

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6211237号
(P6211237)

(45) 発行日 平成29年10月11日(2017.10.11)

(24) 登録日 平成29年9月22日(2017.9.22)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 S 5/14 (2006.01) H O 1 S 5/14

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2017-533509 (P2017-533509)	(73) 特許権者	000006013
(86) (22) 出願日	平成29年1月20日 (2017.1.20)		三菱電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2017/001924		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
審査請求日	平成29年6月20日 (2017.6.20)	(74) 代理人	100118762
早期審査対象出願			弁理士 高村 順
		(72) 発明者	京藤 友博
			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	西前 順一
			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
		(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに波長の異なるレーザビームを発生する複数のレーザ媒質と、前記複数のレーザ媒質のそれぞれから出射されるレ - ザビームを重畳手段により分散素子上に1つに重畳させて結合するレーザ装置であって、

前記分散素子は、前記重畳手段により複数の前記レーザビームが1つに重畳された位置に設置されると共に、互いに波長の異なるレーザビームの2次回折光をそれぞれの前記レーザ媒質へ帰還させ、互いに波長の異なるレーザビームの+1次回折光及び-1次回折光を1つの光軸を有するレーザビームとして出力することを特徴とするレーザ装置。

【請求項2】

前記分散素子は、リトロ配置され、

前記リトロ配置は、前記+1次回折光及び前記-1次回折光を出射し、前記2次回折光をそれぞれの前記レーザ媒質へ帰還させる配置であることを特徴とする請求項1に記載のレーザ装置。

【請求項3】

前記分散素子は、前記+1次回折光又は前記-1次回折光の回折効率が50%より大きいことを特徴とする請求項1に記載のレーザ装置。

【請求項4】

前記レーザ媒質と前記分散素子との間に配置された波長フィルタを備えることを特徴とする請求項1に記載のレーザ装置。

【請求項 5】

複数の前記レーザービームのそれぞれをコリメートするコリメータを備えることを特徴とする請求項 1 から 4 の何れか一項に記載のレーザー装置。

【請求項 6】

複数の前記レーザービームのそれぞれのビーム軸を回転させるビーム回転素子を備えることを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか一項に記載のレーザー装置。

【請求項 7】

複数の前記レーザービームの重畳面と前記分散素子上にリレーするリレー光学系を備えることを特徴とする請求項 1 から 6 の何れか一項に記載のレーザー装置。

【請求項 8】

前記分散素子への入射光と回折光を含む面内に対し、前記コリメータを傾斜することにより、前記レーザー媒質から出射される主光線の向きを変更することを特徴とする請求項 5 に記載のレーザー装置。

10

【請求項 9】

前記分散素子で発生する 0 次回折光を回収する光学系を備えることを特徴とする請求項 1 から 8 の何れか一項に記載のレーザー装置。

【請求項 10】

複数の前記レーザー媒質は、前記分散素子面の法線を挟んで正及び負の角度で前記分散素子に入射する位置に配置されることを特徴とする請求項 1 から 9 の何れか一項に記載のレーザー装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長の異なる複数のレーザービームを結合することによって高出力のレーザービームを得る波長ビーム結合型のレーザー装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 に開示される従来のレーザー装置は、波長の異なる複数のレーザービームを、回折格子である分散素子上に重畳し、分散作用によって 1 本に結合したレーザービームを生成し、部分反射鏡を用いてこの結合したレーザービームの一部を反射してレーザー媒質へ戻して共振器を構成すると共に、結合したレーザービームの部分反射鏡を透過する成分を出力として取り出すように構成される。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2011 / 0216417 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら特許文献 1 に開示される従来のレーザー装置では、結合したレーザービームの一部が反射してレーザー媒質側へ戻る際にレーザービームが分散素子を經由するために、分散素子の損失によってビーム出力が低下すると共にエネルギー効率が低下するという課題があった。

40

【0005】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、ビーム出力及びエネルギー効率の低下を抑制できるレーザー装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明のレーザー装置は、互いに波長の異なるレーザービームを発生する複数のレーザー媒質と、複数のレーザー媒質のそれぞれから出

50

射されるレザビームを重畳手段により分散素子上に1つに重畳させて結合するレーザ装置であって、分散素子は、重畳手段により複数のレーザビームが1つに重畳された位置に設置されると共に、互いに波長の異なるレーザビームの2次回折光をそれぞれのレーザ媒質へ帰還させ、互いに波長の異なるレーザビームの+1次回折光及び-1次回折光を1つの光軸を有するレーザビームとして出力することを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

本発明に係るレーザ装置は、ビーム出力及びエネルギー効率の低下を抑制できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

