

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5264173号
(P5264173)

(45) 発行日 平成25年8月14日(2013.8.14)

(24) 登録日 平成25年5月10日(2013.5.10)

(51) Int. Cl. F I
HO 1 S 3/13 (2006.01) HO 1 S 3/13

請求項の数 18 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-534654 (P2007-534654)	(73) 特許権者	504010648
(86) (22) 出願日	平成17年9月19日 (2005.9.19)		サイマー インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2008-515230 (P2008-515230A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92
(43) 公表日	平成20年5月8日 (2008.5.8)		127 サン ディエゴ ソーンミント
(86) 国際出願番号	PCT/US2005/033753		コート 17075
(87) 国際公開番号	W02006/036675	(74) 代理人	100082005
(87) 国際公開日	平成18年4月6日 (2006.4.6)		弁理士 熊倉 禎男
審査請求日	平成20年9月17日 (2008.9.17)	(74) 代理人	100067013
(31) 優先権主張番号	10/953, 249		弁理士 大塚 文昭
(32) 優先日	平成16年9月28日 (2004.9.28)	(74) 代理人	100086771
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 西島 孝喜
		(74) 代理人	100109070
			弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ出力光パルスビームパラメータ遷移補正システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

休止時間によって分離され、レーザ出力光パルスビームを形成する、選択されたパルス繰返し数でのパルスのバーストのレーザ出力光パルスを生成するレーザ光源であって、

波長と該波長に対する選択された目標値との間の差を表す波長誤差信号を供給するレーザ出力光パルス波長誤差検出器と、

波長調節機構と、

前記波長誤差信号の値に基づいて波長調節信号を前記波長調節機構に供給する波長調節機構コントローラと、

前記波長誤差信号の前記値に基づいて前記波長調節信号を修正する低速遷移反転信号を供給する低速遷移補償器と、

を含み、

前記低速遷移補償器は、前記低速遷移反転信号を供給し、該低速遷移反転信号は、前回バーストの終わりに低速遷移反転信号から判断された低速遷移反転定数と、該前回バーストにおける選択パルスに対する波長誤差信号を乗じた低速遷移反転利得係数との関数である、レーザ出力光パルス波長調節システム、

を含むことを特徴とする光源。

【請求項 2】

前記波長誤差信号の前記値から判断された正規化波長誤差信号を供給する波長誤差スケールリング機構、

10

20

を更に含み、

前記波長調節機構コントローラ及び前記低速遷移補償器は、それぞれ、前記正規化波長誤差信号に基づいて前記波長調節信号及び前記低速遷移反転信号を供給する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記波長調節機構コントローラは、平均実波長誤差を最小にする制御機能に基づいて前記波長調節信号を供給する、

ことを更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

パーストの最初に前記波長調節機構への前記波長誤差信号の入力を無効にして、該波長調節機構が波長高速遷移に应答するのを防止する波長誤差信号スケジューリング作成機構、

を更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 5】

パーストの最初に前記波長調節機構への前記正規化波長誤差信号の入力を無効にして、該波長調節機構が波長高速遷移に应答するのを防止する波長誤差信号スケジューリング作成機構、

を更に含むことを特徴とする請求項 2 に記載の装置。

【請求項 6】

前記前回パーストにおける前記選択パルスは、波長高速遷移によって影響されることを回避するために選択されている、

ことを更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

20

【請求項 7】

前記前回パーストにおける前記選択パルスは、波長高速遷移によって影響されることを回避するために選択されている、

ことを更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 8】

休止時間によって分離され、レーザ出力光パルスビームを形成する、選択されたパルス繰返し数でのパルスのパーストのレーザ出力光パルスを生成する方法であって、

波長と該波長に対する選択目標値との間の差を表す波長誤差信号を供給するためのレーザ出力光パルス波長誤差検出機構を使用する段階と、

波長調節機構を使用する段階と、

波長調節機構制御機構を使用して、前記波長誤差信号の値に基づいて波長調節信号を前記波長調節機構に供給する段階と、

低速遷移制御機構を使用して、前記波長誤差信号の前記値に基づいて前記波長調節信号を修正する低速遷移反転信号を供給する段階と、

を含むレーザ出力光パルス波長調節方法を使用する段階、

を含み、

前記低速遷移制御機構は、前記低速遷移反転信号を供給し、該低速遷移反転信号は、前回パーストの終わりに低速遷移反転信号から判断された低速遷移反転定数と、該前回パーストにおける選択パルスに対する波長誤差信号を乗じた低速遷移反転利得係数との関数であることを特徴とする方法。

30

40

【請求項 9】

波長誤差スケールリング機構を使用して、前記波長誤差信号の前記値から判断された正規化波長誤差信号を供給する段階、

を更に含み、

前記波長調節機構制御機構及び前記低速遷移制御機構は、それぞれ、前記正規化波長誤差信号に基づいて前記波長調節信号及び前記低速遷移反転信号を供給する、

ことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記波長調節機構制御機構を使用して、平均実波長誤差を最小にする制御機能に基づい

50

て前記波長調節信号を供給する段階、
を更に含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記波長調節機構制御機構を利用して、平均実波長誤差を最小にする制御機能に基づいて前記波長調節信号を供給する段階、
を更に含むことを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記低速遷移制御機構は、前記低速遷移反転信号を供給し、該低速遷移反転信号は、前回バーストの終わりに低速遷移反転信号から判断された低速遷移反転定数と、該前回バーストにおける選択パルスに対する波長誤差信号を乗じた低速遷移反転利得係数との関数である、
ことを更に含むことを特徴とする請求項 1 0 に記載の方法。

10

【請求項 1 3】

波長誤差信号スケジュール作成機構を利用して、バーストの最初に前記波長調節機構への前記波長誤差信号の入力を無効にし、該波長調節機構が波長高速遷移に応答するのを防止する段階、
を更に含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 4】

