

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5338334号  
(P5338334)

(45) 発行日 平成25年11月13日(2013.11.13)

(24) 登録日 平成25年8月16日(2013.8.16)

(51) Int.Cl.		F I			
HO 1 S	3/0941	(2006.01)	HO 1 S	3/094	S
HO 1 S	3/23	(2006.01)	HO 1 S	3/23	
HO 1 S	3/067	(2006.01)	HO 1 S	3/06	B
B 2 3 K	26/00	(2006.01)	B 2 3 K	26/00	A
			B 2 3 K	26/00	N

請求項の数 8 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2009-11122 (P2009-11122)	(73) 特許権者	000002945
(22) 出願日	平成21年1月21日(2009.1.21)		オムロン株式会社
(65) 公開番号	特開2010-171131 (P2010-171131A)		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22年8月5日(2010.8.5)		801番地
審査請求日	平成23年2月16日(2011.2.16)	(74) 代理人	100064746
			弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100083703
			弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781
			弁理士 堀井 豊
		(74) 代理人	100098316
			弁理士 野田 久登

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ光源装置およびレーザ加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

種光と励起光とが入射された場合に前記種光を増幅可能な光増幅媒体を含む光増幅器と、

前記種光としてのレーザ光を発する種光源と、

前記励起光を発する励起光源とを備え、

前記種光源は、予め設定された主照射期間にはパルス光を前記種光として出射する一方、前記主照射期間と異なる予備照射期間には、前記パルス光のピークパワーよりも小さいパワーを有し、かつ実質的な連続光を前記種光として出射し、

前記励起光源は、前記予備照射期間には、前記主照射期間に比較して前記励起光のパワーが小さくなるように前記励起光を発し、

前記種光源は、

前記主照射期間には前記パルス光を発する第1の光源と、

前記予備照射期間に前記連続光を発する第2の光源とを含み、

前記パルス光の波長は、前記連続光の波長と異なり、

前記励起光源は、前記種光が前記連続光から前記パルス光に切替わるよりも先に、前記励起光のパワーを上昇させ、

前記パルス光および前記連続光の各々の波長に基づいて、前記パルス光および前記連続光波長を分離可能に構成された分離装置をさらに備える、レーザ光源装置。

【請求項2】

10

20

前記光増幅器は、ファイバ増幅器であり、  
前記光増幅媒体は、希土類元素が添加されたコアを含む光ファイバである、請求項 1 に記載のレーザ光源装置。

【請求項 3】

前記光増幅器は、前記光増幅媒体として固体レーザ媒体を含む、請求項 1 に記載のレーザ光源装置。

【請求項 4】

前記種光源は、少なくとも 1 つの半導体レーザを含む、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のレーザ光源装置。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載のレーザ光源装置と、  
前記レーザ光源装置から出射された光を加工対象物体に向けて照射するための光学系とを備える、レーザ加工装置。

【請求項 6】

前記レーザ加工装置は、レーザマーキング装置である、請求項 5 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 7】

前記レーザ加工装置は、レーザトリミング装置である、請求項 5 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 8】

前記レーザ加工装置は、レーザリペア装置である、請求項 5 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、レーザ光源装置およびそのレーザ光源装置を備えるレーザ加工装置に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザマーキング、ドリリングおよび溶接等を代表とするレーザ加工には、高いピークパワーを有するレーザ光を出力可能なレーザ装置が要求される。

【0003】

従来のレーザ加工装置としては、Nd:YAG (Yttrium Aluminum Garnet) あるいは Nd:YVO<sub>4</sub> 結晶を含む固体レーザ共振器を光源とする加工装置がある。このような加工装置では、高いピークエネルギーを有するレーザ光パルスを出力するために Q スイッチ素子が一般的に用いられる。

【0004】

Q スイッチの代表的な例としては、音響光学 (Acoust-Optic) 素子を用いた AOQ スイッチがある。この Q スイッチ素子は、熔融石英に代表される AO 素子に RF 信号 (高周波信号) を与えることによって、素子内部にブラッグ回折を生じさせるものである。回折が生じているときレーザ共振が成立するように共振器を構成することによって、回折による光スイッチが実現される。

【0005】

Q スイッチ固体レーザを用いたレーザ加工装置においては、出射開始時の出力パルスのピークパワーが高くなりすぎるために、加工初期部における加工痕が大きくなり、結果として、加工品質が悪化するという問題が発生する可能性がある。この問題を解決するための技術として、たとえば特開 2003 - 347636 号公報 (特許文献 1) では、Q スイッチ素子に印加する RF 信号を変調させることにより、出射開始時のパルスのピークパワーを抑制するという技術が記載されている。

【0006】

また、高ピークパワーを有するレーザ光を出力させるために、レーザ光を発生させるた

10

20

30

40

50

めの共振器と、共振器からのレーザ光を増幅する増幅器とを備えたレーザ光源装置の構成が提案されている。増幅器には、たとえば、種光としての微弱なレーザ光を増幅することにより、高ピークパワーの光を出力するMOPA (Master Oscillator and Power Amplifier) 方式を採用したものが用いられる。

【0007】

たとえば、種光源に半導体レーザ(LD)を用いるとともに、希土類元素がコアにドーブされた光ファイバ(一般的に、希土類添加ファイバ等と呼ばれるが、以後においては単に「光ファイバ」と称する場合もある)により構成された増幅器を用いたレーザ光源、およびそのレーザ光源を含むレーザ加工装置が提案されている。

【0008】

特開2006-305597号公報(特許文献2)には、希土類添加ファイバをレーザ媒質とするファイバレーザを備えたレーザ加工装置が開示されている。このレーザ加工装置では、加工動作の直前に開閉手段を閉じた状態で励起用レーザ光源を駆動することにより、レーザ媒質を、被加工物の加工が可能となる強度の光を発生可能な高励起状態にする。そしてレーザ媒質がその高励起状態になると開閉手段が開放される。これにより、レーザ光が出射される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2003-347636号公報

【特許文献2】特開2006-305597号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

加工対象物へのレーザ加工は、必ずしも連続的に行なわれる(レーザ光を照射し続ける)のではなく、加工と非加工、すなわちレーザ光の照射と非照射とが繰返されることが多い。

【0011】

レーザ光を発生させるための共振器と、共振器からのレーザ光を増幅する増幅器とを備えたレーザ光源装置の場合、レーザ光を断続的に照射するために、種光源から種光を出射したり、出射を停止したりする必要がある。種光源から種光(パルス光)が出射されていないときに励起光源からの励起光が増幅器内の光増幅媒体(たとえば上記の希土類添加ファイバ)に入射し続けた場合、増幅器からの増幅光の出射開始時において、定常状態に比べてピークエネルギーが大幅に高い増幅光が増幅器から出射される可能性がある。レーザ光源装置をレーザ加工装置に用いる場合には、加工初期部のみ加工痕が大きくなるために加工品質が悪化するという問題が発生することが考えられる。

【0012】

一方、励起光源からの光出力のオンオフを種光源からの光出力のオンオフと同期させた場合には、増幅器から出射したパルス光のピークパワーの大きさが所望値となるまでにある程度の時間が必要となる。レーザ光源装置をレーザ加工装置に用いる場合には、待ち時間が発生することになる。したがって加工に必要な時間が長くなるという問題が発生する。

【0013】

本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、その目的は、種光源から任意の繰り返し周波数および任意のパルス幅で出力されるパルス光の出射および出射停止を切換える構成において、出射開始時に、所望のピークパワーを有するパルス光を得ることが可能なレーザ光源装置、およびそのレーザ光源装置を備えるレーザ加工装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

10

20

30

40

50

本発明は要約すれば、レーザ光源装置であって、種光と励起光とが入射された場合に種光を増幅可能な光増幅媒体を含む光増幅器と、種光としてのレーザ光を発する種光源と、励起光を発する励起光源とを備える。種光源は、予め設定された主照射期間にはパルス光を種光として出射する。種光源は、主照射期間と異なる予備照射期間には、パルス光のピークパワーよりも小さいパワーを有し、かつ実質的な連続光を種光として出射する。励起光源は、予備照射期間には、主照射期間に比較して励起光のパワーが小さくなるように励起光を発する。

【0015】

好ましくは、励起光源は、種光が連続光からパルス光に切替わるよりも先に、励起光のパワーを上昇させる。

10

【0016】

好ましくは、光増幅器は、ファイバ増幅器である。光増幅媒体は、希土類元素が添加されたコアを含む光ファイバである。

【0017】

好ましくは、光増幅器は、光増幅媒体として固体レーザ媒体を含む。

好ましくは、種光源は、パルス光を発する第1の光源と、連続光を発する第2の光源とを含む。

【0018】

好ましくは、パルス光の波長は、連続光の波長と異なる。レーザ光源装置は、パルス光および連続光の各々の波長に基づいて、パルス光および連続光波長を分離可能に構成された分離装置をさらに備える。

20

【0019】

好ましくは、種光源は、少なくとも1つの半導体レーザを含む。

好ましくは、種光源は、種光源から種光を周期的に出射可能に構成された出射制御部を含む。出射制御部は、種光源からパルス光が出射されるときに比較して種光の非出射期間を短くすることにより、種光として連続光を出射する。

【0020】

好ましくは、出射制御部は、Qスイッチを含む。

好ましくは、種光源は、固体レーザ共振器をさらに含む。

【0021】

好ましくは、種光源は、ファイバ共振器をさらに含む。

30

本発明の他の局面に従うと、レーザ加工装置であって、上記のいずれかに記載のレーザ光源装置と、レーザ装置から出射された光を加工対象物体に向けて照射するための光学系とを備える。

【0022】

好ましくは、レーザ加工装置は、レーザマーキング装置である。

好ましくは、レーザ加工装置は、レーザトリミング装置である。

【0023】

好ましくは、レーザ加工装置は、レーザリペア装置である。

【発明の効果】

40

【0024】

本発明によれば、レーザ光源装置から光を出射する場合に、出射開始のタイミングに依存することなく、出射開始時から所望のピークパワーを有するパルス光を得ることができる。

【0025】

また、本発明によれば、出射開始時から所望のピークパワーを有するパルス光を得ることができるため、高品質のレーザ加工を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本実施の形態に係るレーザ光源装置、およびそのレーザ光源装置を備えるレーザ

50

加工装置の構成を示す図である。

【図2】光ファイバ1, 8, 221に適用可能なダブルクラッドファイバおよびシングルクラッドファイバの構造の例を示した断面図である。

【図3】本実施の形態に従う種光および励起光の制御を模式的に説明するタイミングチャートである。

【図4】実質的に連続的な光を例示する図である。

【図5】レーザ加工時にレーザ光源装置から出力されるパルス光の理想的な状態を示した図である。

【図6】励起光の光出力(パワー)を一定に保ったまま種光の出射のみ制御した場合の増幅光の光出力を模式的に説明するタイミングチャートである。

10

【図7】図6に示した増幅光による加工の結果を説明する模式図である。

【図8】図6に示す種光および励起光の制御を実行した場合における、種光の繰り返し周波数と、ファイバ増幅器からの出射開始直後の増幅光のピークパワーとの関係を示した図である。