10

【0008】

【図1】本発明の実施の形態1に係るレーザ装置の構成を示す図

【図2】本発明の実施の形態1に係るレーザ装置において、2次回折光がレーザ媒質へ帰還する際の各レーザビームの波長を示す図

【図3】2次回折光に対してリトロ配置された回折格子で発生する1次回折光の回折角を示す図

【図4】特許文献1に開示されるレーザ装置の構成を示す図

【図5】フィードバック率に対する半導体レーザの寿命の関係を示す図

【図6】本発明の実施の形態2に係るレーザ装置の構成を示す図

【図7】比較例に係るレーザ装置の構成を示す図

20

【図8】本発明の実施の形態3に係るレーザ装置の構成を示す図

【図9】本発明の実施の形態4に係るレーザ装置の構成を示す図

【図10】本発明の実施の形態5に係るレーザ装置の構成を示す図

【図11】本発明の実施の形態6に係るレーザ装置の構成を示す図

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に、本発明の実施の形態に係るレーザ装置を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0010】

実施の形態1.

30

図1は本発明の実施の形態1に係るレーザ装置の構成を示す図である。実施の形態1に係るレーザ装置100-1は、レーザユニット1と、レーザユニット1の出射側に配置された分散素子3と、レーザユニット1及び分散素子3の間に配置された重畳手段である重畳レンズ2とを備える。分散素子3は、重畳レンズ2により、複数のレーザビームが1つに重畳された位置に設置されると共に、複数のレーザビームの一部を第1のレーザビームとしてレーザ媒質11側へ戻し、複数のレーザビームの一部を1つの光軸を有する第2のレーザビームとして出力する。

【0011】

レーザユニット1としては半導体レーザアレイまたは半導体レーザバーを例示できる。レーザ媒質11としては半導体レーザアレイを例示できる。半導体レーザバーは、複数の発光点の形成された一枚の半導体チップで形成されたデバイスであり、半導体レーザアレイは、複数の半導体チップを一つのデバイスに組み込んだものである。半導体レーザバーが半導体レーザアレイに含まれる場合もある。複数のレーザ媒質11のそれぞれが発生したレーザビームは、重畳レンズ2によって偏向され、各々に異なる出射角度が付与されて分散素子3上において重畳される。

40

【0012】

分散素子3としては回折格子を例示でき、レーザ装置100-1では分散素子3が所謂、リトロ配置されている。リトロ配置とは、想定される波長において複数のレーザビームのそれぞれの2次回折光の回折角と複数のレーザビームのそれぞれの入射角とが一致するように、回折格子の溝本数及び設置角度が設定されている配置を指す。リトロ配置

50

された回折格子を備えるレーザ装置 100 - 1 では、回折格子で発生する 2 次回折光が入射ビームに沿ってそれぞれのレーザ媒質 11 に帰還するフィードバック光となり、それぞれのレーザ媒質 11 と回折格子との間でビーム毎に各々異なる波長で動作する共振器 50 が構成される。

【0013】

回折格子の入射角 θ と回折格子の回折角 ϕ とレーザビームの波長 λ との関係は、(1) 式のグレーティング方程式で与えられる。(1) 式において、 d は回折格子の周期を表し、 m は回折次数を表す。

【0014】

【数 1】

$$d(\sin \phi + \sin \theta) = m\lambda \quad \dots(1)$$

10

【0015】

リトロ動作時の 2 次回折光 (回折次数 $m = 2$) においては、2 次回折光の回折角を ϕ_2 とし、回折格子の入射角を θ_{in} としたとき、(2) 式が成立する。リトロ動作とは、2 次回折光に対してリトロ配置された回折格子で発生する 2 次回折光がレーザ媒質 11 へ帰還する動作である。

【0016】

【数 2】

$$d(\sin \phi_2 + \sin \theta_{in}) = 2\lambda \quad \dots(2)$$

20

【0017】

また(3) 式のように 2 次回折光の回折角 ϕ_2 が回折格子の入射角 θ_{in} と等しいとき、2 次回折光の回折角 ϕ_2 は(4) 式により表される。

【0018】

【数 3】

$$\sin \phi_2 = \sin \theta_{in} \quad \dots(3)$$

【0019】

【数 4】

$$\sin \phi_2 = \sin \theta_{in} = \frac{\lambda}{d} \quad \dots(4)$$

30

【0020】

このとき 2 次回折光と同時に発生する 1 次回折光の回折角 ϕ_1 は(5) 式により表される。すなわち 1 次回折光の回折角 ϕ_1 はレーザビームの波長 λ に依らず $\phi_1 = 0$ となる。

【0021】

【数 5】

$$\sin \phi_1 = \frac{\lambda}{d} - \sin \theta_{in} = \frac{\lambda}{d} - \frac{\lambda}{d} = 0 \quad \dots(5)$$

