

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-206834
(P2015-206834A)

(43) 公開日 平成27年11月19日(2015.11.19)

(51) Int.Cl.
G02F 1/37 (2006.01)

F 1
G02F 1/37

テーマコード(参考)
2K102

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2014-85572(P2014-85572)
(22) 出願日 平成26年4月17日(2014.4.17)

(出願人による申告) (出願人による申告) 平成25年度科学技術試験研究委託事業「先端光子科学アライアンス」の一部「先端光子科学システムの構築」について、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 504133110
国立大学法人電気通信大学
東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1
(74) 代理人 100067736
弁理士 小池 晃
(74) 代理人 100096677
弁理士 伊賀 誠司
(74) 代理人 100106781
弁理士 藤井 稔也
(72) 発明者 米田 仁紀
東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
(72) 発明者 道根 百合奈
東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

最終頁に続く

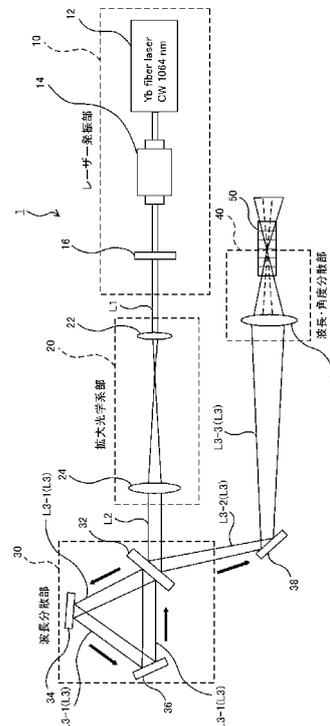
(54) 【発明の名称】 波長変換装置、及び波長変換方法

(57) 【要約】

【課題】 発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光でも効率的に波長変換する。

【解決手段】 基本波光を波長変換素子50によって波長変換する波長変換装置1であって、基本波光L1として発振スペクトルが非狭窄化されたレーザー光を連続的に発振するレーザー発振部10と、レーザー発振部で発振された基本波光のビーム径を拡大する拡大光学系部20と、拡大光学系部でビーム径が拡大された拡大基本波光L2を透過させて当該拡大基本波光の波長を分散させる回折格子32が設けられる波長分散部30と、波長分散部から所定の大きさの光学的距離を介して設けられ、波長が分散された拡大基本波光L3を集光レンズ42で集光して波長変換素子に導く波長・角度分散部40と、を備えることを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基本波光を波長変換素子によって波長変換する波長変換装置であって、
前記基本波光として発振スペクトルが非狭窄化されたレーザー光を連続的に発振するレーザー発振部と、

前記レーザー発振部で発振された前記基本波光のビーム径を拡大する拡大光学系部と、
前記拡大光学系部で前記ビーム径が拡大された拡大基本波光を透過させて該拡大基本波光の波長を分散させる回折格子が設けられる波長分散部と、

前記波長分散部から所定の大きさの光学的距離を介して設けられ、前記波長が分散された拡大基本波光を集光レンズで集光して前記波長変換素子に導く波長・角度分散部と、を備えることを特徴とする波長変換装置。

10

【請求項 2】

前記レーザー発振部は、ファイバーレーザーによって前記レーザー光が連続発振されることを特徴とする請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 3】

前記波長・角度分散部は、前記光学的距離が下記の条件式を満たすように設定されることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の波長変換装置。

$$L / f = 1.26 \times \cos$$

L : 回折格子と集光レンズとの距離

f : 集光レンズの焦点距離

: 回折格子の溝の間隔

: 回折格子による回折角

20

【請求項 4】

前記波長分散部は、一又は複数の透過型回折格子から構成され、前記透過型回折格子によって前記拡大基本波光を回折させて、該拡大基本波光の前記波長を分散させることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか 1 項に記載の波長変換装置。

【請求項 5】

前記波長分散部には、前記透過型回折格子によって回折された前記拡大基本波光を反射させる一又は複数の反射ミラーが更に設けられ、前記反射ミラーによって反射後の前記拡大基本波光を前記透過型回折格子に戻し、再度回折させることを特徴とする請求項 4 に記載の波長変換装置。

30

【請求項 6】

前記拡大光学系部は、入力段側に設けられる第 1 レンズと出力段側に設けられる第 2 レンズが所定の距離を介して対向するように構成され、前記第 1 レンズと前記第 2 レンズとの距離を変更することによって、前記基本波光の前記ビーム径を調整することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 の何れか 1 項に記載の波長変換装置。

【請求項 7】

基本波光を波長変換素子によって波長変換する波長変換方法であって、
発振スペクトルが非狭窄化されたレーザー光を前記基本波光として連続的に発振するレーザー光発振工程と、

40

前記基本波光のビーム径を拡大するビーム径拡大工程と、

前記ビーム径が拡大された拡大基本波光を回折格子に透過させて該拡大基本波光の波長を分散させる波長分散工程と、

前記波長が分散された拡大基本波光を前記回折格子から所定の大きさの光学的距離を介して設けられた集光レンズによって前記波長変換素子に導く波長・角度分散工程と、を含むことを特徴とする波長変換方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基本波光となるレーザー光の波長を所望の大きさに変換する波長変換装置、

