

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5180250号
(P5180250)

(45) 発行日 平成25年4月10日(2013.4.10)

(24) 登録日 平成25年1月18日(2013.1.18)

(51) Int.Cl.

G02F 1/37 (2006.01)
HO1S 5/062 (2006.01)

F 1

G02F 1/37
HO1S 5/062

請求項の数 9 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2010-63111 (P2010-63111)
 (22) 出願日 平成22年3月18日 (2010.3.18)
 (65) 公開番号 特開2011-197300 (P2011-197300A)
 (43) 公開日 平成23年10月6日 (2011.10.6)
 審査請求日 平成24年7月3日 (2012.7.3)

(73) 特許権者 506423051
 株式会社 Q D レーザ
 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1番1号
 (74) 代理人 100087480
 弁理士 片山 修平
 (74) 代理人 100137615
 弁理士 横山 照夫
 (72) 発明者 横山 吉隆
 東京都千代田区大手町一丁目8番1号 K
 D D I 大手町ビル16階 株式会社 Q D レ
 ザ内

審査官 吉田 英一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ光を発振するレーザと、前記レーザの温度を調節するヒータと、前記レーザ光を前記レーザ光の高調波光に変換する高調波生成素子と、を有するレーザモジュールと、

前記レーザモジュールの温度と前記ヒータに投入するヒータ電力とを対応付けたテーブルを記憶する記憶部と、

前記レーザ光の波長を変調させて、前記高調波光の強度から前記変調に用いた変調信号に同期した検出信号を検出し、前記検出信号の振幅が小さくなるように前記ヒータに注入するヒータ電流の大きさを制御すると共に、周期的に、前記検出信号の振幅が小さくなるように制御した前記ヒータ電流に基づいて前記テーブルに新たなヒータ電力を書き込み、レーザシステムの電源が投入された際に、前記テーブルを参照して前記ヒータにヒータ電流を注入する制御部と、を具備することを特徴とするレーザシステム。

【請求項 2】

前記制御部は、前記変調信号の極大時と極小時のそれぞれに対応する前記検出信号の差分の絶対値が小さくなるように前記ヒータ電流の大きさを制御することで、前記検出信号の振幅を小さくすることを特徴とする請求項 1 記載のレーザシステム。

【請求項 3】

前記制御部は、前記レーザ光の強度を変調させると共に、前記レーザ光の強度変調の周波数よりも高い周波数で前記レーザ光の波長を変調させることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のレーザシステム。

【請求項 4】

前記レーザ光の強度変調をデジタル変調させる場合に、前記制御部は、前記デジタル変調でのサンプリング周波数よりも高い周波数で前記レーザ光の波長を変調させることを特徴とする請求項3記載のレーザシステム。

【請求項 5】

前記制御部は、前記レーザ光の強度をデジタル変調させると共に、前記デジタル変調でのサンプリングと同期した前記変調信号を用いて前記レーザ光の波長を変調させることを特徴とする請求項1または2記載のレーザシステム。

【請求項 6】

前記制御部は、前記レーザ光の強度を変調させると共に、前記レーザ光の強度変調の周波数よりも低い周波数で前記レーザ光の波長を変調させることを特徴とする請求項1または2記載のレーザシステム。 10

【請求項 7】

前記制御部は、強度変調した前記レーザ光の強度が所定の閾値より小さいときには、前記検出信号の振幅が小さくなるように前記ヒータに注入するヒータ電流の大きさの制御を行わないことを特徴とする請求項3から6のいずれか一項記載のレーザシステム。

【請求項 8】

前記制御部は、前記レーザを駆動する駆動電流の大きさを固定したまま、前記検出信号の振幅が小さくなるように前記ヒータに注入するヒータ電流の大きさを制御することを特徴とする請求項1から7のいずれか一項記載のレーザシステム。 20

【請求項 9】

前記制御部は、前記テーブルに予め書き込まれていた前記ヒータ電力の初期値と前記テーブルに新たに書き込んだ前記ヒータ電力の値との差分が所定の閾値を超えた場合にエラーを出力することを特徴とする請求項1から8のいずれか一項記載のレーザシステム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、レーザシステムに関し、特にレーザ光の高調波光を出射するレーザシステムに関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、レーザ光を出力するレーザシステムは、様々な分野で用いられている。特に、安価なレーザシステムには、半導体レーザが用いられている。しかしながら、半導体レーザには、発振が困難な波長帯の光（例えば、グリーン光）がある。そこで、D P S S（ダイオード励起固体レーザ）方式を用いて、半導体レーザでは発振が困難な波長帯の光を出射する方法が知られている。 30

【0003】

D P S S方式では、レーザディスプレイ用途などで要求される、例えば50MHz程度の高速変調が困難である。そこで、半導体レーザが出射したレーザ光を非線形光学素子で高調波光に変換して出射するレーザシステムが提案されている（例えば、特許文献1）。 40

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献1】特開平6-132595号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

特許文献1のレーザシステムにおいて、非線形光学素子における高調波への変換効率を高めようすると、許容される波長範囲が狭くなってしまう。半導体レーザと非線形光学素子とは異なる波長温度係数を有する。また、半導体レーザと非線形光学素子とは個別素 50

子ごとに波長特性にバラツキも有する。このため、例えば、半導体レーザと非線形光学素子とが搭載されたレーザモジュールの温度が変化した場合に、レーザ光の波長を高効率で変換可能な波長範囲内に調整することは容易ではない。

【0006】

また、半導体レーザの温度が局的に変化する場合や半導体レーザそのものの特性が変化する場合がある。この場合、レーザモジュールの温度に基づいてレーザ光の波長を高効率で変換可能な波長範囲内に調整することは難しく、高調波光の強度が低下してしまう場合がある。

