

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4352871号
(P4352871)

(45) 発行日 平成21年10月28日(2009.10.28)

(24) 登録日 平成21年8月7日(2009.8.7)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 S 3/11 (2006.01) HO 1 S 3/11
 HO 1 S 3/094 (2006.01) HO 1 S 3/094 S

請求項の数 14 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2003-390785 (P2003-390785)	(73) 特許権者	000002945
(22) 出願日	平成15年11月20日(2003.11.20)		オムロン株式会社
(65) 公開番号	特開2005-158790 (P2005-158790A)		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17年6月16日(2005.6.16)		801番地
審査請求日	平成18年10月6日(2006.10.6)	(74) 代理人	100090158
			弁理士 藤巻 正憲
		(72) 発明者	戸川 拓哉
			東京都港区芝五丁目7番1号
			日本電気株式会社内
		審査官	傍島 正朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器並びにその発振制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

パルス駆動のレーザダイオードをレーザ媒質の光励起素子に用いたQスイッチ発振の固体レーザ発振器であって、
 前記レーザダイオードの複数からなるパルス駆動条件を所定の条件に固定して前記レーザダイオードを駆動するレーザダイオード駆動手段と、
 前記レーザダイオードを前記固定したパルス駆動条件で最適な温度に制御するレーザダイオード温度制御手段と、
 前記Qスイッチ発振を生起するQスイッチ素子の駆動タイミングを可変するQスイッチ素子制御手段と、
 を備え、
 前記Qスイッチ素子制御手段は、前記固体レーザ発振器の発振Qスイッチパルスの出力エネルギーと周期とを独立に可変制御する、
 ことを特徴とするパルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器。

【請求項2】

前記固定する複数の前記レーザダイオードのパルス駆動条件は、
 パルスの電流値とパルス時間幅とパルス繰り返し周期である、
 ことを特徴とする請求項1に記載のパルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器。

【請求項3】

一定に制御する前記レーザダイオードの最適な温度は、
前記レーザダイオードの発振波長が、前記レーザ媒質の吸収ピーク波長となる温度である、
ことを特徴とする請求項 1 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器。

【請求項 4】

前記発振 Q スイッチパルスの出力エネルギーの可変制御は、
前記 Q スイッチ素子の駆動タイミングを前記レーザダイオード駆動パルスのパルス時間幅内で可変することによって行う、
ことを特徴とする請求項 2 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器。

10

【請求項 5】

前記発振 Q スイッチパルス周期の可変制御は、
前記 Q スイッチ素子の駆動周期を前記レーザダイオード駆動パルスのパルス周期の n 倍 (n は正の整数) で離散的に可変することによって行う、
ことを特徴とする請求項 2 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器。

【請求項 6】

前記レーザダイオードの駆動パルス時間幅は、
前記レーザ媒質の上準位蛍光寿命である、
ことを特徴とする請求項 2 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器。

20

【請求項 7】

前記 Q スイッチ素子の駆動周期の離散的な可変は、
レーザ光の繰り返し周波数の種類に対応して予め複数組設定された前記レーザダイオード駆動パルスの繰り返し周波数と前記 Q スイッチ素子の繰り返し周波数との組み合わせから前記 n の大きさに応じて 1 の組み合わせを選択し、選択したレーザダイオード駆動パルスの繰り返し周波数を外部から前記レーザダイオード駆動手段及び前記 Q スイッチ素子制御手段に入力し、選択した Q スイッチ素子の繰り返し周波数を外部から前記 Q スイッチ素子制御手段に入力することにより、
前記レーザダイオード駆動パルスのパルス周期及び前記 Q スイッチ素子の駆動周期を設定することによって行う、

30

ことを特徴とする請求項 5 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器。

【請求項 8】

パルス駆動のレーザダイオードをレーザ媒質の光励起素子に用いた Q スイッチ発振の固体レーザ発振器において、
前記レーザダイオードの複数からなるパルス駆動条件を所定の条件に固定して前記レーザダイオードを駆動し、
前記レーザダイオードを前記固定したパルス駆動条件で最適な温度に制御し、
前記 Q スイッチ発振を生起する Q スイッチ素子の駆動タイミングを可変して、
前記固体レーザ発振器の発振 Q スイッチパルスの出力エネルギーと周期とを独立に可変制御する、
ことを特徴とするパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器の発振制御方法。

40

【請求項 9】

前記固定する複数の前記レーザダイオードのパルス駆動条件は、
パルスの電流値とパルス時間幅とパルス繰り返し周期である、
ことを特徴とする請求項 8 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器の発振制御方法。

50

【請求項 10】

一定に制御する前記レーザダイオードの最適な温度は、
前記レーザダイオードの発振波長が、前記レーザ媒質の吸収ピーク波長となる温度である、
ことを特徴とする請求項 8 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器の発振制御方法。

【請求項 11】

前記発振 Q スイッチパルスの出力エネルギーの可変制御は、
前記 Q スイッチ素子の駆動タイミングを前記レーザダイオード駆動パルスのパルス時間幅内で可変することによって行う、
ことを特徴とする請求項 9 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器の発振制御方法。

