

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5251902号
(P5251902)

(45) 発行日 平成25年7月31日(2013.7.31)

(24) 登録日 平成25年4月26日(2013.4.26)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 S	3/067	(2006.01)	HO 1 S	3/06 B
HO 1 S	3/00	(2006.01)	HO 1 S	3/00 B
B 2 3 K	26/00	(2006.01)	B 2 3 K	26/00 N
HO 1 S	3/131	(2006.01)	HO 1 S	3/131

請求項の数 10 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2010-45650 (P2010-45650)	(73) 特許権者	000002945
(22) 出願日	平成22年3月2日(2010.3.2)		オムロン株式会社
(65) 公開番号	特開2011-181761 (P2011-181761A)		京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町
(43) 公開日	平成23年9月15日(2011.9.15)		801番地
審査請求日	平成24年2月29日(2012.2.29)	(74) 代理人	110001195
前置審査			特許業務法人深見特許事務所
		(72) 発明者	大垣 龍男
			京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
			動堂町801番地 オムロン株式会社内
		審査官	杉山 輝和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被加工物の加工に用いられるレーザ光を出力するレーザ加工装置であって、
シード光を励起光によって増幅する光増幅ファイバと、
前記シード光をパルス状に発生させるシード光源と、
前記励起光を発生させる励起光源と、
前記励起光の制御条件を予め記憶する記憶部と、
前記記憶部に記憶された前記制御条件に従って前記励起光源を制御する制御部とを備え

前記制御条件は、

前記シード光が発生しない非発光期間の間、前記光増幅ファイバから放出されるエネルギーと実質的に等しいエネルギーを有する励起光を前記励起光源に発生させるための予め定められた条件を含み、

前記光増幅ファイバから出力された光の強度を検出するための検出器と、

前記記憶部に記憶された前記制御条件を補正する補正部とをさらに備え、

前記補正部は、前記非発光期間に前記光増幅ファイバから出力された前記励起光の強度についての前記検出器の検出結果を、前記非発光期間における前記励起光のパワーに関する前記制御条件の補正に反映させる、レーザ加工装置。

【請求項2】

前記シード光源は、複数の光パルスを含むパルス列を前記シード光として発生させるレ

ーザ光源であり、

前記非発光期間は、前記シード光源が前記パルス列を繰り返し発生させる場合における前記パルス列の時間間隔である、請求項 1 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 3】

前記非発光期間における前記励起光のパワーは、前記パルス列が発生する発光期間における前記励起光のパワーよりも小さい、請求項 2 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 4】

前記励起光源は、前記非発光期間の間、前記励起光を連続的に発生させる、請求項 3 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 5】

前記励起光源は、前記非発光期間の間、前記励起光を周期的に発生させる、請求項 3 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 6】

前記励起光源は、前記非発光期間の間、前記励起光の発生を一旦停止した後前記励起光を発生させる、請求項 3 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 7】

前記複数の光パルス間の時間間隔は、前記パルス列同士の時間間隔よりも短い、請求項 2 から 6 のいずれか 1 項に記載のレーザ加工装置。

【請求項 8】

前記シード光源は、光パルスを前記シード光として繰り返し発生させるレーザ光源であり、

前記非発光期間は、前記光パルスの繰返し期間である、請求項 1 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 9】

前記励起光源は、前記シード光の発生に先立って前記励起光のパワーを上昇させるとともに、前記シード光の発生と同期して前記励起光のパワーを低下させる、請求項 8 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 10】

前記検出器は、前記非発光期間に前記光増幅ファイバから出力された前記励起光の強度を検出する、請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載のレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ加工装置に関し、特に、ファイバ増幅器を備えるレーザ加工装置から出射されるレーザ光の制御に関する。

【背景技術】

【0002】

ファイバ増幅器を利用する M O P A (Master Oscillator and Power Amplifier) 方式において、非発光期間にファイバ増幅器に供給する励起エネルギーを、発光期間にファイバ増幅器に供給するエネルギーと異ならせることが提案されている。

【0003】

たとえば特開 2000 - 340872 号公報 (特許文献 1) は、連続駆動される第 1 の励起用半導体レーザと、パルス駆動される第 2 の励起用半導体レーザとを備えるレーザマーキング装置を開示する。第 1 の励起用半導体レーザから出射される連続光のパワーは、第 2 の励起用半導体レーザから出射されるパルス光のパワーに比べて低い。信号用半導体レーザが信号光を発生しない非発光期間には、第 1 の励起用半導体レーザからの励起光のみによって光増幅ファイバが励起されるのに対し、信号用半導体レーザが信号光を発生する発光期間には、第 1 および第 2 の励起用半導体レーザからの励起光によって光増幅ファイバが励起される。上記の励起方法は、発光開始直後の出力パルスのエネルギーが極端に大きくなること、逆に、出力パルスのパワーが所定値に到達するまでに時間がかかること

10

20

30

40

50

を防ぐことを目的とする。

【 0 0 0 4 】

また、たとえば特開平 3 - 2 4 2 6 2 7 号公報（特許文献 2）は、光通信用の多段光増幅装置を開示する。この装置では、励起用光源が信号光（シード光）と同期してパルス駆動される。このような駆動方式は、A S E（Amplified Spontaneous Emission）を低減することを目的としたものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 0 - 3 4 0 8 7 2 号公報

10

【特許文献 2】特開平 3 - 2 4 2 6 2 7 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

特許文献 1 に開示された構成によれば、第 1 の励起用半導体レーザから出射される連続光のパワーが適切でなければ、発光開始直後の出力パルスのエネルギーが極端に大きくなる可能性、あるいは出力パルスのエネルギーが所定のパワーに到達するまでに時間がかかる可能性がある。発光開始直後の出力パルスのエネルギーが安定していなければ、レーザ加工（1 つの例として印字であるがこれに限定されない）の品質が劣化する。たとえば、レーザ加工条件の変更に伴って、出力パルスの繰り返し周波数、パワー等の条件を変更した場合には、このような問題が起こりやすい。

20

【 0 0 0 7 】

同様に、特許文献 2 に開示された構成によれば、信号光によって、光増幅ファイバに供給された励起エネルギーが消費される。しかし、すべての励起エネルギーを信号光によって消費することはできないので、一部の励起エネルギーが光ファイバに残ったままとなる。消費されなかった励起エネルギーは A S E として光増幅ファイバから徐々に放出される。励起光パルスの間隔が異なる場合には、励起光パルスが発せられた時点において光増幅ファイバに残っている励起エネルギーが異なる。したがって励起期間中に到達する励起エネルギーが励起光パルスの間隔に応じて異なる。励起エネルギーが変化すると出力パワーが変化する。

30

【 0 0 0 8 】

図 1 1 は、特許文献 1 および特許文献 2 に開示された光増幅を用いた場合に生じ得る課題を説明した図である。図 1 1 (a) は、出力パルス光の繰り返し期間が短い場合における出力パルス光のパワーを示した図である。図 1 1 (b) は、出力パルス光の繰り返し期間が長い場合における出力パルス光のパワーを示した図である。

【 0 0 0 9 】

図 1 1 を参照して、励起用レーザに駆動電流が供給されることによって、励起用レーザが励起光を発生させる。励起光が光増幅ファイバに入射することによって、光増幅ファイバに励起エネルギーが供給される。光増幅ファイバに励起エネルギーが蓄積される時間が光増幅ファイバの励起時間であり、この励起時間は励起用レーザに駆動電流が供給される時間に相当する。

