

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-187281

(P2014-187281A)

(43) 公開日 平成26年10月2日(2014.10.2)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
 HO 1 S 3/13 (2006.01) HO 1 S 3/13 5 F 1 7 2  
 HO 1 S 3/10 (2006.01) HO 1 S 3/10 Z

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2013-62123 (P2013-62123)  
 (22) 出願日 平成25年3月25日 (2013. 3. 25)  
 (出願人による申告) 平成24年度、文部科学省、科学技術試験研究委託事業による委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 504151365  
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
 茨城県つくば市大穂1番地1  
 (74) 代理人 110000855  
 特許業務法人浅村特許事務所  
 (72) 発明者 浦川 順治  
 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内  
 (72) 発明者 坂上 和之  
 東京都新宿区新大久保3-4-1 早稲田大学 総合研究所内  
 Fターム(参考) 5F172 AM08 DD03 EE13 NN14 NN23  
 NN24 NP03 NQ08 NR03 NR05 NR06

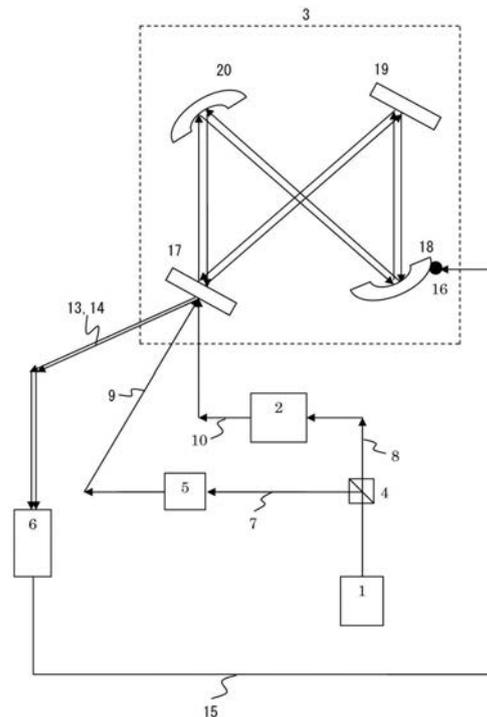
(54) 【発明の名称】 大強度レーザー蓄積システム

(57) 【要約】

【課題】本発明は、新しい共鳴維持機構を持つ大強度レーザー蓄積システムを提供する。

【解決手段】リング光共振器の中を互いに逆回りに周回するモードロックレーザーのうち、片方のレーザーだけを増幅してリング光共振器に蓄積させ、もう片方のレーザーは増幅させないでリング光共振器の共鳴維持のために用いることを特徴とする大強度レーザー蓄積システムの構成とした。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

レーザー発振器と、レーザーをバースト増幅するバースト増幅器と、バースト増幅レーザーを蓄積するリング光共振器と、前記レーザー発振器と前記バースト増幅器の間に連結されて配置されたビームスプリッターと、前記ビームスプリッターと前記リング光共振器の間に連結されて配置された電気光学変調器と、該電気光学変調器による変調レーザーに基づいてエラー信号を生成するフィードバック制御系を介してリング光共振器の共鳴維持を行う共鳴維持機構と、を備えており、

前記レーザー発振器から供給されるレーザーを前記ビームスプリッターに導き、該ビームスプリッターにより分岐し、

該分岐されたレーザーの片方を前記バースト増幅器に導き、該バースト増幅器により増幅し、該増幅レーザーを前記リング光共振器の入射ミラー 1 に導き、該光共振器に導入及び蓄積する一方、

もう片方の分波レーザーを前記電気光学変調器に送り、該電気光学変調器により強度変調し、これを前記リング光共振器の入射ミラー 1 に導き、該光共振器に導入し、更に、

前記共鳴維持機構が、前記リング光共振器の入射ミラー 1 に導かれた強度変調レーザーを該入射ミラー 1 で反射させたレーザーと、該入射ミラー 1 を透過させて該光共振器に入れ再び該入射ミラー 1 を透過させて光共振器の外に取り出したレーザーと、を 2 入力とする前記フィードバック制御系に入れ、該 2 入力のレーザーに基づいてフィードバック制御系により作られるエラー信号に応じて前記リング光共振器及び又は前記レーザー発振器をチューニングすることを特徴とする大強度レーザー蓄積システム。

## 【請求項 2】

前記外部共振器が、高反射率を有する少なくとも 1 対のミラーを配置する 4 鏡光共振器であることを特徴とする請求項 1 に記載の大強度レーザー蓄積システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、新しい共鳴維持機構を持つ大強度レーザー蓄積システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、レーザーコンプトン散乱を利用した高輝度 X 線発生の研究開発が注目されている。レーザーコンプトン散乱とは、パルスレーザー光と電子ビームとの衝突によって X 線の放射線が発生することである。レーザーコンプトン散乱を行うためには 1 パルス当たりのレーザー強度（パルス強度）が非常に高いレーザーと高輝度電子ビームが必要である。しかし、パルス強度の高いレーザーの製造は、下記に述べるように非常に困難であった。