50

及び波長変換方法に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザー光は、金属の切断や加工、半導体製造のためのフォトリソグラフィ装置用光源、レーザーディスプレイ用光源、外科や眼科、歯科等の医療用手術装置、各種の測定装置等の幅広い技術分野に応用されている。また、レーザー光をこれらの用途で使用するために、ニオブ酸リチウム LiNbO_3 (PPLN: periodically poled lithium niobate) 等の周期分極反転型の非線形光学結晶からなる波長変換素子を用いて、レーザー光の波長を当該用途に適合した所望の大きさに変換する波長変換技術が開発されている。

【0003】

特許文献1には、半導体レーザーとバルク型波長変換結晶からなる波長変換素子との間に、狭域体バンドパスフィルター等の波長選択光学素子を設けた波長変換モジュールが開示されている。当該波長変換モジュールでは、波長選択光学素子によって光波長変換素子の端面で反射して半導体レーザーにフィードバックするレーザービームの波長を選択することによって、半導体レーザーの発振波長を正確にロックして、波長変換後の光を安定して発振させている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2000-250083号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

波長変換装置に備わる波長変換素子として主に用いられる非線形光学結晶は、角度依存性を有しており、高い効率で波長変換を行なうためには、この波長変換素子に入射するレーザー光の入射角を厳密に調節して位相整合をとる必要がある。このため、高効率な波長変換を実現するためには、一般的に単一周波数のレーザー光が用いられている。また、超短パルスレーザーのように、波長の範囲が広くても出力光が短パルス列となって実効的な強度が桁違いに上がっている場合には、その強い光電場で高効率な波長変換が行われている。

【0006】

しかしながら、高出力な連続発振ファイバーレーザー等のような簡便で光子コストに優れたレーザーでは、発振スペクトルが狭窄化されていることが少なく、このように複数の波長、色を有し、波長方向に単一でないレーザー光の波長変換をする際に、その高効率化が望めなかった。特許文献1には、半導体レーザーの発振波長を正確にロックして、波長変換後のレーザー光の発振の安定化については、言及しているものの、発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光を効率よく波長変換することには、言及していない。

【0007】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光でも効率的に波長変換することの可能な、新規かつ改良された波長変換装置、及び波長変換方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様は、基本波光を波長変換素子によって波長変換する波長変換装置であって、前記基本波光として発振スペクトルが非狭窄化されたレーザー光を連続的に発振するレーザー発振部と、前記レーザー発振部で発振された前記基本波光のビーム径を拡大する拡大光学系部と、前記拡大光学系部で前記ビーム径が拡大された拡大基本波光を透過させて該拡大基本波光の波長を分散させる回折格子が設けられる波長分散部と、前記波長分散部から所定の大きさの光学的距離を介して設けられ、前記波長が分散された拡大基本波光を集光レンズで集光して前記波長変換素子に導く波長・角度分散部と、を備えることを特

10

20

30

40

50

徴とする。

【0009】

本発明の一態様によれば、拡大光学系部でビーム径が拡大された基本波光を回折格子に透過させることによって、その波長を分散させた拡大基本波光を所定の光学的距離を経由させてから集光レンズで集光する。このため、発振スペクトル幅がこの設計値内で変化した場合でも、波長変換素子により確実に導けるので、効率的に波長変換できるようになる。

【0010】

このとき、本発明の一態様では、前記レーザー発振部は、ファイバーレーザーによって前記レーザー光が連続発振されることとしてもよい。

10

【0011】

このように、基本波光としてファイバーレーザーの出力光を使用することによって、そのレーザー光の空間モードの安定性が高められ、固体レーザーの励起において高精度な励起が可能になる。

【0012】

また、本発明の一態様では、前記波長・角度分散部は、前記光学的距離が下記の条件式を満たすように設定されることとしてもよい。

$$L / f = 1.26 \times \cos$$

L：回折格子と集光レンズとの距離

f：集光レンズの焦点距離

：回折格子の溝の間隔

：回折格子による回折角

20

【0013】

このように、波長分散部から距離を置いて波長・角度分散部を設けることによって、横方向に位置ずれした各波長のレーザー光を単一の集光レンズで集光して、波長変換素子に導くことができる。

【0014】

また、本発明の一態様では、前記波長分散部は、一又は複数の透過型回折格子から構成され、前記透過型回折格子によって前記拡大基本波光を回折させて、該拡大基本波光の前記波長を分散させることとしてもよい。

30

【0015】

このようにすれば、波長により最適角度になるようにビーム径を拡大した基本波光で波長変換素子に導入するので、基本波光による波長変換素子の加熱が空間的に分散されて、波長変換効率の低下を軽減できる。

【0016】

また、本発明の一態様では、前記波長分散部には、前記透過型回折格子によって回折された前記拡大基本波光を反射させる一又は複数の反射ミラーが更に設けられ、前記反射ミラーによって反射後の前記拡大基本波光を前記透過型回折格子に戻し、再度回折させることとしてもよい。

