

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6157194号
(P6157194)

(45) 発行日 平成29年7月5日(2017.7.5)

(24) 登録日 平成29年6月16日(2017.6.16)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 S 5/40 (2006.01) HO 1 S 5/40
 HO 1 S 5/14 (2006.01) HO 1 S 5/14

請求項の数 3 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2013-90060 (P2013-90060)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22) 出願日	平成25年4月23日(2013.4.23)	(74) 代理人	100101454 弁理士 山田 卓二
(65) 公開番号	特開2014-216361 (P2014-216361A)	(74) 代理人	100081422 弁理士 田中 光雄
(43) 公開日	平成26年11月17日(2014.11.17)	(74) 代理人	100100479 弁理士 竹内 三喜夫
審査請求日	平成27年12月17日(2015.12.17)	(72) 発明者	今野 進 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
		(72) 発明者	森田 大嗣 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ装置および光ビームの波長結合方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1方向に並べて配置され、波長の異なる複数の光ビームが出射する複数のレーザ利得素子と、

前記複数のレーザ利得素子から出射した各光ビームを、前記第1方向に垂直で且つ各光ビームの光軸に垂直な第2方向にそれぞれ異なる距離シフトさせるビーム再配置素子と、

前記ビーム再配置素子を通じた各光ビームの方向を変え、各光ビームの前記第1方向における位置を一致させる第1シリンドリカルレンズと、

前記第1シリンドリカルレンズにより各光ビームの前記第1方向における位置が一致する位置に配置され、各光ビームの前記第1方向における伝播方向を一致させた状態で各光ビームを出射させる第1分散性光学素子と、

前記第1分散性光学素子を通じた前記複数の光ビームの一部を前記複数のレーザ利得素子へ向けて反射する部分反射素子と、

前記部分反射素子を出射した各光ビームを、各光ビームの前記第2方向における位置が一致するように集光する第2シリンドリカルレンズと、

前記第2シリンドリカルレンズにより各光ビームの前記第2方向の位置が一致する位置に配置され、各光ビームの前記第2方向における伝播方向を一致させた状態で前記複数の光ビームを1本のビームに成形して出射させる第2分散性光学素子とを備えた、

レーザ装置。

【請求項2】

10

20

前記複数のレーザ利得素子から出射した各光ビームのビームパターンを、各光ビームの光軸の周りに90度回転させるローテータを備える請求項1に記載のレーザ装置。

【請求項3】

第1方向に並べて配置された複数のレーザ利得素子から、波長の異なる複数の光ビームを出射させるステップと、

ビーム再配置素子により、前記複数のレーザ利得素子から出射した各光ビームを、前記第1方向に垂直で且つ各光ビームの光軸に垂直な第2方向にそれぞれ異なる距離シフトさせるステップと、

第1シリンドリカルレンズにより、前記ビーム再配置素子を通過した各光ビームの方向を変え、各光ビームの前記第1方向における位置を一致させるステップと、

前記第1シリンドリカルレンズにより各光ビームの前記第1方向における位置が一致する位置に配置された第1分散性光学素子により、各光ビームの前記第1方向における伝播方向を一致させた状態で各光ビームを出射させるステップと、

部分反射素子により、前記第1分散性光学素子を通過した前記複数の光ビームの一部を前記複数のレーザ利得素子へ向けて反射するステップと、

第2シリンドリカルレンズにより、前記部分反射素子を出射した各光ビームを、各光ビームの前記第2方向における位置が一致するように集光するステップと、

前記第2シリンドリカルレンズにより各光ビームの前記第2方向の位置が一致する位置に配置された第2分散性光学素子により、各光ビームの前記第2方向における伝播方向を一致させた状態で前記複数の光ビームを1本のビームに成形して出射させるステップと、
を含む波長結合方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の発光点からの光ビームを集約して高輝度の光ビームを発生するレーザ装置および光ビームの波長結合方法に関する。

【背景技術】

【0002】

グレーティングを使用した従来の波長結合型レーザ装置（例えば、特許文献1, 2）は、共振器内部に複数の異なる波長で発振するレーザ利得素子、ビーム重畳素子、グレーティング、部分反射ミラーを備え、レーザ利得素子から発生した複数の波長を持つ光ビームが、ビーム重畳素子によってグレーティング素子上で重畳し、グレーティングの波長分散特性によって波長ごとに異なる角度で回折し、グレーティングと部分反射ミラーの間で、多波長ビームが1つの光軸を持つように構成される。

【0003】

従来の他の波長結合型レーザ装置（例えば、特許文献3）では、複数のレーザ利得素子として、LDが2次元に配列されたスタック型のLD素子を用い、共振器内部に第1のグレーティングを配置して、LDアレイ配列方向にビームを波長結合し、共振器外部に配置された第2のグレーティングを用いて、スタック（積層）方向に波長結合を行って、2次元に配置された発光点を最終的に1点にまとめる構成が開示されている。しかしながら、アレイ方向の重畳が、共振器内部で行われるため、グレーティングとミラーでビーム強度を十分に低減することができない。また、特許文献3の構成は、本質的に特許文献1, 2の構成と別の波長結合を組み合わせたものに過ぎず、また非常に複雑である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許公開第2011/0216417号明細書（図1A）

