3A, 3Bに示した実施形態におけるビーム反転選別器370の一部を構成するコーナーレフレクター374は、その反射面間の交差線が、または反射面が交差しない場合は反射面の横方向の延長間の交差線が、回折格子102の線と直交するよう配向されている。これにより、交差線は回折格子の散乱面と平行に配列される。上述したものとはかなり異なる配向により、第2の回折における時間的かつ空間的な散乱が増大することになる。この種の増加した時間的かつ空間的な散乱は、多くのアプリケーション(用途)にとって望ましいものではない。

30

【0034】

主軸を上述の如く配向した1/2波長板372は、光信号124のTE偏光成分とTM偏光成分を回折格子102による光信号124の第2の回折へ向け交換する。TE成分とTM成分の交換により、二つの偏光成分に対する回折格子の回折効率におけるいかなる差異も補償される。従って、光信号124の第2の回折において、TM成分とTE成分は第1の回折に対して交換され、これにより回折効率における差異が等しくされ、第1の回折のそれとは逆になる。これによって、可調光フィルタ300は偏光とは無関係なものとなる。

40

【0035】

図3Aに図示した実施形態では、ビーム反転選別器370はコーナーレフレクター374とスリット376と集束要素378, 380からなる。コーナーレフレクターは、コーナーレフレクター上の光信号124の入射角度がほぼ直角となるよう傾斜させてある。コーナーレフレクターは、図3Bに示した如く、多周波光信号122が入射する回折格子の一部から-z方向に変位された回折格子102の一部へ光信号124を戻す。スリット376は、コーナーレフレクターの反射要素の中間に配置されている。集束要素378は、光ビーム124をスリット上に集束するよう構成され配置されている。集束要素380は、スリットから分岐する光ビーム124を平行化するよう構成され配置されている。

【0036】

50

光信号 126, 128 が集束要素 378 を通過し、コーナーレフレクター 374 により反射される限り、これらの光信号はスリット 376 の長手方向と直交する方向にスリット 376 からオフセットする（すなわちずれる）。従って、これらの光信号はスリットを通過しない。スリットは光信号 124 だけを選択し、光信号 124 だけがコーナーレフレクター 374 によって再度反射され、回折格子 102 により出力光路 322 へ回折させられる。図 1 B に示したものに対応する状態では、光信号 124 はスリットからオフセットし、光信号 126 がスリットを通過し、コーナーレフレクター 374 により再度反射され、回折格子 102 により出力光路 322 へ回折される。

【0037】

図示の例では、コーナーレフレクター 374 は互いに直交するように配置された平面鏡 382 と 384 からなる。平面鏡は、コーナーレフレクターの反射面をもたらす。平面鏡は、上記したように、回折格子 102 の線に直交する横方向の延長部との間の交差線に整列配置される。スリット 376 は、両方の鏡の面に対し 45° で配置された面 386 内に画定される。平面鏡に代えて、当該技術分野で既知のプリズムを用いることもできる。凹面鏡は、集束要素と平面鏡との各組み合わせ、例えば集束要素 378 と平面鏡 382 の組み合わせで置換することができる。

【0038】

図 3 C, 3 D は、ビーム反転選別器 370 の代替実施形態を組み込んだ可調フィルタ 300 の一部を示す。可調光フィルタは、光信号 124 が出力光路内へ回折される図 1 A に示したものに対応する状態で示してある。この実施形態では、ビーム反転選別器は U 字形光ファイバ 390 の導波路と集束要素 378, 380 とからなる。この実施形態はまた、1/2 波長板 372 を含むものとして示されている。

【0039】

回折格子が図 3 A に示したものと対応する状態にあるとき、光導波路 390 は光信号 124 の光路に整列配置される。光導波路の端部は、集束要素 378, 380 の集束点に配置してある。光導波路のコアは、ビーム選別を実行する。図示の回折格子の状態では、光信号 124 はそれが光導波路のコアに入射できるようにする角度でもって回折される。光信号 126, 128 が集束要素 378 を通過する限り、かかる信号は光導波路の長手方向の軸と直交する方向に光導波路のコアからオフセットし、それ故に光導波路のコア内に入射はしない。その結果、光信号 124 だけが光導波路により伝送され、光導波路を介して回折格子 102 へ向け再照射される。回折格子による回折の後、光信号 124 は出力光路 322 へ入射する。