10

【請求項 12】

前記発振 Q スイッチパルス周期の可変制御は、
前記 Q スイッチ素子の駆動周期を前記レーザダイオード駆動パルスのパルス周期の n 倍 (n は正の整数) で離散的に可変することによって行う、
ことを特徴とする請求項 9 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器の発振制御方法。

【請求項 13】

前記レーザダイオードの駆動パルス時間幅は、
前記レーザ媒質の上準位蛍光寿命である、
ことを特徴とする請求項 9 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器の発振制御方法。

20

【請求項 14】

前記 Q スイッチ素子の駆動周期の離散的な可変は、
レーザ光の繰り返し周波数の種類に対応して予め複数組設定された前記レーザダイオード駆動パルスの繰り返し周波数と前記 Q スイッチ素子の繰り返し周波数との組み合わせから前記 n の大きさに応じて 1 の組み合わせを選択し、選択したレーザダイオード駆動パルスの繰り返し周波数を外部から前記レーザダイオード駆動手段及び前記 Q スイッチ素子制御手段に入力し、選択した Q スイッチ素子の繰り返し周波数を外部から前記 Q スイッチ素子制御手段に入力することにより、
前記レーザダイオード駆動パルスのパルス周期及び前記 Q スイッチ素子の駆動周期を設定することによって行う、
ことを特徴とする請求項 12 に記載のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器の発振制御方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パルス駆動のレーザダイオードを励起光源に用いた Q スイッチ発振の固体レーザ発振器並びにその発振制御方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

パルス励起の Q スイッチ発振の固体レーザ発振器は、数ナノ秒の短いパルス幅のレーザ光を発生するため、主に微細加工を中心とした高いピーク出力が必要なレーザ加工応用に用いられている。この種のレーザ発振器においても、従来のフラッシュランプを励起光源とする方式から最近の主流である高効率化、コンパクト化などの利点のあるレーザダイオードを励起光源とする方式に切り替わりが進んでいる。

パルス励起の Q スイッチ発振の固体レーザ発振器は、一般的にレーザダイオードをパルス電流駆動することにより、Nd : YAG、Nd : YLF、Nd : YVO₄などの固体レーザ媒質を強励起し、Q スイッチによるレーザ発振停止状態の間に高いエネルギーを蓄積し

50

、レーザ媒質のエネルギー蓄積可能時間である蛍光寿命の直前に近いタイミングでQスイッチによってレーザ発振開始状態にすることにより高ピーク出力レーザを得ている。

パルス励起のQスイッチ発振の固体レーザレーザ発振器の一般的な構成を図5に示す。レーザ共振器1、固体レーザ媒質2、励起用レーザダイオード3とQスイッチ動作をするためのポッケルス素子4からなるレーザヘッド部10と、レーザダイオードを駆動するためのパルス電流源5と励起用レーザダイオードを冷却し温度制御する機能7からなるレーザダイオード制御ユニット20と、ポッケルス素子を駆動するための高電圧スイッチング電源6とレーザダイオードのパルス電流とポッケルス素子に印加される高電圧パルスの同期をとるための機能である同期部8からなるQスイッチ素子制御ユニット30とによって構成される。

10

この種のレーザ発振器をレーザ加工等の工業用途に利用する場合には、パルスレーザ光のパラメータである出力エネルギー、Qスイッチパルス幅、繰り返し周波数を最適な加工条件が得られるように自動的に制御できることが要求される。ここで、Qスイッチパルス幅については、共振器設計上の構成を決定すると、Qスイッチ発振の原理からほぼ一意的に決まるため加工時の調整自由度は少ないが、光エネルギーとレーザ光の繰り返し周波数は、加工形態、加工時間、加工品質に適するように切り換えて使用されることが多い。

例えば、液晶パネル基板などの微細な回路パターンの欠陥部分を修正するレーザーリペア装置では、ポイント的に余分なパターンを除去するような場合のシングルショットまたは数ショットの加工やレーザ照射位置を移動しながら線状にパターンを切断する高繰り返しの加工など、加工条件によってレーザ照射条件を切り換えることが必要なため、出力エネルギーレベルと繰り返し周波数の制御が求められる。

20

【0003】

上記のようにパルスレーザ光の出力エネルギーやQスイッチパルス繰り返し周波数のレーザ光発生条件を変化させることが必要である場合、従来その方法としては励起源であるレーザダイオードのパルス駆動電流の電流値を上下することと、パルスの繰り返し周波数を変化させる方法が用いられている（例えば、特許文献1参照）。

【0004】

【特許文献1】特開平11-135870号公報（第3-6頁、図1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0005】

図6にパルス駆動電流11とQスイッチ素子印加電圧12とQスイッチパルス出力13のタイミング・チャートを示す。レーザダイオードの電流パルス時間幅 W は、レーザ媒質固有の上準位蛍光寿命に近い値とすることにより、最大限のレーザ光のQスイッチパルスエネルギーが得られるため固定としている。また、Qスイッチ制御を行うポッケルス素子に印加する高圧をスイッチングするタイミング t は、レーザダイオードの電流パルスの終端付近に調整され固定されている。斜線部で示されるパルス電流値 I_{LD} と t の積がレーザ媒質に蓄積されるエネルギーに対応し、発振するQスイッチエネルギーが決定される。このため、パルス電流値 I_{LD} を調整することによりQスイッチエネルギー13が調節できる。

