

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6170950号
(P6170950)

(45) 発行日 平成29年7月26日 (2017. 7. 26)

(24) 登録日 平成29年7月7日 (2017. 7. 7)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 S 3/0941 (2006. 01)
 HO 1 S 3/067 (2006. 01)
 HO 1 S 5/022 (2006. 01)
 HO 1 S 5/40 (2006. 01)

HO 1 S 3/0941
 HO 1 S 3/067
 HO 1 S 5/022
 HO 1 S 5/40

請求項の数 6 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2014-558789 (P2014-558789)
 (86) (22) 出願日 平成25年2月20日 (2013. 2. 20)
 (65) 公表番号 特表2015-508241 (P2015-508241A)
 (43) 公表日 平成27年3月16日 (2015. 3. 16)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/026815
 (87) 国際公開番号 W02013/126378
 (87) 国際公開日 平成25年8月29日 (2013. 8. 29)
 審査請求日 平成28年2月18日 (2016. 2. 18)
 (31) 優先権主張番号 13/401, 196
 (32) 優先日 平成24年2月21日 (2012. 2. 21)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 397068274
 コーニング インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148
 31 コーニング リヴァーフロント プ
 ラザ 1
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛
 (72) 発明者 コブ, ジョシュア モンロー
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 145
 64 ヴィクター チェリー ストリート
 6704

審査官 島田 英昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザアレイ光源の合波方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ビームを供給する装置において、

光軸に沿って、第一のエタンデュのアスペクト比 R_1 を有する偏光入力レーザ光ビームを、1つのエミッタから発するように励起可能な固体レーザであって、前記入力レーザ光ビームの、第一の方向に関する光不変量が、前記入力レーザ光ビームの、前記第一の方向に直交する第二の方向に関する光不変量の半分未満であるような固体レーザと、

前記偏光入力レーザ光ビームを前記第一の方向に関してコリメートするように配置された第一の円柱レンズと、

前記偏光入力レーザ光ビームを前記第二の方向に関してコリメートするように配置された第二の円柱レンズと、

前記光軸に沿って配置された端であって、コリメートされた前記偏光レーザ光ビームを、前記第二の方向に関して、第一のビーム経路に沿って方向付けられる第一の部分と第二のビーム経路に沿って方向付けられる第二の部分に分割する端を有する二等分反射面であって、前記第一と第二のビーム経路が各々、前記固体レーザの前記1つのエミッタから発せられた光を収容するような二等分反射面と、

前記第一のビーム経路に沿って、または前記第二のビーム経路に沿って、または前記第一と第二のビーム経路の両方に沿って配置された1つ以上の折り返し反射面と、

前記第二のビーム経路に沿って光の偏光状態を回転させるように配置された偏光回転子と、

10

20

前記第一と第二のビーム経路からの光を合波して、出力ビームを形成するように配置された偏光コンバイナであって、前記出力ビームが、 R_1 と等しくない第二のエタンドュのアスペクト比 R_2 を有するような偏光コンバイナと、を含むことを特徴とする装置。

【請求項2】

光ファイバに光を供給する装置において、

少なくとも第一と第二のレーザであって、前記第一のレーザが第一の偏光ビームを第一の発光軸に沿って方向付けるように励起可能であり、前記第二のレーザが第二の偏光ビームを、前記第一の発光軸に平行な第二の発光軸に沿って方向付けるように励起可能であり、前記第一と第二の発光軸が第一の方向に関して整列され、離間されているような第一と第二のレーザと、

10

少なくとも前記第一と第二の発光軸に沿った光を受け入れ、前記第一と第二の光ビームのそれぞれの前記発光軸を、前記第一の方向に実質的に直交する第二の方向に関して再整列させるように配置された光合波装置であって、再整列された前記第一の光ビームの第一の部分と再整列された前記第二の光ビームの第一の部分を偏光ビームスプリッタの第一の面に向かって、および射出軸へと方向付けるように配置されている光合波装置と、

再整列された前記第一の光ビームの第二の部分と再整列された前記第二の光ビームの第二の部分を前記偏光ビームスプリッタの第二の面に向かって、および前記射出軸へと方向転換させるように配置された1つ以上の反射要素と、

前記光合波装置と前記偏光ビームスプリッタの間に配置され、前記第一と第二の光ビームの各々の前記第一の部分の経路または、前記第一と第二の光ビームの各々の前記第二の部分の経路のいずれかの中にある偏光回転子と、

20

前記射出軸から前記光ファイバに向かって光を方向付けるように配置された1つ以上のレンズ要素と、

を含むことを特徴とする装置。

【請求項3】

光ファイバに光を供給する装置において、

少なくとも第一と第二の固体レーザであって、前記第一のレーザが第一の偏光ビームを第一の軸に沿って方向付けるように励起可能であり、前記第二のレーザが第二の偏光ビームを、前記第一の軸に平行で、前記第一の軸から第一の距離だけ離間された第二の軸に沿って方向付けるように励起可能であるような第一と第二の固体レーザと、

30

前記第一と第二の軸を、前記第一の距離より小さい第二の距離だけ離間されるように再整列させる空間光合波装置であって、前記第二の距離が前記第一の距離に実質的に直交する方向に測定されるような空間光合波装置と、

前記第一の固体レーザからの再整列された前記第一の光ビームを第一の部分と第二の部分に分割し、前記第二の固体レーザからの再整列された前記第二の光ビームを第三の部分と第四の部分に分割して、前記第一と第三の部分を偏光ビームスプリッタの第一の面に向かって、また前記第二と第四の部分を、偏光回転子を通じて前記偏光ビームスプリッタの第二の面に向かって方向転換させる偏光合波装置と、

前記偏光ビームスプリッタから受け取った光を前記光ファイバに向かって方向付けるように配置された1つ以上のレンズ要素と、を含むことを特徴とする装置。

40

【請求項4】

光ファイバに光を供給する装置において、

少なくとも、第一の光ビームを第一の軸に沿って方向付けるように励起可能な第一のレーザと、第二の光ビームを、前記第一の軸に平行な第二の軸に沿って方向付けるように励起可能な第二のレーザであって、前記第一と第二の軸が第一の平面 P_1 を画定するようなレーザと、

少なくとも前記第一と第二の軸に沿った光を受け入れて、合波ビームを形成するように配置された光合波装置であって、前記第一の光ビームが第三の軸に沿って方向付けられ、

50

前記第二の光ビームが第四の軸に沿って方向付けられ、前記第三と第四の軸が、前記第一の平面 P 1 に実質的に直交する第二の平面 P 2 を画定し、前記第三の軸からの前記第一の光ビームの第一の部分と前記第四の軸からの前記第二の光ビームの第一の部分を偏光ビームスプリッタの第一の面に向かって、および射出軸へと方向付けるようにさらに配置された光合波装置と、

前記第三の軸からの前記第一の光ビームの第二の部分と前記第四の軸からの前記第二の光ビームの第二の部分を前記偏光ビームスプリッタの第二の面に向かって、および射出軸へと方向付けるように配置された1つ以上の反射要素であって、前記偏光ビームスプリッタの前記第二の面が前記偏光ビームスプリッタの前記第一の面と対向するような反射要素と、

10

前記第三と第四の軸からの前記第一と第二の光ビームの、方向付けられた前記第一の部分または、前記第三と第四の軸からの前記第一と第二の光ビームの、方向転換された前記第二の部分のいずれかの前記経路内に配置された偏光回転子と、

前記射出軸からの光を前記光ファイバに向かって方向付けるように配置された1つ以上のレンズ要素と、
を含むことを特徴とする装置。

【請求項 5】

前記第一のレーザおよび前記第二のレーザの双方が、第一の波長 1 の励起光を発するものであり、

前記合波ビームが、前記第一の波長 1 を有する合波ビームであり、

20

前記光ファイバが、第二の波長 2 を発光する被励起レーザへと光を案内するものであり、

前記光合波装置が、中実の透明体の上に形成され、

(i) 前記光合波装置の第一の面の上に形成され、前記第一と第二の軸に対して斜角で配置され、 1 を透過させ、 2 を反射する第一の短波長透過フィルタと、

(i i) 前記光合波装置の、前記第一の面に平行な第二の面上に形成された第一の長波長透過フィルタであって、 1 を反射し、 2 を透過させる第一の長波長透過フィルタと、

(i i i) 前記光合波装置の前記第一の面の上に形成された第二の長波長透過フィルタであって、 1 を反射し、 2 を透過させる第二の長波長透過フィルタと、

30

を有する光合波装置である、

ことを特徴とする請求項 4 記載の装置。

【請求項 6】

光を光ファイバに供給する方法において、

第一のレーザを励起して、光を第一の発光軸に沿って方向付けるステップと、

少なくとも第二のレーザを励起して、光を前記第一の発光軸と平行な第二の発光軸に沿って方向付けるステップであって、前記第一と第二の発光軸が第一の平面 P 1 を画定するようなステップと、

合波ビームを形成するステップであって、前記第一と第二のレーザの前記光が、前記第一の平面 P 1 に実質的に直交する第二の平面 P 2 を画定する第三と第四の軸に沿って整列されるようなステップと、

40

前記合波ビームの少なくとも第一の部分を偏光ビームスプリッタの第一の面に向かって、および射出軸へと方向付けるステップであって、前記合波ビームの前記少なくとも第一の部分が前記第一と第二のレーザの両方からの光を含むようなステップと、

前記合波ビームの第二の部分を、偏光回転子を通じて、前記偏光ビームスプリッタの第二の面に向かって、および前記射出軸へと方向付けるステップであって、前記合波ビームの前記少なくとも第二の部分が前記第一と第二のレーザの両方からの光を含むようなステップと、

前記射出軸からの光を前記光ファイバに向かって方向付けるステップと、
を含むことを特徴とする方法。

50

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本願は、2012年2月21日に出願された米国特許出願第13/401196号明細書の優先権の利益を主張するものであり、その内容に依拠し、その全体を参照によって本願に援用する。

【0002】

本発明は、本願と同じ譲受人に譲渡されている、2011年5月31日に出願されたJosh Cobb, et al. 名義の、“METHOD AND APPARATUS FOR COMBINING LIGHT SOURCES IN A PUMP LASER ARRAY”と題する米国特許出願第13/118,939号に関連する。

10

【技術分野】

【0003】

本願は一般に、複数の光源からの光を合波する光学装置に関し、より詳しくは、エタンデュマッチングを改善するように複数のレーザ光源を空間的に合波する装置と方法に関する。

【背景技術】

【0004】

レーザおよびその他の固体光源の合波には多くの用途がある。一般に、ある用途が単独のレーザ源によって供給可能なものより大きなパワーを必要とする場合、一般的な解決策は、波長が同じ2つ以上のレーザからの光を合波することである。追加されるレーザは物理的に異なる位置にあるため、レーザの出力ビームを合波して積み重ね、合波出力ビームの中の「デッドスペース」をできるだけ多く排除することが必要となる。

20

【0005】

レーザをこのように合波する際はしばしば、合波対象の光源をできるだけ小さくし（すなわち、エタンデュをできるだけ小さくし）、合波ビームのエネルギーを効果的かつ効率的に他の光学システムへと集束させ、伝送できるようにすることが望ましい。合波方法は、波長、偏光状態、空間特性をはじめとする光の各種の特性を利用する。

【0006】

複数の光源の空間的合波に特に関心が寄せられる1つの用途が、ファイバレーザのポンプ励起にある。ファイバレーザでは、活性利得媒質は適当な希土類元素が添加された光ファイバである。励起エネルギーを多くのタイプの光源から、例えば利得媒質にファイバで連結された複数のレーザダイオードの集合を使って供給できる。複数の励起源を使用することによって、より高い光パワーを利得媒質に向けることができる。複数のレーザ源の使用はまた、増幅器利得が同じ場合に、励起レーザの各々がより低いパワーレベルで動作することを可能にし、それによって励起レーザの寿命が延び、ひいては増幅器の信頼性が高まる。これはまた、励起レーザのうちの1つが故障した場合のある程度の冗長性も提供する。

