

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6172928号
(P6172928)

(45) 発行日 平成29年8月2日(2017.8.2)

(24) 登録日 平成29年7月14日(2017.7.14)

(51) Int.Cl.	F 1
GO2B 6/35 (2006.01)	GO2B 6/35
GO2B 26/08 (2006.01)	GO2B 26/08
GO2B 6/34 (2006.01)	GO2B 6/34
GO2B 6/32 (2006.01)	GO2B 6/32

請求項の数 23 外国語出願 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2012-272107 (P2012-272107)
(22) 出願日	平成24年12月13日(2012.12.13)
(65) 公開番号	特開2013-125278 (P2013-125278A)
(43) 公開日	平成25年6月24日(2013.6.24)
審査請求日	平成27年11月9日(2015.11.9)
(31) 優先権主張番号	13/325,555
(32) 優先日	平成23年12月14日(2011.12.14)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	510021199 ニスティカ、インコーポレーテッド アメリカ合衆国 ニュージャージー州 8807, ブリッジウォーター, 745 ルート 202-206
(74) 代理人	100108453 弁理士 村山 靖彦
(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆
(74) 代理人	100110364 弁理士 実広 信哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】デジタルマイクロミラーデバイス(DMD)を用い、波長依存損失が低減した光学処理デバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の空間的に分離された波長成分を有する光ビームを受け取り、前記複数の波長成分をそれぞれの波長に依存する仕方で回折するための作動可能光学素子と、

前記光ビームを前記作動可能光学素子に導く補償光学素子であって、前記波長成分が前記作動可能光学素子によって回折される前記それぞれの波長に依存する仕方によって引き起_こされる、回折される波長成分の光結合損失を低減する補償光学素子と、
を備えることを特徴とする光学配置。

【請求項 2】

前記光ビームを受け取るための少なくとも2つの光入力/出力ポートをさらに備え、前記作動可能光学素子が、前記回折される波長成分の少なくとも1つを前記光入力/出力ポートの1つに選択的に導くことを特徴とする請求項1に記載の光学配置。

【請求項 3】

前記複数の波長成分をコリメートするためのコリメート用光学素子をさらに備え、前記作動可能光学素子が、前記波長成分を選択的に反射するための個々の作動可能ミラー素子のアレイを有するデジタルマイクロミラーデバイス(DMD)を含み、前記補償光学素子が設けられない場合には、前記コリメート用光学素子と前記DMDとの間の光路長が波長成分によって異なるようにミラーの前記アレイが向きを定められ、前記光路長が各波長成分について等しい長さであるように前記補償光学素子が前記光路長を調整することを特徴とする請求項1に記載の光学配置。

【請求項 4】

前記波長成分が前記作動可能光学素子によって回折される前記それぞれ波長に依存する仕方を補償するように構成される少なくとも1つの表面を前記補償光学素子が含むことを特徴とする請求項1に記載の光学配置。

【請求項 5】

前記表面が、円柱形状であることを特徴とする請求項4に記載の光学配置。

【請求項 6】

前記表面が、ゼルニケ多項式の第5項に適合する形状を有することを特徴とする請求項4に記載の光学配置。

【請求項 7】

前記複数の波長成分をコリメートするためのコリメート用光学素子をさらに備え、前記補償光学素子が、少なくとも1つの屈折および/または反射面を含み、さらに前記波長成分が前記作動可能光学素子に合焦するように前記コリメート用光学素子と前記作動可能光学素子との間で前記波長成分が経験する光路長を調整するように構成されることを特徴とする請求項4に記載の光学配置。

【請求項 8】

前記補償光学素子がプリズムを含むことを特徴とする請求項7に記載の光学配置。

【請求項 9】

前記少なくとも2つの入力/出力ポートが、少なくとも1つの入力光ビームを受け取り、虚焦点に合焦して、光ビームを出力するように構成される光学的ローンチ装置を含む、請求項2に記載の光学配置。

【請求項 10】

前記光学的ローンチ装置が、光ファイバーのアレイを固定するためのファイバーアセンブリと、前記アレイの各光ファイバーと位置合わせされている一対のコリメート用レンズを備える第1の表面およびコリメート用レンズの各対と位置合わせされている結合レンズを備える第2の表面を有する非対称小型レンズアレイとを含むことを特徴とする請求項9に記載の光学配置。

