

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7079953号
(P7079953)

(45)発行日 令和4年6月3日(2022.6.3)

(24)登録日 令和4年5月26日(2022.5.26)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 F	1/37 (2006.01)	G 0 2 F	1/37	
H 0 1 S	3/10 (2006.01)	H 0 1 S	3/10	Z
H 0 1 S	3/067(2006.01)	H 0 1 S	3/10	D
B 2 3 K	26/064(2014.01)	H 0 1 S	3/067	
		B 2 3 K	26/064	Z

請求項の数 6 (全17頁)

(21)出願番号 特願2017-58457(P2017-58457)
 (22)出願日 平成29年3月24日(2017.3.24)
 (65)公開番号 特開2018-159896(P2018-159896
 A)
 (43)公開日 平成30年10月11日(2018.10.11)
 審査請求日 令和2年3月17日(2020.3.17)
 (出願人による申告)平成28年度、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」委託研究、産業技術強化法第19条の適用を受ける特許出願

(73)特許権者 506161131
 スペクトロニクス株式会社
 大阪府吹田市垂水町3-28-15
 (74)代理人 100107478
 弁理士 橋本 薫
 (72)発明者 岡田 穰治
 大阪府茨木市永代町8番8号 スペクト
 ロニクス株式会社内
 (72)発明者 折井 庸亮
 大阪府茨木市永代町8番8号 スペクト
 ロニクス株式会社内
 審査官 井部 紗代子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長変換方法、波長変換装置及びレーザー光源装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

調温素子を用いて非線形光学素子を調温する第1調温ステップと、
 所定温度に調温された前記非線形光学素子の作用領域に特定波長のレーザー光を入射して高調波発生法または光混合法により所望の波長のレーザー光に波長変換する波長変換ステップと、
 を備えて構成される波長変換方法であって、
 第1補助光源から波長変換に寄与しない波長域の補助光を前記作用領域に照射して前記非線形光学素子に給熱する第2調温ステップと、
 前記第1調温ステップによる前記非線形光学素子への給熱量と、前記第2調温ステップによる前記非線形光学素子への給熱量に基づいて、前記非線形光学素子の温度を目標温度に調温する温度制御ステップと、
 を備え、
 前記作用領域は、前記非線形光学素子の入力端から出力端にかけて波長変換作用を受ける領域で前記特定波長のレーザーの光軸周りの筒状領域であり、
 前記温度制御ステップは、前記波長変換ステップの実行前に、前記第1調温ステップにより、前記非線形光学素子を波長変換効率が最大となる第1温度より低い第2温度に調節した状態で、前記第2調温ステップにより、前記第1補助光源からの補助光を波長変換光の出力側端面から前記特定波長のレーザーの光軸に沿って前記作用領域に照射することで、前記非線形光学素子が前記第1温度となるように前記第1補助光源からの給熱量を調節し、前記波長変換ステップの実行後の波長変換過程で、前記第2調温ステップにより、前記特

定波長のレーザ光からの給熱による前記非線形光学素子の温度変動を抑制して前記第 1 温度に維持するように前記第 1 補助光源からの給熱量を調節する波長変換方法。

【請求項 2】

前記第 2 調温ステップは、第 2 補助光源から波長変換に寄与しない波長域の補助光を前記特定波長のレーザ光の入力側端面から前記特定波長のレーザの光軸に沿って前記非線形光学素子の前記作用領域に照射するステップを含む請求項 1 記載の波長変換方法。

【請求項 3】

作用領域に入射された特定波長のレーザ光から高調波発生法または光混合法により所望の波長のレーザ光に波長変換する非線形光学素子と、調温素子により前記非線形光学素子を調温する第 1 調温機構とを備えて構成される波長変換装置であって、

第 1 補助光源から出力される波長変換に寄与しない波長域の補助光を前記作用領域に照射する第 2 調温機構と、

前記第 1 調温機構からの給熱量と、前記第 2 調温機構からの給熱量に基づいて、前記非線形光学素子の温度を目標温度に調温する温度制御部と、

を備え、

前記作用領域は、前記非線形光学素子の入力端から出力端にかけて波長変換作用を受ける領域で前記特定波長のレーザの光軸周りの筒状領域で構成され、

前記温度制御部は、前記非線形光学素子による波長変換の前に、前記第 1 調温機構により、前記非線形光学素子を波長変換効率が最大となる第 1 温度より低い第 2 温度に調節した

状態で、前記第 2 調温機構により、前記第 1 補助光源からの補助光を波長変換光の出力側端面から前記特定波長のレーザの光軸に沿って前記作用領域に照射することで、前記非線形

光学素子が前記第 1 温度となるように前記第 1 補助光源からの給熱量を調節し、前記非線形光学素子による前記波長変換の過程で、前記第 2 調温機構により、前記特定波長のレーザ光からの給熱による前記非線形光学素子の温度変動を抑制して前記第 1 温度に維持す

るように前記第 1 補助光源からの給熱量を調節する波長変換装置。

【請求項 4】

前記第 2 調温機構は、波長変換に寄与しない波長域の補助光を前記特定波長のレーザ光の入力側端面から前記特定波長のレーザの光軸に沿って前記非線形光学素子の前記作用領域に照射する第 2 の補助光源を備えている請求項 3 記載の波長変換装置。

【請求項 5】

前記補助光の波長は、前記非線形光学素子が光吸収特性を示す $1 \sim 11 \mu\text{m}$ の範囲である請求項 3 または 4 記載の波長変換装置。

【請求項 6】

ゲインスイッチング法でパルス光を出力する種光源と、前記種光源から出力されるパルス光を増幅するファイバ増幅器と、前記ファイバ増幅器から出力されるパルス光を増幅する

固体増幅器と、前記固体増幅器から出力されるパルス光を波長変換して出力する請求項 3 から 5 の何れかの波長変換装置と、を備えているレーザ光源装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長変換方法、波長変換装置及びレーザ光源装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、レーザ光は様々な加工に用いられている。波長が 532 nm から 1064 nm 付近のレーザ光はエネルギー強度が大きく、金属やガラス等の切断または溶接等の各種の加工に好適に用いられている。また、波長が 200 nm から 350 nm 付近の深紫外領域のレーザ光は電子材料や複合材料の加工に用いられている。

【0003】

近赤外領域よりも短い波長のレーザ光を出力するレーザ光源装置は、近赤外領域の波長のレーザ光を出力する種光源と、種光源から出力されるレーザ光を増幅する光増幅器と、光

10

20

30

40

50

増幅器で増幅されたレーザー光の波長を第2高調波発生法や和周波発生法を用いて目的とする波長に変換する非線形光学素子を備えて構成されている。

【0004】

このような非線形光学素子として、例えば種光源から出力された波長1064nmのレーザーパルス光を波長532nmに波長変換するLiBO結晶(LiB₃O₅)や、波長532nmのパルス光を波長266nmに波長変換するCLBO結晶(CsLiB₆O₁₀)等が用いられる。

【0005】

特許文献1, 2には、非線形光学結晶を用いて、安定的に高変換効率を達成し、実用化に耐える全固体紫外レーザー発振器を実現可能な光波長変換システムが開示されている。

10

【0006】

当該光波長変換システムは、固有の波長のコヒーレント光を発振するレーザー発振器と、このレーザー発振器からの光を入射光として、1/2の波長の光を出射させる非線形光学結晶と、この非線形光学結晶を200~600に加熱保持する加熱手段とを備えている。200以上に加熱保持することにより2光子吸収による影響が軽減されて変換効率の低下が解消され、安定して1~2W程度のパワーを得ることができる。