【0007】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、高調波光を安定して出射することが可能なレーザシステムを提供することを目的とする。 10

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、レーザ光を発振するレーザと、前記レーザの温度を調節するヒータと、前記レーザ光を前記レーザ光の高調波光に変換する高調波生成素子と、を有するレーザモジュールと、前記レーザモジュールの温度と前記ヒータに投入するヒータ電力とを対応付けたテーブルを記憶する記憶部と、前記レーザ光の波長を変調させて、前記高調波光の強度から前記変調に用いた変調信号に同期した検出信号を検出し、前記検出信号の振幅が小さくなるように前記ヒータに注入するヒータ電流の大きさを制御すると共に、周期的に、前記検出信号の振幅が小さくなるように制御した前記ヒータ電流に基づいて前記テーブルに新たなヒータ電力を書き込み、レーザシステムの電源が投入された際に、前記テーブルを参照して前記ヒータにヒータ電流を注入する制御部と、を具備することを特徴とするレーザシステムである。本発明によれば、レーザ光の波長を高調波生成素子で変換可能な波長範囲内に制御することができ、高調波生成素子から安定して高調波光を出射することができる。また、レーザシステムの電源が投入された場合に、レーザ光の波長を高調波生成素子で変換可能な波長範囲内に容易に且つ素早くあわせることができる。 20

【0009】

上記構成において、前記制御部は、前記変調信号の極大時と極小時のそれぞれに対応する前記検出信号の差分の絶対値が小さくなるように前記ヒータ電流の大きさを制御することで、前記検出信号の振幅を小さくする構成とすることができる。 30

【0010】

上記構成において、前記制御部は、前記レーザ光の強度を変調させると共に、前記レーザ光の強度変調の周波数よりも高い周波数で前記レーザ光の波長を変調させる構成とすることができる。この構成によれば、例えばレーザディスプレイなどに用いた場合でも、映像の影響を受けずに、レーザ光の波長を高調波生成素子で変換可能な波長範囲内に制御することができる。また、レーザ光の波長を素早く高調波生成素子で変換可能な波長範囲内に制御することができ、高調波光の正常な出力状態がより早く得られる。

【0011】

上記構成において、前記レーザ光の強度変調をデジタル変調させる場合に、前記制御部は、前記デジタル変調でのサンプリング周波数よりも高い周波数で前記レーザ光の波長を変調させる構成とすることができる。 40

【0012】

上記構成において、前記制御部は、前記レーザ光の強度をデジタル変調させると共に、前記デジタル変調でのサンプリングと同期した前記変調信号を用いて前記レーザ光の波長を変調させる構成とすることができる。この構成によれば、より適切な検出信号を得ることができる。

【0013】

上記構成において、前記制御部は、前記レーザ光の強度を変調させると共に、前記レーザ光の強度変調の周波数よりも低い周波数で前記レーザ光の波長を変調させる構成とすることができる。この構成によれば、例えばレーザディスプレイなどに用いた場合でも、映 50

像の影響を受けずに、レーザ光の波長を高調波生成素子で変換可能な波長範囲内にすることができる。

【0014】

上記構成において、前記制御部は、強度変調した前記レーザ光の強度が所定の閾値より小さいときには、前記検出信号の振幅が小さくなるように前記ヒータに注入するヒータ電流の大きさの制御を行わない構成とすることができます。この構成によれば、レーザ光の波長を高調波生成素子で変換可能な波長範囲の外側に合わせ込むことを抑制できる。

【0015】

上記構成において、前記制御部は、前記レーザを駆動する駆動電流の大きさを固定したまま、前記検出信号の振幅が小さくなるように前記ヒータに注入するヒータ電流の大きさを制御する構成とすることができます。この構成によれば、検出信号の振幅を小さくする制御を容易にすることができます。

10

【0017】

上記構成において、前記制御部は、前記テーブルに予め書き込まれていた前記ヒータ電力の初期値と前記テーブルに新たに書き込んだ前記ヒータ電力の値との差分が所定の閾値を超えた場合にエラーを出力する構成とすることができます。この構成によれば、特性劣化したレーザモジュールの判別および排除が可能となる。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、レーザ光の波長を高調波生成素子で変換可能な波長範囲内にすることができる、高調波生成素子から安定して高調波光を出射させることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】図1は実施例1に係るレーザシステムの例を示したブロック図である。

【図2】図2はDFBレーザおよびSOAの例を示した断面模式図である。

【図3】図3はレーザ光の波長と高調波生成素子の変換効率を説明するための模式図である。

【図4】図4(a)はレーザ光の波長と駆動電流との関係を説明するための模式図であり、図4(b)はレーザ光の波長とヒータ電力との関係を説明するための模式図である。

【図5】図5は実施例1に係るレーザシステムの制御部の制御の例を示すフローチャートである。

30

【図6】図6は変調信号と検出信号との例を示した模式図である。

【図7】図7はレーザ光の波長と高調波光の強度およびレーザ光の波長とエラー信号の関係の例を示した模式図である。

【図8】図8(a)は初期状態のテーブルの例を示した模式図であり、図8(b)は更新後のテーブルの例を示した模式図である。

【図9】図9はデジタル強度変調されたレーザ光の信号の例を示した模式図である。

【図10】図10はレーザシステム使用開始当初のレーザ光の波長と高調波光の強度との関係の例およびテーブル更新時のレーザ光の波長と高調波光の強度との関係の例を示した模式図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、図面を参照して、本発明の実施例を説明する。