【特許文献2】米国特許第6192062号明細書（図1A）

【特許文献3】米国特許第6763054号明細書（図1、図2）

【特許文献4】特開2012-47766号公報

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述のような波長結合型レーザ装置では、多数のレーザ利得素子からの光ビームをまとめることによって高出力化を図った場合、グレーティング、部分透過ミラー等の光学部品が受ける光強度がかなり高くなることもあり、その結果、1つのレーザ装置から得られる最大出力に限界が生じ、また、高い光強度による損傷が発生する可能性がある。

【0006】

本発明の目的は、光学部品での光損傷を回避して、高出力のレーザ光を発生できるレーザ装置および光ビームの波長結合方法を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明のレーザ装置は、異なる波長を持つ複数の光ビームを発生する複数のレーザ利得素子と、前記複数の光ビームの各々の一部を前記複数のレーザ利得素子に向けて反射し、前記複数のレーザ利得素子とともに前記複数の光ビームの各々に対する光共振器を構成する部分反射素子と、

前記光共振器の内部に設置され、波長分散を利用して前記複数の光ビームの各々を整列させるための第1分散性光学素子と、

前記光共振器の外部に設置され、波長分散を利用して前記複数の光ビームの各々を整列させるための第2分散性光学素子とを備え、

20

前記第1分散性光学素子において異なる前記複数のレーザ利得素子からの光ビームの光軸が重畳しておらず、前記第2分散性光学素子において前記複数の光ビームの光軸が重畳していることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、レーザ利得素子から第2分散性光学素子の手前に至るまでの経路において、複数の光ビームが特定の光学部品に集中することを回避できる。その結果、光学部品での光損傷を回避でき、レーザの出力限界および装置の信頼性を改善できる。

【図面の簡単な説明】

30

【0009】

【図1】本発明の実施の形態1によるレーザ装置を示す構成図である。

【図2】図1に示すレーザ装置の各位置でのビームパターンを示す概略図である。

【図3】本発明の実施の形態2によるレーザ装置を示す構成図である。

【図4】図3に示すレーザ装置の各位置でのビームパターンを示す概略図である。

【図5】FAC/ローテータ/ビーム再配置素子によるビームパターン変換の様子を示す説明図であり、図5(a)は光軸に対して垂直な平面図であり、図5(b)は斜視図である。

【図6】本発明の実施の形態3によるレーザ装置を示す構成図である。

【図7】本発明の実施の形態4によるレーザ装置を示す構成図である。

40

【図8】図7に示すレーザ装置の各位置でのビームパターンを示す概略図である。

【図9】本発明の実施の形態5によるレーザ装置を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

実施の形態1 .

図1は、本発明の実施の形態1によるレーザ装置を示す構成図である。図2は、図1に示すレーザ装置の各位置でのビームパターンを示す概略図である。これらのビームパターンは、光軸に対して略垂直な面における光ビームの強度分布を示している。

【0011】

レーザ装置は、光ビームの進行方向に沿って、LD(レーザダイオード)バー1と、F

50

A C (ファーストアクシスコリメータ) / ローテータ素子 2 と、ビーム再配置素子 3 と、シリンドリカルレンズ 4 と、グレーティング 5 と、部分反射ミラー 6 と、ローテータ素子 7 と、シリンドリカルレンズ 8 と、グレーティング 9 などを備える。

【 0 0 1 2 】

L D バー 1 は、互いに異なる波長 ($\lambda_1 \sim \lambda_n$) を持つ複数の光ビームを放射する複数の発光点 (エミッタ) を備えており、後端面に全反射コーティング、前端面に無反射コーティングもしくは低反射率コーティングが施されている。なお、通常のコーティング (後端面を全反射コーティング、前端面を部分反射コーティング) を施した L D バーの場合、数十個の発光点から合計出力数十 W ~ 1 0 0 W 超が得られるものが市販されている。本実施形態では、外部共振器を利用するため、市販の L D バーの前面コーティングのみを変更したものをレーザ利得素子として使用する。図 2 では、理解容易のために 4 つの光ビームの使用を例示しているが、実際には、数個 ~ 数十個の光ビームが使用可能である。

10

【 0 0 1 3 】

こうした L D バー 1 は、放熱用のヒートシンクに取り付けられ、ヒートシンクには冷却手段 (不図示) が設けられている。

【 0 0 1 4 】

F A C / ローテータ素子 2 は、L D バー 1 の発光点から放射される光ビームを速軸方向 (Y 方向) に集光しコリメートする F A C と、各光ビームの強度分布を光軸周りに所定の角度 (例えば、9 0 度) だけ回転させるためのローテータとを一体化した素子である。

【 0 0 1 5 】

F A C / ローテータ素子 2 の機能に関して、図 2 (a) は、F A C を通過した直後の位置 P 1 でのビームパターンを示しており、個々の光ビームは X 方向に沿った細長い形状を有し、各光ビームは X 方向に直線状に配列されている。図 2 (b) は、ローテータを通過した後の位置 P 2 でのビームパターンを示しており、各光ビームは Y 方向に沿った細長い形状に変換され、ビーム配列は X 方向に直線状に配列した状態が維持される。

20

【 0 0 1 6 】

こうしたローテータは、ビームパターンを個別に回転して、速軸、遅軸のビーム品質、拡がり角、ビーム径等を互いに交換することができるものであればよく、例えば、4 5 度傾いたシリンドリカルレンズが、発光点の数もしくはそれ以上、発光点と同じ間隔で並んでいる光学素子 (例えば、L I M O 社 B T S 素子) を使用してもよく、あるいは、光軸を 2 回折り曲げることによって、素子の並び方を変更する光学素子 (例えば、I N G E N E R I C 社の V ステップ素子) を使用してもよい。