【0007】

特許文献3には、四ホウ酸リチウム単結晶で生じる2光子吸収に起因する発熱によって屈折率が変化して位相整合性が崩れ、その結果、出力のロスや不安定化が生じたりビーム品質が劣化したりするという問題を解決して、精密加工に適した紫外レーザーを得ることを目的とする波長変換装置が開示されている。

20

【0008】

当該波長変換装置は、波長変換素子の入射端面と出射端面を除く外表面を覆い、ヒータにて波長変換素子を外側より加熱する加熱ブロックと、加熱ブロックの温度を検出する温度センサと、当該温度センサの検出温度に基づき、加熱ブロックを一定温度に制御する温度制御部を有し、波長変換素子の長さをLとした時、当該波長変換素子の縦と横の幅をL/4以下とし、且つ、加熱ブロックを、波長変換素子の入射端面および出射端面より長さ方向にL/3以上突出させたことを特徴とする。

【0009】

特許文献4には、潮解性を有する波長変換光学素子による波長変換を、簡便な構成により高い変換効率で長期安定して行うことが可能な構成の波長変換装置が開示されている。

30

【0010】

当該波長変換装置は、波長変換光学素子を加熱するヒータと、波長変換光学素子の温度を検出する温度検出部と、温度検出部による検出温度に基づいてヒータの駆動を制御して、波長変換光学素子の温度が所定温度範囲内に維持されるように調節する温度制御部と、波長変換光学素子の受光位置を所定量シフトさせるシフト機構とを備え、波長変換光学素子の受光位置をシフトさせたときに、温度制御部が、波長変換光学素子の温度を所定温度範囲内において波長変換されたレーザー光の出力強度が最大である最適温度となるように、ヒータの駆動を制御するように構成されている。

【0011】

上述した何れの波長変換装置も、波長変換光学素子を調温するためにヒータやペルチェ素子等が用いられている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【文献】特開2003-50412号公報

特開2008-181151号公報

特開2004-191963号公報

特開2011-59324号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】**【0013】**

しかし、非線形光学素子を用いて得られる従来の紫外光のパワーよりも十分に大きな例えば200W～400W程度のパワーの紫外光を得るために、非線形光学素子への入射光のパワーを上昇させると、波長変換過程で生じる2光子吸収等に起因する非線形光学素子の発熱によって、非線形光学素子の温度が、波長変換効率が最大となる温度域からずれるため、波長変換光の立上り特性が低下し、波長変換効率が低下するという問題が生じる。

【0014】

そこで、非線形光学素子を調温するために用いられているヒータやペルチェ素子により温度変動を抑制することが考えられるが、一般的に非線形光学素子は熱伝達に時間を要するため、波長変換過程で生じる温度変動をヒータやペルチェ素子で抑制することは困難であった。

10

【0015】

本発明の目的は、上述した問題点に鑑み、被波長変換光のパワーに起因する非線形光学素子の温度変動に対処して、安定して大きなパワーの波長変更を得ることができる波長変換方法、波長変換装置及びレーザー光源装置を提供する点にある。

【課題を解決するための手段】**【0016】**

上述の目的を達成するため、本発明による波長変換方法の第一特徴構成は、調温素子を用いて非線形光学素子を調温する第1調温ステップと、所定温度に調温された前記非線形光学素子の作用領域に特定波長のレーザー光を入射して高調波発生法または光混合法により所望の波長のレーザー光に波長変換する波長変換ステップと、を備えて構成される波長変換方法であって、第1補助光源から波長変換に寄与しない波長域の補助光を前記作用領域に照射して前記非線形光学素子に給熱する第2調温ステップと、前記第1調温ステップによる前記非線形光学素子への給熱量と、前記第2調温ステップによる前記非線形光学素子への給熱量に基づいて、前記非線形光学素子の温度を目標温度に調温する温度制御ステップと、を備え、前記作用領域は、前記非線形光学素子の入力端から出力端にかけて波長変換作用を受ける領域で前記特定波長のレーザーの光軸周りの筒状領域であり、前記温度制御ステップは、前記波長変換ステップの実行前に、前記第1調温ステップにより、前記非線形光学素子を波長変換効率が最大となる第1温度より低い第2温度に調節した状態で、前記第2調温ステップにより、前記第1補助光源からの補助光を波長変換光の出力側端面から前記特定波長のレーザーの光軸に沿って前記作用領域に照射することで、前記非線形光学素子が前記第1温度となるように前記第1補助光源からの給熱量を調節し、前記波長変換ステップの実行後の波長変換過程で、前記第2調温ステップにより、前記特定波長のレーザー光からの給熱による前記非線形光学素子の温度変動を抑制して前記第1温度に維持するように前記第1補助光源からの給熱量を調節する点にある。

20

30

【0017】

非線形光学素子を目標温度に調温するために、調温素子を用いた第1調温ステップによる給熱量と、波長変換に寄与しない波長域の補助光を出力する第1補助光源を用いた第2調温ステップによる給熱量が調整される。第1調温ステップでは、発熱源である調温素子から熱時定数が大きな非線形光学素子に熱伝導により給熱されるのに対して、第2調温ステップでは、第1補助光源から出力される補助光により非線形光学素子を構成する原子や電子の状態がより高いエネルギー準位に遷移することにより給熱される。従って、第1調温ステップでは非線形光学素子が静的に温度調整され、第2調温ステップでは非線形光学素子が動的に温度調整されるようになり、非線形光学素子の緩やかな温度変動のみならず急激な温度変動も効果的に抑制することができるようになる。

40

【0018】

非線形光学素子に入射される特定波長のレーザー光つまり被波長変換光が、高調波発生法または光混合法によって波長変換される過程で、2光子吸収等によって非線形光学素子の温度が上昇して波長変換効率が低下するような場合でも、第1補助光源から作用領域に照射

50

される補助光のエネルギーを調整して、非線形光学素子の温度上昇を抑制することにより、波長変換効率の低下を抑制することができるようになる。

【0019】

非線形光学素子の入射端面から出射端面に到る作用領域のうち、波長変換過程で生じる発熱分布は長手方向中央部から出射端面側にかけて次第に高くなる傾向を示す。第1補助光源からの補助光を波長変換光の出力側から非線形光学素子に照射することにより、波長変換過程で生じる発熱分布に合わせた温度分布を波長変換前に実現することができ、その結果、波長変換過程で生じる発熱分布に対応した温度分布を維持するように第1補助光源からの補助光のエネルギーを調整すれば、常に良好な波長変換効率での波長変換が実現できる。

10

【0020】

同第二の特徴構成は、上述の第一の特徴構成に加えて、前記第2調温ステップは、第2補助光源から波長変換に寄与しない波長域の補助光を前記特定波長のレーザ光の入力側端面から前記特定波長のレーザの光軸に沿って前記非線形光学素子の前記作用領域に照射するステップを含む点にある。

【0021】

第2補助光源からの補助光を非線形光学素子の入力側から照射することにより、波長変換過程で然程昇温しない入力側端面から長手方向中央部にいたる作用領域の温度を波長変換効率のよい温度に調温することで、全体として波長変換効率を向上させることができるようになる。