【実施例1】

【0021】

図1は、実施例1に係るレーザシステムの例を示したブロック図である。図1のようなく、実施例1に係るレーザシステム100は、レーザモジュール10と、制御部40と、赤外光カットフィルタ42と、ビームスプリッタ44と、光検出器46と、記憶部48と、を有する。レーザモジュール10は、DFB(分布帰還型)レーザ12と、ヒータ14と、光半導体增幅器(SOA)16と、高調波生成素子18と、温度センサ20と、レンズ

50

22と、を有する。SOA16と高調波生成素子18とは、レンズ22を介して光結合しており、SOA16から出射されたレーザ光24は高調波生成素子18に入射する。

【0022】

DFBレーザ12は、コルゲーションを有し单一波長のレーザ光24を発振するレーザであり、例えば1064nmの波長を有するレーザ光24を発振する。DFBレーザ12は、制御部40により駆動電流26が注入されることで動作してレーザ光24を発振する。ヒータ14は、制御部40によりヒータ電流28が注入されることでDFBレーザ12の温度を調節する。SOA16は、制御部40により電圧30が印加されることでレーザ光24の強度を変調する。SOA16は、レーザ光24の強度を変化させるが、レーザ光24の波長は変化させない。DFBレーザ12とSOA16とは同一チップ上に形成されおり、DFBレーザ12とSOA16の光軸は一致している。温度センサ20は、レーザモジュール10の温度をモニタし、制御部40に温度モニタ値32を出力する。

【0023】

高調波生成素子18は、非線形光学素子であり、入射されたレーザ光24を高調波光34に変換する。高調波生成素子18は、例えばPPLN (Periodically Poled Lithium Niobate)であり、レーザ光24の第2高調波光である例えば532nmの波長を有する高調波光34を出射する。

【0024】

赤外光カットフィルタ42は、高調波生成素子18から出射された光のうち赤外光を遮断し、高調波光34のみを通過させる。ビームスプリッタ44は、高調波光34の一部を分岐させて光検出器46に入射させる。光検出器46は、高調波光34の強度をモニタし、光出力モニタ信号49を制御部40に出力する。記憶部48は、例えば不揮発性メモリであり、レーザモジュール10の温度とヒータ14に投入するヒータ電力とを対応付けたテーブルが記憶されている。制御部40は、DFBレーザ12に注入する駆動電流26と、ヒータ14に注入するヒータ電流28と、SOA16に印加する電圧30とを制御する。

【0025】

図2は、DFBレーザ12とSOA16の例を示した断面模式図である。図2のように、n型GaAs基板50上に、n型Al_{0.35}Ga_{0.65}Asからなるn型クラッド層52が形成されている。基板50下には電極54が形成されている。n型クラッド層52上に、GaAsからなるベース層56内にInAsからなる量子ドット58を有する量子ドット活性層60が形成されている。量子ドット活性層60上にp型GaAsからなるp型層62が形成されている。p型層62上にp型InGaPからなるp型クラッド層64が形成されている。DFBレーザ12のp型層62とp型クラッド層64との間には出射するレーザ光24の波長を決めるコルゲーション76が形成されている。基板50からp型クラッド層64までは、DFBレーザ12とSOA16とで共通である。

【0026】

DFBレーザ12とSOA16とのp型クラッド層64上に、それぞれp⁺GaAsからなるコンタクト層66が形成されている。DFBレーザ12において、コンタクト層66上には電極68が形成されている。電極68上に酸化シリコンからなる絶縁膜70が形成されている。絶縁膜70上に例えばPtからなるヒータ14が形成されている。SOA16において、コンタクト層66上に電極72が形成されている。制御部40は、ワイヤ74を介して電極68、72およびヒータ14に電圧を印加する。電極54は、一定電位に接続されている。例えば接地されている。

【0027】

制御部40は、DFBレーザ12の電極68に電圧を印加することにより、電極68と電極54との間に駆動電流26を流す。これにより、量子ドット活性層60で誘導放出が生じ、活性層60付近にレーザ光24が伝搬する。また、制御部40は、ヒータ14にヒータ電流28を流すことにより、DFBレーザ12の温度を制御する。さらに、制御部40は、電極72と電極54との間に電圧30を印加することにより、活性層60内のレ-

10

20

30

40

50

ザ光 2 4 を増幅させる。電極 7 2 と電極 5 4 との間の電圧値を変化させることにより、S O A 1 6 の増幅率が変化するため、S O A 1 6 から出射するレーザ光 2 4 の強度を変調することができる。

【 0 0 2 8 】

図 3 は、D F B レーザ 1 2 が発振するレーザ光の波長と高調波生成素子 1 8 の変換効率を説明する模式図である。図 3 のように、高調波生成素子 1 8 による基本波から高調波への変換を高変換効率で行おうとすると、許容される波長範囲は領域 3 6 のような狭い波長範囲となる。以下において、高変換効率で基本波から高調波に変換できる波長を高調波生成素子 1 8 の位相整合波長と称することにする。

【 0 0 2 9 】

図 4 (a) は D F B レーザ 1 2 が発振するレーザ光の波長と D F B レーザ 1 2 の駆動電流との関係を示す模式図である。図 4 (b) は D F B レーザ 1 2 が発振するレーザ光の波長とヒータ 1 4 のヒータ電力との関係を示す模式図である。図 4 (a) および図 4 (b) のように、駆動電流の大きさおよびヒータ電力の大きさが大きくなるに従い、D F B レーザ 1 2 が発振するレーザ光の波長は長波長側にシフトする。つまり、駆動電流の大きさおよびヒータ電力の大きさが変化すると D F B レーザ 1 2 が発振するレーザ光の波長は変化する。D F B レーザ 1 2 と高調波生成素子 1 8 とは異なる波長温度係数を有するが、駆動電流の大きさ及びヒータ電力の大きさを制御することで、D F B レーザ 1 2 が発振するレーザ光の波長を高調波生成素子 1 8 の位相整合波長に合わせることができる。