【図9】予備照射期間における種光のパワーを変化させたときの増幅光のパワーの変化を示す図である。

【図10】予備照射期間における励起光のパワーを変化させたときの増幅光のパワーの変化を示す図である。

【図11】励起光パワーの上昇タイミングを変化させたときの増幅光のパワーの変化を示す図である。

20

【図12】樹脂にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第1の図である。

【図13】樹脂にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第2の図である。

【図14】樹脂にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第3の図である。

【図15】金属にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第1の図である。

【図16】金属にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第2の図である。

30

【図17】本実施の形態に係るレーザ光源装置の第1の変形例の構成図である。

【図18】本実施の形態に係るレーザ光源装置の第2の変形例の構成図である。

【図19】本実施の形態に係るレーザ光源装置の第3の変形例の構成図である。

【図20】本実施の形態に係るレーザ光源装置の第4の変形例の構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下において、本発明の実施の形態について図面を参照して詳しく説明する。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返さない。

【0028】

図1は、本実施の形態に係るレーザ光源装置、およびそのレーザ光源装置を備えるレーザ加工装置の構成を示す図である。図1を参照して、レーザ加工装置100は、レーザ光源装置110と、レーザ照射装置120とを備える。

40

【0029】

レーザ光源装置110は、光ファイバ1と、半導体レーザ2, 3と、アイソレータ4, 6と、結合器5とを備える。

【0030】

光ファイバ1は、光増幅成分である希土類元素が添加されたコアを有する。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(ネオジウム)などがある。本実施の形態では、コアに添加された希土類元素はYb(イッテルビウム)である。

50

## 【 0 0 3 1 】

一般的に光ファイバでは、コアの周囲に、コアよりも屈折率がわずかに低い（たとえば1%前後程度低い）クラッドが設けられている。本実施の形態では、光ファイバ1には、コアの周囲にクラッドが二重に設けられたダブルクラッドファイバが適用される。ただし、ダブルクラッドファイバに代えて、コアの周囲にクラッドが一重に設けられたシングルクラッドファイバも光ファイバ1に適用可能である。

## 【 0 0 3 2 】

図2は、光ファイバ1, 8, 221に適用可能なダブルクラッドファイバおよびシングルクラッドファイバの構造の例を示した断面図である。なお光ファイバ8, 221については後に詳細に説明する。

10

## 【 0 0 3 3 】

図2(A)および図2(B)は、ダブルクラッドファイバの延在方向に対してそれぞれ垂直方向および水平方向の断面図である。

## 【 0 0 3 4 】

図2(C)および図2(D)は、シングルクラッドファイバの延在方向に対してそれぞれ垂直方向および水平方向の断面図である。

## 【 0 0 3 5 】

図2(A)および図2(B)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51Aと、コア51Aの周囲に設けられ、かつコア51Aよりも屈折率が低いクラッド(第1クラッド)52Aと、クラッド52Aの周囲に設けられ、かつクラッド52Aよりも屈折率が低いクラッド53A(第2クラッド)と、被覆54Aとを含む。

20

## 【 0 0 3 6 】

図2(C)、図2(D)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51Bと、コア51Bの周囲に設けられ、かつコア51Bよりも屈折率が低いクラッド52Bと、クラッド52Bの周囲に設けられる被覆54Bとを含む。

## 【 0 0 3 7 】

図1に戻り、半導体レーザ2は、種光を発する種光源である。種光の波長はたとえば $1062 \pm 2$  nmである。後に詳細に説明するように、半導体レーザ2は、種光として、パルス光および、実質的な連続光(以下では単に「連続光」と呼ぶ場合もある)を発する。すなわち半導体レーザ2はパルス発振と連続発振とを切替える。

30

## 【 0 0 3 8 】

アイソレータ4は一方向の光のみを透過し、その光と逆方向に入射する光を遮断する。本実施の形態では、アイソレータ4は、半導体レーザ2から発せられる種光を通過させるとともに、光ファイバ1からの戻り光を遮断する。これによって半導体レーザ2に戻り光が入射するのを防ぐことができるので、半導体レーザ2の損傷を防ぐことができる。

## 【 0 0 3 9 】

半導体レーザ3は、光ファイバ1のコアに添加された希土類元素を励起するための励起光を発する励起光源である。励起光の波長は、光ファイバのコアに添加される希土類元素の種類に応じて定められる。たとえば希土類元素がYbである場合、励起光の波長はたとえば $940 \pm 10$  nmである。

40

## 【 0 0 4 0 】

結合器5は、半導体レーザ2からの種光および半導体レーザ3からの励起光を結合させて光ファイバ1に入射させる。結合器5は、たとえばWDM(Wavelength Division Multiplexing)結合器やコンバイナ等を適用できる。

## 【 0 0 4 1 】

本実施の形態では光ファイバ1はダブルクラッドファイバであるので、半導体レーザ2からの種光はコアに入射する一方で、半導体レーザ3からの励起光はダブルクラッドファイバの第1クラッドに入射する。半導体レーザ3からの励起光は第1クラッドと第2クラッドとの境界面で反射を繰り返しながら第1クラッドを伝播する。第1クラッドを伝播する励起光は、コアを通過する際にその一部が希土類元素に吸収される。これにより希土類元

50

素が励起され（基底準位から上位準位に遷移され）、反転分布状態が得られる。この状態において、半導体レーザ2からの種光が光ファイバ1のコアに入射すると、誘導放出が生じる。この誘導放出によって種光（パルス光）が増幅される。

【0042】

ダブルクラッドファイバの場合、第1クラッドの中に励起光を閉じ込めることによって、コア中の希土類元素に吸収される励起光の吸収量を増やすことができる。これにより光ファイバ1から出力されるパルス光のパワーを高くすることができる。

【0043】

なお、光ファイバ1がシングルクラッドファイバである場合には、種光および励起光とともにコアに入射される。

【0044】

アイソレータ6は、光ファイバ1から出力されたパルス光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。

【0045】

レーザ光源装置110は、さらに、バンドパスフィルタ7と、光ファイバ8と、半導体レーザ9A～9Dと、結合器10と、アイソレータ11と、エンドキャップ12と、コリメータレンズ13とを備える。

【0046】

バンドパスフィルタ7は、所定の波長帯の光を通過させるよう構成される。「所定の波長帯」とは、具体的には、光ファイバ1から出力されるパルス光のピーク波長を含む波長帯である。なお、光ファイバ1から自然放出光が放出された場合、その自然放出光はバンドパスフィルタ7により除去される。

【0047】

光ファイバ8は、希土類元素が添加されたコアを含む。本実施の形態では、光ファイバ8は、光ファイバ1と同様にダブルクラッドファイバである。光ファイバ8の構造は、図2に示したダブルクラッドファイバの構造と同様であるので以後の説明は繰返さない。なお、希土類元素が添加されたコアを有するシングルクラッドファイバを光ファイバ8に用いてもよい。

【0048】

半導体レーザ9A～9Dは、光ファイバ8のコアに含まれる希土類元素を励起するための励起光を発する励起光源である。本実施の形態では光ファイバ8に対して4個の励起光源が設けられているが、励起光源としての半導体レーザの個数は4個に限定されるものではない。

【0049】

結合器10は、バンドパスフィルタ7を通過したパルス光と、半導体レーザ9A～9Dからの光とを結合して光ファイバ8に入射させる。バンドパスフィルタ7を通過したパルス光はダブルクラッドファイバ（光ファイバ8）のコアを伝播する。半導体レーザ9A～9Dの光は、ダブルクラッドファイバである光ファイバ8の第1クラッドに入射する。光ファイバ1と同様に、光ファイバ8のコアに含まれる希土類元素は半導体レーザ9A～9Dからの光により励起される。バンドパスフィルタ7を通過したパルス光が光ファイバ8のコアに入射すると、そのパルス光は、希土類元素の誘導放出によって増幅される。

【0050】

光ファイバ1および8における光増幅作用により、加工対象物50に対する加工が可能な大きさのピークパワーを有するパルス光が得られる。なお、バンドパスフィルタ7が設けられていない場合、光ファイバ1から放出される自然放出光が光ファイバ8に入射する可能性がある。その自然放出光が光ファイバ8により増幅されることによって、加工に用いられるパルス光の増幅率が低下する。光ファイバ1から放出される自然放出光をバンドパスフィルタ7により除去することによって、パルス光を高効率で増幅できる。

【0051】

アイソレータ11は光ファイバ8から出力されるパルス光を通過させるとともに、光フ

10

20

30

40

50

ファイバ 8 に戻る光を遮断する。アイソレータ 1 1 を通過したパルス光は、アイソレータ 1 1 に付随する光ファイバの端面から大気中に出力される。エンドキャップ 1 2 は、ピークパワーの高いパルス光が光ファイバから大気中に出力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。

【 0 0 5 2 】

コリメータレンズ 1 3 は、エンドキャップ 1 2 から出力されたパルス光の空間的な大きさ（ビーム径）を所定の大きさに調整する。コリメータレンズ 1 3 を通ったパルス光はレーザー照射装置 1 2 0 に入射する。

【 0 0 5 3 】

このように、レーザー光源装置 1 1 0 は、種光源としての半導体レーザー 2、励起光源としての半導体レーザー 3、種光と励起光とが入射された場合に種光を増幅可能な光増幅媒体（光ファイバ 1, 8）を含む光増幅器とを備える。図 1 に示した構成によれば、光増幅器は、希土類添加ファイバ（光ファイバ 1, 8）を含むファイバ増幅器である。なお、図 1 に示した構成によれば、ファイバ増幅器が 2 段に配置される。ただし、ファイバ増幅器の数は 2 に限定されず、1 でもよいし、3 以上でもよい。

10

【 0 0 5 4 】

レーザー照射装置 1 2 0 は、走査装置 1 4 と、集光レンズ 1 5 とを備える。走査装置 1 4 は、入射された光を少なくとも 1 次元方向に走査する。本実施の形態では、走査装置 1 4 は、入射された光を二次元方向に操作可能である。なお、このような走査装置としては、たとえばガルバノミラー、ポリゴンミラー、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）スキャナなどを用いることができる。

20

【 0 0 5 5 】

集光レンズ 1 5 は走査装置 1 4 からのパルス光を集光する。集光されたパルス光（レーザー光 L）は加工対象物 5 0 の表面に照射される。これにより加工対象物 5 0 が加工される。

【 0 0 5 6 】

本実施の形態では、レーザー加工装置 1 0 0 をレーザーマーキング装置として用いる。加工対象物 5 0 の表面には、文字や図形等からなる情報がパルス光によって印字（マーキング）される。

【 0 0 5 7 】

レーザー加工装置 1 0 0 は、さらに、制御部 2 0 と、パーソナルコンピュータ（PC）2 5 と、信号発生回路 3 0 と、ドライバ 3 2, 3 3, 3 4 A ~ 3 4 D を含む。信号発生回路 3 0 は、ファンクションジェネレータ 3 0 A と、パルスジェネレータ 3 0 B とを含む。

30

【 0 0 5 8 】

制御部 2 0 は、信号発生回路 3 0 およびドライバ 3 2, 3 3, 3 4 A ~ 3 4 D を制御することにより、半導体レーザー 2, 3, 9 A ~ 9 D を制御する。なお走査装置 1 4 は制御部 2 0 により制御されてもよいし、制御部 2 0 とは異なる制御装置により制御されてもよい。

【 0 0 5 9 】

パーソナルコンピュータ 2 5 は、レーザー加工の制御に関する情報をユーザから受付けて、その制御情報を制御部 2 0 に送信する。このような制御情報としては、パルス光の走査速度および繰り返し周波数、加工対象物の材質（金属、樹脂等）などである。