20

【0022】

本発明による波長変換装置の第一の特徴構成は、作用領域に入射された特定波長のレーザ光から高調波発生法または光混合法により所望の波長のレーザ光に波長変換する非線形光学素子と、調温素子により前記非線形光学素子を調温する第1調温機構とを備えて構成される波長変換装置であって、第1補助光源から出力される波長変換に寄与しない波長域の補助光を前記作用領域に照射する第2調温機構と、前記第1調温機構からの給熱量と、前記第2調温機構からの給熱量に基づいて、前記非線形光学素子の温度を目標温度に調温する温度制御部と、を備え、前記作用領域は、前記非線形光学素子の入力端から出力端にかけて波長変換作用を受ける領域で前記特定波長のレーザの光軸周りの筒状領域で構成され、前記温度制御部は、前記非線形光学素子による波長変換の前に、前記第1調温機構により、前記非線形光学素子を波長変換効率が最大となる第1温度より低い第2温度に調節した状態で、前記第2調温機構により、前記第1補助光源からの補助光を波長変換光の出力側端面から前記特定波長のレーザの光軸に沿って前記作用領域に照射することで、前記非線形光学素子が前記第1温度となるように前記第1補助光源からの給熱量を調節し、前記非線形光学素子による前記波長変換の過程で、前記第2調温機構により、前記特定波長のレーザ光からの給熱による前記非線形光学素子の温度変動を抑制して前記第1温度に維持するように前記第1補助光源からの給熱量を調節する点にある。

30

【0023】

同第二の特徴構成は、上述の第一の特徴構成に加えて、前記第2調温機構は、波長変換に寄与しない波長域の補助光を前記特定波長のレーザ光の入力側端面から前記特定波長のレーザの光軸に沿って前記非線形光学素子の前記作用領域に照射する第2の補助光源を備えている点にある。

40

【0024】

同第三の特徴構成は、上述の第一または第二の特徴構成に加えて、前記第2調温機構に備えた補助光源から出力される補助光の波長は1～11μmの範囲である点にある。

【0025】

本発明によるレーザ光源装置の特徴構成は、ゲインスイッチング法でパルス光を出力する種光源と、前記種光源から出力されるパルス光を増幅するファイバ増幅器と、前記ファイバ増幅器から出力されるパルス光を増幅する固体増幅器と、前記固体増幅器から出力されるパルス光を波長変換して出力する上述した第一から第三の何れかの特徴構成を備えた波

50

長変換装置と、を備えている点にある。

【発明の効果】

【0026】

以上説明した通り、本発明によれば、被波長変換光のパワーに起因する非線形光学素子の温度変動に対処して、安定して大きなパワーの波長変更を得ることができる波長変換方法、波長変換装置及びレーザ光源装置を提供することができるようになった。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明による波長変換装置が組み込まれたレーザ光源装置のブロック構成図

【図2】(a)は最適温度に維持された状態で波長変換処理が開始された後の非線形光学素子の温度変化の説明図、(b)は最適温度より低い温度に維持された状態で波長変換処理が開始された後の非線形光学素子の温度変化の説明図

10

【図3】波長変換装置の説明図

【図4】非線形光学素子CLBOの光透過率の特性図

【図5】(a)は周波数 1 と 2 のパルス光が非線形光学素子に入射され、和周波により周波数 3 のパルス光が出射されるとともに、周波数 4 の加熱用のレーザ光が波長変換光の出射側から入射される状態の説明図、(b)は $t = t_1$ 以降に一定パワーの波長変換光が出力される状態の説明図、(c)は調温素子により T_0 に調温された状態で、 $t = t_0$ で加熱用レーザ光が照射された後の非線形光学素子の温度変動の説明図、(d)は加熱用レーザ光の強度の変化状態の説明図。

20

【図6】(a)は光軸に沿う方向(z)への長さが L_c の非線形光学素子に周波数 1 と 2 のパルス光が入射され、和周波により周波数 3 のパルス光が出射されるとともに、周波数 4 の加熱用のレーザ光が波長変換光の出射側から入射される状態の説明図、(b)は非線形光学素子の光軸に沿う方向(z)の波長変換パワーの分布の説明図、(c)は波長変換を伴わずに加熱用レーザ光を照射した場合の非線形光学素子の光軸に沿う方向(z)の温度分布の説明図、(d)は加熱用レーザ光を照射することなく波長変換した場合の非線形光学素子の光軸に沿う方向(z)の温度分布の説明図

【図7】(a)は光軸に沿う方向(z)への長さが L_c の非線形光学素子に周波数 1 と 2 のパルス光が入射され、和周波により周波数 3 のパルス光が出射されるとともに、周波数 4 の加熱用のレーザ光が波長変換光の出射側から入射され、さらに周波数 5 の加熱用のレーザ光がパルス光の入射側から入力される状態の説明図、(b)は非線形光学素子の光軸に沿う方向(z)の波長変換パワーの分布の説明図、(c)は波長変換を伴わずに双方の加熱用レーザ光を照射した場合の非線形光学素子の光軸に沿う方向(z)の温度分布の説明図、(d)は出射側の加熱用レーザ光を照射することなく波長変換した場合の非線形光学素子の光軸に沿う方向(z)の温度分布の説明図

30

【図8】(a)は非線形光学素子への補助光の入射経路の説明図、(b)は別の態様の非線形光学素子への補助光の入射経路の説明図

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下、本発明による波長変換方法、波長変換装置及びレーザ光源装置の実施形態を説明する。図1には、レーザ光源装置1の一例となる構成が示されている。レーザ光源装置1は、光源部1Aと、ファイバ増幅部1Bと、固体増幅部1Cと、波長変換部1Dとが光軸Lに沿って配置され、さらに光源部1Aや波長変換部1D等を制御する制御部100を備えて構成されている。

40

【0029】

光源部1Aには、種光源10と、種光源用のドライバD1と、光アイソレータISL1等を備えている。ファイバ増幅部1Bには、それぞれレーザダイオードで構成される励起用光源21, 31及び合波器22, 32を備えた二段のファイバ増幅器20, 30と、光アイソレータISL2, ISL3と、光スイッチ素子40等を備えている。また、ファイバ増幅器20の後段にはバンドパスフィルタBPF1を備えている。

50

【 0 0 3 0 】

固体増幅部 1 C には、固体増幅器 5 0 と、反射ミラー M 1 , M 2 , M 3 と、レンズ L 1 , コリメータ C L 2 等を備えている。波長変換部 1 D は、第 1 波長変換部 1 E 及び第 2 波長変換部 1 F で構成され、それぞれに非線形光学素子 6 0 , 7 0 を備え、高調波発生法により所望の波長に変換可能に構成されている。第 2 波長変換部 1 F が本発明による波長変換装置となる。

【 0 0 3 1 】

光源部 1 A とファイバ増幅部 1 B と固体増幅部 1 C とがアルミニウム等で構成される一つの金属ケースに收容され、波長変換部 1 D が別の金属ケースに收容され、さらに波長変換部 1 D の金属ケースに第 2 波長変換部 1 F がさらに別の金属ケースに收容されている。尚、各ケースに收容される機能ブロック 1 A ~ 1 D の区分けは特に制限されることはないが、第 2 波長変換部 1 F は内部に收容される非線形光学素子の特性等によりパージガスによりパージ可能な金属ケースに收容されている。

10

【 0 0 3 2 】

種光源 1 0 から出力された波長 1 0 6 4 n m のレーザパルス光（以下、単に「パルス光」とも記す。）が二段のファイバ増幅器 2 0 , 3 0 で増幅され、さらに一段の固体増幅器 5 0 で所望のレベルまで増幅される。固体増幅器 5 0 で増幅されたパルス光は非線形光学素子 6 0 で波長 5 3 2 n m に波長変換され、さらに非線形光学素子 7 0 で波長 2 6 6 n m に波長変換されて出力される。