【 0 0 3 0 】

次に、図 5 のフローチャートを用いて、制御部 4 0 の制御の例について説明する。図 5 のように、レーザシステム 1 0 0 の電源が投入されると、制御部 4 0 は、トーン信号である変調信号を用いて変調した駆動電流 2 6 を D F B レーザ 1 2 に注入してレーザ光 2 4 を発振させる (ステップ S 1 0)。変調した駆動電流 2 6 の中心の大きさは、所定の大きさになるようになる。駆動電流 2 6 が変調されていることで、図 4 (a) で説明したように、発振されるレーザ光 2 4 の波長が変調される。変調信号の周波数は、後述するデジタル強度変調でのサンプリング周波数と同じか、あるいは高い周波数を用いる。例えば、サンプリング周波数が 5 0 M H z の場合、変調信号の周波数は 5 0 M H z 、あるいは 1 0 0 M H z を用いる。サンプリング周波数と同じ周波数を用いる場合、波長変調はデジタル強度変調の制御クロックに同期させることができることが望ましい。

【 0 0 3 1 】

次いで、制御部 4 0 は、温度センサ 2 0 で出力された温度モニタ値 3 2 からレーザモジュール 1 0 の温度を把握する。そして、制御部 4 0 は、記憶部 4 8 に記憶されたテーブルからレーザモジュール 1 0 の温度に応じたヒータ電力を求めてヒータ 1 4 にヒータ電流 2 8 を投入する (ステップ S 1 2)。テーブルには、レーザモジュール 1 0 の温度とヒータ 1 4 に投入するヒータ電力との対応関係が書き込まれている。即ち、テーブルには、レーザモジュール 1 0 の温度がある温度の場合において、レーザ光 2 4 の波長を高調波生成素子 1 8 の位相整合波長に合わせることができるようなヒータ電力の大きさに関するデータが書き込まれている。前述したように、D F B レーザ 1 2 と高調波生成素子 1 8 とは異なる波長温度係数を有するため、レーザモジュール 1 0 の温度により、D F B レーザ 1 2 が発振するレーザ光 2 4 の波長と高調波生成素子 1 8 の位相整合波長との差が異なることになる。図 4 (b) で説明したように、ヒータ電力の大きさを変えることでレーザ光 2 4 の波長を変化させることができる。したがって、レーザモジュール 1 0 の温度とヒータ 1 4 に投入するヒータ電力との対応関係をテーブルに予め書き込んでおき、温度モニタ値 3 2 から把握したレーザモジュール 1 0 の温度とテーブルに書き込まれたデータとに基づいてヒータ電流 2 8 の大きさを制御することで、レーザ光 2 4 の波長を高調波生成素子 1 8 の位相整合波長に合わせることができる。これにより、高調波生成素子 1 8 から高調波光 3 4 を出射させることができる。

【 0 0 3 2 】

次いで、制御部 4 0 は、S O A 1 6 に変調した電圧 3 0 を印加して、レーザ光 2 4 の強

10

20

30

40

50

度を変調させる（ステップS14）。レーザ光24の強度変調は、例えば256階調が表現されるようなデジタル強度変調により行う。

【0033】

次いで、制御部40は、光検出器46で検出した高調波光34の強度から、駆動電流26を変調させた変調信号の周波数に同期した検出信号を検出する（ステップS16）。検出信号は、光検出器46が検出した高調波光34の強度から変調信号の周波数成分を抽出することで検出してもよいし、あるいは、光検出器46が変調信号の周波数に同期して高調波光34の強度の検出を行うことにより検出してもよい。制御部40は、変調信号の隣接する極大時と極小時での検出信号の大きさの差分を求め、その差分の絶対値が小さくなるように、ヒータ14に注入するヒータ電流28の大きさを制御する（ステップS18）。ヒータ14に注入するヒータ電流28の大きさを制御するときは、DFBレーザ12に注入する駆動電流26の大きさを変化させずに固定させておく。

10

【0034】

ここで、図6および図7の模式図を用いて、図5のステップS10からステップS18で述べた制御について説明する。図6は、横軸を時間として、駆動電流26の変調に用いた変調信号と、変調信号に同期した検出信号との例を示している。図7は、レーザ光24の波長に対する高調波光34の強度およびレーザ光24の波長に対する変調信号の極大時と極小時での検出信号の差分（エラー信号）の例を示している。

【0035】

図6のような変調信号を用いて駆動電流26を変調させてレーザ光24の波長を変調させた場合、レーザ光24の中心波長が高調波生成素子18の位相整合波長に合っているときは、高調波光34の強度は、例えば図7の領域82内を変化する。また、レーザ光24の中心波長が高調波生成素子18の位相整合波長よりも短波長側にズレているときは、高調波光34の強度は、例えば図7の領域84内を変化し、レーザ光24の波長が高調波生成素子18の位相整合波長よりも長波長側にズレているときは、高調波光34の強度は、例えば図7の領域86内を変化する。