40

【0017】

このようにすれば、透過型回折格子の最大分散効率を得られる入射角度、ビーム径で数回、透過型回折格子を利用して回折できるので、回折格子の最大限の波長分散を利用しながら、基本波光の波長が分散された状態で波長変換素子に導入できる。

【0018】

また、本発明の一態様では、前記拡大光学系部は、入力段側に設けられる第1レンズと出力段側に設けられる第2レンズが所定の距離を介して対向するように構成され、前記第1レンズと前記第2レンズとの距離を変更することによって、前記基本波光の前記ビーム径を調整することとしてもよい。

【0019】

このように、第1レンズと第2レンズとの距離を変更して基本波光のビーム径を調整す

50

ることによって、波長・角度分散部での分解能を高めることができる。

【0020】

また、本発明の他の態様は、基本波光を波長変換素子によって波長変換する波長変換方法であって、発振スペクトルが非狭窄化されたレーザー光を前記基本波光として連続的に発振するレーザー光発振工程と、前記基本波光のビーム径を拡大するビーム径拡大工程と、前記ビーム径が拡大された拡大基本波光を回折格子に透過させて該拡大基本波光の波長を分散させる波長分散工程と、前記波長が分散された拡大基本波光を前記回折格子から所定の大きさの光学的距離を介して設けられた集光レンズによって前記波長変換素子に導く波長・角度分散工程と、を含むことを特徴とする。

【0021】

本発明の他の態様によれば、基本波光のビーム径を拡大されてから、かかる拡大基本波光を回折格子に透過させて波長分散させるので、回折格子の最大限の波長分散を利用できる。また、この拡大光学系のレンズ間隔を調整することで、集光レンズ位置で波長分散させた拡大基本波光を低損失で集光レンズに集光できる。このため、発振スペクトルがこの設計値内で変化した場合でも、拡大基本波光を波長変換素子により確実に導けるので、効率的に波長変換できるようになる。

【発明の効果】

【0022】

以上説明したように本発明によれば、発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光を波長変換素子に確実に導けるので、効率的な波長変換が実現される。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の一実施形態に係る波長変換装置の概略構成図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る波長変換装置の波長分散後における基本波光の集光レンズでの各位置ごとの周波数及び強度の関係を示すグラフである。

【図3】本発明の一実施形態に係る波長変換装置による波長変換効率と入射光強度との関係を示すグラフである。

【図4】本発明の一実施形態に係る波長変換装置の概略構成を説明する模式図である。

【図5】本発明の一実施形態に係る波長変換装置の要部の詳細説明図である。

【図6】本発明の一実施形態に係る波長変換装置の要部の詳細説明図である。

【図7】本発明の一実施形態に係る波長変換方法の概略を示すフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、以下に説明する本実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではなく、本実施形態で説明される構成の全てが本発明の解決手段として必須であるとは限らない。

【0025】

まず、本発明の一実施形態に係る波長変換装置の概略構成について、図面を使用しながら説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る波長変換装置の概略構成図である。

【0026】

本発明の一実施形態に係る波長変換装置1は、基本波光L1となるレーザー光の波長をニオブ酸リチウムLiNbO₃ (PPLN: periodically poled lithium niobate)の周期分極反転型の非線形光学結晶からなる波長変換素子50で変換する装置である。波長変換装置1は、図1に示すように、レーザー発振部10と、拡大光学系部20と、波長分散部30と、波長・角度分散部40と、波長変換素子50とを備える。なお、本実施形態では、波長変換素子50として、PPLN結晶を用いているが、周期分極反転型の非線形光学結晶であれば、KTP結晶、LT結晶、LBO結晶、BBO結晶等を用いてもよい。

【0027】

レーザー発振部10は、基本波光L1となるレーザー光を高出力で連続的に発振する機能を有する。レーザー発振部10は、ファイバーレーザー12と、ファラデーアイソレー

10

20

30

40

50

ター 14 と、 / 2 波長板 16 とを備える。

【 0028 】

本実施形態では、レーザー光の発振源として、イッテルビウム Yb やネオジウム Nd 等の希土類イオン固体赤外レーザーからなるファイバーレーザー 12 が使用され、例えば、中心波長 1064 nm の CW レーザー光が連続発振される。このように、基本波光 L1 としてファイバーレーザー 12 の出力光を使用することによって、そのレーザー光の空間モードの安定性が高められ、固体レーザーの励起において高精度な励起が可能になる。ファイバーレーザー 12 から発振されたレーザー光は、かかるレーザー光を一方向に伝搬するために設けられるファラデーアイソレーター 14 と、当該レーザー光の偏光を調整するために設けられる / 2 波長板 16 を経て、基本波光 L1 として発振される。

10

【 0029 】

また、本実施形態では、レーザー発振部 10 は、レーザー光の発振源がファイバーレーザー 12 であり、基本波光 L1 として発振スペクトルが非狭窄化されたレーザー光を連続的に発振することを特徴とする。すなわち、レーザー発振部 10 は、基本波光として、複数の異なる波長、色を含んで、波長方向に単一でないレーザー光、換言すると発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光を高出力に連続発振する。