【請求項 11】

光ビームを受け取るための少なくとも2つの光入力/出力ポートと、

前記光ビームを前記光入力/出力ポートの1つから受け取り、前記光ビームを複数の波長成分に空間的に分離する分散素子と、

前記複数の波長成分をコリメートするためのコリメート用レンズと、

前記コリメートされた波長成分を前記コリメート用レンズから受け取り、前記複数の波長成分をそれぞれの波長に依存する仕方で回折するための作動可能光学素子と、

前記分散素子と前記作動可能光学素子との間の光路に置かれる補償光学素子であって、前記波長成分が前記作動可能光学素子によって回折される前記それぞれ波長に依存する仕方によって引き起こされる回折される波長成分の光結合損失を前記補償光学素子が低減する補償光学素子と、

を含むことを特徴とする光学処理デバイス。

【請求項 12】

前記作動可能光学素子が、前記回折される波長成分の少なくとも1つを前記光入力/出力ポートの1つに選択的に導くことを特徴とする請求項11に記載の光学処理デバイス。

【請求項 13】

前記作動可能光学素子が、前記波長成分を選択的に反射するための個々の作動可能ミラー素子のアレイを有するデジタルマイクロミラーデバイス(DMD)を含み、前記補償光学素子が設けられない場合には、前記コリメート用レンズと前記DMDとの間の光路長が波長成分によって異なるようにミラーの前記アレイが向きを定められ、前記光路長が各波長成分について等しい長さであるように前記補償光学素子が前記光路長を調整することを特徴とする請求項11に記載の光学処理デバイス。

【請求項 14】

10

20

30

40

50

前記波長成分が前記作動可能光学素子によって回折される前記それぞれ波長に依存する仕方を補償するように構成される少なくとも1つの表面を前記補償光学素子が含むことを特徴とする請求項11に記載の光学処理デバイス。

【請求項15】

前記表面が、円柱形状である、請求項14に記載の光学処理デバイス。

【請求項16】

前記表面が、ゼルニケ多項式の第5項に適合する形状を有する、請求項14に記載の光学処理デバイス。

【請求項17】

前記補償光学素子が、少なくとも1つの屈折および/または反射面を含み、さらに前記波長成分が前記作動可能光学素子に合焦するように前記コリメート用レンズと前記作動可能光学素子との間で前記波長成分が経験する光路長を調整するように構成されることを特徴とする請求項14に記載の光学処理デバイス。 10

【請求項18】

前記補償光学素子が、プリズムを含むことを特徴とする請求項17に記載の光学処理デバイス。

【請求項19】

前記少なくとも2つの入力/出力ポートが、少なくとも1つの入力光ビームを受け取り、虚焦点に合焦して、光ビームを出力するように構成される光学的ローンチ装置を含むことを特徴とする請求項11に記載の光学処理デバイス。 20

【請求項20】

前記光学的ローンチ装置が、光ファイバーのアレイを固定するためのファイバーアセンブリと、前記アレイの各光ファイバーと位置合わせされている一対のコリメート用レンズを備える第1の表面およびコリメート用レンズの各対と位置合わせされている結合レンズを備える第2の表面を有する非対称小型レンズアレイとを含むことを特徴とする請求項19に記載の光学処理デバイス。

【請求項21】

複数の空間的に分離された波長成分をそれぞれの波長に依存する仕方で作動可能光学素子を使って回折するステップと、

前記波長成分が前記作動可能光学素子によって回折される前記それぞれ波長に依存する仕方によって引き起こされる回折される波長成分の光結合損失を補償光学素子が低減するステップと、 30

を含むことを特徴とする光信号を処理する方法。

【請求項22】

前記複数の波長成分をコリメートするステップと、

前記コリメートされた波長成分がすべて共通の光路長を進むように回折される前に前記コリメートされた波長成分が経験する光路長を調整するステップと、
をさらに含むことを特徴とする請求項21に記載の方法。