【 0 0 3 3 】

種光源 1 0 として単一縦モードのレーザ光を出力する分布帰還型レーザダイオード（以下、「DFBレーザ」と記す。）が用いられ、ゲインスイッチング法を適用する制御部 1 0 0 から出力される制御信号によって、DFBレーザから単発または数メガヘルツ以下の所望の周波数で、数百ピコ秒以下の所望のパルス幅のパルス光が出力される。

20

【 0 0 3 4 】

種光源 1 0 から出力された数ピコジュールから数百ピコジュールのパルスエネルギーのパルス光が、ファイバ増幅器 2 0 , 3 0 及び固体増幅器 5 0 によって最終的に数十マイクロジュールから数十ミリジュールのパルスエネルギーのパルス光に増幅された後に、二段の非線形光学素子 6 0 , 7 0 に入力されることによって波長 2 6 6 n m の深紫外線に波長変換される。

30

【 0 0 3 5 】

種光源 1 0 から出力されたパルス光は、光アイソレータ I S L 1 を介して、初段のファイバ増幅器 2 0 で増幅される。ファイバ増幅器 2 0 , 3 0 として、所定波長（例えば 9 7 5 n m ）の励起用光源 2 1 で励起されるイッテルビウム（Y b ）添加ファイバ増幅器等の希土類添加光ファイバが用いられる。このようなファイバ増幅器 2 0 の反転分布の寿命はミリ秒の位数であるため、励起用光源 2 1 で励起されたエネルギーは 1 キロヘルツ以上の周波数のパルス光に効率的に転移されるようになる。

【 0 0 3 6 】

初段のファイバ増幅器 2 0 で約 3 0 デシベル増幅されたパルス光は、光アイソレータ I S L 2 を介して後段のファイバ増幅器 3 0 に入力されて約 2 5 デシベル増幅される。後段のファイバ増幅器 3 0 で増幅されたパルス光は、コリメータ C L 1 によってビーム成形され、光アイソレータ I S L 3 , I S L 4 を通過した後に固体増幅器 5 0 に導かれて約 2 5 デシベル増幅される。

40

【 0 0 3 7 】

コリメータ C L 1 と固体増幅器 5 0 との間には、音響光学素子が組み込まれ光スイッチ素子 4 0 として機能する音響光学変調器 A O M (Acousto-Optic Modulator)、一対の反射ミラー M 1 , M 2 が配置され、反射ミラー M 1 , M 2 間には固体増幅器 5 0 で増幅されたパルス光を非線形光学素子 6 0 に導く光アイソレータ I S L 4 が配置されている。

【 0 0 3 8 】

尚、上述の光アイソレータ I S L 1 ~ I S L 4 は、何れも磁気光学効果を利用して順方向

50

と逆方向で偏光面を逆方向に回転させることで戻り光を遮断する偏光依存型の光アイソレータであり、光軸に沿って上流側に配置された各光学素子が、高強度の戻り光によって熱破壊されることを回避する等のために設けられている。

【 0 0 3 9 】

固体増幅器 5 0 として Nd : Y V O 4 結晶や Nd : Y A G 結晶等の固体レーザ媒体が好適に用いられる。発光波長 8 0 8 n m または 8 8 8 n m のレーザダイオードで構成される励起用光源 5 1 から出力され、コリメータ C L 2 によってビーム成形された励起光によって固体レーザ媒体が励起されるように構成されている。

【 0 0 4 0 】

光スイッチ素子 4 0 を通過したパルス光は、反射ミラー M 1 , M 2 を経由して固体増幅器 5 0 に入射して増幅された後に、さらに反射ミラー M 3 で反射されて固体増幅器 5 0 に再入射して再度増幅される。つまり、固体増幅器 5 0 の往路及び復路でそれぞれ増幅されるように構成されている。尚、レンズ L 1 はビーム整形用である。

10

【 0 0 4 1 】

固体増幅器 5 0 で増幅されたパルス光は反射ミラー M 2 、光アイソレータ I S L 4 で反射されて波長変換部 1 D の非線形光学素子 6 0 , 7 0 に入射して高調波発生法により所望の波長に変換された後に出力される。

【 0 0 4 2 】

第 1 波長変換部 1 E には非線形光学素子 6 0 である L B O 結晶 (L i B 3 O 5) が組み込まれ、第 2 波長変換部 1 F には非線形光学素子 7 0 である C L B O 結晶 (C s L i B 6 O 1 0) が組み込まれている。種光源 1 0 から出力された波長 1 0 6 4 n m のパルス光が非線形光学素子 6 0 で波長 5 3 2 n m に波長変換され、さらに非線形光学素子 7 0 で波長 2 6 6 n m に波長変換される。

20

【 0 0 4 3 】

反射ミラー M 4 , M 8 は非線形光学素子 6 0 から出力される波長 1 0 6 4 n m のパルス光を分離するためのフィルタとして機能し、反射ミラー M 6 は非線形光学素子 7 0 から出力される波長 5 3 2 n m のパルス光を分離するためのフィルタとして機能し、分離されたパルス光はそれぞれ光ダンパで減衰される。

【 0 0 4 4 】

第 2 波長変換部 1 F には C L B O 結晶 (C s L i B 6 O 1 0) を光軸と直交する面内で移動させる走査機構であるステージ 7 1 が設けられている。紫外線が長時間同一箇所に照射されると C L B O 結晶 (C s L i B 6 O 1 0) に光学損傷が生じて強度分布の劣化と波長変換出力の低下を招くため、所定期間に C L B O 結晶 (C s L i B 6 O 1 0) へのパルス光の照射位置をシフトするためである。

30

【 0 0 4 5 】

ステージ 7 1 には非線形光学素子 7 0 を調温する調温素子が設けられ、非線形光学素子 7 0 の温度が所定の温度に維持されるように調温素子を制御する第 1 調温機構が制御部 1 0 0 に組み込まれている。調温素子としてヒータやペルチェ素子が好適に用いられる。

【 0 0 4 6 】

制御部 1 0 0 は F P G A (Field Programmable Gate Array) 及び周辺回路等を備えた回路ブロックで構成され、予め F P G A 内の記憶部に記憶したプログラムに基づいて複数の論理素子を駆動することにより、レーザ光源装置 1 を構成する各ブロックが例えばシーケンシャルに制御される。また、制御部 1 0 0 には、後述する位相整合方法を実行するために必要な記憶部が接続されている。

40

【 0 0 4 7 】

尚、制御部 1 0 0 は F P G A で構成される以外に、マイクロコンピュータと記憶部及び I O 等の周辺回路で構成されていてもよいし、プログラマブル・ロジック・コントローラ (P L C) 等で構成されていてもよい。

【 0 0 4 8 】

具体的に、制御部 1 0 0 はゲインスイッチング法を用いて種光源 1 0 を発光させるべく、

50

種光源 10 である DFB レーザのドライバ D1 に所定パルス幅のトリガ信号を出力する。当該駆動回路から DFB レーザにトリガ信号に応じたパルス電流が印加されると緩和振動が発生し、緩和振動による発光開始直後の最も発光強度が大きな第 1 波のみからなり第 2 波以降のサブパルスを含まないパルス状のレーザ光が出力される。ゲインスイッチング法とは、このような緩和振動を利用した短いパルス幅でピークパワーが大きいパルス光を発生させる方法をいう。