30

【0007】

励起エネルギーには単独の波長が必要であるため、個々の光源を密接にマッチさせる必要があり、レーザダイオードが現実的な選択肢となる。しかしながら、レーザダイオードでは、断面が円形の、すなわち中心軸の周囲でのエネルギー分布の対称性の高いビームが供給されない。その代わりに、出力光はアスペクト比の非対称性が高く、直交方向の広がり角が顕著に異なり、長さ（「遅」軸に沿うと考えられる）が幅（「速」軸に沿う）の数倍にもなりうる出力ビームが生成される。この非対称性によって、成分出力ビームをできるだけ密接に相互に積み重ねて、より対称に近いアスペクト比を有する合波ビームを形成することが望ましい。制約要素として、励起エネルギーを受ける入力光ファイバの開口数（N.A.）が比較的小さく、これが入ってくる合波ビームの角度範囲を限定するため、成分ビーム間のデッドスペースをできるだけ排除することが望ましい。

40

【0008】

50

励起レーザとして使用するためのレーザ源を合波するために実施または提案されている解決策の中に、垂直方向にずらしたレーザダイオードとそれに対応するミラーを有するモジュール式励起モジュールがある。図1Aと1Bは、このタイプの一般的な励起モジュール10の、それぞれ上面図と側面図を示す。この方法では、3つのレーザ12a、12b、12cがそれぞれ、これらに対応する、相互に交差する円柱レンズ群、すなわち第一の軸（速軸FAであり、詳しくは後述する）についての15a、15b、15cと直交軸（遅軸SAであり、後述する）についての14a、14b、14cを通じてビームをミラー16a、16b、16cに向ける。フィルタ30は戻り光FBから保護する手段を提供し、これについては後でより詳しく説明する。すると、レンズ18の瞳27内にある合波ビーム28がレンズ18によって光ファイバ20の中へと合焦され、励起エネルギーとして使用される。

10

【0009】

明瞭にするために垂直方向の距離を意図的に誇張させた図1Bの側面図が示すように、レーザ12a、12b、12cとそれぞれに対応する円柱レンズ14a、14b、14cと3つの離間されたミラー16a、16b、16cは垂直方向にわずかな距離だけずれている。反射部品のこのような配置では、成分出力ビーム間にトレランスの余地がほとんどない。レーザ12aからの光は、例えばミラー16bの最上部をかすめる。同様に、レーザ12bからの光はミラー16cの最上部をかすめる。図1Aの挿入図Wは、レンズ18の瞳における合波ビーム28の角度分布を示す。挿入図Wは、合波ビーム28がレーザ12aからの出力ビーム22a'、レーザ12bからの出力ビーム22b'、レーザ12cからの出力ビーム22c'により形成される様子を示している。当然、積み重ねられた出力ビーム間にはある程度のギャップ距離、すなわちデッドスペース24があり、これは折り返しミラー16bと16cによりビームを通過させるために必要なトレランスによるものである。

20

【0010】

図1Aと1Bに関して説明した解決策は有効であることがわかっているが、改善の余地がある。製作公差が厳しく、製造上のばらつきに関する余裕はほとんどない。各構成部品を精密に整列させて、光がミラー16a、16b、16cから正しく方向転換されるようにしなければならない。各レーザは異なるミラーで反射されるため、ミラー16a、16b、16c間の温度変化が動作中のシステムのアライメントに悪影響を与える。重要な点として、現実的な理由から、このタイプの解決策では、限定された数のレーザ、すなわち3つまたはそれ以下しか合波できない。

30

【0011】

従来の合波方法では、合波出力ビームのアスペクト比は合波システムの設計にうまくマッチしない。図1Aにおいて、挿入図Zは光ファイバ20の入射口90での各レーザモードフィールドの重複像23を示している。像23は像122a'、122b'、122c'として示される、レーザの出力の空間分布を重ね合わせた、または重複させた像から形成されている。多くの所見を得ることができる：

(i) 入射口90は、各ビームの遅軸SA方向に実質的に満たされる。SA方向により長いビームは単純にファイバの入射口からその方向にはみ出る。

40

(ii) 入射口90は、速軸方向FAには満たされない。

(iii) 挿入図Wは、レンズ18の瞳もSA方向には満たされていることを示している。

【0012】

第一の所見(i)は、励起エネルギー生成に用いられるレーザの製造にとっての制約を示す。現在利用可能なものよりはるかに長い遅軸を提供するレーザは容易に製造でき、それによってより高いパワーと効率が提供されるであろう。しかしながら、従来の励起モジュールコンバイナの設計ではこの潜在的能力を利用できる見込みはなく、それは、光にそれ以上の能力がない、すなわち、その軸においてはファイバのエタンドュが制限されるからである。上記の第二の所見(ii)は、ファイバのエタンドュには、より多くの光を追

50

加する余地がまだあることを示しているが、このスペースはレーザの速軸方向においてであり、これは遅軸よりはるかに明るい。さらに、遅軸方向へのアライメントのトレランスはほとんどなく、これは光ビームがすでにこの方向では開口からはみ出す傾向があるからである。

【 0 0 1 3 】

レーザ励起モジュールの効率改善のために提案されている解決策には、ファイバの中に追加のビームを重複させる方法が含まれ、これは例えば、ビームの集合の偏光状態を変化させ、異なる偏光状態のビーム経路を重ねて追加のレーザからの光を利用することによって行われる。しかしながら、このような方法は、図 1 A に関して説明したものと同一エタンデュに基づく制約に直面する。使用できるレーザモードフィールドの大きさが制約される。レーザダイオードからの光のエタンデュのアスペクト比は変化しないため、これらの解決策では依然として出力ビームの寸法を制約する。それゆえ、現在レーザポンピングに使用されているものより長いレーザダイオードの製造が可能であり、これが光出力に関してより効率的で、コストもより安いとしても、従来の光合波方法では、そのような設計によって提供される可能性のある効率の向上とコスト削減を利用することができない。こうしたエタンデュに基づく制約の 1 つの結果として、効率が改善されたレーザダイオードの設計を提供することが不可能となる。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 4 】

それゆえ、単独のレーザ光源または合波レーザ光源のエタンデュ特性と、例えば励起光エネルギーをレーザに提供するために使用される光ファイバ等の光ファイバのエタンデュとの間のマッチングを改善する、光源を空間的に合波する方法と装置が必要とされていることがわかる。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 5 】

本発明の目的は、レーザビーム合波の技術を進歩させることである。この目的を念頭に、本願は光ビームを供給する装置を提供し、この装置は、

光軸に沿って、第一のエタンデュのアスペクト比 R_1 を有する偏光入力レーザ光ビームを発するように励起可能な固体レーザであって、入力レーザ光ビームの、第一の方向に関する光不変量が、入力レーザ光ビームの、第一の方向に直交する第二の方向に関する光不変量の半分未満であるような固体レーザと、

偏光入力レーザ光ビームを第一の方向に関してコリメートするように配置された第一の円柱レンズと、

偏光入力レーザ光ビームを第二の方向に関してコリメートするように配置された第二の円柱レンズと、

光軸に沿って配置され、コリメートされた偏光レーザ光ビームを第二の方向に関して、第一のビーム経路に沿って方向付けられる第一の部分と第二のビーム経路に沿って方向付けられる第二の部分に分割する端を有する二等分反射面であって、前記第一と第二のビーム経路が各々、前記固体レーザから発せられた光を収容するような二等分反射面と、

第一のビーム経路に沿って、または第二のビーム経路に沿って、または第一と第二のビーム経路の両方に沿って配置された 1 つ以上の折り返し反射面と、

第二のビーム経路に沿って光の偏光状態を回転させるように配置された偏光回転子と、

第一と第二のビーム経路からの光を合波して、出力ビームを形成するように配置された偏光コンバイナであって、出力ビームが、 R_1 と等しくない第二のエタンデュのアスペクト比 R_2 を有するような偏光コンバイナと、を含む。

【 0 0 1 6 】

他の態様から、本発明は光ファイバに光を供給する装置を提供し、この装置は、

少なくとも第一と第二のレーザであって、第一のレーザが第一の光ビームを第一の軸に

10

20

30

40

50

沿って方向付けるように励起可能であり、第二のレーザが第二の光ビームを第一の軸に平行な第二の軸に沿って方向付けるように励起可能であり、第一と第二の軸が第一の方向に関して整列され、離間されているような第一と第二のレーザと、

少なくとも第一と第二の軸に沿った光を受け入れ、第一と第二の光ビームのそれぞれの軸を、第一の方向に実質的に直交する第二の方向に関して再整列させるように配置された光合波装置であって、再整列された第一の光ビームの第一の部分と再整列された第二の光ビームの第一の部分を偏光ビームスプリッタの第一の面に向かって、および射出軸へと方向付けるように配置されている光合波装置と、

再整列された第一の光ビームの第二の部分と再整列された第二の光ビームの第二の部分を偏光ビームスプリッタの第二の面に向かって、および射出軸へと方向転換させるように配置された1つ以上の反射要素と、

10

光合波装置と偏光ビームスプリッタの間に配置され、第一と第二の光ビームの各々の第一の部分の経路または、第一と第二の光ビームの各々の第二の部分の経路のいずれかの中にある偏光回転子と、

射出軸から光ファイバに向かって光を方向付けるように配置された1つ以上のレンズ要素と、
を含む。

【0017】

本発明により提供される利点は、個々の光ビームについても、また2つ以上の合波された成分光ビームから形成された合波光ビームについても、エタンドュのアスペクト比を調整できることである。これによって、レーザダイオードからの光をより効率的に使用するための改良が可能となり、例えば励起対象レーザのための光を供給するために使用されるもののようなレーザダイオードビームのアライメントにとっての利点も提供できる。本発明の実施形態は、既存のビーム合波モジュールのほか、多数の革新的な構成のビーム合波システムにも組み込むことができる。

20

【0018】

当業者にとっては、本発明のその他の好ましい目的、特徴、利点が着想され、または明らかとなるであろう。本発明は付属の特許請求の範囲によって定義される。

【図面の簡単な説明】

【0019】

30

【図1A】レーザを合波して合波ビームを供給するための従来のレーザ励起モジュールの上面ブロック図である。

【図1B】レーザを合波して合波ビームを供給するための、図1Aに示される従来のレーザ励起モジュールの側面ブロック図である。

【図2A】レーザダイオード出力ビームの非対称性を示す概略図である。

【図2A1】あるエタンドュのアスペクト比の光源の空間および角度分布を示す概略平面図である。

【図2A2】一方の軸に沿って拡大された光源の空間および角度分布の変化を示す概略平面図である。

【図2B】ファイバレンズの瞳における、4つのレーザ源を使って形成された合波ビームの断面を示す概略平面図である。

40

【図2C】光ファイバに結像された、4つのレーザ源の合波ビームを示す概略平面図である。

【図3A】合波ビームとその初期のアスペクト比を示す平面図である。

【図3B】本発明のある実施形態によって合波ビームのエタンドュのアスペクト比が変化される過程を示す図である。

【図4A】単独のレーザビームのエタンドュのアスペクト比を変化させるための光学装置の構成部品を示す概略斜視図である。

【図4B】図3Bに概要が示される過程を使って、合波ビームを形成し、合波ビームの各成分ビームのエタンドュのアスペクト比を変化させるための光学システムの構成部品を示

50

す概略斜視図である。

【図 5 A】本発明のある実施形態による、1 対の反射面を使用して合波ビームを形成するための光学システムの構成部品を示す簡略概略斜視図である。

【図 5 B】本発明のある実施形態による、合波ビームを形成するためのフィルタ装置の動作原理を示す簡略概略斜視図である。

【図 5 C】本発明のある実施形態による、フィルタ装置を使用して光を合波するための装置を示し、光路を示す概略斜視図である。

【図 5 D】図 5 C に示される光合波装置の上面図である。

【図 5 E】図 5 C に示される光合波装置の背面図である。

【図 6 A】本発明のある実施形態による図 5 B ~ 5 E のフィルタ装置の中の短波長透過フィルタの分光特性曲線を示すグラフである。

10

【図 6 B】本発明のある実施形態による図 5 B ~ 5 E のフィルタ装置の中の長波長透過フィルタの分光特性曲線を示すグラフである。

【図 7】フィルタ装置を使用する光合波装置の斜視図であり、成分光ビーム間の距離を調整するための傾斜軸を示す。

【図 8 A】傾斜角度が合波光ビームの間隔とアスペクト比に与える影響を示す断面ブロック図である。

【図 8 B】傾斜角度が合波光ビームの間隔とアスペクト比に与える影響を示す断面ブロック図である。

【図 9 A】ある傾斜角度の合波装置を用いたファイバレンズの瞳の中の合波出力ビームプロファイルの断面図である。

20

【図 9 B】異なる傾斜角度の合波装置を用いたファイバレンズの瞳の中の合波出力ビームプロファイルの断面図である。

【図 10】合波装置が 3 つより多いレーザ光源を有する代替的实施形態を示す斜視図である。

【図 11】図 10 の代替的实施形態の光路を示す上面図である。

【図 12】合波装置が 5 つのレーザ光源を有する代替的实施形態を示す斜視図である。

【図 13】図 12 の代替的实施形態の光路を示す上面図である。

【図 14】反射出力ビームを有する合波装置の代替的实施形態を示す斜視図である。

【図 15】本発明のある実施形態による、3 つのレーザ源からのレーザ光を光ファイバに供給する装置の上面図である。

30

【図 16】図 15 の装置の正面斜視図である。

【図 17】図 15 の装置の背面斜視図である。

【図 18】本発明のある実施形態による、4 つのレーザ源からのレーザ光を光ファイバに供給する装置の上面図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本明細書において示され、説明されている図面は、各種の実施形態による光学装置に関する動作および製造の重要な原理を例示するために提供されており、これらの図面の多くは、実際の大きさまたは縮尺を示す意図では描かれていない。基本的な構造的関係または動作原理を強調するために、幾分誇張する必要がある場合もある。例えば、いくつかの同平面上の構造は、これらの構造が重なっている図では、相互に若干ずらして示されている場合がある。