40

【 0 0 6 0 】

ファンクションジェネレータ 3 0 A は、所望の波形および / または所望の周波数を有する信号電圧を発生させる。パルスジェネレータ 3 0 B は、半導体レーザー 2 を駆動するための指示を制御部 2 0 およびファンクションジェネレータ 3 0 A により発生された信号電圧に応じて、ドライバ 3 2 を制御するための制御電圧を発生させる。

【 0 0 6 1 】

半導体レーザー 2 をパルス発振させる場合、所定の繰り返し周波数および所定のデューティ比を有する信号がパルスジェネレータ 3 0 B からドライバ 3 2 に送られる。ドライバ 3

50



2はこの信号に応じた駆動電流を半導体レーザ2に供給する。これにより半導体レーザ2はパルス発振して、パルス光を種光として出射する。パルス光の繰返し周波数はたとえば10(kHz)~1(MHz)の範囲内の適切な値に定められ、パルス幅はたとえば5~100(ns)の範囲内の適切な値に定められる。

【0062】

半導体レーザ2を連続発振させる場合、強度が実質的に一定である信号がパルスジェネレータ30Bからドライバ32に送られる。ドライバ32はこの信号に応じた駆動電流を半導体レーザ2に供給する。これにより半導体レーザ2は連続発振して、連続光を種光として出射する。

【0063】

さらに、ドライバ32は、半導体レーザ2の連続発振時およびパルス発振時において、駆動電流の大きさを異ならせる。たとえばパルスジェネレータ30Bが半導体レーザ2の連続発振時およびパルス発振時に信号の強度を変化させるとともに、ドライバ32がその信号を増幅することによって、駆動電流を変化させることが可能になる。

【0064】

ドライバ33, 34A~34Dは、制御部20からの指示に応じて半導体レーザ3, 9A~9Dに駆動電流をそれぞれ供給する。ドライバ33, 34A~34Dの各々は、対応する半導体レーザを連続発振させるように駆動電流を印加する。これにより半導体レーザ3, 9A~9Dは励起光として連続光を出射する。

【0065】

さらに、ドライバ33, 34A~34Dは、制御部20からの指示に応じて、駆動電流の大きさを変化させる。これにより、半導体レーザ3, 9A~9Dの各々から出力される励起光のパワーが変化する。

【0066】

このように、制御部20、信号発生回路30およびドライバ32により、半導体レーザ2からの種光の出射開始および終了のタイミングが制御されるとともに、種光の種類(パルス光または実質的な連続光のいずれか)、パルス光の繰返し周波数、パルス光のデューティ比、パルス光のピークパワー、および連続光のパワーが制御される。同様に、制御部20およびドライバ33により、半導体レーザ3からの励起光の出射開始および終了のタイミングが制御されるとともに、励起光のパワーが制御される。同様に、制御部20およびドライバ34A~34Dにより、半導体レーザ9A~9Dからの励起光の出射開始および終了のタイミングが制御されるとともに、励起光のパワーが制御される。

【0067】

なお、図1には示していないが、半導体レーザの温度を制御するための温度コントローラが各半導体レーザに対応して設けられていてもよい。温度コントローラを用いて半導体レーザの温度を安定させることにより半導体レーザの出力を安定させることができる。さらに、バンドパスフィルタ7および/またはアイソレータ6に対応して温度コントローラが設けられていてもよい。

【0068】

図3は、本実施の形態に従う種光および励起光の制御を模式的に説明するタイミングチャートである。

【0069】

図3および図1を参照して、時刻t1以前の期間および時刻t2以後の期間においては、加工対象物50に対するレーザ加工が行なわれる。これらの期間においては、種光源から種光としてパルス光が出力されるとともに、励起光源から励起光として連続光が出力される。これにより光ファイバ1, 8は、種光を増幅する。

【0070】

図3では、種光のピークパワーをP1sと示し、励起光のパワーをP1eと示し、光ファイバ1, 8により増幅された光(増幅光)のピークパワーP1aと示す。なお、「種光源」とは図1に示す半導体レーザ2に対応し、「励起光源」は図1に示す半導体レーザ3

10

20

30

40

50

、9 A ~ 9 Dを総括的に示したものである。ただし図3中の「励起光源」を半導体レーザー3とし、「増幅光」を光ファイバ1から出射された光とした場合にも以下の説明は成立する。

【0071】

時刻 $t_1$ から時刻 $t_2$ までの期間においては、加工対象物50に対するレーザー加工は実行されない。この期間においては、種光源から、実質的に連続的な光が種光として出射されるとともに、そのピークパワーが $P_{1s}$ から $P_{2s}$ に低下する。

【0072】

一方、励起光源は、種光源からの種光が、パルス光から実質的に連続的な光に変化するのと同期して、連続光のパワーを $P_{1e}$ から $P_{2e}$ に低下させる。すなわち時刻 $t_1$ において励起光源は、励起光のパワーを低下させる。

10

【0073】

ただし励起光源は、種光源からの種光が、実質的に連続的な光からパルス光に変化するよりも先に、励起光のパワーを $P_{2e}$ から $P_{1e}$ に上昇させる。図3に示すように、励起光のパワーは、時刻 $t_3$ において、 $P_{2e}$ から $P_{1e}$ に上昇する。したがって励起光のパワーが $P_{2e}$ である期間は時刻 $t_1$ から時刻 $t_3$ までの期間となる。半導体レーザー3、9 A ~ 9 Dの各々は、互いに同期して励起光のパワーを上昇および低下させる。

【0074】

増幅光のパワーは、時刻 $t_1$ から時刻 $t_3$ までの期間においては、 $P_{2a}$ となり、時刻 $t_1$ 以前および時刻 $t_3$ 以後においては $P_{1a}$ となる。

20

【0075】

以下では、種光源からパルス光が出射される期間を「主照射期間」と称し、種光源から実質的に連続的な光が照射される期間を「予備照射期間」と称する。主照射期間には、レーザー加工が可能となるパワー( $P_{1a}$ )を有する増幅光が光ファイバ8から出力される。この主照射期間は、レーザー光源装置110の照射条件によって予め設定される。予備照射期間は、ある主照射期間の前の期間である。

【0076】

次に、予備照射期間において種光源から出射される「実質的に連続的な光」について具体的に説明する。

【0077】

図4は、実質的に連続的な光を例示する図である。

30

図4(A)は、予備照射期間における種光の波形例を示す図である。図4(A)を参照して、種光は時間軸に対してパワーが連続的に推移する光である。

【0078】

図4(B)は、予備照射期間における種光の別の波形例を示す図である。この例では、種光はパルス光である。ただし、パルス光の繰り返し周波数は、主照射期間における種光の繰り返し周波数に比べて著しく大きい。したがって、予備照射期間におけるパルス光の時間間隔は、主照射期間におけるパルス光の時間間隔に比べて著しく小さくなる。したがって、予備照射期間における種光は、連続的とみなすことが可能な光となる。

【0079】

また、図示しないが、パルス光のデューティ比(パルス光の出射の周期に対する出射期間の比)を大きくすることによって、実質的に連続的な光を種光源から出力してもよい。デューティ比を大きくすることによってパルス光の非出射期間を短くできるので、実質的に連続的な光を得ることができる。

40

【0080】

このように「実質的に連続的な光」とは、時間軸に対してパワーが連続的に推移する(パワーが一定あるいは連続的に変化する)光を含む。さらに、「実質的に連続的な光」とは、時間軸に対してパワーが不連続に推移したとしても、その不連続期間が、種光としてパルス光が出射されているときの不連続期間に比較して極めて短くなるパルス光を含む。

【0081】

50

図5は、レーザ加工時にレーザ光源装置から出力されるパルス光の理想的な状態を示した図である。

【0082】

図5を参照して、レーザ加工の開始時に、加工トリガ信号（たとえば制御部から出力される）がオン状態になる。これにより、レーザ光源装置からパルス光、すなわち増幅光が出射される。理想的な状態では、加工トリガ信号からの遅延なくパルス光が出力されるとともに、加工開始時からパルス光のピークパワーが安定する。さらに、加工トリガ信号のオフ期間の長さにかかわらず、加工開始時からパルス光のピークパワーが安定する。

【0083】

このようにパルス光が出射されることによって、加工時間および非加工時間の長さにかかわらず、パワーが安定したパルス光（レーザ光）を加工開始時から遅延なく出力できるので、高品質の加工を行なうことが可能になる。

【0084】

本実施の形態では、励起光を光増幅媒体（光ファイバ）に入射させることにより、光増幅媒体を励起状態にする。いわば光増幅媒体にエネルギーを蓄積する。励起状態の光増幅媒体に種光を入射することにより、光増幅媒体は、蓄積したエネルギーの一部を光として放出する。これにより、種光が増幅される。

【0085】

図5に示すように、レーザ光を断続的に照射するためには、種光源から種光を出射したり出射を停止したりする必要がある。しかしながら、種光源からの種光の出射および出射停止のみ制御する場合には、次に説明する問題が発生しうる。

【0086】

図6は、励起光の光出力（パワー）を一定に保ったまま種光の出射のみ制御した場合の増幅光の光出力を模式的に説明するタイミングチャートである。

【0087】

図6を参照して、時刻 $t_{11}$ 以前の期間および時刻 $t_{12}$ 以後の期間において、加工対象物50に対するレーザ加工が行なわれる。これらの期間においては、ピークパワー $P_s$ を有するパルス光が種光源から出射されるとともに、パワー $P_e$ を有する励起光が励起光源から出射される。光増幅媒体（希土類添加ファイバ）を含む光増幅器は、種光を増幅することによりピークパワー $P_a$ を有する増幅光（パルス光）を出射する。

【0088】

時刻 $t_{11}$ から時刻 $t_{12}$ までの期間においては、種光源からの種光の出射が停止される。ただし励起光源からの励起光の出射が継続される。この期間において、光増幅媒体にエネルギーが蓄積される。この状態で光増幅媒体に種光が入射した場合、光増幅媒体から放出されるエネルギーが大きくなる。したがって、増幅光の出射の開始直後（時刻 $t_{12}$ ）において、ピークパワーが極端に大きなパルス光（以後、ジャイアントパルス（略称：GP）と呼ぶ）が光増幅器から出力される。

【0089】

図7は、図6に示した増幅光による加工の結果を説明する模式図である。図7を参照して、スポット $SP_1 \sim SP_5$ は、高いピークエネルギーを有する増幅光が物体表面に照射されたことにより形成されるスポットである。スポット $SP_1$ からスポット $SP_5$ への方向が加工進行方向、すなわち、増幅光の走査方向である。

【0090】

スポット $SP_1$ は、光増幅器からの出射が開始された直後のパルス光により加工対象物表面に形成された加工痕である。図6に示されるように、出射開始直後のパルス光のピークエネルギーは、定常状態のパルス光のピークエネルギー（図6における $P_a$ に対応）に比較して著しく大きい。このため、スポット $SP_1$ の直径 $d_1$ が他のスポットの直径（たとえばスポット $SP_2$ の直径 $d_2$ ）に比べ著しく大きくなる。このように物体表面が加工された場合には、加工精度の低下等、加工品質につながる問題が発生する可能性がある。

【0091】

10

20

30

40

50

図 8 は、図 6 に示す種光および励起光の制御を実行した場合における、種光の繰り返し周波数と、ファイバ増幅器からの出射開始直後の増幅光のピークパワーとの関係を示した図である。