【0049】

また、制御部 100 は光スイッチ素子 40 である音響光学変調器 AOM を駆動する RF ドライバ D2 にゲート信号を出力する。RF ドライバ D2 から高周波信号が印加されたトランスジューサ（ピエゾ変換素子）によって音響光学素子を構成する結晶に回折格子が生成され、音響光学素子に入射するパルス光の回折光が反射ミラー M1 に入射する。RF ドライバ D2 が停止すると音響光学素子に入射したパルス光は回折せずにそのまま通過し、反射ミラー M1 に入射することはない。尚、RF ドライバ D2 の停止時に音響光学素子を通過した光は光ダンパによって減衰されるように構成されている。

10

【0050】

ゲート信号によって光スイッチ素子 40 がオンすると回折された光がファイバ増幅器 30 から固体増幅器 50 へ伝播し、ゲート信号によって光スイッチ素子 40 がオフするとファイバ増幅器 30 から固体増幅器 50 へ光の伝播が阻止される。

【0051】

さらに、制御部 100 は所定期間に CLBO 結晶 (CsLiB₆O₁₀) へのパルス光の照射位置をシフトするためにステージ 71 を制御してステップ的に移動させる。例えば、制御部 100 は、波長変換された紫外線の強度をモニタし、モニタした強度の履歴が所定のパターンに一致するとステージ 71 を移動させて CLBO 結晶 (CsLiB₆O₁₀) へのパルス光の照射位置をシフトする。

20

【0052】

パルス光の光軸に直交する X - Y 平面でステージ 71 が移動可能となるように、ステージ 71 は制御部 100 によりモータドライバ D3 を介して制御される X 方向移動モータ及び / または Y 方向移動モータに駆動連結されている。

【0053】

種光源 10 から出力された中心波長 1064 nm の狭帯域のパルス光がファイバ増幅器 20 に導かれて増幅される過程で自己位相変調やラマン散乱等によって不必要にスペクトル幅が広がり、さらに自然放出光ノイズ（以下、「ASE ノイズ (amplified spontaneous emission noise)」と記す。）が発生して光パルスの S/N 比が低下する。そのようなパルス光が後段のファイバ増幅器 30 に導かれて増幅される過程でさらに広帯域化され、ASE ノイズレベルが増大する。

30

【0054】

波長変換部 1D で波長変換可能な波長範囲のパルス光を効率的に増幅して、所望の強度の深紫外のパルス光を得るために光スイッチ素子 40 が設けられている。制御部 100 は、種光源 10 からのパルス光の出力期間に光の伝播を許容し、種光源 10 からのパルス光の出力期間と異なる期間に光の伝播を阻止するように光スイッチ素子 40 を制御するように構成されている。

40

【0055】

制御部 100 によって種光源 10 からのパルス光の出力期間と異なる期間に光スイッチ素子 40 がオフされると、その間は、後段の固体増幅器 50 への ASE ノイズの伝播が阻止されるようになり、固体増幅器 50 の活性領域のエネルギーが無駄に消費されることが回避されるようになる。

【0056】

光スイッチ素子 40 として、EO 変調の強度変調を利用して電界により光をオンオフする電気光学素子を用いてもよく、マイクロマシーニング技術で製作した微少な揺動ミラー（MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) で構成されたミラー）を用いて、フ

50

アイバ増幅器 30 の出力が固体増幅器 50 に伝播するか否かを微少な揺動ミラーの揺動角度によって切り替えるように構成してもよい。また、偏光状態を動的に切替えて光の透過と遮断を制御可能な偏光デバイスを用いてもよい。つまり、光スイッチ素子は動的光学素子で構成されていればよい。

【0057】

固体増幅器 50 で増幅されたパルス光は、光アイソレータ ISL 4 の入力側のエスケープポートから第 1 波長変換部 1 E の非線形光学素子 60 である LBO 結晶に入射して波長 532 nm のパルス光に波長変換される。

【0058】

さらに、パルス光はレンズ L 2 , L 3 によって 0.2 ~ 0.3 mm のビーム径が 2 ~ 3 mm 程度に拡径された後に、第 2 波長変換部 1 F の非線形光学素子 70 である CLBO 結晶に入射して波長 266 nm のパルス光に波長変換され、複数の光学レンズを介して真円にビーム整形された後に出力される。尚、レンズ L 2 , L 3 で拡径されたパルス光は、レーザ光源装置 1 の後段に配置された光学系で縮径され、単位面積当たりのパワーを増大した後に照射対象に照射される。

10

【0059】

非線形光学素子 70 で波長変換された後、波長 266 nm のパルス光が反射ミラー M 6 で反射され、さらに反射ミラー M 5 で反射されて出射窓から出力される。非線形光学素子 70 から出力された波長 532 nm のパルス光は反射ミラー M 6 を透過して光ダンパで減衰される。

20

【0060】

反射ミラー M 5 と出射窓との間にサンプラーとなる反射ミラー M 10 が配置され、波長 266 nm のパルス光のごく一部 (0.5% 程度) が反射されるように構成されている。反射ミラー M 10 からの反射光はさらに反射ミラー M 9 で反射されて受光素子 PS 1 に入射する。受光素子 PS 1 によってそのパワーが検出される。受光素子 PS 1 で検出されたパワーは制御部 100 に入力され、その値に基づいて非線形光学素子 70 の位相整合条件等が調整される。

【0061】

図 2 (a) 上段には、上述した第 1 調温機構により目標温度 T_0 が最適温度 T_{opt} に維持された状態で、時刻 t_0 に波長 532 nm のパルス光が入射され、波長変換処理が開始された状態が示されている。最適温度 T_{opt} とは、波長変換効率が最も高い温度域の温度である。

30

【0062】

図 2 (a) 下段には、非線形光学素子 70 の作用領域、つまり非線形光学素子 70 の入力端から出力端にかけて波長変換作用を受ける領域で入射したパルス光の光軸周りの筒状領域に、波長 532 nm のエネルギー強度の高いパルス光が入射すると、当該作用領域の温度が次第に上昇して最適温度 T_{opt} から T の温度上昇を招く様子が示されている。

【0063】

図 2 (a) 中段には、非線形光学素子 70 の作用領域の温度上昇に伴い波長変換効率が低下する様子が示されている。その結果、波長 266 nm の深紫外光のパワーが次第に低下して安定するようになる。

40

【0064】

図 2 (b) 上段には、上述した第 1 調温機構により目標温度 T_0 が最適温度 T_{opt} より低い温度に維持された状態で、時刻 t_0 に波長 532 nm のパルス光が入射され、波長変換処理が開始された状態が示されている。

【0065】

図 2 (b) 下段には、非線形光学素子 70 の作用領域に、波長 532 nm のエネルギー強度の高いパルス光が入射すると、当該作用領域の温度が次第に上昇して最適温度 T_0 から T の温度上昇を招き最適温度 T_{opt} で安定する様子が示されている。

【0066】

50

図 2 (b) 中段には、非線形光学素子 7 0 の作用領域の温度上昇に伴い波長変換効率が次第に上昇し、最適温度 T_{opt} で波長変換効率が最大となる様子が示されている。

【 0 0 6 7 】

図 2 (a) の場合は最大の波長変換効率が波長変換される状態から次第に波長変換効率が低下するという問題があり、図 2 (b) の場合は最大の波長変換効率が波長変換されるまでに時間を要するという問題がある。このような場合に、発熱源である調温素子により熱時定数が大きな非線形光学素子 7 0 を調温すると、最適温度 T_{opt} に調温するのに非常に時間がかかり、早期に最適温度 T_{opt} に調温するのが困難である。そこで、本発明では、第 1 補助光源から出力される波長変換に寄与しない波長域の補助光を作用領域に照射する第 2 調温機構を備えている。