40

一方、レーザダイオードの発振波長は、レーザダイオードの半導体チップ温度によりシフトする。一般的なレーザダイオードでは、レーザダイオードのケース温度に対して、約 0.3 nm/ のシフト量で変化することが知られている。また、一般的に市販されているレーザダイオードの発振波長は、ケース温度を同一温度に設定しても生産上の歩留まりにより約 $\pm 3 \text{ nm}$ の個体差がある。

レーザ媒質側の励起光の吸収特性に関しては、通常ある吸収ピークの中心波長に対して数 nm の範囲の波長しか有効に吸収されないという特性を有している。例えば、Nd:YLF結晶では、一般に多用される波長 798 nm の吸収ピークに対して半値全幅は 2 nm 程度である。このため、一般的にはケース温度を調節してレーザダイオードの発振波長をレーザ媒質の吸収ピークに一致させることにより、効率的な励起を行ってレーザ出力を得て

50

いる。図5の構成図にもレーザダイオードのケース温度 T_{LD} を検知しながら設定値に一定に保つための温度制御する機能7が含まれている。

しかし、チップとケースとの間には熱抵抗があるため、チップ温度と制御系の検出温度であるケース温度との間には差が生じ、あるレーザダイオードの電流に対する抵抗負荷による熱発生量に対してケース温度を一定に保つ制御を行っても、熱源であるチップ温度は多少変化してしまう。また時間的にも過渡特性がある。このため、温度調整によるレーザダイオード発振波長の最適化は、特定の熱発生条件、つまりレーザダイオードの特定のパルス駆動電流値及び繰り返し周波数の駆動条件下にて行われる。特にパルス励起のレーザ発振器では、レーザダイオード駆動パルス電流の繰り返しを単発から数10、ないし数100Hzまで変化させるため、熱発生量は数10から数100倍変化することになる。レーザダイオードの駆動パルスの電流値と周波数の双方を調節してレーザパルス出力レベルとレーザパルス繰り返し周波数を制御する従来技術では、上記の理由からある繰り返し条件では波長が最適であって効果的にレーザ出力が得られるが、他の繰り返し条件では波長が逸脱する方向となり、結果としてレーザ出力は低下していた。

この課題に対応するために、特性に個体差のあるレーザダイオード個々に対して、しかも多岐にわたる駆動パルス電流条件に合わせて波長一定となる温度条件を測定して記憶しておき、パルス電流値と繰り返しの条件が与えられたときに、記憶された温度条件にレーザダイオードを温度制御する方法も考えられるが、工業用レーザ発振器を生産する観点からは現実的ではない。

【0006】

本発明は、上記のような従来のパルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器の制御方法のもつ問題点に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、パルス駆動のレーザダイオードを用いたQスイッチ発振の固体レーザ発振器において、レーザダイオードの発振波長の変動を抑制する手段と手法を備えることによって、Qスイッチパルスの繰り返し周波数と出力エネルギーを独立に指定できる制御性のよいレーザ光源を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するために、本発明のパルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器は、パルス駆動のレーザダイオードをレーザ媒質の光励起素子に用いたQスイッチ発振の固体レーザ発振器であって、レーザダイオードの複数からなるパルス駆動条件を所定の条件に固定してレーザダイオードを駆動するレーザダイオード駆動手段と、レーザダイオードを前記固定したパルス駆動条件で最適な温度に制御するレーザダイオード温度制御手段と、Qスイッチ発振を生起するQスイッチ素子の駆動タイミングを可変するQスイッチ素子制御手段と、を備え、前記Qスイッチ素子制御手段は、固体レーザ発振器の発振Qスイッチパルスの出力エネルギーと周期とを独立に可変制御することを特徴とする。

固定する複数のレーザダイオードのパルス駆動条件は、パルスの電流値とパルス時間幅とパルス繰り返し周期であることが好ましい。

また、一定に制御するレーザダイオードの最適な温度は、レーザダイオードの発振波長が、レーザ媒質の吸収ピーク波長となる温度であることが好ましい。

発振Qスイッチパルスの出力エネルギーの可変制御は、Qスイッチ素子の駆動タイミングをレーザダイオード駆動パルスのパルス時間幅内で可変することによって行うように構成することができる。

また、発振Qスイッチパルス周期の可変制御は、Qスイッチ素子の駆動周期をレーザダイオード駆動パルスのパルス周期のn倍（nは正の整数）で離散的に可変することによって行ってもよい。