【0040】

図示の実施形態では、光ファイバは光導波路 390 として図示してある。1/2 波長板 372 を含む実施形態では、光ファイバは偏光維持型光ファイバ（PMF）である。代替的には、適切な基板上に形成した U 字形導波路を光導波路として用いることもできる。光導波路の主軸は、回折格子 102 の主軸に整列配置される。さらに、光導波路の曲率を光導波路用に規定された最小曲げ半径よりも大きくして、ファイバのモード間結合を防止している。

【0041】

調整した光フィルタ 300 にはさらに、図 2 A, 2 B を参照して上述した閉ループコントローラ 258 とそれに関連するレーザ 242 と検出器アレイ 244 を含めることができる。

【0042】

図 4 A ~ 4 E は、アクチュエータ 106 のいくつかの例示的代替実施形態を組み込んだ本発明による可調光フィルタの実施形態を示す。図 1 A を参照して説明した可調光フィルタ 100 の要素に対応する図 4 A ~ 4 E に示した可調光フィルタの要素は、同じ参照符号を用いて示しており、ここで再度説明はしない。図 1 A に示した入力光路 110 と出力光路 112 とコントローラ 120 は、図面を簡略なものとするため図 4 A ~ 4 E では省略してある。図 4 A ~ 4 E に示した実施形態にはさらに、図 2 A 及び 2 B を参照して説明した閉

10

20

30

40

50

ループコントローラ 258 及びそれに関連するレーザ 242 及び検出器アレイ 244 と、図 3A 及び 3B を参照して説明したビーム反転選別器 370 及びそれに関連する要素、のうちの一方又は両方を含めることができる。

【0043】

第 2 の実施形態のアクチュエータ 106 を組み込んだ本発明による可調光フィルタの一実施形態 400 を、ここで図 4A を参照するとともに図 1A を併せて参照して説明する。アクチュエータは、圧電チップ 402 からなる。圧電チップと、回折格子 102 が形成された弾性基板 104 は、基部 406 と支持体 408 を含む L 字形フレーム 404 に搭載されている。弾性基板 104 の端部 410 と圧電チップ 402 の端部 412 は、支持体 408 に固定される。結合要素 414 は、端部 410 の対向遠端である弾性基板の端部 416 を端部 412 の対向遠端である圧電チップの端部 418 に結合される。圧電チップの端部 418 は、x 方向に移動自在としてあり、結合要素 414 を介して弾性基板 104 の端部 416 の x 方向における位置を決定する。圧電チップにより支持されるか、または圧電チップに電界を印加するように配置された電極（図示せず）が、コントローラ 120 に電気的に接続される。

【0044】

コントローラ 120 により印加された制御信号が圧電チップに最小の伸びを与えるときに、回折格子 102 のピッチは最小になり、回折格子は最低の光周波数を有する光信号 124 を出力光路 112 内へ回折する。光信号 124 とは異なる光信号を出力光路内へ回折するように回折格子を設定するために、コントローラはレベルの異なる制御信号を電極へ印加する。圧電チップは、制御信号に応答して x 方向へ伸長する。結合要素 414 が圧電チップの伸長を結合して弾性基板 104 を伸長させ、前述の如く、基板内に形成された回折格子 102 のピッチを増大させる。

【0045】

第 3 の実施形態のアクチュエータ 106 を組み込んだ本発明による可調光フィルタの一実施形態 500 を、図 4B を参照するとともに図 1A を併せて参照して説明する。アクチュエータは、圧電チップ 502 からなる。圧電チップと弾性基板 104 は U 字形フレーム 504 内に取り付けられており、このフレームには基部 506 と基部からこれにほぼ直交して互いに平行に延びる支持体 508, 510 が含まれる。回折格子 102 が形成された弾性基板 104 の端部 410 は支持体 508 に固定されており、端部 410 の対向遠端である弾性基板の端部 416 は圧電チップの端部 512 に結合されている。端部 512 の対向遠端である圧電チップの端部 514 は、支持体 510 に固定されている。圧電チップの端部 512 と弾性基板 104 の端部 416 の間の接合は、x 方向に移動自在とされている。圧電チップにより支持されるか、または、圧電チップに電界を印加するように配置された電極（図示せず）が、コントローラ 120 に電気的に接続される。