40

【 0 0 1 0 】

信号光が光増幅ファイバに入力することで、光増幅ファイバに蓄積された励起エネルギーが消費される。信号光の発生と同期して励起用レーザの駆動電流がオフするので、光増幅ファイバへの励起エネルギーの供給も信号光の発生と同期して停止する。光増幅ファイバから A S E 光が放出されるため、励起エネルギーの供給が停止している間に光増幅ファイバに蓄えられた励起エネルギーが徐々に低下する。

【 0 0 1 1 】

励起エネルギーの供給が停止される期間が長いほど、励起開始時点において光増幅ファイバに残っている励起エネルギーが少なくなる。図 1 1 (a) と図 1 1 (b) との比較が

50

ら理解されるように、パルス光の繰り返し周期が長い場合ほど、励起開始時点に光増幅ファイバに残っている励起エネルギーが少なくなる。

【0012】

繰り返し期間が異なるにもかかわらず、励起条件（具体的には励起用レーザの駆動電流の大きさ、供給期間等）が同じである場合、出力光のパワーが変化する。繰り返し期間が短いほど出力光のパワーが大きくなり、繰り返し期間が長いほど出力光のパワーが小さくなる。したがって、たとえば外部から不定期にレーザ加工装置に入力されるトリガ信号に同期してレーザ光が出力される場合には、その出力光のパワーを所定値に保つことが難しくなる。

【0013】

さらに、励起用レーザに用いられる半導体レーザには、一般的に、出力をモニタする機能が付加されていない。このため励起用半導体レーザは定電流駆動される。しかし周囲温度あるいは経時変化によって励起用半導体レーザの閾値（発振開始電流値）が変化するため、定電流駆動されていても励起用半導体レーザから出力される励起光のパワーが変化する。励起光のパワーが変化することで、レーザ加工装置の加工品質が変化する。すなわち、周囲温度あるいは励起用半導体レーザの経時変化によってレーザ加工装置の加工品質が変化する可能性がある。

【0014】

本発明の目的は、レーザ加工装置から出力されるパルス光のパワーを安定化させるための技術を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明は要約すれば、被加工物の加工に用いられるレーザ光を出力するレーザ加工装置であって、シード光を励起光によって増幅する光増幅ファイバと、シード光をパルス状に発生させるシード光源と、励起光を発生させる励起光源と、励起光の制御条件を予め記憶する記憶部と、記憶部に記憶された制御条件に従って励起光源を制御する制御部とを備える。制御条件は、シード光が発生しない非発光期間の間、光増幅ファイバから放出されるエネルギーと実質的に等しいエネルギーを有する励起光を励起光源に発生させるための予め定められた条件を含む。

【0016】

好ましくは、シード光源は、複数の光パルスを含むパルス列をシード光として発生させるレーザ光源である。非発光期間は、シード光源がパルス列を繰り返し発生させる場合におけるパルス列の時間間隔である。

【0017】

好ましくは、非発光期間における励起光のパワーは、パルス列が発生する発光期間における励起光のパワーよりも小さい。

【0018】

好ましくは、励起光源は、非発光期間の間、励起光を連続的に発生させる。

好ましくは、励起光源は、非発光期間の間、励起光を周期的に発生させる。

【0019】

好ましくは、励起光源は、非発光期間の間、励起光の発生を一旦停止した後に励起光を発生させる。

【0020】

好ましくは、複数の光パルス間の時間間隔は、パルス列同士の時間間隔よりも短い。

好ましくは、シード光源は、光パルスをシード光として繰り返し発生させるレーザ光源である。非発光期間は、光パルスの繰り返し期間である。

【0021】

好ましくは、励起光源は、シード光の発生に先立って励起光のパワーを上昇させるとともに、シード光の発生と同期して励起光のパワーを低下させる。

【0022】

10

20

30

40

50

好ましくは、レーザ加工装置は、光増幅ファイバから出力された励起光を検出するための検出器と、記憶部に記憶された制御条件を補正する補正部とをさらに備える。補正部は、前記検出器の検出結果を前記制御条件の補正に反映させる。

【0023】

好ましくは、レーザ加工装置は、光増幅ファイバから出力された光の強度を検出するための検出器と、記憶部に記憶された制御条件を補正する補正部とをさらに備える。補正部は、検出器の検出結果を制御条件の補正に反映させる。

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、レーザ加工装置から出力される加工用のパルス光のパワーを安定化させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の実施の形態1に係るレーザ加工装置の構成例を示した図である。

【図2】図1に示した光増幅ファイバの構造の一例を示した図である。

【図3】図1に示した制御装置の機能ブロック図である。

【図4】実施の形態1に従うシードLDおよび励起LDの動作を説明するための図である。

。

【図5】実施の形態2に従うシードLDおよび励起LDの動作を説明するための図である。

。

【図6】実施の形態3に従うシードLDおよび励起LDの動作を説明するための図である。

。

【図7】実施の形態4に従うシードLDおよび励起LDの動作を説明するための図である。

。

【図8】実施の形態5に係るレーザ加工装置の全体構成図である。

【図9】図8に示した波高値検出器によって検出されるパルスの波形例を示した図である。

。

【図10】図8に示した制御装置の機能ブロック図である。

【図11】特許文献1および特許文献2に開示された光増幅を用いた場合に生じ得る課題を説明した図である。

【図12】実施の形態1に係るレーザ加工装置から出力されるパルス光の実際のパワーを示した波形図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、この発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

【0027】

本明細書では「パルス列」との用語は、ある時間間隔で時間軸上に並べられた複数の光パルスを意味する。また、本明細書では、「LD」との用語は、半導体レーザを表す。

【0028】

[実施の形態1]

図1は、本発明の実施の形態1に係るレーザ加工装置の構成例を示した図である。図1を参照して、レーザ加工装置100は2段増幅タイプのレーザ増幅器を備える。詳細には、レーザ加工装置100は、光ファイバ1, 8と、シードLD2と、励起LD3, 9A, 9Bと、アイソレータ4, 6, 11と、バンドパスフィルタ(BPF)7と、コンパイナ5, 10と、エンドキャップ12と、ドライバ21, 22, 23A, 23Bとを備える。これらの要素により2段増幅タイプのレーザ増幅器が構成される。レーザ加工装置100は、さらに、ポンプダンプ13と、受光素子15と、レーザビーム走査機構14と、制御装置20と、入力部25とを備える。

【0029】

10

20

30

40

50

光ファイバ1, 8は光増幅ファイバであり、光増幅成分である希土類元素が添加されたコア、およびそのコアの周囲に設けられるクラッドを有する。コアに添加される希土類元素の種類は特に限定されず、たとえばEr(エルビウム)、Yb(イッテルビウム)、Nd(ネオジム)などがある。以下では希土類元素はYbであるとして説明する。

【0030】

光ファイバ1, 8の各々は、たとえばコアの周囲に1層のクラッドが設けられたシングルクラッドファイバでもよいし、コアの周囲に2層のクラッドが設けられたダブルクラッドファイバでもよい。また、光ファイバ1, 8は、同一構造(たとえばシングルクラッドファイバ)の光ファイバでもよいし、異なる構造を有する光ファイバ(たとえばシングルクラッドファイバとダブルクラッドファイバ)の組み合わせでもよい。

10

【0031】

図2は、図1に示した光増幅ファイバの構造の一例を示した図である。図2(A)および図2(B)は、シングルクラッドファイバの一例の断面図であり、ファイバの延在方向に対して垂直方向および平行方向の断面をそれぞれ示している。図2(A)および図2(B)を参照して、シングルクラッドファイバは、希土類元素が添加されたコア31と、コア31の周囲に設けられ、かつコア31よりも屈折率が低いクラッド32とを含む。クラッド32の外表面は外皮34に覆われる。