40

【0021】

本願の内容において、「最上部」、「最下部」または「上」、「下」という用語は相対的であり、ある構成部品または表面の必然的な方位を示しているのではなく、単に、構成部品または材料ブロック内の反対の面または異なる光路を指示し、区別するために使用されている。同様に、「水平」と「垂直」という用語は、図面に関して、例えば異なる平面内で整列する構成部品または光ビームの相対的な直交関係を説明するために使用されているかもしれないが、真の水平および垂直の方位に関して必要な構成部品の方位を示してい

50

ない。

【 0 0 2 2 】

「第一の」、「第二の」、「第三の」等々という用語が使用されている場合、これらは必ずしも順序または優先関係を示しているとは限らず、1つの要素または時間間隔をその他のものからより明瞭に区別するために使用される。例えば、本明細書の教示の中には決められた「第一の」または「第二の」要素はなく、これらの説明は、本願の内容において、1つの要素を別の同様の要素から明瞭に区別するために使用されているにすぎない。同様に、フィルタの指示記号 F 1、F 2、F 3、F 4 が使用されている場合、これらは図面および以下の説明において異なるフィルタを特定するために付与され、フィルタ機能を特定するのに役立つもので、このような部品の番号付けにおいては、光路内での順序もしくは優先関係または必然的なシーケンスは一切黙示されない。

10

【 0 0 2 3 】

本明細書で使用されている「励起可能な」という用語は、パワーを受けた時に、および任意選択によりイネーブル信号を受けた時でもよいが、所定の機能を実行する装置または構成部品の集合に関する。

【 0 0 2 4 】

本願の内容において、2つの平面、方向ベクトル、またはその他の幾何学的特徴は、その実際の、または投影された交差角度が $90^\circ + / - 12^\circ$ 以内である時に実質的に直交すると考えられる。本願の内容において、「二等分」という用語は、光ビームを2つの部分に分離することを示すために使用され、すなわちこれは、幾何学的証明で用いられる「二等分」という用語ほど正式な使用方法ではなく、必ずしも分割されたビームの2つの部分が等しい大きさであることを黙示しているとはかぎらない。本発明の内容において、各レーザ光源からのビームを2つの部分に二等分して、各部分がそのビームの略半分になるようにすることが一般的には有益であるが、それらの部分間に10%の、または25~30%以上の差があっても有効であることがわかるであろうし、有利となりうる。それゆえ、本発明のある実施形態により形成される被分割光ビームの2つの部分の各々は、各固体レーザ光源からの光の少なくとも20%を有するであろう。ビームアスペクト比は、光学分野の当業者が一般的に理解されているとおりに考えられ、すなわち、(伝播方向に対して垂直な平面において)光ビームの中心軸に関して直交方向に考えられる。

20

【 0 0 2 5 】

本発明の内容において、特定の波長で「反射する」、または反射性であると考えられる表面は、その波長の入射光の少なくとも約95%を反射する。特定の波長で「透過する」、または透過性であると考えられる表面は、その波長の入射光の少なくとも約80%を透過させる。光フィルタに関して、「短波透過」、「短波長透過」、「SWP」という用語は同義語と考えられ、同様に、「長波透過」、「長波長透過」、「LWP」という用語は同義語と考えられる。

30

【 0 0 2 6 】

本発明の内容において、「斜め」または「斜角」という用語は、それが少なくとも一方の軸において垂直から、すなわち 90° から、もしくは 90° の整数倍から少なくとも約2度以上異なるように傾斜している非直角を意味するために使用される。斜角は、この一般的定義を使って、 90° より少なくとも2度大きい、または小さくてよい。

40

【 0 0 2 7 】

本発明の内容において、「合波ビーム」は2つ以上の個々の「成分ビーム」の集合から形成される。

【 0 0 2 8 】

本発明の1つの広い態様によれば、光ビームのエタンデュのアスペクト比を、そのビームが1つの光源から発せられた単独ビームであるか、複数の光源からの光を合波することによって形成された合波ビームであるかを問わず、変化させることのできる装置と方法が提供される。有利な点として、本発明の実施形態は、ファイバレーザまたはその他のタイプのレーザのためのレーザ励起光を、複数のレーザ源により発せられた光から形成された

50

合波ビームとして供給する装置と方法を提供する。本発明の実施形態はさらに、励起レーザ源をファイバレーザまたはその他のタイプの励起レーザの光漏れからフィルタにより保護することができる。本発明の代替的实施形態はまた、光ビームのエタンデュのアスペクト比を調整できることが有利であるようなその他の環境で光ビームを調整するためにも役立つことができる。

【0029】

「エタンデュのアスペクト比」という語句によって意味されるものをよりよく理解するには、エタンデュとこれに関連する多数の用語と原理をより明確に定義することが有益である。光学分野でよく知られているように、エタンデュは光源の断面積と光源の発光立体角の積の中に含まれる光の量を表し、光学システムが扱うことのできる光の量に関する。エタンデュは光の損失がない限り、光学システム内で減ることはありえない。光学システムでは、エタンデュはその空間分布とその角度分布に関して考えられる。エタンデュは幾何学特性、すなわち空間面積（ A ）と角度（ Ω ）の2つの要素の積と考えることができる。

10

【0030】

光学システムでは、光を効率的に使用するために、光路に沿った構成部品のエタンデュをマッチさせて、光のすべてが使用されるようにする必要がある。全体的に回転対称の光学システムの場合、エタンデュの計算と扱いに関して考慮すべき点は非常に単純である。回転対称の光ビームの中心軸と直交する平面で得た断面で考えた場合、このビームは円形であり、その平面内の光学不変量もいずれの方向でも同じである。すると、このような光学システム内の構成部品に関するエタンデュマッチングは、単純に光ビームの空間および角度範囲を適正に拡張縮小するだけの問題となる。

20

【0031】

エタンデュマッチングは、光学システム内で光の各軸の空間分布を変化させなければならない場合、ずっと複雑になる。この問題には、例えば、レーザダイオードからの、エタンデュ特性の非対称性が高い光をエタンデュに関する対称性が高い光ファイバの中へと方向付ける際に対処しなければならない。

【0032】

背景の項ですでに述べ、図2Aに示すように、レーザ励起光に使用されるレーザダイオードの場合、固体レーザダイオードのエタンデュは顕著に非対称である。図2Aは、概略的に、一般的なマルチモードレーザダイオードからの出力を示す。レーザは、レーザ出力カプラに示されている空間分布122と、発せられた光について示された角度分布22を有する。

30

【0033】

本願の内容での説明を簡単にするために、「光不変量」という用語は、1方向に関するエタンデュを説明する時に使用される。例えば図2A1の光ビームの代表的な空間分布102とそれに対応する角度分布104に関して、図に示されている相互に直交する2方向の各々に光不変量 L がある。すなわち、遅軸（ SA ）に沿った光不変量 L_s があり、

$$L_s = (I_s \cdot \Omega_s)$$

であり、式中、 (I_s) は遅軸方向への空間分布の長さ寸法、 (Ω_s) は遅軸方向に得られた光ビームの発散角であり、速軸（ FA ）に沿った異なる光不変量 L_f があり、

40

$$L_f = (I_f \cdot \Omega_f)$$

であり、式中、 (I_f) は速軸方向への空間分布の長さ寸法、 (Ω_f) はその方向に得られた発散角である。

【0034】

ある光源からのこの光ビームの全体のエタンデュ E は以下の積、

$$E = (L_s \cdot L_f)$$

と考えることができる。

【0035】

本願の内容において、「エタンデュのアスペクト比」は本明細書において R とされ、次

50

の商、

$$R = (L_s) / (L_f)$$

となる。これは、

$$R = (I_s \cdot s) / (I_f \cdot f)$$

と等しい。

【0036】

回転対称の光ビームの場合、エタンデュのアスペクト比 $R = 1$ であることがわかる。本発明の実施形態は、エタンデュのアスペクト比 R がある光ビームについて 1 以外であり、エタンデュのアスペクト比 R が、光ファイバまたは、光ビームが方向付けられるその他の光学部品については実質的に 1 である時に遭遇する問題に対処する。

10

【0037】

レンズはエタンデュのアスペクト比 R を変化させるために使用できないことにも注意しなければならない。光ビームがレンズを通して方向付けられる場合、エタンデュのアスペクト比 R は一定のままである。これは球面レンズ（両方向に屈折力を有するレンズ）と円柱レンズ（一方向に屈折力を有するレンズ）にも当てはまる。図 2 A 2 は、概略的に、円柱レンズを使って寸法 (I_s) に沿った空間分布を減少させるとどうなるかを示す。その結果として得られる空間分布 1 0 2 ' は、図 2 A 1 に示されるものより寸法 (I_s) が小さくなっていることを示している。しかしながら、これに対応する角度分布 1 0 4 ' は、それに対応して拡大された角度範囲を示している。円柱レンズを使用した場合、エタンデュのアスペクト比 R は保存され、すなわち、

20

$$R = (I_s \cdot s) / (I_f \cdot f) = (I_s' \cdot s') / (I_f \cdot f)$$

となる。

【0038】

本発明の実施形態は、光源からの光の個々のビームのエタンデュのアスペクト比 R を、光を損失させることなく変化させる必要性に対処する。1つの利点として、個々の光ビームのエタンデュのアスペクト比 R_{in} を拡張することによって、例えば、非対称性の高いエタンデュのアスペクト比 R_{in} を有するレーザダイオード等の入力光源を、例えば対称性の高いエタンデュのアスペクト比 R_{out} を有する光ファイバ等の出力に、よりよく適応させることができる。個々の光ビームのエタンデュのアスペクト比 R を拡張するために使用される原理と方法はすると、それぞれの光源からの個々の光ビームを合波することによって形成される合波光ビームにも同様に適用される。

30

【0039】

レーザダイオードは、その、より長い遅軸（SA）方向に沿って有意により大きな光不変量 L_s を特徴的に有し、その軸に沿ったその光不変量が概して光ファイバのそれに概して近くなるか、これを超過さえするような発光部品である。SA方向への光不変量 L_s はそれゆえ、効率的なビーム合波にとって制約要素となる。

【0040】

レーザダイオードは、そのより狭い速軸（FA）方向に沿って小さな光不変量 L_f を有し、これは単一の空間モードであることが多い。これは、図 2 A で空間分布 1 2 2 として示される小さな空間寸法と大きな（または速い）角発散によって特徴付けられる。他方で、ダイオードの長さ D_1 の遅軸（SA）への発光は、多数の空間モードを含む。SAへの発光は一般に、はるかに大きな空間分布と小さい（遅い）角発散を有する。この光を光ファイバの中に結合しなければならない。図 2 A に示されるレーザ出力とは異なり、ファイバコアが円形の開口であり、回転対称の開口数を有する光ファイバのエタンデュは対称であるため、生成されたこの光を効率的に使用することが難しくなる。