【 0030 】

本実施形態の波長変換装置 1 は、このように狭窄化されていない連続発振レーザーを波長変換素子 50 で波長変換する際に問題となる位相不整合を補償するために、波長角度分散型光学系を導入して、高効率に波長を変換可能としたことを特徴とする。波長変換装置 1 は、90% 以上の高い回折効率を有する回折格子を用いて角度分散型波長変換を実現させる波長角度分散型光学系として、拡大光学系部 20 と、波長分散部 30 と、波長・角度分散部 40 と、を備える。

20

【 0031 】

拡大光学系部 20 は、レーザー発振部 10 で発振された基本波光のビーム径を拡大する機能を有する。本実施形態では、拡大光学系部 20 は、入力段側に設けられる第 1 レンズ 22 と出力段側に設けられ、第 1 レンズ 22 より焦点距離の大きい第 2 レンズ 24 が所定の距離を介して対向するように構成されている。そして、第 1 レンズ 22 と第 2 レンズ 24 との距離を変更することによって、基本波光 L1 のビーム径を調整する。

【 0032 】

このように、第 1 レンズ 22 と第 2 レンズ 24 との距離を変更して基本波光 L1 のビーム発散角を調整することによって、基本波光 L1 の集光レンズ 42 の位置でのビーム径を最適化できる。このため、後段側に有する波長変換部 30 の回折格子 32 によって、異なる複数の発振スペクトルを有する狭窄化されていないレーザー光の波長を、それぞれの発振スペクトルごとに分散させられる。それによって、波長変換装置 1 の最終段側に有する波長・角度分散部 40 での分解能を高めることができる。

30

【 0033 】

波長分散部 30 は、拡大光学系部 20 でビーム径が拡大された拡大基本波光 L2 を透過させて、当該拡大基本波光 L2 の波長を分散させる回折格子 32 が設けられる。本実施形態では、波長分散部 30 は、所定間隔の溝 32a (図 6 参照) が設けられるガラス等から形成される 90% 以上の高い回折効率を有する透過型回折格子 32 から構成され、拡大基本波光 L2 を回折させて、かかる拡大基本波光 L2 の波長を分散させる。

40

【 0034 】

具体的には、本実施形態の波長分散部 30 は、図 1 に示すように、透過型回折格子 32 が三角形の一の頂点上に有するような配置となるように設けられ、反射ミラー 34、36 が当該三角形の他の頂点上にそれぞれ有するような配置となるように設けられている。これらの反射ミラー 34、36 は、入射する回折後の拡大基本反射 L3-1 (L3) を反射させて、透過型回折格子 32 の最大分散効率を得られる入射角度で当該透過型回折格子 32 に戻せるように、適宜、設置角度が調整可能な構成となっている。

【 0035 】

50

波長分散部 30 をかかる構成とすることによって、拡大光学系部 20 から導入された拡大基本波光 L2 は、まず、透過型回折格子 32 で回折する。次に、当該透過型回折格子 32 で回折した拡大基本波光 L3 - 1 (L3) は、2つの反射ミラー 34、36 でそれぞれ反射されてから、再び透過型回折格子 32 の最大分散効率を得られる入射角度で戻って回折する。そして、その回折後の拡大基本波光 L3 - 2 (L3) が後段側に設けられる反射ミラー 38 で反射してから、その反射光となる拡大基本波光 L3 - 3 (L3) が波長・角度分散部 40 に導かれるようになっていく。なお、本実施形態では、波長分散部 30 の後段側に反射ミラー 38 が設けられているが、反射ミラー 38 を設けずに、波長分散部 30 で波長分散された拡大基本波光 L3 - 2 (L3) が直接、波長・角度分散部 40 に導入される構成としてもよい。

10

【0036】

このように、本実施形態では、波長分散部 30 が透過型回折格子 32 と反射ミラー 34、36 を備える構成としたので、波長により最適な角度になるように基本波光 L3 の光路を確保してから、波長・角度分散部 40 を介して波長変換素子 50 に導入できる。このため、基本波光 L1 で結晶内に生じてしまう加熱分布が分散されるように、波長変換素子 50 に導入されるようになる。従って、熱の影響を受けやすい波長変換素子 50 が、基本波光 L1 の熱によって波長変換効率を低下するリスクを軽減できる。

【0037】

また、本実施形態では、波長分散部 30 は、反射ミラー 34、36 を設けることによって、ビーム径を拡大した基本波光 L3 - 1 (L3) の光路を確保しながら、透過型回折格子 32 の最大分散効率を得られる入射角度で反射後の拡大基本波光 L3 - 1 (L3) を透過型回折格子 32 に戻せる。このように、反射ミラー 34、36 を設けることによって、透過型回折格子 32 の最大分散効率を得られる入射角度で反射後の拡大基本波光 L3 - 1 (L3) を戻してから回折するので、透過型回折格子 32 で最大限に回折後の拡大基本波光 L3 - 2、L3 - 3 (L3) の波長を分散させられる。