## 【0003】

従来、レーザーを蓄積させる手段として光共振器が知られている。光共振器は、通常、レーザー光を向かい合う共振鏡によって反射させながら共振鏡面上のレーザー干渉によって増幅するレーザー増幅手段であり、共振鏡の反射率に依存して増幅レーザーの蓄積を調整できる。光共振器には、リング形状のファブリペロ型共振器や反射鏡を持つマイケルソン干渉計型共振器、フォックス・スミス干渉計型共振器、マッハツェンダー干渉計型共振器等が知られている。

## 【0004】

光共振器によるレーザー増幅の原理は、共振器長がレーザー光の半波長の整数倍に合致する条件が満足されることによって行われることである。これを定在波が立つという。定在波の共鳴幅は、共振鏡の反射率で決まるので、高増幅倍率を得ようとして高反射率の鏡を使用するほど狭くなっていく。例えば、仮に、反射率 99.9% の反射鏡を用いて増幅率 1000 倍の光共振器を想定した場合、共鳴幅は、24 kHz、共鳴位置にして約  $1 \times 10^{-10}$  m) であるので、振動等の環境の擾乱で簡単に共鳴状態が失われる。レーザー共鳴状態を維持するためには、共振鏡をピエゾ駆動にし、高度なフィードバック制御を行

10

20

30

40

50

うことが必要であるが、従来の光共振器は、機械的な制御の限界上、安定に共鳴を維持できる技術的限界は、増幅率1000倍程度であるとされている。

【0005】

例えば、市販の大強度モードロック発振器（出力50W、パルス長10psec/pulse、波長1064nm、繰り返し150MHz）と従来の光共振器を用いて該光共振器にレーザーを増幅・蓄積した場合、蓄積レーザーのパルス強度は、100 $\mu$ J程度が限界であった。大強度モードロック発振器は、非常に高価であることと、例え、大強度モードロック発振器のレーザーを従来の光共振器に定常的に増幅・蓄積したとしても、光共振器のミラー上でのレーザーエネルギーロスが、通常、100ppm程度あるので、ミラーの熱変形によって光共振器の共鳴状態が不安定になり、レーザーの入射効率が著しく低下するという問題があった。

10

【0006】

これまで、光共振器の共鳴維持に関し多くの方法が提案されている（特許文献1-5）。

【0007】

特許文献1は、レーザー光源1からのレーザー光を変調器3により周波数変調し、一方、リファレンス共振器に相当する周波数弁別装置6により変調器3からの周波数変調レーザーを所定の共振周波数で共振させ、これら二つの周波数差から発生させた誤差信号に基づいてレーザー光源1の発振周波数を安定化する方法を開示している。

【0008】

特許文献2は、シングルモードレーザー発振器からのレーザー光を位相変調器により位相変調し、この位相変調された光を光リング共振器4に入力後、同じ位置で光リング共振器から取り出したレーザー光に基づいてエラー信号を作り、このエラー信号に応じて光リング共振器4に備えたピエゾ素子9を駆動させ光リング共振器全体の光ファイバ長を調整することによる光リング共振器の共振安定化方法を開示している。

20

【0009】

特許文献3は、内部光路にビームスプリッターと複数の反射鏡とリファレンス共振器を配置するマッハツェンダー干渉計を用い、レーザー発振器からのレーザーをビームスプリッターにより二つのレーザー光に分離し、片方のレーザー光をリファレンス共振器を介して検出モジュールに入れ、一方、もう片方のレーザー光も検出モジュールに入れ、検出モジュールによりリファレンス共振器の周波数とレーザー発振器との周波数差を表す誤差信号を発生させ、これをリファレンス共振器及び又はレーザー発振器のチューニング信号として用いる光同期法を開示している。

30

【0010】

特許文献4は、フーリエドメインモードロッキング（FDML）操作の安定性向上のために、フィルター同期、レーザーゲインの同期、偏光の同期、楕円偏光の遅延特性の同期、散乱の同期、等を行うことによる制御システムを開示している。該制御システムは、FDMLキャビティの内部又は外部に設けることができることを開示している。

【0011】

特許文献5は、光共振器内の周回レーザーを格子に入射させる時の入射角を調整することによって、光共振器内に設けた複数の共振ミラーの動作を調整し、それによって、該共振ミラー間に形成される光路を制御することを開示している。

40

【0012】

しかし、上記の特許文献に開示された方法は、幾つかの問題点を内含していた。第1の問題点は、前記に述べたように従来の共振器の共鳴を維持できる増幅倍率は1000倍程度が限界であるために大強度レーザーの蓄積が困難であった。第2の問題点は、従来の共振器は、共振鏡のレーザー損傷により大強度レーザーの蓄積が困難であった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

50

【特許文献1】特開平8-204275号公報

【特許文献2】特開平10-125983号公報

【特許文献3】特公表2011-514009号公報

【特許文献4】米国特許公開2013-0058364号公報

【特許文献5】米国特許公開2013-0064258号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

本発明の目的は、新しい共鳴維持機構を持つ大強度レーザー蓄積システムを提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明者等は、上記の目的を達成するために鋭意研究を重ねた結果、リング光共振器にレーザーパルスを蓄積させ、リング光共振器の中を互いに逆回りに周回するレーザーパルスのうち、片方のレーザーは増幅させるが、もう片方のレーザーは増幅させないでリング光共振器の共鳴制御のために用いることが有効であることを見だし、この知見に基づいて本発明を完成するに至った。