【請求項23】

波長成分の光結合損失を前記補償光学素子が低減するステップおよび前記光路長を調整するステップは、共通の光学素子によって行われることを特徴とする請求項22に記載の方法。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光学処理デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

従来は、光ビームを分散させるための分散素子（例えば、回折格子）および分散したビームのそれぞれでの各波長が複数の出力経路のいずれかに入射することを可能にする作動

可能光学素子を含む光学処理デバイスが使用されてきた。

【0003】

そのような作動可能光学素子の一例は、DMD（デジタルマイクロミラーデバイス）であり、DMDは、それぞれが個々に作動可能なマイクロミラー素子のアレイを含む。DMDは、ミラー素子の位置を調整して波長成分が反射される方向を制御することによって、反射された波長成分の光路を複数出力経路のいずれか1つに選択的に切り替えることができる。そのような光学処理デバイスは、切替え、波長減衰および波長遮断を含む様々な異なる目的のために様々な異なる方法で光ビームでの波長を処理するために使用できる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

本発明の課題は、作動可能光学素子および補償光学素子を含む光学装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一態様によると、作動可能光学素子および補償光学素子を含む光学装置が、提供される。作動可能光学素子は、複数の空間的に分離された波長成分を有する光ビームを受け取り、その複数の波長成分を波長に依存する仕方で回折するために設けられる。補償光学素子は、光ビームを作動可能光学素子に導く。補償光学素子は、波長成分が作動可能光学素子によって回折される波長に依存する仕方を補償する。

20

【0006】

本発明の別の態様によると、光学処理デバイスは、光ビームを受け取るための少なくとも2つの光入力／出力ポートと、ポートの1つから光ビームを受け取り、その光ビームを複数の波長成分に空間的に分離するための分散素子とを含む。本デバイスはまた、複数の波長成分をコリメートするためのコリメート用レンズおよび作動可能光学素子も含む。作動可能光学素子は、コリメート用素子からコリメートされた波長成分を受け取り、複数の波長成分を波長に依存する仕方で回折するために設けられる。補償光学素子は、分散素子と作動可能光学素子との間の光路に置かれる。補償光学素子は、波長成分が作動可能光学素子によって回折される波長に依存する仕方を補償する。

【図面の簡単な説明】

30

【0007】

【図1】DMDなどのMEMSミラーアレイに基づく波長ブロッカーの簡単な例を示す図である。

【図2】光学処理デバイスの別の例を示す図である。

【図3a】光学処理デバイスの別の例の側面図である。

【図3b】光学処理デバイスの別の例の上面図である。

【図4】光学処理デバイスでの補償プリズムとDMDとの間の関係を示す図である。

【図5】2つのビームが補償プリズムを通過し、DMDから回折するときの2つのビームの回折を示す図である。

【図6a】短波長ビームがDMDから回折される様子を示す図である。

40

【図6b】長波長ビームがDMDから回折される様子を示す図である。

【図7】補償プリズムの一例を示す図である。

【図8】図7の補償プリズムの表面に設けられてもよい形状の一例を示す図である。

【図9a】DMDからの回折角への波長依存性の補償がない場合の実例となる光学処理デバイスについてCバンドの一部にわたる挿入損失を示す図である。

【図9b】回折角への波長依存性の補償がある場合の実例となる光学処理デバイスについてCバンドの一部にわたる挿入損失を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

多くの光学処理デバイスは、入射光ビームおよび出射光ビームを同じ光路に沿って導く

50

。そのようなデバイスとしては、光スイッチ、ウェーブブロッカー(waveblocker)および光減衰器が挙げられる。図1は、DMDなどのMEMSミラーアレイに基づく波長ブロッカーの簡単な例を示す。1×1波長ブロッカーでは、ファイバーアレイは、入力ポートおよび出力ポートとしての役割を果たす単一ファイバーである。しばしばサーキュレータ(図示せず)または他の手段が、入射ビームおよび出射ビームを分離するために使用される。もしファイバーアレイが、N本のファイバーを含むならば、各ファイバーは、入力ポートおよび出力ポートとしての役割を果たす。そのようなデバイスは、共通の光学的組織を使用するN個の1×1波長ブロッカーを備え、波長ブロッカーアレイと呼ばれる。そのようなデバイスでは、ローンチ光学系は一般に、N本の入射ビームおよびN本の出射ビームのそれぞれを分離するためにファイバーアレイおよび一連のサーキュレータまたは同様のものを必要とすることになる。