20

【0038】

このため、拡大基本波光 L3 に含まれる各波長のレーザー光をそれぞれ波長ごとに効率的に分散させて、後段側に設けられた波長・角度分散部 40 に導入できる。また、波長分散部 30 に反射ミラー 34、36 を設けることによって、限られたスペース内で拡大基本波光 L3 - 1 の光路を確保できるようになるので、波長変換装置 1 のコンパクト化も図れるようになる。

30

【0039】

なお、本実施形態では、波長分散部 30 は、1つの透過型回折格子 32 が設けられているが、回折格子の数は、1つに限定されず、例えば、回折格子を2つ以上から構成されるようにしてもよい。また、本実施形態では、波長分散部 30 に2つの反射ミラー 34、36 が設けられているが、その設置数は、2つに限定されず、反射光を再び透過型回折格子 32 の最大分散効率を得られる入射角度で戻して、再度回折させる構成となっていれば、1つでも、3つ以上としてもよい。ただし、反射光を再び透過型回折格子 32 の最大分散効率を得られる入射角度で確実に戻して、再度回折させるためには、反射ミラーの設置数は、2枚、4枚等の偶数枚が好ましい。

40

【0040】

波長・角度分散部 40 は、波長分散部 30 から所定の大きさの光学的距離を介して設けられ、波長が分散された拡大基本波光 L3 (L3 - 3) を集光レンズ 42 で集光して波長変換素子 50 に導く機能を有する。本実施形態では、波長・角度分散部 40 は、波長分散部 30 から所定の大きさの光学的距離を介して設けられるので、横方向に位置ずれした各波長を単一の集光レンズ 42 で集光することで、波長変換素子 50 となる PPLN 結晶の持つ角度・波長・温度の位相整合条件の最適条件を達成させられる。なお、波長・角度分散部 40 の設置条件となる波長分散部 30 からの光学的距離の詳細については、後述する。

【0041】

50

一般的に、CW単一モード発振の高出力ファイバーレーザーでは、中心波長1064nmに対するスペクトル幅が0.1nm程度であり、 $\lambda/\Delta\lambda$ が 10^4 以上の波長分解能が必要になる。その際におけるこの波長幅に対する分散角が0.1mrad程度にしかないので、PPLN等の波長変換素子50の波長・角度分散補償の要求値と比較すると桁違いに小さい。

【0042】

そこで、本実施形態では、波長分散部30から集光レンズ42まで、所定の大きさの光学的距離として数m程度の光路長を持たせるようにしている。図2に示すように、基本波光L1に含まれる各波長ごとに集光レンズ42の幅方向における位置を分散させることができる。すなわち、波長分散部30から距離を挟んで波長・角度分散部40を設けることによつて、PPLN結晶50の前段側に設けられる集光レンズ42の位置において、基本波光L1に含まれる各波長に応じた入射横方向位置を取らせることができる。このため、波長・角度分散部40の集光レンズ42によつて、拡大基本波光L3が基本波光L1に含まれる各波長に応じた最適な入射角度で波長変換素子50に導かれるようになる。

10

【0043】

前述したように、PPLN等の非線形光学結晶からなる波長変換素子50は、角度依存性を有しており、高い効率で波長変換を行なうためには、この波長変換素子50に入射するレーザー光の入射角を厳密に調節して位相整合をとる必要がある。このため、従来では、高効率な波長変換を実現するために、単一周波数のレーザー光が用いられていた。

【0044】

これに対して、本実施形態では、拡大光学系部10でビーム径が拡大された基本波光L2を回折格子32に透過させることによつて、その波長を分散させた拡大基本波光L3を所定の光学的距離を経由させてから集光レンズ42で集光する。このため、発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光でも、当該レーザー光に含まれる各波長ごとに最適な入射角で波長変換素子50に導くことができるので、効率的な波長変換が実現される。具体的には、図3に示すように、従来の波長変換装置による非波長・角度分散に比べて、本実施形態の波長変換装置1による波長・角度分散の場合では、10W以上の入力で50%以上の変換効率の改善が見られた。

20

【0045】

なお、実際の波長角度分散型光学系の設計では、拡大基本波光L3の集光レンズ42への入射角を固定した状態で、当該入射光の波長に対する最適結晶温度を測定し($\text{opt} = f(T_{\text{opt}})$)、次に、入射光の波長を固定して、それぞれの入射角での最適温度依存性を測定する($\text{opt} = g(T_{\text{opt}})$)。そして、これらの2つの関数から、入射角と波長との関係を示す関数 $\text{opt} = h(\text{opt})$ を導出する。すなわち、拡大基本波光L3の集光レンズ42への入射角度を固定して波長と温度との関係と、波長を固定して角度と温度との関係と、温度を固定したときの角度と波長との関係を調べることを行って、その中で一番いい関係のものを選び出す。本実施形態では、一例として、結晶長30mmのMgO・PPLN結晶では、0.1nmのバンド幅で126mradの角度分散が必要になる。