【0016】

すなわち、本発明は、

1. レーザー発振器と、レーザーをバースト増幅するバースト増幅器と、バースト増幅レーザーを蓄積するリング光共振器と、前記レーザー発振器と前記バースト増幅器の間に連結されて配置されたビームスプリッターと、前記ビームスプリッターと前記リング光共振器の間に連結されて配置された電気光学変調器と、該電気光学変調器による変調レーザーに基づいてエラー信号を生成するフィードバック制御系を介してリング光共振器の共鳴維持を行う共鳴維持機構と、を備えており、

20

前記レーザー発振器から供給されるレーザーを前記ビームスプリッターに導き、該ビームスプリッターにより分岐し、

該分岐されたレーザーの片方を前記バースト増幅器に導き、該バースト増幅器により増幅し、該増幅レーザーを前記リング光共振器の入射ミラー1に導き、該光共振器に導入及び蓄積する一方、

30

もう片方の分波レーザーを前記電気光学変調器に送り、該電気光学変調器により強度変調し、これを前記リング光共振器の入射ミラー1に導き、該光共振器に導入し、更に、

前記共鳴維持機構が、前記リング光共振器の入射ミラー1に導かれた強度変調レーザーを該入射ミラー1で反射させたレーザーと、該入射ミラー1を透過させて該光共振器に入れ再び該入射ミラー1を透過させて光共振器の外に取り出したレーザーと、を2入力とする前記フィードバック制御系に入れ、該2入力のレーザーに基づいてフィードバック制御系により作られるエラー信号に応じて前記リング光共振器及び又は前記レーザー発振器をチューニングすることを特徴とする大強度レーザー蓄積システムの構成とした。

2. 前記外部共振器が、高反射率を有する少なくとも1対の反射鏡を配置する4鏡光共振器であることを特徴とする前記1に記載の大強度レーザー蓄積システムの構成とした。

40

【発明の効果】

【0017】

本発明は、リング光共振器の中を互いに逆回りするモードロックレーザーのうち、片方のレーザーはバースト増幅器により増幅させてリング光共振器に蓄積させるが、もう片方のレーザーは増幅させないでリング光共振器の共鳴維持のために用いる全く新しい大強度レーザーパルスを蓄積するシステムである。本発明は、片方のレーザーだけをバースト増幅器により約1万倍程度乃至それ以上増幅し、リング光共振器に蓄積させるが、もう片方のレーザーは、増幅させないで定常的にリング光共振器の共鳴維持を行うために用いるので、リング光共振器の共鳴制御を共鳴位置にして約0.1以下で行うことが可能であり、また、リング光共振器のミラーの熱変形やレーザー損傷等をCWレーザー蓄積に比べて

50

千分の1以下に低減することが可能であるので、その結果、リング光共振器に1 mJ以上のパルス強度を有する大強度レーザーの蓄積が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の一つを説明する概略図である。

【図2】本発明の一つを説明する概略図である。

【図3】本発明の一つを説明する概略図である。

【図4】本発明で用いる共鳴制御の結果を示す一例である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下に図面を参照しつつ本発明の一側面を実施形態（以下、「本実施形態」とも表記する）として詳細に説明する。

【実施例】

【0020】

図1に示すように、本発明は、レーザー発振器(1)と、レーザーをバースト増幅するバースト増幅器(2)と、バースト増幅レーザーを蓄積するリング光共振器(3)と、前記レーザー発振器と前記バースト増幅器の間に連結されて配置されたビームスプリッター(4)と、ビームスプリッター(4)とリング光共振器(3)の入射ミラー1(11)との間に連結されて配置された電気光学変調器(5)と、電気光学変調器(5)により変調されたレーザー(9)に基づいてエラー信号を生成するフィードバック制御系(6)を介してリング光共振器の共鳴維持を行う共鳴維持機構と、を備えており、レーザー発振器(1)からのレーザーをビームスプリッター(4)に導き、ビームスプリッター(4)により分岐し、該分岐レーザーのうち片方のレーザー(8)だけをバースト増幅器(2)に導き、バースト増幅器(2)により増幅し、該増幅レーザー(10)をリング光共振器(3)の入射ミラー1(11)に送り、該入射ミラー1(11)を透過させて該光共振器(3)に蓄積させる一方、共鳴維持機構が、ビームスプリッター(4)により分岐されたもう片方のレーザー(7)だけを電気光学変調器(5)に送り、電気光学変調器(5)により強度変調し、該強度変調されたレーザー(9)をミラー系（図は省略）を介してリング光共振器(3)の入射ミラー1(11)に導き、該入射ミラー1(11)で反射させたレーザー(13)と、及び、該入射ミラー1(11)を透過させてリング光共振器(3)に入れ再び該入射ミラー1(11)を透過させてリング光共振器の外に取り出したレーザー(14)と、をフィードバック制御系(6)に入れ、これら二つのレーザーに基づいてフィードバック制御系(6)により作られるエラー信号に応じて前記リング光共振器及び又は前記レーザー発振器をチューニングすることを特徴とする大強度レーザー蓄積システムである。

【0021】

本発明で用いられるレーザー発振器は、リング光共振器に光を供給するレーザー光源として用いられる、例えば、レーザーダイオード励起レーザー発振器、ファイバレーザー発振器、光共振器とファイバレーザー増幅器を連結する光周回路を持つモードロックレーザー発振器、等を用いることができるが、これらに限定するものではない。本発明では、レーザー発振器から供給される1064 nmのレーザーを用いている。