【 0 0 9 2 】

図 8 を参照して、ピークパワーの基準 ( 1 0 0 % ) は、繰り返し周波数を 7 0 k H z に設定した場合における出射開始直後のパルス光のピークパワーとした。また、種光の非照射期間 ( 図 6 において、時刻  $t_{11}$  から時刻  $t_{12}$  までの期間に対応 ) を約 5 0  $\mu$  s とした。この基準は、便宜上、上記のように定めたものであり、基準の設定はこのように限定されるものではない。繰り返し周波数が高くなるほど、ファイバ増幅器からの出射開始直後のパルス光のピークパワーは高くなる。

10

【 0 0 9 3 】

再び図 3 を参照して、本実施の形態では、予備照射期間において、種光は実質的な連続光となる。さらに、予備照射期間における種光のパワーは、主照射期間における種光のピークパワーよりも小さい。さらに、予備照射期間における励起光のパワーは、主照射期間における励起光のピークパワーよりも小さい。

【 0 0 9 4 】

予備照射期間における励起光のパワーを、主照射期間における励起光のピークパワーよりも小さくすることによって、光ファイバ 1 , 8 におけるエネルギーの蓄積を抑制する。さらに、本実施の形態では、予備照射期間において、実質的に連続的な光を種光として光ファイバ 1 , 8 に入射させる。光ファイバ 1 , 8 は、種光の入射により増幅光を出射する。これにより光ファイバ 1 , 8 は蓄積されたエネルギーの一部を放出する。これにより光ファイバ 1 , 8 に蓄積されるエネルギーが増加し続けるのを抑制できる。

20

【 0 0 9 5 】

これにより、本実施の形態では、予備照射期間において、光ファイバに蓄積されるエネルギーが大きくなりすぎるのを抑制できる。したがって、主照射期間の開始時において、ファイバ増幅器からジャイアントパルスが出射されることを抑制できる。

【 0 0 9 6 】

さらに、予備照射期間においては、種光として実質的に連続的な光が光ファイバ 1 ( および 8 ) に入射される。これにより、予備照射期間にピークパワーが比較的高いパルス光がファイバ増幅器から出射されることを回避できる。本実施の形態では、予備照射期間においてもファイバ増幅器から増幅光が出射される。予備照射期間にファイバ増幅器から出射された増幅光のピークエネルギーが高い場合、加工対象物の表面が加工される可能性がある。予備照射期間における種光を実質的に連続的な光とすることによって、予備照射期間にファイバ増幅器から出射される光のパワーを抑制できる。したがって、加工対象物表面に対して不要な加工がなされるのを回避できる。

30

【 0 0 9 7 】

さらに、本実施の形態では、種光が実質的な連続光からパルス光に切り換わるに先立って、励起光のパワーが高められる。主照射期間の開始時において光ファイバ 1 , 8 に蓄積されるエネルギーが小さすぎると、主照射期間の開始時に射出されるパルス光のピークパワーが、必要な大きさ (たとえば加工に十分な大きさ) に達していない可能性がある。本実施の形態によれば、予め励起光のパワーを上昇させることによって、光ファイバ 1 , 8 にエネルギーを適切に蓄積できるので、所望の大きさのパワー (たとえば加工に十分な大きさのパワー) を有するパルス光を得ることができる。

40

【 0 0 9 8 】

< 照射条件について >

図 9 は、予備照射期間における種光のパワーを変化させたときの増幅光のパワーの変化を示す図である。なお励起光のパワーは、主照射期間と予備照射期間とで同じとした。

【 0 0 9 9 】

図 9 において、「 C W レベル」とは、主照射期間における種光のパワーに対する、予備照射期間の種光のパワーの比である。 C W レベルが 0 % の場合には、種光が出力されてい

50

ない。これは、図 6 に示した種光および励起光の制御が実行された状態を示す。

【 0 1 0 0 】

増幅光の波形図（「全体」と示す）を参照すると、CWレベルが 0 % の場合には、主照射期間の開始直後の増幅光のピークエネルギーが、それ以後のピークエネルギーに比較して著しく大きくなるのが分かる。CWレベルがパワー比が 15 % ~ 20 % の間の値において、増幅光のピークエネルギーを主照射期間の開始直後から安定させることができる。

【 0 1 0 1 】

また、予備照射期間における増幅光の波形を拡大した図（図中「部分（予備照射）」と示す）を参照すると、CWレベルが高くなるにつれて、予備照射期間における増幅光のパワーが大きくなるのが分かる。

10

【 0 1 0 2 】

図 10 は、予備照射期間における励起光のパワーを変化させたときの増幅光のパワーの変化を示す図である。なお、予備照射期間における種光のパワーは、主照射期間における種光のパワーの 15 % とした。すなわち CWレベルは 15 % である。

【 0 1 0 3 】

図 10 を参照して、「励起光レベル」とは、主照射期間の励起光のパワーに対する、予備照射期間の励起光のパワーの比である。励起光レベルを大きくするに従って、主照射期間の開始直後における増幅光のパワーが大きくなる。ただし、励起光レベルが大きくなると、予備照射期間における増幅光のパワーも大きくなる。

【 0 1 0 4 】

20

図 11 は、励起光パワーの上昇タイミングを変化させたときの増幅光のパワーの変化を示す図である。なお、CWレベルは、15 % とした。また励起光レベルは 75 % とした。

【 0 1 0 5 】

図 11 を参照して、種光が実質的に連続的な光からパルス光に切り換わる時点を基準として、その基準時点から励起光パワーを上昇させるまでの遅延時間を - 40  $\mu$ s、- 20  $\mu$ s、0  $\mu$ s、+ 20  $\mu$ s、+ 40  $\mu$ s に設定した。遅延時間が負であることは、種光が連続光からパルス光に切り換わるよりも先に励起光のパワーが上昇することを意味する。遅延時間を負方向に変化させることによって主照射期間の開始時における増幅光のピークパワーを大きくできる。一方、遅延時間を正方向に変化させることによって、主照射期間の開始時における増幅光のピークパワーを小さくできる。

30

【 0 1 0 6 】

このように、予備照射期間における種光および励起光のパワー、ならびに、励起光の上昇のタイミングを制御することによって、主照射期間の開始時に光増幅器から出力される増幅光のパワーを制御することが可能である。

【 0 1 0 7 】

これにより、レーザ光源装置から出射されるレーザ光（増幅光）を用いてレーザ加工を行なう場合において、高品質の加工を実現することができる。

【 0 1 0 8 】

< パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響について >

図 12 は、樹脂にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第 1 の図である。

40

【 0 1 0 9 】

図 13 は、樹脂にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第 2 の図である。

【 0 1 1 0 】

図 14 は、樹脂にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第 3 の図である。

【 0 1 1 1 】

図 12 ~ 図 14 を参照して、加工対象物である樹脂は、具体的には P B T（ポリブチレンテレフタレート）である。図 12 ~ 図 14 の「G P 波高値」とは、主照射期間の開始時

50

における増幅光のピークパワーを、定常状態における増幅光（パルス光）のピークパワーの比として表わしたものである。

【 0 1 1 2 】

図 1 2 は、G P 波高値が 2 0 0 % の場合、2 2 0 % の場合、2 8 0 % の場合および 4 0 0 % の場合のマーキング結果を示す。波高値が高くなるに従って、大きなドットが形成される領域が長くなる傾向が得られる。

【 0 1 1 3 】

図 1 3 および図 1 4 は、G P 波高値が 1 0 0 %、5 0 %、7 0 %、8 0 %、1 1 0 %、1 2 0 %、1 3 0 % の各場合におけるマーキング結果を示す。7 0 % および 5 0 % では、樹脂表面のドットがかすれた状態となっている。G P 波高値が 8 0 %、1 1 0 %、1 2 0 % および 1 3 0 % の場合には、このようなドットがかすれた状態は発生していない。

10

【 0 1 1 4 】

図 1 5 は、金属にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第 1 の図である。図 1 6 は、金属にパルス光を照射した場合における、パルス光のピークエネルギーの加工結果への影響を示す第 2 の図である。

【 0 1 1 5 】

図 1 5 および図 1 6 を参照して、加工対象物である金属は、具体的にはアルミニウムである。図 1 5 は、G P 波高値が 1 0 0 % の場合、6 0 %、3 0 %、2 5 % の各場合におけるマーキング結果を示す。G P 波高値が低下するに従って、マーキングが不十分となる。図 1 6 は、G P 波高値が 1 4 0 %、2 0 0 %、2 8 0 % の各場合におけるマーキング結果を示している。ピークパワーが著しく高い場合（たとえば 2 0 0 % および 2 8 0 % の場合）には、加工痕が大きくなる。この場合には、加工品質への影響が大きくなると考えられる。

20

【 0 1 1 6 】

なお、増幅光のピークエネルギーは、主照射期間の開始時から安定していることが好ましいが、必ずしもこのように限定される必要はない。増幅光のパルス光のピークエネルギーは、たとえば、最初は大きく、その後、減衰して最終的に安定するよう制御されてもよい。ただし、この場合にはジャイアントパルスが発生しないことが好ましい。また、増幅光のピークエネルギーは、時間とともに立ち上がるように制御されてもよい。

【 0 1 1 7 】

< 本実施の形態に係るレーザ光源装置の他の構成例 >

以下に説明するレーザ光源装置は、いずれもレーザ加工装置用の光源に用いることが可能である。なお以下の例は、本実施の形態に係るレーザ光源装置の構成例の一部であって、本発明のレーザ光源装置の構成は、図 1 に示した構成および以下に説明する構成により限定されるものではない。

30

【 0 1 1 8 】

図 1 7 は、本実施の形態に係るレーザ光源装置の第 1 の変形例の構成図である。図 1 7 を参照して、レーザ光源装置 1 1 1 は、種光源として、パルス光を発生する半導体レーザ 2 と、実質的な連続光を発生する半導体レーザ 2 A とを有する。半導体レーザ 2 から発生されるパルス光の波長と、半導体レーザ 2 A から発せられる連続光の波長とは異なる。

40

【 0 1 1 9 】

図 1 7 および図 1 を参照して、レーザ光源装置 1 1 1 とレーザ光源装置 1 1 0 との構成の違いを説明する。レーザ光源装置 1 1 1 は、半導体レーザ 2 A と、アイソレータ 4 A と、結合器 5 A と、ダイクロイックミラー 1 6 をさらに備える点において、図 1 に示すレーザ光源装置 1 1 0 と相違する。

【 0 1 2 0 】

主照射期間においては、半導体レーザ 2 がパルス光を出射する一方で、半導体レーザ 2 A は連続光の出射を停止する。予備照射期間においては、半導体レーザ 2 A が連続光を出射する一方で、半導体レーザ 2 はパルス光の出射を停止する。半導体レーザ 2 A から出射された連続光はアイソレータ 4 A、結合器 5 A、5 を介して光ファイバ 1 に入射する。

50

## 【 0 1 2 1 】

なお、パルス光と連続光との切替は、制御部 2 0 が半導体レーザ 2 , 2 A に対応するドライバを制御することに実現される。また、半導体レーザ 2 A から出射される光は、たとえば図 4 に示した波形を有する光である。