波長誤差信号スケジュール作成機構を利用して、バーストの最初に前記波長調節機構への前記正規化波長誤差信号の入力を無効にし、該波長調節機構が波長高速遷移に
のを防止する段階、
を更に含むことを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

20

【請求項 1 5】

前記前回バーストにおける前記選択パルスは、波長高速遷移によって影響されることを回避するために選択されている、
ことを更に含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記前回バーストにおける前記選択パルスは、波長高速遷移によって影響されることを回避するために選択されている、
ことを更に含むことを特徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

30

【請求項 1 7】

波長調節機構ステップ機構と、
所定のバースト内で実行されないステップ指令を含むステップ指令を供給する波長調節機構ステップ機構制御機構と、
を更に含み、
前記波長調節機構コントローラは、所定のバーストの終わりに次のバーストで使用するための前記低速遷移反転信号を該所定のバースト内の選択されたパルスに対する該低速遷移反転信号に基づいて更新する、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 8】

波長調節機構ステップ機構と、
所定のバースト内で実行されないステップ指令を含むステップ指令を供給する波長調節機構ステップ機構制御機構と、
を更に含み、
前記波長調節機構コントローラは、所定のバーストの終わりに次のバーストで使用するための前記低速遷移反転信号を、実行されない前記ステップ指令を差し引いた前記指令されたステップに基づいて更新する、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、パルスのバーストの形で生成され、かつバースト中に緩やかな遷移を受けるパラメータを含むレーザ出力光パルスビームのパラメータの制御に関する2005年9月28日出願の「レーザ出力光パルスビームパラメータ遷移補正システム」という名称の米国特許出願第10/953,249号に対する優先権を請求するものである。

【背景技術】

【0002】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、1999年12月21日にSandstrom他に付与された「エキシマレーザのためのパルスエネルギー制御」という名称の米国特許第6,005,879号は、以下の事柄に関連している：

エキシマレーザによって生成されたパルスのバースト内のパルスエネルギーと集積エネルギー線量とを制御する方法。各バースト内の各パルスのエネルギーを測定する。充電電圧によるパルスエネルギーの変化率を判断する。パルスエネルギー誤差を現在のバーストの前のパルスに対して判断する。また、現在のバースト内の全ての以前のパルスに対して集積線量誤差を判断する。パルスエネルギー誤差、集積線量誤差、充電電圧によるエネルギーの変化率、及び基準電圧を用いて次のパルスの充電電圧を判断する。好ましい実施形態では、各バーストの2つのパルス中に1回は低く及び1回は高く電圧をディザすることによって電圧によるエネルギーの変化率を判断する。基準電圧は、以前のエネルギー及び電圧データを用いて計算した電圧である。この実施形態では、パルスの第1の部分中の基準電圧を判断する方法は、バーストの後の部分中に用いる方法と異なる。パルスの第1の組（この実施形態では、40）中に、各パルスに対して、前回のバーストにおける対応するパルスからの電圧及びエネルギーデータを用いて計算した指定電圧は、目標パルスエネルギーに収束するパルスエネルギーを生成するのに必要とされる電圧の予測値として利用される。41及びそれ以降のパルスに対しては、各パルスの基準電圧は、前回パルスに対して指定された電圧である。

【0003】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2000年3月7日にUjazdowski他に付与された「ガス温度制御を備えたガス放電レーザ」という名称の米国特許第6,034,978号は、以下の事柄に関連している：

バーストモード作動中に望ましい限界値内にレーザガス温度を維持する高速応答ガス温度制御を備えたガス放電レーザ。好ましい実施形態は、受動的溫度安定化装置を含む．．．好ましい実施形態は、加熱要素及び冷却水流量制御を利用し、休止期間を予測するようにプログラムされたプロセッサを使用してレーザガス温度を調整する。

【0004】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2001年11月13日にPartlo他に付与された「音響チャープ補正を備えた放電レーザ」という名称の米国特許第6,317,447号は、以下の事柄に関連している：

高繰返し数での波長チャープを最小にするためのガス放電レーザにおける方法及び構造的変化。本出願人は、高パルス繰返し数ガス放電リソグラフィレーザにおける波長チャープの主な原因を、その後の放電と一致する放電領域に反射して戻された放電からの圧力波として特定した。．．．バーストモード作動中、レーザガス温度．．．は、数ミリ秒の期間にわたって．．．変化し、放電領域内のパルス間の一致する圧力波の位置を．．．変え、レーザガスの圧力の変動を引き起こし、これは、次に、レーザの後部を出るレーザビームに若干方向を変えさせる放電領域の屈折係数に影響を与える。ビーム方向のこの変化により、LNP内の回折格子が．．．若干異なる波長を反射して戻し、波長チャープを引き起こす。この問題の解決法は、レーザ室内に構造的要素を含んで圧力波を抑えるか又は分散させてレーザガス温度をできるだけ一定の値に近く維持することである。

【0005】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2003年3月4日にEverage他に付与された「レーザのための高速波長補正技術」という名称の米国特許第

10

20

30

40

50

6, 529, 531号は、以下の事柄に関連している：

少なくとも1つの圧電駆動装置と高速波長検出手段と、．．．1.0ミリ秒未満のフィードバック応答時間とを含む高速チャープ補正を備えた放電レーザ．．．。好ましい実施形態では、単純な学習アルゴリズムは、．．．既習チャープパターンの予想における事前の同調ミラー調節を可能にする。技術には、比較的low回転数のステップモータと超高速圧電駆動装置の組合せが含まれる。別の好ましい実施形態では、チャープ補正は、パルス間ベースで行われ、1つのパルスの波長が測定され、次のパルスの波長は、その測定結果に基づいて補正される。