40

【0022】

上記の解析結果によれば、実施の形態 1 に係るレーザ装置 100 - 1 の動作時に、波長の異なる複数のレーザビームの 1 次回折光の全てが、波長に依らずに回折格子面に対して直角方向に出力される。これにより同軸上に方向の揃った 1 本の結合された出力ビームを得ることができる。

【0023】

次にレーザ装置 100 - 1 の動作を説明する。図 2 は本発明の実施の形態 1 に係るレーザ装置において、2 次回折光がレーザ媒質へ帰還する際の各レーザビームの波長を示す図である。図 2 の横軸は分散素子 3 へ入射する複数のレーザビームのそれぞれの入射角を表

50

し、図2の縦軸は分散素子3へ入射する複数のレーザービームのそれぞれの波長を表す。図2には、回折格子への入射角が $64.0[\text{deg}] \sim 66.0[\text{deg}]$ となるように配置された複数のレーザー媒質11から出力されるレーザービームが $925[\text{line/mm}]$ の回折格子に重畳されたときに、2次回折光に対してリトロ配置された回折格子で発生する2次回折光がレーザー媒質11へ帰還する際の各レーザービームの波長が示される。

【0024】

図3は2次回折光に対してリトロ配置された回折格子で発生する1次回折光の回折角を示す図である。図3の横軸は分散素子3へ入射する複数のレーザービームのそれぞれの入射角 $[\text{deg}]$ を表し、図3の縦軸は1次回折光の回折角 θ_1 を表す。図3には、回折格子への入射角が $64.0[\text{deg}] \sim 66.0[\text{deg}]$ となるように配置された複数のレーザー媒質11から出力されるレーザービームが $925[\text{line/mm}]$ の回折格子に重畳されたとき、2次回折光に対してリトロ配置された回折格子で発生する1次回折光の回折角 θ_1 が示される。実線は1次回折光に対する回折角を表し、点線は2次回折光に対する回折角を表す。

10

【0025】

レーザー装置100-1の共振器50では、複数のレーザー媒質11のそれぞれで発生したレーザービームの2次回折光が複数のレーザー媒質11のそれぞれにフィードバックされる。これにより複数のレーザー媒質11のそれぞれは、図2に示す $980[\text{nm}]$ 近くの波長で発振する。このとき図3に示すように、1次回折光の回折角 θ_1 は、 $64 \sim 66[\text{deg}]$ に配置された全てのレーザー媒質11に対して $0[\text{deg}]$ となり、1本に結合した出力ビームが得られる。

20

【0026】

以下では、特許文献1に開示されるレーザー装置と実施の形態1に係るレーザー装置100-1とを比較して、レーザー装置100-1の効果を説明する。

【0027】

図4は特許文献1に開示されるレーザー装置の構成を示す図である。特許文献1に開示されるレーザー装置100Aは、レーザーユニット1、重畳レンズ2、分散素子31及び部分反射鏡40を備える。レーザーユニット1、重畳レンズ2、分散素子31及び部分反射鏡40は共振器51を構成する。

【0028】

レーザー装置100Aでは、レーザーユニット1が備える複数のレーザー媒質のそれぞれから発生するレーザービームを1本に束ねた結合ビームが出力される。またレーザー装置100Aでは、複数のレーザービームのそれぞれを分散素子31が振り分けてフィードバックすることによって、共振器51が正常に動作するための波長に関する情報が得られる。これにより複数のレーザービームのそれぞれの波長が決定される。

30

【0029】

レーザー装置100Aでは、損失を伴う分散素子31が共振器51内に配置されるため、共振器51内にレーザービームが繰り返し伝搬される際に分散素子31の損失の影響を受けて、ビーム出力が低下すると共にエネルギー効率が低下する。またレーザー装置100Aは、共振器51を構成する部分反射鏡40及び分散素子31という複数の光学素子を備えるため、アライメントを必要とする要素が多くなり、ビーム出力が不安定になり易い。

40

【0030】

これに対して実施の形態1に係るレーザー装置100-1は、複数のレーザー媒質11のそれぞれから発生するレーザービームを元のレーザー媒質11へフィードバックする作用を有する再帰反射器として、分散素子3の2次回折を割り当てることにより、複数のレーザービームのそれぞれの波長が決定される。また実施の形態1に係るレーザー装置100-1では、このとき同時に発生する1次回折光の回折角 θ_1 が全て $0[\text{deg}]$ となる性質を利用して1本に束ねられた結合ビーム出力が得られる。

【0031】

このような機能及び作用により、実施の形態1に係るレーザー装置100-1では、分散

50

素子 3 の損失が共振器 50 端に限定され、共振器 50 内の損失が無くなり、分散素子 3 の損失に起因するビーム出力の低下とエネルギー効率の低下とが最小限に抑えられる。