20

【0036】

ここで、例えば、DFBレーザ12の温度が局所的に変化した場合やDFBレーザ12そのものの特性が変化した場合などにより、レーザ光24の波長が高調波生成素子18の位相整合波長よりも短波長側にシフトした場合を考える。この場合、レーザ光24の波長が高調波生成素子18の位相整合波長に合うようにヒータ電流28の大きさを制御して、レーザ光24の波長を高調波生成素子18の短波長側と長波長側との間で変化させることになり、変調信号に同期した検出信号は例えば図6のようになる。図6において、例えば区間88は図7の領域84における検出信号に相当し、区間90は領域82における検出信号に相当し、区間92は領域86における検出信号に相当する。

30

【0037】

図6において、変調信号の隣接する極大時と極小時（例えば、時間T1とT2）における検出信号の大きさの差分（例えば、M1 - M2）をエラー信号とすると、レーザ光24の波長に対するエラー信号は図7のように表される。このことから、エラー信号が0に近づくほどレーザ光24の波長は高調波生成素子18の位相整合波長に近づくことがわかる。つまり、変調信号の隣接する極大時と極小時における検出信号の大きさの差分の絶対値が小さくなるほど、レーザ光24の波長は高調波生成素子18の位相整合波長に合うことになる。言い換えると、検出信号の振幅が小さくなるほど、レーザ光24の波長は高調波生成素子18の位相整合波長に合うことになる。よって、図5のステップS18を実行することで、レーザ光24の波長を高調波生成素子18の位相整合波長に合わせることができ、高調波生成素子18から高調波光34を出射させることができる。

40

【0038】

図5に戻り、制御部40は、周期的に、記憶部48に記憶されたテーブルを更新し、ステップS18でレーザ光24の波長が高調波生成素子18の位相整合波長に合うように制御したヒータ電流28の大きさに基づいて新たなヒータ電力をテーブルに書き込む（ステ

50

ップS20)。次いで、制御部40は、記憶部48に予め書き込まれていたヒータ電力の初期値とステップS20で書き込んだ新たなヒータ電力との差分を求める。そして、制御部40は、その差分が所定の閾値を超えている場合に、レーザモジュール10は異常であるとしてエラーを出力する(ステップS22)。

【0039】

ここで、図8(a)および図8(b)の模式図を用いて、記憶部48に記憶されるテーブル80について説明する。図8(a)は、図5のステップS20の工程が実行される前の初期状態のテーブル80の例を示しており、図8(b)は、図5のステップS20の工程が例えれば1回実行された後のテーブル80の例を示している。

【0040】

図8(a)のように、初期状態のテーブル80は、レーザモジュール10の温度が、例えれば0、20、50、70の場合に応じたヒータ電力の初期値A、B、C、Dが予め書き込まれている。ステップS20の工程が1回実行された後のテーブル80は、図8(b)のように、例えればレーザモジュール10の温度が20の場合のヒータ電力に新たなヒータ電力の値B1が書き込まれている。このように、図5のステップS18の工程で制御したヒータ電流28の大きさに基づいて新たなヒータ電力がテーブル80に書き込まれる。よって、図5のステップS22の工程は、B1とBとの差分が所定の閾値を超えている場合に、レーザモジュール10が異常であるとしてエラーを出力することになる。

【0041】

以上説明してきたように、実施例1に係るレーザシステム100によれば、制御部40は、DFBレーザ12を駆動する駆動電流26を変調して、DFBレーザ12が発振するレーザ光24の波長を変調させる。そして、制御部40は、光検出器46で検出した高調波光34の強度から変調信号に同期した検出信号を検出し、検出信号の振幅が小さくなるように、ヒータ14に注入するヒータ電流28の大きさを制御する。例えば、制御部40は、変調信号の隣接する極大時と極小時のそれぞれに対応する検出信号の差分の絶対値が小さくなるように、ヒータ14に注入するヒータ電流28の大きさを制御する。これにより、図6および図7で説明したように、DFBレーザ12が発振するレーザ光24の波長を高調波生成素子18で変換可能な波長範囲内に制御することができ、高調波生成素子18から安定して高調波光34を出射させることができる。

【0042】

レーザモジュール10の温度に基づいてヒータ電流28の大きさを制御してレーザ光24の波長を高調波生成素子18で変換可能な波長範囲内にする方法では、DFBレーザ12の温度が局所的に変化した場合やDFBレーザ12そのものの特性が変化した場合など、レーザモジュール10の温度が変化しない場合には対応することができない。しかしながら、実施例1に係るレーザシステム100は、高調波光34の強度を利用してヒータ電流28の大きさを制御することで、レーザ光24の波長を高調波生成素子18で変換可能な波長範囲内になるようにしている。このため、DFBレーザ12の温度が局所的に変化した場合やDFBレーザ12そのものの特性が変化した場合などにも対応でき、安定して高調波光34を出射させることができる。

【0043】

図5のステップS18で説明したように、検出信号の振幅が小さくなるようにヒータ電流28の大きさを制御するときは、DFBレーザ12の駆動電流26の大きさは変化させずに固定したままにする。DFBレーザ12の駆動電流26を変化させると、レーザ光24の波長および強度が変化するため、検出信号の振幅を小さくするための制御などが複雑になる。したがって、検出信号の振幅を小さくする制御を容易にする観点などから、制御部40は、DFBレーザ12を駆動する駆動電流26の大きさは固定にしたまま、検出信号の振幅が小さくなるようにヒータ14に注入するヒータ電流28の大きさを制御することが好ましい。