【0046】

コントローラ 120 により電極に印加された制御信号が圧電チップ 502 に最小の収縮を与えるときに、回折格子 102 のピッチは最小になり、回折格子は、最低の光周波数を有する光信号 124 を出力光路 112 へ回折する。光信号 124 とは異なる光信号を出力光路へ回折するように回折格子を設定するために、コントローラはレベルの異なる制御信号を電極に印加する。圧電チップは、制御信号に応答して x 方向に収縮する。圧電チップの収縮が弾性基板 104 を伸長し、前述の如く、基板内に形成された回折格子 102 のピッチを増大させる。

【0047】

第 4 の実施形態のアクチュエータ 106 を組み込んだ本発明による可調光フィルタの一実施形態 600 を、図 4C を参照するとともに図 1A を併せて参照して説明する。アクチュエータは、リニアモータ 602 からなる。図示の例では、リニアモータはトランスレータ（並進器または変換器または中継器）604 とステータ 606 からなる静電モータである。適切なリニア静電ステップモータの一例が、本願の譲受人に譲渡された、Hoen 他による米国特許第 5,986,381 号に記載されているが、その開示内容を参照により本明

10

20

30

40

50

細書に組み込むものとする。トランスレータは、高アスペクト比の折曲梁可撓体（または折返しビーム可撓体。folded-beam flexure）608によりステータに対して搭載されている。可撓体は、トランスレータをx方向に自由に移動できるようにしているが、y方向とz方向にはトランスレータの動きを制限している。

【0048】

z方向に延びx方向に配列された電極が、幅狭のギャップで互いに離間された、トランスレータ604とステータ606の対向面に配置されている。コントローラには電極が電気的に接続されており、トランスレータ上に空間的に交番する電圧パターンが、及び、ステータ上にn個の電極ごとに位相反転する空間的に交番する電圧パターンが確立される。例示的なトランスレータ電極が610で示されており、例示的なステータ電極が612で示されている。n個のステータ電極の各々に対して、n-1個（または、n個乃至1個のいずれか）のトランスレータ電極が存在する。

【0049】

他の形式の静電式や電磁式またはその他のリニアモータを、リニアモータ602として代替的に用いることもできる。

【0050】

リニアモータ602と、回折格子102が形成された弾性基板104は、U字形フレーム614内に搭載されている。U字形フレームは、基部616と基部からこれにほぼ直交して互いにほぼ平行に延びる支持体618, 620からなる。結合部材622は、トランスレータ604に結合されている。

【0051】

弾性基板104の端部410が、支持体618に取り付けられている。端部410の対向遠端である弾性基板の端部416が、結合部材622に取り付けられている。結合部材はトランスレータに対して位置決めされており、これにより、可撓体608により規定されるトランスレータ604の休止位置においてトランスレータは基板に対して最小の張力を及ぼす。この状態では、回折格子102のピッチは最小であり、回折格子が最低の光周波数を有する光信号124を出力光路112へ回折する。

【0052】

最低の光周波数を有する光信号124とは異なる光信号を出力光路112へ回折するように回折格子102を設定するために、コントローラはステータ電極に印加される電圧パターンを変更して、ステータ606に沿って位相反転をステップ駆動する（ステップ状に進ませる）。これが、トランスレータ604をx方向へ移動させる。トランスレータをx方向へ移動させることで、弾性基板104が伸長し、前述の如く、基板内に形成された回折格子102のピッチを増大させる。

【0053】

第5の実施形態のアクチュエータ106を組み込んだ本発明による可調光フィルタの一実施形態700を、図4Dを参照するとともに図1Aを併せて参照して説明する。アクチュエータは、回転モータ702と回転-直線動き変換器704からなる。回転モータの入力部は、コントローラ120に接続されている。回転モータの出力軸706は、動き変換器に対して原動力を供給する。動き変換器は出力軸の回転運動を変換してアクチュエータリンク708をx方向へ直線的に移動させる。機械式や油圧（または水圧）式や空圧式または他のタイプの動き変換器を用いることもできる。

【0054】

回転モータ702と、動き変換器704と、回折格子102が形成された弾性基板104は、L字形フレーム710内に搭載されている。L字形フレームは、基部712と基部からこれにほぼ直交して延びる支持体714からなる。回転モータと動き変換器は、基部に搭載されている。