40

【0041】

例えば、これに限定されないが、励起レーザ設計の一般的な公称値は以下を含む。

光ファイバの直径：105 μm

光ファイバの開口数：0.15

光ファイバの各軸の光不変量は以下に比例：0.15 \times 0.105 $\text{mm}^* \text{rad} = 0.0$

50

1 5 7 5 mm * r a d

レーザ源の光不変量 L_s (遅軸方向) : 約 0 . 0 1 5 mm * r a d

レーザ源の光不変量 L_f (速軸方向) : 各々約 0 . 0 0 1 4 mm * r a d

4つのレーザの集合が速軸方向に積み重ねられた場合は 0 . 0 0 5 6 mm * r a d

速軸におけるレーザの光不変量 L_f はファイバの不変量よりはるかに小さいため、この軸に沿った光を捕捉するには十分な余裕がある。上記の計算例では、遅軸光不変量 L_s は速軸光不変量 L_f より 10 倍以上大きい。ここで、速軸における光ファイバの光不変量は、4つのレーザからの光ビームを積み重ねることによって得られる光不変量の約 2 . 8 倍である。しかしながら、他方で、レーザの遅軸での光不変量 L_s はファイバの不変量に非常に近い。それゆえ、その方向へのアライメントがより重要である。

10

【 0 0 4 2 】

背景の項で述べたように、図 1 A はレーザ合波のための従来の方法を示す。これらのシステムでは、各レーザの空間モードフィールド 1 2 2 (図 2 A に示される) は、ファイバ 2 0 のコア 9 0 に結像される。図 1 A の挿入図 Z が示すように、モードフィールド 1 2 2 a'、1 2 2 b'、1 2 2 c' (各レーザ 1 2 a、1 2 b、1 2 c のそれぞれのモードフィールド) の重複像が次にファイバのコア 9 0 の内部に入射する。挿入図 W に示されるように、レーザの角度分布はコリメートされ、相互に積み重ねられて、レンズ 1 8 の瞳 2 7 において出力ビーム 2 8 が形成される。この出力ビーム 2 8 は、レーザの、コリメートされ、再分散されたレーザの角度分布から構成され、これらはビーム 2 2 a'、2 2 b'、2 2 c' として示されている。この光を効率的に使用するために、光の全部をレンズ 1 8

20

【 0 0 4 3 】

容易にわかるように、速軸に沿った光については余地がある。それゆえ、第四のレーザを図 1 A に示される構成に追加することは、速軸においてファイバレンズの瞳 2 7 中の未使用の空間を埋めるのに役立つ。これは、システムの出力パワーを増大させるための 1 つの方法である。しかしながら、ファイバのエタンドュによって、遅軸においては、より多くの光を追加できる余裕がない。例えばレーザダイオードの長さ D 1 を長くすることには、図 1 A に示される従来の合波構成では何の利点もない。それゆえ、遅軸においてレーザエミッタの長さ D 1 を長くして、その光をファイバ 2 0 の中に有効に捕捉することは現実的でない。

30

【 0 0 4 4 】

図 2 B の概略的ブロック図は、レンズ 1 8 の入射口である瞳 2 7 の中に配置された 4 つのレーザ出力ビーム 2 2 a'、2 2 b'、2 2 c'、2 2 d' を示している。出力ビームのエタンドュのアスペクト比が非対称であるため、最上位と最下位の出力ビーム 2 2 a' と 2 2 d' は瞳からはみ出し、一部の光が失われて光学システム内で不適正に方向付けられる。理論上、このアスペクト比は拡大によって変化させることができ、すなわち、瞳 2 7 中の角度分布を遅軸において小さくすることができ、それゆえ、これは瞳 2 7 の内部にフィットすることになる。しかしながら、これによってファイバ 9 0 のコアにおけるモードフィールドの像が増大する。図 2 C は、モードフィールドの重複像 1 2 2 a'、1 2 2 b'、1 2 2 c'、1 2 2 d' がファイバ 9 0 のコアの上に重ねられている様子を示す。明らかに、角度分布 2 2 a' をより小さくしようとした場合、それに対応する空間分布 1 2 2 a' はより大きく拡大され、ファイバコアからはみ出るであろう。図 2 B に示されるように、速軸 (F A) 方向に対応するデッドスペース 2 4 を埋めることは、はみ出しの問題を部分的に解消するのに役立つが、ビームを積み重ねるためにより厳しいアライメントトレランスが必要となり、速軸におけるビームの端である程度のエネルギーが切り取られる危険性がある。

40

【 0 0 4 5 】

従来のビーム合波方式とは異なり、本発明の実施形態は、エタンドュマッチングの問題に対処するために、合波ビームの一部である各成分ビームのエタンドュのアスペクト比を変える。合波ビームが光コンバイナによって形成された後、合波ビームの、成分ビームの

50

各々からの光の一部を含む第一の部分が、位置変更または再分散されて、合波ビームの中の、同様に成分ビームの各々からの光を含む第二の部分の上に重ねられると、遅軸（ $S A$ ）に沿った光に対する速軸（ $F A$ ）に沿った光の割合が効果的に小さくなり、それゆえ、合波ビームのアスペクト比は、その空間分布を変化させることによって変わる。このように光ビームを合波する中で、本発明の実施形態はそれゆえ、合波ビームを生成するために使用される個々の成分光ビームの各々のエタンドュのアスペクト比を変化させることによって、合波ビームのエタンドュのアスペクト比を変える。その結果、各成分ビームのエタンドュを再成形できるため、レーザダイオードの長さ（図 2 A の $D 1$ ）の実践上の制約が緩和される。個々のレーザダイオードはそれゆえ、従来の解決策より効率的で、より低コストになるように、より長く製造できる。本発明の実施形態は、レーザ光源のエタンドュのアスペクト比が非対称である、例えば遅軸光不変量 L_2 が速軸光不変量 L_f を 2 倍以上上回るような用途において有利となりうる。それゆえ、本発明の実施形態は一般に、第一の方向に関する光不変量が、第一の方向に直交する第二の方向に関する光不変量の半分未満である時により有利であり、この利益は、直交方向への光不変量の差が大きいほど増大する傾向がある。

【 0 0 4 6 】

図 3 A と 3 B の概略平面図は、時系列で、基本原理を示すために誇張して、本発明の実施形態によって成分ビームのエタンドュのアスペクト比がどのように変化させられるかを示す。図 3 A は、例えば図 1 A または 1 B の励起モジュール 1 0 を使用して、または後述のような他のタイプのいずれかの光コンバイナを使用して、出力成分ビーム 2 2 a'、2 2 b'、2 2 c' を積み重ねることによって形成された合波ビーム 2 8 を示す。合波ビーム 2 8 は、速軸に沿った光対遅軸に沿った光の割合（ $F A : S A$ ）に応じたエタンドュのアスペクト比 $R 1$ を有する。図の例において、合波ビーム 2 8 の $S A$ 寸法は、図のように、レンズ 1 8 の瞳の入射口 2 7 を超える。レンズ 1 8 の瞳の大きさは、ファイバ 2 0 の開口数によって決まる（図 1 A）。これは、少なくとも 1 つのレーザについての $S A$ 方向のエタンドュまたは光不変量が光ファイバの光不変量を超えることを意味する。従来のレーザ合波法では、この関係は光の浪費、すなわち入射口 2 7 からはみ出すことを意味する。他方で、本発明の実施形態によれば、そうでなければ従来の方式では使いきれなかった光の使用が可能となる。

【 0 0 4 7 】

図 3 B を見ると、本発明の実施形態がどのように合波ビーム 2 8 の各成分ビームからの光を再分散させて、改善されたエタンドュのアスペクト比 $R 2$ を有する合波ビーム 2 8' を供給し、それによって合波ビーム 2 8' がファイバのエタンドュまたは光不変量により緊密にマッチするようになるかがわかる。合波ビーム 2 8 の経路内に設置された 1 つ以上の二等分反射要素 9 4 は、この合波ビームの個々の成分ビームの各々を二等分または分割して、合波ビームの一部、すなわち図の例では部分 2 2 a 2、2 2 b 2、2 2 c 2 からなる部分を方向転換させる。図 3 B の概略的表現においては、方向転換された部分は、半波長板等の偏光回転子 1 0 0 に向かって方向付けられる。偏光光合波装置 1 7 0 の一部として、偏光回転子 1 0 0 は光のうちの方向転換部分の偏光状態を回転させ、その偏光状態を当初の合波ビーム 2 8 のそれに直交させる。方向転換されなかった残りの部分 2 2 a 1、2 2 b 1、2 2 c 1 の偏光状態は変化しない。すると、偏光コンバイナ 1 1 0 が部分 2 2 a 1、2 2 b 1、2 2 c 1 を部分 2 2 a 2、2 2 b 2、2 2 c 2 と再び合波し、これらは少なくとも部分的に相互に重複させることによって、改善されたアスペクト比 $R 2$ を有する合波ビーム 2 8' を形成することができる。当初の成分ビーム 2 8 の一方またはもう一方の部分のいずれかが偏向回転子 1 0 0 を通じて方向付けられることに注意する必要がある、これは図 3 B に示される「方向転換された」部分であっても、反射要素 9 4 によって方向転換されない部分であってもよく、これについては具体的な実施形態に関して後述する。偏光コンバイナ 1 1 0 は、偏光ビームスプリッタを含む、多数の実施形態のいずれを有することもでき、これについては以下により詳しく説明する。

【 0 0 4 8 】

図 3 B はまた、任意選択により設置可能な 1 つ以上の傾斜板 3 8 を分割された合波ビーム 2 8 の各部分の経路内に配置して、ビーム部分の集合の、積み重ね方向（図 3 B の図では垂直）への相対的アライメントを調整することができる。

【 0 0 4 9 】

図 4 A の概略斜視図は、単独のレーザ 1 2 a からのレーザ光の単独のビームのエタンドュのアスペクト比を変化させるために使用できる光学装置 1 4 0 を示す。次に、図 4 B は、図 3 A と 3 B に示される光処理過程を使って、2 つ以上のレーザ光源を合波して、光ファイバ 2 0 への出力のための改善されたアスペクト比を有する合波出力ビーム 2 8 ' を形成するために使用可能な光学装置 1 5 0 を示す。

【 0 0 5 0 】

図 4 A に示される実施形態において、単独の固体レーザ 1 2 a は、光軸 O A に沿って円柱レンズ 1 5 a と 1 4 a を通じて、前述のように計算された第一のエタンドュのアスペクト比 R_1 を有する偏光入力レーザ光ビーム 2 2 a を発するように励起可能である。円柱レンズ 1 5 a は、速軸 F A に沿ったコリメーションを行う。円柱レンズ 1 4 a は、図 2 A に関して示されているように、F A に直交する遅軸 S A に沿ったコリメーションを行う。光軸 O A に対して傾斜した二等分反射面 1 7 2 の端 1 7 3 は光軸に沿って配置され、発せられたレーザ光ビームを S A 方向に関して 2 つの部分 2 2 a 1 と 2 2 a 2 に二等分し、各部分は、第一と第二のビーム経路 1 4 2 と 1 4 4 として示されている別々のビーム経路に沿って方向付けられる。単独のレーザ光ビームがこのように二等分されると、第一と第二のビーム経路 1 4 2、1 4 4 は各々、固体レーザ 1 2 a から発せられてコリメートされた光を含む。図 4 A が示す部分 2 2 a 2 は 1 つ以上の折り返し反射面 1 7 6、1 7 8 へと方向付けられ、これらはビーム経路 1 4 4 を折り返して、部分 2 2 a 2 の光を、例えば半波長板等の偏光回転子 1 7 4 を通じて方向付ける。ビーム経路 1 4 2 と 1 4 4 の両方からの光は次に、偏光ビームスプリッタ 1 8 0 として示されている偏光コンバイナへと方向付けられ、これは第一と第二のビーム経路 1 4 2、1 4 4 からの光を合波して出力ビーム 1 4 6 を形成するように配置され、出力ビーム 1 4 6 は出力面 P 3 に向けて方向付けられる。ビーム経路 1 4 2 からの光は、偏光ビームスプリッタ 1 8 0 の一方の面に到達し、ビーム経路 1 4 4 からの光は偏光ビームスプリッタ 1 8 0 の反対の面に到達する。レンズまたはその他の光学要素が一般的に平面 P 3 に位置付けられる。出力ビーム 1 4 6 の部分 2 2 a 1 と 2 2 a 2 の位置がずれていることから得られる出力ビームのエタンドュのアスペクト比 R_2 は、発せられたレーザ光ビームの第一のエタンドュのアスペクト比 R_1 と異なる。