## 【 0 1 2 2 】

ダイクロイックミラー 1 6 は、特定の波長の光を反射する一方で、その他の波長の光を透過する。この変形例では、上記「特定の波長」は光ファイバ 8 から出射されるパルス光の波長に設定される。すなわち、半導体レーザ 2 から出射され、光ファイバ 1 , 8 で増幅されたパルス光は、ダイクロイックミラー 1 6 により反射される。このパルス光は、走査装置 ( 図 1 の走査装置 1 4 に対応 ) に導かれて加工対象物の加工に用いられる。一方、半導体レーザ 2 A から出射され、光ファイバ 1 , 8 で増幅された連続光は、ダイクロイックミラー 1 6 を透過するため、加工対象物には照射されない。したがって、この変形例によれば、予備照射期間に光ファイバから出射された光により加工対象物が加工されることを回避することができる。

## 【 0 1 2 3 】

なお、ダイクロイックミラー 1 6 に限らず、波長の違いに基づいてパルス光と連続光とを分離可能な素子を適用可能である。

## 【 0 1 2 4 】

図 1 8 は、本実施の形態に係るレーザ光源装置の第 2 の変形例の構成図である。図 1 8 を参照して、レーザ光源装置 1 1 2 は、種光源として、固体レーザ共振器 2 0 0 を有する。図 1 8 および図 1 を参照して、レーザ光源装置 1 1 2 とレーザ光源装置 1 1 0 との構成の違いを説明する。レーザ光源装置 1 1 2 は、半導体レーザ 2 , 3、アイソレータ 4 および結合器 5 に代えて、固体レーザ共振器 2 0 0 および光ファイバ 1 A を備える点において図 1 に示したレーザ光源装置 1 1 0 と異なる。

## 【 0 1 2 5 】

固体レーザ共振器 2 0 0 は、レーザ媒質 2 0 1 と、励起光源 2 0 2 , 2 0 3 と、反射ミラー 2 0 4 と、出射ミラー 2 0 5 と、Q スイッチ 2 0 6 と、集光レンズ 2 0 7 とを含む。

## 【 0 1 2 6 】

レーザ媒質 2 0 1 は、固体状の媒質であり、たとえば Nd : YAG 結晶である。励起光源 2 0 2 , 2 0 3、レーザ媒質 2 0 1 を励起するための励起光をレーザ媒質 2 0 1 に照射する。Q スイッチ 2 0 6 は図示しない制御部 2 0 ( 図 1 参照 ) によって周期的にオンオフされる。これにより固体レーザ共振器 2 0 0 から種光としてパルス光が繰り返して出射される。すなわち Q スイッチ 2 0 6 は、種光源から種光を周期的に出射可能に構成された出射制御部である。

## 【 0 1 2 7 】

なお、出射ミラー 2 0 5 から出射した種光 ( パルス光 ) は、集光レンズ 2 0 7 により集光されるとともに光ファイバ 1 A に入射する。種光は結合器 1 0 によって、半導体レーザ 9 A ~ 9 D から出射された励起光と結合されて光ファイバ 8 に入射する。これにより固体レーザ共振器 2 0 0 からの種光が増幅されて光ファイバ 8 から出射する。この構成においては、光ファイバ 8 はファイバ増幅器に含まれる光増幅媒体となる。

## 【 0 1 2 8 】

Q スイッチ 2 0 6 がオンオフすることにより、種光としてのパルス光を生成することができる。また、種光の非出射期間がパルス光出射時よりも短くなるよう Q スイッチ 2 0 6 がオンオフ動作する ( たとえば Q スイッチ 2 0 6 の動作周波数を高くしたり、デューティ比を変化させたりする ) ことにより、実質的に連続的な光を種光として固体レーザ共振器 2 0 0 から出射することが可能になる。

## 【 0 1 2 9 】

図 1 9 は、本実施の形態に係るレーザ光源装置の第 3 の変形例の構成図である。図 1 9 を参照して、レーザ光源装置 1 1 3 は、光増幅器として固体増幅器を含む。図 1 9 および図 1 8 を参照して、レーザ光源装置 1 1 3 とレーザ光源装置 1 1 2 との構成の違いを説明

10

20

30

40

50

する。レーザ光源装置 113 は、光ファイバ 1A, 8、半導体レーザ 9A ~ 9D、結合器 10、アイソレータ 11 およびエンドキャップ 12 に代えて固体増幅器 210 を備える点においてレーザ光源装置 112 と異なる。

【0130】

固体増幅器 210 は、レーザ媒質 211 と、励起光源 212, 213 とを含む。

レーザ媒質 211 は、固体状の媒質であり、たとえば Nd:YAG 結晶である。励起光源 212, 213 は、レーザ媒質 211 を励起するための励起光を出射する。

【0131】

励起光源 212, 213 は、予備照射期間においては励起光のパワーを小さくする一方で、主照射期間においては励起光のパワーを大きくする。さらに、励起光源 212, 213 は、固体レーザ共振器 200 が種光を実質的な連続光からパルス光へと切替えるよりも先に励起光のパワーを上昇させる。たとえば励起光源 212, 213 は、制御部 20 (図 1 参照) に制御されることにより励起光のパワーを変化させる。制御部 20 は Q スイッチ 206 および励起光源 212, 213 を制御することにより、種光がパルス光から実質的な連続光に切り換わるときに励起光のパワーを低下させるとともに、種光が実質的な連続光からパルス光に切り換わるよりも先に励起光のパワーを上昇させる。

10

【0132】

なお、レーザ媒質 201, 212 は固体状の媒質に限定される必要はなく、気体 (たとえば CO<sub>2</sub>) あるいは液体の媒質でもよい。

【0133】

また、連続発振可能なレーザ共振器を種光源として適用してもよい。この場合、たとえば光を通過させたり遮断させたりすることが可能なもの (たとえばシャッター) を出射制御部として用いることができる。

20

【0134】

また、図 19 に示した構成において、種光源である固体レーザ共振器 200 を、図 1 に示す種光源 (パルス光および実質的な連続光を切替えて発する半導体レーザ 2) あるいは図 17 に示した種光源 (パルス光を発生する半導体レーザ 2 と、実質的な連続光を発生する半導体レーザ 2A) に置き換えてもよい。

【0135】

図 20 は、本実施の形態に係るレーザ光源装置の第 4 の変形例の構成図である。図 20 を参照して、レーザ光源装置 114 は、種光源としてファイバ共振器 220 を含む。図 20 および図 19 を参照して、レーザ光源装置 114 とレーザ光源装置 113 との構成の違いを説明する。レーザ光源装置 114 は、固体レーザ共振器 200 に代えて、ファイバ共振器 220 と、アイソレータ 231 と、コリメータレンズ 232 とを含む点において、レーザ光源装置 113 と異なる。

30

【0136】

ファイバ共振器 220 は、光ファイバ 221 と、ファイバブラッググレーティング 222, 223 と、励起光源 224 と、結合器 225 と、Q スイッチ 226 とを含む。

【0137】

光ファイバ 221 は、光ファイバ 1, 8 と同様にコアに希土類元素が添加された光ファイバである。ファイバブラッググレーティング 222, 223 は、光ファイバの内部に形成された回折格子であり、反射ミラー 204 および出射ミラー 205 (図 18 参照) とそれぞれ同様の機能を実現する。励起光源 224 は、光ファイバ 221 のコアに含まれる希土類元素を励起するための励起光を出射する。この励起光は、結合器 225 を介して光ファイバ 221 に入射される。Q スイッチ 226 をオンオフ制御することにより、ファイバ共振器 220 から種光が出射される。固体レーザ共振器 200 と同様に、種光の非出射期間がパルス光出射時よりも短くなるよう Q スイッチ 206 がオンオフ動作することによって、実質的に連続的な光を種光としてファイバ共振器 220 から出射することが可能になる。

40

【0138】

50



なお、図20の構成において、固体増幅器210をファイバ増幅器（たとえば図1に示す光ファイバ1）、および励起光源（たとえば図1に示す半導体レーザ9A～9D）に置き換えてもよい。

【0139】

このように、種光源は、半導体レーザに限るものではなく、固体レーザ共振器、ファイバ共振器等のレーザ光源を用いることができる。また、光増幅器もファイバ増幅器に限定されず、固体増幅器を用いることができる。なお、種光源と光増幅器との組み合わせは、上記のものに限定されない。図示しないが、たとえばファイバ共振器とファイバ増幅器とを備えるレーザ光源装置も本実施の形態のレーザ光源装置に含まれる。

【0140】

また、本実施の形態では、レーザ光源装置を備えるレーザ加工装置の一態様としてレーザマーキング装置を示した。しかしながら、レーザ光による加工は、マーキングのみに限定されるものではない。すなわち、本発明に係るレーザ光源装置を備えるレーザ加工装置は、レーザマーキング装置に限定されるものではない。たとえばレーザ光を、ドリリング、溶接、切断、熱処理、形状加工、トリミング等に用いることも可能である。したがって、本発明に係るレーザ加工装置を、これらの用途向けのレーザ加工装置にも適用可能である。たとえば、本発明に係るレーザ加工装置として、レーザトリミング装置、フォトマスク等の欠陥修正（リペア）を行なうレーザリペア装置を含めることができる。

【0141】

また、本実施の形態では、レーザ光源装置はレーザ加工装置に適用される。ただし本発明に係るレーザ光源装置は、レーザ加工装置のみに用いられるものと限定されない。たとえば、本発明に係るレーザ光源装置を医療装置に適用してもよい。

【0142】

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、上記した実施の形態の説明ではなくて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】

【0143】

2, 3, 9A～9D, 2A 半導体レーザ、32, 33, 34A～34D ドライバ、1, 8, 1A, 221 光ファイバ、4, 6, 4A, 11, 231 アイソレータ、5, 5A, 10 結合器、7 バンドパスフィルタ、12 エンドキャップ、13, 232 コリメータレンズ、14 走査装置、15 集光レンズ、16 ダイクロイックミラー、20 制御部、25 パーソナルコンピュータ、30 信号発生回路、30A ファンクションジェネレータ、30B パルスジェネレータ、50 加工対象物、51A, 51B コア、52A, 52B, 53A クラッド、54A, 54B 被覆、100 レーザ加工装置、110～114 レーザ光源装置、120 レーザ照射装置、200 固体レーザ共振器、201, 211 レーザ媒質、202, 203, 212, 213, 224 励起光源、204 反射ミラー、205 出射ミラー、206, 226 Qスイッチ、207 集光レンズ、210 固体増幅器、220 ファイバ共振器、222, 223 ファイバブラッググレーティング、225 結合器、d1, d2 直径、L レーザ光、SP1～SP5 スポット。