【0055】

回折格子102が形成された弾性基板104の端部410は支持体714に固定されており、端部410の対向遠端である弾性基板の端部416はアクチュエータリンク708に

10

20

30

40

50

結合されている。アクチュエータリンクは、基板に対し最小の張力を及ぼす休止位置を有する。アクチュエータリンクの休止位置にあっては、回折格子のピッチは最小であり、回折格子は最低の光周波数を有する光信号 124 を出力光路 112 へ回折する。

【0056】

光信号 124 とは異なる光信号を出力光路 112 へ偏向するように回折格子 102 を設定するために、コントローラは制御信号を回転モータ 702 へ給送する。制御信号により、回転モータは出力軸 706 を回転させ、動き変換器 704 が出力軸の回転運動をアクチュエータリンク 708 の x 方向の直線運動に変換する。アクチュエータリンクの運動が弾性基板 104 を伸長させ、前記の如く、基板に形成された回折格子 102 のピッチを増大させる。

10

【0057】

弾性基板を図 4A に示した圧電チップ 402 に搭載するのと同様なやり方で、弾性基板 104 を回転モータ 702 と動き変換器 704 上に搭載することで、よりコンパクトな構成を得ることができる。

【0058】

第 6 の実施形態のアクチュエータ 106 を組み込んだ本発明による可調光フィルタの一実施形態 800 を、図 4E を参照するとともに図 1A を併せて参照して説明する。アクチュエータは、弾性基板 104 に熱的かつ機械的に結合され、かつ、コントローラ 120 の出力端から制御信号を受信するように接続された電気的加熱素子（または電気的発熱体）802 からなる。

20

【0059】

一例では、弾性基板 104 は、回折格子 102 を V 字形の溝の列としてエッチングした低導電率単結晶シリコンのチップ 804 である。電気的加熱素子は、チップの背面 806 を低抵抗熱係数を有する金属層で被覆することにより形成される。この層は、加熱素子 802 として細長い蛇行する導電線を形成するためにパターン形成される。シリコン上にパターン形成された金属層を蒸着（または付着）する工程は、当該技術分野において既知であり、ここで説明はしない。

【0060】

代替的には、加熱素子はチップの背面 806 に適切な不純物を拡散させて、チップの残りの部分よりも高い導電性を有する細長い蛇行チャンネル半導体材料を形成することによって、シリコンチップ 804 内に形成することもできる。シリコン内に増大した導電率をもつ領域を形成する工程は、当該技術分野で既知であり、ここで説明はしない。さらなる代替例として、加熱素子 802 を支持する追加基板（図示せず）か、または中に加熱素子が製作される追加基板（図示せず）を、弾性基板 104 に結合（または接着）することもできる。弾性基板と追加基板は、互いに異なる材料とすることができる。さらにこれらの基板の一方または両方を、単結晶シリコンとは異なる材料とすることもできる。

30

【0061】

電気的加熱素子 802 及び回折格子 102 が形成された弾性基板 104 は、U 字形フレーム 810 に取り付けられる。U 字形フレームは、基部 812 と基部からそれにほぼ直交して互いに平行に延びる支持体 814, 816 からなる。

40

【0062】

回折格子 102 が内部に形成された弾性基板 104 を提供するチップ 804 の端部 410 は、支持体 814 に固定される。端部 410 の対向遠端であるチップの端部 416 は、高アスペクト比の折曲梁可撓体 808 を画定する形状とされる。可撓体は端部 416 を x 方向へ移動自在とするが、y 方向と z 方向の端部 416 の動きは制限される。別個のコンポーネントを、屈曲可撓体 808 として代替使用することもできる。屈曲可撓体以外の他の要素を、チップ 804 の端部 416 の支持に代替使用することもできる。

【0063】

コントローラ 120 は加熱素子 802 を加熱し、それによって回折格子 102 が最小伸長し、回折格子 102 のピッチが最小となる温度へチップ 804 を加熱するレベルの制御信

50

号を生成する。この状態では、回折格子は最低の光周波数を有する光信号 124 を出力光路 112 へ回折させる。光信号 124 とは異なる光信号を出力光路へ回折するように回折格子を設定するために、コントローラは加熱素子を介して異なるレベルの制御信号を給送する。加熱素子がチップ 804 の温度を上昇させ、この温度上昇に比例してチップを X 方向に伸長させる余計な熱を放散する。これにより、前述の如く、基板内に形成される回折格子 102 のピッチが増大する。