レーザダイオードの駆動パルス時間幅は、レーザ媒質の上準位蛍光寿命であることが好ましい。

前記Qスイッチ素子の駆動周期の離散的な可変は、レーザ光の繰り返し周波数の種類に対

応して予め複数組設定された前記レーザダイオード駆動パルスの繰り返し周波数と前記Qスイッチ素子の繰り返し周波数との組み合わせから前記nの大きさに応じて1の組み合わせを選択し、選択したレーザダイオード駆動パルスの繰り返し周波数を外部から前記レーザダイオード駆動手段及び前記Qスイッチ素子制御手段に入力し、選択したQスイッチ素子の繰り返し周波数を外部から前記Qスイッチ素子制御手段に入力することにより、前記レーザダイオード駆動パルスのパルス周期及び前記Qスイッチ素子の駆動周期を設定することによって行うように構成することができる。

【0008】

また、本発明のパルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器の発振制御方法は、パルス駆動のレーザダイオードをレーザ媒質の光励起素子に用いたQスイッチ発振の固体レーザ発振器において、レーザダイオードの複数からなるパルス駆動条件を所定の条件に固定してレーザダイオードを駆動し、レーザダイオードを前記固定したパルス駆動条件で最適な温度に制御し、Qスイッチ発振を生起するQスイッチ素子の駆動タイミングを可変して、固体レーザ発振器の発振Qスイッチパルスの出力エネルギーと周期とを独立に可変制御することを特徴とする。

固定する複数のレーザダイオードのパルス駆動条件は、パルスの電流値とパルス時間幅とパルス繰り返し周期であることが好ましい。

また、一定に制御するレーザダイオードの最適な温度は、レーザダイオードの発振波長が、レーザ媒質の吸収ピーク波長となる温度であることが好ましい。

発振Qスイッチパルスの出力エネルギーの可変制御は、Qスイッチ素子の駆動タイミングをレーザダイオード駆動パルスのパルス時間幅内で可変することによって行うように構成することができる。

また、発振Qスイッチパルス周期の可変制御は、Qスイッチ素子の駆動周期をレーザダイオード駆動パルスのパルス周期のn倍（nは正の整数）で離散的に可変することによって行ってもよい。

レーザダイオードの駆動パルス時間幅は、レーザ媒質の上準位蛍光寿命であることが好ましい。

前記Qスイッチ素子の駆動周期の離散的な可変は、レーザ光の繰り返し周波数の種類に対応して予め複数組設定された前記レーザダイオード駆動パルスの繰り返し周波数と前記Qスイッチ素子の繰り返し周波数との組み合わせから前記nの大きさに応じて1の組み合わせを選択し、選択したレーザダイオード駆動パルスの繰り返し周波数を外部から前記レーザダイオード駆動手段及び前記Qスイッチ素子制御手段に入力し、選択したQスイッチ素子の繰り返し周波数を外部から前記Qスイッチ素子制御手段に入力することにより、前記レーザダイオード駆動パルスのパルス周期及び前記Qスイッチ素子の駆動周期を設定することによって行うように構成することができる。

【発明の効果】

【0009】

本発明の効果として第1の効果は、パルス駆動のレーザダイオードを用いたQスイッチ発振の固体レーザ発振器において、パルス繰り返し周波数を調整しても出力エネルギーは不変であるため、繰り返し周波数と出力エネルギーを独立に指定できる制御性のよいレーザ光源を提供する。

第2の効果は、レーザダイオードの駆動条件を半固定状態にし、レーザ媒質を最適な波長で励起することにより、一定の励起分布に対して共振器アライメントを最適状態に維持できるため、励起状態の変化による不安定要素を抑制し、レーザ光ビーム横モードの強度分布、出力エネルギーの安定性向上につながることである。

第3の効果は、レーザ発振器の制御性が向上することにより、加工装置の外部光学系に出力調整の減衰装置や、安定状態まで待機するための外部シャッタを用いずに加工出力の精密制御が可能となり加工装置のコンパクト化につながることである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

10

20

30

40

50

本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【実施例 1】

【0011】

図 1 は本発明のパルス駆動レーザダイオード励起 Q スイッチ固体レーザ発振器の構成を示すブロック図である。

レーザ発振器は、レーザヘッド部 10 とレーザダイオード制御ユニット 20 と Q スイッチ素子制御ユニット 30 で構成される。

レーザヘッド部 10 は、レーザ共振器 1、固体レーザ媒質 2、励起用レーザダイオード 3 と Q スイッチ動作をするためのポッケルス素子 4 からなる。

レーザダイオード制御ユニット 20 は、レーザダイオードを駆動するためのパルス電流源 5 と、励起用レーザダイオードを温度制御する温度制御部 7 と、一定のパルス繰り返し周波数 f_{LD} を発振する発振器 9 を含む。

Q スイッチ素子制御ユニット 30 は、ポッケルス素子を駆動するための高電圧スイッチング電源 6 とポッケルス素子に印加される高電圧パルスをレーザダイオード駆動パルスに同期をとるための同期部 8 とで構成される。