30

【0046】

次に、本発明の一実施形態に係る波長変換装置における波長・角度分散部40の設置条件となる波長分散部30からの光学的距離の詳細について、図面を使用しながら説明する。図4は、本発明の一実施形態に係る波長変換装置の概略構成を説明する模式図であり、図5及び図6は、本発明の一実施形態に係る波長変換装置の要部の詳細説明図である。なお、図4では、説明の便宜上、波長分散部30を1つの回折格子32のみで構成される場合を示し、また、波長分散部30から回折後の拡大基本波光L3が直接、波長・角度分散部40に導かれる場合を示している。また、図5は、波長変換装置1の要部として、主に波長分散部30と波長・角度分散部40との光学的距離、図6は、波長変換装置1の要部として、波長分散部30における入射角と回折角との関係を示す。

40

【0047】

本実施形態では、狭窄化されていないレーザー光を効率よく波長変換するために、波長

50

・角度分散部 40 の集光レンズ 42 を、波長分散部 30 の回折格子 32 から所定の大きさの光学的距離を介して設置する必要がある。すなわち、横方向に位置ずれした各波長のレーザー光を集光レンズ 42 で集光して波長変換素子 50 に導くために、波長・角度分散部 40 は、波長分散部 30 から所定の大きさの距離を置いて設けられる。

【0048】

具体的には、波長・角度分散部 40 は、波長分散部 30 との間に有する所定の大きさの光学的距離として、下記の条件式 (1) を満たすように設定される。

$$L / f = 1.26 \times \cos \theta \quad \dots (1)$$

L : 回折格子と集光レンズとの距離

f : 集光レンズの焦点距離

θ : 回折格子の溝の間隔

α : 回折格子による回折角

10

【0049】

上記の条件式 (1) を算出する過程を以下で説明する。図 5 に示すように、波長分散部 30 と波長・角度分散部 40 との間に有する光学的距離となる回折格子 32 から集光レンズ 42 までの距離を L、集光レンズ 42 の位置での拡大基本波光 L3 の波長差による横方向の広がり大きさを x、集光レンズ 42 の焦点距離を f、回折格子 32 による回折角の広がりを α 、集光レンズ 42 による集光角度を θ とすると、これらは、下記の条件式 (2) 及び (3) を満たす。

$$x = L \sin \alpha \quad \dots (2)$$

$$\theta = x / f \quad \dots (3)$$

20

【0050】

一方、図 6 に示すように、波長分散部 30 における拡大基本波光 L2 の入射角を β 、回折格子による回折角を α 、回折格子 32 の溝 32a の間隔を a とすると、当該回折格子 32 における回折格子方程式は、以下の式 (4) で表される。

$$(\sin \beta + \sin \alpha) a = m \lambda \quad \dots (4) \quad (m: \text{回折次数}, \lambda: \text{波長})$$

【0051】

上記の式 (4) に示すシステムにおいて、 $m = 1$ であり、使用する回折格子 32 によって、最適入射角 β と溝間隔 a が決定済みの定数となることから、上記の式 (4) を微分すると、下記の式 (5) が得られる。

30

【0052】

【数 1】

$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{1}{a \cos \beta} = \frac{\Delta \beta}{\Delta \lambda} \quad \dots (5)$$

【0053】

上記の式 (5) に前述した条件式 (2) 及び (3) を代入して整理すると、下記の関係式 (6) が得られる。

40

【0054】

【数 2】

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta \lambda} = \frac{L}{f} = \frac{1}{a \cos \beta} \quad \dots (6)$$

【0055】

上記の式 (6) の左辺の値は、波長変換素子 50 となる PPLN の長さ L と分極周期 a で決定される。本実施形態では、 L/a の値が例えば、 1.26 (rad/nm) となる

50

。従って、上記の式(6)に / の値として1.26を代入すると、前述した関係式(1)が得られる。

【0056】

このように、本実施形態では、前述した関係式(1)を満たすように、回折格子32と集光レンズ42との距離Lと集光レンズ42の焦点距離fの組み合わせを決定する。すなわち、本実施形態では、横方向に位置ずれした各波長のレーザー光を集光レンズ42で集光して波長変換素子50に導くことによって、狭窄化されていないレーザー光を効率よく波長変換するために、集光レンズ42と波長分散部30の回折格子32との設置条件となる光学的距離、すなわち回折格子32と集光レンズ42との距離Lを設定する。

【0057】

次に、本発明の一実施形態に係る波長変換装置による波長変換方法について、図面を使用しながら説明する。図7は、本発明の一実施形態に係る波長変換方法の概略を示すフロー図である。

【0058】

本発明の一実施形態に係る波長変換方法は、基本波光の波長を波長変換素子によって変換する。本実施形態では、まず、発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光、すなわち、発振スペクトルが非狭窄化されたレーザー光を基本波光として連続的に発振する(レーザー光発振工程S11)。