【 0 0 3 2 】

また実施の形態 1 に係るレーザ装置 100 - 1 では、1 枚の分散素子 3 で波長の決定及び結合を同時に行うことができるため、図 4 に示す部分反射鏡 40 が不要となり、ビーム出力が不安定となる要因を減らすことができる。

【 0 0 3 3 】

なお図 4 に示されるレーザ装置 100 A は共振器内部波長結合方式を用いたレーザ装置であるのに対して、実施の形態 1 に係るレーザ装置 100 - 1 は、共振器端部波長結合方式という新しい方式を用いたレーザ装置である。レーザ装置 100 A は、レーザビームが繰り返して伝搬される際の損失の影響がある。実施の形態 1 に係るレーザ装置 100 - 1 によれば、レーザ装置 100 A とは異なり、光学動作に無駄が無く、高いビーム出力及びエネルギー効率を得られる。また光学素子である部分反射鏡 40 が不要であるため、ビーム出力を安定させることができる。

【 0 0 3 4 】

また実施の形態 1 に係るレーザ装置 100 - 1 は、レーザユニット 1 の射出面に設けられたへき界面よりも反射率を下げる減反射コーティングを施した半導体レーザの外部共振器に適用できる。減反射コーティングはレーザユニット 1 の射出面に設けられている。ゲインの高い半導体レーザの場合、高いスロープ効率を得やすい低いフィードバック率の方が高出力を得ることができる。低いフィードバック率とは、1 次回折光に対して 2 次回折光の回折効率が低いことを示す。またフィードバック率が高い場合、半導体レーザの寿命が短くなることが報告されており、明確な波長決定をできる範囲ではフィードバック率が低い方が好ましい。実施の形態 1 に係るレーザ装置 100 - 1 は、第 1 のレーザビームとしてレーザ媒質側へ戻る割合を 10 % 以下とすることで、エネルギー効率を高めることができると共に、装置の寿命を長くすることができる。

【 0 0 3 5 】

図 5 はフィードバック率に対する半導体レーザの寿命の関係を示す図である。図 5 の縦軸は半導体レーザの寿命を表し、図 5 の横軸は、2 次回折光が入射ビームに沿ってそれぞれのレーザ媒質 11 に帰還するフィードバック率を表す。半導体レーザの寿命は、フィードバック率が高くなるほど減少するため、レーザ装置の寿命の観点からはフィードバック率は低い方が望ましい。図 5 に示されるフィードバック率に対する半導体レーザの寿命の特性によれば、フィードバック率が 10 % 以上になると、半導体レーザの寿命は、半導体レーザの射出端面を部分反射コーティングして外部共振器なしの半導体レーザとして使用したとき（フィードバック率は数 % であるのが一般的）の半分以下となる。従って、フィードバック率を 10 % 以下とするためには、フィードバックを行う分散素子 3 の 2 次回折効率を 10 % 以下とすることが望ましい。

【 0 0 3 6 】

一方で、フィードバック率、すなわち外部共振器から半導体レーザへの帰還率を低下させると、半導体レーザの発振波長を外部共振器で制御することが困難となる。半導体レーザの射出面には、前述したように減反射コーティングが設けられるが、0.5 % 以下の残存反射率が存在する。外部共振器からの帰還率が低下すると、外部発振から半導体レーザ射出面への残存反射率による発振に切り替わるためである。このように半導体レーザの寿命と外部共振器の有効性とはトレードオフの関係にある。これらのトレードオフの関係から、フィードバック率を決定する必要がある。半導体レーザの寿命と外部共振器の有効性とを両立可能なフィードバック率としては 2 % ~ 10 % が望ましい。

【 0 0 3 7 】

またエネルギー効率を高める動作を実現するためには、取り出される 1 次回折光の出力効率を高くすることが有利である。2 次回折光と 1 次回折光とを同時に発生する分散素子 3 では、+ 1 次回折光と - 1 次回折光との両方が発生する。このとき分散素子 3 が対称な構造であり、分散素子 3 の + 1 次回折光及び - 1 次回折光の発生特性が互いに同一である

10

20

30

40

50

場合、1次回折効率を50%以上に高めることが困難となり、結果として高効率化の妨げとなる。1次回折効率とは、入射光出力に対する1次回折光出力の割合である。このような課題に対しては、分散素子3にブレースまたは2段以上の溝構造を用いて、第2のレーザービームが分散素子3の+1次回折光及び-1次回折光である場合、分散素子3は、+1次回折光及び-1次回折光の発生特性が互いに異なるように構成される。これにより、分散素子3に入射するレーザービームの1次回折への結合が大きくなり、結果としてエネルギー効率を高める動作が実現できる。

【0038】

実施の形態2 .