【0044】

図5のステップS14で説明したように、制御部40は、レーザ光24の強度をデジタ

10

20

30

40

50

ル強度変調している。そして、制御部40は、デジタル強度変調のサンプリング周波数よりも高い周波数の変調信号を用いて駆動電流26を変調させてレーザ光24の波長を変調している。つまり、制御部40は、デジタル強度変調のサンプリング周波数よりも高い周波数でレーザ光24の波長を変調させている。図9は、横軸を時間として、デジタル強度変調されたレーザ光の信号の例を示している。レーザ光は、例えば256階調に強度変調される。図9のように、デジタル強度変調のサンプリング周波数よりも高い周波数でレーザ光24の波長を変調させると、1つのパルス94内で変調信号の極大時と極小時に対応する検出信号が得られる。このため、例えばレーザシステム100をレーザディスプレイ用途などに用いた場合に、映像の影響を受けずに、レーザ光24の波長を高調波生成素子18で変換可能な波長範囲内に制御することができる。

10

【0045】

また、デジタル強度変調のサンプリング周波数と同じ周波数でレーザ光24の波長を変調させる場合は、デジタル変調のサンプリングと同期した変調信号を用いてレーザ光24の波長を変調させる場合が好ましい。この場合、より適切な検出信号を得ることができる。

【0046】

なお、実施例1では、レーザ光24の強度をデジタル変調させる場合を例に示したが、アナログ変調によりレーザ光24の強度を変調させる場合でもよい。レーザ光24の強度変調をデジタル変調およびアナログ変調のどちらで行う場合であっても、レーザ光24の強度変調の周波数よりも十分に高い周波数でレーザ光24の波長を変調させることで、例えばレーザシステム100をレーザディスプレイ用途などに用いた場合に、映像の影響を受けずに、レーザ光24の波長を高調波生成素子18で変換可能な波長範囲内に制御することができる。

20

【0047】

また、レーザ光24の強度変調の周波数よりも高い周波数でレーザ光24の波長を変調させることで、レーザ光24の波長を素早く高調波生成素子18で変換可能な波長範囲内にすることことができ、高調波光34の正常な出力状態がより早く得られる。

【0048】

制御部40は、強度変調したレーザ光24の強度が所定の閾値よりも小さいときには、図5のステップS18で説明した、検出信号の差分を小さくするようなヒータ電流28の大きさの制御は行わない場合が好ましい。例えば、制御部40は、レーザ光24の強度を256階調でデジタル強度変調する場合、レーザ光24の強度が所定の階調値よりも小さい場合には、ヒータ電流28の大きさの制御を行わないようにすることができる。例えば、図9において、制御部40は、時間T3からT4の間はレーザ光24の強度が所定の階調値より小さいためヒータ電流28の大きさの制御を行わず、時間T4以降はレーザ光24の強度が所定の階調値より大きいためヒータ電流28の大きさの制御を行うようにすることができる。

30

【0049】

レーザ光24の強度が小さく暗い場合には、高調波光34の強度も小さく暗くなる。このような場合、図7の領域84や86のようにレーザ光24の波長が高調波生成素子18の位相整合波長からズれている場合でも、変調信号の極大時と極小時での検出信号の差分が小さくなってしまう。このため、レーザ光24の波長を高調波生成素子18の位相整合波長に合うようにヒータ電流28の大きさを制御することが困難となり、レーザ光24の波長が高調波生成素子18の位相整合波長からズレた位置に合わせ込まれる場合が起こり得る。したがって、制御部40は、強度変調したレーザ光24の強度が所定の閾値よりも小さい場合は、検出信号の振幅を小さくするようなヒータ電流28の大きさの制御は行わない場合が好ましい。これにより、レーザ光24の波長を高調波生成素子18で変換可能な波長範囲の外側に合わせ込むことを抑制できる。強度変調したレーザ光24の強度が所定の閾値よりも小さいかどうかの判断は、上記の他に、SOA16に印加する電圧値が所定の閾値よりも小さいかどうかにより判断してもよいし、光検出器46で検出した高調波

40

50

光34の強度が所定の閾値よりも小さいかどうかにより判断してもよい。なお、所定の閾値とは、上述のように、レーザ光24の波長を高調波生成素子18で変換可能な波長範囲内に合わせ込むことが困難になる程度の値をいう。例えば、最大検出強度の1/10程度を閾値として設定することができる。

【0050】

図1のように、レーザモジュール10の温度とヒータ14に投入するヒータ電力とを対応付けたテーブル80を記憶する記憶部48を有する。そして、図5のステップS20で説明したように、制御部40は、周期的に、検出信号の振幅が小さくなるように制御したヒータ電流28の大きさに基づいてテーブル80に新たなヒータ電力の情報を書き込む。そして、図5のステップS12で説明したように、レーザシステム100の電源が投入された際に、制御部40は、記憶部48に記憶されたテーブル80を参照して、現在のレーザモジュール10の温度に対応したヒータ電力を求めてヒータ14にヒータ電流28を注入する。これにより、レーザシステム100の電源が投入された場合に、DFBレーザ12が発振するレーザ光24の波長を高調波生成素子18で変換可能な波長範囲内に容易に且つ素早く合わせることができる。

【0051】

図5のステップS22で説明したように、記憶部48が記憶するテーブル80に予め書き込まれていたヒータ電力の初期値と新たに書き込んだヒータ電力の値との差分を求め、その差分が所定の閾値を超えた場合にエラーを出力する。図4(b)で説明したように、レーザ光24の波長はヒータ電力の大きさにより変化することから、ヒータ電力の値が変わったということは、レーザ光24の波長が変化したことになる。図10は、レーザシステム100を使用開始した当初のレーザ光24の波長と高調波光34の強度との関係の例と、テーブル80を更新して新たな値のヒータ電力を書き込んだときのレーザ光24の波長と高調波光34の強度との関係の例と、を示している。図10のように、使用開始当初は、レーザ光24の波長が例えば0にて高調波生成素子18の位相整合波長に合っていたが、テーブル80を更新したときは、レーザ光24の波長が例えば1にて高調波生成素子18の位相整合波長にあっている場合を想定する。この場合、レーザモジュール10の特性が変化したと考えられる。したがって、ヒータ電力の初期値と新たに書き込んだヒータ電力の値との差分が所定の閾値を超えた場合は、制御部40は、レーザモジュール10の特性が変化したとみなして、エラーを出力する場合が好ましい。これにより、特性劣化したレーザモジュール10の判別および排除が可能となる。なお、所定の閾値とは、上述したように、レーザモジュール10の特性が変化したとみなすことができる程度の値をいう。例えば、ヒータ14への最大投入電力に対して10%ずれた場合を閾値として設定することができる。