【0009】

光学処理デバイスの別の例は、図2で示される。この特定の例では、N(例えば、15)個の1×1スイッチが、結合ミラーを使用して形成される。この例では、より簡単で、より安価なローンチ光学系装置が用いられ、それはサーキュレータまたは同様のものが必要となるのを避ける。ローンチ光学系装置260は、小型レンズアレイ200との組合せたファイバーアレイ250を含む。ファイバーアレイ250は典型的には、入力/出力ファイバーを固定する2つのV溝プレートから成る。図2は、2つのファイバー対を示し、対1は、ファイバー1および2を含み、対2は、ファイバー3および4を含む。

【0010】

例示するために、図2で示すローンチ光学系装置260の例は、ファイバーアレイを含むが、より一般にローンチ光学系装置260は、例えば平面導波路アレイなどの任意の種類の導波路アレイを含んでもよいことに留意すべきである。その上、アレイで用いられる導波路は、すべて同じ種類または異なる種類(例えば、ファイバーおよび平面導波路)の組合せであってもよい。

【0011】

小型レンズアレイ200は、内側および外側の対向する表面220および230を含み、シリカまたは別の光学的に透明な適切な材料から形成される。一連のコリメート用レンズ対210₁、210₂、210₃…は、小型レンズアレイ200の内側表面220に配置される。各コリメート用レンズ対210は、2つのコリメート用レンズ212を含む。同様に、一連の結合レンズ214₁、214₂、214₃…は、小型レンズアレイ200の外側表面230に形成される。各コリメート用レンズ対210は、結合レンズ214の1つと位置合わせされている。例えば、図2では、コリメート用レンズ対210₁は、結合レンズ214₁と位置合わせされており、コリメート用レンズ対210₂は、結合レンズ214₂と位置合わせされている。それ故に、結合レンズ214の2倍の数のコリメート用レンズ212がある。

【0012】

コリメート用レンズ212のピッチは、ファイバーアレイ250でのファイバーのピッチと同じである。それに応じて、ファイバーアレイ250および小型レンズアレイ200は、小型レンズアレイ200のコリメート用レンズ212のそれぞれが、ファイバーアレイ250でのファイバー出力の1つと位置合わせされるように配置される。いくつかの特定の実装形態では、コリメート用レンズ212と結合レンズ214との間の分離は、それらの個々の焦点距離の和にほぼ等しくてもよい。

【0013】

図2でのローンチ光学系装置260の動作は、次の通りである。各ファイバー対の入力ファイバーからの光ビームは、ファイバーアレイ250から小型レンズアレイ200に、小型レンズアレイ200が位置合わせされているコリメート用レンズ212を通って伝えられる。例えば、図2では、ファイバー1からの光は、コリメート用レンズ対210₁の対応するコリメート用レンズ212に入ることが示される。コリメート用レンズ212は、コリメートされたビームをコリメート用レンズ212が位置合わせされている結合レン

10

20

30

40

50

ズ 214 に導く。図 2 では、ファイバー 1 からのコリメートされるビームは、コリメート用レンズ対 210₁ のコリメート用レンズ 212 によってコリメートされ、そのコリメート用レンズ 212 は、コリメートされたビームを結合レンズ 214₁ に導く。