【0006】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2003年3月11日にS p a n g l e r他に付与された「圧電駆動装置を有するレーザ波長制御ユニット」という名称の米国特許第6, 532, 247号は、以下の事柄に関連している：

高速波長補正を備えた放電レーザ。．．．技術には、同調ミラーを使用してレーザ波長を同調させる比較的low回転数のステップモータと超高速圧電制御装置との組合せが含まれる。低速及び中速の波長制御を提供するための好ましい制御技術（超高速波長モニタを利用する）と、超高速（数マイクロ秒）の波長制御を提供するための圧電駆動装置と組み合わせた圧電ロードセルとが説明されている。

【0007】

2003年5月20日にM y e r s他に付与された「超狭帯域2チャンバ高繰返し数ガス放電レーザシステム」という名称の米国特許第6, 567, 450号は、以下の事柄に関連している：

約4, 000 Hz又はそれよりも高いパルス繰返し数かつ約5 m J又はそれよりも大きいパルスエネルギーで高品質パルスレーザビームを生成することができる注入シードモジュール式ガス放電レーザシステム。2つの別々の放電チャンバが設けられ、その一方は、第2の放電チャンバにおいて増幅される超狭帯域シードビームを生成する主発振器の一部である。2つの放電チャンバを別々に制御することができ、主発振器における波長パラメータの別々の最適化と、増幅チャンバにおけるパルスエネルギーパラメータの最適化とを可能にする。M O P Aとして構成され、かつ集積回路リソグラフィの光源として使用されるように特別に設計されたA r Fエキシマレーザシステムにおける好ましい実施形態。好ましいM O P A実施形態では、各チャンバは、パルス間で約0.25ミリ秒よりも短い時間で放電領域からデブリを除去することによって4000 Hz又はそれよりも高いパルス繰返し数での作動を可能にするのに十分なガス流量をもたらず単一の接続ファンを含む。主発振器には、4000 Hz又はそれよりも高い繰返し数及びパルス間ベースで中心線波長を0.2 pm未満の精度まで制御することができる超高速同調ミラーを有する線狭化パッケージが装備される。

【0008】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2004年2月10日にF a l l o n他に付与された「2チャンバガス放電レーザのための制御システム」という名称の米国特許第6, 690, 704号は、以下の事柄に関連している：

モジュール式高繰返し数2放電チャンバ紫外線ガス放電レーザのための制御システム．．．主発振器は、第2の放電チャンバにおいて増幅される超狭帯域シードビームを生成する。バーストモード作動においてさえも、約20億から50億分の1秒の範囲の精度で2チャンバにおける放電の相対的タイミングを制御するフィードバックタイミング制御技術が提供される。

【0009】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2003年9月23日にK n o w l e s他に付与された「超狭帯域2チャンバ高繰返し数ガス放電レーザシステム」という名称の米国特許第6, 625, 191号は、以下の事柄に関連している：

約4, 000 Hz又はそれよりも高いパルス繰返し数かつ約5 m J又はそれよりも大きいパルスエネルギーで高品質パルスレーザビームを生成することができる注入シードモジュ

10

20

30

40

50

ール式ガス放電レーザシステム。2つの別々の放電チャンバが設けられ、その一方は、第2の放電チャンバにおいて増幅される超狭帯域シードビームを生成する主発振器の一部である。2つの放電チャンバを別々に制御することができ、主発振器における波長パラメータの別々の最適化と、増幅チャンバにおけるパルスエネルギーパラメータの最適化とを可能にする。

【0010】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2003年11月18日に Spangler 他に付与された「圧電駆動装置を有するレーザ波長制御ユニット」という名称の米国特許第6,650,666号は、以下の事柄に関連している：

高速波長補正を備えた放電レーザ。高速波長補正機器は、少なくとも1つの圧電駆動装置、高速波長測定システム、及び高速フィードバック応答時間を含む。．．．好ましい実施形態は、(1)波長測定に基づく高速フィードバック制御、(2)高速振動制御、(3)ロードセル及び能動減衰モジュールを用いた能動減衰、(4)履歴バーストデータに基づいてフィードフォワードアルゴリズムを使用する遷移反転を提供する。好ましい実施形態は、フィードフォワードアルゴリズムを現在の条件に適應させる。別の好ましい実施形態は、同調ミラー位置を測定して波長事前同調及び能動的波長同調を可能にする。

10

【0011】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2001年2月20日に Algotz 他に付与された「波長微調節を備えた狭帯域レーザ」という名称の米国特許第6,192,064号は、以下の事柄に関連している：

20

波長計からのフィードバック信号を用いたパルスエネルギー、波長、及び帯域幅の自動コンピュータ制御を有するスマートレーザ。パルスエネルギーは、放電電圧を制御することによって制御される。波長は、線狭化モジュールにおける R_{MAX} ミラーの超微細かつ迅速な位置決めによって制御される。帯域幅は、線狭化モジュールにおける回折格子の曲率を調節することによって制御される。好ましい実施形態は、ビーム拡張プリズムが位置するプリズムプレートの自動調節及び R_{MAX} 傾斜の自動調節による水平及び垂直ビームプロファイルの自動フィードバック制御を含む。他の好ましい実施形態は、共振空洞内のレーザチャンバの水平位置の自動調節を含む。好ましい実施形態では、波長モニタからのフィードバック信号は、 R_{MAX} ミラーを位置決めするのに使用される。他の好ましい実施形態では、 R_{MAX} ミラーからフォトダイオードアレイ上に反射した別々のレーザビームが、ミラーを位置決めするのに使用される。

30

【0012】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2003年9月16日に Sandsstrom 他に付与された「能動波長チャープ補正を備えた放電レーザ」という名称の米国特許第6,621,846号は、以下の事柄に関連している：