【0012】

レーザダイオード制御ユニット 20 では、発振器 9 の発振する繰り返し周波数一定 f_{LD} の信号を受けて、パルス電流源 5 は、レーザダイオードのパルス駆動条件である繰り返し周波数 f_{LD} に加えて、電流値 I_{LD} 及び電流パルス幅 W も一定値に固定して出力する。これらの積分値はレーザダイオードに与えられる平均電力量に相当する。この積分値を一定値に固定することは、すなわちレーザダイオードの平均的な熱発生量を一定に保つことになる。

温度制御部 7 は、レーザダイオードのパルス駆動条件である電流値 I_{LD} 及び電流パルス幅 W 及び繰り返し周波数 f_{LD} が一定の条件において、個体差をもつレーザダイオードのケース温度 T_{LD} をレーザダイオードの発振波長が最適波長になるように合わせ固定する。すなわち、ダイオードチップ内の熱発生によるケース温度の変化を検知しながら、例えばペルチェ素子のような電子冷却素子により温度制御を行い、レーザダイオードの発振波長がレーザ媒質の吸収ピーク波長に一致するようにケース温度を制御する。

ここで付け加えると、レーザダイオードの駆動条件を固定している期間は、一連のレーザ加工処理を行う短期的な時間の範囲であり、例えばレーザダイオードの消耗による発生光量を補正するための電流値増加の機能をパルス電流源 5 は備えていることが望ましい。

Q スイッチ素子制御ユニット 30 では、同期部 8 に外部からレーザダイオード駆動パルス立ち上がりからの Q スイッチ遅れ時間 t と、Q スイッチの繰り返し周波数 f_{pc} とが入力される。また、発振器 9 からレーザダイオード駆動パルス繰り返しタイミング信号 f_{LD} が入力される。これにより、同期部 8 は、レーザダイオード駆動パルス繰り返しタイミング信号 f_{LD} に同期した Q スイッチ駆動信号 12 を生成する。

高電圧スイッチング電源 6 は、生成された信号を高電圧信号 HV に変換してポッケルス素子 4 に印加する。

【0013】

図 2 に本発明のレーザ発振器構成による Q スイッチ動作のタイミング・チャートを示す。まず、外部から与えられるレーザダイオード開始信号 ST により、発振器 9 によってレーザダイオードのタイミング信号 f_{LD} が生成され、レーザダイオードの駆動は開始される。レーザダイオードの駆動パルス電流 11 は、期待する最大の Q スイッチパルスエネルギーが得られる電流値 I_{LD} 及び電流パルス幅 W に設定されている。電流パルス幅 W は、レーザ媒質固有の上準位蛍光寿命に近い値とする。レーザダイオードの繰り返し周波数 f_{LD} も、レーザダイオードの性能保証範囲内で、かつ固体レーザ出力をレーザ加工等に用いる場合の加工条件に必要な最大の値に設定する。

このようにレーザダイオードの駆動条件が決定されると、レーザダイオードの熱発生量が決まり、レーザダイオードのケース温度を T_{LD} に調節することにより、発光部の半導体チップ温度 T_{CHIP} が最適温度に定まり、レーザダイオードの励起発振波長はレーザ媒

10

20

30

40

50

質の吸収ピーク波長に一致させて固定させることができる。温度制御部 7 は、ダイオードチップ内の熱発生によるケース温度の変化を検知しながら、ケースを温度制御し、レーザダイオードの発振波長がレーザ媒質の吸収ピーク波長に一致するケース温度 T_{LD} に到達した時点で安定し、スタンバイ状態となる。

次に、外部から同期部 8 に Q スイッチ遅れタイミング時間 t と Q スイッチの繰り返し信号 f_{PC} が入力され、これにより、レーザダイオードのタイミング信号 f_{LD} に同期した繰り返し信号 f_{PC} の Q スイッチ素子駆動信号 12 が生成され、高電圧信号 HV に変換されてポッケルス素子 4 に印加されることにより Q スイッチパルスレーザ光 13 の発振が行われる。

【0014】

レーザ発振の繰り返し周波数を変化させるには、Q スイッチ繰り返し信号 f_{PC} を変更する。つまり、レーザダイオードのパルス電流の繰り返し周波数 f_{LD} に対して $1/n$ 分の周波数条件をもつ f_{PC} ($f_{PC} = f_{LD} / n$: n は整数) を与えると、この新たな f_{PC} の繰り返し周波数のレーザ光が発生する。

レーザ光のパルスエネルギーを変化させるには、Q スイッチ遅れ時間 t を変更することにより制御することができる。つまり、 t をレーザダイオードの電流パルス幅 W とほぼ一致させると最大 Q スイッチパルスエネルギーが得られ、 t を減少して Q スイッチをかけるタイミングを調整すると、Q スイッチエネルギーとして抽出されるレーザ媒質の蓄積エネルギーが減少し、レーザ光の出力エネルギーが調整できる。

本発明で創案した機能は、上記に示した一連の制御が可能なレーザダイオード制御ユニット 20 のレーザダイオード駆動制御機能、及びポッケルス素子を駆動するための Q スイッチ素子制御ユニット 30 の Q スイッチタイミング制御機能を複合したものである。