【0022】

本発明におけるバースト増幅器とは、レーザー発振器から出射されるレーザーを一瞬にして飛躍的に高い増幅、例えば、1万倍程度の増幅、を行うことができる増幅器のことである。該バースト増幅器としては、例えば、増幅を段階的に行うことができる非循環型の多段ファイバレーザー増幅器、多段レーザーダイオード励起固体レーザー発振器、等の従来のレーザー増幅手段を用いることができるが、これらに限定するものではない。

【0023】

本発明で用いるリング光共振器は、バースト増幅器により生成させる大強度レーザーを蓄積させる光共振器である。該リング光共振器の内部には、モードロックによって、互いに逆回りに周回するレーザーパルスが蓄積されている。該レーザーパルスは、ピコ秒の時間幅を持つ短パルスレーザーである。該リング光共振器は、周回光路中の微粒子によるレ

10

20

30

40

50

レーザー散乱を防止するために真空下に置くのが好ましい。この真空度は、 $10^{-6}$  Pa 以下であるのが好ましい。該リング光共振器としては、図1に示すような2個のミラーを配置する光共振器を用いることができるが、強度変調レーザーを導入するポートと、増幅レーザーを導入するポートと、フィードバック制御信号を導入するポートと、必要に応じて該光共振器の中を周回するレーザーをモニターするポートを備えるので、少なくとも4個のミラーを配置する4鏡光共振器であるのが好ましい。4個のミラーのうち少なくとも1対のミラーとしては、大強度レーザーを蓄積するために高反射率を有するミラーを用いるのが好ましい。このミラーとしては、通常、反射率が99.99%以上100%未満のミラーを用いる。ミラーの反射率を99.99%以上にするのは、リング光共振器に1mJ以上のパルス強度を有する大強度レーザーを蓄積するためである。反射率を100%未満にするのは、一部のレーザーをミラー透過させて光共振器に入れるためである。

10

## 【0024】

前記レーザー発振器から供給されるレーザーは、ビームスプリッターにより分岐する。該ビームスプリッターとしては、従来のビームスプリッターを用いることができる。

## 【0025】

前記ビームスプリッターにより分岐された二つのレーザーのうち、片方のレーザーに電気光学変調器を用いて数MHzの強度変調を行う。この強度変調周波数は、数百MHzのモードロック繰り返し周波数に数MHzの強度変調を加えると高周波ミキサーによって容易に数MHzの共鳴エラー信号に変換できるので、数MHzであることが好ましい。該電気光学変調器としては、従来の電気光学強度変調器を用いることができる。該電気光学変調器として、位相変調を行う電気光学変調器を用いても同様の実施が可能である。それは、本発明で用いるリング光共振器の入射ミラーにコートされた誘電体多層膜上で入射レーザーパルスと蓄積されているレーザーパルスが重なる時、位相又は強度の不一致があれば、その不一致を反映した反射波と透過波を後述のフィードバック制御経路に入れることにより、該フィードバック制御経路の中でエラー信号を作ることができるからである。

20

## 【0026】

次に、電気光学変調器(5)により強度変調されたレーザー(9)をリング光共振器の入射ミラー1(11)に導き、該入射ミラー1(11)で反射されたレーザーをフィードバック制御系に入れるのであるが、電気光学変調器(5)により強度変調されたレーザー(9)をリング光共振器(3)の入射ミラー1(11)に導き、その一部を入射ミラー1(11)により反射させ、残りのレーザーを入射ミラー1(11)を透過させてリング光共振器(3)に入れ、この強度変調されたレーザーがリング光共振器(3)の中を周回している間に、そのうちの一部を再び入射ミラー1(11)を通過させて外に取り出すことができるので、このリング光共振器(3)から取り出されたレーザー(14)と、入射ミラー1(11)により反射された強度変調レーザー(13)をフィードバック制御系(6)に入れ、該フィードバック制御系(6)によりエラー信号を生成することができる。

30

## 【0027】

一方、電気光学変調器に送らなかったレーザー(8)をバースト増幅器(2)により増幅し、該増幅レーザー(10)をリング光共振器(3)の入射ミラー1(11)に導き、入射ミラー1(11)を透過させてリング光共振器(3)に入れるのであるが、この増幅レーザーは、電気光学変調器(5)により強度変調されたレーザーを入射ミラー1(11)に入射させる角度と異なる角度で入射ミラー1(11)に入射させるので、入射ミラー1(11)を透過させてリング光共振器(3)に入る増幅レーザーは、リング光共振器(3)の中を周回する強度変調されたレーザーに全く干渉しない。すなわち、リング光共振器の中を周回する二つのモードロックレーザーのうち、片方のレーザーだけを増幅させ、もう片方のレーザーは増幅させないで定常的にリング光共振器の共鳴維持のためのフィードバック制御信号として用いることができる。また、リング光共振器(3)内にある増幅レーザーは、その一部を入射ミラー1(11)又は他の入射ミラーを透過させて外部に導き、これをバースト増幅器(2)に入れ、更に増幅させて、入射ミラー1(11)に導き、入射ミラー1(11)を介してリング光共振器に入れることができる。