能動チャープ補正を備えた放電レーザ。本出願は、．．．圧力波を抑えて分配する技術を開示する。一部のレーザにおいては、小さな予測可能なパターンが残り、これは、従来技術の比較的低速の波長制御計器を使用する能動波長制御で実質的に補正することができる。好ましい実施形態では、既習チャープパターンを予想して事前同調ミラー調節を可能にする単純な学習アルゴリズムが説明される。実施形態は、同調精度を増すために同調段階の大きさが大幅に低減されるように非常に細かい調節を有するステップモータを含む。しかし、波長チャープを完全に排除することは、レーザチャンバの構造的な変化及び事前同調では通常は実行可能ではなく、従って、本出願人は、比較的 low 回転数のステップモータと超高速圧電駆動装置の組合せを含む．．．超高速能動チャープ補正のための機器及び技術を開発した。別の好ましい実施形態では、チャープ補正は、1つのパルスの波長が測定され、その測定結果に基づいて次のパルスの波長が補正されるパルス間ベースで行われる。

40

【0013】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2004年4月13日に Fomenkov 他に付与された「レーザのための帯域幅制御技術」という名称の米国特許

50

第6,721,340号は、以下の事柄に関連している：

放電レーザーの帯域幅制御のための技術。少なくとも1つの圧電駆動装置と、高速帯域幅検出手段と、約1.0ミリ秒未満の時間応答を有する帯域幅制御装置とを有する線狭化機器が提供される。好ましい実施形態では、波長同調ミラーは、ピボット角度の非常に狭い範囲内で500ディザ/秒を超えるディザ速度でディザされ、公称波長値におけるディザを引き起こして一連のレーザーパルスの望ましい有効な帯域幅を生成する。

【0014】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2000年6月20日にEverage他に付与された「レーザーのための波長シフト補正技術」という名称の米国特許第6,078,599号は、以下の事柄に関連している：

レーザーからの波長チャープの特性を学習する学習アルゴリズムと、学習アルゴリズムを実行して既習特性に基づいて波長補正制御信号を供給し、現在の波長チャープとその後の波長チャープの波長シフトのマグニチュードを低減するコンピュータシステムとを含む。波長チャープを補正するためのレーザーシステムに対する波長シフト補正システムが提供される。

【0015】

開示内容が本明細書において引用により組み込まれている、2004年5月11日にAlbrecht他に付与された「チャープ補償方法及び装置」という名称の米国特許第6,735,225号は、以下の事柄に関連している：

バーストモードで作動するエキシマ又は分子フッ素レーザーシステムに対する波長チャープ補償方法は、バースト間の休止中に調節を行うための共振器同調光学器械調節をレーザーシステムのコンピュータに事前プログラムして、続いて起こるバーストの始めに波長チャープを補償する段階を含む。

【0016】

本出願人は、例えばフッ素及び別のガス、例えばクリプトン又はアルゴンと、1つ又は複数の緩衝ガス、例えばネオン及びヘリウムとを含むレーザー発振媒体生成ガスを含むある一定のガス放電レーザー、例えば、ArF、KrF、及び分子フッ素ガス放電レーザーの作動において、及び2つのチャンバ、例えば、主発振器電力増幅器(MOPA)、主発振器電力発振器(MOP)、電力発振器電力増幅器(POPA)、及び電力発振器電力発振器を含み、かつ、チャンバが、単一のフレーム上に取り付けられ、及び/又は何らかの方法で各チャンバに物理的に取り付けられた光学器械によって光学的にも相互接続することができる他の形態の多重チャンバレーザーガスシステムさえも含む構成においても、緩やかな波長遷移が様々な状況下で発生する可能性があることを観察した。本出願人は、このような遷移は、ある程度の停止時間、例えば、バースト間でミリ秒又はそれよりも大きい程度の停止時間を有するレーザー出力光ビーム当たりのパルスのバーストで、例えば、2kHzから例えば約6kHz又は更にそれよりも高くまで(すなわち、パルス間で500µsから167µsの期間又はそれ未満を有する)変動するパルス繰返し数による100程度のパルスでレーザー出力光パルスビームを供給するレーザーシステムにおいて一般的にバーストに相関していることを発見した。更に、例えば移動部品、例えば高速同調光学要素、例えば高速同調ミラーを収容することができる線狭化モジュール(LNM)を有する他の光学要素は、振動による外乱をシステムに加える場合があり、かつ例えば、レーザーシステムモジュール間の振動分離が完全でない場合にこのような遷移の発生に影響を与える可能性があるある一定の共振周波数を含む場合がある。

【0017】

このような遷移は、有意である可能性があり、例えば、振幅で0.2pmまで大きくなり、これは、波長パルス間安定性及びバースト中の波長シグマに対する厳しい要件の下では、レーザーシステムによって生成される出力レーザー光パルスビームが、例えば遷移が最も顕著であるある一定のパルス繰返し数で作動中に仕様外になる結果をもたらす可能性がある。

本出願人は、このような遷移が、通常パルス1又はパルス1近くから開始して全振幅を

10

20

30

40

50

構築するまで単一バースト内で約100回の発射が必要である可能性があることを発見した。一般的に、本出願人は、このような遷移が、比較的狭い繰返し数帯域内で発生することも発見している。

【0018】

本出願人が考えるところでは、このような遷移は、システム、例えばLNMにおける機械的振動による可能性が最も高い1700Hz又はその付近で、及びチャンバ、例えば2チャンバシステムにおけるチャンバの一方又は両方、又は一方のみ、例えばMOPAシステム構成の例えばMOチャンバにおける音響共鳴による可能性が最も高い1850Hz又はその付近で本出願人が観察したものを含む様々な理由で発生する。