【 0014 】

結合レンズ 214 は次に、ビームをローンチ平面に合焦し、その平面には、図 2 で示す例では、結合ミラー 240 が置かれている。結合ミラー 240 は、ビームを受け取った同じ結合レンズ（例えば、図 2 での結合レンズ 214₁）を通ってビームが戻るようにビームを反射する。結合レンズ 214 は、反射されたビームをコリメートし、小型レンズアレイ 200 を通って戻るようにビームを導く。ビームが結合ミラー 240 によって反射された角度のために、コリメートされた反射ビームは、コリメートされた入射ビームに平行であり、コリメートされた入射ビームから空間的にオフセットされている。コリメートされた反射ビームは、最初にビームをファイバーアレイ 250 から受け取ったコリメート用レンズ対 210₁ の入力コリメート用レンズ 212 を通って小型レンズアレイ 200 に導かれたビームは、コリメート用レンズ対 210₁ の隣接する出力コリメート用レンズ 212 に導かれる。出力コリメート用レンズ 212 は、反射ビームを出力コリメート用レンズ 212 と位置合わせされているファイバーの入力に合焦し、そのファイバーは、図 2 で示す例では、ファイバー 2 である。このようにして、図 2 で示す光学処理デバイスは、ファイバー対の 1 つのファイバー（例えば、ファイバー 1）から受け取った入力ビームを同じファイバー対の別のファイバー（例えば、ファイバー 2）に導き、それ故に切替え機能を提供する。

【 0015 】

光学処理デバイスの別の例は、図 3 a（側面図）および図 3 b（上面図）で示される。この例は、図 2 で示すのと同じ光学的ローンチ装置を用いているが、DMD 550 を含む光学システムで結合ミラー 240 を置き換える。この特定の例では、N 個の 1 × 1 波長ブロッカーが形成される。もし例えば光学処理デバイスが、15 個の 1 × 1 波長ブロッカー（そのうちの 3 個だけが図 3 で示される）を含むならば、ファイバーアレイ 505 は、30 本の入力 / 出力ファイバーを含むことになる。

【 0016 】

図示するように、光学的ローンチ装置 570 に続いて、コリメート用レンズ 516、回折格子 522、走査レンズ 530、補償プリズム 540 および DMD 550 がある。図 3 b の上面図で最もよくわかるように、DMD 550 は、ローンチ光学系装置 570 のファイバーが広がる平面で走査レンズ 530 の光学軸に関して傾斜している。

【 0017 】

動作中は、ファイバー 502 から光学的ローンチ装置 570 に入る光ビームは、対応する結合レンズ 514 から出て、ローンチ平面 511 での虚焦点に達する。光ビームは次いで、コリメート用レンズ 516 によってコリメートされる。回折格子 522 は次に、コリメートされたビームを回折し、走査レンズ 530 は、補償プリズム 540 を通過した後スペクトル的に分散したビームを DMD 550 に合焦する。通過状態に設定されるときは、DMD 550 の個々のミラーは、ビームをそれ自体のほとんど後ろに反射するように傾斜し（リトロー（Littrow）配置に近い）、その結果ビームは、デバイスを通って戻り、ローンチ光学系装置 570 の対応する導波路 504 を通って出る。別法として、遮断状態に設定されるときは、DMD 550 の個々のミラーは、ビームをデバイスから出させる角度に傾斜するように動かされる（図 3 b でのビーム 560 を参照）。図 3 は、結合したファイバー対 502 および 504 だけについての動作を示すが、上で述べた結合は、ファイバー対のすべてについて生じる。

【 0018 】

DMD 550 が傾斜しているので、走査レンズ 530 から DMD 550 までの距離は、ファイバーによって異なる。補償プリズム 540 の機能は、すべてのファイバーからのビームを DMD 550 に合焦するようにこの経路長差を補正することである。補償プリズム

10

20

30

40

50

540の動作は、補償プリズム540とDMD550との間の関係を示す図4でより容易に見ることができ、DMD550は、透明窓420を含んでもよい。

【0019】

図3で示すデバイスは、その性能を制限する固有の波長依存損失を有する。この波長依存損失の原因を理解するため、DMD550は、微小ミラーのアレイで構成され、それ故にミラーよりもむしろ回折格子として振る舞うと考慮されたい。厳密に言えば、ビームは、DMDから回折され、反射されない。ファイバーアレイ505の平面でのDMD550からの回折角は、回折格子の式、

【0020】

【数1】

10

$$\theta_{diffracted} = \sin^{-1} [\sin \theta_{incident} + n / \lambda d]$$

【0021】

によって与えられる。

ただし n は回折次数、 d は DMD のピクセル間隔、また、 λ は波長である。従って、 DMD からのビームの回折角は、波長依存である。結果として、入力ファイバーと出力ファイバーとの間の結合は、単一波長について最適化できるだけであり、それ故に光ビームは、デバイスを通って導かれるとき波長依存損失を経験する。