40

50

## 【0028】

前記フィードバック制御系としては、例えば、[光検波器 ロックインアンプ サーボアンプ]の回路とその他に各種の演算を行うマイクロプロセッサ、又は演算機能が組み込まれたFPGAやASIC等のLSIなどが搭載された演算基板を備える制御系を用いることができる。光検波器は、レーザー光を電気信号に変換する手段であり、ロックインアンプは、電気信号からエラー信号を抽出する手段であり、サーボアンプは、電気信号を機械的な駆動信号に変換する手段である。すなわち、強度変調レーザー(ブランク)と及び外部共振器の共鳴状態を反映した強度変調レーザーとを光検波器により電気信号に変換し、これら二つの電気信号に基づいてロックインアンプによりエラー信号を作り、該エラー信号をサーボアンプにより機械駆動信号(15)に変換し該機械駆動信号(15)をリング光共振器(3)の入射ミラー2(12)が備える piezo素子(16)に伝送し piezo素子(16)を作動させることによりリング光共振器の共振器長を調整し共鳴維持を行う構成とした。

10

## 【0029】

前記フィードバック制御系では、前記入射ミラー1(11)により反射されたレーザーを光検波器に入れる代わりに電気光学変調器の電気信号をロックインアンプに入れることによってエラー信号を生成し、このエラー信号をサーボアンプにより変換した機械駆動信号を用いてリング光共振器(3)及び又はレーザー発振器(1)の共鳴維持を行うことも可能である。

## 【0030】

図2は、リング光共振器として4鏡光共振器を用いる一例を説明する概略図である。該リング光共振器は、4個のミラーを配置した4鏡光共振器(3)であり、4個のミラーのうち少なくとも1対のミラーは、高反射率を有するミラーである。強度変調レーザー(9)が入射ミラー1(17)で反射される反射方向と、入射ミラー1(17)を透過して4鏡光共振器に入ったレーザーが再び入射ミラー1(17)を通過して外に取り出されるレーザーの出射方向とが一致するように配置され、フィードバック制御系(6)に送られる。ミラー(18)は、バースト増幅器により増幅された増幅レーザー(10)を4鏡光共振器(3)に入射させるミラーとして用いることもできるが、この増幅レーザーと電気光学変調器により強度変調されたレーザーとは、光共振器の中を周回する方向が異なるので、干渉し合うことはない。ミラー(18)は、piezo素子(16)を備えているので、フィードバック制御系からの機械駆動信号により作動する。図2には、4個のミラーを配置した4鏡光共振器の例をあげているが、4個のミラーのうち、2個のミラーを凹面鏡とすることもできる。また、2次元4鏡光共振器や3次元4鏡光共振器を用いることも可能である。

20

30

## 【0031】

前記4鏡光共振器(3)の中を周回するそれぞれのレーザーは、ミラー(20)を透過する方向が互いに異なるので、それぞれのレーザーがミラー(20)を通過する方向にそれぞれのフォトダイオードを配置することにより、それぞれのレーザーを独立にモニターすることができる。また、リング光共振器(3)内にある増幅レーザーは、その一部を入射ミラー1(17)又は他の入射ミラーを透過させて外部に導き、これをバースト増幅器(2)に入れ、更に増幅させて、入射ミラー1(17)に導き、入射ミラー1(17)を介してリング光共振器に入れることができる。

40

## 【0032】

次に、図2に示すシステムを用いてレーザー蓄積を行う。レーザー発振器からの1064nmレーザーをビームスプリッター(4)により分岐し、該分岐レーザーの片方(8)を非循環型の多段ファイバレーザー増幅器(2)により約1万倍に増幅し、反射率99.99%の入射ミラー(17)を透過させて4鏡光共振器(3)に蓄積する。該バースト増幅は、1秒のうちの1ミリ秒のみがバースト増幅状態にあるように、バースト増幅時間を100μ秒 10Hz運転で1時間運転する。一方、もう片方の分岐レーザー(7)を強度変調器(5)に送り、約3MHzの変調を加えて入射ミラー1(17)に送り、入射ミラー1(17)で反射されたレーザー(13)、及び、4鏡光共振器の中のレーザーが入射ミラー1(17)を透過して外に出てきたレーザー(14)をフィードバック制御系(6)に入れ、フィードバック制御系(6)により作ら

50

れる機械駆動信号(15)を4鏡光共振器のミラー(18)に備える piezo素子(16)に伝送し、4鏡光共振器(3)の共振器長を調整することにより共鳴維持を行う。また、4鏡光共振器(3)内にある増幅レーザーは、その一部を入射ミラー1(17)又は他の入射ミラーを透過させて外部に導き、これをパースト増幅器(2)に入れ、更に増幅させて、入射ミラー1(17)に導き、入射ミラー1(17)を介してリング光共振器に入れることができる。4鏡光共振器(3)に蓄積されるレーザーパルスは、ミラー(20)の後方に配設したフォトダイオード(図は省略)によりモニターする。4鏡光共振器(3)には、1mJ以上のパルス強度を有するレーザーパルスが蓄積されていることを確認する。この大強度レーザーパルスを蓄積する本発明大強度レーザー蓄積システムは、ここでは、パースト増幅後の入射パワーを100Wとしているので、約1MWのピークパワー(平均パワーは約21kW)に相当する大パワーレーザー蓄積システムである。それにもかかわらず、光共振器のミラーの熱変形やレーザー損傷をほとんど受けることなく共鳴維持を長時間安定的に維持することが可能である。このように光共振器のミラーの熱変形やレーザー損傷をほとんど受けることがないのは、光共振器に大強度レーザーパルスが滞在している時間が一秒の内の1ミリ秒であり、ミラーへの熱吸収は平均パワーの100ppm以下であるので2.1W以下であり(ミラーを殆ど変形させないほどの熱負荷である)、ミラーによる散乱ロスが200ppm以下であるので4.2W以下である(ミラーにレーザー損傷を殆ど与えることがないほどの熱負荷である)からである。