【0064】

1 以上のダイオード（図示せず）を、チップ 804 内に追加的に製作することもできる。コントローラ 120 は、ダイオードを介して電流を供給することができ、ダイオードにかかる電圧を計測してチップの温度を割り出すことができる。この場合、コントローラは加熱素子を介して電流を給送し、チップ温度をダイオード両端で計測した電圧によって示される所望の温度に設定する。所望の温度では回折格子のピッチは、回折格子が所望の光信号を出力光路へ回折するように設定される。加えてまたはこれに代えて、図 2A, 2B を参照して上記した配置構成を格子 102 のピッチの閉ループ制御をもたらすのに用いることもできる。

【0065】

本発明を、多周波光信号を回折格子で回折する例を参照して説明してきた。しかしながら、これは本発明にとって必要不可欠ではない。回折格子は回折素子の一例であり、入力光路により搬送される光信号を、回折光素子やホログラムといった他のタイプの回折素子によって回折させることもできる。

【0066】

本発明を、多周波光信号がそれぞれ異なる光周波数の 2 以上の同時存在する複数の光信号からなるという意味において、多周波光信号が「複数周波数」である例を参照して説明してきた。この種の多周波光信号の例には、WDM 光信号や DWDM 光信号が含まれる。多周波光信号が複数の同時存在する光信号からなるときは、回折格子 102 は、多周波光信号の一部を出力光路へ結合、すなわち多周波光信号を構成する 1 (又はそれ以上) の光信号を出力光路へ結合する。出力光路に結合された光信号のうちの一つの光周波数は、回折格子のピッチによって決まる。

【0067】

しかしながら、多周波光信号が多数の同時存在する光信号からなることは本発明にとって必要不可欠ではない。代替的には、多周波光信号が一度にわずか一つの光信号で構成され、一つの光信号が異なる時間に異なる光周波数を有し得るという意味で複数周波数とすることもできる。多周波光信号が一度にわずか一つの光信号からなるときは、弾性基板 104 を伸長するアクチュエータ 106 により回折格子 102 のピッチが適切に設定されたときには、回折格子 102 は、光信号全体を出力光路へ結合する。

【0068】

本発明を、回折格子が反射により動作する例を参照して説明してきた。しかしながら、このことは本発明にとって必要不可欠ではない。出力光路を適切に再配置することで、回折格子は透過により動作することができる。この場合、回折格子が形成された基板は光学的に透明であり、基板表面には反射性の金属フィルムは適用されない。

【0069】

本明細書及び図面は、例示的な実施形態を用いて本発明を詳細に説明するものである。しかしながら、特許請求の範囲により規定される本発明は、説明した実施形態そのものに限定されないことは言うまでもない。

【0070】

以下においては、本発明の種々の構成要件の組み合わせからなる例示的な実施態様を示す。

1. 可調光フィルタ (100, 200, 300) であって、

弾性基板 (104) と、

前記弾性基板内のピッチを有する回折素子 (102) と、

10

20

20

30

40

50

前記弾性基板を伸長して前記回折素子のピッチを制御するためのアクチュエータ手段（106）と、

第1の光路（110）と、

前記回折素子のピッチにより決まる光周波数において前記回折素子により前記第1の光路に光学的に結合される第2の光路（112）

を備える、可調光フィルタ。

2. 上項1記載の可調光フィルタであって、

前記第1の光路が前記回折素子の所与のピッチで前記第2の光路に光学的に結合されるところの光周波数とは異なる光周波数で、前記回折素子により前記第1の光路に光学的に結合される第3の光路をさらに備える、可調光フィルタ。

10

3. 上項1又は2記載の可調光フィルタであって、

前記アクチュエータ手段を制御するために接続されたコントローラ（258）と、

前記第1の光路の近傍に配置されて、基準光ビーム（250）で前記回折素子を照射する光源（242）と、

前記第2の光路の近傍に配置されて、前記回折素子によって回折された前記基準光ビームを受け取る光検出器アレイ（244）と、

前記光検出器アレイから前記コントローラへの電気的接続（260）
をさらに備える、可調光フィルタ。

4. 上項1, 2, 3のいずれかに記載の可調光フィルタであって、

前記アクチュエータ手段が、

20

前記弾性基板が結合される主面を備える圧電チップ（106）と、

前記弾性基板に機械的に結合された圧電チップ（402, 502）と、

前記弾性基板に機械的に結合されたモータ（602, 702）と、

前記弾性基板に熱的に結合された発熱体（802）

とのうちの一つを備える、可調光フィルタ。

5. 上項1乃至4のいずれかに記載の可調光フィルタであって、

前記回折素子によって回折された光を受光光として受け取るように配置され、かつ、ある角度範囲にある受光光を被選別光として選別して、前記被選別光を前記回折素子へ戻して出力光路へ回折させるように構成されたビーム反転選別器（370）をさらに備える、可調光フィルタ。