30

【 0 0 1 7 】

ビーム再配置素子 3 は、図 2 (b) に示すビームパターンを図 2 (c) に示すビームパターンに変換し、即ち、各光ビームが Y 方向に所定間隔でシフトしたビームパターンに変換する機能を有する光学素子であり、例えば、特許文献 4 に開示されているように光ビームの多重反射によって配置を変更する光学素子を使用してもよく、あるいは、ガラス素子による反射またはガラスの屈折率を利用した方向変換光学素子を使用してもよい。

【 0 0 1 8 】

本実施形態では、光ビームの強度分布を光軸周りに回転させるローテータ 2 および、ビーム再配置素子 3 は別個の素子として示しているが、I N G E N E R I C 社の V ステップ素子を少し変更した素子を使用することにより、F A C / ローテータ素子 2 とビーム再配置素子 3 を一体化することも可能である。

40

【 0 0 1 9 】

シリンドリカルレンズ 4 は、水平な X 方向に集光パワーを有し、垂直な Y 方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、図 2 (c) に示すビームパターンを図 2 (d) に示すビームパターンに変換し、即ち、各光ビームの光軸を X 方向に集約して、次段のグレーティング 5 において X 方向に直線状に配列したビームパターンに変換する。このとき、各光ビームは X 方向については略同じ位置にあるが、Y 方向については重畳していない。

【 0 0 2 0 】

50

グレーティング 5 は、Y 軸周りに回折パワーを有し、X 軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させることができる。従って、グレーティング 5 によって整列した各光ビームは、図 2 (d) に示すビームパターンがそのまま維持され、次段の部分反射ミラー 6 に入射する。

【 0 0 2 1 】

部分反射ミラー 6 は、外部共振器の出力ミラーとして機能するものであり、各光ビームの一部を LD バー 1 の対応する発光点に向けて正反射して、LD バー 1 の後面コーティングとともに各光ビームに関する光共振器を構成する。各光ビームは、光共振器の内部を往復しながら、LD バー 1 を通過する際に増幅される。増幅された各光ビームは、部分反射ミラー 6 を通じて取り出される。

10

【 0 0 2 2 】

ローテータ素子 7 は、各光ビームの強度分布を光軸周りに所定の角度 (例えば、90 度) だけ回転させる機能を有しており、素子 2 と同様に、L I M O 社 B T S 素子、I N G E N E R I C 社の V ステップ素子が使用できる。ローテータ素子 7 は、図 2 (d) に示すビームパターンを図 2 (e) に示すビームパターンに変換し、即ち、各光ビームは X 方向に沿った細長い形状に変換され、ビーム配列は Y 方向に直線状に配列した状態が維持される。

【 0 0 2 3 】

シリンドリカルレンズ 8 は、Y 方向に集光パワーを有し、X 方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、図 2 (e) に示すビームパターンを図 2 (f) に示すビームパターンに変換し、即ち、各光ビームの光軸を Y 方向に集約して、次段のグレーティング 9 において各光ビームが重畳したビームパターンに変換する。

20

【 0 0 2 4 】

グレーティング 9 は、X 軸周りに回折パワーを有し、Y 軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、グレーティング 5 と同様に、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させることができる。従って、グレーティング 9 によって整列した各光ビームは、図 2 (f) に示すビームパターンがそのまま維持され、1 本の光ビームとして外部に供給される。

30

【 0 0 2 5 】

上述した構成によれば、LD バー 1 の各発光点から放射された光ビームは、グレーティング 5 および部分反射ミラー 6 を通過する際、互いに重畳せず空間的に分離した状態に維持される。そのため、光ビームが往復して増幅される光共振器内部において、複数の光ビームが特定の光学部品に集中することを回避できる。その結果、光学部品での光損傷を回避でき、レーザの出力限界および装置の信頼性を改善できる。

【 0 0 2 6 】

実施の形態 2 .

図 3 は、本発明の実施の形態 2 によるレーザ装置を示す構成図である。図 4 は、図 3 に示すレーザ装置の各位置でのビームパターンを示す概略図である。これらのビームパターンは、光軸に対して略垂直な面における光ビームの強度分布を示している。

40

【 0 0 2 7 】

レーザ装置は、光ビームの進行方向に沿って、複数の LD (レーザダイオード) バー 1 a , 1 b , 1 c と、複数の F A C (ファーストアクシスコリメータ) / ローテータ / ビーム再配置素子 1 0 と、複数のコリメーションレンズ 1 1 と、集光レンズ 1 2 と、シリンドリカルレンズ 1 3 と、コリメーションレンズ 1 4 と、シリンドリカルレンズ 4 a と、グレーティング 5 a と、シリンドリカルレンズ 1 5 と、部分反射ミラー 6 a と、ローテータ素子 7 a と、シリンドリカルレンズ 8 a と、グレーティング 9 a などを用意する。

【 0 0 2 8 】

LD バー 1 a , 1 b , 1 c は、実施の形態 1 と同様に、互いに異なる波長 (1 ~ n

50

)を持つ複数の光ビームを放射する複数の発光点(エミッタ)を備えており、Y方向に段差のついたヒートシンク上に載置され、LDバーごとに所定のX方向間隔およびY方向間隔で配置される。本実施形態においても、外部共振器を利用するため、後端面に全反射コーティング、前端面に無反射コーティングもしくは低反射率コーティングが施されたLDバーをレーザ利得素子として使用する。図4では、理解容易のために、1つのLDバーが3つの光ビームを発生する場合を例示しているが、実際には、1つのLDバーは数個~数十個の光ビームを発生できる。