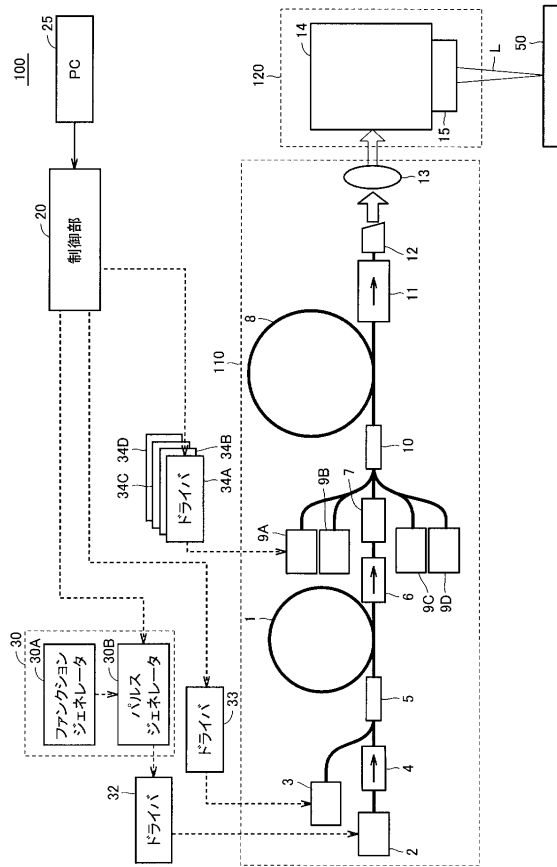
10

20

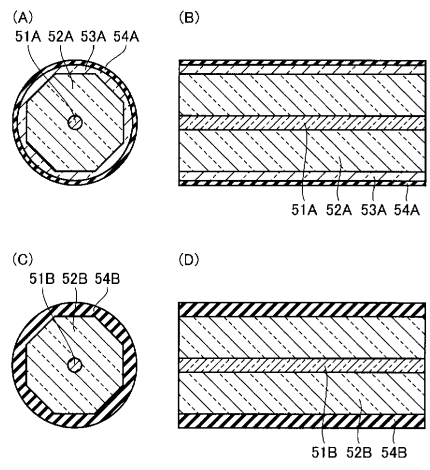
30

40

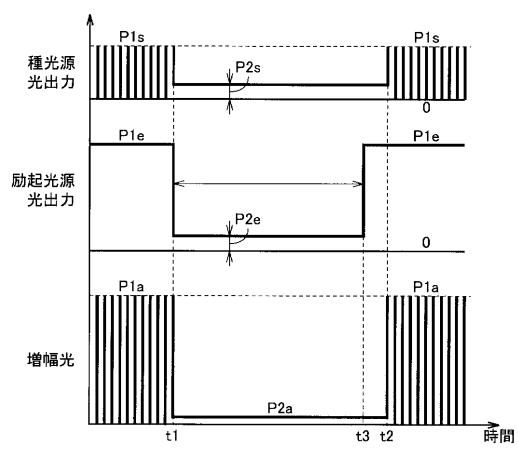
【図1】



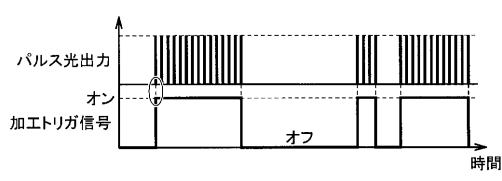
【図2】



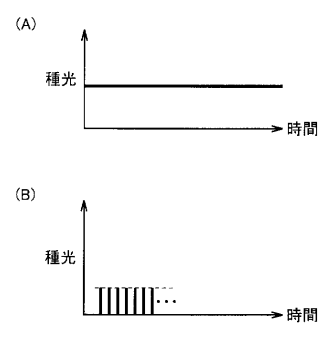
【図3】



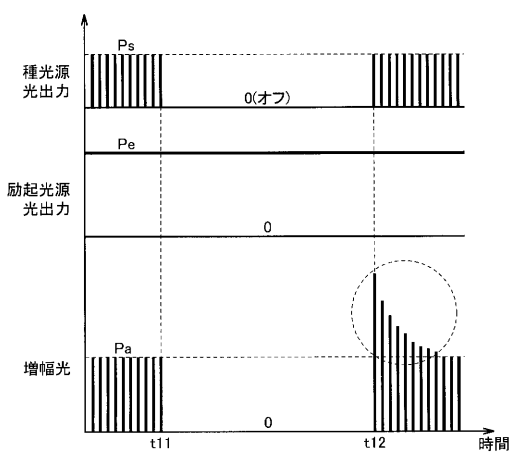
【図5】



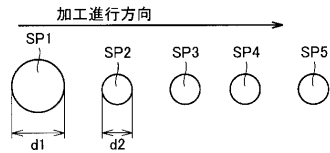
【図4】



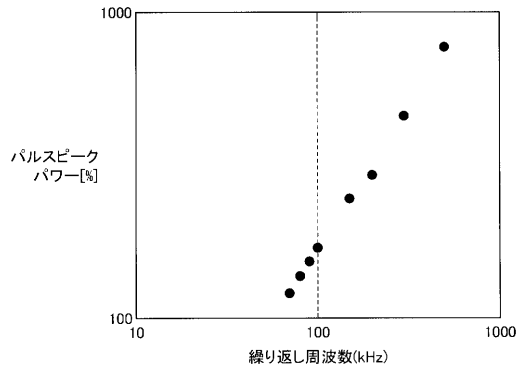
【図6】



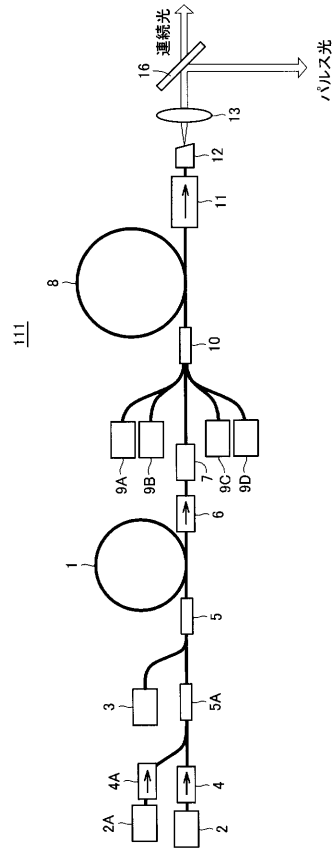
【図7】



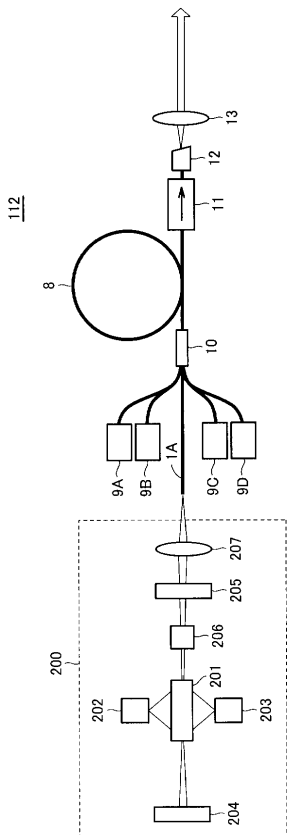
【図8】



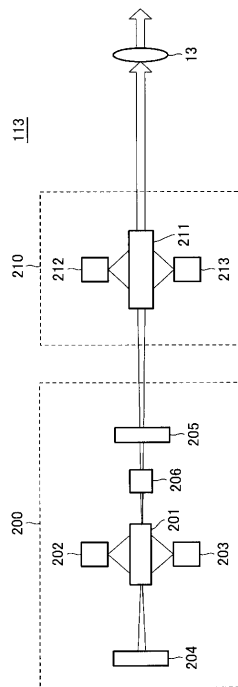
【図17】



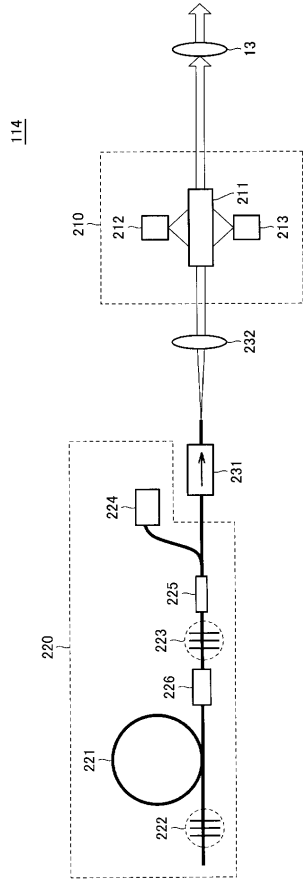