【 0 0 5 1 】

図 4 B は、単独のビームのエタンドュのアスペクト比の拡張に関する図 4 A の基本的 방식을、2 つ以上の固体レーザダイオードエミッタの光から形成された同じ波長の合波ビームに関するエタンドュのアスペクト比を拡張する問題へと延長させている。第一のレーザ 1 2 a は、波長 λ_1 の第一の光ビームを、直交する円柱レンズ 1 5 a と 1 4 a を通じて第一の発光軸 A に沿って、空間光合波装置 1 6 0 として動作する光合波装置 6 0 に向かって供給するように励起可能である。少なくとも第二のレーザ 1 2 b は、同様に波長 λ_2 の第二の光ビームを、対応するレンズ 1 5 b と 1 4 b を通じて、第一の軸 A に平行でこれから離れた第二の発光軸 B に沿って、光合波装置 6 0 に向かって供給するように励起可能である。発光軸 A と B は、第一の方向に関して整列されており、あるいは、発光軸 A と B は第一の平面 P 1 の中にあるか、これを画定するということができる。軸 A と B に沿った第一と第二の光ビームはどちらも、図 2 A と 3 A に関して述べたように断面が非対称であり、どちらも、図 4 B の平面 P 1 に実質的に平行な第一の方向のビーム遅軸 (S A) の寸法を有し、これは平面 P 1 に実質的に直交する第二の方向のビーム速軸 (F A) の寸法の少なくとも 2 倍より大きい。空間光合波装置 1 6 0 は合波ビーム 2 8 を形成し、その中で第一と第二のレーザの光は、それぞれ第三の軸 A A 1 と第四の軸 B B 1 に沿って整列され、これらは第一の平面 P 1 に実質的に直交する第二の平面 P 2 を画定する。このように、軸 A 1 と B 1 は、平面 P 1 に関して説明した第一の方向に実質的に直交する第二の方向に関して再整列される。偏光光合波装置 1 7 0 において、合波ビーム 2 8 の第一の部分が偏光ビ

10

20

30

40

50

ームスプリッタ180の第一の面182に向かって、および出力軸OAへと向けられる。反射要素172の端173は、合波ビーム28を二等分して、合波ビーム28の第二の部分を、図3Bの偏光回転子100に関して説明した偏光回転子174となる1つ以上の波長板を通じて、偏光コンバイナとして機能し、出力軸OAに合波ビームを供給する偏光ビームスプリッタ180の第二の面184に向かって方向転換される。図4Bにおいて176と178として示されるように、1つ以上の追加の反射面を使って、ビーム経路が折り返され、方向転換された光が偏光光合波装置170内で案内される。1つ以上のレンズ要素48が出力軸OAからの光を光ファイバ20に向かって方向付けるように配置される。

【0052】

図4Aと4Bの構成は、ビームの1つの集合を別の集合と合波するために偏光を利用するその他の技術とは異なることを強調しなければならない。異なる偏光状態の成分ビームを重複させることによって合波ビームを形成するため、本発明の実施形態は、個々の成分ビーム自体の各々に関するエタンドュのアスペクト比を調整することによって、光エネルギーを再分散させる。各成分ビームをその長いほうの遅軸(SA)寸法に沿って二等分することにより、本発明の実施形態はビームの非対称性を補償し、最終的な合波ビームのエタンドュのアスペクト比を劇的に改善することができる。これはまた、遅軸方向の光不変量が光ファイバ20のそれより大きいビームを発する1つ以上のレーザダイオードを効率的に使用することも可能にする。この能力は従来のビーム合波方法では得られなかったものであり、事実上、レーザダイオードの設計を制約していた。

【0053】

図1Aと1Bが示す励起モジュール10は、図4Bに関して説明したような、光学装置150の一部として使用可能な1つのタイプの空間光合波装置160であった。このような従来の光合波部品を使用するには、偏光光合波装置170の部品、すなわち偏光ビームスプリッタ180、偏光回転子174、および図4Bに示されるように光路を折り返す反射要素172、176、178のうちの2つ以上を追加することが必要となる。

【0054】

図5A以下は、空間光合波装置160として励起モジュール10の代わりに使用可能な、透明基板上に形成された合波装置60の代替的实施形態を示す。図5Aの簡略概略図は、1対の反射面M1とM2を使って成分ビーム光軸を再整列させて合波ビーム28を形成する合波装置60の部品を示している。図5Aにおいて、反射面間の距離は、光路の方向転換の原理を示すために誇張されている。反射面M1とM2は、空気によって離間された鏡面であっても、ガラス板またはブロック等の中実の透明体68の対向面上に形成されていてもよく、この透明体は図5Aにおいては光路をより見やすくするために取り除かれているが、その後の実施形態では示されている。動作原理を示す目的のために、2つのレーザ12aと12bのみが示されており、各々、それぞれ対応する発光軸AとBに沿って対応する円柱レンズ15a、14aと15b、14bを通じて光を方向付けるように励起される。レーザ12aと12bはどちらも、波長1の光を発し、これはレーザ励起光を供給するために使用される。反射面M1とM2は、発せられた波長1の光を図5Aに示される経路内に選択的にとどめるように形成され、配置される。ミラーM1とM2は中実の透明屈折体68の対向面上に形成でき、それによって光路を屈折させ、軸Aは屈折体68内で方向転換軸A1へと屈折され、軸Bは屈折体68内で方向転換軸B1に屈折される。光フィルタF4が設置されて、被励起レーザからの波長2の戻り光を遮断し、この波長の光がレーザ12aと12bに到達しないようになっている。容易にわかるように、図5Aの構成を使って、別のレーザを追加することができ、それによって合波ビーム28が2つ、3つ、4つ以上の積み重ねられたレーザ光ビームを有するようにし、励起光を励起レーザに供給することができる。

【0055】

合波装置60の以下の実施形態は、図5Aに示される対向反射面の基本的構成から始まり、励起光のフィルタ処理を改善し、またレーザからの不要な戻り光の減衰と除去のために随意選択によって追加可能な改良を加えたものである。図5Bを参照すると、合波装置

60が示されており、これはフィルタ装置40を使用し、レーザ光の関連経路を示し、不要な波長を減衰させ、反射によって光を再整列させて、複合光ビーム28を形成するフィルタを有する。図5Aと同様に、フィルタ面間の距離は誇張され、光路の方向転換の原理をよりよく説明するために中実の屈折体68は示されていない。動作原理を示す目的のために、2つのレーザ12aと12bのみが示され、各々、それぞれ対応する発光軸AとBに沿って円柱レンズペア15aと14a、15bと14bを通じて光を合波装置60に方向付けるように励起される。レーザ12aと12bは波長1の光を発し、これは光ファイバ20を通じてレーザ励起光を供給するために使用される。フィルタF1、F2、F3、F4は、選択的に波長1を図5Bに示される経路内にとどめ、また励起レーザからの波長2の戻り光を光路から排除するように形成され、配置される。フィルタF1~F4は、ガラス板またはブロック等の中実の透明屈折体68の表面上に形成され、それによって光路を屈折させて、軸Aが屈折体68内で方向転換軸A1へと屈折し、軸Bは屈折体68内で方向転換軸B1に屈折する。随意選択により設置可能な第一のフィルタF1は、第一と第二の軸AとBに対して斜角で配置された短波長透過フィルタであり、より短い波長1は透過させ、より長い波長2は反射する。第二のフィルタF2はフィルタF1から離間され、これに平行である。フィルタF2は長波長透過フィルタであり、より短い波長1を反射し、より長い波長2を透過させる。第三の長波長透過フィルタF3は、随意選択により設置可能な短波長透過フィルタF1と同一平面内あり、1を反射し、2を透過させる。第四の短波長透過フィルタF4は、より短い波長1を透過させ、より長い波長2を反射する。部品を適正に離間させることで、フィルタ装置40は、当初は第一の方向に沿って整列されていた、方向転換軸A1とB1を、軸AとBの第一の方向に実質的に直交する第二の方向に沿って再整列させる。同一平面とは、従来の意味を有し、例えば平行な第一と第二の薄膜フィルタは、第一のフィルタのいずれかの層が第二のフィルタのいずれかの層を含む同じ平面に沿って延びていれば、同一平面と考えることができる。

【0056】

本明細書に記載されている説明と例において、励起レーザ12a、12bの波長1は被励起レーザの波長2より小さいと仮定されている。これは一般に、励起レーザの場合であるが、容易にわかるように、本発明のフィルタ装置40は1が2より大きい別の状況のために設計でき、フィルタF1~F4の分光特性に相応の変更が加えられる。いずれの状況でも、フィルタF1、F2、F3、F4は、選択的に波長1を図5Bに示される経路内にとどめ、また波長2を経路から排除するように形成し、配置することができる。

【0057】

図5Aの2レーザモデルは、励起された3つ以上のレーザを合波するように拡張でき、随意選択により設置可能なフィルタ処理は、戻り光のエネルギーから追加の励起レーザを保護するようにさらに拡張される。図5Cの斜視ブロック図およびこれに対する図5Dの上面図と図5Eの背面図を参照すると、本発明の実施形態によるフィルタ装置40を使ってレーザ励起モジュールのための合波装置60が示されている。励起レーザアレイ70内の励起レーザ12a、12b、12cの各々は、光をフィルタ装置40の入射面36に向かって発する。励起レーザ12aは発光軸Aに沿って発光し、励起レーザ12bは発光軸Bに沿って発光し、励起レーザ12cは発光軸Cに沿って発光する。励起レーザ12a、12b、12cは第一の波長1の光を発し、この光は図5Dに示されるように、第二の波長2の光を発する被励起レーザへの励起光として使用される。被励起レーザ光は一般に、供給される励起光より波長が長い。本発明の1つの実施形態によれば、被励起レーザはファイバレーザである。各レーザ12a、12b、12cからの光は、それぞれ相互に直交する円柱レンズペア15aと14a、15bと14b、15cと14cを通じて方向付けられる。フィルタ装置40はガラス板等の透明体または板42上に形成される。第一の波長1の光は、随意選択により設置可能な短波長透過フィルタF1を透過して、透明板42の屈折材内に入る。その後、フィルタ装置40内の長波長透過フィルタF2とF3の間で反射され、続いて短波長透過フィルタF4でフィルタ処理されることにより、当初

は平行に透過し、第一の平面または第一の方向に相互に整列されたレーザ光は、第一の平面に実質的に直交する、すなわち直角から約 $+/-12$ 度を超えない範囲内の第二の平面または第二の方向に沿って相互に再整列される。被励起レーザからの、第二の波長 λ_2 の迷走戻り光FBはすべて、短波長透過フィルタF4からの反射、長波長透過フィルタF3とF2の透過、随意選択により設置可能な短波長透過フィルタF1からの反射によって、フィルタ装置40内の光路から排除される。このような戻り光FBの遮断は、フィルタ装置40の面を使った複数のスタック型またはカスケード連結型フィルタの保護効果を模倣している。再び留意すべき点として、フィルタF1～F4は随意選択により設置可能であり、図5Aに関して前述したように、随意選択により設置可能な1つ以上のフィルタの代わりに、またはそれと一緒に反射面M1とM2を使用できる。

10

【0058】

図5Dの上面図において、発せられたレーザビームの軸は、軸A、B、Cを含む第一の平面（第一の平面P1は、図5Cの図では概して水平面であり、図5Dではページの面内にある）を画定する第一の方向に沿って配列される。発光軸A、B、Cは、平面P1内で相互に等距離にあり、図5Dに示されるように軸間距離 2δ だけ離間されている。フィルタ装置40の出力において、合波ビームは第二の直交方向に再整列され、すなわち軸は直交面P2（図5Dで示されるようにページから直角に外側に延び、図5Eに示されている）に沿って配列され、平面P2内のフィルタ処理された光と合波された光の軸間の距離は、平面P1内の入射光に関する軸間距離 2δ より小さい。合波された成分ビームは、合波軸C2に沿って合波光ビーム28を形成する。成分ビームはこの方向に離間され、これは

20

【0059】

それゆえ、図5Aに関して説明した基本的パターンに従い、図5Cおよび図5Dと5Eの上面図と背面図は、合波装置60の光ビームをどのようにフィルタ装置40またはその他のタイプの合波装置60の中で連続的にシフトさせ、1つの反射面から次の反射面へと方向付けるかを示している。軸Aに沿った光は、板42またはその他の屈折体の中で屈折させられ、方向転換軸A1に沿って、背面54上に形成された後方長波長透過フィルタF2に向かって進む。レーザ12aから発せられた第一の波長 λ_1 の、軸A1に沿った光は、長波長透過後方フィルタF2から反射されて長波長透過前方フィルタF3へと向かう。軸A1は次に、レーザ12bからの、再び第一の波長 λ_1 を有し、軸Bに沿った光の入射地点のすぐ下で前方フィルタF3に入射する。後方フィルタF2と前方フィルタF3はどちらも、光源12a～12cからの波長 λ_1 の光を反射してフィルタ装置40に戻し、被励起レーザから発せられたレーザ波長 λ_2 の光をフィルタ装置40の外へと伝送するように処理され、またはその他の方法で形成される。図5Cに示されるように、軸Bに沿った光は、長波長透過前方フィルタF3の端のすぐ上またはそれを過ぎた地点で板42上に入射する。板42で屈折されることにより、次に、軸Bからの入射光は方向転換軸A1と整列された方向転換軸B1へと方向転換され、軸A1とB1の整列方向は、軸A、B、Cの初期の整列方向（平面P1）に直交する。