【0029】

FAC/ローテータ/ビーム再配置素子10は、実施の形態1に係るFAC/ローテータ素子2およびビーム再配置素子3を一体化したような機能を有する。

10

【0030】

図5は、FAC/ローテータ/ビーム再配置素子10によるビームパターン変換の様子を示す説明図であり、図5(a)は光軸に対して垂直な平面図であり、図5(b)は斜視図である。1つのLDバーは4つの光ビームA, B, C, Dを発生し、FACによって速軸方向(Y方向)に集光、コリメートされると、個々の光ビームはX方向に沿った細長い形状を有し、各光ビームはX方向に直線状に配列される。続いて、各光ビームは、光軸方向にシフト配置された4つの反射ミラーによってY方向に反射され、続いて光軸方向にシフト配置された4つの反射ミラーによって光軸方向に反射される。その結果、個々の光ビームはY方向に沿った細長い形状を有し、各光ビームがY方向に所定間隔でシフトしたビームパターンに変換される。

20

【0031】

こうしたFAC/ローテータ/ビーム再配置素子10は、INGENERIC社のVステップ素子に似た形状であるが、Vステップ素子の場合、光ビームA, B, C, Dは、Y方向の高さが同じで、X方向に並んで出力されるのに対し、図5に示した素子10では、Y方向の高さに段差をつけて出力される。こうした配列を有する光ビームは、次段のコリメーションレンズ11によってそれぞれ平行化される。

【0032】

図4(a)は、FAC/ローテータ/ビーム再配置素子10の入射直前の位置P1でのビームパターンを示しており、LDバー1a, 1b, 1cからの各光ビームは、LDバーごとに所定のX方向間隔およびY方向間隔で配列される。図4(b)は、FAC/ローテータ/ビーム再配置素子10およびコリメーションレンズ11を通過した後の位置P2でのビームパターンを示しており、各光ビームはY方向に沿った細長い形状に変換され、ビーム配列はY方向に所定間隔でシフトしたビームパターンに変換される。

30

【0033】

集光レンズ12は、X方向およびY方向に等しい集光パワーを有しており、各光ビームの光軸はX方向およびY方向に集約され、コリメーションレンズ14の前方で交差するように配置される。

【0034】

シリンドリカルレンズ13は、Y方向に集光パワーを有し、X方向の集光パワーがゼロである光学素子である。

40

【0035】

コリメーションレンズ14は、集光レンズ12との組合せによってビームパターンのサイズを縮小する機能を有する。図4(c)は、コリメーションレンズ14を通過した後の位置P3でのビームパターンを示している。

【0036】

シリンドリカルレンズ4aは、X方向に集光パワーを有し、Y方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、図4(c)に示すビームパターンを図4(d)に示すビームパターンに変換し、即ち、各光ビームの光軸をX方向に集約して、次段のグレーティング5aにおいてX方向に直線状に配列したビームパターンに変換する。このとき、各光ビームはX方向については略同じ位置にあるが、Y方向については重畳していない。

50

【0037】

グレーティング5 aは、Y軸周りに回折パワーを有し、X軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させることができる。従って、グレーティング5 aによって整列した各光ビームは、図4 (d) に示すビームパターンがそのまま維持される。

【0038】

シリンダリカルレンズ1 5は、Y方向に集光パワーを有し、X方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、シリンダリカルレンズ1 3との組合せによってLDバー1 a, 1 b, 1 cの前端面での像を部分反射ミラー6 a上に転写する機能を有する。

10

【0039】

部分反射ミラー6 aは、外部共振器の出力ミラーとして機能するものであり、各光ビームの一部をLDバー1の対応する発光点に向けて正反射して、LDバー1 a, 1 b, 1 cの後面コーティングとともに各光ビームに関する光共振器を構成する。各光ビームは、光共振器の内部を往復しながら、LDバー1 a, 1 b, 1 cを通過する際に増幅される。増幅された各光ビームは、部分反射ミラー6を通じて取り出される。

【0040】

ローテータ素子7 aは、各光ビームの強度分布を光軸周りに所定の角度(例えば、90度)だけ回転させる機能を有しており、L I M O社B T S素子、I N G E N E R I C社のVステップ素子が使用できる。ローテータ素子7は、図4 (d) に示すビームパターンを図4 (e) に示すビームパターンに変換し、即ち、各光ビームはX方向に沿った細長い形状に変換され、ビーム配列はY方向に直線状に配列した状態が維持される。

20

【0041】

シリンダリカルレンズ8 aは、Y方向に集光パワーを有し、X方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、図4 (e) に示すビームパターンを図4 (f) に示すビームパターンに変換し、即ち、各光ビームの光軸をY方向に集約して、次段のグレーティング9 aにおいて各光ビームが重畳したビームパターンに変換する。

【0042】

グレーティング9 aは、X軸周りに回折パワーを有し、Y軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、グレーティング5 aと同様に、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させることができる。従って、グレーティング9 aによって整列した各光ビームは、図4 (f) に示すビームパターンがそのまま維持され、1本の光ビームとして外部に供給される。

30

【0043】

上述した構成によれば、複数のLDバー1 a, 1 b, 1 cの各発光点から放射された光ビームを1本の光ビームに重畳できるとともに、光ビームがグレーティング5 aおよび部分反射ミラー6 aを通過する際、互いに重畳せず空間的に分離した状態に維持される。そのため、光ビームが往復して増幅される光共振器内部において、複数の光ビームが特定の光学部品に集中することを回避できる。その結果、光学部品での光損傷を回避でき、レーザの出力限界および装置の信頼性を改善できる。

40

【0044】

実施の形態3 .