【0032】

図2(C)および図2(D)は、ダブルクラッドファイバの一例の断面図であり、ファイバの延在方向に対して垂直方向および平行方向の断面をそれぞれ示している。図2(C)および図2(D)を参照して、ダブルクラッドファイバは、希土類元素が添加されたコア35と、コア35の周囲に設けられ、かつコア35よりも屈折率が低い第1クラッド36と、第1クラッド36の周囲に設けられ、かつ第1クラッド36よりも屈折率が低い第2クラッド37とを含む。第2クラッド37の外表面は外皮38に覆われる。

20

【0033】

図1に戻り、シードLD2はシード光を発するレーザ光源である。シード光の波長は、たとえば1000~1100nmの範囲から選択された波長である。ドライバ21はシードLD2にパルス状の電流を繰り返して印加することにより、シードLD2をパルス駆動する。すなわちシードLD2からはパルス状のシード光が発せられる。

【0034】

シードLD2から出射されるシード光はアイソレータ4を通過する。アイソレータ4は一方の光のみを透過し、その光と逆方向に入射する光を遮断する機能を実現する。本発明の実施の形態では、アイソレータ4はシードLD2からのシード光を透過させるとともに光ファイバ1からの戻り光を遮断する。これによって光ファイバ1からの戻り光がシードLD2に入射するのを防ぐことができる。シードLD2に光ファイバ1からの戻り光が入射した場合にはシードLD2が損傷するおそれがあるが、アイソレータ4を設けることでこのような問題を防ぐことができる。

30

【0035】

励起LD3は、光ファイバ1のコアに添加された希土類元素の原子を励起するための励起光を発する励起光源である。希土類元素がYbの場合、励起光の波長はたとえば940±10nmとなる。ドライバ22は、励起LD3を駆動する。

40

【0036】

コンバイナ5はシードLD2からのシード光と励起LD3からの励起光とを結合して光ファイバ1に入射させる。

【0037】

光ファイバ1に入射した励起光はコアに含まれる希土類元素の原子に吸収され、原子が励起される。シードLD2からのシード光が光ファイバ1のコアを伝搬すると、励起された原子がシード光により誘導放出を起こすためシード光が増幅される。すなわち光ファイバ1は、シード光を励起光によって増幅する。

【0038】

50

光ファイバ1がシングルクラッドファイバである場合、シード光および励起光はともにコアに入射する。これに対し、光ファイバ1がダブルクラッドファイバである場合、シード光はコアに入射し、励起光は第1クラッドに入射する。ダブルクラッドファイバの第1クラッドは励起光の導波路として機能する。第1クラッドに入射した励起光が第1クラッドを伝搬する過程で、コアを通過するモードによりコア中の希土類元素が励起される。

【0039】

アイソレータ6は、光ファイバ1によって増幅され、かつ光ファイバ1から出射されたシード光(光パルス)を通過させるとともに光ファイバ1に戻る光を遮断する。

【0040】

バンドパスフィルタ7は、光ファイバ1から出力される光パルスのピーク波長を含む波長帯の光を通過させるとともに、その波長帯と異なる波長帯の光を除去する。

【0041】

励起LD9A, 9Bは、光ファイバ8のコアに含まれる希土類元素の原子を励起するための励起光を発する。ドライバ23A, 23Bは励起LD9A, 9Bのそれぞれを駆動する。

【0042】

図1に示した構成では、1段目の励起LDの個数は1であり、2段目の励起LDの個数は2であるが、励起LDの個数はこれらの値に限定されるものではない。

【0043】

コンバイナ10は、バンドパスフィルタ7を通過した光パルスと、励起LD9A, 9Bからの励起光とを結合して光ファイバ8に入射させる。光ファイバ1における光増幅作用と同じ作用によって、光ファイバ8に入射した光パルスが励起光によって増幅される。

【0044】

光ファイバ8は、増幅された光パルスを出射するだけでなく、光増幅に用いられずに残った励起エネルギーも放出する。ポンプダンプ13は、光ファイバ8から出射された光から励起光を分離する。なお、出力光から励起光を分離するための手段はポンプダンプ13に限定されず、たとえばダイクロイックミラーといった、波長により透過(反射)率が異なる素子でもよい。受光素子15は、出力光から分離された励起光を受けるとともに、その励起光の強度を示す信号を出力する。すなわちポンプダンプ13および受光素子15は、2段目のファイバ増幅器から出力された励起光をモニタするためのものである。

【0045】

アイソレータ11はポンプダンプ13からの光パルスを通過させるとともに、光ファイバ8に戻る光を遮断する。アイソレータ11を通過した光パルスは、アイソレータ11に付随する光ファイバの端面から大気中に出射される。エンドキャップ12は、ピークパワーの高い光パルスが光ファイバから大気中に出射される際に光ファイバの端面と大気との境界面で生じるダメージを防止するために設けられる。

【0046】

レーザビーム走査機構14は、レーザ増幅器からの出射光を二次元方向に走査するためのものである。図示しないが、レーザビーム走査機構14は、たとえばエンドキャップ12からの出射光であるレーザビームの径を所定の大きさに調整するためのコリメータレンズ、および、コリメータレンズを通過後のレーザビームを加工対象物50の表面上で二次元方向に走査するためのガルバノスキャナ、レーザビームを集光するためのf レンズ等を含んでもよい。加工対象物50の表面上でレーザ光L、すなわちレーザ加工装置100からの出力光が二次元方向に走査されることにより、金属等を素材とする加工対象物50の表面が加工される。たとえば加工対象物50の表面に文字や図形等からなる情報が印字(マーキング)される。

【0047】

制御装置20は、ドライバ21, 22, 23A, 23Bおよびレーザビーム走査機構14を制御することによりレーザ加工装置100の動作を統括的に制御する。入力部25は、たとえばユーザからの情報(たとえば加工対象物50の表面に印字される文字、記号等

10

20

30

40

50

の情報)を受付けて、その受付けた情報を制御装置20に送信する。制御装置20は、たとえば入力部25からの情報に基づいて、ドライバ21, 22, 23A, 23Bの動作開始および動作終了を制御するとともに、ドライバ21, 22, 23A, 23Bを動作させている間(言い換えればレーザ増幅器から光が出射されている間)、レーザビーム走査機構14の動作を制御する。

【0048】

制御装置20は、たとえば所定のプログラムを実行するパーソナルコンピュータにより実現される。入力部25はユーザが情報を入力することができる装置であれば特に限定されず、たとえばマウス、キーボード、タッチパネル等を用いることができる。

【0049】

シードLD、励起LD、アイソレータ、バンドパスフィルタ等の特性は温度により変化し得る。したがって、これらの素子の温度を一定に保つための温度コントローラをレーザ加工装置に備えることがより好ましい。

【0050】

レーザ加工装置100からレーザ光を出力させる場合において、シードLD2はドライバ21によって駆動されることにより、パルス状のシード光を発生させる。シード光をシードLD2から繰り返し発生させる場合、シード光の繰り返し周波数は、ドライバ21からシードLD2に供給されるパルス電流の繰り返し周波数に依存する。ドライバ21から出力されるパルス電流の繰り返し周波数は制御装置20によって制御される。

【0051】

制御装置20はドライバ22, 23A, 23Bを制御することによって励起LD3, 9A, 9Bが発する励起光のパワーを変化させる。励起LD3, 9A, 9Bは、ドライバ22, 23A, 23Bからそれぞれ供給される駆動電流に応じたパワーを有する励起光を出力する。各ドライバ22, 23A, 23Bから出力される駆動電流の大きさは制御装置20によって制御される。