30

40

【0060】

図5C、5D、5Eに示される光路の説明を続けると、第一の波長 λ_1 の光の光軸A1とB1は、長波長透過後方フィルタF2で反射して前方フィルタF3に戻る。すると、軸A1とB1は、軸Cに沿ったレーザ12cからの光の入射点のすぐ下で長波長透過前方フィルタF3から反射される。再び図5Cで示されるように、軸Cに沿った光は、前方フィルタF3の端のすぐ上またはこれを過ぎた地点で板42に入射する。板42で屈折されることにより、次に、軸Cからの入射光は方向転換軸A1とB1と整列された方向転換軸C1へと方向転換され、軸A1、B1、C1の整列方向は、軸A、B、Cの初期の整列方向（平面P1）に直交する。図5C、5D、5Eの3つのレーザを用いた実施形態では、方向転換軸A1、B1、C1に沿った波長 λ_1 の光は再び長波長透過後方フィルタF2から

50

前方フィルタ F 3 に反射され、板 4 2 から短波長透過フィルタ F 4 を通じて射出し、それによって合波光ビーム 2 8 が形成される。

【 0 0 6 1 】

図 5 C ~ 5 E に示される実施形態の各光路に従うと、各光路が 4 つのフィルタ F 1 ~ F 4 のすべてを通過することがわかる。レーザ源 1 2 a ~ 1 2 c の各々からの入射光は、短波長透過フィルタ F 1 ~ F 4 の各々に 1 回入射する。レーザ 1 2 c からの C - C 1 の光路は、長波長透過後方フィルタ F 2 に 1 回、長波長透過前方フィルタ F 3 に 1 回入射する。レーザ 1 2 b からの B - B 1 光路は、長波長透過後方フィルタ F 2 に 2 回、長波長透過前方フィルタ F 3 に 2 回入射する。レーザ 1 2 a からの A - A 1 光路は、長波長透過後方フィルタ F 2 に 3 回、長波長透過前方フィルタ F 3 に 3 回入射する。この構成では、被励起レーザからの戻り光 F B が大きく削減され、実質的に励起レーザに到達しないようにされることがわかる。それゆえ、図 5 A に示される 4 つのフィルタ F 1 ~ F 4 の配置は、レーザが何個であっても、スタック型またはカスケード連結型フィルタの性能を有効に提供する。前述のように、短波長透過フィルタ F 1 は任意選択によって設置可能である。代替的实施形態では、短波長透過フィルタが 1 つだけ設置され、これは図 5 A ~ 5 E においてフィルタ F 1 またはフィルタ F 4 のいずれについて示された位置にあってもよい。短波長透過フィルタ F 1 が使用されない場合、一段に、対応する面に反射防止 (A R) コーティングが設置される。

【 0 0 6 2 】

図 5 B ~ 5 E の実施形態を使って、長波長透過フィルタ F 3 と F 2 が中程度の品質であったとしても、フィルタ装置 4 0 によって提供されるスタック型フィルタの効果がどのように不要な戻り光 F B を減衰させるかを考えることが有益である。

【 0 0 6 3 】

図 6 A を参照すると、短波長透過 (S W P) フィルタ F 1 と F 4 に関する分光特性曲線 8 2 が、本発明の実施形態による透過率に関して示されている。曲線 8 2 が示すように、不要な 1 0 3 0 n m の戻り光 F B の透過がある程度ある。しかしながら、光路内にこれらの短波長透過フィルタが 2 つ存在する実施形態においては、各フィルタで 3 % 透過 (. 0 3) されてしまうとしても、1 0 3 0 n m の光のうち、2 つの短波長透過フィルタ F 1 と F 4 を通じて透過するパーセンテージは以下のとおりとなる。

$$(.03)^2 = 0.0009、すなわち 0.09\%$$

図 6 B を参照すると、長波長透過 (L W P) フィルタ F 2 と F 3 に関する分光特性曲線 8 4 が、同様に本発明の実施形態による透過率に関して示されている。曲線 8 4 が示すように、不要な 1 0 3 0 n m の戻り光 F B の一部は依然として反射される。しかしながら、スタック型フィルタの効果はまた、ここでも有利に作用する。前方および後方長波長透過フィルタ F 3 と F 2 が F B 光を、その光の 9 6 % を透過させることによって減衰させ、短波長透過フィルタ F 1 と F 4 が F B 光を、その光の 9 7 % を反射することによって減衰させる図 5 C に示される例示的システムを考えると、励起レーザ 1 2 c が受け取りうる F B 光のパーセンテージは、

$$(.04)^2 (.03)^2 = 0.00000144、すなわち 0.000144\%$$

となる。励起レーザ 1 2 b が受け取りうる F B 光のパーセンテージは、

$$(.04)^4 (.03)^2 = 2.304E-7 = 0.0000002394、すなわち 0.00002394\%$$

となる。励起レーザ 1 2 a が受け取りうる F B 光のパーセンテージは、

$$(.04)^6 (.03)^2 = 3.6864E-12 = 0.0000000000036864、すなわち 0.000000000036864\%$$

となる。

【 0 0 6 4 】

それゆえ、フィルタ F 1 ~ F 4 を有するフィルタ装置 4 0 を使用することによって、図 5 A の実施形態に示される反射面 M 1 と M 2 とは異なり、被励起レーザからの迷走する 2 の戻り光を減衰させるという利点を提供でき、実質的にすべての戻り光 F B を無視でき

る程度まで低減させ、それによって励起レーザー 12 a ~ 12 c を損傷から保護することに役立つ。戻り光 F B を大きく減衰させるには、この構成でフィルタを積み重ね、個々の性能が中程度のフィルタを使用した場合でも、これらの組み合わせにより提供される分光特性が、1つのフィルタを使用した場合に実現可能なものを超えることができるようにする。

【0065】

図5Dはまた、光吸収体56の位置も示しており、これらは励起レーザーからの迷走する戻り光 F B を吸収する、あるタイプの光減衰部品として提供される。1つの吸収体56が、長波長透過後方フィルタ F 2 を通じて透過された光を吸収するために背面54の付近に配置される。別の吸収体56は、長波長透過前方フィルタ F 3 の一部の上端と整列させて入射面36の付近に配置されているように示されている。吸収体56は長波長透過フィルタ F 3 または F 2 のいずれかの背面上に形成することができ、あるいは別に形成して、フィルタ装置40の表面に沿って、そこから離間させて配置してもよい。

【0066】

引き続き図5Dを参照すると、前方および後方フィルタ F 3 と F 4 を通じて意図せず透過された、被励起レーザーからの戻り光 F B を吸収させるための吸収体56が、励起光の射出点 Q により近い位置で戻り光 F B からのエネルギーの中のより多くの部分を受け取る。長波長透過フィルタ F 3 と F 2 で繰り返し減衰された後に、戻り光 F B の無視できる成分だけが、面36または54を通じて、例えば射出点 Q よりさらに遠くに透過する可能性がある。それゆえ、吸収体56はフィルタ F 3 と F 2 の長さ全体にわたっていなくてもよく、または例えば点 Q からの距離に応じて厚さが変化してもよい。

【0067】

図5A ~ 5E が示すように、光は斜めの入射角で合波装置60へと方向付けられる。少なくとも軸 A と B により画定された平面、すなわち図5Dの平面 P 1 内に斜めに入射することにより、光は屈折によって各軸に沿って方向転換させられ、それによって第一の軸から長波長透過フィルタ F 3 と F 2 で反射された光は、隣接する軸に沿った入射光と整列する。図5Dの軸 C に沿って示される角度は、面36に対する法線に関して示されており、入射面36と、平面 P 1 内にある入射軸 A、B、C の各々の間にある。本願の内容において、この入射角は平面角と考えられる。

【0068】

平面 P 1 内の入射光に関する斜めの入射に加えて、合波装置60ではまた、平面 P 1 に平行な軸に関する傾斜がなされる。有利な点として、この傾斜は調節可能であり、それによってフィルタ装置40は合波光ビーム28のアスペクト比を制御することができる。これは、図1Aにおいてデッドスペース24として示されている、成分光ビーム間のギャップ距離を調節する。図7の斜視図は、傾斜を調節するための傾斜軸52を示す。傾斜軸52は、光軸 A、B、C を含む平面（例えば、図5Dと5Eの平面 P 1 ）に平行である。傾斜軸52の周囲での回転により、軸 A、B、C に沿った光に関する入射面36の入射角が変化し、波長1の光が前方および後方反射面 M 2 と M 1 （または図5B ~ 5E に関して説明した反射フィルタ）から反射される角度もそれに対応して変化する。1つの実施形態において、合波装置60が設置された取付用ハードウェアによって、例えば合波装置60の初期アライメント中およびセットアップ中等に傾斜軸の周囲での回転による調節を行うことが可能となる。吸収体56またはその他の部品の1つ以上もまた、フィルタ装置40が回転されると傾斜軸52の周囲で回転してもよい。

【0069】

図8Aと8Bの断面図は、傾斜軸52の周囲での傾斜が成分ビーム28に与える影響を示している。図8Aの上部にある第一の傾斜角1は法線（図8Aの表現において垂直）に関して示しているが、この傾斜角1において、出力ビーム22a、22b、22cは、図のようにデッドスペース24の量だけ離間される。図8Bに示されるように、より小さな傾斜角2まで傾斜させると、出力ビーム22a、22b、22c間のデッドスペース24の量は相応に減少する。これによって、合波装置60によって形成された合波光ビームの

、例えばx対y、すなわち高さ対幅の比として表現できるビーム28の空間アスペクト比が変化する。参考のために、傾斜角 1と 2は、図5Dの平面P1に対する垂直線、すなわち図8Bの点線L1として示される垂直線に関する。平面P1は、図8Aと8Bの断面図においてページに直交し、A、B、C軸に沿っている。

【0070】

図8Aと8Bに示されるように、1つの傾斜調節での1つの軸に沿った空間アスペクト比を調節できることは、光ファイバ20またはその他の光学デバイスへの入力用として合波光ビーム28を成形するために有利である。例えば、図9Aと9Bは、2つの異なる傾斜角での、合波装置60を使った3つのレーザの装置からのエネルギー強度の角度分散を示す。図9Bが示すように、より小さい傾斜角を使用すると、成分出力ビーム間のデッドスペースが圧縮され、または排除される。比較のために、図9Aと9Bの各々の円は、光ファイバの大体の開口数(N.A.)を示す。

【0071】

合波装置60を使用した時の別の利点は、図1Aと1Bに関して前述したような従来のデバイスの現時点での限界である、3つより多くのレーザの使用可能性に関する。図10の斜視図と図11の側面図を参照すると、合波装置60は、励起レーザアレイ70の中に4つのレーザ12a、12b、12c、12dを有する。各レーザ12a、12b、12c、12dは、前述のように、それに対応する、レンズ15a、14a、15b、14b、15c、14c、15d、14dの円柱レンズペアを有する。この異なる角度から視覚的に示されるように、光軸A、B、C、Dは合波装置60の入射面で垂直に整列され、合波光ビーム28では水平に再整列される。明瞭にするために図10の図では示されていない、随意選択により設置可能な吸収体56もこの実施形態に設置してもよい。これに加えて、フィルタ装置40は、図10～14の実施形態のいずれにおいても、合波装置60として使用できる。

【0072】

4つより多い追加のレーザを、フィルタF1～F4を有する合波装置60を使い、前方および後方長波長透過フィルタF3とF2を適当な寸法にするか、あるいは、図5Aに関しては、反射面M1とM2を適当な寸法にすることによって追加できることがわかる。図12と13は、励起レーザアレイ70の中に5つのレーザ12a、12b、12c、12d、12eを有する合波装置60の、それぞれ斜視図と側面図を示す。前述のように、各レーザ12a、12b、12c、12d、12eはこれに対応する円柱レンズペアを有し、対応する軸A、B、C、DまたはEに沿って光を方向付ける。