20

【0022】

図5は、補償プリズム540を通過し、DMD550から回折するときの2つのビーム、短波長ビーム370および長波長ビーム380を示す。長波長ビーム380は、短波長ビーム370と比較してより大きな角度で回折する。波長と回折角との間のこの関係は、図6aおよび図6bを参照すると明らかになる。図6aは、短波長ビーム370（実線）がDMD550から回折されるところを示す。図6aはまた、ビーム370が回折される回折角 θ_d も示す。図6bは同様に、長波長ビーム380（実線）がDMD550から回折される様子を示す。図6bはまた、ビーム380が回折される回折角 θ_d も示す。図6aおよび図6bの比較は、より長い波長のビーム380がより大きな角度で回折することを示す。

30

【0023】

波長依存損失は、適切な光学素子を設けてDMDからの回折によって導入される回折角の波長依存性を補償することによって最小化または除去できる。一般に、この光学素子は、図3での回折格子522から下流に、典型的にはDMD550の近くに置くべきである。すなわち、光学素子は、回折格子522とDMD550との間に置かれててもよい。一実装形態では、回折角の波長依存性を補償するために追加の光学素子を加える代わりに、既存の光学素子がこの機能を果たすように変更されてもよい。例えば、図3での補償プリズム540の形状が、この損失を補正するように変更されてもよい。この場合には、補償プリズム540は、各ファイバーからのビームが経験する経路長差の調整もし、DMD回折から生じる波長依存損失の補償もする。

40

【0024】

特定の一実装形態では、わずかなねじれが、補償プリズム540の表面の1つまたは両方に加えられてもよい。そのようなプリズムの一例は、補償プリズム385の入射表面394について図7で示される。図示されるように、表面394は、長波長ビーム392を短波長ビーム390よりも大きな屈折角で屈折させる。この例では、表面394は、 $z = m \times y$ （ゼルニケ多項式の第5項）の形を有し、それは、2つの交差円柱の和と考へることができる。そのような表面の形状が、図8で示される。結果として、波長依存損失の補正是また、補償プリズム385の各表面に円柱面を加えることによっても達成できる。この手法の1つの利点は、円柱面が従来の光学研磨方法を使用して生成できることである。

【0025】

50

再び図4を参照すると、いくつかの実装形態では、DMD550、窓420および補償プリズム540（または他の適切な補償光学素子）を単一ユニットにまとめ、光ビームを波長に依存しない仕方で回折するDMD装置を実現することができる。そのようなDMD装置は、多種多様な異なる光学処理デバイスで使用できる。

【0026】

図9aおよび図9bは、DMDからの回折角への波長依存性の補償がない場合および回折角への波長依存性の補償がある場合の例示的な光学処理デバイスについて、Cバンドの一部にわたる挿入損失をそれぞれ示す。図示するように、波長依存性が低減されると、損失の量および損失の変動が低減される。

【符号の説明】

10

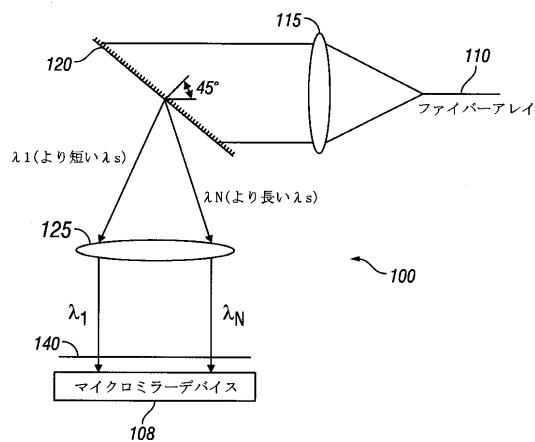
【0027】

- 200 小型レンズアレイ
- 210 コリメート用レンズ対
- 212 コリメート用レンズ
- 214 結合レンズ
- 220 内側表面
- 230 外側表面
- 240 結合ミラー
- 250 ファイバーアレイ
- 260 ローンチ光学系装置
- 370 短波長ビーム
- 380 長波長ビーム
- 385 補償プリズム
- 390 短波長ビーム
- 392 長波長ビーム
- 394 補償プリズムの入射表面
- 420 透明窓
- 502 ファイバー
- 504 導波路、ファイバー
- 505 ファイバーアレイ
- 511 ローンチ平面
- 514 結合レンズ
- 516 コリメート用レンズ
- 522 回折格子
- 530 走査レンズ
- 540 補償プリズム
- 550 DMD
- 560 ビーム
- 570 光学的ローンチ装置、ローンチ光学系装置