図6は本発明の実施の形態2に係るレーザー装置の構成を示す図である。実施の形態2に係るレーザー装置100-2は、レーザーユニット1、重畳レンズ2及び分散素子3に加えて、波長フィルタ4を備える。波長フィルタ4は、重畳レンズ2及び分散素子3の間に配置される。波長フィルタ4としては、エタロンまたは薄膜フィルタを例示できる。

10

【0039】

一般的に回折格子では、リトロ配置での使用において最大の反射率、すなわち最大の回折効率を得られることから、リトロ条件に合致する波長が選択されやすい。ところがその効果だけでは、異なるレーザー媒質間を横断して意図しない波長で発振するため、ビーム品質が低下する現象、所謂クロストーク現象を抑制できない可能性がある。実施の形態2に係るレーザー装置100-2は、損失の小さい波長フィルタ4を用いてクロストーク現象を抑制することによって、高いビーム出力及びエネルギー効率を得ることができ、また

20

【0040】

以下では、一例として米国特許出願公開第2015/0146282号明細書に開示されるレーザー装置と実施の形態2に係るレーザー装置100-2とを比較して、レーザー装置100-2の効果を説明する。以下では、米国特許出願公開第2015/0146282号明細書に開示されるレーザー装置を単に、比較例に係るレーザー装置と称す場合がある。

【0041】

図7は比較例に係るレーザー装置の構成を示す図である。比較例に係るレーザー装置100Bは、少なくともレーザーユニット1、重畳レンズ2及び波長フィルタ60を有する共振器部70と、少なくとも分散素子32を有するビーム結合部80とで構成される。比較例に係るレーザー装置100Bは、共振器外部波長結合方式を用いたレーザー装置であるのに対して、実施の形態2に係るレーザー装置100-2は、共振器端部波長結合方式という新しい方式を用いたレーザー装置である。

30

【0042】

比較例に係るレーザー装置100Bの共振器部70では、複数のレーザービームのそれぞれの波長が決定され、ビーム結合部80では1本に結合した出力ビームが得られる。波長フィルタ60及び分散素子32は各々が角度依存性を持つため、共振器部70またはビーム結合部80の角度が変動すると、波長決定特性とビーム結合特性との関係が変化し、結果として出力ビームの品質が変動する。また比較例に係るレーザー装置100Bは、共振器部70及びビーム結合部80を備えるため、共振器部70のみ備える場合に比べて構成が複雑となり、レーザー装置の製造コストが増加する。

40

【0043】

これに対して実施の形態2に係るレーザー装置100-2は、複数のレーザービームの波長の決定及び結合を1枚の分散素子3で行うため、波長決定特性とビーム結合特性との間の関係がずれることなく、出力ビームの品質が変動することがない。またレーザー装置100-2は、比較例に係るレーザー装置100Bに比べて構成が簡素化され、レーザー装置の製造コストを低減できる。

【0044】

また比較例に係るレーザー装置100Bで使用される波長フィルタ60では、周期的な複数の波長が選択される可能性があるため、意図しない波長選択を回避するために自由スペ

50

クトル領域 (Free Spectral Range: FSR) の広いフィルタが必要となる。FSRの広いフィルタではスペクトル幅が拡大する傾向にあるため、広帯域で狭スペクトルの品質の高いビームを得るためには、結果としてフィネスの高いフィルタが必要となる。ところが高フィネスのフィルタでは損失が増加するため、高いビーム出力及びエネルギー効率と、高いビーム品質との両立が困難である。

【0045】

これに対して実施の形態2に係るレーザ装置100-2では、狭スペクトル幅が分散素子3で担保されるため、クロストークを抑制するだけの損失の小さい波長フィルタ4が使用される。損失の小さい波長フィルタ4を用いてクロストークを抑制することによって、高いビーム出力及びエネルギー効率が得られると共に、高いビーム品質が得られる。

10

【0046】

実施の形態3

図8は本発明の実施の形態3に係るレーザ装置の構成を示す図である。実施の形態3に係るレーザ装置100-3は、レーザユニット1、重畳レンズ2及び分散素子3に加えて、波長フィルタ4と、複数のレーザビームをコリメートする光学素子であるコリメータ5と、ビーム軸を回転させる光学素子であるビーム回転素子6とを備える。波長フィルタ4は、重畳レンズ2及び分散素子3の間に配置される。ビーム回転素子6はレーザユニット1と重畳レンズ2との間に配置され、コリメータ5はレーザユニット1とビーム回転素子6との間に配置される。

【0047】

実施の形態3に係るレーザ装置100-3では高いエネルギー効率を実現できるが、2次回折光及び1次回折光を同時に発生させるために分散素子3の分散能には制限が生じ、多数のレーザビームを重畳する場合にはレーザ媒質11から分散素子3までの光学長を長くする必要が生じ、分散素子3上のビーム径が大きくなるという課題が生じる。