【0059】

次に、拡大光学系部20の第1レンズ22と第2レンズ24との距離を調整しながら、基本波光L1のビーム径を拡大する(ビーム径拡大工程S12)。本実施形態では、後段側に設けられる波長分散部30によって、狭窄化されていないレーザー光の波長を分散させ易くするために、基本波光L1のビーム径を拡大する。また、波長分散部30の回折格子32で回折後の拡大基本波光L3を集光レンズ42で集光して波長変換素子50に導く際に、拡大基本波光L3が集光レンズ42で各波長ごとに明確に色分けされるようにするために、基本波光L1のビーム径を所望の大きさとなるように調整する。

【0060】

その後、ビーム径が拡大された拡大基本波光L2を波長分散部30の回折格子32に透過させて、当該拡大基本波光の波長を分散させる(波長分散工程S13)。本実施形態では、波長分散部30は、90%以上の高い回折効率を有する透過型回折格子32から構成されるので、この透過型回折格子32によって拡大基本波光L2を回折させて、かかる拡大基本波光L3の波長を分散させる。

【0061】

次に、波長が分散された拡大基本波光L3を回折格子32から所定の大きさの光学的距離を介して設けられた波長・角度分散部40の集光レンズ42によって、波長変換素子50に導く(波長・角度分散工程S14)。本実施形態では、波長・角度分散部40は、波長分散部30から所定の大きさの光学的距離を介して設けられるので、横方向に位置ずれした各波長を単一の集光レンズ42で集光することで、波長変換素子50の持つ角度・波長・温度の位相整合条件の最適条件を達成させられる。

【0062】

このようにして、本実施形態では、基本波光L1のビーム径を拡大されてから、かかる拡大基本波光L2を回折格子32に透過させて波長分散させる。そして、その波長を分散させた拡大基本波光L3が、所定の光学的距離を経由して集光レンズ42で集光させてから、波長変換素子50に導かれる。このため、発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光でも、波長が異なることによる位相不整合を解消して、当該レーザー光に含まれる各波長ごとに好適な入射角で波長変換素子50に導けるので、効率的に波長変換できるようになる。

【0063】

また、本実施形態の波長変換装置1及び波長変換方法では、単一周波数レーザー光や超短パルスレーザーと異なり、高出力な連続発振ファイバーレーザー等の簡便で光子コスト

10

20

30

40

50

に優れ、発振スペクトルが狭窄化されていない質の良くないレーザー光でも、その波長を変換することによって、所望の用途に適用可能な高調波光に変換することができる。このため、発振スペクトルが狭窄化されていないレーザー光でも波長変換することによって、波長変換後の高調波光の適用範囲を広げられ、その光源のコスト削減も実現されるようになる。

【0064】

例えば、金属の切断や加工等において、加工用の数百W以上のCWファイバーレーザーでも、波長を1/2の大きさ等に高効率で波長変換することによって得られる波長変換後の高調波光でその加工精度を向上させられる。また、高出力連続CWレーザーを波長変換することによって、その波長変換後の高調波光をレーザーディスプレイにおけるRGBの緑色光源として、より廉価に適用することも可能である。さらに、波長変換後の高調波光による緑色光によって、チタンサファイヤを励起してフェムト秒レーザーの発振に適用することもできる。

10

【0065】

なお、上記のように本発明の各実施形態について詳細に説明したが、本発明の新規事項及び効果から実体的に逸脱しない多くの変形が可能であることは、当業者には、容易に理解できるであろう。従って、このような変形例は、全て本発明の範囲に含まれるものとする。

【0066】

例えば、明細書又は図面において、少なくとも一度、より広義又は同義な異なる用語と共に記載された用語は、明細書又は図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えることができる。また、波長変換装置の構成、動作も本発明の各実施形態で説明したものに限定されず、種々の変形実施が可能である。