10

【 0 0 6 8 】

図 3 に示すように、第 2 波長変換部 1 F には、作用領域 R に入射した特定波長 (本実施形態では 5 3 2 n m) のレーザ光から高調波発生法または光混合法により所望の波長 (本実施形態では 2 6 6 n m) のレーザ光に波長変換する非線形光学素子 7 0 と、調温素子 7 2 により非線形光学素子 7 0 を調温する第 1 調温機構 7 3 と、第 1 補助光源 7 4 から出力される波長変換に寄与しない波長域の補助光を作用領域 R に照射する第 2 調温機構 7 5 と、第 1 調温機構 7 3 からの給熱量と、第 2 調温機構 7 5 からの給熱量に基づいて、非線形光学素子 7 0 の温度を目標温度に調温する温度制御部 7 8 が設けられている。温度制御部 7 8 は制御部 1 0 0 に組み込まれている。なお、符号 7 7 は温度センサである。第 1 調温機構 7 3 は例えばヒータ制御回路で構成され、第 2 調温機構 7 5 は半導体レーザ駆動回路で

20

【 0 0 6 9 】

温度制御部 7 8 は、特定波長のレーザ光に対する波長変換過程で生じる非線形光学素子 7 0 の温度変動を抑制するように第 2 調温機構 7 5 から非線形光学素子 7 0 への給熱量を制御するように構成されている。

【 0 0 7 0 】

第 2 調温機構 7 5 は、第 1 補助光源 7 4 からの補助光を波長変換光の出力端側から非線形光学素子 7 0 の作用領域 R に照射するように構成されていることが好ましい。非線形光学素子 7 0 の入射端面から出射端面に到る作用領域 R のうち、波長変換過程で生じる発熱分布は出射端面側で高くなる傾向を示す。

30

【 0 0 7 1 】

第 1 補助光源 7 4 からの補助光を波長変換光の出力側から非線形光学素子に照射することにより、波長変換過程で生じる発熱分布に合わせた温度分布を波長変換前に実現することができ、その結果、波長変換過程で生じる発熱分布に対応した温度分布を維持するように第 1 補助光源 7 4 からの補助光のエネルギーを調整すれば、常に良好な波長変換効率での波長変換が実現できる。

【 0 0 7 2 】

また、第 2 調温機構 7 5 は、特定波長のレーザ光の入力端面側から非線形光学素子 7 0 の作用領域 R に補助光を照射する第 2 の補助光源 7 6 を備えていることがさらに好ましい。第 2 補助光源 7 6 からの補助光を非線形光学素子 7 0 の入力端面側から照射することにより、波長変換過程で然程昇温しない作用領域の温度を波長変換効率のよい温度に調温することで、全体として波長変換効率を向上させることができるようになる。

40

【 0 0 7 3 】

第 1 補助光源 7 4 及び第 2 補助光源 7 6 として、近赤外から遠赤外にわたる波長 1 μ m から 1 1 μ m の範囲、好ましくは波長 1 μ m から 3 μ m の範囲の補助光を出力可能な光源が好適に用いられる。コヒーレント光を出力する半導体レーザ等のレーザ光源が好適に用いられ、LED やランプ等のインコヒーレント光を出力する光源を用いることも可能である。

【 0 0 7 4 】

第 1 補助光源 7 4 及び第 2 補助光源 7 6 から出力される波長の補助光は波長変換に寄与することがなく、非線形光学素子 7 0 に給熱するために用いられる。第 1 補助光源 7 4 から

50

の補助光を作用領域 R に照射することにより作用領域 R が効率的に昇温され、照射を停止することにより効率的に降温させることができる。

【 0 0 7 5 】

図 4 には非線形光学素子 7 0 として用いられる C L B O 結晶 (C s L i B 6 O 1 0) の光透過特性が示されている。波長変換が行なわれている C L B O 結晶に適度な吸収を持つ電磁波を照射することにより、内部または表面が直接加熱される。図 4 に基づけば、波長 1 μ m から 1 1 μ m の範囲の光であれば補助光として有効に用いることができ、特に波長 1 μ m から 3 μ m の範囲の光であれば結晶内部でも調温用の補助光として有効に機能することが判る。本実施形態では、第 1 補助光源 7 4 及び第 2 補助光源 7 6 として半導体レーザを用いているので、以下では「補助光」を「レーザ光」と表現する場合もある。

10

【 0 0 7 6 】

図 5 (a) には、光混合法により所望の波長のレーザ光に波長変換する例が示されている。光混合法の一例である和周波発生法により、波長 1 と波長 2 のパルス光を非線形光学素子 7 0 に入射し、波長 3 の波長を得る例である。得られる波長変換光の波長 3 は、 $3 = 1 / \{ (1 / 1) + (1 / 2) \}$ となる。さらに、非線形光学素子 7 0 の出力端面側から第 1 補助光源 7 4 により波長 4 のレーザ光を照射するように構成されている。

【 0 0 7 7 】

図 5 (c) に示すように、初期に第 1 調温機構 7 3 からの給熱量により非線形光学素子 7 0 の温度が T_0 に調温された状態で、時刻 t_0 から第 1 補助光源 7 4 である加熱用レーザが駆動され (図 5 (d) 参照。)、そのエネルギーにより非線形光学素子 7 0 の温度が最大の波長変換効率が得られる温度 T_{opt} に制御される。

20

【 0 0 7 8 】

図 5 (b) に示すように、その後時刻 t_1 で波長変換のために波長 1 と波長 2 のパルス光が入力されて、和周波発生法により波長 3 のパルス光が出力されると、当該波長変換過程で非線形光学素子 7 0 の作用領域で温度上昇が発生する。

【 0 0 7 9 】

図 5 (d) に示すように、時刻 t_1 以降に、第 1 補助光源 7 4 から照射される波長 4 のレーザ光の強度を低下させることにより、波長変換過程で生じる温度上昇が相殺されて、非線形光学素子 7 0 の作用領域の温度が最大の波長変換効率が得られる温度 T_{opt} に維持される。

30

【 0 0 8 0 】

図 6 (a) には、長さ L_c の非線形光学素子 7 0 の左側端面から波長 1 , 2 のパルス光が入射され、右側端面から波長 3 のパルス光が出力されるとともに、右側端面から第 1 補助光源 7 4 により波長 4 のレーザ光が照射されるように構成された波長変換装置の例が示されている。図 6 (b) , (c) , (d) には、波長 1 , 2 のパルス光の光軸に沿った非線形光学素子 7 0 の長手方向に沿った波長変換パワー分布または温度分布が示されている。

【 0 0 8 1 】

図 6 (b) には、波長変換過程で生じる非線形光学素子 7 0 の長手方向に沿った波長変換パワーの分布が示されている。長手方向に沿う作用領域のうち中央部から出力端側にかけて発熱の原因となる波長変換パワーが次第に大きくなる。図 6 (c) には、波長変換を行わずに第 1 補助光源 7 4 から波長 4 のレーザ光が照射された場合に生じる非線形光学素子 7 0 の長手方向に沿った温度分布が示されている。図 6 (d) には、第 1 補助光源 7 4 をオフした状態で波長変換した場合の非線形光学素子 7 0 の長手方向に沿って生じる温度分布が示されている。