20

【0048】

この課題に対しては、ビーム重畳方向に可能な限り発散角の小さいビームを用いることが有効となる。ブロードエリアの高出力半導体レーザの場合には速軸方向の発散角が小さいことから、ビーム重畳方向に速軸方向を用いることが有効となる。速軸方向がビーム重畳方向となるように回転させるための光学要素については、一例として米国特許第5513201号明細書に複数の実施例が開示されており、その何れかを用いればよい。この構成によれば、ビーム重畳方向の各ビームの発散角を小さくできるため、重畳レンズ以降の光学素子を小さくでき、小型かつ低コストの装置を実現できる。この構成は、2次回折光及び1次回折光を同時に発生する分散素子を用いるために分散素子の分散能に制限が生じ、レーザ媒質から分散素子までの光学長が長くなり、ビームが大きくなるという課題に対して格別の効果を奏するものである。

30

【0049】

実施の形態3に係るレーザ装置100-3の動作をさらに詳しく説明する。本実施の形態では、レーザ媒質11で発生する複数のレーザビームは、分散素子3上の1点に平行ビームとして重畳される。この光学動作は、空間上の異なる位置にあるレーザビームの位置情報をビーム軸の角度情報に移し替える所謂フーリエ変換動作に相当する。このとき、レーザ媒質11から分散素子3までの光学系の光線行列は(6)式に示すように、一般的にBが光学距離と呼ばれるパラメータとなる。分散素子3の分散能をDで表すと、レーザ媒質11を配置できる空間範囲は「 $D \times B \times$ 」で求められる。利用できる波長幅を共通にとると、分散能Dが小さいと多数のレーザ媒質11を配置する空間範囲を確保するために長い光学距離Bが必要となる。

40

【0050】

【数 6】

$$\begin{bmatrix} 0 & B \\ -\frac{1}{B} & 0 \end{bmatrix} \quad \dots(6)$$

【0051】

ここで実施の形態 3 に係るレーザ装置 100 - 3 では、分散素子 3 が 1 次回折光と共に 2 次回折光を発生するため、2 次回折光の回折角を 180°未満にする必要があり、分散能は 2 次回折光の回折角が 180°未満となる範囲に制限される。分散素子 3 として回折格子を考えると、2 次回折光を用いないで 1800 本の回折格子までが使用可能である場合、2 次回折光を用いるレーザ装置 100 - 3 では、900 本の回折格子の使用に制限される。このことから、同じレーザ媒質 11 を配置するためには、より長い光学距離が必要となり、分散素子 3 上のビームの大きさが大きくなる。なお、同じレーザ媒質 11 を配置するためとは、2 次回折光を用いる本実施の形態に係るレーザ装置に対して、従来の 2 次回折光を用いないレーザ装置と同じサイズ、ビーム発散角、及び個数のレーザ媒質を配置するため、との意味である。なお分散素子 3 上のビームの大きさは「ビームの発散角×光学距離 B」で求められる。

10

【0052】

このような課題に対してはビーム重畳方向のビーム発散角を小さくすることが有効であり、ビーム重畳方向にビーム発散角の小さい方向を揃えるビーム回転素子 6 は、実施の形態 3 において格別の効果を奏する。なお実施の形態 3 において課題となる分散能の制限を緩和する構成としては、高屈折率媒質中で分散作用を行うイメージングレーティングまたはグリズムを用いる構成を例示できる。

20

【0053】

実施の形態 4 .

図 9 は本発明の実施の形態 4 に係るレーザ装置の構成を示す図である。実施の形態 4 に係るレーザ装置 100 - 4 は、実施の形態 3 に係るレーザ装置 100 - 3 の構成に加えて、複数のレーザビームの重畳面を分散素子 3 上にリレーするリレー光学系 7 を備える。リレー光学系 7 は波長フィルタ 4 と分散素子 3 との間に配置される。レーザ装置 100 - 4 によれば、実施の形態 3 における波長フィルタの特性と分散素子 3 の特性との関係を調整できるため、低コストの標準品を使用して設計の自由度が拡大するため、レーザ装置の製造コストを低減できる。

30

【0054】

実施の形態 5 .

図 10 は本発明の実施の形態 5 に係るレーザ装置の構成を示す図である。実施の形態 5 に係るレーザ装置 100 - 5 ではコリメータ 5 が傾けられており、傾けられたコリメータ 5 を用いることにより重畳レンズ 2 が省かれている。レーザ装置 100 - 5 によれば、重畳レンズ 2 を省くことができるためレーザ装置の製造コストを低減できる。

【0055】

実施の形態 6 .