【0052】

レーザ加工装置100が出力光パルスを繰り返し発生させる場合、励起LD3, 9A, 9Bは、シード光パルスが発生する発光期間だけでなく、シード光パルスが発生しない非発光期間にも励起光を発生させる。制御装置20は、その非発光期間における励起光パワーがレーザ加工装置100からの出力光に関する条件に基づいて可変となるように、各ドライバ22, 23A, 23Bを制御する。

【0053】

具体的には、制御装置20は、出力光に関する条件に基づいて、非発光期間における励起光パワー(言い換えればドライバから励起LDに供給される駆動電流)を制御する。この条件は、少なくとも、出力光のパワーに関する条件を含む。非発光期間における励起光パワーを制御することで、後述するように出力光のパワーを安定させることができる。

【0054】

なお、この実施の形態では、非発光期間における励起光パワーは発光期間における励起光パワーよりも小さくなる。非発光期間において、制御装置20は、各ドライバ22, 23A, 23Bから励起LDに供給される駆動電流が低下するように各ドライバ22, 23A, 23Bを低下させる。

【0055】

制御装置20は、励起LD用のドライバ22, 23A, 23Bの制御条件を予め記憶するとともに、その条件に従ってドライバ22, 23A, 23Bを制御する。この制御条件は、予備的な実験によって求められ、制御装置20は、その制御条件に関するデータを記憶する。

【0056】

制御装置20は、受光素子15によって検出された励起光のパワーに基づいて、予め記憶されたデータに基づく制御条件を補正する。すなわち制御装置20は、非発光期間における励起光パワーに関するフィードバック制御を実行する。このフィードバック制御によ

10

20

30

40

50

って、レーザ加工装置からの出力光のパワーをより一層安定させることが可能になる。

【 0 0 5 7 】

図 3 は、図 1 に示した制御装置の機能ブロック図である。図 3 を参照して、制御装置 20 は、記憶部 201 と、条件設定部 202 と、シード LD 制御部 203 と、パワー検出部 204 と、補正部 205 と、励起 LD 制御部 206 とを備える。図 3 に示した構成は、ハードウェア（電子回路）によって実現されてもよく、ソフトウェアによって実現されてもよい。

【 0 0 5 8 】

記憶部 201 は、シード光および励起光に関する条件を、レーザ加工装置からの出力光（以下では、単に「出力光」とも呼ぶ）の条件と関連付けて記憶する。この記憶内容には、たとえば出力光のパワーに対する励起光パワーおよび励起時間の関係、出力光のパルス幅に対するシード光のパルス幅の関係等がある。これらの関係は、たとえばテーブル、関数、マップ等の各種の形式に従って記憶部 201 に記憶される。

【 0 0 5 9 】

条件設定部 202 は、入力部 25 に入力された情報および、記憶部 201 に記憶された条件に基づいて、シード LD および励起 LD の駆動条件を設定する。たとえばレーザ加工装置から出力される光のピークパワーが入力部 25 に入力される。条件設定部 202 は、そのピークパワーおよび、記憶部 201 に記憶された励起光パワーおよび励起時間と、出力光のパワーとの関係に従って、励起光パワーおよび励起時間を設定する。また、たとえばレーザ加工装置から出力される光の繰返し周波数が入力部 25 に入力される。条件設定部 202 は、その繰返し周波数に従って、シード光パルスの繰返し周波数を設定する。

【 0 0 6 0 】

なお、上記の説明は、記憶部 201 に記憶される情報および条件設定部 202 によって設定される条件を例示するものである。条件設定部 202 は、入力部 25 を介して入力される情報および記憶部 201 に記憶される情報に基づいて、シード LD および励起 LD の初期駆動条件を設定するように構成されていけばよい。

【 0 0 6 1 】

シード LD 制御部 203 は、条件設定部 202 によって設定された条件に従ってシード LD 2 を駆動するためのドライバ 21 を制御する。ドライバ 21 は、シード LD 制御部 203 の制御により、シード LD 2 に駆動電流を供給する。

【 0 0 6 2 】

パワー検出部 204 は、受光素子 15 からの信号に基づいて、光ファイバ 1, 8 から出力された光のうち、ポンプダンプ 13 によって分離された励起光のパワーを検出する。受光素子 15 はポンプダンプ 13 から励起光を受けて、その励起光の強度を示す信号を出力する。パワー検出部 204 は、受光素子 15 からの信号の強度に基づいて、ポンプダンプ 13 によって分離された励起光のパワーを検出する。

【 0 0 6 3 】

補正部 205 は、条件設定部 202 によって設定された励起 LD の駆動条件を補正する。具体的には、補正部 205 は、記憶部 201 に記憶されている励起 LD の駆動条件に、パワー検出部 204 による検出結果を反映させることで、非発光期間に励起 LD 3, 9A, 9B から出射される励起光のパワーに関する条件を補正する。

【 0 0 6 4 】

励起 LD 制御部 206 は、条件設定部 202 によって設定され、かつ補正部 205 によって補正された条件に従って、励起 LD 3 を駆動するためのドライバ 22、励起 LD 9A を駆動するためのドライバ 23A および、励起 LD 9B を駆動するためのドライバ 23B を制御する。ドライバ 22, 23A, 23B の各々は、励起 LD 制御部 206 の制御により、対応する励起 LD に駆動電流を供給する。

【 0 0 6 5 】

本発明の実施の形態では、ドライバ 22, 23A, 23B が一括して制御される（たとえば駆動電流を一斉が変化する）。したがって、各実施の形態での説明では、励起 LD 3

10

20

30

40

50

、9A、9Bを1つの励起LDとして総括的に説明する。同様に以後の説明では、光ファイバ1、8の各々に励起光が入射することで各光ファイバに蓄積される励起エネルギーについても、1つの光ファイバに蓄積される励起エネルギーとしてまとめて説明する。

【0066】

図4は、実施の形態1に従うシードLDおよび励起LDの動作を説明するための図である。図4を参照して、シードLDはシード光パルス周期 t_{prd} で繰り返し発生させる。実施の形態1においては、発光期間とは、2以上の所定数のシード光パルスを含むパルス列を発生させる期間であり、非発光期間とは当該パルス列を発生させない期間である。なお、パルス列に含まれる複数のパルス間の時間間隔すなわち周期 t_{prd} は、非発光期間よりも短い。

10

【0067】

励起LDから出力される励起光は連続光である。励起光パワーは励起LDに供給される駆動電流に依存する。すなわち図4に示されるように、励起光パワーの変化は、励起LDに供給される駆動電流の変化に対応している。

【0068】

シード光パルスは、光増幅ファイバの内部で励起エネルギーを得ることにより増幅され、最終的にはレーザ加工装置から出力される出力光となる。シード光が増幅される過程では、励起エネルギーはシード光の増幅に全て消費されるわけではなく、一部の励起エネルギーが光増幅ファイバに残る。発光期間の間は、励起光(CW光)が光増幅ファイバに入射するため、励起光によって供給された励起エネルギーが、光増幅ファイバに残った励起エネルギーに追加される。次に発生したシード光が増幅されることにより、励起エネルギーは、その一部が光増幅ファイバに残りつつ消費される。シード光パルスが発生する間、光増幅ファイバでは励起エネルギーの消費および追加が繰り返される。

20

【0069】

シード光パルスの増幅に用いられずに光増幅ファイバに残った励起エネルギーはASE光として放出される。実施の形態1では、光増幅ファイバから放出されるエネルギーと同等の励起エネルギー(励起光パワー)を、非発光期間の間、励起LDから供給し続ける。

【0070】

非発光期間の間に、光増幅ファイバから放出されるエネルギーよりも大きいエネルギーが光増幅ファイバに供給された場合、光増幅ファイバに蓄えられる励起エネルギーが非発光期間の間に増加する。このため、発光開始時点にレーザ加工装置から出力されるパルス光のパワーが大きくなる。