本出願人は、これらの遷移を適正に処理することができない根本的な原因を更に調べた上で、本出願において、その解決法に関連する本発明の実施形態の態様を提案する。

10

【0019】

【特許文献1】米国特許出願第10/953,249号

【特許文献2】米国特許第6,005,879号

【特許文献3】米国特許第6,034,978号

【特許文献4】米国特許第6,317,447号

【特許文献5】米国特許第6,529,531号

【特許文献6】米国特許第6,532,247号

【特許文献7】米国特許第6,567,450号

【特許文献8】米国特許第6,690,704号

【特許文献9】米国特許第6,625,191号

【特許文献10】米国特許第6,650,666号

【特許文献11】米国特許第6,192,064号

【特許文献12】米国特許第6,621,846号

【特許文献13】米国特許第6,721,340号

【特許文献14】米国特許第6,078,599号

【特許文献15】米国特許第6,735,225号

【発明の開示】

【0020】

休止時間によって分離され、レーザ出力光パルスビームを形成する、選択されたパルス繰返し数でのパルスのバーストのレーザ出力光パルスを生成するための装置及び方法を開示し、これは、ビームパラメータとビームパラメータに対する選択目標値との間の差を表すビームパラメータ誤差信号を供給するレーザ出力光パルスビームパラメータ誤差検出器と、ビームパラメータ調節機構と、ビームパラメータ誤差信号の値に基づいてビームパラメータ調節信号をビームパラメータ調節機構に供給するビームパラメータ調節機構コントローラと、ビームパラメータ誤差信号の値に基づいてビームパラメータ調節信号を修正する低速遷移反転信号を供給する低速遷移補償器とを含むことができるレーザ出力光パルスビームパラメータ調節システムを含むことができる。この装置及び方法は、ビームパラメータ誤差信号の値から判断された正規化ビームパラメータ誤差信号を供給するビームパラメータ誤差スケール機構を更に含むことができ、ビームパラメータ調節機構コントローラと低速遷移コントローラは、それぞれ、正規化ビームパラメータ誤差信号に基づいてビームパラメータ調節信号と低速遷移反転信号とを供給する。ビームパラメータ調節機構コントローラは、平均実波長誤差又は実波長誤差のウィンドウ標準偏差を最小にする制御機能に基づいてビームパラメータ調節信号を供給することができる。低速遷移コントローラは、前回バーストからの低速遷移反転と、前回バーストにおける選択パルスに関するビームパラメータ誤差信号が掛けられた低速遷移反転利得係数との関数である低速遷移反転信号を供給することができる。ビームパラメータ誤差信号スケジュール作成機構は、バーストの最初にビームパラメータ調節機構へのビームパラメータ誤差信号の入力を無効にして、ビームパラメータ調節機構がビームパラメータ高速遷移に应答するのを防止することができる。前回バーストにおける選択されるパルスは、ビームパラメータ高速遷移によ

20

30

40

50

て影響されることを回避するために選択されるものである。低速遷移補償器はまた、全体指令ではなく実際に実行されたステップ指令に基づいて、例えば、2次的なアクチュエータ、例えばビームパラメータ調節信号を非飽和化するのに使用されるステップモータの実際の運動に基づいて更新することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

本出願人は、既存のレーザ波長制御システムは、低速遷移波長チャープを処理するものではないことを既に発見している。これは、少なくとも部分的には、波長制御システム波長コントローラ、例えば、制御信号、例えば制御電圧を波長制御機構アクチュエータ、例えば高速同調ミラーを駆動する圧電素子に供給するフィルタの役目をする波長サーボが、バーストの間に波長チャープに追従し、次のバーストで、サーボは、どのような不連続性がバースト中に発生しても、例えば0.2 pm不連続性に応答する必要があり、この不連続性は、例えば補正するのに約20パルスが必要である可能性があり、その結果、悪影響がその後のバースト中の平均波長及び波長シグマに発生するからである。

10

【0022】

ここで図1を参照すると、例えば数百パルスのバーストにおける、例えば第1の100程度のパルスにわたって例えば波長誤差信号内のバースト中に例示的な遷移、例えば波長遷移を明らかにするデータのいくつかのバーストの重なりを示している。遷移は、バースト中の初めの100パルス程度の後には、バーストのその後で比較的一定のままである波長誤差の値に収束し、また、バーストの最初の数パルス程度の最中には、バーストのちょうど始めに、ある程度の非線形性を有することが分る。

20

【0023】

ここで図2を参照すると、波長チャープなどのバースト相関低速遷移に関連する制御の問題の更に別の図を示している。図3の波長制御システム20は、図示のバーストの初期の部分、例えば約パルス5940から約パルス6025まで、及びその後の比較的一定の約31.4ボルトの電圧付近での図1に示す誤差信号における遷移を説明するために、先に参照した特許には示すが本出願では示していない高速同調ミラー傾斜機構における圧電アクチュエータへの出力信号を生成していることが分る。バーストの終わりに、例えば約パルス6240で次のバーストが開始した時に、波長は、図1に証明するように、バーストの最初のチャープの開始時の値に戻り、一方、コントローラは、応答するのにバーストの始めでは約20パルスを必要とする。