30

6. 上項5に記載の可調光フィルタであって、

前記ビーム反転選別器と前記回折素子の間に配置された1/2波長板（372）をさらに備える、可調光フィルタ。

7. 上項5又は6に記載の可調光フィルタであって、

前記ビーム反転選別器が、

二つの反射面を備えるコーナーレフレクター（374）と、

前記反射面間に配置されたスリット（376）

を備えることからなる、可調光フィルタ。

8. 上項5又は6に記載の可調光フィルタであって、

前記ビーム反転選別器がほぼU字形をなす一定長の光ファイバ（390）を含む、可調光フィルタ。

40

9. 上項7又は8に記載の可調光フィルタであって、

前記ビーム反転選別器がさらに、

前記受光光を集束させるように構成された第1の集束要素（378）と、

前記被選別光を平行化するように構成され第2の集束要素（380）

を含むことからなる、可調光フィルタ。

【0071】

本発明の可調光フィルタは、弾性基板（104）、弾性基板内の回折素子（102）、弾性基板を伸長させて回折素子のピッチを制御するためのアクチュエータ（106）、第1の光路（110）及び第2の光路（112）を備える。回折素子は、回折素子のピッチに

50

よって決まる光周波数において第2の光路を第1の光路に光学的に結合する。

【0072】

【発明の効果】

本発明によれば、選択すべき光信号の周波数を、迅速かつ再現性よく変更することが可能な低コストの可調光フィルタを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】Aは第1のレベルを有する制御信号をアクチュエータに印加した状態における本発明による可調光フィルタの第1実施形態の概略側面図、Bは第2のレベルを有する制御信号をアクチュエータに印加した状態における本発明による可調光フィルタの第1実施形態の概略側面図である。

【図2】Aは本発明による可調光フィルタの第2実施形態の概略側面図、Bは本発明による可調光フィルタの第2実施形態の概略平面図である。

【図3】Aは本発明による可調光フィルタの第3実施形態の概略側面図、Bは本発明による可調光フィルタの第3実施形態の概略平面図、Cはビーム反転選別器の代替実施形態を示すAに示した可調光フィルタの第3実施形態の一部の概略側面図、Dはビーム反転選別器の代替実施形態を示すAに示した可調光フィルタの第3実施形態の一部の概略平面図である。