40

【 0 0 8 2 】

波長変換過程で生じる発熱分布を示す図 6 (d) と、第 1 補助光源 7 4 からの光の照射で生じる発熱分布を示す図 6 (c) が一致するように、第 1 補助光源 7 4 から出力される光の波長 4 を近赤外の 1 μ m から中赤外の 3 μ m の範囲で選択することにより、初期から

50

効率的に波長変換処理を行うことができる。

【0083】

図7(a)には、長さ L_c の非線形光学素子70の左側端面から波長 λ_1 , λ_2 のパルス光が入射され、右側端面から波長 λ_3 のパルス光が出力されるとともに、右側端面から第1補助光源74により波長 λ_4 のレーザ光が照射され、左側端面から第2補助光源76により波長 λ_5 のレーザ光が照射されるように構成された波長変換装置の例が示されている。図7(b), (c), (d)には、波長 λ_1 , λ_2 のパルス光の光軸に沿った非線形光学素子70の長手方向に沿った波長変換パワー分布または温度分布が示されている。

【0084】

図7(b)には、波長変換過程で生じる非線形光学素子70の長手方向に沿った波長変換パワーの分布が示されている。長手方向に沿う作用領域のうち中央部から出力端側にかけて発熱の原因となる波長変換パワーが次第に大きくなる。図7(c)には、波長変換を行わずに第1補助光源74から波長 λ_4 のレーザ光が照射され、第2補助光源76から波長 λ_5 のレーザ光が照射された場合に生じる非線形光学素子70の長手方向に沿った温度分布が示されている。図7(d)には、第1補助光源74をオフし第2補助光源76をオンした状態で波長変換した場合の非線形光学素子70の長手方向に沿って生じる温度分布が示されている。

10

【0085】

第2補助光源76により非線形光学素子70の入射端面から長手方向中央部にいたる領域をも波長変換効率の高い最適温度 T_{opt} に調整することができ、波長変換効率を一層良好にすることができる。

20

【0086】

補助光源74として、例えば非線形光学素子70の吸収率が低い波長 $1\mu m$ から $3\mu m$ のレーザ光を出力する半導体レーザを用いる場合には、非線形光学素子70の内部を適正に調温できるように、波長変換光の光軸に沿うようにレーザ光を照射することが好ましい。

【0087】

この様な構成が図8(a)に示されている。図8(a)では、非線形光学素子70から出力される波長変換光の光軸が半透過ミラー79で下方に偏向されるとともに、光軸に沿うように補助光源74からのレーザ光が半透過ミラー79を透過して非線形光学素子70に入射されるように構成されている。尚、補助光源74からの出力光を平行光に整形し、或いは非線形光学素子70の入射面に向けて集光する光学系を備えていてもよい。

30

【0088】

補助光源74として、例えば波長 $10.6\mu m$ のレーザ光を出力する CO_2 ガスレーザを用いる場合には、非線形光学素子70の吸収率が非常に高く、ほぼ表面のみで吸収されるようになるので、非線形光学素子70の出射端面に向けて照射することで、少なくとも第1調温機構73を用いる場合よりも速やかに所望の温度勾配を得ることができるようになる。

【0089】

この様な構成が図8(b)に示されている。図8(b)では、非線形光学素子70から出力される波長変換光の光軸を偏向する半透過ミラー79とは無関係に、補助光源74からのレーザ光を任意の角度で非線形光学素子70の出射端面に向けて照射することができる。

40

【0090】

以上説明したように、温度制御部78により、調温素子72を用いて非線形光学素子70を調温する第1調温ステップと、所定温度に調温された非線形光学素子70の作用領域に特定波長のレーザ光を入射して高調波発生法または光混合法により所望の波長のレーザ光に波長変換する波長変換ステップと、を備えて構成される波長変換方法が実行される。

【0091】

詳述すると、当該波長変換方法では、第1補助光源74から波長変換に寄与しない波長域のレーザ光を作用領域Rに照射して非線形光学素子70に給熱する第2調温ステップと、第1調温ステップによる非線形光学素子70への給熱量と、第2調温ステップによる非線

50

形光学素子 70 への給熱量に基づいて、非線形光学素子 70 の温度を目標温度に調温する温度制御ステップが実行される。

【0092】

また、温度制御ステップは、特定波長のレーザ光に対する波長変換過程で生じる非線形光学素子 70 の温度変動を抑制するように第 2 調温ステップにおける第 1 補助光源 74 からの給熱量を制御するように構成されている。

【0093】

そして、第 2 調温ステップは、特定波長のレーザ光に対する波長変換過程で生じる非線形光学素子 70 の発熱分布と一致するように、第 1 補助光源 74 からのレーザ光を波長変換光の出力側から非線形光学素子 70 に照射するように構成されている。

10

【0094】

さらに、第 2 調温ステップは、第 2 補助光源 76 から波長変換に寄与しない波長域のレーザ光を特定波長のレーザ光の入力側から非線形光学素子 70 に照射するステップを含む。第 2 補助光源 76 からのレーザ光を非線形光学素子 70 の入力側から照射することにより、波長変換過程で然程昇温しない作用領域の温度を波長変換効率のよい温度に調温することで、全体として波長変換効率を向上させることができるようになる。

【0095】

本発明による波長変換装置が組み込まれるレーザ光源装置は、発振波長が 1064 nm となる種光源に限定されるものでもなく、例えば、1030 nm、1550 nm、976 nm 等、用途によって適宜異なる波長の種光源を選択することが可能である。さらに、非線形光学素子を介してこれらの波長を基本波とする高調波、和周波、差周波を発生させることも可能である。非線形光学素子として、上述以外の非線形光学素子を用いることも可能である。例えば、CLBO 結晶に代えて、BBO 結晶、KBBF 結晶、SBO 結晶、KABO 結晶、BABO 結晶等を用いることができる。

20

【0096】

上述した複数の実施形態は、何れも本発明の一実施態様の説明であり、該記載により本発明の範囲が限定されるものではない。また、各部の具体的な回路構成や回路に使用する光学素子は、本発明の作用効果が奏される範囲で適宜選択し、或いは変更設計可能であることはいうまでもない。

【符号の説明】

30

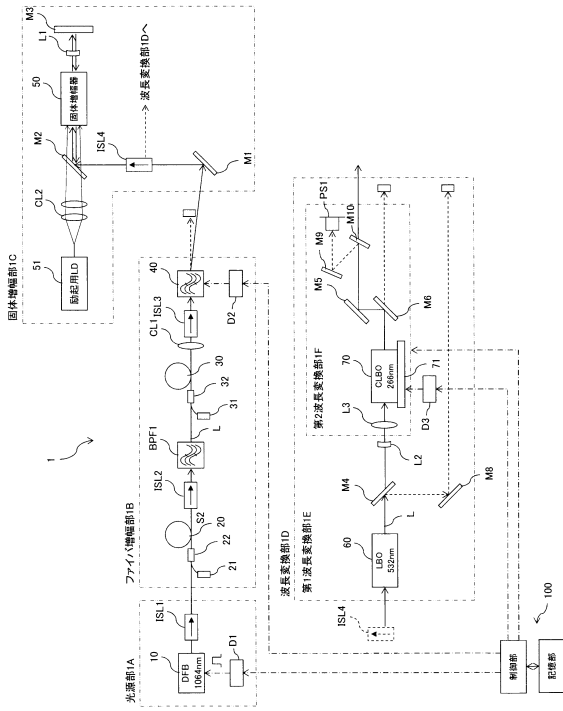
【0097】

- 1：レーザ光源装置
- 1F：波長変換装置
- 10：種光源
- 20, 30：ファイバ増幅器
- 40：光スイッチ素子
- 50：固体増幅器
- 60：非線形光学素子（LBO 結晶）
- 70：非線形光学素子（CLBO 結晶）
- 71：ステージ
- 72：調温素子
- 73：第 1 調温機構
- 74：第 1 補助光源
- 75：第 2 調温機構
- 76：第 2 補助光源
- 77：温度センサ
- 78：温度制御部
- R：作用領域