図6は、本発明の実施の形態3によるレーザ装置を示す構成図である。レーザ装置の各位置でのビームパターンは、図4と同様であるため、図示を省略している。本実施形態は、レーザ装置の全体的構成に関して実施の形態2と同様であるが、折り返しミラーを用いて複数のLDバーからの光ビームを整列させている点が相違する。

【0045】

レーザ装置は、光ビームの進行方向に沿って、複数のLD(レーザダイオード)バー1 d, 1 e, 1 fと、複数のFAC(ファーストアクシスコリメータ)/ローテータ/ビー

50

ム再配置素子 10 a , 10 b , 10 c と、複数のコリメーションレンズ 11 a , 11 b , 11 c と、複数の折り返しミラー 16 と、シリンダリカルレンズ 13 a と、集光レンズ 12 a と、コリメーションレンズ 14 a と、シリンダリカルレンズ 4 b と、グレーティング 5 b と、シリンダリカルレンズ 15 a と、部分反射ミラー 6 b と、ローテータ素子 7 b と、シリンダリカルレンズ 8 b と、グレーティング 9 b などを用意する。

【 0046 】

LDバー 1 d , 1 e , 1 f は、実施の形態 1 , 2 と同様に、互いに異なる波長 (1 ~ n) を持つ複数の光ビームを放射する複数の発光点 (エミッタ) を備える。LDバー 1 e は、実施の形態 2 の LDバー 1 b と同じ配置であるが、LDバー 1 d , 1 f は、LDバー 1 e から光ビームと略 90 度で交差する光ビームを発生するように配置される。本実施形態においても、外部共振器を利用するため、後端面に全反射コーティング、前端面に無反射コーティングもしくは低反射率コーティングが施された LDバーをレーザ利得素子として使用する。

10

【 0047 】

LDバー 1 d , 1 e , 1 f は、Y 方向に段差のついたヒートシンク上に載置されており、LDバー 1 d , 1 f から光ビームは各折り返しミラー 16 によって反射される。この段階で、LDバー 1 d , 1 e , 1 f から光ビームの配列は、実際は水平に並んではいないが、図 4 (a) に示すビームパターンと等価になる。

【 0048 】

FAC/ローテータ/ビーム再配置素子 10 a , 10 b , 10 c は、実施の形態 2 の FAC/ローテータ/ビーム再配置素子 10 と同様な構成および機能を有する。これらの素子 10 a , 10 b , 10 c を通過した光ビームの配列は、実際は水平に並んではいないが、図 4 (b) に示すビームパターンと等価になる。こうした配列を有する光ビームは、次段のコリメーションレンズ 11 a , 11 b , 11 c によってそれぞれ平行化される。

20

【 0049 】

折り返しミラー 16 から後段は、実施の形態 2 と同様な構成および機能を有する。

【 0050 】

シリンダリカルレンズ 13 a は、Y 方向に集光パワーを有し、X 方向の集光パワーがゼロである光学素子である。

【 0051 】

集光レンズ 12 a は、X 方向および Y 方向に等しい集光パワーを有しており、各光ビームの光軸は X 方向および Y 方向に集約され、コリメーションレンズ 14 a の前方で交差するように配置される。

30

【 0052 】

コリメーションレンズ 14 a は、集光レンズ 12 a との組合せによってビームパターンのサイズを縮小する機能を有し、図 4 (c) に示すビームパターンが得られる。

【 0053 】

シリンダリカルレンズ 4 b は、X 方向に集光パワーを有し、Y 方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、図 4 (c) に示すビームパターンを図 4 (d) に示すビームパターンに変換する。

40

【 0054 】

グレーティング 5 b は、Y 軸周りに回折パワーを有し、X 軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させる。

【 0055 】

シリンダリカルレンズ 15 a は、Y 方向に集光パワーを有し、X 方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、シリンダリカルレンズ 13 a との組合せによって LDバー 1 d , 1 e , 1 f の前端面での像を部分反射ミラー 6 b 上に転写する機能を有する。

【 0056 】

部分反射ミラー 6 b は、外部共振器の出力ミラーとして機能するものであり、LDバー

50

1 d , 1 e , 1 f の後面コーティングとともに各光ビームに関する光共振器を構成する。各光ビームは、光共振器の内部を往復しながら、LDバー1 d , 1 e , 1 f を通過する際に増幅される。増幅された各光ビームは、部分反射ミラー6 b を通じて取り出される。

【0057】

ローテータ素子7 b は、各光ビームの強度分布を光軸周りに所定の角度（例えば、90度）だけ回転させる機能を有し、図4（d）に示すビームパターンを図4（e）に示すビームパターンに変換する。

【0058】

シリンダリカルレンズ8 b は、Y方向に集光パワーを有し、X方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、図4（e）に示すビームパターンを図4（f）に示すビームパターンに変換する。