図 11 は本発明の実施の形態 6 に係るレーザ装置の構成を示す図である。実施の形態 6 に係るレーザ装置では、2 つのレーザユニット 1 が用いられており、複数のレーザユニット 1 からのレーザビームが分散素子 3 に重畳される。実施の形態 6 に係るレーザ装置では、複数のレーザ媒質が分散素子 3 面の法線を挟んで正及び負の角度で分散素子 3 に入射する位置に配置される。この構成により、より多数のレーザ媒質の光を重畳でき、パワー及び輝度を向上できるという効果を得ることができる。

40

【0056】

なお実施の形態 1 ~ 5 に係るレーザ装置には、第 2 のレーザビームが分散素子 3 の + 1 次回折光もしくは - 1 次回折光である場合、分散素子 3 で発生する 0 次回折光を回収する光学系を追加しても良い。この構成によれば、損失となっていた 0 次回折光を回収し、工

50

エネルギー効率の向上を図ることができる。分散素子3における0次回折光は不可避免的に発生し、一般的には損失となる。0次回折光の回収と利用については、一例として米国特許出願公開第2015/0333485号明細書に開示されているが、0次回折光及びその派生ビームが高反射面の間に閉じ込められて容易に出力に結合することができないため、効果的な動作が困難である。本実施の形態では、0次回折光、1次回折光及び2次回折光を発生する3ポートを備えた分散素子3が用いられ、分散素子3が一種のサーキュレータとして動作し、出力に結合された0次回折光を回収することができる。以上のように0次回折光を回収する光学系は、1次回折光及び2次回折光を同時に発生する分散素子3を用いる構成において格別の効果を奏するものである。

【0057】

10

以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【符号の説明】

【0058】

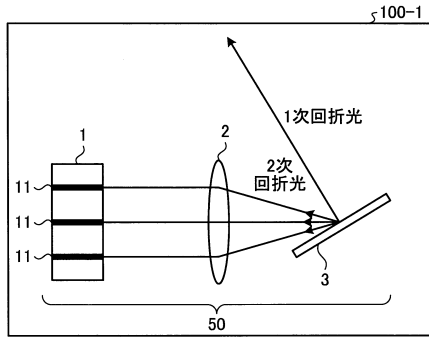
1 レーザユニット、2 重畳レンズ、3, 31, 32 分散素子、4 波長フィルタ、5 コリメータ、6 ビーム回転素子、7 リレー光学系、11 レーザ媒質、40 部分反射鏡、50, 51 共振器、60 波長フィルタ、70 共振器部、80 ビーム結合部、100-1, 100-2, 100-3, 100-4, 100-5, 100A, 100B レーザ装置。

20

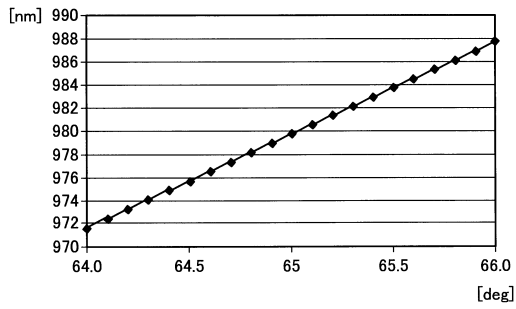
【要約】

互いに波長の異なるレーザービームを発生する複数のレーザー媒質(11)と、複数のレーザー媒質(11)のそれぞれから出射されるレーザービームを重畳レンズ(2)により分散素子(3)上に1つに重畳させて結合するレーザー装置(100-1)であって、分散素子(3)は、重畳レンズ(2)により複数のレーザービームが1つに重畳された位置に設置されると共に、複数のレーザービームの一部を第1のレーザービームとしてレーザー媒質(11)側へ戻し、複数のレーザービームの一部を1つの光軸を有する第2のレーザービームとして出力する。