【0015】

次に、温度制御部 7 の動作を説明する。

図 3 は、固定レーザ発振器組立前に予め測定することができるレーザダイオードのパルス電流の繰り返し周波数 f_{LD} に対する発振波長 λ の変化の傾向を示す。

従来のケース温度を調節してレーザダイオード発振波長を最適化する方式は、前述の如く特定の熱発生条件、つまりレーザダイオードの特定のパルス駆動電流値及び繰り返し周波数の駆動条件下にて行われている。この温度制御方法について図 3 を用いて説明すると、特性曲線 21 は、レーザダイオードの室温等の基準となるケース温度における $\lambda - f_{LD}$ 特性である。従来の温度制御機能は、特定のパルス繰り返し周波数 f_{mid} において、レーザダイオードの発振波長が、レーザ媒質の吸収ピーク波長 λ_{ab} に一致するようにレーザダイオードのケース温度を T_2 に設定し、 $\lambda - f_{LD}$ の特性を 21 から 22 に移行させて一定値に制御する方法である。レーザダイオードのケース温度を T_2 に設定し一定値に制御しても、熱源である半導体チップ部の熱発生量が繰り返しの変化によって増減すると、ケースと半導体チップには熱抵抗があるためチップ温度 T_{CHIP} は変化する。チップ温度 T_{CHIP} の変化は、レーザダイオードの発振波長 λ の変化を生じさせる。特にレーザダイオードをパルス駆動した場合は、使用する繰り返し周波数の範囲が広いほど、熱発生量の増減範囲は大きくなり、レーザ媒質の吸収ピークの幅 (斜線部) よりもっと広い範囲の波長変化が生じ、レーザ出力の低下が起こる。

これに対して、本発明の方式では、先述のようにレーザダイオードの駆動繰り返し周波数 f_{LD} は、レーザダイオードの性能保証範囲内であり、かつ例えば発振器出力をレーザ加工条件等に必要最大の周波数 f_{MAX} (特性 23) に固定している。この一定条件下で、温度制御部 7 は、レーザダイオードのケース温度 T_{LD} を T_1 に制御してレーザダイオードの発振波長をレーザ媒質の吸収ピーク波長 λ_{ab} に安定させる。

本方式では、Q スイッチのタイミング t を変化させてレーザ出力を制御しても、また Q スイッチ繰り返し周波数 f_{PC} を変化させても、 f_{LD} は f_{MAX} のままで変化しないため波長の逸脱がない。

【0016】

以上に構成と動作について述べた本発明のレーザ発振器の出力制御と発振繰り返し制御

10

20

30

40

50

の特長を説明する。

Qスイッチ遅れ時間 t とパルス電流値 I_{LD} で決まる斜線部が、Qスイッチを行う時点のレーザ媒質の蓄積エネルギーに相当し、レーザ発振器出力光のパルスエネルギー 13 と相関性がある。このため、予めQスイッチ遅れ時間 t と出力エネルギーの特性を予め測定してテーブル化しておくことにより、このテーブルによりレーザ発振器出力の制御が可能である。

この出力制御方式を従来の固体レーザ発振器出力制御をレーザダイオードの電流値による制御によって行う方式と比較すると、従来方式では励起波長シフトが必然的に課題となって生じ、これによってレーザ媒質の吸収エネルギーの変化を引き起こし、レーザ媒質に励起光が侵入したときの吸収の傾向、つまり励起分布の変化として現れ、レーザ光ビーム横モードの強度分布のずれ、揺らぎによる不安定性につながっているが、本発明のように励起状態固定の場合にはこの効果が抑制される。

【0017】

また、レーザ発振繰り返しを変化させる場合にはQスイッチ繰り返し信号 f_{PC} をレーザダイオードのパルス電流の繰り返し周波数 f_{LD} に対して分周された周波数条件を持った f_{PC} ($f_{PC} = f_{LD} / n$: n は整数) を与えることにより低繰り返しのレーザ光が発生する。図2では $n = 2$ の状態を示している。

このとき、レーザ発振を間引いていることと同じであり、繰り返し周波数を変化させても出力レーザパルスエネルギーは変化しない。また、繰り返し周波数を変化させても励起されるレーザ媒質の熱的状态は変化せず一定であるため、共振器アライメントを常に最適調整の状態に保つことができる。これは従来技術のようにパルス電流の繰り返し周波数 f_{LD} による励起分布や熱的歪みの変化が引き起こす共振器アライメントのずれがないため出力安定度の向上につながる。

ただし、この方式では繰り返し周波数を同じ変化量で細かく調整をすることはできないが、通常のレーザ加工では数種もしくはシングルショットなどの切り換えで十分であることが多く、最大繰り返しである f_{MAX} を励起用レーザダイオードの繰り返し周波数 f_{LD} に選定することで実用上の弊害は少ない。

【0018】

以上の説明のように、本発明のレーザ発振器は以下の効果を奏す。

第1の効果は、パルス駆動のレーザダイオードを用いたQスイッチ発振の固体レーザ発振器において、パルス繰り返し周波数を調整しても出力エネルギーは不変であるため、繰り返し周波数と出力エネルギーを独立に指定できる制御性のよいレーザ光源を提供する。