30

【0071】

逆に、非発光期間の間に、光増幅ファイバから放出されるエネルギーよりも小さいエネルギーが光増幅ファイバに供給された場合、光増幅ファイバに蓄えられる励起エネルギーが減少する。このため、発光開始時点にレーザ加工装置から出力されるパルス光のパワーが小さくなるとともに、出力光のパワーが所定レベルに達するまでの時間が必要となる。

【0072】

図12は、実施の形態1に係るレーザ加工装置から出力されるパルス光の実際のパワーを示した波形図である。図12(a)に示されるように、非発光期間における励起LD駆動電流値が小さすぎる場合には、発光開始時点における出力パルス光のパワーが小さくなるとともに、そのパルス光のパワーが所定レベルに達するまでの時間が必要となる。逆に、図12(b)に示されるように、非発光期間における励起LD駆動電流値が大きすぎる場合には、発光開始時点における出力パルス光のパワーが、大きくなる。非発光期間における励起LD駆動電流値を適正な値に設定することによって、図12(c)に示されるように、発光開始時点から出力パルス光のパワーを安定させることができる。

40

【0073】

実施の形態1によれば、光増幅ファイバから放出されるエネルギーと同等の励起エネルギー(励起光パワー)を、非発光期間の間、励起LDから供給し続ける。これにより、非発光期間の長さに関わらず、光増幅ファイバに蓄えられた励起エネルギーをその非発光期

50

間、安定化させることができる。したがって次の発光期間の開始時における出力光のパワーを、前回の発光期間における出力光のパワーと同じにすることができる。

【 0 0 7 4 】

実施の形態 1 によれば、非発光期間の長さが変化しても出力光のパワーを安定させることができる。これにより高品質の加工が可能となる。

【 0 0 7 5 】

さらに実施の形態 1 において、非発光期間に励起 LD から出力される励起光に関する条件を、受光素子 15 によって検出された励起光のパワーに基づいて制御してもよい。具体的には、光ファイバ 8 から放出された励起光が受光素子 15 で検出され、その受光素子 15 が受光した励起光のパワーに基づいて、励起光のパワーが制御される。このようなフィードバック制御によってレーザ加工装置から出力される出力光のパワーをより一層安定させることが可能になる。

10

【 0 0 7 6 】

[実施の形態 2]

実施の形態 2 は、励起光パワーの制御の点において実施の形態 1 と異なる。具体的には、実施の形態 2 では、シード光パルスに励起 LD を同期させる変調励起を行なう。

【 0 0 7 7 】

なお、実施の形態 2 に係るレーザ加工装置の全体構成は、図 1 に示した構成と同様である。さらに、制御装置 20 の構成は図 3 に示した構成と同様である。したがって、実施の形態 2 に係るレーザ加工装置の構成については、詳細な説明を以後繰り返さない。

20

【 0 0 7 8 】

図 5 は、実施の形態 2 に従うシード LD および励起 LD の動作を説明するための図である。図 5 (a) は変調励起を説明するための図である。図 5 (b) は、CW 励起を説明するための図である。

【 0 0 7 9 】

図 5 (a) を参照して、変調励起では、シード LD からシード光が発生するタイミングに同期して、励起 LD に供給される駆動電流が変調される。シード光の繰返し周波数が低い場合 (たとえば 10 kHz 程度まで) には、出力光パワーを安定化させるためにこのような励起方法が有効である。なお、図 5 (a) の例では、励起時間幅 t_w は、シード光パルスの発生する周期 t_{prd} よりも短い。この例において、発光期間とは、シード光パルスが発生する期間であり、非発光期間とは、シード光パルスが発生しない期間である。

30

【 0 0 8 0 】

期間 T は、非発光期間のうち、ASE 光として光増幅ファイバから放出される励起エネルギーと励起 LD から励起光を入射することによって光増幅ファイバに供給される励起光のエネルギーとを同じにする期間である。光増幅ファイバに蓄えられる励起エネルギーを、期間 T の間ほぼ一定に保つことによって、周期 t_{prd} が変化しても、出力光パワーを安定にすることができる。

【 0 0 8 1 】

一方、図 5 (b) を参照して、CW 励起の場合、励起 LD は定電流駆動される。励起時間幅 t_w は、CW 励起の場合に出力光のパワーを一定にすることが可能な最低の繰返し周期 t_{prd} に相当する。すなわち、CW 励起とは、図 5 (a) に示した変調励起において、期間 T を実質的に 0 にした場合の励起方法と考えることができる。

40

【 0 0 8 2 】

実施の形態 2 では、励起時間幅 t_w および励起 LD の駆動電流値 I を固定してシード光を繰返し発生させる。実施の形態 2 においても、レーザ加工装置から出力光が発せられた直後に光増幅ファイバに残っている励起エネルギーが変化しないように、出力光に関する条件に基づいて、励起 LD の励起時間幅 t_w および駆動電流値等が設定される。

【 0 0 8 3 】

変調励起の場合には、周期 t_{prd} によらず出力パルス光のパワーを安定化させることができる。したがって、たとえば外部入力信号に同期してレーザ加工装置が出力光を発す

50

る場合など、出力光が発せられる時間間隔が変動する場合でも、出力光のパワーを安定化させることができる。

【 0 0 8 4 】

さらに実施の形態 2 によれば、周期 t_{prd} を短くすることによって励起方法を変調励起から CW 励起に切換えることができる。CW 励起の場合でも出力光のパワーを安定化させることができる。実施の形態 2 によれば、励起方法に関わらず略同一のパワー P_o を有する出力光を得ることができるので、加工品質を安定させることができる。

【 0 0 8 5 】

[実施の形態 3]

実施の形態 3 は、非発光期間における励起光パワーの制御方法の点で実施の形態 1 と異なる。ただし、実施の形態 3 においても、非発光期間には光増幅ファイバに蓄えられた励起エネルギーが安定するように、非発光期間における励起光パワーが制御される。

10

【 0 0 8 6 】

実施の形態 3 に係るレーザ加工装置の全体構成は、図 1 に示した構成と同様である。さらに、制御装置 20 の構成は図 3 に示した構成と同様である。したがって、実施の形態 3 に係るレーザ加工装置の構成については詳細な説明を以後繰り返さない。

【 0 0 8 7 】

図 6 は、実施の形態 3 に従うシード LD および励起 LD の動作を説明するための図である。図 6 および図 4 を参照して、実施の形態 3 では、励起 LD は非発光期間においてパルス駆動される。この点において実施の形態 3 は実施の形態 1 と異なる。非発光期間における励起光パワーの平均値は、実施の形態 3 と実施の形態 1 とで同様である。したがって、実施の形態 3 によれば実施の形態 1 と同様に、非発光期間の長さに関わらず、光増幅ファイバに蓄えられる励起エネルギーを安定化させることができる。すなわち次の発光期間の開始時に、出力光のパワーを前回の発光期間におけるパワーと同じにすることができる。

20

【 0 0 8 8 】

非発光期間における励起 LD 駆動電流パルスのデューティ比は、制御装置 20 の記憶部 201 に予め記憶される。記憶部 201 に記憶された値に基づいて、励起 LD 制御部 206 はドライバ 22, 23A, 23B を制御する(図 3 参照)。さらに、補正部 205 は、受光素子 15 によって検出された励起光の強度に従って、駆動電流パルスのデューティ比を補正してもよい。この場合、非発光期間に光増幅ファイバに蓄えられる励起エネルギーをより安定させることができるので、出力光のパワーをより安定させることができる。