### 【0033】

次に、図3に示すシステムを用いてレーザー蓄積時の共鳴制御を示す。レーザー発振器からの1064nmレーザーをビームスプリッター(4)により分岐し、該分岐レーザーの片方(8)を非循環型の多段レーザーダイオード増幅器(2)により約1万倍に増幅し、反射率99.99%の入射ミラー(17)を透過させて1対の平面ミラーと1対の凹面ミラーを平面に配置した平面4鏡光共振器(3)に蓄積する。蓄積レーザーのビームサイズは、1対の凹面鏡の中心に於いて極小になる。該パースト増幅は、1秒のうちの1ミリ秒のみがパースト増幅状態にあるように、パースト増幅時間を100μ秒 10Hz運転で1時間運転する。一方、もう片方の分岐レーザー(7)を強度変調器(5)に送り、約3MHzの変調を加えて入射ミラー1(17)に送り、入射ミラー1(17)で反射されたレーザー(13)、及び、平面4鏡光共振器の中のレーザーが入射ミラー1(17)を透過して外に出てきたレーザー(14)をフィードバック制御系(6)に入れ、フィードバック制御系(6)により作られる機械駆動信号(15)を平面4鏡光共振器のミラー(18)に備える piezo素子(16)に伝送し、平面4鏡光共振器(3)の共振器長を調整することにより共鳴維持を行う。また、平面4鏡光共振器(3)内にある増幅レーザーは、その一部を入射ミラー1(17)又は他の入射ミラーを透過させて外部に導き、これをパースト増幅器(2)に入れ、更に増幅させて、入射ミラー1(17)に導き、入射ミラー1(17)を介してリング光共振器に入れることができる。平面4鏡光共振器(3)に蓄積されるレーザーパルスは、ミラー(20)の後方に配設したフォトダイオード(図は省略)によりモニターする。モニターされた共鳴点に於ける、共鳴制御用信号の波形(13と14の差信号)、強度変調レーザー(13)(便宜上、逆周回透過光と呼ぶ)の波形、及び光共振器内にある増幅レーザー(便宜上、順周回透過光と呼ぶ)の波形を図4に示す。図4から、逆周回透過光(13)の共鳴ピーク、順周回透過光の共鳴ピークが、全く同じ位置、全く同じ形で観測されており、ピークの頂点において正負が反転する共鳴制御用信号(13と14の差信号)が生成されていることが確認される。すなわち、従来の共鳴制御法では制御対象となる共振器のミラー位置情報をレーザー強度から得ているために、パースト運転時には光共振器内のレーザーの強度が非常に強くなるので、共鳴制御を継続することが困難であり、そのためパースト増幅時には一時的に共鳴制御を止めることがあったので、レーザー蓄積強度の揺れが非常に大きく、ほぼ100%の幅で揺れていたのであるが、本発明における共鳴制御機構では増幅にあずからないレーザーを共鳴制御のために用いるので、パースト増幅時においても定常的な共鳴制御が可能であり、レーザー蓄積強度の揺れを約15%まで改善することが可能であり、その結果、安定したパースト増幅が可能である。

### 【産業上の利用可能性】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 4 】

本発明は、レーザーコンプトン散乱によるX線を発生させるレーザー光源や大強度レーザー発振器等に関するものであり、医療用機器、診断機器、材料分析装置、構造解析装置、材料加工等の多くの産業に幅広く利用できる。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 3 5 】