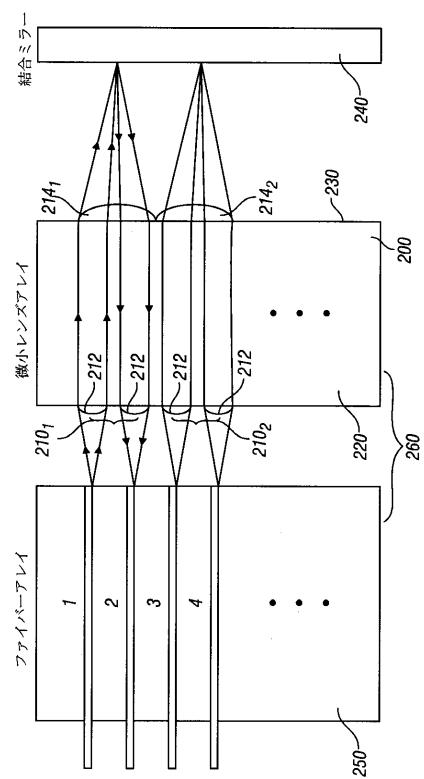
20

30

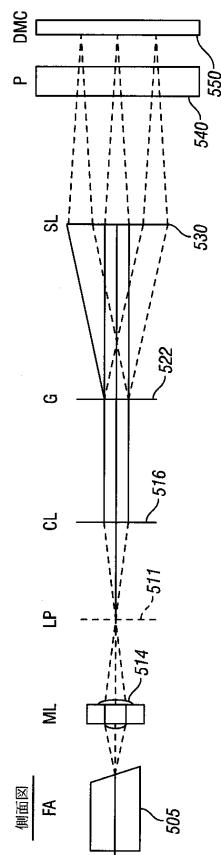
【図1】



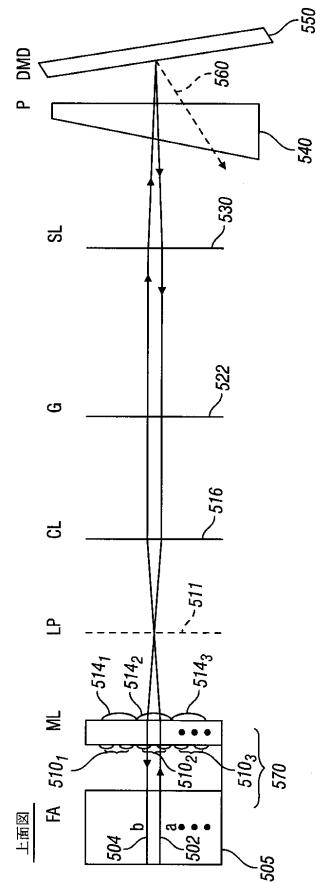
【図2】



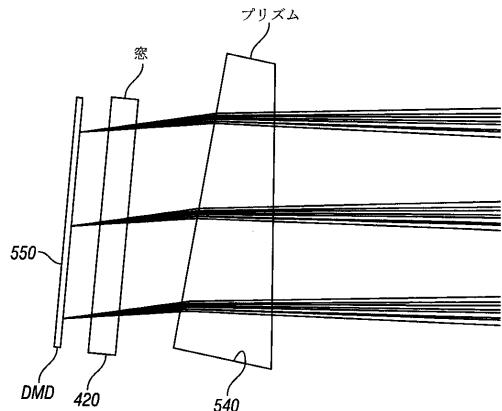
【図3 a】



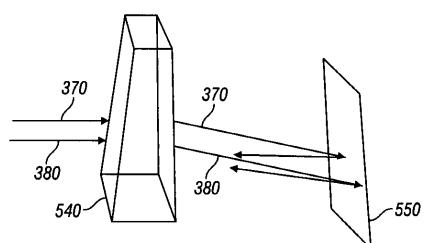
【図3 b】



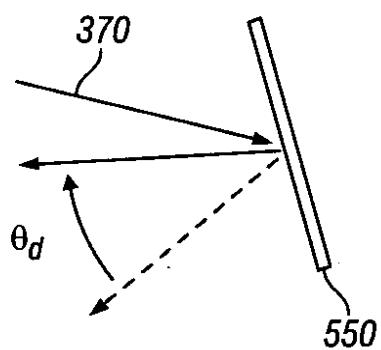
【図4】



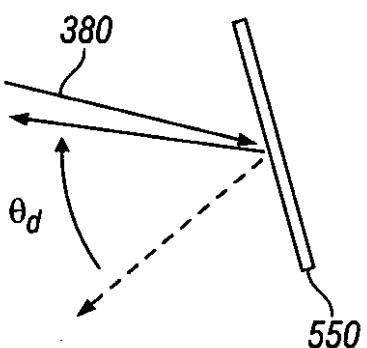
【図5】



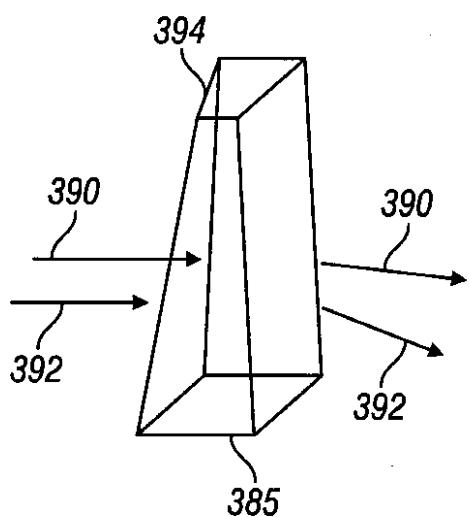
【図6 a】



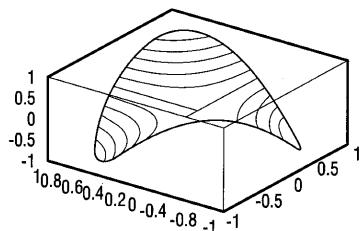
【図6 b】



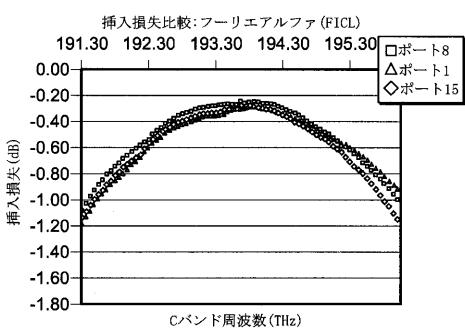
【図7】



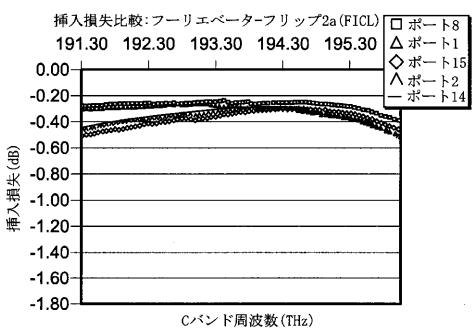
【図8】



【図9 a】



【図9 b】



フロントページの続き

(72)発明者 ミッケル・イー・ハラー

アメリカ合衆国・ニュージャージー・07746・マールボロ・ミュニシパル・ドライブ・8

(72)発明者 ジェファーソン・エル・ワグナー

アメリカ合衆国・ニュージャージー・07960・モリスタウン・スカイライン・ドライブ・45

審査官 鈴木 俊光

(56)参考文献 特開2002-189179(JP,A)

特開2006-276216(JP,A)

Nabeel A. Riza et al. , Broadband All-Digital Variable Fiber-Optic Attenuator Using Digital Micromirror Device , IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS , 米国 , 2007年11月 1 日 , VOL.19,NO.21 , P.1705-1707

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G02B 6/35

G02B 26/08

G02B 6/34