30

【 0 0 8 9 】

[実施の形態 4]

実施の形態 4 では、基本的には、実施の形態 1 と同様にシード LD および励起 LD が駆動される。ただし非発光期間が実施の形態 1 に比較して長くなる。非発光期間における励起 LD の制御の点において、実施の形態 4 は実施の形態 1 と異なる。

【 0 0 9 0 】

実施の形態 4 に係るレーザ加工装置の全体構成は、図 1 に示した構成と同様である。さらに、制御装置 20 の構成は図 3 に示した構成と同様である。したがって、実施の形態 4 に係るレーザ加工装置の構成については詳細な説明を以後繰り返さない。

40

【 0 0 9 1 】

図 7 は、実施の形態 4 に従うシード LD および励起 LD の動作を説明するための図である。図 7 を参照して、非発光期間が長い場合には、励起 LD への駆動電流の供給を停止する期間が設けられる。 T_{pr} は、光増幅ファイバに蓄えられる励起エネルギーが、光増幅ファイバが保持すべき励起エネルギーのレベルに到達するのに要する時間を表わす。このレベルは、発光期間において、光増幅ファイバによるシード光の増幅後に光増幅ファイバに残った励起エネルギーに相当する。

【 0 0 9 2 】

実施の形態 4 では、シード光パルス列の最初のパルスを発生させる時点より時間 T_{pr} だけ前に励起 LD の駆動を開始する。発光期間が開始されたときに、所定のパワーの出力

50

光パルスが発生させることができる。非発光期間が長い場合に、励起LDへの駆動電流の供給を停止する期間を設けることによって、たとえばレーザー加工装置の消費電力を低減するという効果を得ることができる。

【0093】

[実施の形態5]

図8は、実施の形態5に係るレーザー加工装置の全体構成図である。図8および図1を参照して、レーザー加工装置100Aは、カプラ16と、受光素子17と、波高値検出器18とをさらに備える点においてレーザー加工装置100と異なる。

【0094】

カプラ16は、1段目のレーザー増幅器からバンドパスフィルタ7を通過して出力されるパルス光のパワーを分岐する。カプラ16によって、バンドパスフィルタ7から出力されたパルス光エネルギーの一部は、受光素子17に入力される光となる。受光素子17は、カプラ16から光ファイバ19を通じて光を受けるとともに、その光のパワーに応じて強度が変化する信号を出力する。

【0095】

波高値検出器18は、受光素子17の出力信号の波高値を検出して、その検出結果を制御装置20に送信する。波高値検出器18は、たとえばサンプリング回路、A/D変換器、アンプ等を含んで構成されるが、その構成は特に限定されるものではない。

【0096】

制御装置20は、波高値検出器18によって検出されたパルス波高値を用いて、発光期間における最初のパルスの波高値と、パルスのパワーが安定した定常状態でのパルス波高値との差分を求める。そして、制御装置20は、その波高値の差分が0となるように、非発光期間における励起光パワーを制御することで、励起光パワーのフィードバック制御を実行する。これによってレーザー加工装置から出力される出力光のパワーを安定にすることができる。

【0097】

図9は、図8に示した波高値検出器によって検出されるパルスの波形例を示した図である。図9(a)は、発光期間における初回パルスの波高値が定常状態のパルスの波高値に比べて高い状態を示した波形図である。この場合、波高値の差分 V_1 が0となるように、制御装置20は、励起光パワーを低減させる。具体的には制御装置20は、非発光期間にドライバ22が励起LD3に供給する駆動電流が小さくなるように、ドライバ22を制御する。

【0098】

図9(b)は、発光期間における初回パルスの波高値が定常状態のパルスの波高値に比べて低い状態を示した波形図である。この場合にも、波高値の差分 V_2 が0となるように、制御装置20は、励起光パワーを低減させる。具体的には制御装置20は、非発光期間にドライバ22が励起LD3に供給する駆動電流が大きくなるように、ドライバ22を制御する。

【0099】

図10は、図8に示した制御装置の機能ブロック図である。図10および図3を参照して、実施の形態5では、補正部205は、波高値検出器18が検出したパルス波高値を受けるとともに、波高値検出器18の検出結果であるパルス波高値を、記憶部201に記憶された励起LDの駆動条件の補正に反映させる。具体的には、補正部205は、発光期間における初回パルスの波高値と定常状態でのパルス波高値との差分を算出して、その差分が0となるように、非発光期間における励起光パワーに関する条件を補正する。励起LD制御部206は、補正部205によって補正された条件に従ってドライバ22, 23A, 23Bを制御する。

【0100】

図8に示した構成では、波高値検出器18は、1段目のレーザー増幅器から出力されたパルス光の波高値を検出する。補正部205は、波高値検出器18の検出結果に基づいて、

10

20

30

40

50

ドライバ 2 2 の制御条件を変更する。

【 0 1 0 1 】

複数段のレーザ増幅器を有するレーザ加工装置である場合には、パルス光のパワーを検出するための検出器を、複数の段のうちの任意の段に設置することができる。したがって、図 8 に示した構成において、2 段目のファイバ増幅器から出力されるパルス光のパワーを検出するように、受光素子 1 7 および波高値検出器 1 8 を配置してもよい。

【 0 1 0 2 】

実施の形態 5 によれば、実施の形態 1 と同様に、出力光を構成するパルス列に含まれるパルスのパワーを安定化することができる。また、温度等の環境が変化した場合には、励起 LD に供給される電流を変えていないにもかかわらず、励起光パワーが変化する可能性がある。実施の形態 5 によれば、ファイバ増幅器から出力されるパルス光のパワーを検出して、その検出結果に基づいて非発光期間における励起光パワーをフィードバック制御する。これにより、温度等の環境が変化した場合にも出力光のパワーを安定させることができる。

【 0 1 0 3 】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【 符号の説明 】

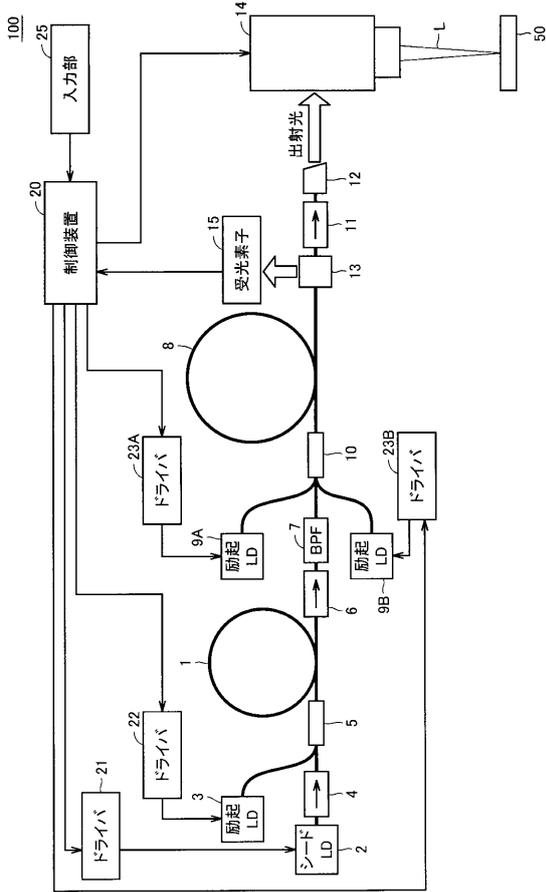
【 0 1 0 4 】

1, 8, 19 光ファイバ、2 シード LD、3, 9 A, 9 B 励起 LD、4, 6, 11 アイソレータ、5, 10 コンバイナ、7 バンドパスフィルタ、12 エンドキャップ、13 ポンプダンプ、14 レーザビーム走査機構、15, 17 受光素子、16 カプラ、18 波高値検出器、20 制御装置、21, 22, 23 A, 23 B ドライバ、25 入力部、31, 35 コア、32 クラッド、34, 38 外皮、36 第 1 クラッド、37 第 2 クラッド、50 加工対象物、100, 100 A レーザ加工装置、201 記憶部、202 条件設定部、203 シード LD 制御部、204 パワー検出部、205 補正部、206 励起 LD 制御部。