A 大強度レーザー蓄積システム

1 レーザー発振器

2 パースト増幅器

3 リング光共振器

10

4 ビームスプリッター

5 電気光学変調器

6 フィードバック制御系

7 分岐レーザー

8 分岐レーザー

9 強度変調レーザー

10 増幅レーザー

11 入射ミラー1

12 入射ミラー2

13 入射ミラー1によって反射された強度変調レーザー

20

14 リング光共振器からの強度変調レーザー

15 機械駆動信号

16 ピエゾ素子

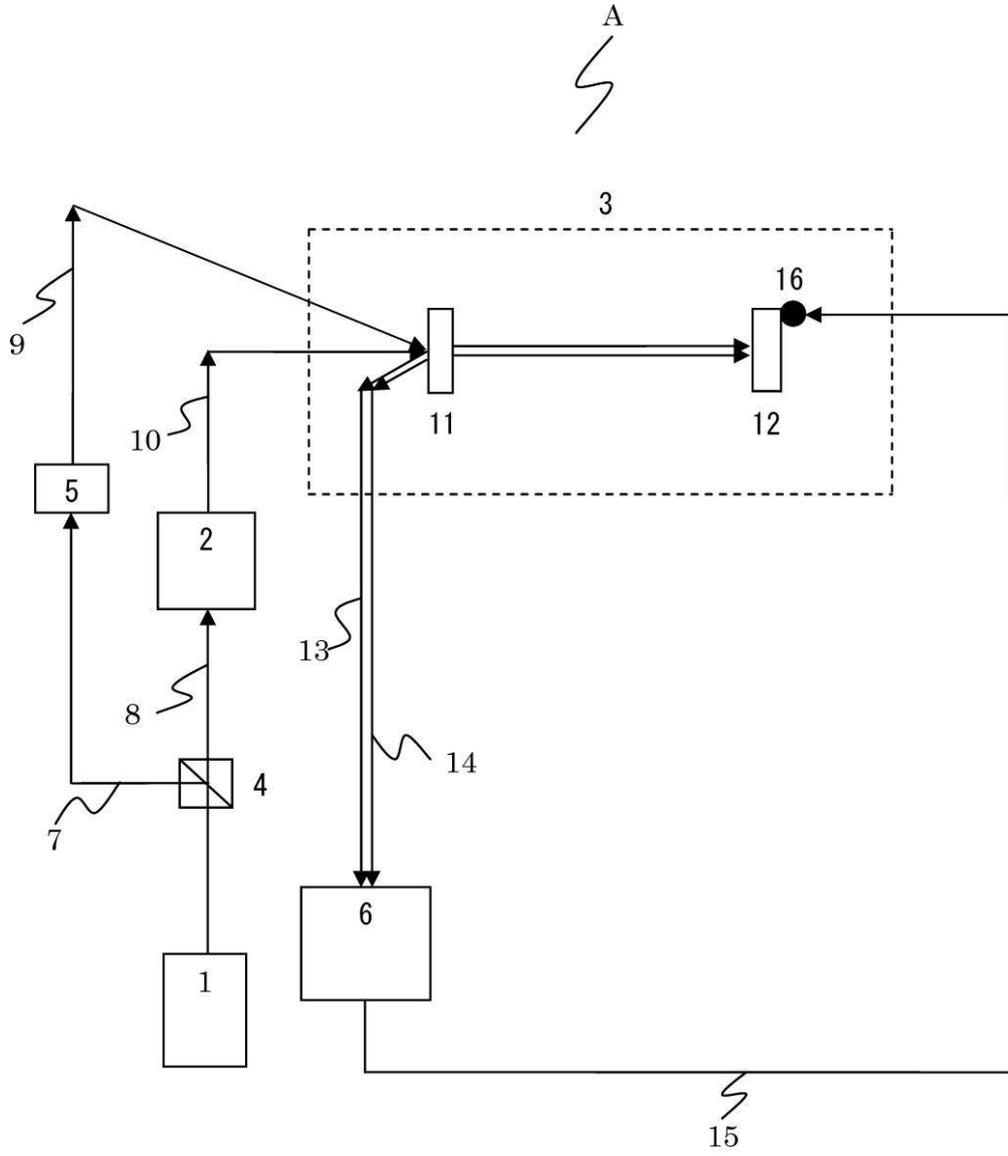
17 入射ミラー1

18 ミラー

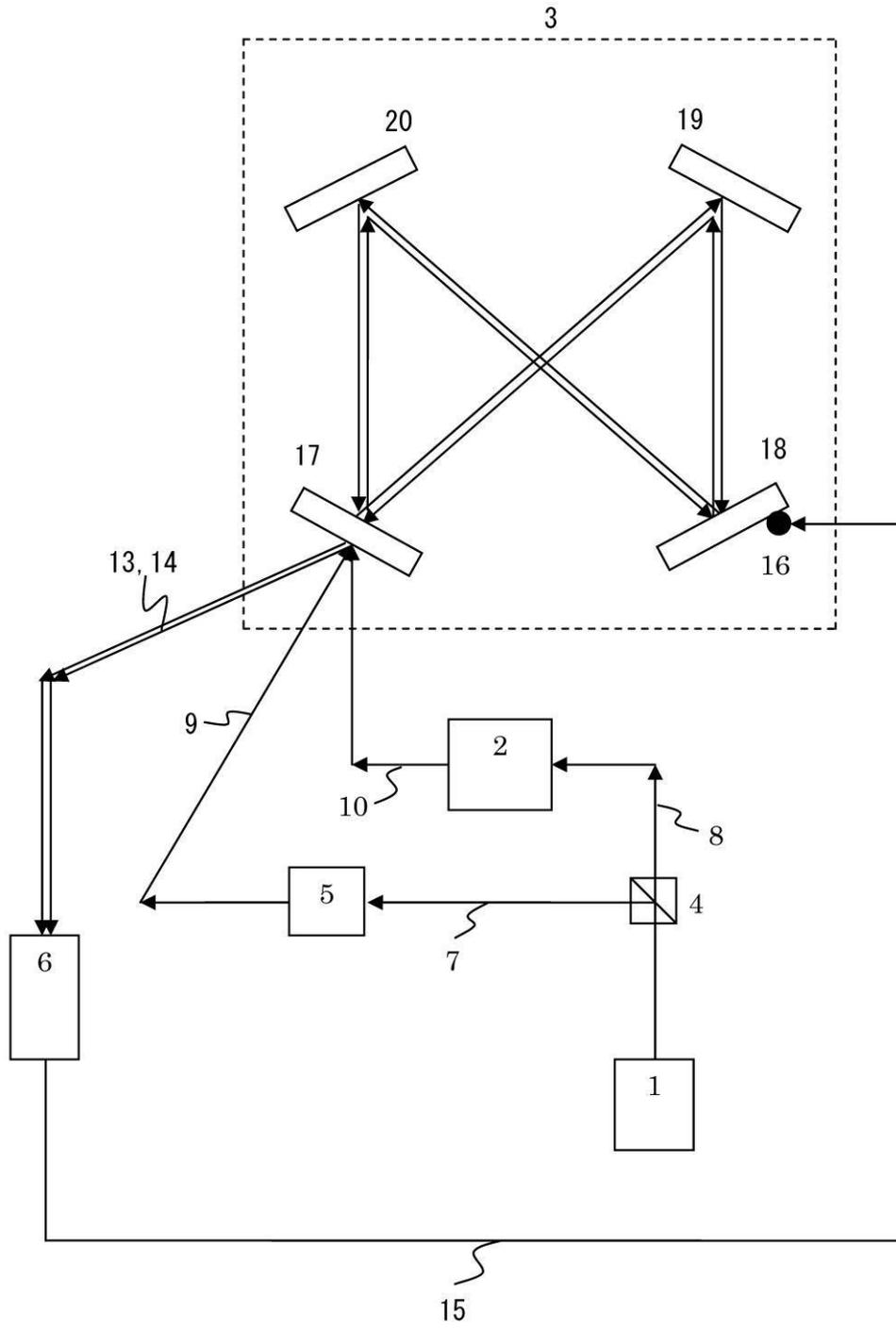
19 ミラー

20 ミラー

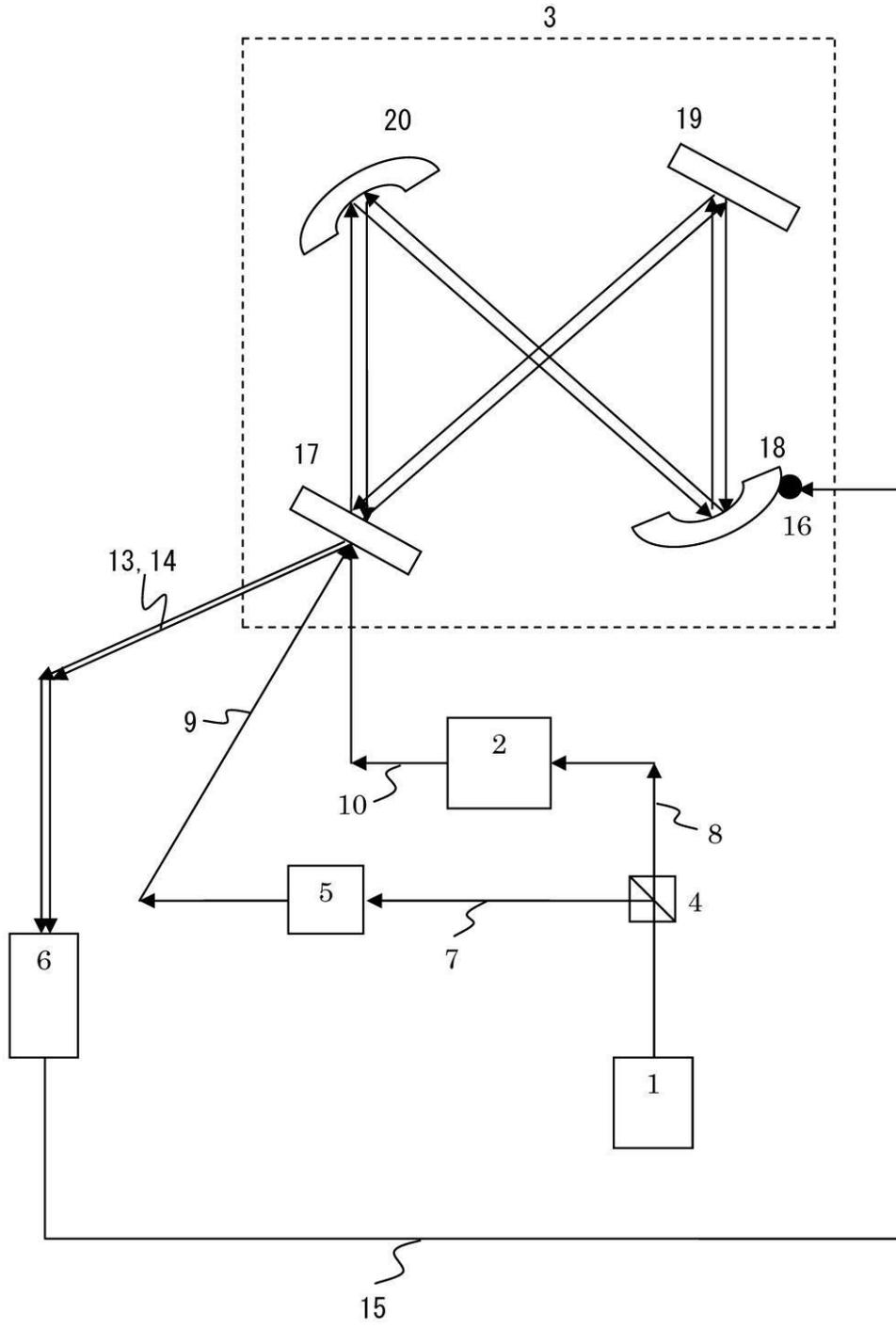
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【 图 4 】