第2の効果は、レーザダイオードの駆動条件を固定しレーザ媒質を最適な波長で励起することにより、一定の励起分布に対して共振器アライメントを最適状態に維持できるため、励起による不安定要素を抑制しレーザ光ビーム横モードの強度分布、出力エネルギーの安定性向上につながることである。

第3の効果は、レーザ発振器の制御性が向上することにより、加工装置の外部光学系に出力調整の減衰装置や、安定状態まで待機するための外部シャッタを用いずに加工出力の精密制御が可能となり加工装置のコンパクト化につながることである。

【0019】

なお、一般的にQスイッチの方式として、高電圧を印加したときにレーザ発振するオンスイッチ方式と、高電圧を印加しレーザ発振停止した後に高電圧を切ったとき発振するオフスイッチ方式があるがいずれの方式でもよい。また、電気光学効果型の素子のみならず、必要に応じて音響効果型の素子を用いてもよい。

【実施例2】

【0020】

次に、本発明の第2の実施例について図4を参照して詳細に説明する。

図4は、図1のレーザ発振器の構成のうち、レーザヘッド部10を除くレーザダイオード制御ユニット20とQスイッチ素子制御ユニット30を示している。

上述の第1の実施例ではレーザダイオードの繰り返し周波数 f_{LD} を固定するとしていた

10

20

30

40

50

が、例えば高繰り返し周波数と低繰り返し周波数でのみしか使用しない場合には、低繰り返し時に発振に寄与しないレーザダイオードの発光が多いため、レーザダイオードの寿命への影響が懸念される面もある。図4に示す実施例はこれに対応するため機能を拡張したものである。

レーザダイオードの繰り返し周波数 f_{LD} を高繰り返し時には、その最大値を f_{1LD} に選定し、低繰り返し時にはその最大値を f_{2LD} に選定する。各々に対して最適励起波長となるレーザダイオードのケース温度 T_{1LD} 、 T_{2LD} を測定しておき記憶する。これは図3に示す調整点23の他に調整点24を設けることである。この各繰り返し信号に対して、分周するQスイッチの繰り返し信号 f_{PC} が $f_{PC} = f_{LD} / n$ (n は整数) の条件を満たし、各分周の割合 n によって決まる複数の f_{1PC} 、 f_{2PC} を設けると高低の多種にわたるパルス繰り返しの選定が可能となる。

10

【0021】

外部から低繰り返しの f_{2PC} を指定した場合には、レーザダイオード開始信号 ST と共にレーザダイオードの低繰り返し時の最大周波数の駆動信号 f_{2LD} がパルス電流源5に与えられ、レーザダイオードの設定温度 T_{2LD} が温度制御機能7に与えられてレーザダイオードの駆動は開始される。そしてレーザダイオードの波長は、図3の調整点24に安定化される。その後、パルスエネルギーを決定するQスイッチ遅れ時間 t とQスイッチの繰り返し信号 f_{2PC} が高電圧スイッチング電源6に与えられるとレーザ発振する。このとき、レーザダイオードの発振に寄与しない発光は、高繰り返し時の最大周波数の駆動信号 f_{1LD} で駆動したときよりも少ないため、レーザダイオードの消耗は少なくなる

20

。上記の例は調整点を2個とした場合であるが、加工条件に要求されるレーザ光の繰り返し周波数の種類に対応して f_{LD} 、 f_{PC} 、 T_{LD} の複数の組み合わせを外部入力できるようにしておくことで、効率よく無駄な発光を減らしてレーザダイオードの駆動をすることも可能である。

【0022】

本第2の実施例は以下の効果を奏す。

第1の効果は、パルス駆動のレーザダイオードを用いたQスイッチ発振の固体レーザ発振器において、パルス繰り返し周波数を調整しても出力エネルギーは不変であるため、繰り返し周波数と出力エネルギーを独立に指定できる制御性のよいレーザ光源を提供する。

30

第2の効果は、レーザ発振器の制御性が向上することにより、加工装置の外部光学系に出力調整の減衰装置や、安定状態まで待機するための外部シャッタを用いずに加工出力の精密制御が可能となり加工装置のコンパクト化につながることである。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明のパルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器の第1の実施例の構成図である。

【図2】本発明のパルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器のQスイッチ動作を表すタイミング・チャート図である。