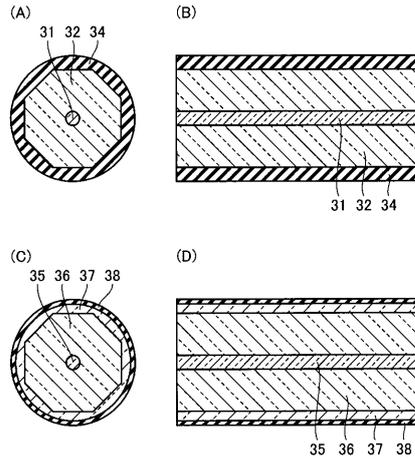
10

20

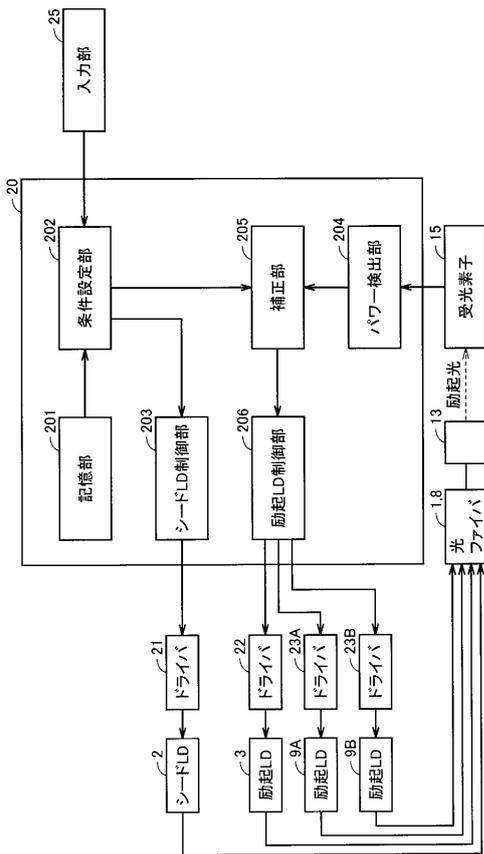
【図1】



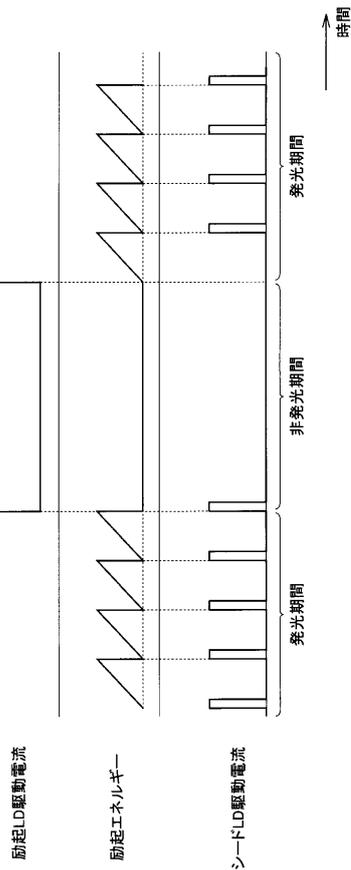
【図2】



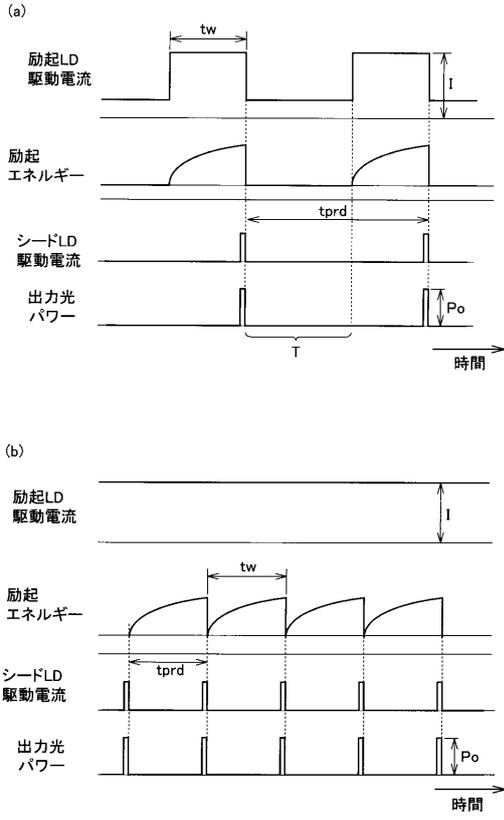
【図3】



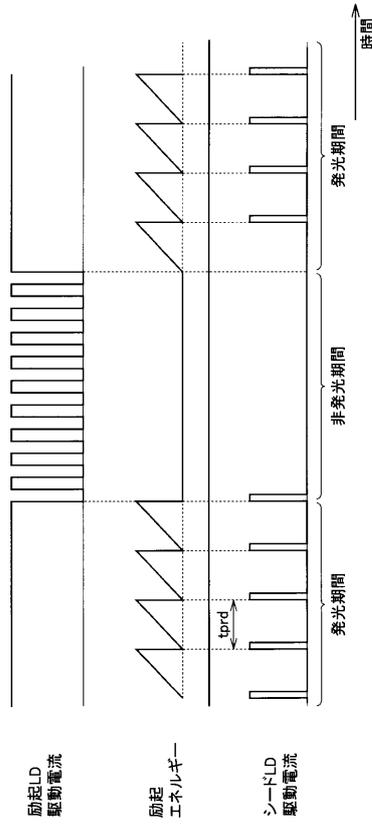
【図4】



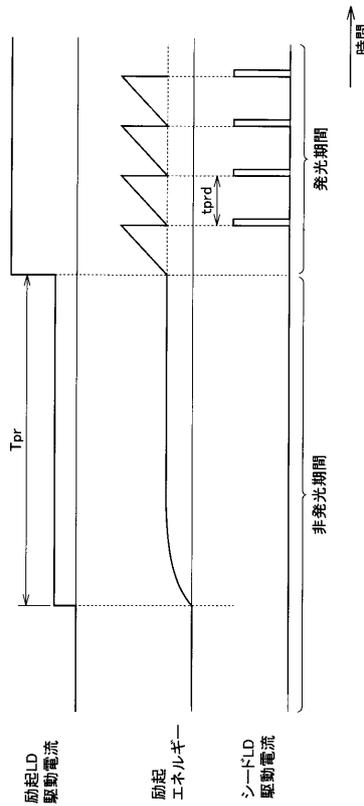
【図5】



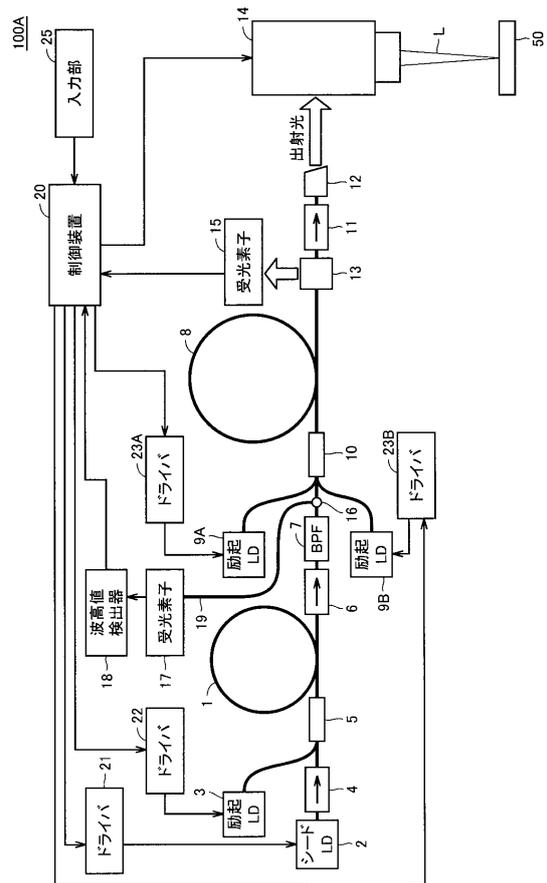
【図6】



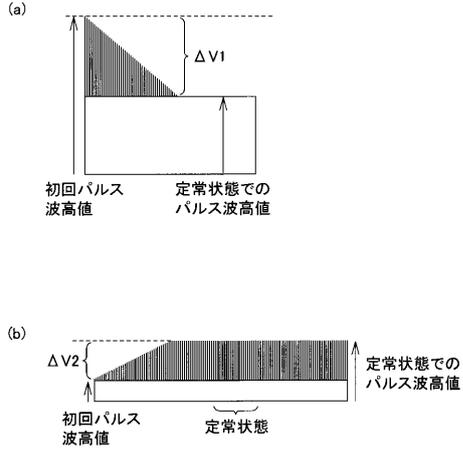
【図7】



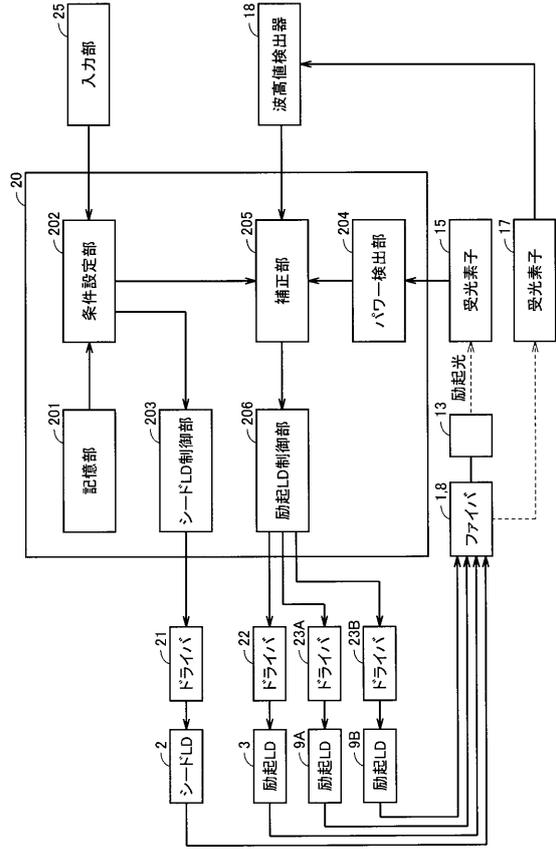
【図8】