【0073】

図14の斜視図は、出力合波光ビーム28が後方反射面M1から反射される代替的实施形態を示す。この実施形態では、背面54の一部または全体にコーティングして反射面M1とすることができる。この実施形態は、パッケージングと光路の折り返しにとって有利でありうる。しかしながら、この実施形態では、合波光ビーム28のビームの間隔の傾斜を調整するには、出力合波軸C2の(垂直面P2に関する)角度も変化させなければならない。

【0074】

図5Aの基本モデルと図5B～5Eと図10～14に示される実施形態を使った合波装置60の1つの利点は、反射面M1(図5A)の端または、その代わりに、フィルタF2の端を使って、合波ビーム28を二等分または分割し、合波ビーム28の一部を別のビーム経路へと方向付け、2つのビーム経路の一方が偏光合波装置170を通過するようにすることに関する。図15、16、17、18の概略図は、これによって、合波装置60の構造の外部に二等分のための反射要素を追加せずに合波ビーム28の2つの部分を分離できる様子を示している。図15は、合波光ビーム28を分割または二等分するための反射面M1の端62の位置を示している。

【0075】

図15、16、17の概略図は、図5A～5Eに関して説明した合波装置60が空間光

合波装置 160 として使用され、偏光光合波装置 170 と結合されて形成される光学装置 150 の、それぞれ上面、正面、背面斜視図を示す。図 15、16、17 は、3 つのレーザ 12a、12b、12c を有し、励起光を、光ファイバ 20 に連結された被励起レーザ 32 に供給する実施形態を示す。反射面 M1 と M2 は、前述のように、1 つ以上のフィルタ面 F2 と F3 に置き換えることができる。合波光ビーム 28 は、それがこの実施形態では合波装置 60 の内部にあるように形成される。再構成された合波光ビーム 28' は、前述のように、偏光光合波装置 170 の後で形成される。ここで、合波装置 60 の外部では、光路の方向転換に 1 つの折り返し反射要素 176 だけが必要である。参照のために、図 4B に示される記号を使用して、図 16 は、ビーム 28 の中の、部分 22a1、22b1、22c1 として示されている方向転換された部分を示し、これは反射要素 176 に向けられ、偏光光コンバイナ・偏光ビームスプリッタ 180 を透過する。ビーム 28 のその他の部分は、1 つ以上の波長板またはその他の偏光回転子 174 を通り、偏光ビームスプリッタ 180 から反射される。例示のために、レーザ 12c の光の経路に従って、図 17 は端 62 に沿って出力ビーム 22c を分割することによって形成されるビーム部分 22c1 と 22c2 の経路を示している。図 15 はまた、光路のうちの 1 つにおける随意選択により設置可能な傾斜板 38 の使用も示しており、いずれかの光路で 1 つ以上の傾斜板 38 を使用する各種の構成を、ビーム調整のために使用できる。図 18 は、4 つのレーザ源を用いた、図 15 ~ 17 のそれと同様の構成を示す。

【0076】

図 3A に戻ると、光学装置 150 の実施形態によって今度は、1 つの軸に沿った光ファイバの光不変量を超える光不変量（エタンデュ）を有するレーザダイオード光源を使用することが可能となる。図 3A では、例えば出力ビーム 22b' を発生する光源の光不変量は、光ファイバの光不変量を超える。これは、遅軸（SA）の寸法における入射口 90 の不変量を超えるように描かれている。本発明の実施形態によって、この関係と、そうでなければ従来の方式では使いきれなかった光を使用することが可能となる。これによって、例えば図 15 においてレーザ 12a、12b、12c のために使用されているようなレーザダイオードは、より長い断面で製造することができ、それによってレーザ光線の効率が増し、コストが低減される。例えば、以前は長さ約 100 μm までのレーザダイオードが励起レーザ 12a、12b、12c のために使用されていた。100 μm を超えるようなより長い長さのレーザは、これらが光ファイバの SA 方向へのエタンデュを超えるため、現実ではなかった。SA 方向に光ビームを二等分することによって、本発明の実施形態では、より長いレーザを使用でき、それによって、長さ 100 μm を超える出力長さを供給するレーザダイオードの製造が可能となる。

【0077】

本発明の実施形態の光学装置 150 は、複数のレーザ源を合波して単独の合波光ビームを形成するための従来の解決策に対して、多数の特徴と利点を提供する。これらの利点には以下が含まれる：

(i) 同じ平面に沿って、平行に方向付けられたレーザの位置付けにより、レーザアレイの使用が可能となり、レーザアライメントを、図 1B に関して説明したような以前のレーザダイオード合波装置の構成のための、高さを階段式にしなければならないものから単純化できる；

(ii) フィルタコーティングを有するガラス板等の低コストの透明板の使用。薄膜コーティングの使用により、入射光ビームに対して非常に鋭い端を提供でき、散乱およびその他の効果が低減する；

(iii) 図 3A ~ 4B と 8A ~ 9B に関して前述したように、速軸と遅軸の両方向へのアスペクト比が調節可能。これによって、既存のレーザダイオード設計とのエタンデュマッチングが改善されるほか、出力ビームのエタンデュのアスペクト比の非対称性がより顕著なレーザダイオードを効率的に使用できる；

(iv) 図 10 ~ 13 と 18 に関して説明した 4 つ以上のレーザを使用する実施形態を含め、1 または複数のレーザから、レーザの数を変えることによって拡張可能；

(v) すべての励起レーザが同じフィルタ部品を通じて光を方向付けるため、熱安定性が改善;

(v i) 光の干渉波長、特に励起レーザから発せられる光漏れからの保護手段を随意選択により内蔵可能;

(v i i) 製造とアライメントが単純化;

(v i i i) 構成部品の寿命が改善。これは、従来の単独フィルタまたはスタック型フィルタ構成に対して、励起レーザそのものと、反射面 M 1、M 2 または、それに代わるフィルタ面 F 1、F 2、F 3、F 4 のどちらにも当てはまる。例えば、薄膜反射板とフィルタは、レーザ光からの損傷閾値が高いため、他のタイプの反射板またはフィルタより有利である。

10

【0078】

偏光合波装置 170 を空間合波装置に追加することは、図 1 A の励起モジュール 10 等の既存の合波モジュールへの組み込み構成を含め、現在レーザ励起に使用されているものより長い長さを有する 1 つ以上のレーザダイオードの使用を可能にする。アライメント要求もまた緩和される。そのために、本発明の実施形態は、既存の方式より効率的で低コストのレーザ励起のための解決策を提供し、発光長さがより長くなるように製造される単独の固体レーザをより効率的に使用することさえ可能となる。

製造

合波装置 60 の透明板 42 は、フィルタ装置 40 の実施形態を含め、一般にガラス板であり、これは所期のレーザ波長にとって適当となるように選択される。その他の透明材料も使用でき、例えば結晶性物質とプラスチックが含まれる。従来の取付方法を使って、合波装置 60 を、図 5 D に関して前述したように、発せられたレーザビームに関して適当な斜めの平面角で位置付けることができる。平面角は、透明板 42 またはその他の透明体に使用される、選択されたガラスまたはその他の透明材料ブロックの屈折率 n によって決まる。

20

【0079】

前方および後方長波長透過フィルタ F 3 と F 2 は、第一の、より短い波長 1、ここでは励起光波長の光を反射し、第二の、より長い波長 2、ここでは被励起レーザ波長の光を透過させるように形成され、またはその他の方法で処理される。フィルタ F 3 と F 2 は、1 つの実施形態においてはダイクロイック薄膜コーティングから形成でき、これは有利な点として、高いフィルタ選択性、反射性、透過特性を有する非常に薄い面を提供する。ある分光特性を提供するための薄膜ダイクロイックコーティングの設計は、薄膜設計技術の当業者にとって知られており、一般には、これは類似の設計から始まり、一連の最適化を繰り返し行われ、最終的に所望の分光特性が得られるようにする。反射面 M 1 と M 2 はまた、薄膜コーティングまたはその他のタイプのコーティングを使って提供できる。この薄膜コーティングは、他の反射デバイスの解決策に対して、ビームの二等分または分割のために有利であり、回折およびその他の不要な効果を削減できる。図 4 A と 4 B と図 15 ~ 18 に示される実施形態では、ビームを二等分する反射薄膜コーティングは、発せられたビームの光軸 O A に関して斜角である。

30

【0080】

図 8 A と 8 B の傾斜角 1 と 2 として説明された傾斜角の調節を可能にするために調節可能な機構を設置することができる。調節は、手作業で行うことも、モータまたはその他の自動化装置を使って提供することもできる。完了した傾斜調節を固定するために、ロックダウン装置を提供できる。

40

【0081】

合波装置 60 は、前述のように単独の出力軸に沿って方向付けられる 2 つ以上のレーザ光を合波し、特に、発せられた光ビームが 1 つの軸に沿った方向に長くされるレーザダイオードからの励起レーザ光を合波し、これらのビームを積み重ねて、アスペクト比が可変である合波光ビームを形成できるようにするのによく適している。上述の本発明の実施形態は、同時に生成されたビームを合波するための合波装置 60 の使用を説明している。光

50

学分野の当業者であれば容易にわかるように、合波装置 60 の合波作用はあるいは、同じ平面に沿った発光軸を持つ複数のレーザを有する集合のうち、いずれかの空ではない適正な部分集合からの光を方向付けるためにも使用できる。それゆえ、例えば 1 つのパワーレベルで透過させるための単独の励起レーザと、より高いパワーレベルで励起光を透過させるための 2 つのレーザを使用することが有益な場合もある。あるいは、合波ビーム軸 C2 に沿って透過させるために、異なる波長のレーザを選択することもできる。

【 0 0 8 2 】

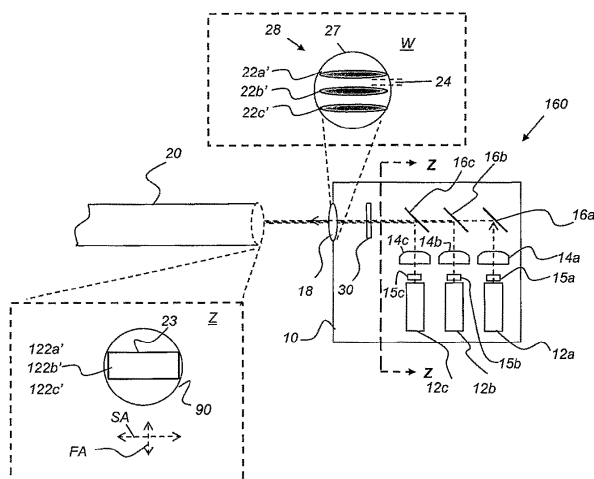
本発明を、その特定の好ましい実施形態を具体的に参照しながら詳細に説明したが、当然のことながら、当業者は、上述の、また付属の特許請求の範囲で述べられている本発明の範囲内で、本発明の範囲から逸脱することなく、変更や改良を加えることができる。

【 0 0 8 3 】

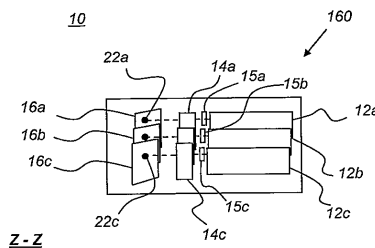
それゆえ、特にレーザ励起源との使用、および固体レーザ源を使ったその他の合波の用途に非常に適し、直交軸の一方または両方に沿った合波光ビームのアスペクト比を調整できるようにする、レーザ光の合波装置と方法が提供される。

10

【 図 1 A 】



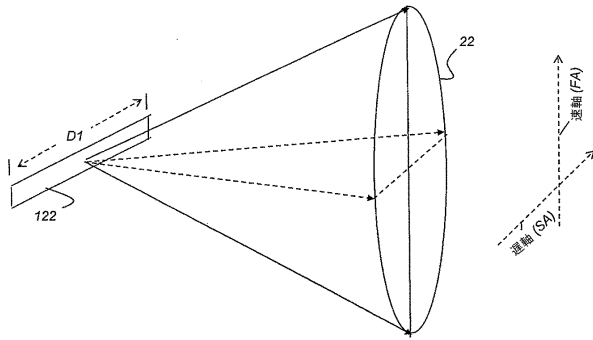
【 図 1 B 】



(先行技術)