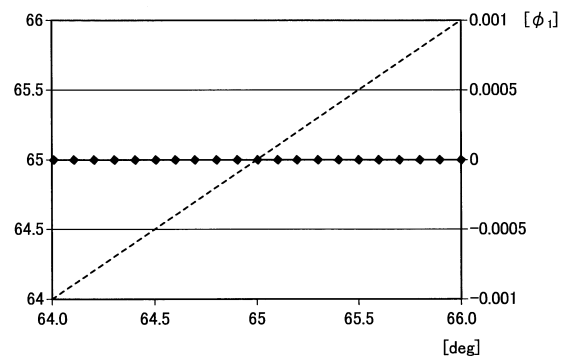
【図1】



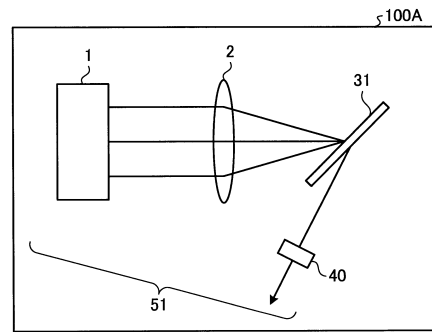
【図2】



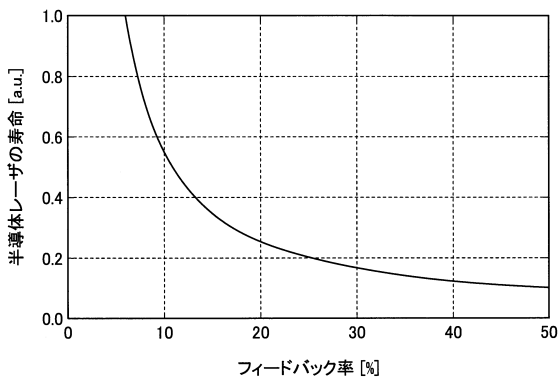
【図3】



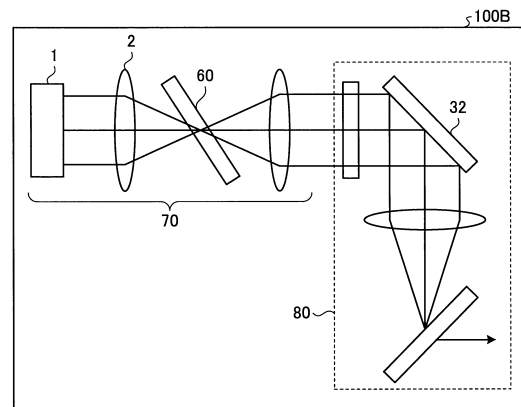
【図4】



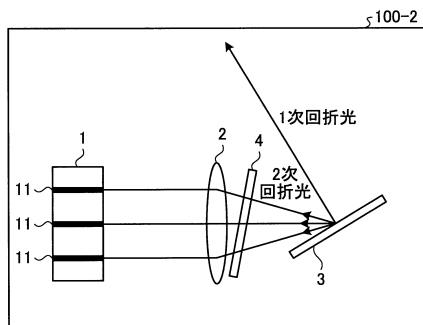
【図5】



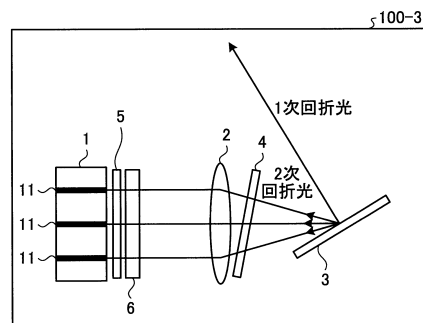
【図7】



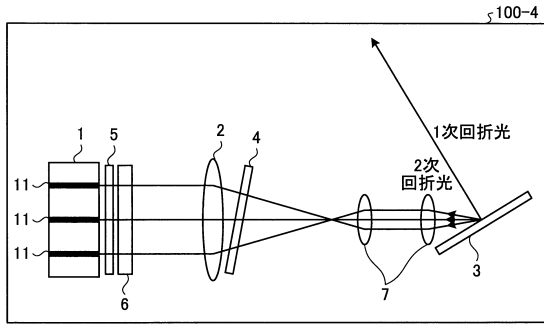
【図6】



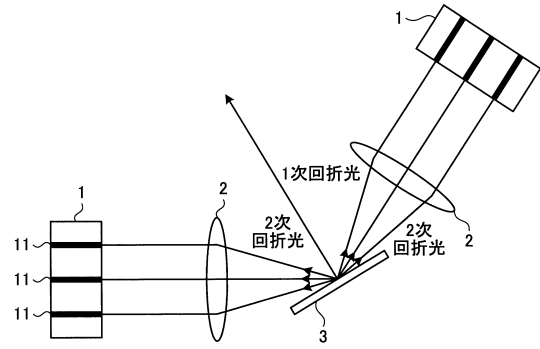
【図8】



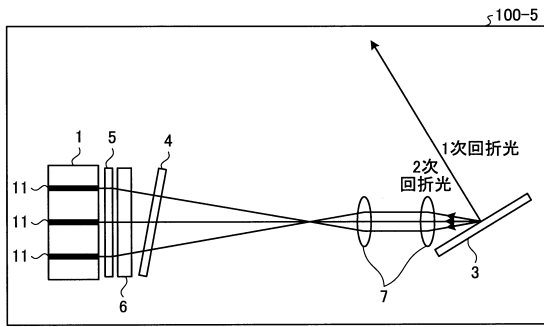
【図 9】



【図 11】



【図 10】



フロントページの続き

(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

審査官 小濱 健太

(56)参考文献 特開2016-96333(JP,A)
国際公開第2015/083200(WO,A1)
特表2015-513792(JP,A)

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