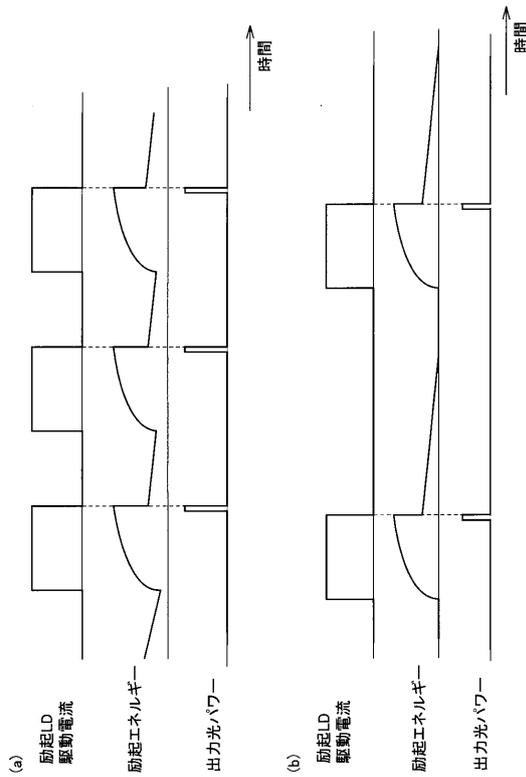
【図9】



【図10】



【図11】

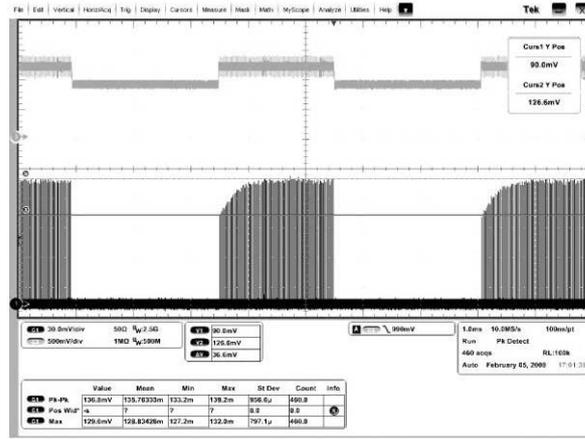


【図 12】

(a)

励起LD
駆動電流

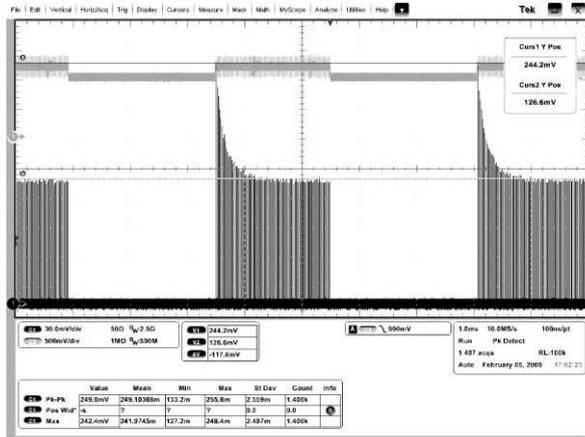
出力光パワー



(b)

励起LD
駆動電流

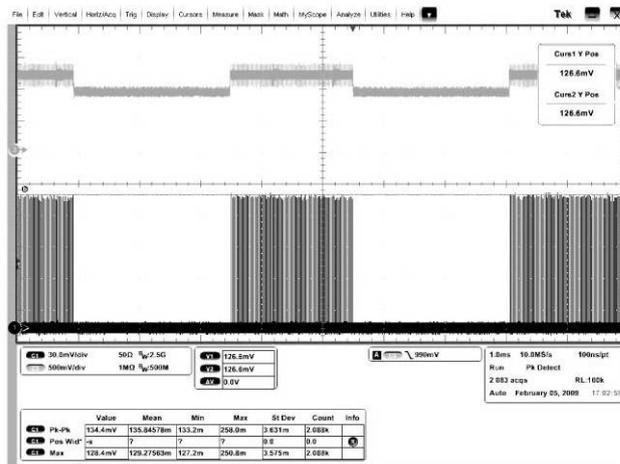
出力光パワー



(c)

励起LD
駆動電流

出力光パワー



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-337970(JP,A)
特開2001-196667(JP,A)
特開平05-259542(JP,A)
特開平04-128719(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S3/00-3/30
B23K26/00