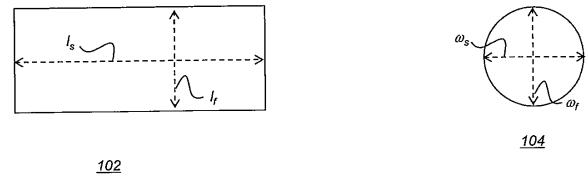
(先行技術)

【図 2 A】



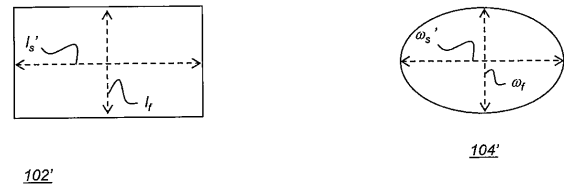
(先行技術)

【図 2 A 1】



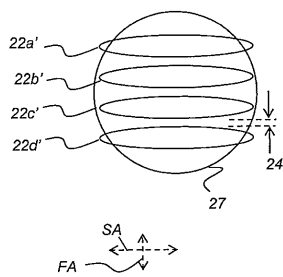
(先行技術)

【図 2 A 2】



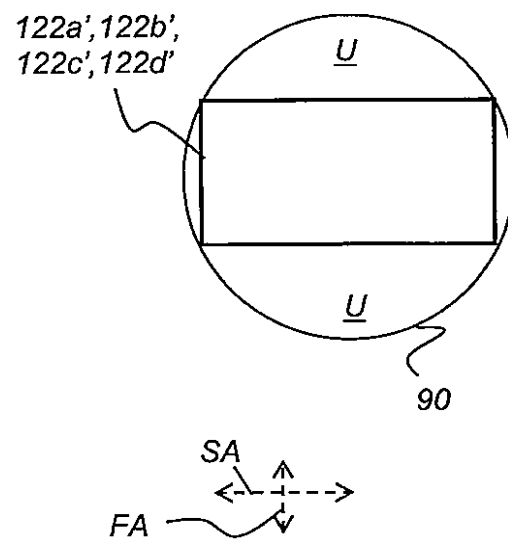
(先行技術)

【図 2 B】



(先行技術)

【図 2 C】



(先行技術)

【図 3 A】

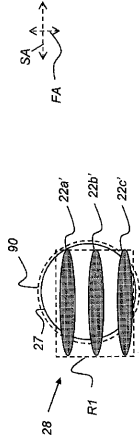


FIG. 3A

【図 3 B】

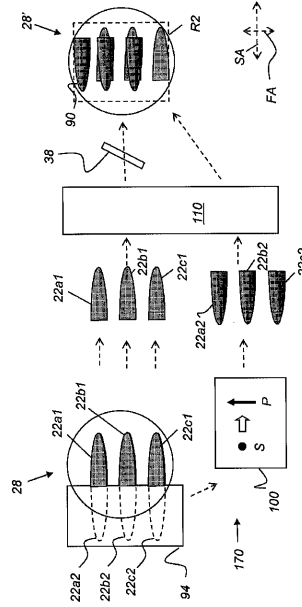


FIG. 3B

【図 4 A】

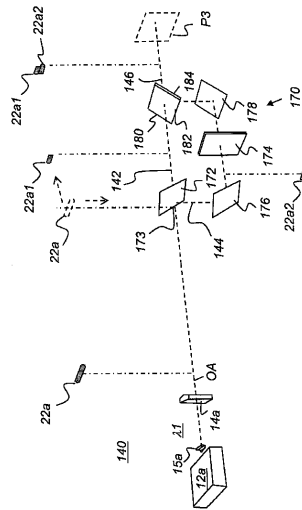


FIG. 4A

【図 4 B】

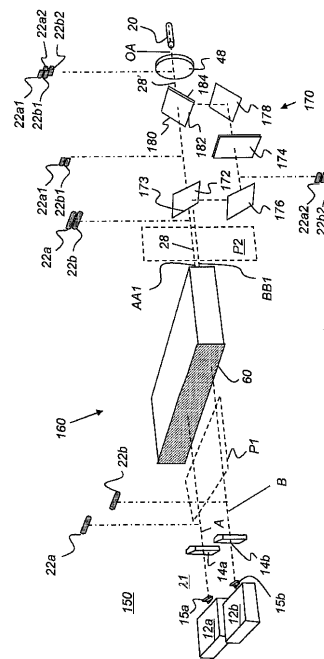


FIG. 4B

【 図 5 E 】

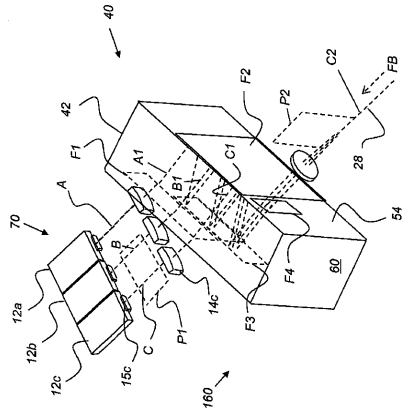
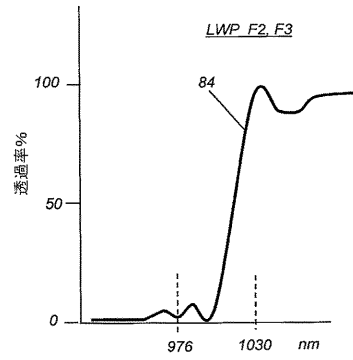


FIG. 5E

【 図 6 B 】



【圖 7】

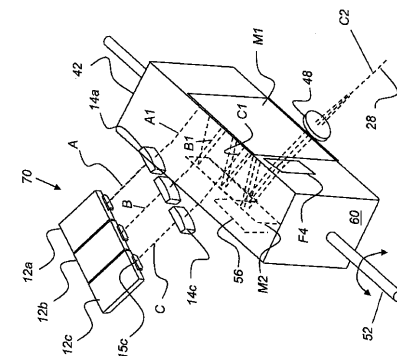
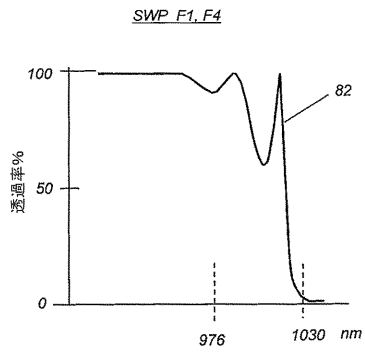


FIG. 7

【 図 6 A 】



【 図 8 A 】

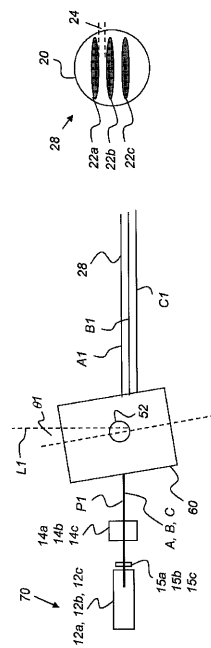


FIG. 8A

【 図 8 B 】

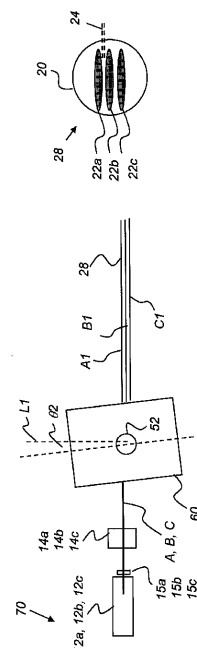
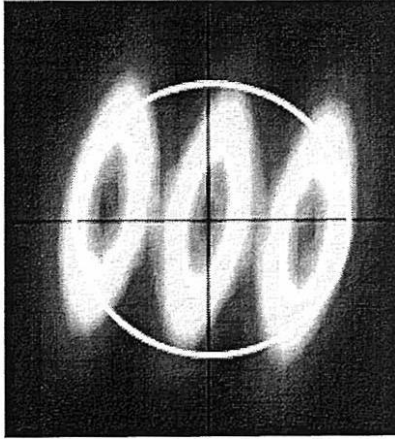
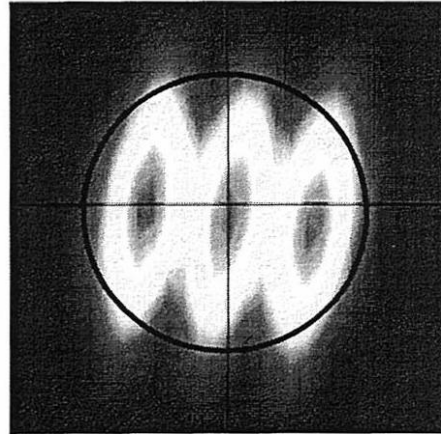


FIG. 8B

【図 9 A】

傾斜角 θ 4.0°

【図 9 B】

傾斜角 θ 3.3°

【図 10】

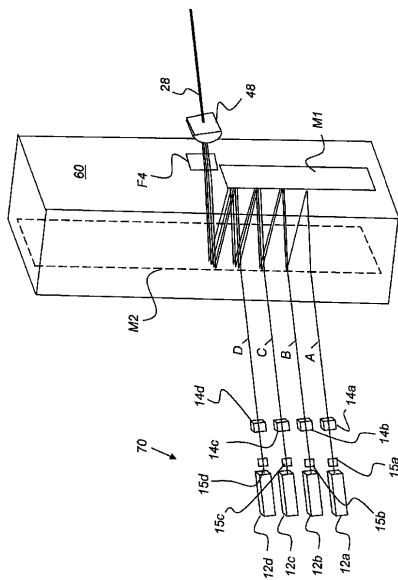


FIG. 10

【図 11】

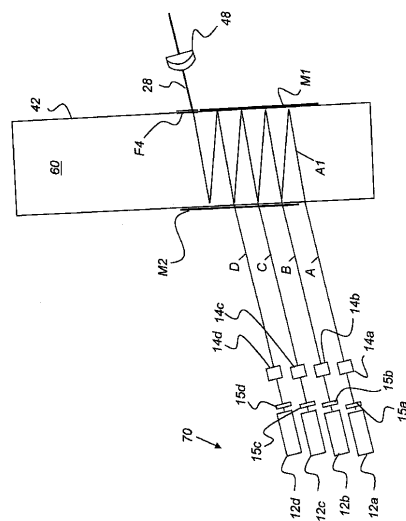


FIG. 11

【図 16】

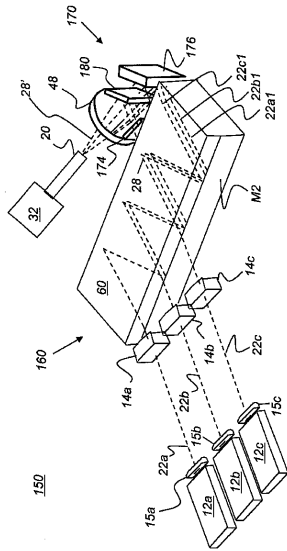


FIG. 16

【図 17】

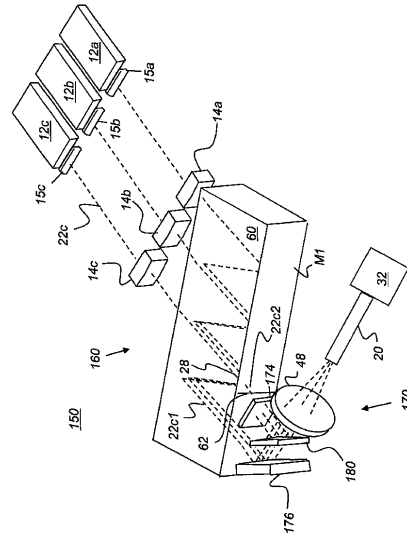
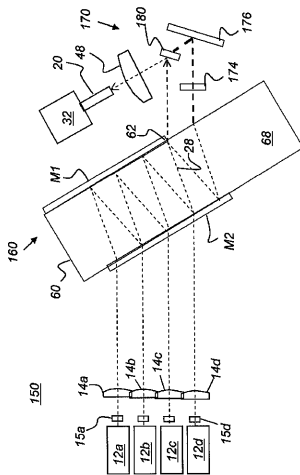


FIG. 17

【図 18】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 2 8 6 4 8 1 (J P , A)
特表平 1 0 - 5 0 2 7 4 6 (J P , A)
特表平 0 9 - 5 0 6 7 1 5 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 0 3 7 6 0 4 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 S 3 / 0 0 - 3 / 3 0
H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0
G 0 2 B 6 / 2 6