【図18】



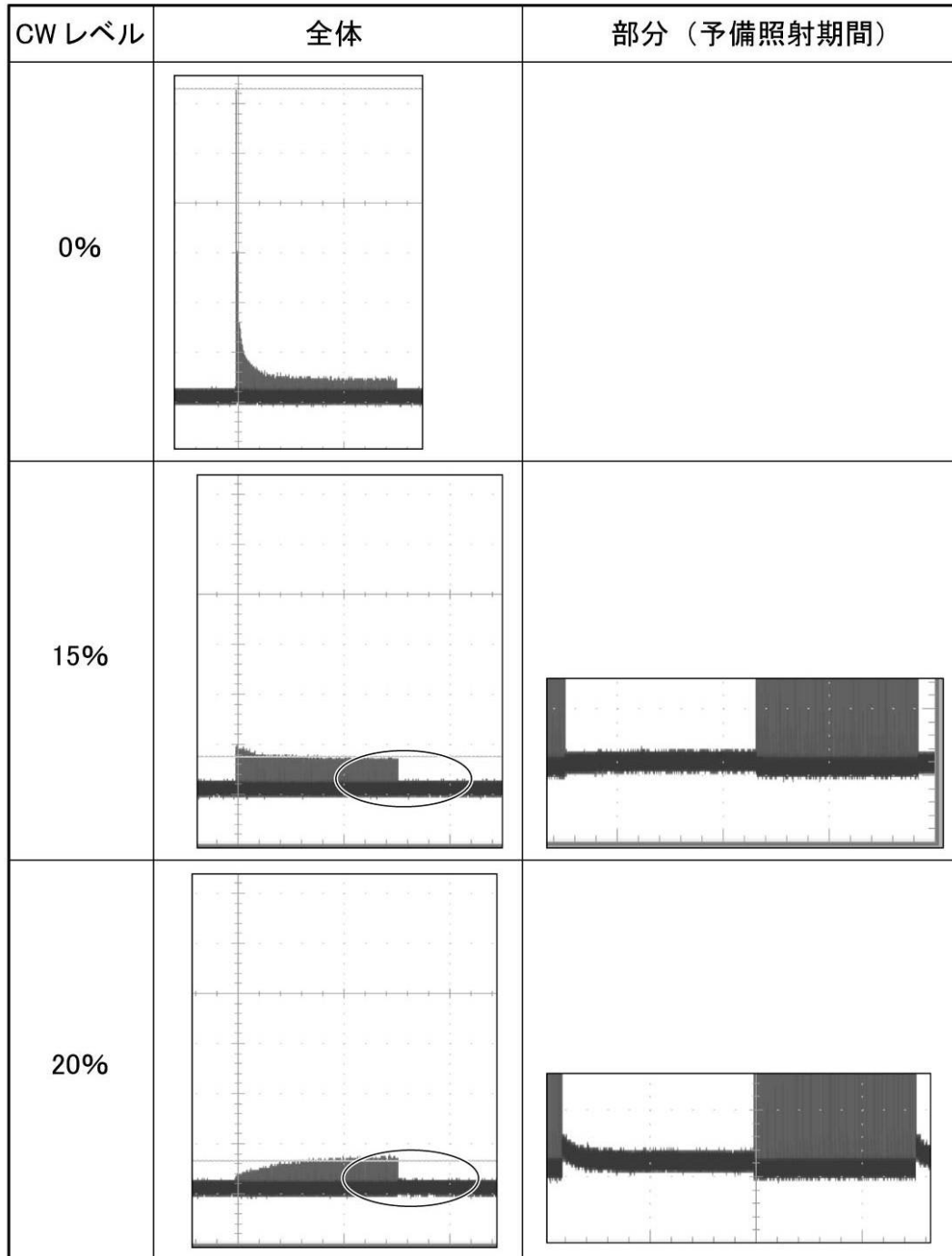
【図19】



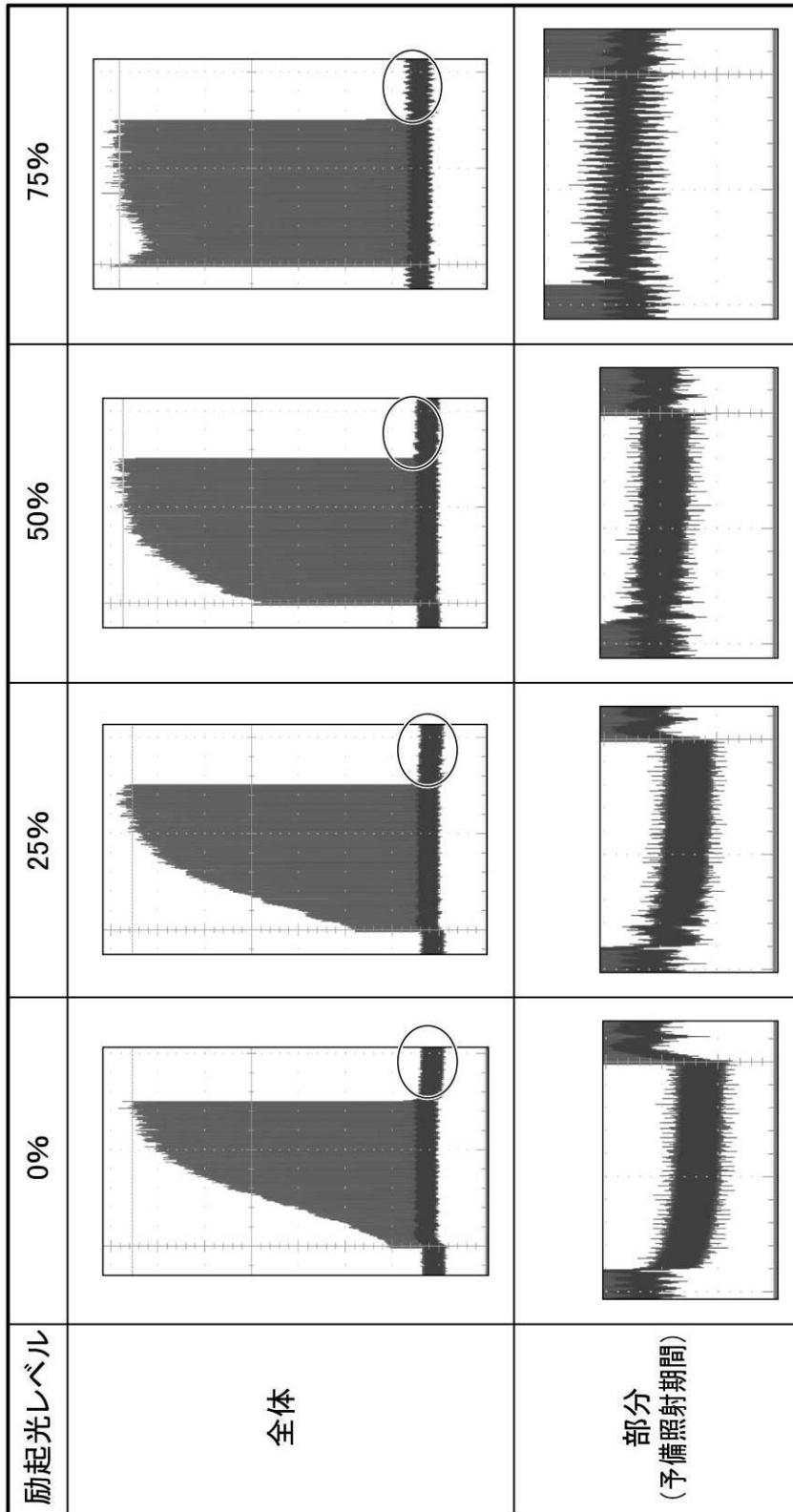
【 図 20 】



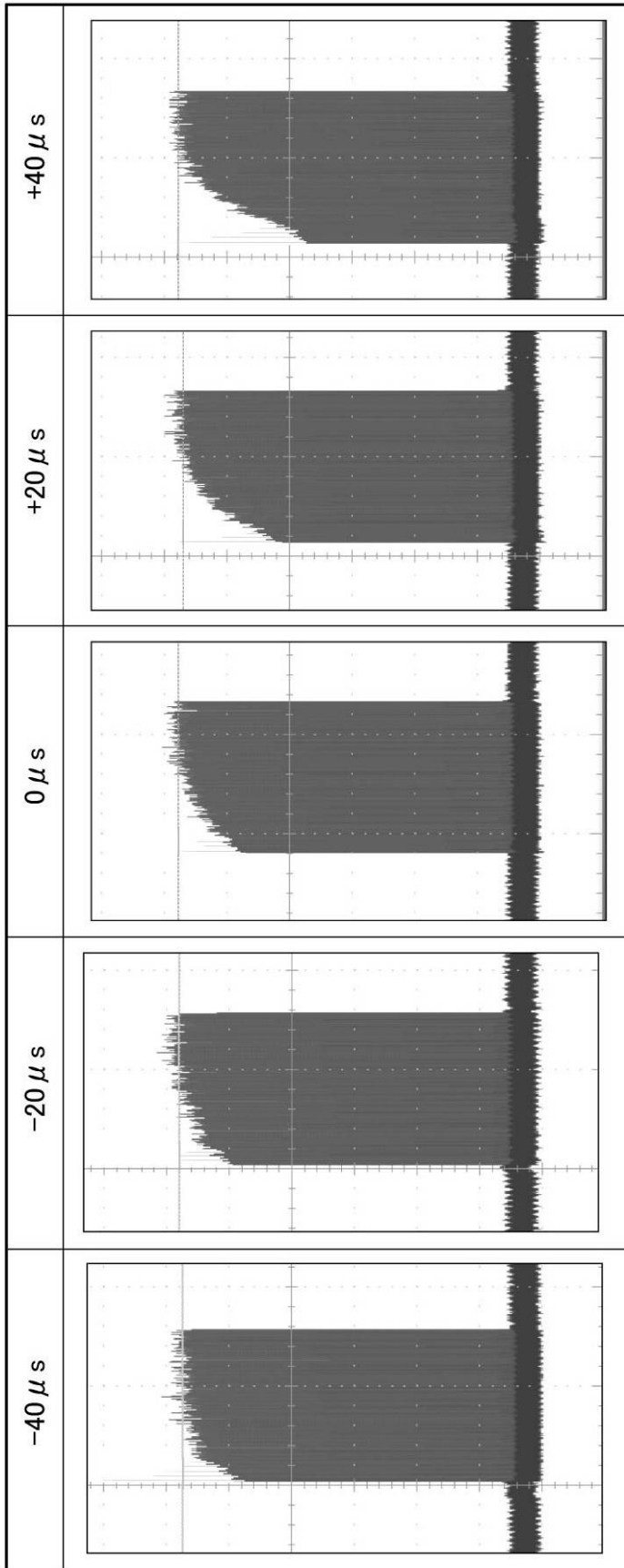
【図9】



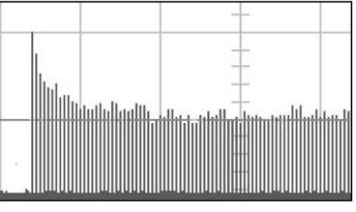
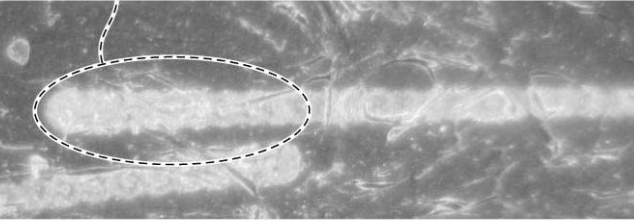
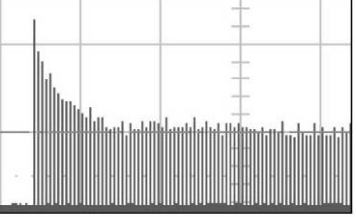
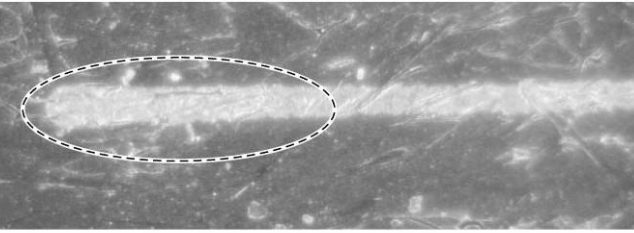
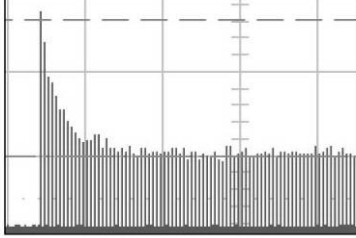
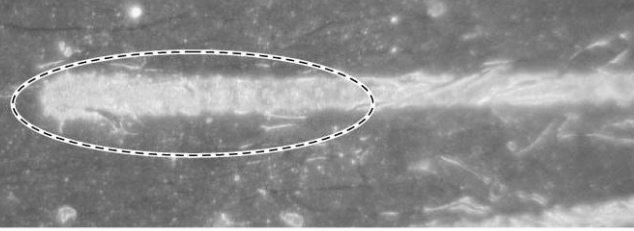
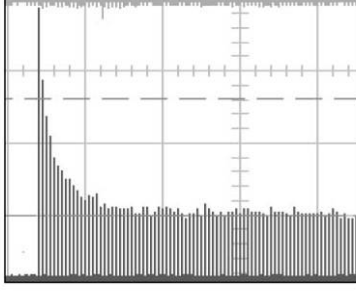
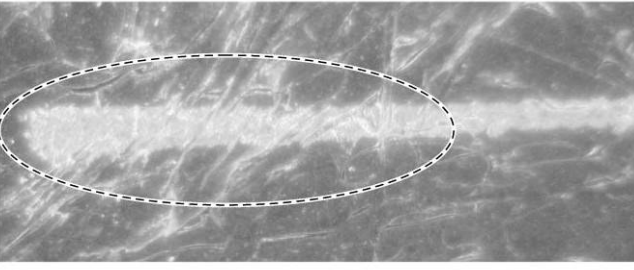
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】