【図3】レーザダイオードの繰り返し動作における波長変化を示す図である。

40

【図4】本発明のパルス駆動レーザダイオード励起Qスイッチ固体レーザ発振器の第2の実施例の制御ユニットの構成図である。

【図5】従来技術のレーザ発振器の構成図である。

【図6】従来技術のレーザ発振器のQスイッチ動作を表すタイミング・チャート図である。

【符号の説明】

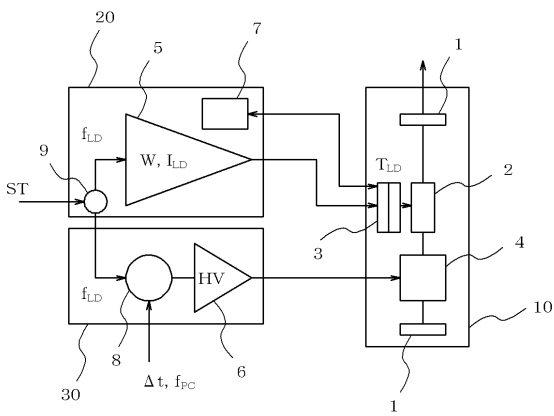
【0024】

- 1 レーザ共振器
- 2 レーザ媒質
- 3 レーザダイオード

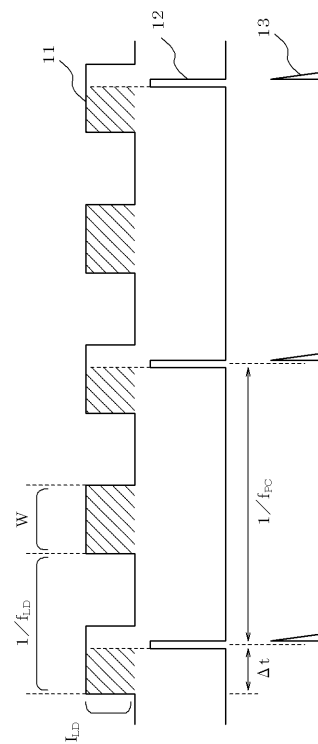
50

- 4 ポツケルス素子
- 5 パルス電流源
- 6 高電圧スイッチング電源
- 7 温度制御機能
- 8 同期部
- 9 発振器
- 10 レーザヘッド部
- 11 レーザダイオードの駆動パルス電流
- 12 Qスイッチ素子駆動信号
- 13 パルスレーザー光
- 20 レーザダイオード制御ユニット
- 30 Qスイッチ素子制御ユニット

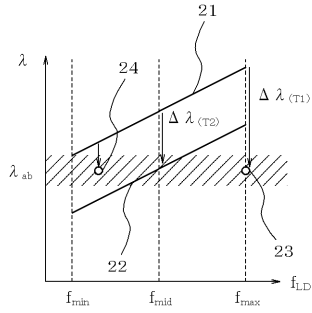
【図1】



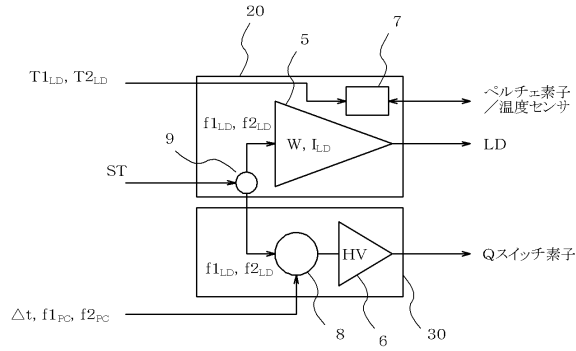
【図2】



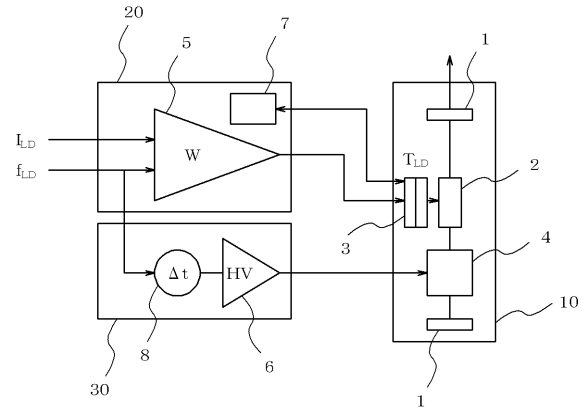
【図3】



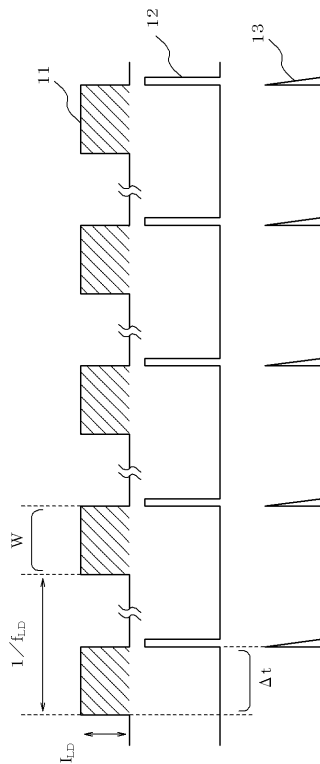
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-359422(JP,A)
特開2003-198018(JP,A)
特開平11-135870(JP,A)
特開平06-326380(JP,A)
特開平08-222785(JP,A)
特開2001-353585(JP,A)
特開平07-007210(JP,A)
特開平08-148740(JP,A)
戸川拓哉、上田敦、森重幸雄、鈴木良和、ナノメートル精度マスクリペア装置用ピコ秒レーザーシステム、レーザー学会研究会報告、2002年10月23日、304、pp.27-31

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00 - 3/30