30

【0024】

ここで図3を参照すると、従来技術のレーザ出力光パルスビームパラメータ調節システム20を示している。システム20は、高速同調ミラー（図示せず）に作動的に接続された例えばステップモータ（図示せず）と少なくとも1つの圧電アクチュエータ（図示せず）とを含むことができる例えばレーザ出力光パルスビームパラメータ調節機構22を含む。また、システム20は、誤差信号の関数である、以下でより詳細に説明する何らかのアルゴリズムに従って、例えば圧電アクチュエータ電圧を供給するフィルタの役目をする波長サーボ機構28を含むことができる、例えばレーザ出力光パルスビームパラメータ調節機構コントローラ24を含むことができる。ビームパラメータ調節機構コントローラ24は、例えばPZT電圧補正信号を受信して、通常の作動中に例えば同調ミラー位置の変化がPZT駆動装置に印加される電圧の何らかの範囲内であるように、例えば何らかのダイナミックレンジ、例えば好ましい作動範囲の限界値、例えば何らかの望ましい中央電圧付近に近づいているか否かを判断することができるステップモータサーボ37を含むことができる。範囲内のこの限界値に近づいた時、ステップモータサーボは、PZTをその適正な作動のダイナミックレンジに戻すように1つ又は複数のステップが発生するように命じる。

40

従って、作動においては、システム20は、各バーストの終わりにパラメータ制御サーボ28をリセットする際に前回バースト中に発生する電圧範囲に対する変更回数に対処する必要がある。

50

【 0 0 2 5 】

システム 20 はまた、例えば、直前のパルスに対して（又は、より高いパルス繰返し数で、恐らくはいくつかの直前のパルスの 1 つで）望ましい波長と実波長の間の差に応答して波長誤差信号 30 を生成する波長誤差検出器 26、例えば、先に参照した特許では示すが本出願では示していない速動波長検出器と、ある一定の p m 値の波長誤差を表す誤差信号に対して、例えばスケーリングされた誤差信号、例えば P Z T 利得係数、すなわち、ボルト / ピコメートルを生成することができる波長誤差スケーリング機構 32 とを含むことができる。システム 20 はまた、他の形式の波長チャープ、例えば先に参照した出願に説明されているように、例えば学習アルゴリズムを利用したコンピュータプロセッサ制御装置から例えばフィードフォワード同調ミラー制御によって他の方法で補正することができるバースト間のレーザシステムにおける変化による最初のパルスにおけるバースト間チャープを例えば処理しやすくすることができる波長誤差利得スケジューラ 34 を含むことができる。この点において、利得スケジューラ 34 は、例えばバーストの最初にパルスの発射回数というパルス番号を表す信号 36 を受信して、先に参照した特許において説明されているように、例えばバーストにおける最初のいくつかのパルスに対して波長サーボ 24 への P Z T 利得係数の通過を無効することができる。

10

【 0 0 2 6 】

ここで図 4 を参照すると、例えば、低速遷移反転 (S T I) 補償器 40 を更に含むことができる本発明の実施形態の態様による波長制御システム 20 を示している。図 4 のシステムは、 S T I 補償器 40 をコントローラ 24 内に含む。 S T I 補償器 40 は、所定のパルスにおける発射回数（パルス番号）に基づいて異なる方程式を用いてコントローラ 24 によって実行されるフィルタを説明することができるように、図 3 の波長サーボ機構 28 と共に、例えばコントローラ 24 の一部として含めることができる。バースト内の全てのパルスに対して、利得スケジューラが波長サーボ 28 へのスケーリングされた誤差信号 30 の提出を阻止するフィードフォワード制御パルスを除き、波長サーボ 24 は、コントローラ 24 フィルタの波長サーボ 28 部分内にどの差分方程式が説明されているかに従って圧電アクチュエータ駆動電圧を更新する。前回パルスからの選択発射に対して、初期のバーストチャープの影響を回避するために例えば発射 3 になるように選択することができる例えば発射 n_0 を記憶していてもよい。例えば、バーストの終わりに、 S T I 補償器は、更新方程式、例えば：

20

30

$$S T I [k] = S T I [k - 1] + g_{S T I} (n_0) + g_{s t e p s} (n s t e p s) \quad (1)$$

に従って更新される。ここで、 $g_{S T I}$ は、選択スケーリング利得であり、 n_0 は、前回パルス $k - 1$ におけるパルス n_0 の記憶波長誤差である。本発明の実施形態の態様によれば、この係数 $S T I [k]$ にバースト k のスケーリングされた誤差信号 30 を乗じたものは、パルス毎の加算器 42 に応答して波長サーボ 28 の出力と共に合計される。更に、「 $n s t e p$ 」係数は、前回バーストにおいて実際にステップモータによって取られたステップ数に基づくものであり、それは、例えば、実際に実行されたステップ指令に対して前回バースト中のアクチュエータ信号の非飽和を得るために S T I 信号を補正する。

【 0 0 2 7 】

本発明の実施形態の態様によれば、本発明は、例えば高速チャープ、例えばバースト内の開始パルス高速チャープとして現れる例えばバースト間波長制御変動に対するパラメータ制御システムの感度を増すことなく、例えばバースト関連されたレーザ出力光パルスパラメータ変動、例えば低速チャープ、例えばバースト関連された低速波長遷移に対して、レーザ出力光パラメータ制御システム、例えば波長制御システム 20 を鈍感にする単純かつ有効な方法及び装置を提供する。

40

【 0 0 2 8 】

本発明の実施形態の態様によれば、波長サーボは、例えば各バーストの終わりに例えば 0 にリセットすることができ、 S T I 補償器は、上述の方程式 (1) に従って各バーストの終わりに更新することができ、例えば実際の P Z T 制御システムに対するこの調節は、バーストの最初に制御信号における誤差を最小にする（すなわち、ゼロ近くに低減する）