10

【0059】

グレーティング9 b は、X軸周りに回折パワーを有し、Y軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、グレーティング5 b と同様に、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させ、図4（f）に示すように1本の光ビームとして外部に供給される。

【0060】

上述した構成によれば、複数のLDバー1 d , 1 e , 1 f の各発光点から放射された光ビームを1本の光ビームに重畳できるとともに、光ビームがグレーティング5 b および部分反射ミラー6 b を通過する際、互いに重畳せず空間的に分離した状態に維持される。そのため、光ビームが往復して増幅される光共振器内部において、複数の光ビームが特定の光学部品に集中することを回避できる。その結果、光学部品での光損傷を回避でき、レーザーの出力限界および装置の信頼性を改善できる。

20

【0061】

また、シリンダリカルレンズ4 b , 8 b の焦点距離、グレーティング5 b 、9 b の回折角度、回折溝の数などパラメータを変えることにより、共振器長さを変えることができ、コンパクトな共振器を構成することが可能である。

【0062】

なお、図4に示したビームパターンは、ビームパターンの変化をわかりやすく示すためのものであり、Y方向の集光パワーを持つレンズ等の存在により、サイズが変わるので厳密に正しいパターンを示すものではないことに留意する。

30

【0063】

実施の形態4 .

図7は、本発明の実施の形態4によるレーザー装置を示す構成図である。図8は、図7に示すレーザー装置の各位置でのビームパターンを示す概略図である。これらのビームパターンは、光軸に対して略垂直な面における光ビームの強度分布を示している。

【0064】

レーザー装置は、光ビームの進行方向に沿って、複数のLD（レーザダイオード）バー1 g , 1 h , 1 i と、複数のFAC（ファーストアクシスコリメータ）/ローテータ素子1 7 , 1 7 a , 1 7 b と、複数のコリメーションレンズ1 1 a と、複数の折り返しミラー1 6 と、シリンダリカルレンズ1 3 b と、集光レンズ1 2 a と、コリメーションレンズ1 4 b と、シリンダリカルレンズ1 5 b と、集光レンズ1 4 c と、折り返しミラー1 8 と、グレーティング5 c と、部分反射ミラー6 c と、集光レンズ1 4 d と、グレーティング5 d などを備える。

40

【0065】

LDバー1 g , 1 h , 1 i は、実施の形態1 ~ 3 と同様に、互いに異なる波長（1 ~ n）を持つ複数の光ビームを放射する複数の発光点（エミッタ）を備える。LDバー1 h は、実施の形態3のLDバー1 e と同じ配置であるが、LDバー1 g , 1 h は、LDバー1 h からの光ビームと略90度で交差する光ビームを発生するように配置される。本実施形態においても、外部共振器を利用するため、後端面に全反射コーティング、前端面に

50

無反射コーティングもしくは低反射率コーティングが施されたLDバーをレーザー利得素子として使用する。

【0066】

LDバー1g, 1h, 1iは、Y方向高さがほぼ同じであるヒートシンク上に載置されており、LDバー1g, 1iからの光ビームは各折り返しミラー16によって反射される。この段階で、LDバー1g, 1h, 1iからの光ビームの配列は、実際は水平に並んではいないが、図8(a)に示すビームパターンと等価になる。なお、図8中の点線は、光ビームをLDバーごとにグループ分けしている。

【0067】

FAC/ローテータ素子17, 17a, 17bは、実施の形態1のFAC/ローテータ素子2と同様に、LDバー1g, 1h, 1iの発光点から放射される光ビームを速軸方向(Y方向)に集光しコリメートするFACと、各光ビームの強度分布を光軸周りに所定の角度(例えば、90度)だけ回転させるためのローテータとを一体化した素子である。これにより図8(a)に示すビームパターンは、図8(b)に示すビームパターンに変換される。こうした配列を有する光ビームは、次段のコリメーションレンズ11aによってそれぞれ平行化される。

10

【0068】

シリンダリカルレンズ13bは、Y方向に集光パワーを有し、X方向の集光パワーがゼロである光学素子である。

【0069】

集光レンズ12aは、X方向およびY方向に等しい集光パワーを有しており、各光ビームの光軸はX方向およびY方向に集約され、コリメーションレンズ14aの前方で交差するように配置される。

20

【0070】

コリメーションレンズ14bは、集光レンズ12aとの組合せによってビームパターンのサイズを縮小する機能を有し、図8(c)に示すビームパターンが得られる。

【0071】

シリンダリカルレンズ15bは、Y方向に集光パワーを有し、X方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、シリンダリカルレンズ13bとの組合せによってLDバー1g, 1h, 1iの前端面での像を部分反射ミラー6c上に転写する機能を有する。

30

【0072】

集光レンズ14cは、X方向およびY方向に等しい集光パワーを有しており、各光ビームの光軸はX方向およびY方向に集約され、グレーティング5cの前方で交差するように配置される。

【0073】

折り返しミラー18は、集光レンズ14cを通過した光ビームを反射する。

【0074】

グレーティング5cは、Y軸周りに回折パワーを有し、X軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させる。

40

【0075】

部分反射ミラー6cは、外部共振器の出力ミラーとして機能するものであり、LDバー1g, 1h, 1iの後面コーティングとともに各光ビームに関する光共振器を構成する。各光ビームは、光共振器の内部を往復しながら、LDバー1g, 1h, 1iを通過する際に増幅される。増幅された各光ビームは、部分反射ミラー6cを通じて取り出される。