【図4】A乃至Eはアクチュエータの代替実施形態を示す本発明による可調光フィルタの追加の実施形態の一部の概略側面図である。

【符号の説明】

100, 200, 300 可調フィルタ

102 回折格子

104 弹性基板

106 アクチュエータ

108 圧電チップ

110 入力光路

112 出力光路

116 光ファイバ

117 集束要素

120 コントローラ

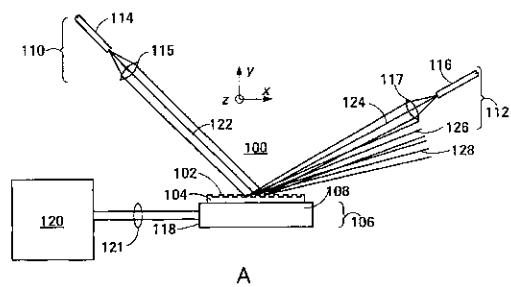
122 多周波光信号

10

20

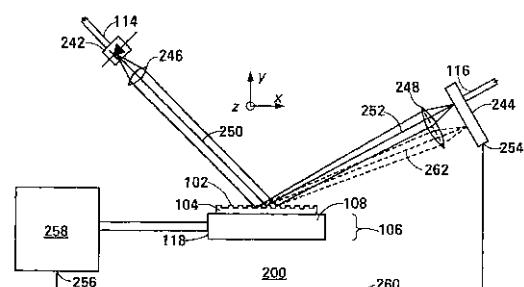
30

【図1】

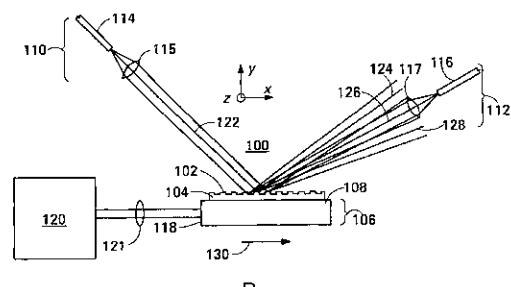


A

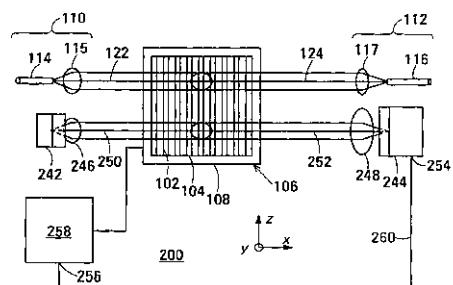
【図2】



A

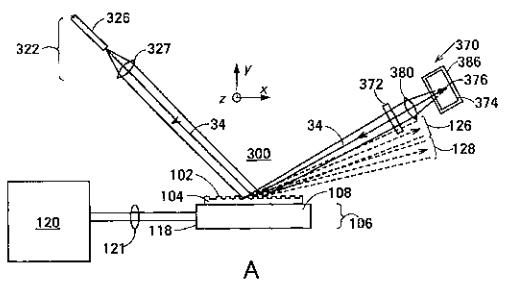


B

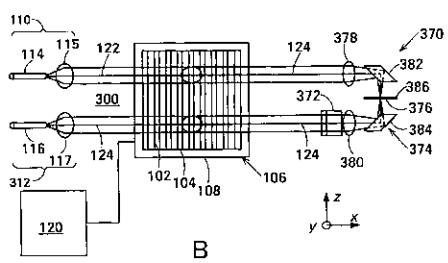


B

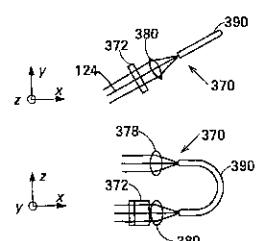
【図3】



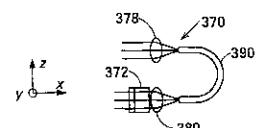
A



B

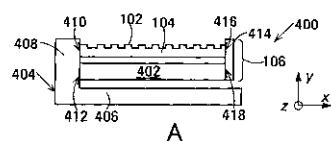


C

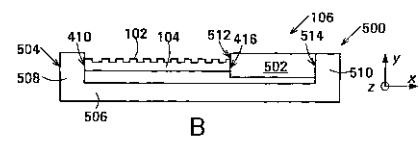


D

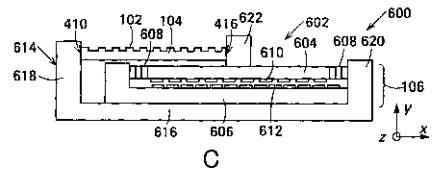
【図4】



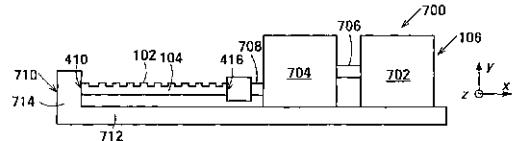
A



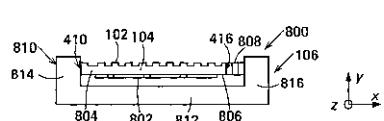
B



C



D



E

フロントページの続き

(72)発明者 ケネス・アール・ワイルドナウアー

アメリカ合衆国カリフォルニア州95404-2207, サンタローザ, マードック・ドライブ・
2478

(72)発明者 イアン・ハードキャッスル

アメリカ合衆国カリフォルニア州94087, サニーベイル, アリソン・ウェイ・814

(72)発明者 トーマス・エル・マイクス

アメリカ合衆国マサチューセッツ州01431, アシュビー, ベネット・ロード・149

F ターム(参考) 2H041 AA21 AB38 AC08 AZ02 AZ05

2H049 AA07 AA13 AA58 AA59 AA64 AA66 AA68