50

ように選択され、その理由は、波長サーボが、前回パルス中の低速遷移の波長サーボの追跡に対処するためにゼロにリセットされ、かつ低速遷移が、現在パルス内に再び表れることになるからである。ここで図5を参照すると、本発明の態様に従って図4のシステムコントローラ24を使用した場合と使用しない場合での波長誤差の重ね合わせを示す本発明の実施形態の態様によるシステムコントローラ20のシミュレーションを示すものであり、図示のバーストの最初のピーク50は、本発明の実施形態の態様による制御システムが使用されない時に現れ、使用される時には消える。ここで図6を参照すると、波長シグマの類似のシミュレーションを示すものであり、ピーク60は、本発明の実施形態の態様によるシステムコントローラなしの場合であり、ピーク60がない時は、このようなコントローラがある場合である。ここで図7を参照すると、本発明の実施形態の態様によるシステムコントローラのみを利用する高速遷移誤差のシミュレーションとそれが無い場合とを示しており、高速遷移ピーク70は、本発明による制御システムの利用によって本質的に不変であることを示している。ここで図8を参照すると、波長シグマが、本発明の態様によるSTI補償の有無を問わず本質的に同じであるピーク80を有することのみが異なる、高速遷移に関するシミュレーションに対する本質的に同じ結果を示している。

【0029】

本発明の実施形態の態様によれば、例えば、STIアルゴリズムを実行するコントローラは、波長誤差シグマ及び平均を大幅に低減することが当業者によって理解されるであろう。本発明の実施形態の態様によれば、STIアルゴリズムは、ある一定の条件下の高速遷移に対して現在のアルゴリズムと同じ性能を与えることができる。STIコントローラは、バーストの終わり並びに発射データの到着時に、また、例えば本発明の態様によるバースト論理の終わりにバーストタイムアウト割込の終了を利用して、波長コントローラに実行させることができる。d/dVによるスケージングは、明示的なものに行うことができる。STIサーボは、各バーストの終わりで更新され、一方、パラメータサーボは、全てのパルスを更新して各バーストの終わりにリセットされる。

【0030】

本発明の実施形態の態様によれば、対処すべき潜在的な問題は、比較的大きな、例えば最大8.7Vまでの圧電アクチュエータ電圧の変化、すなわち、約0.87µmまでの波長の変化をもたらす可能性があるレーザ出力光パルスビームパラメータ調節機構、例えば高速同調ミラー傾斜制御機構における圧電アクチュエータをステップが非飽和にすることに関連するであろう。これは、例えば、上述のように、STI方程式の「nstep」係数が、異なるより高い数である場合がある命令されたステップ数ではなく前回バーストにおいて行われたステップの実際の数に基づいて更新されることを確実にすることにより、本発明の実施形態の態様に従って対処することができ、そうする際に、システム20は、例えば、バースト中に取られたステップの実際の数を追跡して、STI補償器サーボ40電圧を各バーストの終わりに相応に調節することができる。

【0031】

作動面では、休止時間によって分離され、レーザ出力光パルスビームを形成する、選択されたパルス繰返し数でのパルスのバーストのレーザ出力光パルスを生成するための装置20及び方法を開示し、これは、ビームパラメータとビームパラメータの選択目標値、例えば波長の間の差を表すビームパラメータ誤差信号30を供給するレーザ出力光パルスビームパラメータ誤差検出器26と、ビームパラメータ調節機構22、例えば高速同調機構傾斜コントローラと、例えば波長サーボ28を含み、ビームパラメータ調節信号30の値に基づいてビームパラメータ調節信号、例えばPZT電圧信号をビームパラメータ調節機構22に供給するビームパラメータ調節機構コントローラ24と、ビームパラメータ誤差信号の値に基づいて、例えばこのようなビームパラメータ調節信号と合計されることによりビームパラメータ調節信号を修正する低速遷移反転信号を供給し、コントローラ24の一部も含むことができる低速遷移反転コントローラ40とを含むことができる。この装置及び方法は、ビームパラメータ誤差信号30の値から判断された正規化ビームパラメータ誤差信号を供給するビームパラメータ誤差スケージング機構32を更に含むことができ