【0052】

実施例1では、DFBレーザ12が発振するレーザ光24の波長を変調させるために、DFBレーザ12に注入する駆動電流26を変調させる場合を例に示したが、これに限られるわけではなく、ヒータ14に注入するヒータ電流28を変調させる場合など、その他の方法によりレーザ光24の波長を変調させてもよい。ヒータ電流28を変調させる場合は、DFBレーザ12が発振するレーザ光24の強度を一定にすることができる利点がある。一方、駆動電流26を変調させる場合は、応答特性に優れているとの利点がある。したがって、レーザ光24の波長を、例えばデジタル強度変調のサンプリング周波数よりも高い周波数のように、高速で変調させる場合は、駆動電流26を変調させる場合が好ましい。

【0053】

また、実施例1では、デジタル強度変調のサンプリング周波数よりも高い周波数でレーザ光24の波長を変調させるような、レーザ光24の強度変調の周波数よりも高い周波数でレーザ光24の強度を変調させる場合を例に示したが、これに限られない。例えば、レーザ光24の強度変調の周波数よりも十分に低い周波数でレーザ光24の波長を変調させる場合でもよい。例えば、レーザ光24の強度変調を50MHzで行う場合、レーザ光2

10

20

30

40

50

4 の波長の変調は 1 kHz で行うことができる。このように、レーザ光 24 の強度変調の周波数よりも十分に低い周波数でレーザ光 24 の波長を変調させた場合でも、例えばレーザシステム 100 をレーザディスプレイ用途などに用いた場合に、映像の影響を受けずに、レーザ光 24 の波長を高調波生成素子 18 で変換可能な波長範囲内に制御することができる。

【 0054 】

また、実施例 1 では、レーザは量子ドット DFB レーザである場合を例に示したが、これに限られるわけではない。例えば、レーザは、量子井戸 DFB レーザなどの場合でもよいし、DFB レーザ以外の例えばファブリペロ型レーザである場合でもよい。また、SOA 16 と高調波生成素子 18 とはレンズ 22 を介して光結合している場合を例に示したが、SOA 16 と高調波生成素子 18 とが直接結合している場合でもよい。

10

【 0055 】

また、実施例 1 では、高調波生成素子 18 が、レーザ光 24 をレーザ光 24 の第 2 高調波に変換する例を説明したが、高調波生成素子 18 はレーザ光 24 のより高次の高調波光に変換してもよい。また、レーザ光 24 が 1064 nm であり、高調波光 34 が 532 nm のグリーン光の場合を例に説明したが、高調波光 34 は他の波長の光でもよい。またレーザ光 24 はその他の波長を有してもよい。

【 0056 】

以上、本発明の好ましい実施例について詳述したが、本発明は係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