20

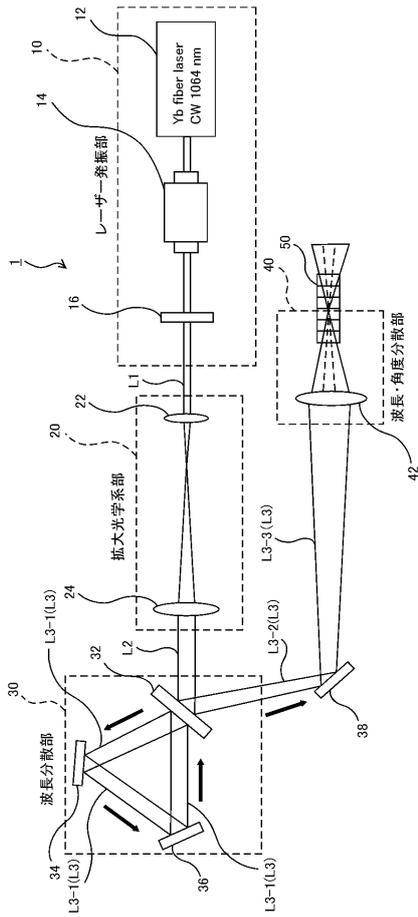
【符号の説明】

【0067】

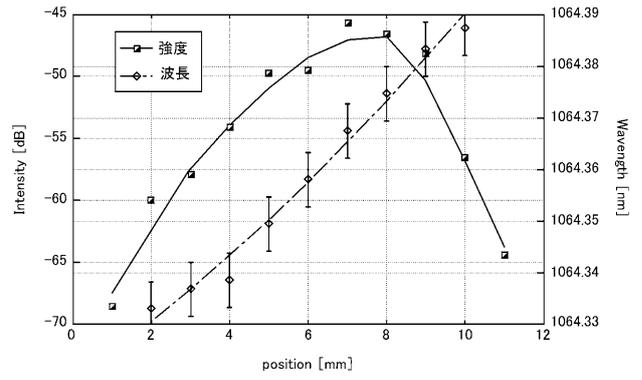
1 波長変換装置、10 レーザー発振部、12 ファイバーレーザー、14 ファラデーアイソレーター、16 1/2波長板、20 拡大光学系部、22 第1レンズ、24 第2レンズ、30 波長分散部、32、透過型回折格子(回折格子)、34、36、38 反射ミラー、40 波長・角度分散部、42 集光レンズ、50 波長変換素子、f 焦点距離、L 光学的距離、L1 基本波光、L2、L3 拡大基本波光、S11 レーザー光発振工程、S12 ビーム径拡大工程、S13 波長分散工程、S14 波長・角度分散工程

30

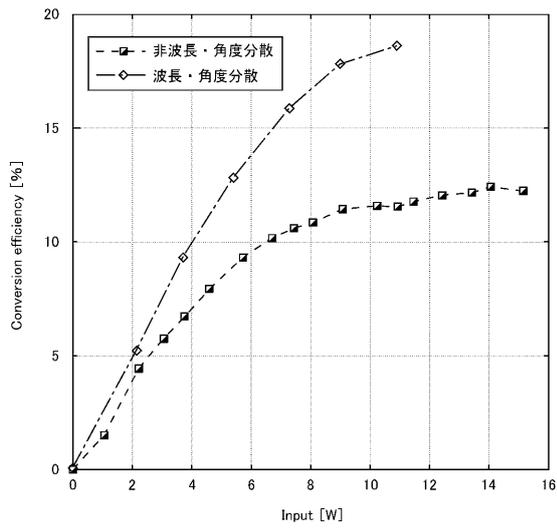
【図 1】



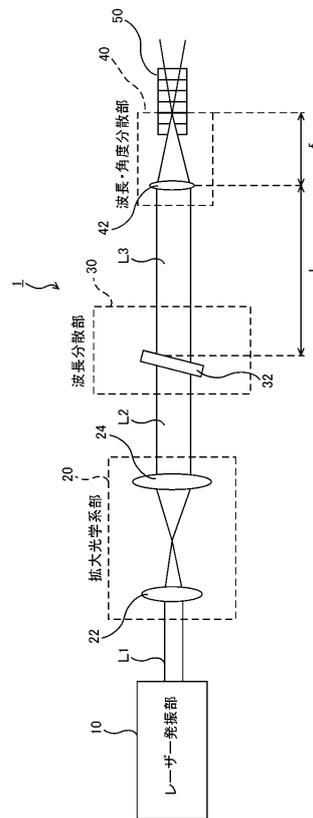
【図 2】



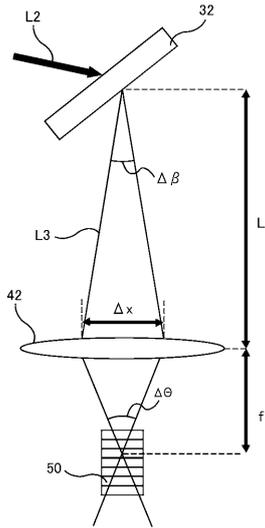
【図 3】



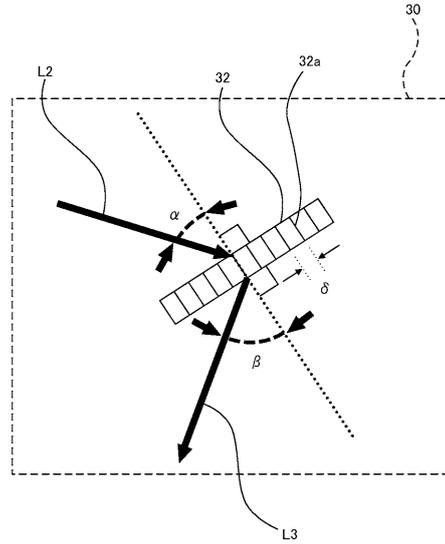
【図 4】



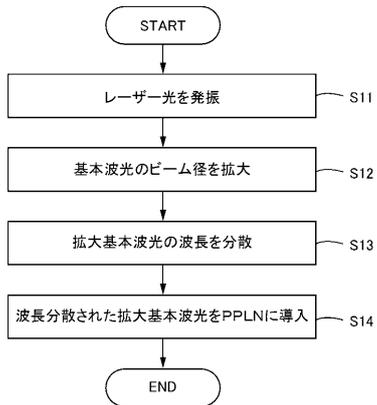
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2K102 AA08 AA33 BA18 BB02 BC01 BD08 BD09 BD10 CA26 DA10
DA20 DD05 EB02 EB08 EB10 EB20