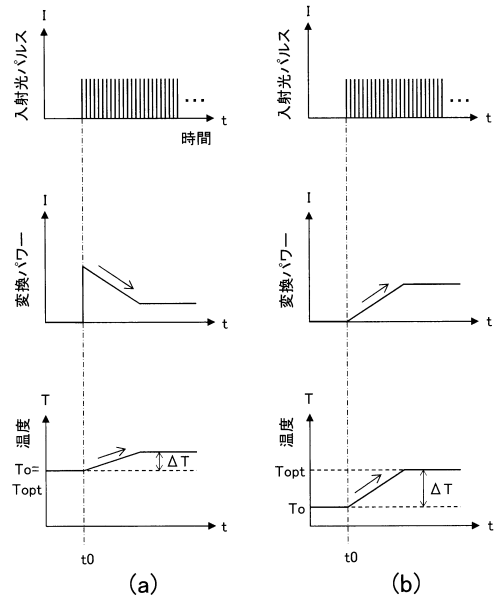
40

50

【図面】
【図 1】



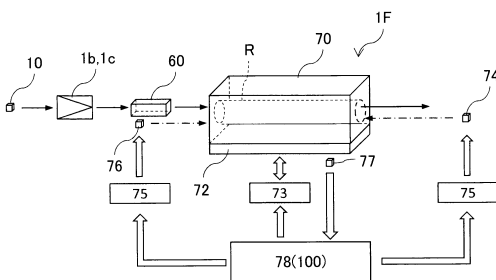
【図 2】



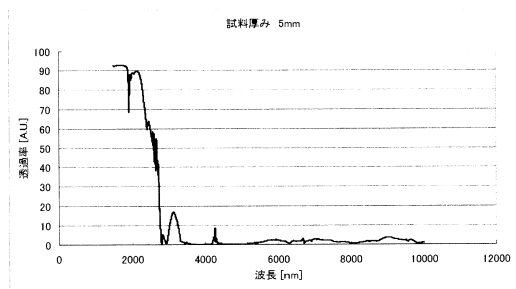
10

20

【図 3】



【図 4】

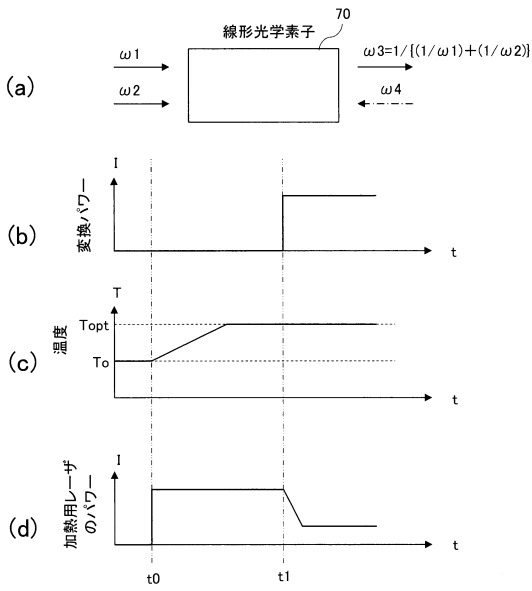


30

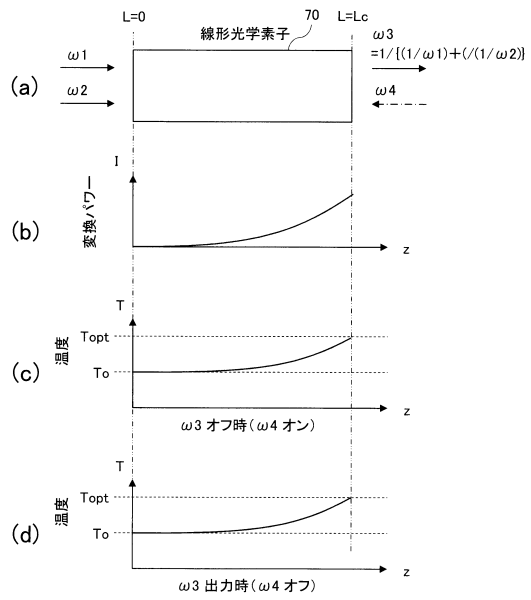
40

50

【図 5】



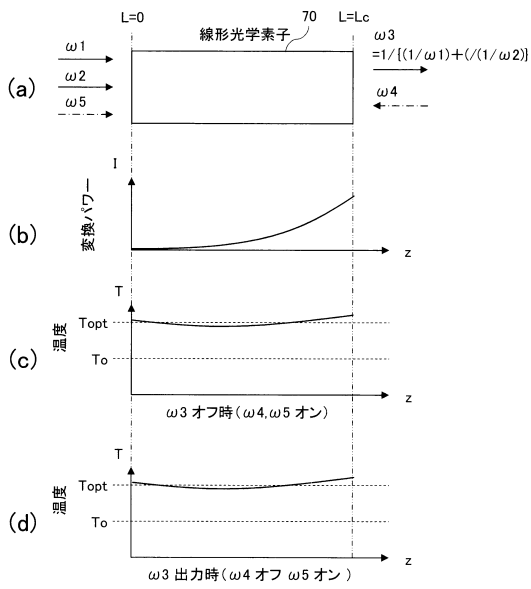
【図 6】



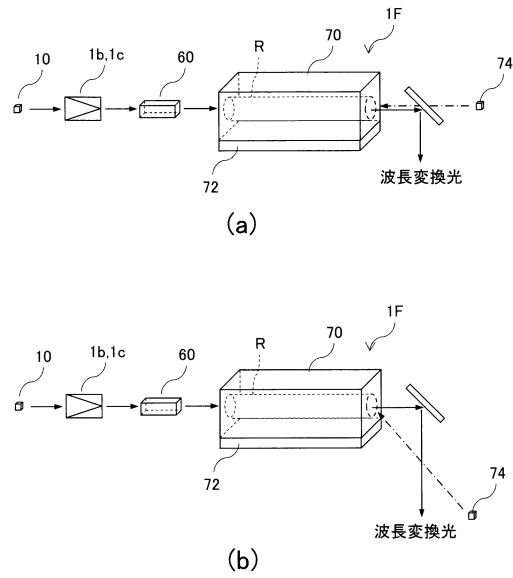
10

20

【図 7】



【図 8】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2007-052082(JP,A)
特開2014-191274(JP,A)
国際公開第2015/125635(WO,A2)
特開2007-298934(JP,A)
特開平08-095102(JP,A)
特開2007-003948(JP,A)
特開2005-292201(JP,A)
特開平04-195027(JP,A)
特開2015-155933(JP,A)
特開2001-042371(JP,A)
特開2008-152020(JP,A)
特開2003-050412(JP,A)
米国特許第05867303(US,A)
国際公開第2009/119284(WO,A1)
特開2013-044862(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02F 1/00 - 1/125
G02F 1/21 - 7/00
H01S 3/00 - 3/02
H01S 3/04 - 3/0959
H01S 3/098 - 3/102
H01S 3/105 - 3/131
H01S 3/136 - 3/213
H01S 3/23 - 4/00
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)