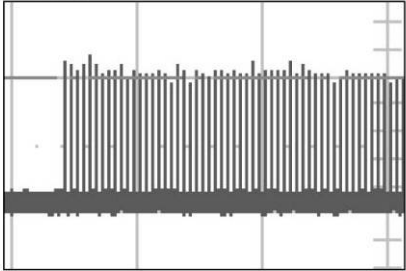
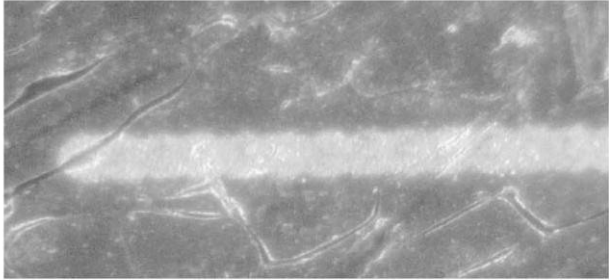
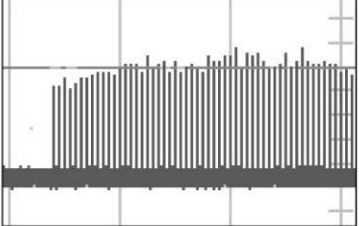
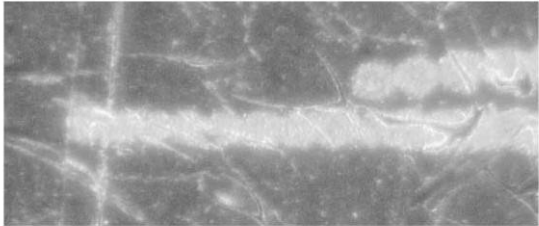
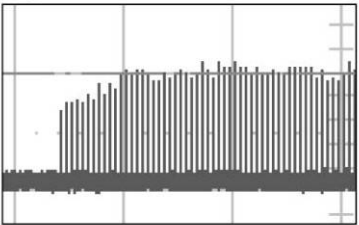
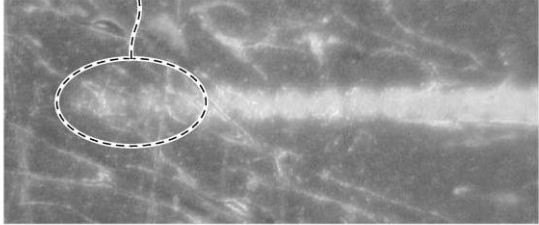
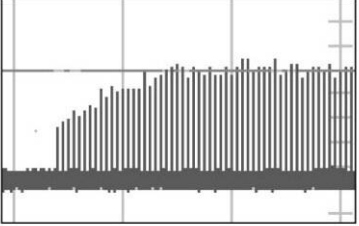
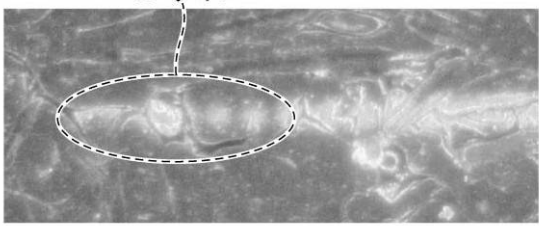


【 図 1 2 】

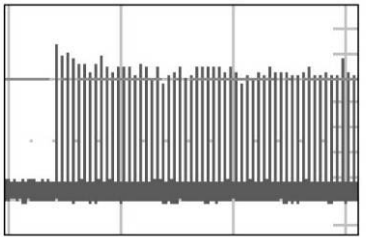
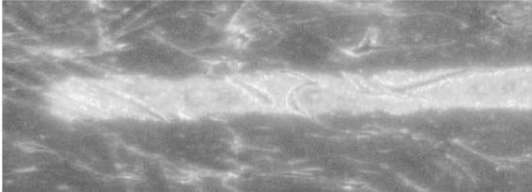
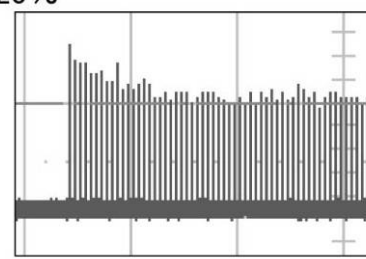
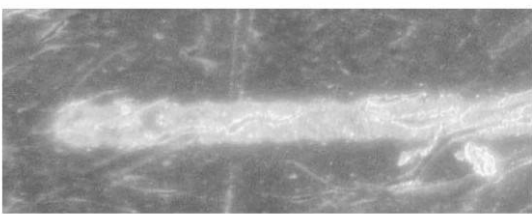
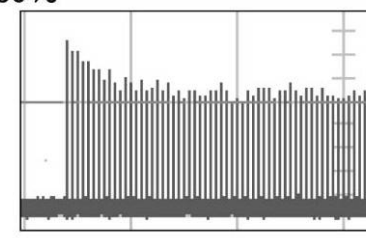
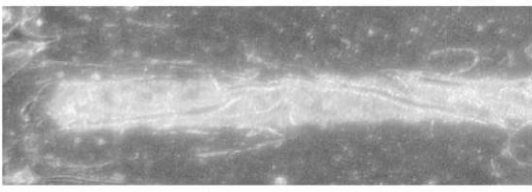
GP 波高値	パルス波形	マーキング結果（樹脂）
200%		<p data-bbox="726 320 861 353">ドット：大</p> 
220%		
280%		
400%		



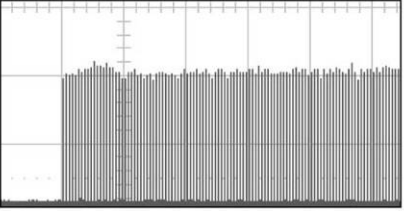
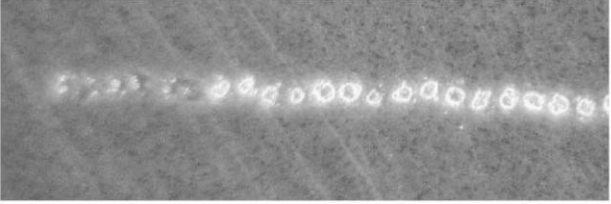
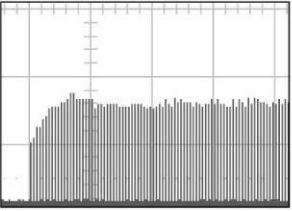
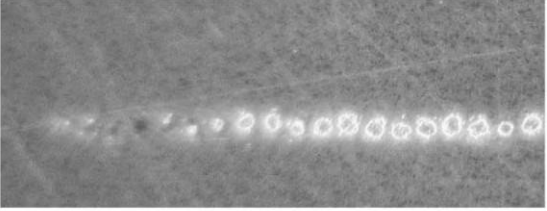
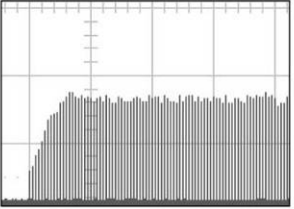
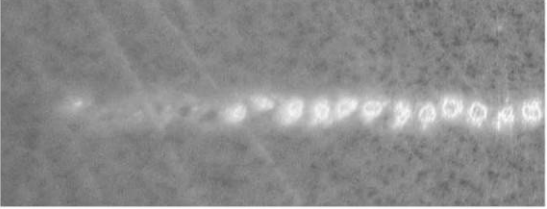
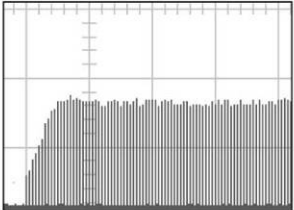
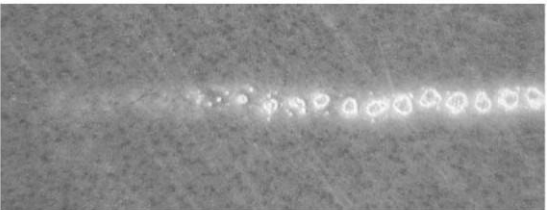
【図13】

GP 波高値およびパルス波形	マーキング結果（樹脂）
<p>100%</p>  A pulse waveform graph showing a series of vertical pulses of uniform height and width, indicating a consistent 100% amplitude.	 A grayscale image showing a clear, bright, horizontal band of resin marking on a textured surface.
<p>80%</p>  A pulse waveform graph showing a series of vertical pulses with a height that increases from left to right, indicating an 80% amplitude.	 A grayscale image showing a horizontal band of resin marking, appearing slightly less uniform than the 100% case.
<p>70%</p>  A pulse waveform graph showing a series of vertical pulses with a height that increases from left to right, indicating a 70% amplitude.	<p>かすれ</p>  A grayscale image showing a horizontal band of resin marking. A dashed oval highlights a region of the band labeled "かすれ" (blurriness or smearing), indicating a defect in the marking process.
<p>50%</p>  A pulse waveform graph showing a series of vertical pulses with a height that increases from left to right, indicating a 50% amplitude.	<p>かすれ</p>  A grayscale image showing a horizontal band of resin marking. A dashed oval highlights a region of the band labeled "かすれ" (blurriness or smearing), indicating a defect in the marking process.

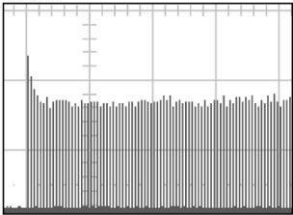
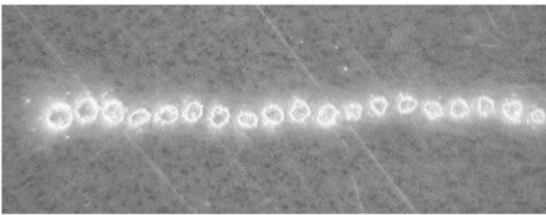
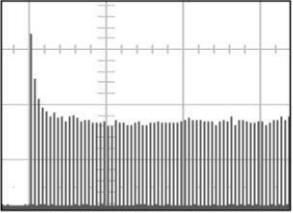
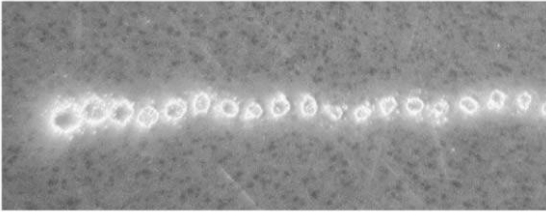
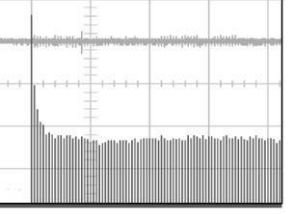
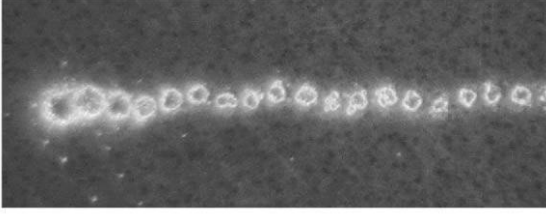
【 図 1 4 】

GP 波高値およびパルス波形	マーキング結果（樹脂）
<p>110%</p> 	
<p>120%</p> 	
<p>130%</p> 	

【図15】

GP 波高値およびパルス波形	マーキング結果 (金属)
<p>100%</p> 	
<p>60%</p> 	
<p>30%</p> 	
<p>25%</p> 	

【図16】

GP 波高値およびパルス波形	マーキング結果 (金属)
<p>140%</p> 	
<p>200%</p> 	
<p>280%</p> 	

## フロントページの続き

(74)代理人 100109162

弁理士 酒井 将行

(74)代理人 100111246

弁理士 荒川 伸夫

(72)発明者 石津 雄一

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

(72)発明者 中野 文彦

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

(72)発明者 西村 満

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

(56)参考文献 特開2004-337970(JP,A)

特開2006-286843(JP,A)

特開2008-181943(JP,A)

特開2007-035696(JP,A)

特開平06-152034(JP,A)

特開平05-347449(JP,A)

特開2008-270549(JP,A)

特開2006-305597(JP,A)

特開2005-051257(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S3/00-3/30

B23K26/00