【0076】

集光レンズ14dは、X方向およびY方向に等しい集光パワーを有しており、各光ビームの光軸はX方向およびY方向に集約され、グレーティング5dにおいて交差するように配置される。

【0077】

50

グレーティング 5 d は、Y 軸周りに回折パワーを有し、X 軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させ、図 8 (e) に示すように 1 本の光ビームとして外部に供給される。

【 0 0 7 8 】

上述した構成によれば、複数の LD 部 1 g , 1 h , 1 i の各発光点から放射された光ビームを 1 本の光ビームに重畳できるとともに、光ビームがグレーティング 5 c および部分反射ミラー 6 c を通過する際、互いに重畳せず空間的に分離した状態に維持される。そのため、光ビームが往復して増幅される光共振器内部において、複数の光ビームが特定の光学部品に集中することを回避できる。その結果、光学部品での光損傷を回避でき、レーザの出力限界および装置の信頼性を改善できる。

10

【 0 0 7 9 】

本実施形態では、折り返しミラー 1 8 とグレーティング 5 c を図 7 のように配置することによって、各発光点から放射されるビーム間の光路差が低減される。ここでは、ビーム間の光路差を解消する手段として、折り返しミラーを光路に配置した場合を例示したが、他の手段として、ガラス素子を透過させ、屈折率と通過距離の違いによって光路差を解消することも可能である。

【 0 0 8 0 】

また、レンズ 1 4 c , 1 4 d およびグレーティング 5 c , 5 d は、それぞれ同じものを使用してもよく、その場合は、グレーティング 5 c , 5 d の使い方が逆向きになるのでグレーティングの施された面を逆向きに配置してもよい。

20

【 0 0 8 1 】

なお、図 8 に示したビームパターンは、ビームパターンの変化をわかりやすく示すためのものであり、Y 方向の集光パワーを持つレンズ等の存在により、サイズが変わるので厳密に正しいパターンを示すものではないことに留意する。

【 0 0 8 2 】

さらに、グレーティング 5 c , 5 d を全く同じ素子とし、集光時の拡がり角が同じとなるように構成した場合、共通の素子を使用しているため、レーザ利得素子およびミラーの位置関係とグレーティング 5 c によって、各発光点から放射される光ビームの波長が決定される。そのため、各発光点からの光ビームの位置、角度ずれ情報が発振波長に含まれた状態で共振器外に出力されるため、より位置ずれ、角度ずれに強い分散を利用した波長結合共振器を実現できる。

30

【 0 0 8 3 】

実施の形態 5 .

図 9 は、本発明の実施の形態 5 によるレーザ装置を示す構成図である。レーザ装置の各位置でのビームパターンは、図 8 と同様であるため、図示を省略している。本実施形態は、レーザ装置の全体的構成に関して実施の形態 4 と同様であるが、折り返しミラー 1 8、グレーティング 5 c という順序を逆にして、グレーティング 5 e、折り返しミラー 1 8 a という順序に変更している点が相違する。

【 0 0 8 4 】

40

レーザ装置は、光ビームの進行方向に沿って、複数の LD (レーザダイオード) 部 1 j , 1 k , 1 l と、複数の F A C (ファーストアクシスコリメータ) / ローテータ素子 1 7 c , 1 7 d , 1 7 e と、複数のコリメーションレンズ 1 1 b と、複数の折り返しミラー 1 6 a と、シリンダリカルレンズ 1 3 c と、集光レンズ 1 2 a と、コリメーションレンズ 1 4 e と、シリンダリカルレンズ 1 5 c と、グレーティング 5 e と、折り返しミラー 1 8 a と、コリメーションレンズ 1 4 f と、部分反射ミラー 6 d と、集光レンズ 1 4 g と、グレーティング 5 f などを備える。

【 0 0 8 5 】

LD 部 1 j , 1 k , 1 l は、実施の形態 1 ~ 4 と同様に、互いに異なる波長 (1 ~ n) を持つ複数の光ビームを放射する複数の発光点 (エミッタ) を備える。LD 部 1

50

k は、実施の形態 4 の LD バー 1 h と同じ配置であるが、LD バー 1 j , 1 l は、LD バー 1 k からの光ビームと略 90 度で交差する光ビームを発生するように配置される。本実施形態においても、外部共振器を利用するため、後端面に全反射コーティング、前端面に無反射コーティングもしくは低反射率コーティングが施された LD バーをレーザ利得素子として使用する。

【0086】

LD バー 1 j , 1 k , 1 l は、Y 方向高さがほぼ同じであるヒートシンク上に載置されており、LD バー 1 j , 1 l からの光ビームは各折り返しミラー 16 a によって反射される。この段階で、LD バー 1 j , 1 k , 1 l からの光ビームの配列は、実際は水平に並んではないが、図 8 (a) に示すビームパターンと等価になる。

10

【0087】

FAC / ロータータ素子 17 c , 17 d , 17 e は、実施の形態 1 の FAC / ロータータ素子 2 と同様に、LD バー 1 j , 1 k , 1 l の発光点から放射される光ビームを速軸方向 (Y 方向) に集光しコリメートする FAC と、各光ビームの強度分布を光軸周りに所定の角度 (例えば、90 度) だけ回転させるためのロータータとを一体化した素子である。これにより図 8 (a) に示すビームパターンは、図 8 (b) に示すビームパターンに変換される。こうした配列を有する光ビームは、次段のコリメーションレンズ 11 b によってそれぞれ平行化される。