10

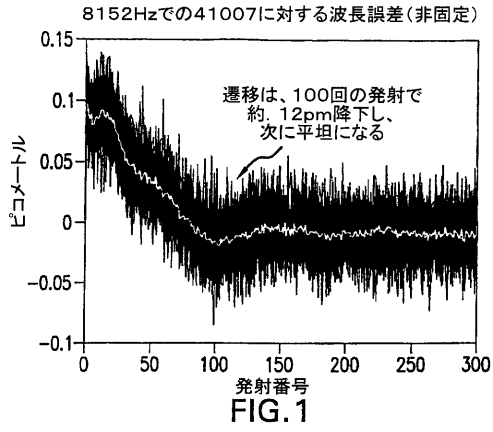
20

30

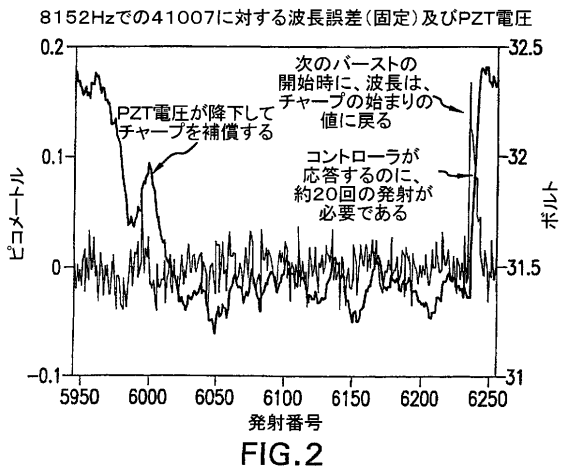
40

50

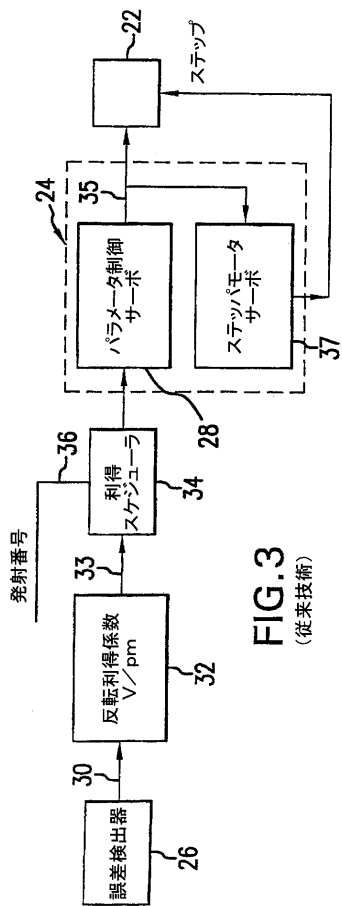
【 図 1 】



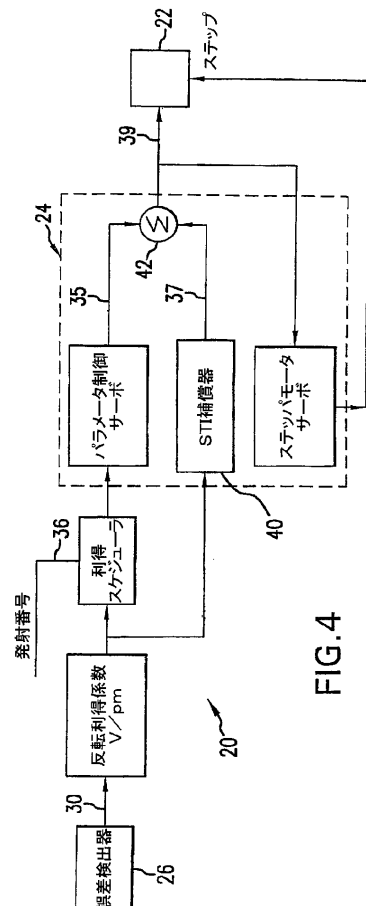
【 図 2 】



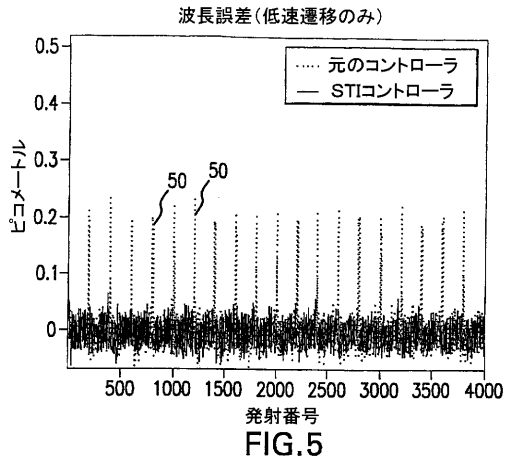
【 図 3 】



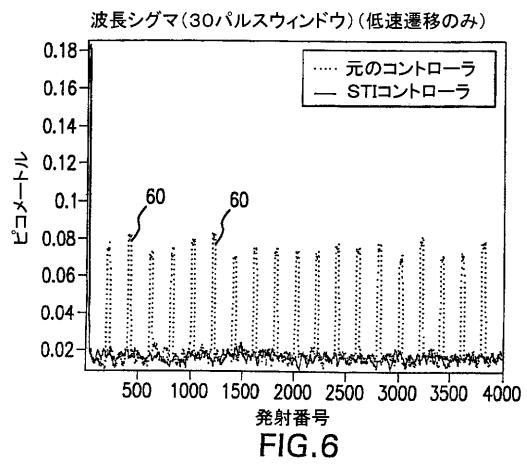
【 図 4 】



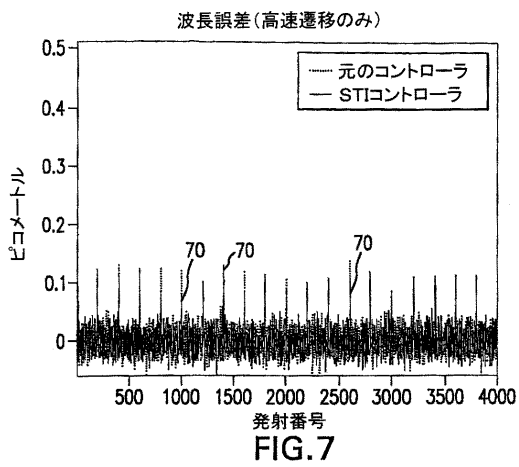
【 図 5 】



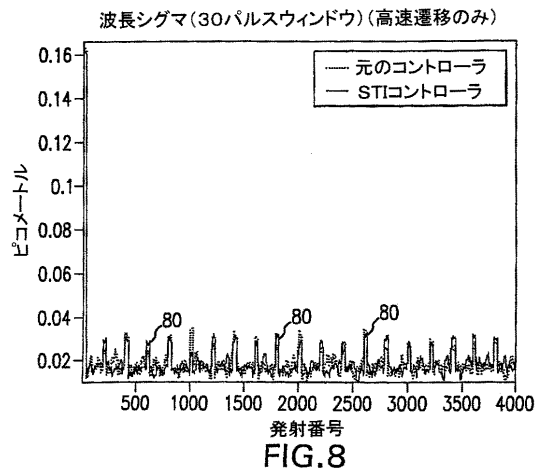
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 ジャック ロバート エヌ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 1 2 9 サン ディエゴ シャーボーン レーン 7 1
6 3

審査官 傍島 正朗

(56)参考文献 特表2004-526313(JP,A)

特開2002-198604(JP,A)

特開2002-026435(JP,A)

特表2005-502209(JP,A)

特開平11-097768(JP,A)

特開平09-085474(JP,A)

特開2003-249708(JP,A)

特開2003-332233(JP,A)

特開2004-040458(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00 - 3/30