20

【 符号の説明 】

【 0057 】

10 レーザモジュール

12 DFB レーザ

14 ヒータ

16 SOA

18 高調波生成素子

20 温度センサ

22 レンズ

30

24 レーザ光

26 駆動電流

28 ヒータ電流

30 電圧

32 温度モニタ値

34 高調波光

40 制御部

42 赤外光カットフィルタ

40

44 ビームスプリッタ

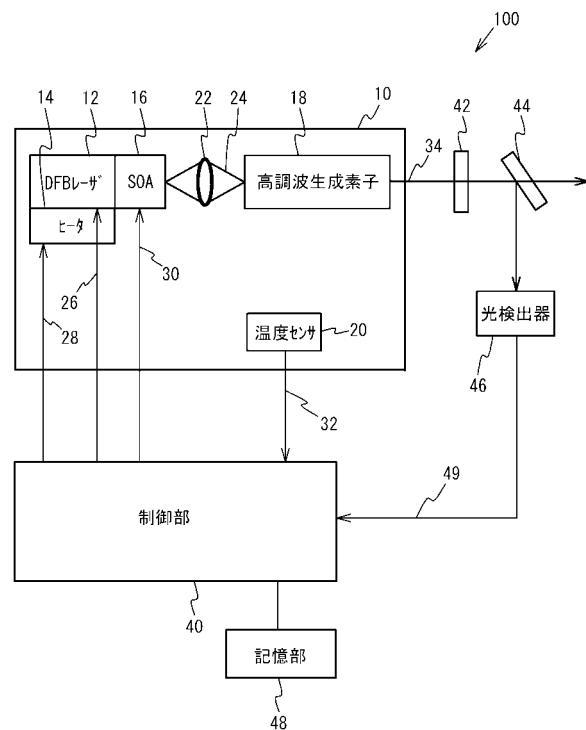
46 光検出器

48 記憶部

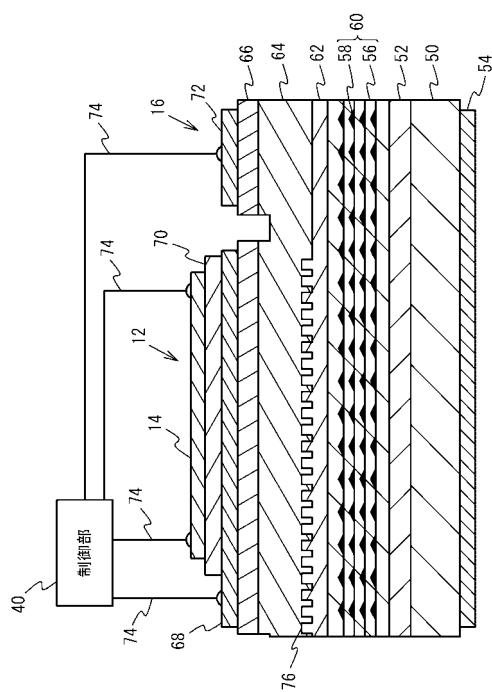
80 テーブル

100 レーザシステム

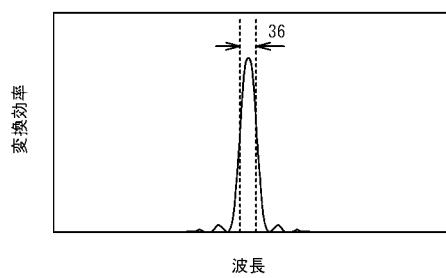
【図1】



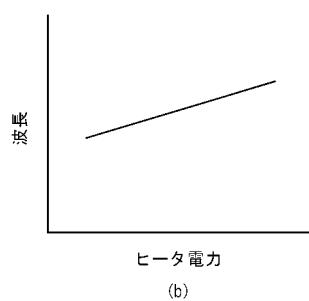
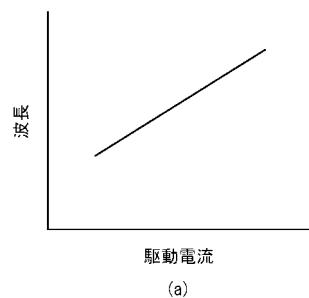
【図2】



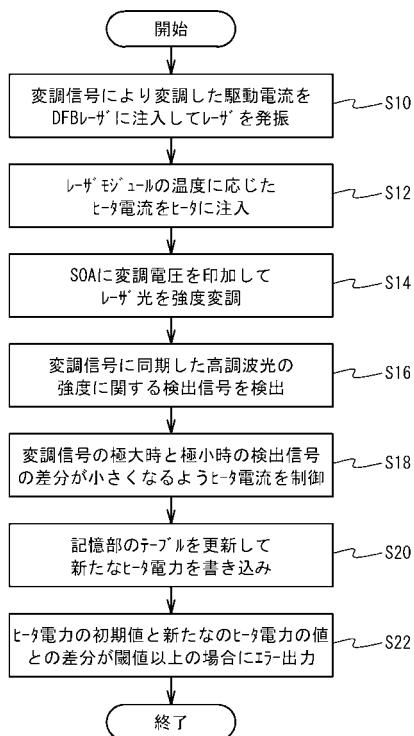
【図3】



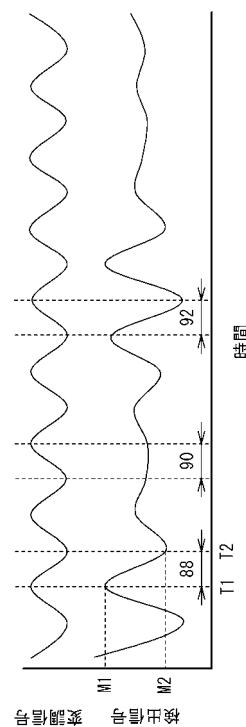
【図4】



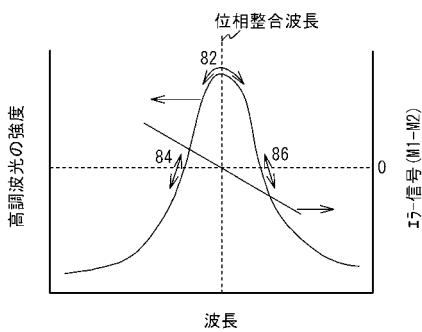
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

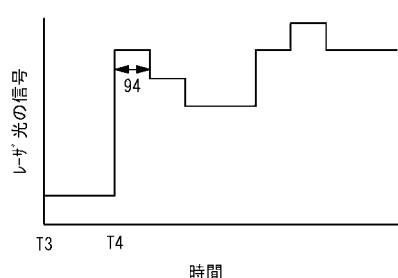
レーザモジュールの温度	0°C	20°C	50°C	70°C	80
投入するヒータ電力	A	B	C	D	

(a)

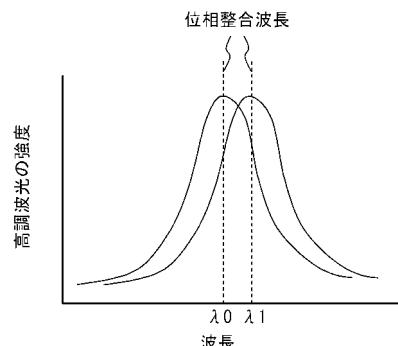
レーザモジュールの温度	0°C	20°C	50°C	70°C	80
投入するヒータ電力	A	B ₁	C	D	

(b)

【図9】



【図10】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2008/140768 (WO, A1)

特開2002-158383 (JP, A)

特開2008-140820 (JP, A)

特開2005-327839 (JP, A)

国際公開第2003/001635 (WO, A1)

特開2006-011332 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/37

H01S 5/062

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

IEEE Xplore

Cini