【0088】

シリンダリカルレンズ 13 c は、Y 方向に集光パワーを有し、X 方向の集光パワーがゼロである光学素子である。

20

【0089】

集光レンズ 12 a は、X 方向および Y 方向に等しい集光パワーを有しており、各光ビームの光軸は X 方向および Y 方向に集約され、コリメーションレンズ 14 e の前方で交差するように配置される。

【0090】

コリメーションレンズ 14 e は、集光レンズ 12 a との組合せによってビームパターンのサイズを縮小する機能を有し、図 8 (c) に示すビームパターンが得られる。

【0091】

シリンダリカルレンズ 15 c は、Y 方向に集光パワーを有し、X 方向の集光パワーがゼロである光学素子であり、シリンダリカルレンズ 13 c との組合せによって LD バー 1 j , 1 k , 1 l の前端面での像を部分反射ミラー 6 d 上に転写する機能を有する。

30

【0092】

グレーティング 5 e は、Y 軸周りに回折パワーを有し、X 軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸が折り返しミラー 18 a の前方で交差するように配置される。

【0093】

折り返しミラー 18 a は、グレーティング 5 e を通過した光ビームを反射する。

【0094】

コリメーションレンズ 14 f は、各光ビームの光軸を平行に整列させる。

40

【0095】

部分反射ミラー 6 d は、外部共振器の出力ミラーとして機能するものであり、LD バー 1 j , 1 k , 1 l の後面コーティングとともに各光ビームに関する光共振器を構成する。各光ビームは、光共振器の内部を往復しながら、LD バー 1 j , 1 k , 1 l を通過する際に増幅される。増幅された各光ビームは、部分反射ミラー 6 d を通じて取り出される。

【0096】

集光レンズ 14 g は、X 方向および Y 方向に等しい集光パワーを有しており、各光ビームの光軸は X 方向および Y 方向に集約され、グレーティング 5 f において交差するように配置される。

50

【 0 0 9 7 】

グレーティング 5 f は、Y 軸周りに回折パワーを有し、X 軸周りの回折パワーがゼロである光学素子であり、ブラッグの法則に従って光ビームの波長に応じて光ビームの回折角が異なる波長分散を利用して、各光ビームの光軸を平行に整列させ、図 8 (e) に示すように 1 本の光ビームとして外部に供給される。

【 0 0 9 8 】

上述した構成によれば、複数の LD バー 1 j , 1 k , 1 l の各発光点から放射された光ビームを 1 本の光ビームに重畳できるとともに、光ビームがグレーティング 5 e および部分反射ミラー 6 d を通過する際、互いに重畳せず空間的に分離した状態に維持される。そのため、光ビームが往復して増幅される光共振器内部において、複数の光ビームが特定の光学部品に集中することを回避できる。その結果、光学部品での光損傷を回避でき、レーザの出力限界および装置の信頼性を改善できる。

10

【 0 0 9 9 】

また、上述した実施の形態 1 ~ 5 において、レーザ利得媒質として、複数の発光点を持つ LD バーを使用した場合を例示したが、これに限られず、シングルエミッタ LD、ファイバレーザ、固体レーザ、ガスレーザをアレイ状に配列して構成でも本発明は同様に適用できる。特に、数百 W ~ 数 kW クラスのレーザ装置を構成する場合、光損傷を回避できる本発明の手法は極めて有効である。

また実施の形態 1 ~ 5 において、波長分散を利用した分散性光学素子として、透過型のグレーティングを使用した場合を例示したが、これに限られず、反射型のグレーティングを使用してよく、あるいは V B G (Volume Bragg Grating)、光学プリズムなどを使用してもよい。

20

【 符号の説明 】

【 0 1 0 0 】

1 , 1 a , 1 b , 1 c , 1 d , 1 e , 1 f , 1 g , 1 h , 1 i , 1 j , 1 k , 1 l L
D バー、 2 F A C / ロータータ素子、 3 ビーム再配置素子、
4 , 4 a , 4 b シリンドリカルレンズ、
5 , 5 a , 5 b , 5 c , 5 d , 5 e , 5 f グレーティング、
6 , 6 a , 6 b , 6 c , 6 d 部分反射ミラー、
7 , 7 a , 7 b ロータータ素子、 8 , 8 a , 8 b シリンドリカルレンズ、
9 , 9 a , 9 b グレーティング、
10 , 10 a , 10 b , 10 c F A C / ロータータ / ビーム再配置素子、
11 , 11 a , 11 b , 11 c コリメーションレンズ、
12 , 12 a 集光レンズ、
13 , 13 a , 13 b , 13 c シリンドリカルレンズ、
14 , 14 a , 14 b , 14 e , 14 f コリメーションレンズ、
14 c , 14 d , 14 g 集光レンズ、
15 , 15 a , 15 b , 15 c シリンドリカルレンズ、 16 折り返しミラー、
17 , 17 a , 17 b , 17 c , 17 d , 17 e F A C / ロータータ素子、
18 , 18 a 折り返しミラー。

30

40

フロントページの続き

- (72)発明者 桂 智毅
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 藤川 周一
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 村井 友和

- (56)参考文献 米国特許第06763054(US, B1)
特表2012-508453(JP, A)
特表2011-507035(JP, A)
米国特許出願公開第2011/0134942(US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 5/00-5/50